SALMON - EARMAN - GLYMOUR - LENNOX - MACHAMER
MCGUIRE - NORTON - SALMON - SCHAFFNER

Εισαγωγή στη Φιλοσοφία της Επιστήμης

Απόδοση από τα αγγλικά:
Πάνος Θεοδώρου – Κώστας Παγωνδιώτης – Γιώργος Φουρτούνης

Επιστημονική επιμέλεια:
Αριστείδης Μπαλτάς

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ
Ιδρυτική δωρεά Παγκρητικής Ενώσεως Αμερικής
ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2001

Οι Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
είναι τμήμα του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ
ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΡΕΥΝΑΣ
Ηράκλειο Κρήτης, Τ.Θ. 1527, 711 10. Τηλ. (081) 394235, Fax: 394236
Αθήνα: Μάνης 5, 10681. Τηλ. (01) 3818372, Fax: (01) 3301583
e-mail: pek@physics.uoc.gr
URL: www.pek.uoc.gr

ΣΕΙΡΑ: ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΑΙ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ
Διευθυντές σειράς: Αριστείδης Μπαλτάς, Κώστας Γαβρόγλου

Τίτλος πρωτοτύπου: Introduction to the Philosophy of Science
© 1992 Prentice-Hall, Inc.
© 1995, για την ελληνική γλώσσα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
Πρώτη έκδοση: Ιούνιος 1998
Δεύτερη έκδοση: Σεπτέμβριος 1999
Τρίτη έκδοση: Μάρτιος 2001
Απόδοση από τα αγγλικά: Πάνος Θεοδώρου, Κώστας Παγωνδιώτης, Γιώργος Φουρτούνης
Επιστημονική επιμέλεια μετάφρασης: Αριστείδης Μπαλτάς
Στοιχειοθεσία – σελιδοποίηση: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
Φιλμοποίηση – Montáζ – Εκτύπωση: ΤΥΠΟΚΡΕΤΑ, Ηράκλειο
Σχεδίαση εξωφύλλου: Δημήτρης Τζάνης

ISBN 960-524-052-1

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ
Αριστείδης Μπαλτάς vii
ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ
Μέριλυ Σάλμον ix
ΠΡΟΛΟΓΟΣ
Τζον Ήρμαν xi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ
Μέριλυ Σάλμον xv

Μέρος Ι: **ΘΕΜΑΤΑ ΓΕΝΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΤΗ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ**

Πρώτο Κεφάλαιο
Wesley C. Salmon: *Επιστημονική εξήγηση* 3
Δεύτερο Κεφάλαιο
John Earman και Wesley Salmon: *Επικύρωση επιστημονικών υποθέσεων* 51
Τρίτο Κεφάλαιο
Clark Glymour: *Ο ρεαλισμός και η φύση των θεωριών* 139
Τέταρτο Κεφάλαιο
J.E. McGuire: *Επιστημονική αλλαγή: Προοπτικές και προτάσεις* 179

Μέρος ΙΙ: **Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

Πέμπτο Κεφάλαιο
John D. Norton: *Φιλοσοφία του χώρου και του χρόνου* 249
Έκτο Κεφάλαιο
John Earman: *Το πρόβλημα του Ντετερμινισμού στις φυσικές επιστήμες* 317

Μέρος III: **Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ**

Έβδομο Κεφάλαιο
James G. Lennox: *Φιλοσοφία της βιολογίας* 373
Όγδοο Κεφάλαιο
Kenneth F. Schaffner: *Φιλοσοφία της ιατρικής* 431

Μέρος IV: **ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

Ένατο Κεφάλαιο
Peter Machamer: *Φιλοσοφία της ψυχολογίας* 483
Δέκατο Κεφάλαιο
Clark Glymour: *Γνωσιολογία των ανδροειδών: Υπολογισμός, τεχνητή νοημοσύνη και φιλοσοφία της επιστήμης* 509
Ενδέκατο Κεφάλαιο
Merrilee Salmon: *Η φιλοσοφία των κοινωνικών επιστημών* 565

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 597

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΝΟΜΑΤΩΝ 619
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΝΝΟΙΩΝ 625

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

Πιστεύω ότι θα αποδειχτεί σύντομα πως η έκδοση του παρόντος βιβλίου αποτελεί σημαντικό γεγονός σε ό,τι αφορά την ανάπτυξη της φιλοσοφίας της επιστήμης στον τόπο μας. Σε ένα πρώτο επίπεδο προσέγγισης, αυτό συνιστά ένα πλήρες διδακτικό εγχειρίδιο μεταπτυχιακού επιπέδου το οποίο έχει ήδη αποδείξει την αξία και τη λειτουργικότητά του σε πολλά Πανεπιστήμια του εξωτερικού. Σε ένα δεύτερο επίπεδο, καθένα από τα έντεκα κεφάλαια που το απαρτίζουν συνιστά την κατά το δυνατόν πληρέστερη κριτική παρουσίαση του τρέχοντος προβληματισμού στην αντίστοιχη περιοχή, όπως και τη συναφή αποτίμηση. Το χαρακτηριστικό αυτό προικίζει το βιβλίο με μια ευρύτερη εμβέλεια, καθιστώντας το ένα πρώτο ερευνητικό εργαλείο για όποιον θέλει να εμβαθύνει περισσότερο στα σχετικά ζητήματα. Από την άλλη μεριά όμως, το βιβλίο ολόκληρο και το κάθε κεφάλαιο χωριστά παραμένει εύληπτο, πλήρως κατανοητό για όποιον προσεγγίζει τα συναφή ζητήματα για πρώτη φορά, χωρίς εν προκειμένω να θυσιάζεται καθόλου η απαιτούμενη φιλοσοφική αυστηρότητα. Γι' αυτόν το λόγο, μέρη του βιβλίου, αν όχι το ίδιο ολόκληρο, είναι κάλλιστα σε θέση να αποτελέσουν το γραπτό στήριγμα μιας γόνιμης διδασκαλίας σε προπτυχιακό επίπεδο.

Για περισσότερα από δεκαπέντε χρόνια τώρα, το Πανεπιστήμιο του Πίτσμπουργκ καταλαμβάνει συστηματικά μια από τις πρώτες θέσεις στις περιοδικές αξιολογήσεις Τμημάτων φιλοσοφίας και φιλοσοφίας της επιστήμης στις οποίες προβαίνουν οι Ακαδημαϊκές αρχές των ΗΠΑ. Το γεγονός αυτό τεκμηριώνει, μαζί με πλήθος άλλων στοιχείων που μπορούν να προσκομιστούν σχετικά, τον ισχυρισμό πως κάθε κεφάλαιο του βιβλίου είναι γραμμένο από μια από τις παγκόσμια αναγνωρισμένες κορυφές του κλάδου. Ο κάθε συγγραφέας είναι συγχρόνως και ένας από τους πρωταγωνιστές των εξελίξεων που παρουσιάζει, πράγμα που δίνει στην παρουσίασή του βαρύτητα και κύρος. Ωστόσο κάθε τέ-

τοια παρουσίαση είναι ακριβοδίκαιη κατά το δυνατόν. Κάθε συγγραφέας προσπαθεί με τρόπο συνειδητό να μην πριμοδοτήσει τη δική του άποψη εις βάρος των αντιπάλων απόψεων, όσο κι αν αυτό, σε ό,τι αφορά τουλάχιστον τη φιλοσοφία, είναι ούτως ή άλλως αδύνατο να επιτευχθεί ποτέ απόλυτα. Αυτό που προσπαθούν και επιτυγχάνουν κατά τρόπο εντυπωσιακό όλοι οι συγγραφείς είναι να σεβαστούν τον αναγνώστη, παρέχοντάς του όλα τα αναγκαία εφόδια για να κρίνει ο ίδιος.

Με αυτά δεδομένα, ο πρόλογος της Merrilee Salmon στην Ελληνική έκδοση του βιβλίου παρουσιάζει τα πράγματα κατά τρόπο υπερβολικά σεμνό. Αλλά ο πρόλογος αυτός κάνει και κάτι ακόμη. Είναι υπερβολικά γενναιόδωρος απέναντι στην Ελληνική κοινότητα των φιλοσόφων της επιστήμης που μόλις τώρα αρχίζει αργά και κοπιαστικά να βρίσκει το δρόμο της. Από τη δική μας μεριά, από τη μεριά αυτής της κοινότητας, δεν είναι σήμερα πρέπον να πούμε πολλά. Αρκεί να εκφράσουμε τις πιο θερμές ευχαριστίες μας στην ίδια για τα καλά της λόγια όσο και σε όλους τους συναδέλφους του Πίτσμπουργκ για όσα εξακολουθούν να κάνουν ανιδιοτελώς για να μας βοηθήσουν. Ωστόσο μας επιτρέπεται ίσως να εκφράσουμε μια ευχή: την ευχή πως οι προσπάθειες που έχουν αναληφθεί για να αναπτυχθεί περισσότερο αυτή η, δική μας, κοινότητα θα προχωρήσουν με επιτυχία. Κι εδώ υπάρχει κάτι το βέβαιο: σε ό,τι αφορά την ευόδωση αυτών των προσπαθειών, το παρόν βιβλίο θα συμβάλει αποφασιστικά.

Οι μεταφραστές και ο επιμελητής θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τους Στέλιο Βιρβιδάκη, Δημήτρη Κλέτσα, Γιώργο Κολέτσο, Κώστα Κριμπά, Παντελή Νικολακόπουλο, Γιώργο Ξηροπαΐδη, Θανάση Τζαβάρα και Κώστα Χριστοδουλίδη για τη βοήθεια που γενναιόδωρα μας προσέφεραν για την σωστή απόδοση των τεχνικών όρων στα Ελληνικά. Ο επιμελητής θα ήθελε ακόμη να ευχαριστήσει τον Θόδωρο Αραμπατζή και, όλως ιδιαιτέρως, τον Γιώργο Φαράκλα για την ουσιαστική συμβολή τους στην προσπάθειά μας για την κατά το δυνατόν άρτια έκδοση του βιβλίου.

Αριστείδης Μπαλτάς
Φεβρουάριος 1998

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΤΗΣ Μ.Η. SALMON ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ

Η έκδοση του παρόντος τόμου στα Ελληνικά αντιπροσωπεύει άλλο ένα ορόσημο στη συνεργασία μεταξύ φιλοσόφων της επιστήμης από την Αθήνα και το Πίτσμπουργκ. Για περισσότερο από δέκα χρόνια τώρα, φιλόσοφοι από τις δύο χώρες ένωσαν τις δυνάμεις τους για να διδάξουν φοιτητές και να μάθουν ο ένας από τον άλλον. Συζήτησαν συχνά μαζί όλων των ειδών τα φιλοσοφικά θέματα, εργάστηκαν από κοινού σε συνέδρια και σεμινάρια, ανέπτυξαν θερμές σχέσεις φιλίας και συναδελφικότητας. Οι επισκέψεις στην Ελλάδα φιλοσόφων που εργάζονται στο Πίτσμπουργκ και οι επισκέψεις Ελλήνων στο Πίτσμπουργκ δημιούργησαν ισχυρούς δεσμούς και διαμόρφωσαν τις βάσεις για να αναπτυχθεί με δημιουργικότητα νέο έργο στη φιλοσοφία. Και οι μεν και οι δε γιορτάσαμε την άνθηση της φιλοσοφίας της επιστήμης στην Ελλάδα, όπως αυτή η άνθηση μπορεί να πιστοποιηθεί από την ίδρυση νέων προγραμμάτων και την ενίσχυση ήδη υπαρχόντων κέντρων μελέτης και έρευνας.

Τα μέλη του Τμήματος Ιστορίας της Φιλοσοφίας της Επιστήμης του Πανεπιστημίου του Πίτσμπουργκ που συνεργαστήκαμε στη συγγραφή του παρόντος βιβλίου είχαμε από κοινού αφ' ενός την αίσθηση ότι έλειπε μια εκσυγχρονισμένη επισκόπηση ολόκληρου του πεδίου που καλύπτει η φιλοσοφία της επιστήμης και αφ' ετέρου την πεποίθηση πως δεν ήταν πλέον δυνατόν να καλυφθούν με επάρκεια από έναν μοναδικό μελετητή όλα τα επιμέρους αντικείμενα που μια τέτοια επισκόπηση όφειλε να καλύπτει. Τα έντεκα κεφάλαια του βιβλίου γράφτηκαν από διαφορετικά μέλη του Τμήματος, αλλά ο τόμος στο σύνολό του αντιπροσωπεύει πολλές ώρες συζητήσεων, αμοιβαίου σχολιασμού, εποικοδομητικής κριτικής και γενικά γόνιμης αλληλεπίδρασης μεταξύ όλων των συγγραφέων.

Το κείμενο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους ανάλογα με το πού εστιάζονται τα ενδιαφέροντα της διδασκαλίας. Η ύλη του Πρώτου Μέρους αποτελεί τη βάση για τη μελέτη των εξειδικευμένων περιοχών που αντιμετωπίζουν τα υπόλοιπα τρία Μέρη. Κάθε κεφάλαιο μπορεί να διαβαστεί και να μελετηθεί ανεξάρτητα, μολονότι κάθε κεφάλαιο παραπέμπει στα άλλα. Μια σειρά ερωτήσεων για την εμβάθυνση στα θέματα και μια βιβλιογραφία για περαιτέρω μελέτη συνοδεύει κάθε κεφάλαιο.

Το βιβλίο χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία τόσο σε προπτυχιακά όσο και σε μεταπτυχιακά μαθήματα σε πολλά Πανεπιστήμια των ΗΠΑ, της Αυστραλίας, του Καναδά και της Μεγάλης Βρετανίας. Όλοι οι συγγραφείς είμαστε ενθουσιασμένοι με την προοπτική τού να βρεθεί το βιβλίο στα χέρια μιας νέας γενιάς Ελλήνων φοιτητών και περιμένουμε με ανυπομονησία τη στιγμή όπου κάποιοι από αυτούς θα γίνουν συνάδελφοί μας.

Τελειώνοντας, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη όλων μας στον Αριστείδη Μπαλτά, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, που πρότεινε τη μετάφραση και επιμελήθηκε την έκδοση του βιβλίου στα Ελληνικά. Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες όλων μας στον Πάνο Θεοδώρου, στον Κώστα Παγωνδιώτη και στον Γιώργο Φουρτούνη, που έκαναν μια δύσκολη, απ' ό,τι μπορώ να φανταστώ, μεταφραστική δουλειά, όπως και όλους όσοι συνέβαλαν, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, στην ολοκλήρωση της έκδοσης.

Μέριλυ Σάλμον
Πανεπιστήμιο Πίτσμπουργκ
Μάρτιος 1997

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η φιλοσοφία της επιστήμης έχει διευρυνθεί και εξειδικευθεί τόσο πολύ ώστε κανείς μόνος του δεν είναι σε θέση να συντάξει μια έγκυρη επισκόπηση του χώρου, έστω και σε εισαγωγικό επίπεδο. Αυτό κάνει την κατάσταση ιδιαίτερα δύσκολη, αν αναλογιστεί κανείς το κενό που υπάρχει για ένα σύγχρονο κι ενημερωμένο εγχειρίδιο στη βιβλιογραφία του χώρου. Η δική μας λύση είναι καρπός της συνδυασμένης πείρας των μελών του τμήματος Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης του Πανεπιστημίου του Pittsburgh: Τζον Ήρμαν (John Earman), Κλαρκ Γκλύμουρ (Clark Glymour), Τζέιμς Λέννοξ (James G. Lennox), Τζ. Ε. Μακγκουάιρ (J. E. McGuire), Πίτερ Μάκαμερ (Peter Machamer), Τζον Νόρτον (John D. Norton), Μέριλι Σάλμον (Merrilee H. Salmon), Γουέσλυ Σάλμον (Wesley C. Salmon) και Κένεθ Σάφνερ (Kenneth F. Schaffner). Παρ' ότι σε κάθε κεφάλαιο εμφανίζεται ένα μόνο όνομα, ο τόμος αυτός είναι αποτέλεσμα συλλογικής προσπάθειας και, στο βαθμό που θα πετύχει το στόχο του, η τιμή θα ανήκει σε όλους εξίσου. Ακόμη περισσότερα οφείλονται, ωστόσο, στη Μέριλι Σάλμον, που συνέλαβε το σχέδιο και μας παρακίνησε να το υλοποιήσουμε, και στον Τζον Νόρτον, που έκανε τα σχήματα των κεφαλαίων 2, 5, 6 και 9.

Το εγχειρίδιο αυτό απευθύνεται κατά βάση στους τριτοετείς και τεταρτοετείς προπτυχιακούς και στους πρωτοετείς μεταπτυχιακούς φοιτητές. Αν και η φιλοσοφία της επιστήμης μπορεί, ενδεχομένως, να διδαχτεί και στο πρώτο και δεύτερο έτος των προπτυχιακών σπουδών, η εμπειρία μάς έδειξε πως ένα τέτοιο μάθημα θα ωφελήσει περισσότερο τους φοιτητές που έχουν ήδη εντρυφήσει ώς ένα επίπεδο σε μια επιστήμη και/ή στην ιστορία της επιστήμης. Επιδιώξαμε να ισορροπήσουμε ανάμεσα σε μια παρουσίαση που να είναι προσιτή στο ευρύτερο κοινό και μια παρουσίαση που να συνδέεται με την τρέχουσα έρευνα. Ένας τέτοιος συμβιβασμός δεν είναι ποτέ εύκολος, αλλά μια προσπάθεια προς αυτή την κατεύθυνση είναι πάντοτε αναγκαία.

Η ύλη που περιέχει ο τόμος αυτός είναι περισσότερη απ' όση μπορεί να καλυφθεί φυσιολογικά μέσα σ' ένα εξάμηνο, και ασφαλώς πολύ περισσότερη απ' όση μπορεί να καλυφθεί στη διάρκεια ενός τριμήνου δέκα εβδομάδων. Έτσι, προσφέρεται στον διδάσκοντα μια σειρά επιλογών. Όσοι ενδιαφέρονται κυρίως για την επιστημονική μεθοδολογία ίσως θελήσουν ν' αφιερώσουν ολόκληρη τη σειρά

των μαθημάτων στα γενικά θέματα φιλοσοφίας της επιστήμης, που διερευνώνται στο Πρώτο Μέρος, Κεφάλαια 1-4. Εναλλακτικά, θα μπορούσαν τα μισά μαθήματα ν' αφιερωθούν σε μια επισκόπηση των Κεφαλαίων 1-4, και τα άλλα μισά σε μια δειγματοληπτική παρουσίαση των θεμελιωδών προβλημάτων που υπάρχουν στις διάφορες φυσικές, βιολογικές, συμπεριφορικές και κοινωνικές επιστήμες, και τα οποία συζητούνται στα Κεφάλαια 5-11. Το εγχειρίδιο αυτό θα μπορούσε, ακόμη, να χρησιμεύσει ως βάση για δύο συνεχόμενες σειρές μαθημάτων.

Κάθε Κεφάλαιο περιέχει έναν κατάλογο προτεινόμενης βιβλιογραφίας και ερωτημάτων για μελέτη. Ορισμένα από τα θέματα αυτά είναι κατάλληλα για εξετάσεις, ενώ κάποια άλλα μπορούν να γίνουν αντικείμενα εργασιών.

Προσπαθήσαμε να περιορίσουμε στο ελάχιστο τους συμβολικούς τύπους, ορισμένες φορές όμως η χρήση τους ήταν αναπόφευκτη. Τα σύμβολα ορίζονται και η χρήση τους επεξηγείται με παραδείγματα εκεί όπου απαντώνται για πρώτη φορά. Όταν ένα σύμβολο εμφανίζεται σε περισσότερα κεφάλαια, τότε στο ευρετήριο αναφέρεται η πρώτη εμφάνισή του.

Θέλουμε να εκφράσουμε τις βαθύτατες ευχαριστίες μας στον Φίλιπ Κίτσερ (Philip Kitcher), του Πανεπιστημίου της California, San Diego, που διάβασε ολόκληρο το χειρόγραφο σ' ένα πρώιμο στάδιο και έκανε χρήσιμα και εκτεταμένα σχόλια για κάθε κεφάλαιο. Ευγνωμοσύνη επίσης οφείλουμε στους Τζέιμς Ρόπερ (James E. Roper), του Παν/μίου του Michigan State, Άρνολντ Γουίλσον (Arnold Wilson), του Παν/μίου του Cincinnati, και Μάικλ Ζένζεν (Michael J. Zenzen), του Rensselaer Polytechnic Institute, για την κριτική ανάγνωση του χειρογράφου και τις καλές συμβουλές τους. Οι Τζον Μπίτυ (John Beatty), του Παν/μίου της Minnesota, Χάρρυ Κόργουιν (Harry Corwin), του Παν/μίου του Pittsburgh, και Ντέιβιντ Κέλλυ (David Kelly), του Institute for Objectivist Studies, έκαναν χρήσιμες υποδείξεις για το 7ο Κεφάλαιο. Ο Ρομπ Πέννοκ (Rob Pennock), του Παν/μίου του Texas at Austin, έκανε το ίδιο για το 1ο Κεφάλαιο. Ο Κέβιν Κέλλυ, του Παν/μίου Carnegie-Mellon, προσέφερε χρήσιμες υποδείξεις και βοήθησε στις εικόνες των κεφαλαίων 3 και 10. Πολύτιμη ήταν η βοήθεια του Ντέηβιντ Χίλλμαν (David Hillman) στη συγκέντρωση και τον έλεγχο της βιβλιογραφίας, ενώ η Τζούντιθ Μέισκιν (Judith Meiskin) μας παρείχε εξαιρετική εκδοτική υποστήριξη. Η Μάντλιν Λάρσον (Madeline Larson) συνέταξε το ευρετήριο. Η Σχολή Proficiency Enhancement Program του Παν/μίου του Pittsburgh μάς παρείχε το υπολογιστικό σύστημα με το οποίο συνενώθηκε το κείμενο με τις γραφικές παραστάσεις και το ευρετήριο. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλουμε στους φοιτητές των διαφόρων εξειδικευμένων μαθημάτων Φιλοσοφίας της Επιστήμης του Πανεπιστημίου του Pittsburgh, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν σαν πρόθυμα πειραματόζωα στην προσπάθειά μας να παρουσιάσουμε ένα κείμενο κατάλληλο για προπτυχιακούς φοιτητές. Η ζωηρή συμμετοχή τους στις συζητήσεις της τάξης μάς βοήθησε αφάνταστα στη βελτίωση των παιδαγωγικών μας στρατηγικών.

Τζον Ήρμαν

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιστημονική γνώση θεωρείται το ανώτατο πνευματικό επίτευγμα της κοινωνίας μας. Κυβερνήσεις, ιδιωτικά ιδρύματα κι επιχειρήσεις υποστηρίζουν την επιστημονική έρευνα, παρά το ότι είναι δαπανηρή και δεν αποφέρει πάντοτε άμεσα πρακτικά οφέλη. Τα επιστημονικά μαθήματα είναι απαραίτητο μέρος του προγράμματος σπουδών από το σχολείο μέχρι το πανεπιστήμιο, ενώ οι νέοι ενθαρρύνονται να υπομείνουν μια μακρά μαθητεία στη μελέτη και τη δουλειά που θα τους μετατρέψει σε επιστήμονες. Τα επιστημονικά επιτεύγματα τιμώνται σε κάθε επίπεδο, από βραβεία σε τοπικές επιστημονικές συγκεντρώσεις μέχρι τα βραβεία Nobel. Τα μεγάλα μουσεία καταγράφουν και εκθέτουν τα επιστημονικά επιτεύγματα και τις εφευρέσεις παντού στον δυτικό κόσμο. Ωστόσο, παρά το εντυπωσιακό εύρος της επιστημονικής προόδου και παρ' όλη τη βαρύτητα που αποδίδεται στην επιστήμη και τους επιστήμονες, πολλά ερωτήματα παραμένουν ανοιχτά γύρω από τη φύση της επιστήμης και σχετικά με το πώς αυτή λειτουργεί.

Τέτοια ερωτήματα συνήθως δεν ανακύπτουν κατά τη μελέτη μιας συγκεκριμένης επιστήμης. Η φυσική, για παράδειγμα, επιχειρεί να εξηγήσει το γιατί συμβαίνουν αλυσιδωτές αντιδράσεις σε ορισμένα υλικά και όχι σε άλλα· όμως δεν είναι έργο της φυσικής να βρει μιαν απάντηση στο γενικότερο ερώτημα για το ποια χαρακτηριστικά πρέπει να έχει μια εξήγηση ώστε να είναι επιστημονικά αποδεκτή. Οι βιολόγοι μελετούν πληθυσμούς μυγών προκειμένου να φτάσουν σε κάποια συμπεράσματα για τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί η κληρονομικότητα· δεν ασχολούνται, ως βιολόγοι, γενικά με τη φύση της σχέσης που έχει η παρατήρηση με τη θεωρία. Τούτο δεν σημαίνει ότι οι φυσικοί και οι βιολόγοι είναι ανίκανοι να διαπραγματευτούν ή να διαλευκάνουν τέτοια ζητήματα. Σε περίπτωση, όμως, που κάνουν κάτι τέτοιο, τότε μιλούν φιλοσοφικά γύρω από την επιστήμη, δεν ασκούν στην πραγματικότητα επιστήμη.

«Φιλοσοφία της επιστήμης» ονομάστηκε ο κλάδος της φιλοσοφίας που έχει ως σκοπό την κριτική ανάλυση της επιστήμης και το στοχασμό πάνω σ' αυτή. Είναι ο κλάδος που επιχειρεί να κατανοήσει τους σκοπούς και τις μεθόδους της επιστήμης, παράλληλα με τις αρχές, τις πρακτικές και τα επιτεύγματά της. Οι

φιλόσοφοι της επιστήμης προσπαθούν να δώσουν ακριβείς απαντήσεις σε πολύ γενικά ερωτήματα γύρω από την επιστήμη, όπως είναι το ερώτημα που μόλις τέθηκε σχετικά με τη φύση της επιστημονικής εξήγησης. Άλλα ερωτήματα που απασχολούν τους φιλοσόφους της επιστήμης είναι τα εξής:

Ποιοι είναι οι στόχοι της επιστήμης;
Τι ρόλο παίζουν οι παρατηρήσεις και τα πειράματα στην απόκτηση της επιστημονικής γνώσης;
Πώς οι επιστήμονες δικαιολογούν τους ισχυρισμούς τους; Τι είναι επιστημονική απόδειξη;
Τι είναι επιστημονικός νόμος;
Υπάρχουν μέθοδοι για να γίνονται επιστημονικές ανακαλύψεις;
Πώς η επιστημονική γνώση προάγεται και αυξάνεται;
Με ποιο τρόπο επιδρά το ιστορικό και πολιτισμικό πλαίσιο, μέσα στο οποίο ασκείται μια επιστήμη, στο περιεχόμενο και την ποιότητα της αντίστοιχης δουλειάς;
Υπάρχει κάποια ειδική γλώσσα που η επιστήμη χρησιμοποιεί ή απαιτεί;

Η ίδια η επιστήμη αποτελείται από πολλούς υποκλάδους: φυσική, αστρονομία, χημεία, βιολογία, ψυχολογία, κοινωνιολογία, ανθρωπολογία και ιατρική, για να αναφέρουμε κάποιους απ' αυτούς. Η ύπαρξη τόσο πολλών διαφορετικών πεδίων εντός της επιστήμης δημιουργεί ενδιαφέροντα ερωτήματα σχετικά με το τι σημαίνει επιστήμη και με το αν υπάρχει μία μέθοδος κοινή σε όλες τις επιστήμες. Έτσι, η φιλοσοφία της επιστήμης θέτει επίσης τα ακόλουθα είδη ερωτημάτων:

Είναι δυνατό να δοθεί μια γενική περιγραφή της επιστημονικής μεθοδολογίας, ή σε κάθε επιστημονικό κλάδο υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι και διαφορετικές μορφές εξήγησης;
Με ποιο τρόπο οι φυσικές, βιολογικές και κοινωνικές επιστήμες διαφέρουν μεταξύ τους;
Μπορούν κάποιες επιστήμες να αναχθούν σε άλλες;

Τέλος, η φιλοσοφία της επιστήμης ασχολείται με ειδικά θέματα που προκύπτουν σε σχέση με επιμέρους επιστημονικά πεδία. Το πείραμα, για παράδειγμα, ενώ σε κάποιες επιστήμες παίζει σημαντικό ρόλο, σε κάποιες άλλες, όπως είναι η αστρονομία, δεν παίζει κανένα ρόλο. Τέτοια ερωτήματα που αφορούν επιμέρους επιστημονικούς κλάδους είναι μεταξύ άλλων τα εξής:

Η ύπαρξη της ελεύθερης βούλησης θέτει κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα για την επιστήμη της ανθρώπινης συμπεριφοράς;
Η ιατρική είναι περισσότερο τέχνη παρά επιστήμη;
Είναι χρήσιμες οι στατιστικές τεχνικές για την ανθρωπολογία, όπου το μέγεθος των δειγμάτων είναι πολύ μικρό;

Όλα τα παραπάνω ερωτήματα είναι αρκετά σύνθετα και δύσκολα, οπότε δεν πρέπει να μας εκπλήσσει το γεγονός ότι υπάρχει σημαντική διαφορά απόψεων μεταξύ των φιλοσόφων της επιστήμης (αλλά και των επιστημόνων, στις φιλοσοφικές τους στιγμές) γύρω απ' αυτά τα ζητήματα. Στον εικοστό αιώνα κυριάρχησαν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Η προγενέστερη παράδοση, που αναπτύχθηκε από τους λογικούς θετικιστές (μέλη του κύκλου της Βιέννης) και τους λογικούς εμπειριστές (μέλη μιας παρόμοιας ομάδας του Βερολίνου), όρισε αυστηρούς κανόνες για το πώς πρέπει να διεξάγεται η φιλοσοφία της επιστήμης, κανόνες τόσο όμοιους μ' αυτούς της ίδιας της επιστήμης όσο το εκάστοτε αντικείμενο μπορεί να επιτρέψει. Οι φιλόσοφοι και οι επιστήμονες αυτοί επεχείρησαν να δώσουν λογικές αναλύσεις για τη φύση των επιστημονικών εννοιών, τη σχέση μεταξύ τεκμηρίων και θεωρίας, και τη φύση της επιστημονικής εξήγησης. Στην προσπάθειά τους να γίνουν ακριβείς, έκαναν εκτεταμένη χρήση της γλώσσας και των τεχνικών της συμβολικής λογικής. Παρά τις διαφορές τους ως προς τη γωνία προσέγγισης, γενικό μέλημα των λογικών θετικιστών και των λογικών εμπειριστών ήταν να τονίσουν ορισμένες διακρίσεις, όπως είναι:

η οριοθέτηση της επιστημονικής γνώσης από άλλους τύπους γνώσης,
η διαφορά μεταξύ γεγονότος και αξίας,
η διαφορά μεταξύ της γλώσσας που χρησιμοποιείται για τη δήλωση παρατηρήσεων και της γλώσσας που χρησιμοποιείται για την αναφορά σε θεωρητικές οντότητες, και
η διαφορά μεταξύ του τρόπου με τον οποίο ανακαλύπτονται οι θεωρίες και του τρόπου με τον οποίο αυτές δικαιολογούνται.

Οι λογικοί εμπειριστές και οι λογικοί θετικιστές ενδιαφέρθηκαν επίσης να διασαφηνίσουν το νόημα όλων των όρων που χρησιμοποιούνται στην επιστήμη. Ορισμένοι προσέγγισαν το πρόβλημα αυτό ψάχνοντας για ένα κριτήριο επαληθευσιμότητας του νοήματος, ενώ άλλοι, ιδιαίτερα οι ίδιοι οι επιστήμονες, προσπάθησαν να διατυπώσουν λειτουργικούς ορισμούς των επιστημονικών όρων. Αυτές οι προσπάθειες συνδέονταν στενά με το ενδιαφέρον τους να εξασφαλίσουν μια στέρεη θεμελίωση στην επιστημονική θεωρητικοποίηση, συνδέοντάς την σταθερά με μια παρατηρησιακή βάση. Παρ' ότι πίστευαν πως το κυριότερο μέλημα της επιστήμης πρέπει να είναι η δικαιολόγηση παρά η ανακάλυψη, ήταν αισιόδοξοι ως προς την ικανότητα της επιστήμης να εξασφαλίζει αυθεντική γνώση των χαρακτηριστικών ενός ανεξάρτητα υπάρχοντος κόσμου.

Κατά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο πολλοί απ' αυτούς τους φιλοσόφους έφυγαν από την ηπειρωτική Ευρώπη για την Αγγλία και τις Η.Π.Α., και το έργο τους επηρέασε σημαντικά την ανάπτυξη της φιλοσοφίας της επιστήμης στις αγγλόφωνες χώρες. Η επιρροή τους υπήρξε σημαντική ακόμη και στο επίπεδο της προπτυχιακής εκπαίδευσης. Ο Καρλ Χέμπελ (Carl G. Hempel), για παράδειγμα, που ήρθε στην Αμερική από το Βερολίνο, κυριολεκτικά όρισε το τι είναι φιλοσοφία των φυσικών επιστημών για τις πολλές γενιές των φοιτητών που ήρθαν για πρώτη φορά σ' επαφή με αυτό το αντικείμενο μέσα από το εισαγωγικό του εγχειρίδιο *Φιλοσοφία της Φυσικής Επιστήμης* (*Philosophy of Natural Science*, 1966). Η δύναμη και η πλατιά επιρροή της γενικής προσέγγισης που διατύπωνε ο Χέμπελ σ' αυτό το βιβλίο δικαιολογεί το χαρακτηρισμό της τελευταίας ως την «καθιερωμένη άποψη» της φιλοσοφίας της επιστήμης.

Στη διάρκεια των τελευταίων είκοσι πέντε ετών, ωστόσο, έχει ασκηθεί πολύπλευρη κριτική σε διαπιστωμένα ελαττώματα της καθιερωμένης άποψης. (Στην πραγματικότητα ακόμη και ο ίδιος ο Χέμπελ αντιμετώπισε κριτικά κάποια από τα χαρακτηριστικά της.) Μια σημαντική αντίρρηση κατά της καθιερωμένης άποψης είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη της τη σχέση που έχει η ιστορία της επιστήμης με τη φιλοσοφία της επιστήμης. Οι επικριτές της καθιερωμένης άποψης παραπέμπουν στο έργο του Τόμας Κουν *Η Δομή των Επιστημονικών Επαναστάσεων* (*The Structure of Scientific Revolutions*, 1962, 1970), όπου υποστηρίζεται η άποψη πως τα περισσότερα επιστημονικά εγχειρίδια αγνοούν την ιστορία και παραποιούν την πραγματική φύση της επιστημονικής προόδου, παρουσιάζοντάς την ως σειρά από συσσωρεύσεις νέων ανακαλύψεων οι οποίες κατά έναν άμεσο τρόπο βασίζονται στην ήδη αποκτημένη γνώση και την επαυξάνουν. Ο Κουν τονίζει τον επαναστατικό χαρακτήρα της επιστήμης – την αντικατάσταση παρωχημένων θεωριών από νεότερες οι οποίες είναι τόσο διαφορετικές από τις προηγούμενες, ώστε όχι μόνο δεν μοιράζονται τα ίδια προβλήματα με αυτές αλλά ούτε καν χρησιμοποιούν μια κοινή γλώσσα. Αναδεικνύει επίσης τις «μη-ορθολογικές» πλευρές των αλλαγών που συμβαίνουν στην επιστήμη, εκείνα, δηλαδή, τα χαρακτηριστικά της επιστημονικής αλλαγής που είναι αδύνατο να εξηγηθούν πλήρως με όρους «γεγονότων» και λογικής, όπου είναι προσκολλημένοι οι επιστήμονες. Ο Κουν υποστηρίζει πως μόνον η άρνηση να ληφθεί σοβαρά υπόψη η ιστορία της επιστήμης θα μπορούσε να εξηγήσει τη χονδροειδή παραποίηση που παρουσιάζεται στα επιστημονικά εγχειρίδια.

Προσφεύγοντας στην κουνιανή θεώρηση της επιστήμης, οι επικριτές της καθιερωμένης άποψης τής καταλογίζουν ότι ενσωματώνει και προωθεί μια ανιστορική άποψη της επιστημονικής δραστηριότητας, αφού δίνει έμφαση στα λογικά χαρακτηριστικά της επιστήμης και αγνοεί το πολιτισμικό πλαίσιο, το οποίο επηρεάζει αποφασιστικά το ύφος του επιστημονικού εγχειρήματος και το περιεχόμενο των αποτελεσμάτων του. Επιπλέον, ισχυρίζονται πως το να αγνοήσει κανείς τα ρητορικά χαρακτηριστικά του επιστημονικού λόγου δεν μπορεί παρά να οδηγήσει σε μια διαστρεβλωμένη εικόνα του τρόπου με τον οποίο η επιστήμη

λειτουργεί στην πραγματικότητα. Οι αξίες της κοινωνίας και των επιμέρους επιστημόνων επηρεάζουν, λένε οι επικριτές, όχι μόνο την επιλογή των προβλημάτων και το μέγεθος της προσπάθειας που θα καταβληθεί για τη λύση τους, αλλά και το πώς θα ερμηνευθούν τα εκάστοτε αποτελέσματα. Υποστηρίζουν πως τα επονομαζόμενα γεγονότα μπορούν να συλληφθούν μόνο μέσω θεωριών, οι οποίες αποτελούν δημιουργήματα των μελών ενός συγκεκριμένου πολιτισμού και δεν είναι ποτέ εντελώς ανεξάρτητα από τις αξίες και τις βλέψεις του πολιτισμού αυτού.

Τόσο η καθιερωμένη άποψη όσο και η άποψη που εκφράζουν οι επικριτές της έχουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Και οι δύο απόψεις είναι πολύ σύνθετες για να εκτεθούν συνοπτικά, χωρίς παραποιήσεις και υπεραπλουστεύσεις. Η προηγηθείσα σύνοψη δεν φιλοδοξεί παρά να εισαγάγει τον αναγνώστη στο θέμα. Στα επόμενα κεφάλαια θα παρουσιαστούν πολλές όψεις της διαμάχης και θα εξεταστούν οι λόγοι που προτείνονται υπέρ των διαφόρων τοποθετήσεων.

Σ' αυτό το βιβλίο παρουσιάζεται μια προσέγγιση στη φιλοσοφία της επιστήμης που δεν συντάσσεται με κάποια από τις δύο βασικές κατηγορίες που συνοπτικά περιγράψαμε παραπάνω. Όλοι οι συγγραφείς αυτού του κειμένου ανήκουν σ' ένα Τμήμα Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης. Η σύζευξη ιστορίας και φιλοσοφίας στο Τμήμα αυτό δεν είναι κάτι που έγινε για να ευκολυνθούν ορισμένοι φιλόσοφοι και ιστορικοί, οι οποίοι τυχαίνει να ασχολούνται με την επιστήμη. Αντίθετα, το Τμήμα ιδρύθηκε επειδή τα μέλη του πιστεύουν πως η μελέτη της φιλοσοφίας της επιστήμης οφείλει να προϋποθέτει την κατανόηση του ιστορικού και κοινωνικού πλαισίου της επιστήμης παράλληλα με την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της ίδιας της επιστήμης. Ταυτόχρονα, η γενική προσέγγιση αυτού του βιβλίου αποκηρύσσει τις ακραίες μορφές σχετικισμού και σκεπτικισμού που χαρακτηρίζουν ορισμένους από τους σκληρότερους επικριτές της καθιερωμένης άποψης.

Το Πρώτο Μέρος αυτού του τόμου ασχολείται με θέματα που είναι αναγκαία για κάθε επαρκή εισαγωγή στη φιλοσοφία της επιστήμης: Εξήγηση. Επαγωγή και Επικύρωση. Ο Ρεαλισμός και η Φύση των Επιστημονικών Θεωριών. Επιστημονική Αλλαγή: Προοπτικές και Προτάσεις. Τα τέσσερα αυτά κεφάλαια σκιαγραφούν και διαπραγματεύονται ορισμένα θεμελιακά ζητήματα της φιλοσοφίας της επιστήμης και θέτουν τις βάσεις για τη συζήτηση που θα διεξαχθεί στα επόμενα κεφάλαια. Στο Πρώτο Μέρος ο αναγνώστης εισάγεται στην ιστορία των εξεταζόμενων θεμάτων καθώς και στο λεξιλόγιο, τους τεχνικούς όρους και τα σημαντικότερα προβλήματα της σύγχρονης φιλοσοφίας της επιστήμης. Σε αυτά τα κεφάλαια, οι συγγραφείς δεν προϋποθέτουν κάποια προγενέστερη γνώση γύρω από τη φιλοσοφία της επιστήμης, αλλά έχουν ως στόχο να οδηγήσουν τον αναγνώστη σε μια κριτική αξιολόγηση ορισμένων από τα πιο σύνθετα προβλήματα που απασχολούν σήμερα τους φιλοσόφους της επιστήμης. Στο πρώτο κεφάλαιο, «Επιστημονική Εξήγηση», ο Γουέσλυ Σάλμον εξετάζει τα στοιχεία που

παρέχουν οι διάφορες επιστήμες και που συνθέτουν το ιδιαίτερο εκείνο είδος κατανόησης του κόσμου και των όσων συμβαίνουν εκεί. Στο δεύτερο κεφάλαιο, «Επικύρωση των Επιστημονικών Υποθέσεων», οι Τζον Ήρμαν και Γουέσλυ Σάλμον ασχολούνται με ερωτήματα που αφορούν τη σχέση μεταξύ εμπειρικών τεκμηρίων και επιστημονικών υποθέσεων, νόμων και θεωριών. Στην πορεία της συζήτησης, εξετάζουν τη φύση του επαγωγικού συλλογισμού και τις σημασίες της έννοιας της πιθανότητας. Στο τρίτο κεφάλαιο, ο Κλαρκ Γκλύμουρ εξετάζει τα σημαντικότερα παραδοσιακά επιχειρήματα κατά της τυφλής προσκόλλησης στους ισχυρισμούς της επιστήμης, καθώς και μια σειρά απαντήσεων στα επιχειρήματα αυτά. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο ο Τζ. Μακγκουάιρ μελετά τη φύση της επιστημονικής αλλαγής και της επιστημονικής προόδου σε σχέση με το κοινωνικό πλαίσιο και την ιστορική εξέλιξη.

Στα υπόλοιπα επτά κεφάλαια, καθένα από τα οποία ασχολείται με τη φιλοσοφία ενός ιδιαίτερου χώρου της επιστήμης, οι συγγραφείς προϋποθέτουν πως ο αναγνώστης είναι εξοικειωμένος με τα θέματα των τεσσάρων πρώτων κεφαλαίων, αν και δεν εξαρτώνται από αυτά στον ίδιο βαθμό όλα τα εξεταζόμενα ζητήματα. Τα κεφάλαια του Δεύτερου, Τρίτου και Τετάρτου Μέρους μπορούν να διαβαστούν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, παρόλο που περιέχουν αναφορές στην ύλη άλλων κεφαλαίων.

Η φιλοσοφία των φυσικών επιστημών καλύπτεται στο Δεύτερο Μέρος (Κεφ. 5 και 6). Στη «Φιλοσοφία του Χώρου και του Χρόνου», ο Τζον Νόρτον θέτει ορισμένα ερωτήματα που παίζουν κεντρικό ρόλο στη σύγχρονη έρευνα στη φιλοσοφία του χώρου και του χρόνου και δείχνει τον τρόπο με τον οποίο οι φιλοσοφικές ιδέες περί επαλήθευσης, συμβάσεων, ρεαλισμού και αναγωγής θεωριών εφαρμόζονται στις φυσικές θεωρίες του χώρου και του χρόνου. Στο Κεφάλαιο «Το Πρόβλημα του Ντετερμινισμού στις Φυσικές Επιστήμες» ο Τζον Ήρμαν αναλύει τις επιπτώσεις που έχουν η κλασική φυσική, η ειδική και η γενική θεωρία της σχετικότητας και η κβαντομηχανική στη θεωρία περί ντετερμινιστικής εξέλιξης του κόσμου.

Στο Τρίτο Μέρος εξετάζεται η φιλοσοφία της βιολογίας και της ιατρικής με ξεχωριστά κεφάλαια για κάθε θέμα. Στη «Φιλοσοφία της Βιολογίας» ο Τζέιμς Λέννοξ πραγματεύεται την ανάπτυξη της λεγόμενης νεο-δαρβινικής θεωρίας της εξέλιξης. Ο Λέννοξ δείχνει πώς αυτή η ένωση της γενετικής του Μέντελ (Mendel) με τη θεωρία φυσικής επιλογής του Δαρβίνου προσφέρει ένα ισχυρό εργαλείο ερμηνείας της εξελικτικής αλλαγής και προσαρμογής, το οποίο λειτουργεί διαφορετικά από τις θεωρίες των φυσικών επιστημών. Στη «Φιλοσοφία της Ιατρικής» ο Κέννεθ Σάφνερ, ο οποίος έχει σπουδάσει τόσο ιατρική όσο και ιστορία και φιλοσοφία της επιστήμης, εξετάζει αν η ιατρική είναι επιστήμη και αν μπορεί να αναχθεί στη βιολογία. Διερευνά τη φύση της ιατρικής ως εγχείρημα που ενσωματώνει ηθικές αρχές και τις συνέπειες που μπορεί να έχει κάτι τέτοιο για την αναγωγή της ιατρικής στη βιολογία. Το Τέταρτο Μέρος, για τις συμπεριφορικές επιστήμες, ξεκινά με το κεφάλαιο του Πίτερ Μάκαμερ «Φιλοσο-

φία της Ψυχολογίας». Σ' αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη επισκόπηση της σχέσης μεταξύ φιλοσοφίας και ψυχολογίας και εκτίθενται ορισμένα ζητήματα που έχουν υπάρξει και παραμένουν σημαντικά για την κατανόηση της ψυχολογίας. Το κύριο, ωστόσο, μέρος του κεφαλαίου περιγράφει και αξιολογεί τη φύση των ψυχολογικών θεωριών για την αντίληψη. Σκοπός του συγγραφέα είναι να προσφέρει μια συγκεκριμένη μελέτη για το τι θα μπορούσαν να κάνουν οι φιλόσοφοι που ενδιαφέρονται για την ψυχολογία. Στο δέκατο κεφάλαιο, «Γνωσιολογία των Ανδροειδών», ο Κλαρκ Γκλύμουρ ασχολείται με φιλοσοφικά ζητήματα που ανακύπτουν μέσα από το συναρπαστικό νέο πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης. Εξηγεί πώς ορισμένα θέματα της φιλοσοφίας της επιστήμης επηρεάζουν το σχεδιασμό της τεχνητής νοημοσύνης και τα προγράμματα των έμπειρων συστημάτων. Στο τελευταίο κεφάλαιο, «Η Φιλοσοφία των Κοινωνικών Επιστημών», η Μέριλυ Σάλμον διερευνά το κατά πόσο οι λεγόμενες κοινωνικές επιστήμες δικαιούνται πραγματικά αυτό το όνομα και πραγματεύεται ορισμένα ειδικά προβλήματα τα οποία τίθενται στους επιστημονικούς κλάδους που προσπαθούν να εξηγήσουν την ανθρώπινη συμπεριφορά χρησιμοποιώντας τις ίδιες μεθόδους με αυτές που έχουν σημειώσει τόσο μεγάλη επιτυχία στις φυσικές επιστήμες.

Μέριλυ Σάλμον

Μέρος πρώτο

ΘΕΜΑΤΑ ΓΕΝΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΤΗ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

Πρώτο Κεφάλαιο

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΞΗΓΗΣΗ

Wesley C. Salmon

Πολλοί και ποικίλοι είναι οι καρποί της επιστήμης. Όταν στις συζητήσεις γίνεται λόγος περί επιστήμης, οι περισσότεροι φέρνουν αμέσως στο νου τους την υψηλή τεχνολογία, δηλαδή επιτεύγματα όπως οι υπολογιστές, η πυρηνική ενέργεια, η γενετική μηχανική ή οι υπεραγωγοί υψηλών θερμοκρασιών. Αυτοί είναι οι καρποί της εφαρμοσμένης επιστήμης. Η αποτίμηση των οφελών, των κινδύνων και του κόστους αυτών και άλλων παρόμοιων τεχνολογικών εξελίξεων οδηγεί συχνά σε ζωηρές και παθιασμένες αντιπαραθέσεις.

Ωστόσο, σε αυτό το κεφάλαιο θα εστιάσουμε την προσοχή μας σε μια διαφορετική όψη της επιστήμης, και πιο συγκεκριμένα στη νοητική κατανόηση του κόσμου μας, την οποία αυτή μας παρέχει. Αυτός είναι ο καρπός της καθαρής επιστήμης και είναι ένας καρπός που όλοι μας εκτιμούμε ιδιαίτερα. Όλοι μας συχνά ρωτάμε «Γιατί;» με σκοπό να πετύχουμε κάποιο βαθμό κατανόησης σχετικά με διάφορα φαινόμενα. Αυτό φαίνεται να είναι έκφραση μιας φυσικής ανθρώπινης περιέργειας. Γιατί, κατά τη διάρκεια μιας ολικής σεληνιακής έκλειψης, καθώς η Γη περνά μεταξύ αυτού και του Ηλίου, το φεγγάρι αποκτά ένα χαλκώδες χρώμα, αντί απλώς να γίνεται σκοτεινό; Επειδή η ατμόσφαιρα της Γης δρα ως πρίσμα, διαθλώντας το ηλιακό φως που περνά από μέσα της με τρόπο τέτοιο ώστε το φως από την κόκκινη περιοχή του φάσματος να πέφτει πάνω στη σεληνιακή επιφάνεια. Αυτό είναι μια πρόχειρη σκιαγράφηση της επιστημονικής εξήγησης αυτού του φαινομένου και προσφέρει τουλάχιστον κάποιο βαθμό επιστημονικής κατανόησης.

Σκοπός μας σ' αυτό το κεφάλαιο είναι να προσπαθήσουμε να πούμε με κάποια ακρίβεια σε τι συνίσταται η επιστημονική εξήγηση. Όμως, πριν αποδυθούμε σ' αυτό το εγχείρημα, κρίνεται απαραίτητη κάποια προεισαγωγική διασάφηση ορισμένων σημείων.

1.1 ΕΞΗΓΗΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗΣ

Το πρώτο βήμα στην πορεία της διασάφησης της έννοιας «επιστημονική εξήγηση», είναι να χαράξουμε μια σαφή διαχωριστική γραμμή μεταξύ της εξήγησης του *γιατί* ένα συγκεκριμένο φαινόμενο συμβαίνει, και της δικαιολόγησης της πεποίθησης *ότι* αυτό πράγματι συμβαίνει. Ο λόγος για τον οποίο πιστεύω *ότι* το φεγγάρι γίνεται χαλκόχρουν κατά τη διάρκεια μιας ολικής έκλειψης είναι το ότι το έχω παρατηρήσει με τα ίδια μου τα μάτια. Μπορώ να προσφύγω επίσης και στη μαρτυρία άλλων παρατηρητών. Με αυτόν τον τρόπο επικυρώνεται[1] η πρόταση πως το φεγγάρι γίνεται χαλκόχρουν κατά τη διάρκεια μιας ολικής έκλειψης, πράγμα που είναι εντελώς διαφορετικό από την εξήγηση του *γιατί* κάτι τέτοιο συμβαίνει. Ας εξετάσουμε ένα άλλο παράδειγμα. Σύμφωνα με τη σύγχρονη κοσμολογία, όλοι οι γαλαξίες υποχωρούν ως προς εμάς με μεγάλες ταχύτητες. Τεκμήριο γι' αυτό είναι το γεγονός ότι το φως μετατοπίζεται προς το ερυθρό άκρο του φάσματος· ένα τέτοιο τεκμήριο επικυρώνει την πρόταση ότι οι άλλοι γαλαξίες απομακρύνονται από τον δικό μας Γαλαξία. Το γεγονός της ύπαρξης μιας τέτοιας ερυθράς μετατόπισης δεν εξηγεί το *γιατί* οι γαλαξίες κινούνται μ' αυτόν τον τρόπο· αντίθετα, το γεγονός της συνεχούς απομάκρυνσής τους εξηγεί –με βάση το φαινόμενο Ντόπλερ[2]– το γιατί το φως τους μετατοπίζεται προς το ερυθρό άκρο του φάσματος. Η εξήγηση της απομάκρυνσης βασίζεται στην ιδέα της «μεγάλης έκρηξης» (big bang), με την οποία ξεκίνησε η ιστορία του σύμπαντός μας αρκετά δισεκατομμύρια χρόνια πριν· είναι αυτό που κάνει όλους τους γαλαξίες να υποχωρούν ο ένας ως προς τον άλλο και, κατά συνέπεια, όλους να απομακρύνονται από εμάς.

1.2 ΑΛΛΑ ΕΙΔΗ ΕΞΗΓΗΣΗΣ

Ένα ακόμα προκαταρκτικό βήμα στην πορεία διασάφησης της έννοιας *επιστημονική* εξήγηση είναι το να αναγνωρίσουμε την ύπαρξη πολλών διαφορετικών ειδών εξήγησης πέραν εκείνων που κατατάσσουμε στις επιστημονικές. Για παράδειγμα, πολύ συχνά συναντούμε εξηγήσεις για το *πώς* να κάνουμε κάτι – πώς να χρησιμοποιήσουμε ένα καινούργιο κουζινικό σκεύος, ή πώς να βρούμε κάποια συγκεκριμένη διεύθυνση σε μιαν άγνωστη πόλη. Υπάρχουν, επίσης, εξηγήσεις του τύπου «τι;» (τι σημαίνει μια άγνωστη λέξη, ή τι πρόβλημα παρουσιάζει κά-

---

[1] Ο όρος «επικύρωση» θα εξεταστεί στο δεύτερο κεφάλαιο αυτού του βιβλίου.

[2] Φαινόμενο Ντόπλερ είναι η επιμήκυνση κυμάτων που εκπέμπονται από μια πηγή που απομακρύνεται από έναν παρατηρητή, και η επιβράχυνσή τους όταν η πηγή της εκπομπής τους πλησιάζει τον παρατηρητή. Το ίδιο φαινόμενο συμβαίνει και με το φως και με τον ήχο και μπορεί να γίνει αντιληπτό από την αλλαγή τού ύψους τού τόνου τού σφυρίγματος ενός τραίνου που μας προσπερνά.

ποιο αυτοκίνητο). Ενώ πολλές, αν όχι όλες, από τις επιστημονικές εξηγήσεις μπορούμε να τις επιζητήσουμε μέσω ερωτήσεων που εισάγονται με το «γιατί», η αναζήτηση εξηγήσεων άλλου είδους κανονικά δεν εισάγεται με τον ίδιο τρόπο. Για αυτόν τον δεύτερο σκοπό αρμόζουσες είναι οι ερωτήσεις που ξεκινούν με το *πώς να ή το τι*.

Υπάρχουν και άλλα είδη εξήγησης. Μπορεί κάποιος να ζητήσει να του εξηγηθεί το νόημα μιας ζωγραφιάς ή ενός ποιήματος. Τέτοιου είδους ερωτήματα αποζητούν μια καλλιτεχνική ερμηνεία. Ή πάλι, μπορεί κάποιος να ζητήσει την εξήγηση μιας μαθηματικής απόδειξης· η συμπλήρωση κάποιων επιπλέον ενδιάμεσων βημάτων θα ήταν ένας κατάλληλος τρόπος δράσης εδώ, έτσι ώστε να φανεί πώς μεταβαίνουμε από το ένα βήμα της αρχικής απόδειξης στο επόμενο. Όμως, τίποτα από αυτά δεν μπορεί να χαρακτηριστεί «επιστημονική εξήγηση». Αποκλείονται επίσης από το χώρο των επιστημονικών εξηγήσεων οι εξηγήσεις τυπικών γεγονότων (formal facts) στα καθαρά μαθηματικά, τέτοιων όπως το άπειρο πλήθος πρώτων αριθμών. Εδώ μας ενδιαφέρει μόνο η εξήγηση στις εμπειρικές επιστήμες.

Έτσι όπως αντιλαμβανόμαστε την έννοια, η *επιστημονική* εξήγηση συνιστά μιαν απόπειρα να καταστήσουμε κατανοήσιμο ή εννοήσιμο ένα επιμέρους συμβάν (όπως το ατύχημα του 1986 στον πυρηνικό αντιδραστήρα του Τσερνομπίλ) ή κάποιο γενικό γεγονός (όπως το χαλκώδες χρώμα που παίρνει η Σελήνη κατά τη διάρκεια μιας ολικής έκλειψης), προσφεύγοντας σε άλλα επιμέρους ή και γενικά γεγονότα παρμένα από έναν ή περισσότερους κλάδους της εμπειρικής επιστήμης. Αυτή η διατύπωση δεν νοείται ως ορισμός, μιας και όροι όπως «κατανοήσιμο» ή «εννοήσιμο» έχουν τόση ανάγκη διασάφησης όση έχει και ο όρος «εξήγηση». Απλώς θέλουμε να δούμε πρόχειρα το προς τα πού κατευθυνόμαστε.

Επισημαίνοντας τη διάκριση ανάμεσα στις επιστημονικές εξηγήσεις και σε εξηγήσεις άλλου τύπου δεν σημαίνει πως έχουμε την πρόθεση να υποτιμήσουμε τις δεύτερες. Μόνος σκοπός μας είναι να δώσουμε έμφαση στο γεγονός ότι η λέξη «εξήγηση» διαθέτει υπερβολική ευρύτητα, δηλαδή ότι εφαρμόζεται σε μεγάλη ποικιλία διαφορετικών πραγμάτων. Απλώς θέλουμε να είμαστε σαφείς σχετικά με τον τύπο εξήγησης που μας ενδιαφέρει εδώ.

1.3 ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΞΗΓΗΣΗ ΚΑΙ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ «ΓΙΑΤΙ;»

Πολλές επιστημονικές εξηγήσεις επιζητούνται μέσω ερωτημάτων του τύπου «γιατί;». Ακόμα κι αν η ερώτηση δεν είναι, στην πραγματικότητα, διατυπωμένη μ' αυτόν τον τρόπο, είναι πολύ συχνά δυνατό να μεταφραστεί σε ερώτηση του τύπου «γιατί;». Για παράδειγμα η ερώτηση «Τι προκάλεσε το ατύχημα του Τσερνομπίλ;» είτε η «Για ποιο λόγο συνέβη το ατύχημα του Τσερνομπίλ;» είναι ισοδύναμες με την ερώτηση «Γιατί συνέβη το ατύχημα του Τσερνομπίλ;» Ωστόσο, δεν

είναι όλες οι ερωτήσεις του τύπου «γιατί;» αναζητήσεις επιστημονικής εξήγησης. Μια υπάλληλος είναι δυνατό να ρωτήσει γιατί πήρε στο μισθό της μικρότερη αύξηση από κάποιον άνδρα συνάδελφό της αφού η εργασιακή της απόδοση είναι τόσο καλή όσο κι εκείνου. Μια τέτοιου είδους ερώτηση «γιατί;» θα μπορούσε να εκληφθεί ως απαίτηση για δικαίωση, ή ίσως, πιο απλά, ως απαίτηση για μεγαλύτερη αμοιβή. Μια θλιμμένη χήρα ίσως ρωτήσει γιατί ο άντρας της πέθανε, παρόλο που κατανοεί πλήρως την ιατρική εξήγηση. Τέτοιου είδους ερώτηση «γιατί;» αποζητά παρηγοριά, όχι εξήγηση. Ορισμένες ερωτήσεις «γιατί;» επιζητούν τεκμήρια. Στην ερώτηση «Γιατί πρέπει να πιστέψουμε πως οι μακρινοί γαλαξίες ταξιδεύουν απομακρυνόμενοι από εμάς με μεγάλες ταχύτητες;» η απάντηση, εν συντομία, είναι: Επειδή έχουμε παρατηρήσει την ερυθρά μετατόπιση. Θυμηθείτε, τώρα, ότι, όπως επισημάναμε στην Παράγραφο 1.1, η ερυθρά μετατόπιση δεν εξηγεί αυτήν τη συνεχή απομάκρυνση. Η συνεχής απομάκρυνση είναι που εξηγεί την ερυθρά μετατόπιση· η ερυθρά μετατόπιση αποτελεί το τεκμήριο για αυτήν τη συνεχή απομάκρυνση. Για λόγους σαφήνειας διακρίνουμε τις ερωτήσεις *«γιατί;» που επιδιώκουν την εξήγηση* από τις ερωτήσεις «γιατί;» που επιδιώκουν άλλου είδους πράγματα, όπως δικαίωση, παρηγοριά ή τεκμήρια.

Είναι δυνατό να επιζητήσουμε όλες τις επιστημονικές εξηγήσεις μέσω ερωτήσεων του τύπου «γιατί;»; Κάποιοι συγγραφείς λένε «ναι» και κάποιοι άλλοι λένε «όχι». Για παράδειγμα, έχει υποστηριχθεί πως κάποιες επιστημονικές εξηγήσεις είναι απαντήσεις σε ερωτήσεις του τύπου *«πώς είναι δυνατόν;»*. Λέγεται από παλιά πως μια γάτα θα προσγειώνεται πάντα στα πέλματά της, ανεξάρτητα από τη στάση που είχε όταν άρχισε να πέφτει. Αλλά αν θυμηθούμε το νόμο της διατήρησης της στροφορμής, μπορεί κάλλιστα να ρωτήσουμε «Πώς είναι δυνατό μια γάτα που αφέθηκε να πέσει από ένα ύψος μερικών μέτρων πάνω από το έδαφος (χωρίς να της προσδώσουμε καμιά ροπή), με τα πόδια της να δείχνουν προς τα πάνω, να στριφογυρίσει έτσι που τα πέλματά της να βρεθούν από κάτω της όταν προσγειώνεται;» Πρόκειται απλώς για μια μη εδραιωμένη πεποίθηση, χωρίς καμιά βάση στην πραγματικότητα; Η απάντηση είναι πως η γάτα μπορεί πραγματικά και ελίσσει το σώμα της με τρόπους που της επιτρέπουν να γυρίσει ανάποδα χωρίς ποτέ να αποκτήσει συνολική στροφορμή διάφορη του μηδενός (βλέπε Frohlich 1980).

Άλλες αναζητήσεις μιας εξήγησης είναι δυνατό να πάρουν τη μορφή *«πώς πραγματικά;»*. Ένα απλό παράδειγμα διαφωτίζει αυτό το σημείο. Η ερώτηση «Πώς δραπέτευσε ο φυλακισμένος;» απαιτεί μια εξήγηση του πώς τα κατάφερε, όχι του γιατί το έκανε. Η απάντηση σ' αυτή την ερώτηση μπορεί να είναι ότι δραπέτευσε αφού πριόνισε τα κάγκελα του κελιού του, χρησιμοποιώντας μια λίμα που κατόρθωσε να του δώσει κρυφά η γυναίκα του. Αν ρωτούσαμε γιατί, η απάντηση μπορεί να ήταν «η έντονη επιθυμία του να βρεθεί μαζί με τη γυναίκα του έξω από τη φυλακή». Για ένα κάπως πιο επιστημονικό παράδειγμα σκεφτείτε την ερώτηση «Πώς έφτασαν μεγάλα θηλαστικά στη Νέα Ζηλανδία;». Η απάντηση είναι ότι ήρθαν με πλοία – πρώτα έφθασαν οι άνθρωποι, και οι άνθρωποι

έφεραν άλλα μεγάλα θηλαστικά. Η σκεφτείτε την ερώτηση «Πώς η γενετική πληροφορία μεταδίδεται από τους γονείς στους απογόνους;» Η απάντηση σ' αυτή την ερώτηση έχει σχέση με τη δομή του μορίου του DNA και με τον γενετικό κώδικα.

Σ' αυτό το κεφάλαιο δεν θα προσπαθήσουμε να επιχειρηματολογήσουμε με τον ένα ή τον άλλο τρόπο σχετικά με το αν όλες οι επιστημονικές εξηγήσεις είναι δυνατό να επιζητηθούν μέσω ερωτήσεων του τύπου «γιατί;». Θα αφήσουμε ανοιχτό το ενδεχόμενο κάποιες εξηγήσεις να μην μπορούν να επιζητηθούν με ερωτήσεις αυτού του τύπου.

1.4 ΜΕΡΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ως ένα ακόμη βήμα προκαταρκτικής διασάφησης, πρέπει να αποκρυσταλλώσουμε μια ορολογία. Κατ' αρχήν κάθε εξήγηση αποτελείται από δύο μέρη, το *εξηγητέο (explanandum)* και το *εξηγούν (explanans)*. Το εξηγητέο είναι το γεγονός που οφείλει να εξηγηθεί. Αυτό το γεγονός μπορεί να είναι ένα *επιμέρους* γεγονός, όπως η έκρηξη του διαστημικού λεωφορείου Τσάλεντζερ, ή ένα *γενικό* γεγονός, όπως ο νόμος διατήρησης της ορμής. Μια πρόταση λέγεται *εξηγητέα πρόταση (explanandum-statement)* όταν ισχυρίζεται ότι το εξηγητέο συνέβη ή ισχύει. Ορισμένες φορές, όταν είναι σημαντικό να αντιδιασταλεί το γεγονός που οφείλει να εξηγηθεί από την πρόταση που το *διατυπώνει*, μπορούμε να αναφερόμαστε στο ίδιο το γεγονός ως το *εξηγητέο γεγονός (explanandum-fact)*. Όταν το εξηγητέο είναι ένα επιμέρους γεγονός, τότε συχνά αναφερόμαστε σ' αυτό ως συμβάν. Δεν προκύπτει δε κανένα πρόβλημα με αυτήν την ορολογία εφόσον έχουμε ξεκαθαρίσει ένα βασικό σημείο. Γενικά, τα όσα συμβαίνουν στον κόσμο μας είναι εξαιρετικά σύνθετα, και πολύ σπάνια προσπαθούμε να εξηγήσουμε όλες τις πλευρές τους. Για παράδειγμα, κατά την εξήγηση της έκρηξης του διαστημοπλοίου Τσάλεντζερ, δεν μας απασχολεί η εξήγηση του γεγονότος ότι σ' αυτό επέβαινε μια γυναίκα, του γεγονότος ότι αυτή ήταν δασκάλα, ή του γεγονότος ότι η ζωή της ήταν ασφαλισμένη για ένα εκατομμύριο δολάρια. Όταν μιλάμε για ένα επιμέρους γεγονός, πρέπει να γίνει αντιληπτό πως αυτός ο όρος αναφέρεται σε ορισμένες μόνο από τις πλευρές τού προς εξέτασιν συμβάντος, όχι σε ολόκληρο τον πλούτο και τη συνθετότητά του.

Το δεύτερο μέρος της εξήγησης είναι το εξηγούν. Εξηγούν είναι αυτό που πραγματοποιεί την εξήγηση. Αποτελείται από οποιαδήποτε γεγονότα, επιμέρους ή γενικά, τα οποία επικαλούμαστε για να εξηγήσουμε το εξηγητέο. Τις προτάσεις που αφορούν αυτά τα γεγονότα μπορούμε να τις ονομάσουμε *εξηγούσες προτάσεις* (explanans-statemetns)· για να αντιδιαστείλουμε αυτά τα γεγονότα από τις προτάσεις που τα διατυπώνουν, μπορούμε να μιλάμε για *εξηγούντα γεγονότα* (*explanans-facts*).

Στις φιλοσοφικές μελέτες περί εξήγησης, ο όρος «εξήγηση» έχει μιαν αμφι-

σημία. Οι περισσότεροι συγγραφείς τον χρησιμοποιούν για να αναφερθούν σε μια γλωσσική οντότητα που συντίθεται από τις εξηγούσες και τις εξηγητέες προτάσεις. Άλλοι τον χρησιμοποιούν για να αναφερθούν στο σύνολο των γεγονότων που περιέχει τα εξηγούντα-γεγονότα και το εξηγητέο-γεγονός. Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτή η αμφισημία δεν είναι επιζήμια και δεν οδηγεί σε σύγχυση. Πρέπει όμως να γνωρίζουμε ότι υπάρχει.

1.5 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΠΑΓΩΓΗ

Όπως θα δούμε, μια φιλοσοφική άποψη περί εξήγησης που ασκεί σημαντική επιρροή θεωρεί όλες τις bona fide* επιστημονικές εξηγήσεις ως επιχειρήματα. Επιχείρημα είναι απλώς ένα σύνολο προτάσεων, μία από τις οποίες απομονώνεται ως αποτελούσα το συμπέρασμα του επιχειρήματος. Οι απομένουσες προτάσεις του συνόλου συνιστούν τις προκείμενες. Μπορεί να υπάρχουν μία ή περισσότερες προκείμενες· δεν απαιτείται ένας πάγια καθορισμένος αριθμός προκειμένων.[3] Οι προκείμενες παρέχουν τη λογική στήριξη του συμπεράσματος.

Όλα τα ορθά, από λογική άποψη, επιχειρήματα κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες, στα παραγωγικά και στα επαγωγικά, ενώ αυτές οι δυο κατηγορίες διαφέρουν θεμελιωδώς μεταξύ τους. Για λόγους που έχουν σχέση με το παρόν κεφάλαιο (αλλά και με κεφάλαια που ακολουθούν) χρειαζόμαστε έναν σχετικά ακριβή χαρακτηρισμό τους. Τέσσερα χαρακτηριστικά είναι πολύ σημαντικά για τη συζήτησή μας.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΕΠΑΓΩΓΗ
1. Σ' ένα έγκυρο επιχείρημα, όλο το περιεχόμενο του συμπεράσματος είναι παρόν, τουλάχιστον υπόρρητα, εντός των προκειμένων. Η παραγωγή είναι *μη ενισχυτική* (*non-ampliative*).	1. Η επαγωγή είναι *ενισχυτική* (*ampliative*). Το συμπέρασμα ενός επαγωγικού επιχειρήματος έχει περιεχόμενο που υπερβαίνει το περιεχόμενο των προκειμένων.
2. Αν οι προκείμενες είναι αληθείς, τότε και το συμπέρασμα πρέπει να είναι αληθές. Η έγκυρη παραγωγή *διατηρεί κατ' αναγκαίο τρόπο την αλήθεια* (*necessarily truth-preserving*) κατά τη μετάβαση από τις προκείμενες στο συμπέρασμα.	2. Ένα ορθό επαγωγικό επιχείρημα είναι δυνατό να έχει αληθείς προκείμενες και ψευδές συμπέρασμα. Η επαγωγή δεν *διατηρεί κατ' αναγκαίο τρόπο την αλήθεια (is not necessarily truth-preserving)* κατά τη μετάβαση από τις προκείμενες στο συμπέρασμα.

* Γνήσιες, καλόπιστες. [Σ.τ.Μ.]

[3] Λόγω ορισμένων τεχνικών ιδιαιτεροτήτων, υπάρχουν και παραγωγικά (deductive) επιχειρήματα χωρίς καμία προκείμενη, όμως επιχειρήματα αυτού του είδους δεν υπάρχουν στα παρακάτω.

3. Αν νέες προκείμενες προστεθούν σ' ένα έγκυρο παραγωγικό επιχείρημα (και καμία από τις αρχικές προκείμενες δεν έχει μετατραπεί ή απαλειφθεί), το επιχείρημα παραμένει έγκυρο. Η παραγωγή είναι *αδιάβρωτη* (*erosion-proof*).

3. Νέες προκείμενες είναι δυνατό να υπονομεύσουν πλήρως ένα ισχυρό επαγωγικό επιχείρημα. Η επαγωγή *δεν είναι αδιάβρωτη* (*is not erosion-proof*).

4. Η εγκυρότητα της παραγωγής είναι μια υπόθεση του *όλα ή τίποτα*· η εγκυρότητα δεν είναι κάτι που υφίσταται κατά βαθμούς. Ένα επιχείρημα είναι ολοκληρωτικά είτε έγκυρο είτε μη έγκυρο.

4. Τα επαγωγικά επιχειρήματα χαρακτηρίζονται από *βαθμούς ισχυρότητας* (*degrees of strength*). Σε ορισμένες επαγωγές, οι προκείμενες στηρίζουν τα συμπεράσματα περισσότερο ισχυρά απ' ό,τι σε άλλες.

Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να φανούν καλύτερα με τη βοήθεια απλών παραδειγμάτων που έχουν γίνει κλασικά.

(1) Όλοι οι άνθρωποι είναι θνητοί.

Ο Σωκράτης είναι άνθρωπος.

Ο Σωκράτης είναι θνητός.

Το επιχείρημα (1) αποτελεί καταφανώς μια έγκυρη παραγωγή. Έχοντας πει ότι όλοι οι άνθρωποι είναι θνητοί, έχουμε ήδη πει πως ο Σωκράτης είναι θνητός, δεδομένου του ότι ο Σωκράτης είναι άνθρωπος. Έτσι η παραγωγή δεν είναι ενισχυτική. Ακριβώς επειδή δεν είναι ενισχυτική, διατηρεί την αλήθεια κατ' αναγκαίο τρόπο. Απ' τη στιγμή που το συμπέρασμα δεν λέει τίποτα που να μην έχει ήδη διατυπωθεί στις προκείμενες, αυτό που λέει το συμπέρασμα *πρέπει* να είναι αληθές, αν αυτό που βεβαιώνουν οι προκείμενες είναι αληθές. Επιπλέον, το επιχείρημα παραμένει μη ενισχυτικό και γι' αυτό διατηρεί κατ' αναγκαίο τρόπο την αλήθεια, αν προστεθούν νέες προκείμενες – όπως, για παράδειγμα, η προκείμενη «Η Ξανθίππη είναι άνθρωπος». Δεν μπορείς να καταστήσεις μια έγκυρη παραγωγή μη έγκυρη, με το να προσθέτεις απλώς προκείμενες. Τελικά, οι προκείμενες στηρίζουν το συμπέρασμα ολοκληρωτικά, όχι απλώς κατά κάποιο βαθμό· η αποδοχή των προκείμενων και η απόρριψη του συμπεράσματος θα συνιστούσε ολοκάθαρη αυτοαναίρεση (self-contradiction).

(2) Τα κοράκια που παρατηρήθηκαν ήταν μαύρα.

Όλα το κοράκια είναι μαύρα.

Αυτό το επιχείρημα είναι εμφανέστατα ενισχυτικό· η προκείμενη αναφέρεται μόνο στα κοράκια που έχουν παρατηρηθεί, ενώ το συμπέρασμα βεβαιώνει κάτι

για όλα τα κοράκια, παρατηρημένα ή μη. Το επιχείρημα δεν διατηρεί κατ' αναγκαίο τρόπο την αλήθεια. Είναι απολύτως δυνατόν να υπάρχει, να υπήρξε ή να υπάρξει –κάπου ή κάποτε– ένα κοράκι είτε άσπρο είτε διαφορετικού χρώματος. Το επιχείρημα δεν είναι αδιάβρωτο· η παρατήρηση ενός μη μαύρου κορακιού θα το υπονόμευε εντελώς, ενώ η ισχυρότητά του είναι θέμα βαθμού. Αν είχαν παρατηρηθεί μόνον λίγα κοράκια σ' ένα περιορισμένο περιβάλλον, η προκείμενη δεν θα στήριζε το συμπέρασμα αρκετά ισχυρά· αν έχουν παρατηρηθεί τεράστιοι αριθμοί κορακιών κάτω από μια μεγάλη ποικιλία συνθηκών, η στήριξη θα ήταν πολύ ισχυρότερη. Όμως σε καμιά απ' τις δυο περιπτώσεις το συμπέρασμα δεν θα συναγόταν αναγκαία από την προκείμενη.

Η εγκυρότητα της παραγωγής και η ορθότητα της επαγωγής δεν εξαρτώνται από την αλήθεια των προκείμενων ή του συμπεράσματος του επιχειρήματος. Μια έγκυρη παραγωγή μπορεί να έχει αληθείς προκείμενες και αληθές συμπέρασμα, μια ή περισσότερες ψευδείς προκείμενες και ψευδές συμπέρασμα, και μια ή περισσότερες ψευδείς προκείμενες και αληθές συμπέρασμα.[4] Όταν λέμε ότι μια έγκυρη παραγωγή διατηρεί κατ' αναγκαίο τρόπο την αλήθεια, εννοούμε πως το συμπέρασμα πρέπει να είναι αληθές *αν οι προκείμενες είναι αληθείς*. Έτσι, δεν γίνεται να υπάρξει μια έγκυρη παραγωγή με αληθείς προκείμενες και ψευδές συμπέρασμα. Σε ό,τι αφορά τα ορθά επαγωγικά επιχειρήματα, οποιοσδήποτε συνδυασμός αληθοτιμών για τις προκείμενες και το συμπέρασμα είναι δυνατός, εφ' όσον δεν διατηρούν την αλήθεια κατ' αναγκαίο τρόπο. Αυτό που θα θέλαμε να πούμε σχετικά είναι ότι αν οι προκείμενες ενός επαγωγικού επιχειρήματος είναι αληθείς (και ενσωματώνουν όλη τη συναφή γνώση), τότε το συμπέρασμα είναι πιθανό. Όπως όμως θα δούμε στο Κεφάλαιο 2, ανακύπτουν πολλές σοβαρές δυσκολίες όταν προσπαθήσουμε να υποστηρίξουμε αυτόν τον ισχυρισμό για τα επαγωγικά επιχειρήματα.

Διαλέξαμε σχεδόν τετριμμένα παραδείγματα για να διευκρινίσουμε τις βασικές έννοιες. Προφανώς, στην πραγματική επιστήμη τα επιχειρήματα είναι πολύ πιο σύνθετα. Τα περισσότερα από τα παραγωγικά επιχειρήματα που συναντάμε σε αυστηρά επιστημονικά πλαίσια είναι μαθηματικές συναγωγές, κι αυτές μπορεί να γίνουν εξαιρετικά πολύπλοκες. Παρ' όλα αυτά, βασικό γεγονός παραμένει πως όλα πληρούν τα τέσσερα χαρακτηριστικά που καταχωρήθηκαν παραπάνω. Μολονότι στη φιλοσοφία των μαθηματικών προκύπτουν βαθιά και ενδιαφέροντα προβλήματα, δεν είναι αυτά το πρωτεύον αντικείμενο του ενδιαφέροντός μας σ' αυτό το βιβλίο. Η προσοχή μας εστιάζεται στις εμπειρικές επιστήμες, οι οποίες, όπως υποστηρίζουμε στο Κεφάλαιο 2, εμπλέκουν αναγκαστικά την επα-

---

[4] Το γνωστό σλόγκαν "Garbage in, garbage out", δέν χαρακτηρίζει επακριβώς τα επαγωγικά επιχειρήματα. [Σε ελεύθερη απόδοση αυτό σημαίνει «σκουπίδια μπαίνουν, σκουπίδια βγαίνουν». Το ρητό χρησιμοποιείται κυρίως στις συζητήσεις της επιστήμης των υπολογιστών και αντανακλά την ουσιαστική αδιαφορία για το συγκεκριμένο περιεχόμενο των δεδομένων εισόδου και εξόδου σε μια υπολογιστική μηχανή. (Σ.τ.Μ.)]

γωγή. Σε εκείνο το κεφάλαιο θα συναντήσουμε πολύ πιο σύνθετα και ενδιαφέροντα επαγωγικά επιχειρήματα.

1.6 ΥΠΑΡΧΕΙ ΚΑΤΙ ΣΑΝ ΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΞΗΓΗΣΗ;

Η ιδέα πως η επιστήμη μπορεί να παρέχει εξηγήσεις διαφόρων φαινομένων πηγαίνει πίσω μέχρι τον Αριστοτέλη (4ος αιώνας π.Χ.), και έχει έκτοτε επαναβεβαιωθεί από πολλούς φιλοσόφους και επιστήμονες. Ωστόσο, πολλοί άλλοι φιλόσοφοι και επιστήμονες έχουν υποστηρίξει πως η επιστήμη πρέπει να «μένει προσκολλημένη στα γεγονότα» και πως, κατά συνέπεια, μπορεί να απαντά μόνο σε ερωτήσεις περί του *τι* και όχι περί του *γιατί*. Οι ίδιοι πίστεψαν πως για να κατανοήσουμε «το *γιατί* των πραγμάτων», πρέπει να καταφύγουμε στη θεολογία ή τη μεταφυσική. Η επιστήμη είναι σε θέση να περιγράφει τα φυσικά φαινόμενα και να προβλέπει μελλοντικά συμβάντα, αλλά δεν είναι σε θέση να παρέχει εξηγήσεις. Αυτή η άποψη κυριαρχούσε στη διάρκεια των πρώτων δεκαετιών του εικοστού αιώνα. Αφού βασίζεται σε συγκεκριμένες παρανοήσεις σχετικές με την επιστημονική εξήγηση, πρέπει να πούμε κάποια πράγματα επ' αυτού.

Όταν επιχειρεί κανείς να εξακριβώσει το γιατί κάποιος έκανε κάτι, είναι αρκετά φυσικό να αναζητά ένα συνειδητό (ή ίσως ασυνείδητο) κίνητρο. Για παράδειγμα, την ερώτηση «Γιατί αγόρασες αυτό το βιβλίο;» μπορεί να την ακολουθήσει η εξής ικανοποιητική απάντηση: «Επειδή ήθελα να διαβάσω ένα διασκεδαστικό μυθιστόρημα, και έχω διαβάσει αρκετά άλλα μυθιστορήματα του ίδιου συγγραφέα που τα βρήκα όλα διασκεδαστικά.» Αυτός ο τύπος εξήγησης είναι ικανοποιητικός, γιατί μπορούμε να βάλουμε τους εαυτούς μας στη θέση του υποκειμένου και να *καταλάβουμε* πώς δουλεύει ένα τέτοιο κίνητρο. Η έννοια της *κατανόησης* είναι αποφασιστικής σημασίας σ' αυτό το πλαίσιο, γιατί υποδηλώνει ότι συμμετέχουμε συναισθηματικά στην κατάσταση του άλλου. Αν επιθυμούμε το είδος της κατανόησης που αντιστοιχεί σ' αυτό τό είδος συναισθηματικής συμμετοχής και για τα εξωανθρώπινα φαινόμενα, τότε πρέπει να αναζητήσουμε αλλού το σκοπό ή τα συναφή κίνητρα. Κάτι που έρχεται αμέσως στο νου είναι να καταστήσουμε την προέλευση του σκοπού υπερφυσική. Έτσι, πριν από τον Δαρβίνο, η ποικιλία των ειδών των έμβιων όντων εξηγούνταν με την *ειδική δημιουργία* (special creation) – δηλαδή με τη θέληση του Θεού. Μια ανάλογη άποψη –που την υποστήριζαν ορισμένοι, αλλά όχι όλοι οι *βιταλιστές*– ήταν η ιδέα πως πίσω από όλα τα ζωικά φαινόμενα υπάρχει μια ζωτική δύναμη ή *εντελέχεια* που καθοδηγεί ό,τι συμβαίνει. Αυτές οι οντότητες –εντελέχειες και ζωτικές δυνάμεις– δεν υπόκεινται σε εμπειρική έρευνα.

Η εμμονή να εξηγηθούν όλες οι πλευρές της φύσης από τη σκοπιά του ανθρώπου είναι γνωστή ως *ανθρωπομορφισμός*. Η υπόθεση –ευρύτατα διαδεδομένη πριν από την εμφάνιση την νεοτερικής επιστήμης– πως το σύμπαν είναι ένα βολικό σπιτικό δημιουργημένο για χάρη μας, με τους ανθρώπους στο κέντρο του,

είναι μια ανθρωπομορφική σύλληψη. Τα δόγματα της ειδικής δημιουργίας και κάποιες μορφές βιταλισμού είναι ανθρωπομορφικά. Η αποκαλούμενη «επιστήμη της δημιουργίας» είναι ανθρωπομορφική. Η τελεολογική εξήγηση των εξωανθρώπινων φαινομένων με βάση σκοπούς παρόμοιους με εκείνους των ανθρώπων είναι ανθρωπομορφική.[5]

Πολλοί φιλόσοφοι και επιστήμονες απέρριψαν την προσφυγή σε ανθρωπομορφικές και τελεολογικές εξηγήσεις ως προσφυγή σε υποθέσεις που δεν θα μπορούσαν ούτε κατ' αρχήν να εξεταστούν από την εμπειρική επιστήμη. Αν, λένε, αυτό είναι που απαιτεί η εξήγηση, τότε δεν θέλουμε κανένα πάρε-δώσε μαζί της. Η επιστήμη, πολύ απλά, δεν ενδιαφέρεται να εξηγήσει τα φυσικά φαινόμενα· όποιος θέλει εξηγήσεις πρέπει να ψάξει γι' αυτές έξω από την επιστήμη. Οι επιστήμονες και οι φιλόσοφοι που υποστήριζαν αυτές τις απόψεις ήθελαν να δείξουν με σαφήνεια ότι η επιστημονική γνώση δεν εδράζεται σε μη εμπειρικές μεταφυσικές αρχές.

Ωστόσο δεν ήταν όλοι οι φιλόσοφοι πρόθυμοι να παραιτηθούν από τον ισχυρισμό ότι η επιστήμη όντως παρέχει εξηγήσεις των φυσικών φαινομένων. Οι Καρλ Πόππερ (Karl R. Popper 1935), Καρλ Χέμπελ (Carl G. Hempel 1948), P. Μπ. Μπρέιθγουεητ (R. B. Braithwaite 1953) και Έρνεστ Νάγκελ (Ernest Nagel 1961), δημοσίευσαν σημαντικές εργασίες όπου υποστήριζαν πως υπάρχουν νόμιμες επιστημονικές εξηγήσεις, και ότι τέτοιες εξηγήσεις είναι δυνατό να παρέχονται χωρίς να οδηγούμαστε έξω από τα όρια της εμπειρικής επιστήμης. Οι ίδιοι επιχείρησαν να χαρακτηρίσουν επακριβώς την επιστημονική εξήγηση, ενώ ήταν όλοι σε μεγάλο βαθμό σύμφωνοι ως προς τον πυρήνα της επιχειρηματολογίας. Η γραμμή σκέψης που ακολούθησαν αναπτύχθηκε σε μια θεωρία που έγινε ευρύτατα αποδεκτή από τους φιλοσόφους της επιστήμης. Θα μιλήσουμε γι' αυτήν διεξοδικά σε επόμενες παραγράφους αυτού του κεφαλαίου.

1.7 ΕΧΕΙ Η ΕΞΗΓΗΣΗ ΝΑ ΚΑΝΕΙ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΟΙΚΕΙΟ;

Έχει κατά καιρούς διατυπωθεί η άποψη πως η εξήγηση συνίσταται στην αναγωγή του μυστηριώδους και του ανοίκειου σε εκείνο που είναι οικείο. Πριν από τον Νεύτωνα, για παράδειγμα, οι κομήτες εκλαμβάνονταν ως αντικείμενα μυστηριώδη και τρομακτικά. Ακόμα και για τους μορφωμένους ανθρώπους, η εμφάνιση ενός κομήτη σηματοδοτούσε επικείμενες συμφορές, όπως σεισμούς, πλημμύρες, λιμούς ή επιδημικές αρρώστιες. Ο Νεύτωνας έδειξε πως οι κομήτες θα μπορούσαν να κατανοηθούν ως πλανητοειδή αντικείμενα που ταξιδεύουν γύρω

[5] Όπως δείχνει ο Τζέιμς Λένοξ στο κεφάλαιο 7, οι τελεολογικές εξηγήσεις είναι ανθρωπομορφικές μόνον όσο επικαλούνται ανθρωπικούς σκοπούς. Στην εξελικτική Βιολογία – όπως και σε άλλα επιστημονικά πεδία – υπάρχουν τελεολογικές εξηγήσεις που δεν είναι ανθρωπομορφικές.

από τον ήλιο σε ιδιαίτερα έκκεντρες τροχιές. Γι' αυτόν το λόγο οι κομήτες περνούν τον περισσότερο χρόνο τους μακριά από τον ήλιο και πέρα από τα όρια της ανθρώπινης παρατήρησης. Έτσι, όταν εμφανιζόταν κάποιος κομήτης, αυτό αποτελούσε έκπληξη. Όταν όμως μάθαμε πως οι κομήτες συμπεριφέρονται με τρόπο εν πολλοίς όμοιο με εκείνον που συμπεριφέρονται οι πλανήτες, η συμπεριφορά τους εξηγήθηκε, και αυτοί έπαψαν να αποτελούν αντικείμενα τρόμου.

Η ιδέα της αναγωγής του ανοίκειου στο οικείο ίσως είναι ελκυστική, αλλά δεν αποτελεί ικανοποιητικό προσδιορισμό της επιστημονικής εξήγησης. Το περί τίνος πρόκειται μπορεί να δειχθεί με τη βοήθεια ενός περίφημου γρίφου, γνωστού ως *το παράδοξο του Όλμπερ* (Olber) –που ονομάστηκε έτσι προς τιμήν ενός αστρονόμου του δεκάτου ενάτου αιώνα, αλλά στην πραγματικότητα διατυπώθηκε από τον Έντμουντ Χάλλευ (Edmund Halley) το 1720– γιατί ο ουρανός είναι σκοτεινός τη νύχτα; Τίποτα δεν θα μπορούσε να είναι πιο οικείο από τη σκοτεινιά του νυχτερινού ουρανού. Όμως ο Χάλλευ και οι μετέπειτα αστρονόμοι διαπίστωσαν πως αν η αντίληψη του Νεύτωνα για το σύμπαν ήταν σωστή, τότε ο νυχτερινός ουρανός θα έπρεπε να λάμπει όσο και ο ήλιος το καταμεσήμερο. Η εξήγηση της σκοτεινιάς του ουρανού τη νύχτα είναι εξαιρετικά δύσκολη, κι ίσως δεν υπάρχει κάποια απάντηση γενικώς αποδεκτή από τους ειδικούς. Εν τούτοις, ανάμεσα στις σοβαρές εξηγήσεις που έχουν προταθεί, κάποιες προσφεύγουν και σε γεγονότα τόσο ανοίκεια όσο ο μη Ευκλείδειος χαρακτήρας του χώρου ή η μέση ελεύθερη διαδρομή των φωτονίων στο διάστημα. Σε αυτή την περίπτωση, και σε πολλές άλλες επίσης, ένα οικείο φαινόμενο εξηγείται με αναφορά σε γεγονότα που βρίσκονται πραγματικά μακριά από κάθε έννοια οικειότητας.

Υποψιάζομαι πως υφίσταται μια βαθιά σχέση μεταξύ της ανθρωπομορφικής σύλληψης της εξήγησης και της θέσης ότι η εξήγηση συνίσταται στην αναγωγή του ανοίκειου στο οικείο. Ο τύπος εξήγησης με τον οποίο είμαστε καλύτερα εξοικειωμένοι είναι αυτός κατά τον οποίο η ανθρώπινη δράση εξηγείται με βάση συνειδητές προθέσεις. Αν ήταν δυνατό να εξηγήσουμε τα φαινόμενα της Φυσικής ή της Βιολογίας μέσω προσπαθειών να επιτύχουμε ένα στόχο, τότε θα είχαμε μια χτυπητή περίπτωση αναγωγής στο οικείο. Το πρόβλημα που εμφανίζεται μ' αυτήν την προσέγγιση είναι, φυσικά, το γεγονός ότι ένα μεγάλο μέρος της προόδου που επιτεύχθηκε προς την κατεύθυνση της επιστημονικής κατανόησης οδήγησε στην εξάλειψη, και όχι στην εισαγωγή, σκοπών.

1.8 ΤΟ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟ-ΝΟΜΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΕΞΗΓΗΣΗΣ

Σε μια κλασική εργασία του 1948, οι Καρλ Χέμπελ και Πολ Οπενχάιμ (Paul Oppenheim) διαμόρφωσαν με πολύ μεγάλη ακρίβεια ένα σχήμα επιστημονικής εξήγησης το οποίο κατέχει έκτοτε κεντρική θέση σε όλες τις σχετικές συζητή-

σεις. Αυτό είναι γνωστό ως το *παραγωγικο-νομολογικό (Π-Ν) (deductive-nomological, D-N) μοντέλο* της επιστημονικής εξήγησης. Με πολύ απλά λόγια, μια εξήγηση αυτού του τύπου εξηγεί με το να υπάγει το εξηγητέο γεγονός σε έναν γενικό νόμο. Ο καλύτερος τρόπος για να γίνει αντιληπτή η αξία του μοντέλου είναι να ρίξουμε μια ματιά σε ένα παράδειγμα.

Μια αθλήτρια της καλλιτεχνικής παγοδρομίας στέκεται με το χέρια της στην έκταση, ισορροπώντας πάνω στο ένα πατίνι. Ωθώντας τον εαυτό της με το άλλο πατίνι, αρχίζει να περιστρέφεται αργά. Σταματά να ωθεί τον εαυτό της, αλλά εξακολουθεί να περιστρέφεται αργά για μερικά δευτερόλεπτα. Ξαφνικά –χωρίς να ωθήσει ξανά τον εαυτό της και χωρίς να δεχθεί ώθηση από κάποιο εξωτερικό σώμα, όπως π.χ. τον παρτενέρ της– αρχίζει να στριφογυρίζει πολύ γρήγορα. Γιατί; Διότι τράβηξε τα χέρια της κοντά στο σώμα της, συγκεντρώνοντας έτσι όλη τη μάζα του σώματός της πιο κοντά στον άξονα περιστροφής. Εξαιτίας του νόμου της διατήρησης της στροφορμής, ο ρυθμός περιστροφής της έπρεπε να αυξηθεί, ώστε να λειτουργήσει αντισταθμιστικά για τη νέα, πιο συμπαγή, διαμόρφωση του σώματός της.

Μιλώντας περισσότερο τεχνικά, η στροφορμή ενός σώματος είναι το γινόμενο της γωνιακής του ταχύτητας (ρυθμός περιστροφής) επί τη ροπή αδράνειάς του. Η ροπή αδράνειας εξαρτάται από τη μάζα του σώματος και τη μέση απόσταση της μάζας από τον άξονα περιστροφής· για μια συγκεκριμένη ποσότητα μάζας, η ροπή αδράνειας είναι τόσο μικρότερη όσο πιο πυκνά κατανεμημένη είναι αυτή γύρω από τον άξονα περιστροφής. Ο νόμος της διατήρησης της στροφορμής λέει ότι η στροφορμή ενός σώματος που δεν προωθείται ούτε επιβραδύνεται από εξωτερικές δυνάμεις δεν μεταβάλλεται· ως εκ τούτου, αφού η ροπή αδράνειας μειώνεται, ο ρυθμός περιστροφής πρέπει να αυξηθεί για να διατηρηθεί σταθερή η τιμή του γινομένου τους.[6]

Σύμφωνα με τους Χέμπελ και Οπενχάιμ, μια εξήγηση του είδους που αναφέρθηκε πρέπει να θεωρηθεί ως ένα παραγωγικό επιχείρημα. Αυτό μπορεί να καταστρωθεί με πιο τυπικό τρόπο ως εξής:

(3) Η στροφορμή οποιουδήποτε σώματος (του οποίου ο ρυθμός περιστροφής ούτε αυξάνεται ούτε μειώνεται από εξωτερικές δυνάμεις) παραμένει σταθερή.
Η αθλήτρια δεν αλληλεπιδρά με οποιοδήποτε εξωτερικό σώμα με τρόπο που να μεταβάλλει τη γωνιακή της ταχύτητα.
Η αθλήτρια περιστρέφεται (η στροφορμή της δεν είναι μηδέν).
Η αθλήτρια μειώνει τη ροπή αδράνειάς της τραβώντας τα χέρια της προς το σώμα της.

Ο ρυθμός περιστροφής της αθλήτριας αυξάνεται.

---

[6] Σε αυτό το παράδειγμα μπορούμε να αγνοήσουμε την τριβή του πατινιού ως προς τον πάγο, καθώς και την τριβή της αθλήτριας ως προς τον αέρα που την περιβάλλει.

Το εξηγητέο –η αύξηση του ρυθμού περιστροφής της αθλήτριας– είναι το συμπέρασμα του επιχειρήματος. Οι προκείμενες του επιχειρήματος συνιστούν το εξηγούν. Η πρώτη προκείμενη διατυπώνει ένα νόμο της φύσης – το νόμο διατήρησης της στροφορμής. Οι εναπομένουσες τρεις προκείμενες διατυπώνουν τις συνθήκες της υπόθεσης* (antecedent conditions). Το επιχείρημα είναι λογικώς ορθό· το συμπέρασμα απορρέει έγκυρα από τις προκείμενες. Για λόγους που έχουν να κάνουν με τη συζήτησή μας, μπορούμε να θεωρήσουμε τις προτάσεις που διατυπώνουν τις συνθήκες της υπόθεσης ως αληθείς· οι πεπειραμένοι αθλητές της καλλιτεχνικής παγοδρομίας πραγματοποιούν αυτήν τη φιγούρα πολύ συχνά. Ο νόμος διατήρησης της στροφορμής μπορεί επίσης να θεωρηθεί αληθής, αφού είναι θεμελιώδης νόμος της φυσικής που έχει επικυρωθεί από μια τεράστια ποσότητα εμπειρικών δεδομένων.

Οι Χέμπελ και Οπενχάιμ παραθέτουν τέσσερις συνθήκες επάρκειας για τις Π-Ν εξηγήσεις:

1. Το εξηγητέο πρέπει να είναι λογική συνέπεια του εξηγούντος, δηλαδή η εξήγηση πρέπει να συνιστά ένα λογικά έγκυρο παραγωγικό επιχείρημα.
2. Στο εξηγούν πρέπει να περιέχεται τουλάχιστον ένας γενικός νόμος, ο οποίος θα πρέπει να είναι απαραίτητος για τη συναγωγή του εξηγητέου. Με άλλα λόγια, αν ο νόμος ή οι νόμοι εξαλείφονταν, χωρίς να προστεθούν νέες προκείμενες, τότε το επιχείρημα δεν θα ήταν πλέον έγκυρο.
3. Το εξηγούν πρέπει να έχει εμπειρικό περιεχόμενο. Πρέπει να είναι δυνατός, κατ' αρχήν τουλάχιστον, ο έλεγχός του μέσω πειράματος ή παρατήρησης.
4. Οι προτάσεις που συνιστούν το εξηγούν πρέπει να είναι αληθείς.

Αυτές οι συνθήκες πληρούνται εμφανώς στο παράδειγμά μας. Οι τρεις πρώτες έχουν καταχωρηθεί ως *λογικές* συνθήκες επάρκειας, η τέταρτη ως *εμπειρική*. Ένα επιχείρημα που πληροί και τις τέσσερις συνθήκες συνιστά μια εξήγηση (ορισμένες φορές για να δώσουμε έμφαση λέμε «αληθή εξήγηση»). Ένα επιχείρημα που πληροί τις τρεις πρώτες συνθήκες, χωρίς να πληροί απαραίτητα και την τέταρτη, ονομάζεται *δυνάμει εξήγηση*. Πρόκειται για ένα επιχείρημα που θα ήταν εξήγηση αν οι προκείμενές του ήταν αληθείς.[7]

Σύμφωνα με τους Χέμπελ και Οπενχάιμ, είναι δυνατό να έχουμε Π-Ν εξηγήσεις όχι μόνον επιμέρους συμβάντων, όπως στο επιχείρημα (3), αλλά και γενικών νόμων. Για παράδειγμα, στο πλαίσιο της Νευτώνειας μηχανικής είναι δυνατό να φτιάξουμε το ακόλουθο επιχείρημα:

---

* Ή «ηγούμενες συνθήκες». [Σ.τ.Μ.]

[7] Εκτός από αυτές τις συνθήκες επάρκειας, οι Χέμπελ και Οπενχάιμ μάς παρέχουν και έναν ακριβή τεχνικό ορισμό της «εξήγησης». Σ' αυτό το βιβλίο δεν θα καταπιαστούμε με αυτές τις τεχνικές λεπτομέρειες.

(4) $F = ma$ (Δεύτερος νόμος του Νεύτωνα).
Σε κάθε δράση αντιστοιχεί μία ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς αντίδραση. (Τρίτος νόμος του Νεύτωνα).

Σε κάθε αλληλεπίδραση, το συνολικό ποσό της ορμής του συστήματος των αλληλεπιδρώντων σωμάτων παραμένει σταθερό (νόμος διατήρηση της ορμής).

Το επιχείρημα αυτό είναι έγκυρο, ενώ μεταξύ των προκείμενών του υπάρχουν προτάσεις που διατυπώνουν γενικούς νόμους. Δεν υπάρχουν προτάσεις που να διατυπώνουν συνθήκες υπόθεσης, αλλά αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα, αφού οι συνθήκες επάρκειας δεν τις απαιτούν. Επειδή δεν ενδιαφερόμαστε να εξηγήσουμε συγκεκριμένα γεγονότα, δεν απαιτούνται προκείμενες που να αφορούν συγκεκριμένα γεγονότα. Και οι δυο προκείμενες στο εξηγούν είναι εμφανώς ελέγξιμες, γιατί έχουν ήδη ελεγχθεί αμέτρητες φορές. Έτσι το επιχείρημα (4) πληροί τις λογικές συνθήκες επάρκειας, και συνεπώς αποκτά τα χαρακτηριστικά μιας δυνάμει εξήγησης. Για να κυριολεκτήσουμε, αυτό δεν απέκτησε ακόμα τα χαρακτηριστικά μιας αληθούς εξήγησης, γιατί δεν θεωρούμε τους νόμους του Νεύτωνα κυριολεκτικά αληθείς. Σε πολλές περιπτώσεις αυτοί μπορούν να εκληφθούν ως ορθοί, επειδή προσφέρουν εξαιρετικά ακριβείς προσεγγίσεις της αλήθειας.

Παρόλο που οι Χέμπελ και Οπενχάιμ ασχολήθηκαν και με παραγωγικές εξηγήσεις επιμέρους γεγονότων και με παραγωγικές εξηγήσεις γενικών νόμων, μας έδωσαν μιαν ακριβή περιγραφή των χαρακτηριστικών μόνο των πρώτων από αυτές, και όχι των δεύτερων. Απέφυγαν να περιγράψουν τα χαρακτηριστικά των εξηγήσεων γενικών νόμων λόγω ενός προβλήματος που οι ίδιοι διέγνωσαν αλλά που δεν ήξεραν πώς να το λύσουν. Θεωρήστε τους νόμους *K* του Κέπλερ (Kepler) για την πλανητική κίνηση και το νόμο των αερίων *B* του Μπόιλ (Boyle). Αν, από τη μια μεριά, συζεύξουμε λογικά τους δυο νόμους και σχηματίσουμε έναν νόμο *K.B*, τότε μπορούμε προφανώς να συναγάγουμε τον *K* απ' αυτόν. Όμως αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί εξήγηση του *K*, αφού αποτελεί μόνο μιαν άνευ ουσίας συναγωγή του *K* από τον εαυτό του. Από την άλλη, η συναγωγή του K από τους νόμους του Νεύτωνα για την κίνηση και τη βαρύτητα συνιστά μια εξαιρετικά διαφωτιστική εξήγηση των νόμων του Κέπλερ. Οι ίδιοι οι Χέμπελ και Οπενχάιμ ομολόγησαν πως τους ήταν αδύνατο να παράσχουν ένα οποιοδήποτε κριτήριο που να μπορεί να διακρίνει τις άνευ ουσίας ψευδο-εξηγήσεις από τις αυθεντικές εξηγήσεις νόμων (βλέπε Hempel και Oppenheim 1948, όπως ανατυπώθηκε στο Hempel 1965b, 273, σημ. 33).

Οι Χέμπελ και Οπενχάιμ εντόπισαν δύο τύπους Π-Ν εξηγήσεων, μολονότι ήταν σε θέση να δώσουν μια πλήρη περιγραφή μόνο για τον έναν απ' αυτούς. Σημείωσαν δε πως στις επιστήμες μπορεί να βρεθούν και άλλοι τύποι εξήγησης, και ειδικότερα, εξηγήσεις που δεν προσφεύγουν σε καθολικές γενικεύσεις αλλά σε στατιστικούς νόμους (ό.π., 250-251).

Ο πίνακας 1.1 δείχνει τα τέσσερα είδη εξηγήσεων στο οποία επέστησαν την προσοχή μας οι Χέμπελ και Οπενχάιμ· οι ίδιοι μας πρόσφεραν μια πλήρη περιγραφή μόνο του τύπου που βρίσκεται στο πάνω αριστερά ορθογώνιο. Μερικά χρόνια αργότερα, ο Χέμπελ (Hempel 1962) έδωσε μια περιγραφή του Ε-Σ Επαγωγικο-Στατιστικού τύπου (ορθογώνιο κάτω αριστερά). Στην εργασία του (Hempel 1965β) ο Χέμπελ επεξεργάστηκε και τον Ε-Σ και τον Π-Ν τύπο. Σε ένα άρθρο τους το 1948, οι Χέμπελ και Οπενχάιμ οραματίζονταν την εποχή όπου θα ήταν διαθέσιμες θεωρίες που θα καταπιάνονταν και με τους τέσσερις τύπους εξήγησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1

ΕΞΗΓΗΤΕΑ / *ΝΟΜΟΙ*	*Επιμέρους Γεγονότα*	*Γενικές Κανονικότητες*
Καθολικοί Νόμοι	Π-Ν Παραγωγικο-νομολογικοί	Π-Ν Παραγωγικο-νομολογικοί
Στατιστικοί Νόμοι	Ε-Σ Επαγωγικο-στατιστικοί	Π-Σ Παραγωγικο-στατιστικοί

1.9 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ

Οι Χέμπελ και Οπενχάιμ έδωσαν έμφαση στον αποφασιστικής σημασίας ρόλο που παίζουν οι νόμοι στην επιστημονική εξήγηση. Στην πραγματικότητα, το Π-Ν μοντέλο πολύ συχνά ονομάζεται *μοντέλο του επικαλύπτοντος νόμου (covering-law model)*. Όπως θα δούμε, οι νόμοι παίζουν κεντρικό ρόλο ακόμα και σε άλλες αντιλήψεις περί επιστημονικής εξήγησης. Πρόχειρα μιλώντας, *νόμος* είναι μια κανονικότητα που έχει ισχύ για όλο το σύμπαν, σε κάθε τόπο και σε κάθε χρόνο. Μια *πρόταση-δηλώνουσα-νόμο* (*law-statement*) είναι απλώς μια πρόταση που δηλώνει ότι μια τέτοια κανονικότητα υφίσταται. Ένα πρόβλημα εμφανίζεται αμέσως. Κάποιες κανονικότητες εμφανίζονται ως έννομες (lawful) και κάποιες άλλες όχι. Αναλογιστείτε ορισμένα παραδείγματα νόμων:

(i) Όλα τα αέρια που περιέχονται σε δοχεία σταθερού όγκου ασκούν μεγαλύτερη πίεση όταν θερμαίνονται.
(ii) Σε όλα τα κλειστά συστήματα η ποσότητα της ενέργειας παραμένει σταθερή.
(iii) Κανένα σήμα δεν ταξιδεύει ταχύτερα από το φως.

Καλείστε τώρα να τις αντιδιαστείλετε με αυτές που ακολουθούν:

(iv) Όλα τα μήλα μέσα στο ψυγείο μου είναι κίτρινα.
(v) Όλες οι εργασίες της καλαθοποιίας των Απάτσι γίνονται από τις γυναίκες.
(vi) Καμιά χρυσή σφαίρα δεν έχει μάζα μεγαλύτερη από 100.000 χιλιόγραμμα.

Ας υποθέσουμε ότι όλες οι προτάσεις (i)-(vi) είναι αληθείς. Το πρώτο πράγμα που προσέχουμε είναι η γενικότητά τους. Κάθε μια απ' αυτές έχει τη γενική μορφή «Όλα τα *A* είναι *B*» ή «Κανένα *A* δεν είναι *B*». Προτάσεις που έχουν αυτή τη μορφή είναι γνωστές ως *καθολικές γενικεύσεις*. Σημαίνουν αντίστοιχα «*Οτιδήποτε* είναι *A* είναι επίσης και *B*» και «*Τίποτα απ'* ό,τι είναι *A* δεν είναι και *B*». Παρ' όλα αυτά, οι προτάσεις (i)-(iii) διαφέρουν κατά θεμελιώδη τρόπο από τις προτάσεις (iv)-(vi). Παρατηρήστε, για παράδειγμα, πως καμία από τις προτάσεις (i)-(iii) δεν κάνει οποιαδήποτε αναφορά σε οποιοδήποτε συγκεκριμένο αντικείμενο, γεγονός, πρόσωπο, χρόνο, ή τόπο. Κατ' αντιδιαστολή, η πρόταση (iv) αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο πρόσωπο (εμένα), σε ένα συγκεκριμένο αντικείμενο (το ψυγείο μου), και σε έναν συγκεκριμένο χρόνο (τώρα). Αυτή η πρόταση δεν είναι εντελώς γενική, αφού απομονώνει κάποιες συγκεκριμένες οντότητες στις οποίες αναφέρεται. Η ίδια παρατήρηση ισχύει και για την πρόταση (v), αφού αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη και περιορισμένη ομάδα ανθρώπων (τους Απάτσι).

Θεωρείται γενικά πως οι νόμοι της φύσης έχουν δυο βασικές ικανότητες. Πρώτον, υποστηρίζουν αντιγεγονικές (counterfactual) συνεπαγωγές. *Αντιγεγονική πρόταση* είναι μια υποθετική πρόταση της οποίας η υπόθεση* είναι ψευδής. Υποθέστε, για παράδειγμα, πως κόβω ένα κλαδί από κάποιο δένδρο και αμέσως μετά το καίω στο τζάκι μου. Αυτό το κομμάτι ξύλου δεν τοποθετήθηκε ποτέ στο νερό και ούτε πρόκειται ποτέ να τοποθετηθεί. Ωστόσο έχουμε την προδιάθεση να πούμε, χωρίς δισταγμό, ότι *αν είχε τοποθετηθεί στο νερό, θα επέπλεε*. Αυτή η πρόταση, η γραμμένη με πλάγιους χαρακτήρες, είναι μια αντιγεγονική υποθετική πρόταση. Μια πρόταση-δηλώνουσα-νόμο, τώρα, όπως η (i), θα υποστηρίξει έναν αντιγεγονικό ισχυρισμό. Έχοντας κατά νου ένα συγκεκριμένο δείγμα αερίου περιορισμένο σ' ένα κλειστό δοχείο καθορισμένου όγκου, το οποίο όμως δεν θερμαίνεται, μπορούμε να πούμε ότι *αν* θερμαινόταν, *τότε θα* ασκούσε μεγαλύτερη πίεση στα τοιχώματα του δοχείου. Μπορούμε να υποστηρίξουμε το αντιγεγονός, επειδή εκλαμβάνουμε την πρόταση (i) ως διατύπωση ενός νόμου της φύσης.

Όταν κοιτάξουμε την πρόταση (iv), βλέπουμε ότι δεν υποστηρίζει καμιά τέτοια αντιγεγονική πρόταση. Με το να κρατώ ένα υπέροχο κόκκινο μήλο στο χέρι μου, δεν μπορώ να ισχυριστώ, βάσει της (iv), πως αυτό το μήλο θα ήταν κίτρινο αν βρισκόταν μέσα στο ψυγείο μου.

* Ή «ηγούμενη». [Σ.τ.Μ.]

Μια δεύτερη ικανότητα των νόμων της φύσης είναι ότι υποστηρίζουν *τροπικές* προτάσεις φυσικής αναγκαιότητας ή αδυνατότητας. Η πρόταση (ii), ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής, συνεπάγεται την αδυνατότητα κατασκευής αεικίνητου πρώτου είδους, δηλαδή της μηχανής που θα παρήγε ωφέλιμο έργο χωρίς παροχή ενέργειας από κάποια εξωτερική πηγή. Κατ' αντιδιαστολή, η πρόταση (v) δεν υποστηρίζει τον ισχυρισμό ότι είναι αδύνατο ένα καλάθι των Απάτσι να έχει φτιαχτεί από κάποιον άνδρα. Είναι φυσικώς δυνατόν να διδαχθεί ένας νεαρός Απάτσι την τέχνη της καλαθοποιίας και να μεγαλώσει σταδιοδρομώντας ως καλαθοποιός.

Όταν συγκρίνουμε τις προτάσεις (iii) και (vi), λεπτότερες δυσκολίες κάνουν την εμφάνισή τους. Αντίθετα απ' ό,τι συμβαίνει με τις προτάσεις (iv) και (v), η πρόταση (vi) δεν αναφέρεται σε καμιά συγκεκριμένη οντότητα, τόπο ή χρόνο.[8] Ωστόσο, φαίνεται καθαρά ότι η πρόταση (vi) –ακόμα και αν δεχθούμε ότι είναι αληθής– δεν μπορεί να υποστηρίξει ούτε τροπικές προτάσεις ούτε αντιγεγονικές υποθετικές προτάσεις. Ακόμα και αν συμφωνήσουμε ότι πουθενά σ' ολόκληρη την ιστορία του σύμπαντος –παρελθόντος, παρόντος ή μέλλοντος– δεν υπάρχει σφαίρα χρυσού μάζας μεγαλύτερης των 100.000 χιλιόγραμμων, δεν θα δικαιολογούμασταν ποτέ να ισχυριστούμε πως είναι *αδύνατον* να κατασκευάσουμε μια χρυσή σφαίρα με τόση μάζα. Έκανα κάποτε έναν χονδροειδή υπολογισμό της ποσότητας χρυσού στους ωκεανούς της γης και βγήκε κάτι γύρω στα 1.000.000 χιλιόγραμμα. Αν κάποιος απίστευτα πλούσιος πρίγκιπας ήταν αποφασισμένος να γοητεύσει κάποια γυναίκα που έτρεφε πάθος για τις χρυσές σφαίρες, θα ήταν φυσικώς δυνατόν γι' αυτόν να εξαγάγει κάτι παρά πάνω από 100.000 χιλιόγραμμα από τη θάλασσα για να κατασκευάσει μια τόσο μεγάλη σφαίρα.

Η πρόταση (vi), επίσης, δεν μπορεί να υποστηρίζει αντιγεγονικές υποθετικές προτάσεις. Δεν θα δικαιολογούμασταν να συμπεράνουμε πως αν δυο ημισφαίρια, μάζας 50.001 χιλιόγραμμων το καθένα, τοποθετούνταν μαζί δεν θα σχημάτιζαν μια χρυσή σφαίρα μάζας μεγαλύτερης των 100.000 χιλιόγραμμων. Για να εκτιμήσετε τη σημασία αυτής της ιδέας, σκεφτείτε την εξής πρόταση:

(vii) Καμιά σφαίρα εμπλουτισμένου ουρανίου δεν έχει μάζα μεγαλύτερη από 100.000 χιλιόγραμμα.

Αυτή *είναι* μια έννομη (lawful) γενίκευση, επειδή η κρίσιμη μάζα για μια αλυσιδωτή πυρηνική αντίδραση είναι μόλις λίγα χιλιόγραμμα. Αν 100.000 χιλιόγραμμα εμπλουτισμένου ουρανίου επρόκειτο να συμπτυχθούν, θα είχαμε μια γιγαντιαία πυρηνική έκρηξη. Απ' όσο γνωρίζουμε, καμιά συγκρίσιμη καταστροφή δεν θα ενέσκηπτε αν κατασκευαζόταν μια χρυσή σφαίρα της ίδιας μάζας.

---

[8] Αν η εμφάνιση του «χιλιόγραμμου» στην (vi) φαίνεται να αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο αντικείμενο – το διεθνές πρότυπο χιλιόγραμμο που φυλάσσεται στο διεθνές γραφείο μέτρων και σταθμών – το πρόβλημα μπορεί εύκολα να ξεπεραστεί ορίζοντας τη μάζα ως συνάρτηση μονάδων ατομικής μάζας.

Οι φιλόσοφοι έχουν συχνά ισχυρισθεί πως μπορούμε να διακρίνουμε τις αληθείς γενικεύσεις που είναι *έννομες* από αυτές που είναι *συμπτωματικές* (accidental). Ακόμα κι αν δεχθούμε ως δεδομένη την αλήθεια της πρότασης (vi), είμαστε υποχρεωμένοι να συμπεράνουμε πως αυτή συνιστά μια συμπτωματική γενίκευση. Επιπλέον, οι ίδιοι φιλόσοφοι έχουν υποστηρίξει ότι μεταξύ καθολικών γενικεύσεων, ανεξάρτητα από την αλήθεια τους, είναι δυνατόν να διακρίνουμε αυτές που αποτελούν *νομοειδείς* (lawlike) *γενικεύσεις* από εκείνες που δεν είναι. Νομοειδής είναι μια γενίκευση που έχει όλα τα προσόντα να είναι νόμος εκτός, ίσως, από το να είναι αληθής.

Είναι σχετικά εύκολο να δείξει κανείς το χαρακτηριστικό εκείνο των προτάσεων (iv) και (v) που τις καθιστά μη νομοειδείς, δηλαδή το γεγονός ότι αυτές αναφέρονται σε συγκεκριμένα αντικείμενα, πρόσωπα, γεγονότα, τόπους ή χρόνους. Ο μη νομοειδής χαρακτήρας της πρότασης (vi) είναι πιο δύσκολο να διαγνωσθεί. Μια προφανής υπόδειξη είναι να εφαρμόσουμε το κριτήριο του κατά πόσο υποστηρίζουν αντιγεγονικές ή/και τροπικές προτάσεις. Είδαμε ότι η (vi) αποτυγχάνει να είναι νομοειδής με βάση αυτό το κριτήριο. Το πρόβλημα με αυτή την προσέγγιση είναι ότι διατρέχει σοβαρό κίνδυνο να αποδειχθεί κυκλική. Θυμηθείτε την πρόταση (ii). Γιατί θεωρούμε *φυσικώς αδύνατη* την κατασκευή ενός αεικίνητου (πρώτου είδους); Διότι η κατασκευή θα παραβίαζε ένα νόμο της φύσης, συγκεκριμένα τον (ii). Θυμηθείτε τώρα την πρόταση (vi). Γιατί θεωρούμε *φυσικώς δυνατή* την κατασκευή μιας χρυσής σφαίρας με μάζα που υπερβαίνει τα 100.000 χιλιόγραμμα; Διότι το να κάνουμε κάτι τέτοιο δεν παραβιάζει κανένα νόμο της φύσης. Φαίνεται πως το ερώτημα σχετικά με το ποιες τροπικές προτάσεις οφείλουμε να αποδεχθούμε εξαρτάται από το ερώτημα σχετικά με το ποιες κανονικότητες οφείλουμε να προκρίνουμε ως νόμους της φύσης.

Μια παρόμοια παρατήρηση ισχύει και σχετικά με την υποστήριξη αντιγεγονικών υποθετικών προτάσεων. Θυμηθείτε την πρόταση (i). Δεδομένου ενός δοχείου με αέριο το οποίο δεν θερμαίνεται, μπορούμε να πούμε ότι, αν αυτό επρόκειτο να θερμανθεί, τότε θα ασκούσε αυξημένη πίεση στα τοιχώματα του δοχείου που το περιέχει, ικανή σε πολλές περιπτώσεις να κάνει το δοχείο να εκραγεί. (Έμαθα το σχετικό μάθημα όταν ως πρόσκοπος ζέστανα στη φωτιά μια κλειστή κονσέρβα με φασόλια.) Ο λόγος για τον οποίο μπορούμε να προβούμε σε έναν τέτοιο αντιγεγονικό ισχυρισμό είναι το ότι από την πρόταση (i) μπορούμε να συναγάγουμε αυτό που θα συνέβαινε, και η (i) διατυπώνει ένα νόμο της φύσης. Παρόμοια, από την (iii) μπορούμε να συμπεράνουμε πως, αν κάτι ταξιδεύει ταχύτερα από το φως, δεν είναι σήμα – δηλαδή δεν μπορεί να μεταδώσει πληροφορία. Ίσως να σκεφθείτε πως αυτό είναι άνευ ουσίας γιατί, όπως μας λέει η θεωρία της σχετικότητας, τίποτα δεν μπορεί να ταξιδέψει ταχύτερα από το φως. Αυτή η γνώμη, ωστόσο, δεν είναι σωστή. Μπορεί εύκολα να δειχθεί ότι οι σκιές και διάφορα άλλα είδη «πραγμάτων» ταξιδεύουν ταχύτερα από το φως. Μπορούμε νομίμως να συμπεράνουμε ότι, αν κάτι ταξιδεύει ταχύτερα από το φως, δεν λειτουργεί ως σήμα, διότι η (iii) είναι πράγματι ένας νόμος της φύσης.

Ποιες είναι οι θεμελιώδεις διαφορές μεταξύ της πρότασης (vi) απ' τη μια, και των προτάσεων (i)-(iii) και (vii) από την άλλη; Η κύρια διαφορά φαίνεται να είναι ότι οι (i)-(iii) και η (vii) είναι βαθιά ενσωματωμένες μέσα σε καλά αναπτυγμένες επιστημονικές θεωρίες και έχουν, άμεσα ή έμμεσα, ελεγχθεί εκτεταμένα. Αυτό σημαίνει πως οι (i)-(iii) και η (vii) κατέχουν –μέσα στο σώμα της επιστημονικής γνώσης μας– μια θέση (status) πολύ διαφορετική από αυτήν που έχουν οι (iv)-(vi). Εξακολουθεί να τίθεται, ωστόσο, το ερώτημα του κατά πόσον οι κανονικότητες που περιγράφονται από τις (i)-(iii) και την (vii) έχουν, μέσα στον φυσικό κόσμο, θέση διαφορετική από αυτήν των (iv)-(vi).

Στην αρχή αυτού του κεφαλαίου, εξετάσαμε την εξήγηση του γεγονότος ότι η Σελήνη αποκτά μια χαλκώδη απόχρωση κατά τη διάρκεια μιας ολικής έκλειψης. Αυτή είναι μια κανονικότητα που διαπιστώνεται στη φύση. Είναι όμως μια έννομη κανονικότητα; Η πρόταση «Το φεγγάρι γίνεται χαλκόχρουν κατά τη διάρκεια ολικών εκλείψεων», είναι μια πρόταση που διατυπώνει νόμο; Ο άμεσος πειρασμός είναι να απαντήσουμε αρνητικά, γιατί η πρόταση κάνει μια ρητή αναφορά σε ένα συγκεκριμένο αντικείμενο, το φεγγάρι. Όμως, αν θεωρήσουμε ότι αυτή η πρόταση δεν αποτελεί έννομη γενίκευση, θα φαινόταν αναγκαίο να απορρίψουμε και τους νόμους του Κέπλερ για την πλανητική κίνηση, αφού κάνουν ρητή αναφορά στο ηλιακό μας σύστημα. Ο νόμος του Γαλιλαίου για την πτώση των σωμάτων θα έπρεπε επίσης να απορριφθεί, αφού αναφέρεται σε πράγματα που πέφτουν κοντά στην επιφάνεια της Γης. Όμως θα ήταν αδικαιολόγητα παράλογο να αποχαρακτηρίσουμε όλες αυτές τις προτάσεις που είχαν κριθεί νόμοι.

Αντί για αυτό, μπορούμε να διακρίνουμε μεταξύ βασικών και παράγωγων νόμων. Οι νόμοι του Κέπλερ και ο νόμος του Γαλιλαίου μπορούν να συναχθούν από τους Νευτώνειους νόμους της κίνησης και της βαρύτητας, σε συνδυασμό με περιγραφές του ηλιακού συστήματος και των σωμάτων που το απαρτίζουν. Οι νόμοι του Νεύτωνα είναι εντελώς γενικοί και δεν κάνουν καμιά αναφορά σε συγκεκριμένο πρόσωπο, αντικείμενο, γεγονός, τόπο ή χρόνο. Η πρόταση σχετικά με το χρώμα του φεγγαριού κατά τη διάρκεια μιας ολικής έκλειψης μπορεί επίσης να εκληφθεί ως παράγωγος νόμος, γιατί συνάγεται από τους νόμους της οπτικής σε συνδυασμό με μια περιγραφή της γήινης ατμόσφαιρας και της διάταξης στην οποία βρίσκεται ο ήλιος, το φεγγάρι και η γη όταν συμβαίνει μια έκλειψη. Αλλά τι γίνεται με τις προτάσεις (iv)-(v); Το χρώμα των μήλων στο ψυγείο μου δεν μπορεί με κανέναν τρόπο να εξαχθεί από βασικούς νόμους της φύσης σε συνδυασμό με κάποια περιγραφή του ψυγείου μου. Ανεξάρτητα από το πόσο μπορεί να μου αρέσουν τα κίτρινα νοστιμότατα μήλα, δεν υπάρχει καμιά φυσική αναγκαιότητα που να απαγορεύει σε ένα νοστιμότατο κόκκινο μήλο να βρεθεί μέσα στο ψυγείο μου. Παρομοίως, δεν υπάρχουν νόμοι της φύσης από τους οποίους, σε συνδυασμό με περιγραφές των Απάτσι και των καλαθιών τους, να είναι δυνατό να συναγάγω ότι τα καλάθια αυτά μπορούν να φτιαχτούν μόνον από γυναίκες.

1.10 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ Π-Ν ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΗΓΗΣΗΣ

Είναι αξιοσημείωτο ότι το κλασικό άρθρο των Χέμπελ και Οπενχάιμ δεν τράβηξε ουσιαστικά καθόλου την προσοχή για μια ολόκληρη δεκαετία. Γύρω στο 1958, ωστόσο, ξεκίνησε ένας καταιγισμός κριτικής και ενέσκηψε μια ζωηρή διαμάχη. Μεγάλο μέρος της κριτικής ασκήθηκε καθαρά με τη βοήθεια συγκεκριμένων αντιπαραδειγμάτων, τα οποία έγιναν με τη σειρά τους κλασικά. Αυτά τα παραδείγματα κατατάσσονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη αποτελείται από επιχειρήματα που πληρούν όλες τις προϋποθέσεις που απαιτούν οι Π-Ν εξηγήσεις, αλλά αποτυγχάνουν ολοφάνερα ως bona fide εξηγήσεις. Αυτά δείχνουν ότι οι προδιαγραφές που τέθηκαν από τους Χέμπελ και Οπενχάιμ δεν είναι *επαρκείς* για να καθορίσουν το τι συνιστά μια αποδεκτή επιστημονική εξήγηση. Η δεύτερη κατηγορία απαρτίζεται από παραδείγματα που φέρονται ως bona fide εξηγήσεις, αλλά αποτυγχάνουν να ικανοποιήσουν τις προδιαγραφές των Χέμπελ και Οπενχάιμ. Αυτό που θέλουν να δείξουν είναι ότι δεν είναι *απαραίτητο* να πληρούνται αυτές οι προδιαγραφές για να έχουμε ορθές εξηγήσεις. Πρέπει να χειρισθούμε αυτήν τη δεύτερη κατηγορία με προσοχή, γιατί οι Χέμπελ και Οπενχάιμ ποτέ δεν ισχυρίστηκαν ότι όλες οι ορθές εξηγήσεις συμμορφώνονται με το Π-Ν μοντέλο. Αναγνώρισαν ρητά ότι στην επιστήμη μπορεί να βρεθούν νόμιμες (legitimate) στατιστικές εξηγήσεις. Έτσι, οι στατιστικές εξηγήσεις δεν αποτελούν αντιπαραδείγματα. Έγινε όμως προσπάθεια να βρεθούν παραδείγματα τα οποία, ολοφάνερα, δεν είναι στατιστικά, αλλά αποτυγχάνουν να ικανοποιήσουν τα κριτήρια των Χέμπελ και Οπενχάιμ. Ας ρίξουμε μια ματιά σε ορισμένα αντιπαραδείγματα από κάθε κατηγορία.

ΑΠ-1. Το κοντάρι και η σκιά του.[9] Πάνω σε μια πλατιά και επίπεδη έκταση ορθώνεται ένα κοντάρι ύψους ενός μέτρου. Ο ήλιος, που βρίσκεται στον ουρανό υπό γωνία ανύψωσης 60°, λάμπει. Το κοντάρι ρίχνει μια σκιά μήκους 0,58 μέτρων. Αν ρωτήσουμε γιατί η σκιά έχει αυτό το μήκος, είναι εύκολο να απαντήσουμε. Από την ανύψωση του ήλιου, το ύψος του κονταριού και την ευθεία διάδοση του φωτός μπορούμε, με λίγη βοήθεια από την τριγωνομετρία, να συναγάγουμε το μήκος της σκιάς. Το αποτέλεσμα είναι μια Π-Ν εξήγηση την οποία οι περισσότεροι θα αποδέχονταν ως ορθή. Μέχρις εδώ δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα.

Ωστόσο, αν κάποιος ρωτήσει γιατί το κοντάρι έχει ύψος 1 μέτρο, μπορούμε να κατασκευάσουμε ουσιαστικά το ίδιο επιχείρημα με πριν. Αλλά αντί να συναγάγουμε το μήκος της σκιάς από το ύψος του κονταριού και την ανύψωση του ήλιου, θα συναγάγαμε το ύψος του κονταριού από το μήκος της σκιάς και την

[9] Αυτό το αντιπαράδειγμα επινοήθηκε από τον Συλβέν Μπρόμμπεργκερ (Sylvain Bromberger), αλλά, από όσο γνωρίζω, δεν το δημοσίευσε ποτέ.

ανύψωση του ήλιου. Πολύ δύσκολα θα θεωρούσε κάποιος ότι αυτό το επιχείρημα, το οποίο ικανοποιεί όλες τις προϋποθέσεις μιας Π-Ν εξήγησης, αποτελεί επαρκή εξήγηση του ύψους του κονταριού.

Μπορούμε να πάμε ένα βήμα μακρύτερα. Χρησιμοποιώντας ένα παρόμοιο επιχείρημα, μπορούμε να συναγάγουμε ότι ο ήλιος βρίσκεται σε ανύψωση 60° από το μήκος της σκιάς και το ύψος του κονταριού. Φαντάζει εξαιρετικά παράδοξο να πει κανείς πως ο ήλιος βρίσκεται τόσο ψηλά στον ουρανό επειδή κάποιο κοντάρι ενός μέτρου ρίχνει μια σκιά μήκους 0,58 μέτρων. Από το γεγονός ότι ένα κοντάρι ενός μέτρου ρίχνει μια σκιά 0,58 μέτρων μπορούμε να συμπεράνουμε *ότι* βρίσκεται σε αυτή την ανύψωση. Εδώ πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι θυμόμαστε τη διάκριση μεταξύ επικύρωσης και εξήγησης (συζητήθηκε στην Παράγραφο 1.1). Η εξήγηση της ανύψωσης του ήλιου βασίζεται στην εποχή του έτους και την ώρα της ημέρας.

Ηθικό δίδαγμα: Ο λόγος για τον οποίο είναι νόμιμο να εξηγούμε το μήκος της σκιάς με βάση το ύψος του κονταριού και την ανύψωση του ήλιου είναι ότι η σκιά είναι αποτέλεσμα αυτών των δυο αιτιακών παραγόντων. Μπορούμε να εξηγούμε αποτελέσματα παραθέτοντας τις αιτίες τους. Ο λόγος που δεν είναι νόμιμο να εξηγούμε το ύψος του κονταριού με βάση το μήκος της σκιάς είναι ότι το μήκος της σκιάς είναι αποτέλεσμα του ύψους του κονταριού (δεδομένης της ανύψωσης του ήλιου), αλλά δεν αποτελεί μέρος της αιτίας για το ύψος του κονταριού. Δεν μπορούμε να εξηγούμε αιτίες με βάση τα αποτελέσματά τους. Επιπλέον, παρόλο που η ανύψωση του ήλιου είναι ένας αποφασιστικός αιτιακός παράγοντας στη σχέση μεταξύ ύψους κονταριού και μήκους σκιάς, το κοντάρι και η σκιά δεν παίζουν κανένα αιτιακό ρόλο ως προς τη θέση του ήλιου στον ουρανό.

ΑΠ-2. Το βαρόμετρο και η καταιγίδα. Δεδομένης μιας απότομης πτώσης της ένδειξης ενός καλώς λειτουργούντος βαρομέτρου, μπορούμε να προβλέψουμε ότι πολύ σύντομα θα ξεσπάσει καταιγίδα. Μια απότομη πτώση της ατμοσφαιρικής πίεσης, η οποία καταγράφηκε σε ένα βαρόμετρο, εξηγεί και την καταιγίδα και την πτώση στην ένδειξη.

Ηθικό δίδαγμα: Πολλές φορές βρίσκουμε δυο αποτελέσματα της ίδιας αιτίας να σχετίζονται μεταξύ τους. Σε τέτοιες περιπτώσεις δεν εξηγούμε το ένα αποτέλεσμα μέσω του άλλου. Αυτό το σημείο μπορεί να διασαφηνισθεί και με την περίπτωση των ασθενειών. Μια δεδομένη ασθένεια μπορεί να έχει πολλά διαφορετικά συμπτώματα. Η ασθένεια εξηγεί τα συμπτώματα, ένα σύμπτωμα δεν εξηγεί κάποιο άλλο.

ΑΠ-3. Η ηλιακή έκλειψη. Χρησιμοποιώντας τους νόμους της ουράνιας μηχανικής, οι αστρονόμοι μπορούν να προβλέπουν μια μελλοντική ολική ηλιακή έκλειψη από τις παρούσες θέσεις της γης, της Σελήνης και του Ηλίου. Μετά την εκδήλωση της έκλειψης, τα ίδια αυτά δεδομένα, οι ίδιοι νόμοι και οι ίδιοι υπολογισμοί μάς παρέχουν μια νόμιμη Π-Ν εξήγηση. Όλα πάνε καλά ώς εδώ. Ωστό-

σο, χρησιμοποιώντας τους ίδιους νόμους και τις ίδιες θέσεις Γης, Σελήνης και Ηλίου, οι αστρονόμοι μπορούν να υπολογίσουν αναδρομικά κάποια προηγούμενη ηλιακή έκλειψη. Το επιχείρημα με το οποίο έγινε αυτός ο αναδρομικός υπολογισμός ικανοποιεί τις προδιαγραφές μιας Π-Ν εξήγησης με την ίδια ακριβώς πληρότητα που το κάνει και για την πρόβλεψη. Παρ' όλα αυτά, οι περισσότεροι θα έλεγαν πως, ενώ είναι δυνατό να εξηγήσει κανείς μια έκλειψη με βάση προηγούμενες συνθήκες, είναι αδύνατο να εξηγήσει μια έκλειψη με βάση τις συνθήκες που έπονται.

Ηθικό δίδαγμα: Προσφεύγουμε σε προηγούμενες συνθήκες για να εξηγήσουμε γεγονότα που έπονται· δεν προσφεύγουμε σε ύστερες συνθήκες για να εξηγήσουμε γεγονότα που προηγήθηκαν. Ο λόγος για αυτή την ασυμμετρία φαίνεται να έγκειται στο γεγονός ότι οι αιτίες, οι οποίες έχουν εξηγητική ισχύ, προηγούνται των αποτελεσμάτων τους – δεν έπονται των αποτελεσμάτων τους.

ΑΠ-4. Ο άνδρας και το χάπι. Ένας άνδρας εξηγεί *τη δική του* αποτυχία να μείνει έγκυος κατά τη διάρκεια του προηγούμενου έτους με το γεγονός ότι έπαιρνε τακτικά τα χάπια της συζύγου του για τον έλεγχο των γεννήσεων, και δηλώνει ότι οποιοσδήποτε άνδρας παίρνει τακτικά αντισυλληπτικά χάπια θα αποφύγει την εγκυμοσύνη.

Ηθικό δίδαγμα: Αυτό το παράδειγμα δείχνει πως είναι δυνατό να συγκροτήσει κανείς έγκυρα παραγωγικά επιχειρήματα με αληθείς προκείμενες, στα οποία κάποιο από το γεγονότα που βεβαιώνονται από τις προκείμενες δεν έχει σχέση με πραγματική εξήγηση. Μιας και οι άνδρες δεν μένουν έγκυοι γενικώς, το γεγονός ότι αυτός ο συγκεκριμένος άνδρας πήρε αντισυλληπτικά χάπια δεν εξηγεί τίποτε. Ωστόσο, από πλευράς γενικής μορφής, το επιχείρημα συμβιβάζεται με τον Π-Ν τύπο.

Τα αντιπαραδείγματα ΑΠ-1 – ΑΠ-4 είναι όλα περιπτώσεις στις οποίες ένα επιχείρημα που πληροί τις προδιαγραφές Χέμπελ-Οπενχάιμ αποτυγχάνει πρόδηλα να αποτελέσει μια bona fide εξήγηση. Τα αντιπαραδείγματα κατασκευάστηκαν για να δείξουν ότι οι προδιαγραφές αυτές είναι πολύ ασθενείς για να μπορούν να ξεδιαλέγουν και να αφήνουν απ' έξω τις μη νόμιμες εξηγήσεις. Μια ιδέα θα ήταν να ενισχύσουμε αυτές τις προδιαγραφές με τρόπους που θα απέκλειαν αντιπαραδείγματα αυτού του είδους. Για παράδειγμα, το ΑΠ-1 και το ΑΠ-2 θα έπαυαν να αποτελούν αντιπαραδείγματα αν ορίζαμε ότι οι συνθήκες υπόθεσης που παρατίθενται στο εξηγούν οφείλουν να αποτελούν αιτίες του εξηγητέου. Το ΑΠ-3 θα μπορούσε να εξαλειφθεί αν λέγαμε ότι οι συνθήκες υπόθεσης πρέπει να υφίστανται πραγματικά πριν από το εξηγητέο. Και το ΑΠ-4 μπορεί να αποκλεισθεί, αν ορίσουμε ότι οι συνθήκες υπόθεσης πρέπει να σχετίζονται με το εξηγητέο. Για διάφορους λόγους, ο Χέμπελ αρνήθηκε να ενισχύσει τις προδιαγραφές που αφορούν την Π-Ν εξήγηση με τέτοιο ή παρόμοιο τρόπο.

Το επόμενο αντιπαράδειγμα προτάθηκε ως μια περίπτωση νόμιμης εξήγησης που δεν προσαρμόζεται στις προδιαγραφές Χέμπελ-Οπενχάιμ.

ΑΠ-5. Ο λεκές από μελάνι. Πάνω στο χαλί, κοντά στο γραφείο του καθηγητή κ. Αγγελόπουλου, υπάρχει ένας απαίσιος μαύρος λεκές. Πώς τον εξηγεί; Χθες, ένα ανοιγμένο δοχείο με μαύρο μελάνι βρισκόταν πάνω στο γραφείο του, κοντά σε μια γωνία του. Καθώς πέρασε ο ίδιος από δίπλα, το χτύπησε τυχαία με τον αγκώνα του έτσι που τελικά έπεσε στο πάτωμα χύνοντας το μελάνι πάνω στο χαλί. Αυτό φαίνεται να είναι μια επαρκής εξήγηση· ωστόσο, δεν περιέχει καθόλου νόμους. Οι υπερασπιστές του Π-Ν τύπου θα έλεγαν πως αυτό είναι απλώς μία μη πλήρης εξήγηση, και πως οι νόμοι έχουν υποτεθεί σιωπηρά. Ο Μάικλ Σκρίβεν (Michael Scriven), που πρότεινε αυτό το παράδειγμα, ισχυρίστηκε ότι η εξήγηση είναι σαφής και πλήρης ως έχει, και ότι κάθε προσπάθεια να διατυπώσουμε επακριβώς τους νόμους και τις αρχικές συνθήκες θα αποτύχει.

Ηθικό δίδαγμα: Είναι δυνατό να έχουμε απολύτως καλές εξηγήσεις χωρίς καθόλου νόμους. Η αντίληψη περί επικαλύπτοντος νόμου δεν είναι καθολικά σωστή.

Το πέμπτο αντιπαράδειγμα εγείρει σοβαρά προβλήματα που αφορούν τη φύση της αιτιότητας. Ορισμένοι φιλόσοφοι, όπως ο Σκρίβεν, υποστηρίζουν ότι ένα γεγονός σαν αυτό του χτυπήματος του μελανοδοχείου με τον αγκώνα, είναι εμφανώς η αιτία ενός άλλου γεγονότος, όπως η πτώση του δοχείου από το γραφείο. Επιπλέον, οι ίδιοι ισχυρίζονται πως το να προσδιορίσει κανείς την αιτία ενός γεγονότος περιλαμβάνει όσα χρειάζονται για την εξήγησή του. Άλλοι φιλόσοφοι, του Χέμπελ συμπεριλαμβανομένου, υποστηρίζουν ότι μια σχέση αιτιότητας εμπλέκει πάντοτε (κάποτε ρητά, κάποτε υπόρρητα) έναν γενικό αιτιοκρατικό νόμο. Στην περίπτωση του λεκέ από μελάνι, οι σχετικοί νόμοι θα συμπεριλάμβαναν τους νόμους της Νευτώνειας μηχανικής (για να εξηγήσουν την ανατροπή του δοχείου από το τραπέζι και την πτώση του στο πάτωμα) και κάποιους νόμους της χημείας (για να εξηγήσουν το λεκέ στο χαλί ως αποτέλεσμα του χυμένου μελανιού).

1.11 ΔΥΟ ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΞΗΓΗΣΗΣ

Οποιοσδήποτε έχει μια οικειότητα με κάποια περιοχή της επιστήμης –Φυσική, Βιολογία ή Κοινωνιολογία– αντιλαμβάνεται, όπως οι Χέμπελ και Οπενχάιμ έχουν ήδη δείξει, ότι δεν είναι όλες οι εξηγήσεις παραγωγικο-νομολογικού τύπου. Οι στατιστικοί νόμοι παίζουν σημαντικό ρόλο σε κάθε σχεδόν κλάδο της σύγχρονης επιστήμης, και στατιστικές εξηγήσεις –αυτές που εμπίπτουν στα δυο χαμηλότερα ορθογώνια στον Πίνακα 1.1– δίνονται πολύ συχνά. Το 1965 ο Χέμπελ δημοσίευσε μια περιεκτική εργασία, με τον τίτλο «Όψεις της Επιστημονικής Εξήγησης» («Aspects of Scientific Explanation», 1965β), στην οποία πρότεινε μια θεωρία στατιστικής εξήγησης που περιλαμβάνει και τους δυο τύπους.

Στον πρώτο τύπο στατιστικής εξήγησης, στο *παραγωγικο-στατιστικό (Π-Σ) μοντέλο*, οι στατιστικές κανονικότητες εξηγούνται μέσω της παραγωγής τους από πιο ευρείς στατιστικούς νόμους. Πολλά παραδείγματα μπορούν να βρεθούν

στη σύγχρονη επιστήμη. Για παράδειγμα, οι αρχαιολόγοι χρησιμοποιούν την τεχνική της χρονολόγησης με ραδιενεργό άνθρακα για τη διακρίβωση της ηλικίας κομματιών ξύλου ή κάρβουνου που ανακαλύπτονται σε αρχαιολογικές τοποθεσίες. Αν βρεθεί ότι ένα κομμάτι ξύλου έχει συγκέντρωση σε C^{14} (ένα ραδιενεργό ισότοπο του άνθρακα) ίση με το ένα τέταρτο αυτής του φρεσκοκομμένου ξύλου, τότε υπολογίζεται ότι η ηλικία του είναι 11.460 χρόνια. Ο λόγος είναι ότι ο χρόνος ημιζωής του C^{14} είναι 5.730 χρόνια, και είναι εξαιρετικά πιθανό ότι σε χρονική διάρκεια διπλάσια της ημιζωής τα τρία τέταρτα από τα άτομα C^{14} θα έχουν διασπαστεί. Τα ζωντανά δένδρα ανανεώνουν τα αποθέματά τους σε C^{14} από την ατμόσφαιρα· το κομμάτι ξύλου που έχει κοπεί δεν μπορεί να κάνει το ίδιο. Ορίστε και η Π-Σ εξήγηση:

(5) Κάθε άτομο C^{14} (που δεν εκτίθεται σε εξωτερική ακτινοβόληση)[10] έχει μια πιθανότητα $^1/_2$ να διασπαστεί μέσα σε μια περίοδο 5.730 χρόνων.

Σε κάθε μεγάλη συλλογή ατόμων C^{14} (που δεν εκτίθενται σε εξωτερική ακτινοβόληση) περίπου τα τρία τέταρτα *πιθανότατα* θα διασπαστούν σε 11.460 χρόνια.

Αυτή η συναγωγή συνιστά μια εξήγηση παραγωγικού τύπου της πιθανοκρατικής γενίκευσης που κατέχει τη θέση του συμπεράσματός της.

Από πλευράς λογικής μορφής, οι παραγωγικο-στατιστικές εξηγήσεις είναι σε μεγάλο βαθμό όμοιες με τις Π-Ν εξηγήσεις ή γενικεύσεις. Η μόνη διαφορά είναι πως η εξήγηση είναι ένας στατιστικός νόμος, ενώ το εξηγούν πρέπει να περιέχει τουλάχιστον έναν στατιστικό νόμο. Οι καθολικοί νόμοι έχουν τη γενική μορφή «Όλα τα *A* είναι *B*» ή «Κανένα *A* δεν είναι *B*»· οι στατιστικοί νόμοι λένε πως ένα ορισμένο κλάσμα από τα Α είναι Β.[11] Κατ' αναλογίαν, το πρόβλημα που μάστιζε τις Π-Ν εξηγήσεις των καθολικών γενικεύσεων προσβάλλει και τις Π-Σ εξηγήσεις των στατιστικών γενικεύσεων. Θεωρήστε μια από τις στατιστικές γενικεύσεις στο προηγούμενο παράδειγμα – συγκεκριμένα, το ότι ο χρόνος ημιζωής του C^{14} είναι 5.730 χρόνια. Υπάρχει μια bona fide εξήγηση αυτής της γενίκευσης που στηρίζεται στους βασικούς νόμους της κβαντομηχανικής σε σύζευξη με μια περιγραφή του πυρήνα του C^{14}. Ωστόσο, η ίδια στατιστική γενίκευση μπορεί να παραχθεί από τη σύζευξή της με το νόμο του Κέπλερ για την πλανητική κίνηση. Μια τέτοια παραγωγή δεν θα λογιζόταν ως νόμιμη εξήγηση οποιουδήποτε είδους· όπως η περίπτωση που παρατίθεται στην Παράγραφο 1.8, αυτή θα συνιστούσε απλώς μια, άνευ σημασίας, παραγωγή της γενίκευσης περί του χρόνου ημιζωής του C^{14} από τον ίδιο τον εαυτό της.

---

[10] Αυτός ο περιορισμός απαιτείται για να εξασφαλίσει ότι η αποσύνθεση είναι αυθόρμητη και όχι επαγόμενη από κάποια εξωτερική ραδιενεργό ακτινοβόληση.

[11] Όπως σημειώνει ο Τζέιμς Λένοξ στο κεφάλαιο 7, το σχετικό με τη φιλοσοφία της Βιολογίας, η αρχή του Δαρβίνου για τη φυσική επιλογή αποτελεί ένα παράδειγμα στατιστικού νόμου.

Μετά το άρθρο τού 1948 ο Χέμπελ δεν επανήλθε σε αυτό το πρόβλημα που αφορούσε την εξήγηση νόμων. Δεν το έθεσε ούτε στο άρθρο τού 1965, όπου περιέχονται περιγραφές και των τεσσάρων τύπων εξήγησης που παριστάνονται στον πίνακα 1.1. Τούτο αφήνει και τα δύο ορθογώνια στη δεξιά πλευρά του Πίνακα 1.1 σε μια ιδιαίτερα προβληματική κατάσταση. Παρ' όλα αυτά, φαίνεται καθαρά ότι πολλές ορθές εξηγήσεις και των δύο αυτών τύπων είναι δυνατόν να βρεθούν στις διάφορες επιστήμες.

Ο δεύτερος τύπος στατιστικής εξήγησης *–το επαγωγικο-στατιστικό (Ε-Σ) μοντέλο–* εξηγεί επιμέρους συμβάντα υπάγοντάς τα σε στατιστικούς νόμους, με τον ίδιο τρόπο που οι Π-Ν εξηγήσεις υπάγουν επιμέρους γεγονότα σε καθολικούς νόμους. Ας δούμε ένα από τα πασίγνωστα παραδείγματα του Χέμπελ. Αν ρωτήσουμε γιατί η Ελπινίκη Ιωάννου ανέλαβε γρήγορα από τη μόλυνσή της από στρεπτόκοκκο, η απάντηση είναι πως της δόθηκε μια δόση πενικιλίνης, και σχεδόν όλες οι στρεπτοκοκκικές μολύνσεις θεραπεύονται με χορήγηση πενικιλίνης. Περισσότερο τυπικά:

(6) Σχεδόν όλες οι περιπτώσεις στρεπτοκοκκικής μόλυνσης θεραπεύονται γρήγορα με χορήγηση πενικιλίνης.
Η Ελπινίκη Ιωάννου είχε στρεπτοκοκκική μόλυνση.
Η Ελπινίκη Ιωάννου έτυχε αγωγής με πενικιλίνη.
[r]
Η Ελπινίκη Ιωάννου ανέλαβε γρήγορα.

Αυτή η εξήγηση συνιστά ένα επιχείρημα με τρεις προκείμενες (το εξηγούν μέρος του επιχειρήματος). Η πρώτη προκείμενη διατυπώνει μια στατιστική κανονικότητα –έναν στατιστικό νόμο– ενώ οι άλλες δύο διατυπώνουν τις συνθήκες υπόθεσης. Το συμπέρασμα (το εξηγητέο) διατυπώνει το γεγονός που πρέπει να εξηγηθεί. Παρ' όλα αυτά, υφίσταται μια αποφασιστική διαφορά μεταξύ των εξηγήσεων (3) και (6): οι Π-Ν εξηγήσεις καταλήγουν με παραγωγικό τρόπο στα γεγονότα που πρέπει να εξηγηθούν, ενώ οι Ε-Σ καταλήγουν σ' αυτά επαγωγικά. Η απλή γραμμή που χωρίζει τις προκείμενες από το συμπέρασμα στην (3) σημαίνει μια σχέση παραγωγικής συναγωγής μεταξύ προκείμενων και συμπεράσματος. Η διπλή γραμμή στην (6) σημαίνει μια σχέση επαγωγικής στήριξης, ενώ η προσαρτημένη μεταβλητή **r** συμβολίζει την ισχύ της στήριξης. Αυτή η ισχύς της στήριξης μπορεί να εκφραστεί επακριβώς, ως η αριθμητική τιμή μιας πιθανότητας, ή με τρόπο ασαφή, με τη χρήση φράσεων όπως «πολύ πιθανά» ή «σχεδόν σίγουρα».

Μια εξήγηση οποιουδήποτε από το δύο αυτά είδη μπορεί να περιγραφεί ως ένα επιχείρημα κατά το οποίο *το εξηγητέο γεγονός, ή συμβάν, έπρεπε να αναμένεται λόγω ορισμένων εξηγούντων γεγονότων*. Σε μια Π-Ν εξήγηση, είναι παραγωγικά βέβαιο ότι το εξηγητέο γεγονός θα συμβεί, δεδομένων των εξηγούντων γεγονότων· σε μια Ε-Σ εξήγηση, το εξηγητέο γεγονός έχει μεγάλη επαγωγική πιθανό-

τητα να συμβεί σε σχέση με τα εξηγούντα γεγονότα. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι στενά συσχετισμένο με τη *θέση περί συμμετρίας μεταξύ εξήγησης και πρόβλεψης* σε ό,τι αφορά την εξήγηση επιμέρους γεγονότων. Σύμφωνα με αυτήν τη θέση, κάθε αποδεκτή εξήγηση ενός επιμέρους γεγονότος είναι ένα επιχείρημα, παραγωγικό ή επαγωγικό, το οποίο θα μπορούσε να έχει χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει το υπό εξέτασιν γεγονός, αν τα γεγονότα που δηλώνονται στο εξηγούν ήταν διαθέσιμα πριν από την εκδήλωσή του.[12] Όπως θα δούμε, αυτή η θέση περί συμμετρίας συνάντησε σοβαρή αντίδραση.

Οπωσδήποτε ο Χέμπελ δεν υπήρξε ο μόνος φιλόσοφος που πρόσεξε, στις αρχές της δεκαετίας του '60, ότι οι στατιστικές εξηγήσεις παίζουν έναν εξέχοντα ρόλο στη σύγχρονη επιστήμη. Ωστόσο, ήταν ο πρώτος που παρουσίασε μια λεπτομερή περιγραφή της φύσης των στατιστικών εξηγήσεων και ο πρώτος που έφερε στην επιφάνεια ένα θεμελιώδες πρόβλημα που αφορά τη στατιστική εξήγηση επιμέρους γεγονότων. Η περίπτωση της Ελπινίκης Ιωάννου και της ταχείας ανάρρωσής της μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διαφωτιστικό παράδειγμα. Είναι γνωστό πως ορισμένα είδη του βακτηριδίου του στρεπτόκοκκου είναι απρόσβλητα από την πενικιλίνη. Αν η μόλυνση της Ιωάννου προερχόταν από αυτόν τον τύπο στρεπτόκοκκου, η πιθανότητα ταχείας ανάρρωσής της μετά από αγωγή με πενικιλίνη θα ήταν μικρή. Θα μπορούσαμε, πράγματι, να συγκροτήσουμε το ακόλουθο επαγωγικό επιχείρημα:

(7) Σχεδόν καμιά από τις περιπτώσεις μόλυνσης από στρεπτόκοκκο απρόσβλητο από την πενικιλίνη δεν θεραπεύεται γρήγορα μετά τη χορήγηση πενικιλίνης.
Η Ελπινίκη Ιωάννου είχε μια μόλυνση από στρεπτόκοκκο απρόσβλητο από την πενικιλίνη.
Η Ελπινίκη Ιωάννου έτυχε αγωγής με πενικιλίνη.
[q]
Η Ελπινίκη Ιωάννου δεν ανέρρωσε γρήγορα.

Το αξιοσημείωτο γεγονός σχετικά με τα επιχειρήματα (6) και (7) είναι ότι οι προκείμενές τους είναι αμοιβαία συμβατές – μπορούν να είναι όλες αληθείς. Ωστόσο, τα συμπεράσματά τους αντιφάσκουν μεταξύ τους. Αυτή είναι μια κατάσταση που δεν μπορεί ποτέ να προκύψει με παραγωγικά επιχειρήματα. Δεδομένων δύο έγκυρων παραγωγών με ασυμβίβαστα συμπεράσματα, οι προκείμενές τους πρέπει να είναι επίσης ασυμβίβαστες. Έτσι, το πρόβλημα που προκύπτει σε σχέση με τις Ε-Σ εξηγήσεις δεν έχει το ανάλογό του στις Π-Ν εξηγήσεις. Ο Χέμπελ το ονόμασε *πρόβλημα αμφισημίας των Ε-Σ εξηγήσεων*.

Η πηγή του προβλήματος της αμφισημίας είναι μια απλή και θεμελιώδης δια-

[12] Αυτή η θέση αναπτύχθηκε ως προς την Π-Ν εξήγηση στο Hempel-Oppenheim (1948, 249), και επαναλήφθηκε με κάποιες προσθήκες, τόσο για τις Π-Ν όσο και για τις Ε-Σ εξηγήσεις στό Hempel (1965a, παράγραφοι 2.4, 3.5).

φορά μεταξύ καθολικών νόμων και στατιστικών νόμων. Δεδομένης της πρότασης ότι όλα τα *A* είναι *B*, έπεται άμεσα ότι όλα τα πράγματα που είναι *A* και *Γ* είναι επίσης και *B*. Αν όλοι οι άνθρωποι είναι θνητοί, τότε όλοι οι άνθρωποι που είναι ψηλότεροι από έξι πόδια είναι θνητοί. Ωστόσο, ακόμα κι αν σχεδόν όλοι οι άνθρωποι που ζουν σήμερα θα ζουν και σε πέντε χρόνια από τώρα, δεν *έπεται άμεσα* ότι όλοι όσοι ζουν σήμερα με καρκίνο του παγκρέατος σε προχωρημένο στάδιο θα ζουν και ύστερα από πέντε χρόνια. Όπως σημειώσαμε στην παράγραφο 1.5, υπάρχει ένα ανάλογο γεγονός σχετικά με τα επιχειρήματα. Δεδομένου ενός έγκυρου παραγωγικού επιχειρήματος, το επιχείρημα θα παραμείνει έγκυρο αν προσαρτηθούν πρόσθετες προκείμενες αρκεί να μην αφαιρέσουμε καμιά από τις αρχικές προκείμενες. Η παραγωγή είναι αδιάβρωτη. Δεδομένου ενός ισχυρού επαγωγικού επιχειρήματος –ενός που στηρίζει το συμπέρασμά του με υψηλή τιμή πιθανότητας– η προσθήκη μιας επιπλέον προκείμενης είναι δυνατό να το υπονομεύσει εντελώς. Για αιώνες οι Ευρωπαίοι διέθεταν ένα μεγάλο σώμα επαγωγικών τεκμηρίων που στήριζαν την πρόταση ότι όλοι οι κύκνοι είναι άσπροι. Ωστόσο, μια αληθής αναφορά για έναν μαύρο κύκνο στην Αυστραλία διέψευσε πλήρως το συμπέρασμα. Η επαγωγή δεν είναι αδιάβρωτη.

Ο Χέμπελ επιχείρησε να επιλύσει το πρόβλημα της αμφισημίας με τη βοήθεια της *απαίτησης* για *μέγιστη εξειδίκευση* (requirement of maximal specificity, RMS), ή συντομογραφικά AME. Είναι εξαιρετικά δύσκολο να διατυπωθεί η AME με ακρίβεια, αλλά η βασική ιδέα είναι απλή. Όταν συγκροτούμε Ε-Σ εξηγήσεις, πρέπει να συμπεριλάβουμε όλη τη σχετική γνώση που έχουμε και η οποία θα ήταν, κατ' αρχήν, διαθέσιμη, πριν από το εξηγητέο γεγονός. Αν μας είναι διαθέσιμη η πληροφορία ότι η μόλυνση της Ιωάννου είναι του ίδιου είδους με αυτήν που αντιστέκεται στην πενικιλίνη, το επιχείρημα (6) θα μας παρείχε μιαν αποδεκτή Ε-Σ εξήγηση.[13]

Στην παράγραφο 1.8 παραθέσαμε τις τέσσερις συνθήκες επάρκειας των Χέμπελ και Οπενχάιμ για Π-Ν εξηγήσεις. Μπορούμε τώρα να γενικεύσουμε αυτές τις συνθήκες έτσι που να εφαρμόζονται τόσο στις Π-Ν όσο και στις Ε-Σ εξηγήσεις:

1. Η εξήγηση πρέπει να είναι ένα επιχείρημα που παρουσιάζει ορθή (παραγωγική ή επαγωγική) μορφή.
2. Το εξηγούν πρέπει να περιέχει τουλάχιστον έναν γενικό νόμο (καθολικό ή στατιστικό), και αυτός ο νόμος πρέπει να απαιτείται πραγματικά για τη συναγωγή του εξηγητέου.
3. Το εξηγούν πρέπει να έχει εμπειρικό περιεχόμενο· πρέπει να είναι –του-

[13] Η (6) δεν θα συνιστούσε αποδεκτή για μας Ε-Σ εξήγηση αν είχαμε βρει εκ των προτέρων πως το είδος μόλυνσης της Ιωάννου υποχωρεί μετά από αγωγή με πενικιλίνη. Η πιθανότητα ταχείας ανάρρωσης μεταξύ των ανθρώπων που υποφέρουν από αυτό το είδος μόλυνσης είναι διαφορετική από την πιθανότητα ταχείας ανάρρωσης μεταξύ των ανθρώπων που υποφέρουν από ένα αδιευκρίνιστο είδος στρεπτοκοκκικής μόλυνσης.

λάχιστον κατ' αρχήν– ικανό να ελεγχθεί από το πείραμα ή την παρατήρηση.

4. Οι προτάσεις που συγκροτούν το εξηγούν πρέπει να είναι αληθείς.
5. Η εξήγηση πρέπει να ικανοποιεί την απαίτηση για μέγιστη εξειδίκευση.[14]

Η θεωρία για την επιστημονική εξήγηση που αναπτύχθηκε από τον Χέμπελ στην εργασία του του 1965 έτυχε πλατιάς αποδοχής από τους φιλοσόφους της επιστήμης. Από τα μέσα της δεκαετίας του '60 μέχρι και τις αρχές της δεκαετίας του '70, αυτή μπορεί εύλογα να θεωρηθεί ως *η καθιερωμένη άποψη περί επιστημονικής εξήγησης*. Σύμφωνα με αυτήν την άποψη, κάθε νόμιμη επιστημονική εξήγηση πρέπει να ταιριάζει με το πρότυπο που αντιστοιχεί σε ένα από τα τέσσερα ορθογώνια του Πίνακα 1.1.

1.12 ΚΡΙΤΙΚΕΣ ΣΤΟ Ε-Σ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΕΞΗΓΗΣΗΣ

Στην παράγραφο 1.10 είδαμε πως μπορούμε να παραθέσουμε τις αντιρρήσεις ενάντια στο Π-Σ πρότυπο επιστημονικής εξήγησης χρησιμοποιώντας γνωστά αντιπαραδείγματα. Το ίδιο ισχύει και για το Ε-Σ πρότυπο. Εξετάστε τα παρακάτω:

ΑΠ-6. Ψυχοθεραπεία. Υποθέστε πως ο Άρης Πέτρου υποφέρει από ένα ενοχλητικό νευρωσικό σύμπτωμα. Υποβάλλεται σε ψυχοθεραπεία και το σύμπτωμα εξαφανίζεται. Μπορούμε, κατ' αναλογίαν προς το επιχείρημα (6), να εξηγήσουμε την ανάρρωσή του μέσω της θεραπείας στην οποία υποβλήθηκε; Μπορούμε να συγκροτήσουμε το ακόλουθο επαγωγικό επιχείρημα:

(8) Οι περισσότεροι άνθρωποι που υποφέρουν από ένα νευρωσικό σύμπτωμα του τύπου Ν και υποβάλλονται σε ψυχοθεραπεία, ανακουφίζονται από αυτό το σύμπτωμα.
Ο Άρης Πέτρου είχε ένα σύμπτωμα του τύπου Ν και υποβλήθηκε σε ψυχοθεραπεία.
[r]
Ο Άρης Πέτρου ανακουφίστηκε από το σύμπτωμά του.

Πριν προσπαθήσουμε να αποτιμήσουμε αυτήν την πρόταση εξήγησης, πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν το γεγονός ότι υφίσταται μια αρκετά υψηλή συχνότητα αυθόρμητης ύφεσης του συμπτώματος – δηλαδή, πολλοί άνθρωποι που υποφέρουν από το είδος συμπτώματος Ν καλυτερεύουν ασχέτως θεραπείας. Οσοδήποτε με-

[14] Οι Π-Ν εξηγήσεις επιμέρους γεγονότων ικανοποιούν αυτόματα αυτή την απαίτηση. Αν όλα τα Α είναι Β, η πιθανότητα για ένα Α να είναι Β ισούται με τη μονάδα. Υπό αυτές τις συνθήκες, η πιθανότητα για ένα Α που είναι και Γ να είναι Β ισούται επίσης με τη μονάδα. Συνεπώς, καμιά υποδιαίρεση του Α δεν συναρτάται με το Β.

γάλος κι αν είναι ο αριθμός *r*, αν η συχνότητα ανάρρωσης για εκείνους που υποβάλλονται σε ψυχοθεραπεία δεν είναι μεγαλύτερη από τη συχνότητα αυθόρμητης ύφεσης του συμπτώματος, είναι λάθος να θεωρήσουμε το επιχείρημα (8) ως νόμιμη εξήγηση. Μια υψηλή πιθανότητα δεν είναι *επαρκής* για μια σωστή εξήγηση. Ωστόσο, αν ο αριθμός *r* δεν είναι πολύ μεγάλος, αλλά είναι μεγαλύτερος από τη συχνότητα αυθόρμητης ύφεσης του συμπτώματος, το γεγονός ότι ο ασθενής υποβλήθηκε σε ψυχοθεραπεία διαθέτει τουλάχιστον κάποιο βαθμό εξηγητικής ισχύος. Η υψηλή πιθανότητα δεν είναι απαραίτητη για μια ορθή εξήγηση.

Ένα ακόμα παράδειγμα ενισχύει αυτήν την παρατήρηση.

ΑΠ-7. Η βιταμίνη C και το κοινό κρυολόγημα.[15] Υποθέστε πως κάποιος ισχυρίζεται ότι μεγάλες δόσεις βιταμίνης C θα είχαν ως αποτέλεσμα τη γρήγορη θεραπεία του κοινού κρυολογήματος. Πρέπει εδώ να σημειώσουμε πως, για να εξακριβώσουμε την αποτελεσματικότητα της βιταμίνης C στην ταχεία ανάρρωση από το κρυολόγημα, δεν αρκεί να αποδείξουμε ότι οι περισσότεροι άνθρωποι στους οποίους χορηγείται βιταμίνη C θεραπεύονται γρήγορα· τα περισσότερα κρυολογήματα εξαφανίζονται μέσα σε λίγες μέρες ασχέτως αγωγής. Αυτό που απαιτείται είναι ένα ελεγχόμενο διπλά τυφλό[16] πείραμα, στο οποίο η συχνότητα ταχείας ανάρρωσης εκείνων στους οποίους χορηγείται βιταμίνη C συγκρίνεται με τη συχνότητα ταχείας ανάρρωσης εκείνων στους οποίους χορηγείται απλώς ένα εικονικό φάρμακο. Αν υπάρχει σημαντική διαφορά στην πιθανότητα ταχείας ανάρρωσης εκείνων στους οποίους χορηγείται βιταμίνη C σε σχέση με εκείνους στους οποίους δεν χορηγείται, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η βιταμίνη C έχει έναν βαθμό αιτιακής επίδρασης στη συντόμευση της διάρκειας των κρυολογημάτων. Αν, ωστόσο, δεν υπάρχει καμιά διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων, τότε θα ήταν λάθος να προσπαθήσουμε να εξηγήσουμε την ταχεία ανάρρωση κάποιου από ένα κρυολόγημα κατασκευάζοντας ένα επιχείρημα ανάλογο με το (6),

---

[15] Τον καιρό περίπου που ο Χέμπελ επεξεργαζόταν τη θεωρία του για την Ε-Σ εξήγηση, οι ισχυρισμοί του Λίνους Πάουλινγκ (Linus Pauling) περί της αξίας μαζικών δόσεων βιταμίνης C για την πρόληψη κοινών κρυολογημάτων συγκέντρωναν μεγάλη προσοχή. Μολονότι ο Πάουλινγκ δεν ισχυρίστηκε ότι η βιταμίνη C έχει την ικανότητα να θεραπεύει κρυολογήματα, μου φάνηκε πως ένα φανταστικό παράδειγμα αυτού του είδους μπορούσε να επινοηθεί.

[16] Σε ένα ελεγχόμενο πείραμα υπάρχουν δυο ομάδες υποκειμένων, η ομάδα του πειραματισμού και η ομάδα ελέγχου. Αυτές οι ομάδες πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο όμοιες η μία με την άλλη. Στα μέλη της ομάδας του πειραματισμού χορηγείται η ουσία που δοκιμάζεται, δηλαδή η βιταμίνη C. Στα μέλη της ομάδας ελέγχου χορηγείται μια εικονική ουσία (placebo), δηλαδή μια αδρανής ουσία, όπως ένα χάπι ζάχαρης, για την οποία είναι γνωστό ότι δεν έχει καμιά επίδραση στο κοινό κρυολόγημα. Σε ένα τυφλό πείραμα τα υποκείμενα του πειραματισμού δεν γνωρίζουν αν παίρνουν βιταμίνη C ή εικονική ουσία. Αυτό είναι σημαντικό γιατί αν τα υποκείμενα γνώριζαν ποια αγωγή τούς χορηγείται, η δύναμη της υποβολής ίσως αλλοίωνε τα αποτελέσματα. Ένα πείραμα είναι διπλά τυφλό αν ούτε εκείνος(-η) που μοιράζει τα χάπια ούτε τα υποκείμενα γνωρίζουν ποιος(-α) από τα υποκείμενα παίρνει ποιον τύπο χαπιού. Αν το πείραμα δεν είναι διπλά τυφλό, εκείνος(-η) που χορηγεί τα χάπια μπορεί, παρ' όλη την προσπάθεια για το αντίθετο, να περάσει τελικά κάποια σχετική νύξη στο υποκείμενο.

όπου αυτό το αποτέλεσμα θα αποδιδόταν στην αγωγή με βιταμίνη C.

Ηθικό δίδαγμα: Τα ΑΠ-6 και ΑΠ-7 μας καλούν να προσέξουμε το σημείο που τόνιζε και το ΑΠ-4 (ο άνδρας και το αντισυλληπτικό χάπι). Όλα δείχνουν πως κάτι πρέπει να γίνει ώστε τα άσχετα γεγονότα να αποκλείονται από την επιστημονική εξήγηση. Αν η συχνότητα εγκυμοσύνης μεταξύ των ανδρών που καταναλώνουν αντισυλληπτικά χάπια είναι η ίδια με εκείνων που δεν καταναλώνουν, τότε η χρήση χαπιών για τον έλεγχο των γεννήσεων είναι αιτιακά και εξηγητικά άσχετη σε ό,τι αφορά την εγκυμοσύνη στους άνδρες. Με τον ίδιο τρόπο, αν η συχνότητα ανακούφισης από νευρωσικά συμπτώματα είναι η ίδια και για εκείνους που υποβάλλονται σε ψυχοθεραπεία και για εκείνους που δεν υποβάλλονται, τότε η ψυχοθεραπεία είναι αιτιακά και εξηγητικά άσχετη με την ανακούφιση από νευρωσικά συμπτώματα. Όμοια, αν η συχνότητα ταχείας ανάρρωσης από τα κοινά κρυολογήματα είναι η ίδια για εκείνους στους οποίους χορηγούνται μεγάλες δόσεις βιταμίνης C και για εκείνους στους οποίους δεν χορηγούνται, τότε η κατανάλωση μεγάλων δόσεων βιταμίνης C είναι αιτιακά και εξηγητικά άσχετη με την ταχεία ανάρρωση από κοινά κρυολογήματα.[17] Η απαίτηση του Χέμπελ για μέγιστη εξειδίκευση σχεδιάστηκε για να εξασφαλίσει ότι *όλες* οι σχετικές πληροφορίες (ενός κατάλληλου είδους) περιλαμβάνονται στις Ε-Σ εξηγήσεις. Αυτό που χρειάζεται επιπλέον είναι μια απαίτηση που να εξασφαλίζει ότι *μόνο* οι πληροφορίες που είναι σχετικές περιλαμβάνονται στις Π-Ν *ή* στις Ε-Σ εξηγήσεις.

ΑΠ-8. Σύφιλη και πάρεση. Πάρεση είναι μια μορφή τριτογενούς σύφιλης από την οποία μπορεί να προσβληθεί μόνο κάποιος που περνά από πρωτογενή, δευτερογενή, ή κάποια λανθάνουσα μορφή σύφιλης, χωρίς να υποβάλλεται σε αγωγή με πενικιλίνη. Αν κάποιος ρωτούσε γιατί ένας συγκεκριμένος άνθρωπος πάσχει από πάρεση, μια σωστή απάντηση θα ήταν πως αυτός ή αυτή υπήρξε θύμα λανθάνουσας σύφιλης που δεν αντιμετωπίστηκε. Ωστόσο, μόνον ένα μικρό ποσοστό από εκείνους που πάσχουν από λανθάνουσα σύφιλη που δεν αντιμετωπίστηκε –περίπου 25%– όντως εμφανίζουν πάρεση. Αν επιλεγεί τυχαία ένα θύμα λανθάνουσας σύφιλης που δεν αντιμετωπίστηκε, μπορεί κάποιος να προβλέψει ότι αυτός, ή αυτή, *δεν* θα παρουσιάσει πάρεση.

Ηθικό δίδαγμα: υπάρχουν νόμιμες Ε-Σ εξηγήσεις στις οποίες το εξηγούν δεν καθιστά το εξηγητέο σε υψηλό βαθμό πιθανό. Το ΑΠ-8 απαντά στη θέση περί συμμετρίας εξήγησης-πρόβλεψης, δηλαδή στον ισχυρισμό πως μια εξήγηση συνιστά ένα επιχείρημα το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να προβλέ-

---

[17] Πρέπει νά σημειωθεί πως δέν ισχυρίζομαι ούτε ότι η ψυχοθεραπεία είναι άσχετη μέ τήν απαλλαγή από νευρωσικά συμπτώματα ούτε ότι η βιταμίνη C είναι άσχετη μέ τον ρυθμό ανάρρωσης από κρυολογήματα. Λέω, απλά, ότι αυτό είναι ακριβώς που σ' ό,τι έχει νά κάνει μέ τίς Ε-Σ εξηγήσεις.

ψει το εξηγητέο αν ήταν διαθέσιμο πριν αυτό εμφανισθεί. Αξίζει να σημειωθεί, σε σχέση με το ΑΠ-6 και ΑΠ-7, ότι η λανθάνουσα σύφιλη που δεν αντιμετωπίστηκε σχετίζεται έντονα με την εμφάνιση της πάρεσης, παρόλο που δεν κάνει την πάρεση ιδιαίτερα πιθανή, ή έστω πιθανότερη από τη μη εμφάνισή της.

ΑΠ-9. Το κάλπικο νόμισμα. Υποθέστε ότι στρίβουμε ένα νόμισμα καί ότι αυτό είναι έτσι κατασκευασμένο ώστε να παρουσιάζει έντονη τάση να φέρνει κορώνες στο στρίψιμο – η πιθανότητα να έρθει κορώνα, σε ένα στρίψιμο, είναι 0.95, ενώ η πιθανότητα να έρθουν γράμματα είναι 0.05. Το νόμισμα στρίβεται και έρχεται κορώνα. Μπορούμε πολύ εύκολα να επινοήσουμε μια Ε-Σ εξήγηση που να ικανοποιεί όλες τις προδιαγραφές. Αλλά υποθέστε πως έρχονται γράμματα. Σ' αυτή την περίπτωση, μια Ε-Σ εξήγηση είναι αδύνατη. Ωστόσο, στο βαθμό που κατανοούμε το μηχανισμό που μεσολαβεί, και κατά συνέπεια τον πιθανοκρατικό χαρακτήρα του αποτελέσματος κορώνα, κατανοούμε στον ίδιο βαθμό και το απίθανο αποτέλεσμα, παρόλο που εμφανίζεται λιγότερο συχνά.

Ηθικό δίδαγμα: Αν είμαστε σε θέση να κατασκευάζουμε στατιστικές εξηγήσεις γεγονότων που είναι πιθανά σε μεγάλο βαθμό, τότε έχουμε επίσης την ικανότητα να επινοούμε στατιστικές εξηγήσεις γεγονότων που είναι υπερβολικά απίθανα.

1.13 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΣ, ΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΑ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΞΗΓΗΣΗ

Όταν βλέπουμε μια Ε-Σ εξήγηση όπως η (6), μπαίνουμε στον πειρασμό να τη θεωρήσουμε ανεπαρκή. Μπορεί, όντως, να ενσωματώνει όλη τη σχετική γνώση που συμβαίνει να διαθέτουμε. Ωστόσο, τείνουμε να πιστεύουμε ότι είναι απολύτως δυνατό η Ιατρική επιστήμη να ανακαλύψει αρκετά πράγματα για τις στρεπτοκοκκικές μολύνσεις και για τη θεραπεία με πενικιλίνη ώστε να μπορεί να καθορίζει επακριβώς ποια από τα άτομα που πάσχουν από στρεπτοκοκκικές μολύνσεις θα αναλάβουν γρήγορα μετά από αγωγή με πενικιλίνη και ποια άτομα δεν θα αναλάβουν. Όταν θα διατίθεται γνώση αυτού του επιπέδου, τότε δεν θα είμαστε υποχρεωμένοι να συμβιβαζόμαστε με Ε-Σ εξηγήσεις για τις ταχείες αναρρώσεις από στρεπτοκοκκικές μολύνσεις· αντίθετα, θα είμαστε ικανοί να παρέχουμε Π-Ν εξηγήσεις. Παρόμοιες παρατηρήσεις μπορούν να γίνουν σε αρκετά από τα παραπάνω αντιπαραδείγματα – ειδικότερα στα ΑΠ-6 έως ΑΠ-9.

Θυμηθείτε το ΑΠ-8, την περίπτωση σύφιλης-πάρεσης. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, με την παρούσα γνώση μας μπορούμε να προβλέψουμε ότι γύρω στο 25% των θυμάτων λανθάνουσας σύφιλης που δεν αντιμετωπίστηκε αναπτύσσουν πάρεση, αλλά δεν γνωρίζουμε πώς να διακρίνουμε αυτούς που θα εκδηλώσουν πάρεση από εκείνους που δεν θα εκδηλώσουν. Υποθέστε πως ο Γεώργιος Γεωργίου εκδηλώνει πάρεση. Κατά το παρόν στάδιο της γνώσης μας, η καλύτερη Ε-Σ

εξήγηση της πάρεσης του Γεωργίου που μπορούμε να έχουμε, διατυπώνεται ως εξής:

(9) Το 25% των θυμάτων λανθάνουσας σύφιλης που δεν αντιμετωπίστηκε θα εκδηλώσει πάρεση.
Ο Γεωργίου είχε λανθάνουσα σύφιλη που δεν αντιμετωπίστηκε.
[.25]
Ο Γεωργίου εκδήλωσε πάρεση.

Αυτό το επιχείρημα δεν μπορεί να γίνει αποδεκτό ως Ε-Σ εξήγηση λόγω του ασθενούς βαθμού επαγωγικής στήριξης.

Υποθέστε ότι περαιτέρω έρευνα για τις αιτίες της πάρεσης αποκαλύπτει έναν παράγοντα στο αίμα –ονομάστε τον παράγοντα *Π*– ο οποίος μας δίνει τη δυνατότητα να διακρίνουμε, με αρκετή αξιοπιστία –ας πούμε 95%– αυτούς που θα εκδηλώσουν πάρεση. Δεδομένου ότι ο Γεωργίου έχει τον παράγοντα *Π*, μπορούμε να συγκροτήσουμε το ακόλουθο επιχείρημα:

(10) Το 95% των θυμάτων λανθάνουσας σύφιλης που δεν αντιμετωπίστηκε και τα οποία έχουν τον παράγοντα *Π* εκδηλώνουν πάρεση.
Ο Γεωργίου είχε τον παράγοντα *Π*.
[.95]
Ο Γεωργίου εκδήλωσε πάρεση.

Μέσα στα όρια γνώσης που μόλις αναφέραμε, το επιχείρημα αυτό θα λογιζόταν ως μια πολύ καλή Ε-Σ εξήγηση, αφού το 0.95 είναι αρκετά κοντά στο 1.

Ας υποθέσουμε επιπλέον πως πρόσθετη ιατρική έρευνα αποκαλύπτει ότι μεταξύ των θυμάτων λανθάνουσας σύφιλης που δεν αντιμετωπίστηκε και έχουν τον παράγοντα *Π*, εκείνοι των οποίων ο νωτιαίος μυελός περιέχει έναν άλλο παράγοντα, τον *Ρ*, εκδηλώνουν πάντοτε πάρεση. Δεδομένης αυτής της πληροφορίας, και του γεγονότος ότι ο Γεωργίου έχει τον παράγοντα *Ρ*, μπορούμε να στοιχειοθετήσουμε την ακόλουθη εξήγηση:

(11) Όλα τα θύματα λανθάνουσας σύφιλης που δεν αντιμετωπίστηκε, τα οποία έχουν τον παράγοντα *Π* και τον παράγοντα *Ρ*, εκδηλώνουν πάρεση.
Ο Γεωργίου είχε λανθάνουσα σύφιλη που δεν αντιμετωπίστηκε.
Ο Γεωργίου είχε τον παράγοντα *Π*.
Ο Γεωργίου είχε τον παράγοντα *Ρ*.

Ο Γεωργίου εκδήλωσε πάρεση.

Αν οι υποθέσεις περί του παράγοντα *Π* και του παράγοντα *Ρ* ήταν αληθείς, αυτό το επιχείρημα θα είχε όλα τα χαρακτηριστικά μιας ορθής Π-Ν εξήγησης. Απο-

δεχθήκαμε την (10) ως ορθή εξήγηση της πάρεσης του Γεωργίου μόνον επειδή δεν διαθέταμε την πληροφορία που μας έδωσε τη δυνατότητα να στοιχειοθετήσουμε την (11).

Ντετερμινισμός είναι η θεωρία που ισχυρίζεται πως οτιδήποτε συμβαίνει μέσα στο σύμπαν καθορίζεται επακριβώς από πρότερες συνθήκες.[18] Αν αυτή η θέση είναι σωστή, τότε κάθε γεγονός στην ιστορία του σύμπαντος –είτε ανήκει στο παρελθόν είτε στο παρόν είτε στο μέλλον– είναι κατ' αρχήν παραγωγικά εξηγήσιμο. Αν η θεωρία περί ντετερμινισμού είναι αληθής, τότε κάθε ορθή Ε-Σ εξήγηση είναι απλώς μία μη πλήρης Π-Ν εξήγηση. Υπό αυτές τις συνθήκες, το Ε-Σ μοντέλο δεν είναι ένας πραγματικά αυτοδύναμος τύπος εξήγησης· όλες οι πλήρως ορθές εξηγήσεις υπακούουν στο Π-Ν μοντέλο. Οπότε το κάτω αριστερά ορθογώνιο στον Πίνακα 1.1 θα έπρεπε να είναι κενό. Αυτό δεν σημαίνει πως οι Ε-Σ εξηγήσεις –δηλαδή οι μη πλήρεις Π-Ν εξηγήσεις– είναι άχρηστες, παρά μόνον ότι δεν είναι πλήρεις.

Είναι ο ντετερμινισμός αληθής; Δεν θα πάρουμε εδώ θέση ως προς αυτό το ζήτημα. Η σύγχρονη φυσική –και ειδικά η κβαντική μηχανική– φαίνεται να παρέχει ισχυρά επιχειρήματα για να πιστέψουμε πως ο ντετερμινισμός δεν ισχύει. Όμως δεν συμφωνούν όλοι με αυτή την ερμηνεία. Εν πάση περιπτώσει, εμείς θα υιοθετήσουμε τη θέση ότι η θεώρηση περί ντετερμινισμού *μπορεί* να είναι ψευδής, και θα δούμε ποιες είναι οι συνέπειες σε σχέση με τη στατιστική εξήγηση.

Σύμφωνα με τους περισσότερους φυσικούς και τους φιλοσόφους της φυσικής, η αυθόρμητη διάσπαση του πυρήνα κάποιου ατόμου μιας ραδιενεργού ουσίας είναι ένα κατ' εξοχήν μη ντετερμινιστικό συμβάν. Η ραδιενεργός διάσπαση κυβερνάται από νόμους, αλλά αυτοί οι νόμοι είναι θεμελιωδώς, και κατά μη αναγώγιμο τρόπο, στατιστικοί. Κάθε άτομο C^{14} έχει μια πιθανότητα πενήντα-πενήντα να διασπαστεί αυθόρμητα μέσα στα επόμενα 5.730 χρόνια και μια πιθανότητα πενήντα-πενήντα να μην διασπαστεί. Δεδομένης μιας συλλογής ατόμων C^{14}, η πιθανότητα ότι κάποια από αυτά θα διασπασθούν και κάποια δεν θα διασπασθούν μέσα στα επόμενα 5.730 χρόνια είναι συντριπτική. Παρ' όλα αυτά, δεν υπάρχει κανένας τρόπος, έστω και κατ' αρχήν, να επιλέξουμε εκ των προτέρων αυτά που θα διασπασθούν. Δεν έχουμε τη δυνατότητα να συγκροτήσουμε καμιά Π-Ν εξήγηση της διάσπασης οποιουδήποτε τέτοιου ατόμου. Ωστόσο Ε-Σ εξηγήσεις μπορούν να συγκροτηθούν. Για παράδειγμα, σε ένα δείγμα ατόμων C^{14} με μάζα 1 mg υπάρχουν περίπου 4×10^{19} άτομα. Αν σε μια περίοδο 5.730 χρόνων διασπασθούν περίπου τα μισά από αυτά, τότε τα υπόλοιπα 2×10^{19} θα έχουν παραμείνει ανέπαφα. Είναι εξαιρετικά απίθανο να διασπασθούν *ακριβώς* τα μισά άτομα μέσα στη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, αλλά είναι *εξαιρετικά πιθανό* να διασπασθούν *περίπου* τα μισά. Το ακόλουθο επιχείρημα –το οποίο διαφέρει από το (5) κατά το ότι αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο δείγμα *Δ*– στέκεται ως μια

[18] Ο ντετερμινισμός αναλύεται λεπτομερώς στό κεφάλαιο 6.

ισχυρή Ε-Σ εξήγηση:

(12) Το *Δ* είναι ένα δείγμα ατόμων C^{14} το οποίο περιείχε ποσότητα 1 mg πριν από 5.730 χρόνια.
Το *Δ* δεν εκτέθηκε σε εξωτερική ραδιοακτινοβόληση.[19]
Ο χρόνος ημιζωής του C^{14} είναι 5.730 χρόνια.
[*r*]
Το *Δ* περιέχει τώρα 0.5 mg (± 1%) ατόμων C^{14}.

Σε αυτό το παράδειγμα, το *r* διαφέρει από το 1 κατά ένα απίστευτα μικρό μέγεθος, όμως δεν είναι ακριβώς ίσο με 1. Σε έναν κόσμο που δεν είναι ντετερμινιστικός, μπορούν να διατυπώνονται Ε-Σ εξηγήσεις που δεν συνιστούν απλώς ατελείς Π-Ν εξηγήσεις.

1.14 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΣΧΕΣΗΣ (Σ-Σ) ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΗΓΗΣΗ

Σύμφωνα με την καθιερωμένη άποψη, οι επιστημονικές εξηγήσεις είναι επιχειρήματα· κάθε τύπος εξήγησης στον Πίνακα 1.1 αποτελεί κάποιου τύπου επιχείρημα που πληροί ορισμένες συνθήκες. Γι' αυτόν το λόγο, μπορούμε να χαρακτηρίσουμε την καθιερωμένη άποψη ως *συναγωγική* (inferential) *αντίληψη* περί επιστημονικής εξήγησης. Λόγω ορισμένων δυσκολιών, που συνδέονται κυρίως με την Ε-Σ εξήγηση, αναπτύχθηκε ένα άλλο πρότυπο για στατιστικές εξηγήσεις επιμέρους συμβάντων. Ένα θεμελιακό χαρακτηριστικό αυτού του προτύπου είναι πως δεν εκλαμβάνει τις εξηγήσεις ως επιχειρήματα.

Μια από τις πρώτες αντιρρήσεις ενάντια στο Ε-Σ πρότυπο εξήγησης –όπως φάνηκε από το ΑΠ-6 (ψυχοθεραπεία) και από το ΑΠ-7 (η βιταμίνη C και το κοινό κρυολόγημα)– έγκειται στο ότι αυτό που αποτελεί αποφασιστικό παράγοντα στις στατιστικές εξηγήσεις είναι η στατιστική σχέση (relevance) περισσότερο παρά η υψηλή πιθανότητα. Η στατιστική σχέση συσχετίζει δύο διαφορετικές πιθανότητες. Θυμηθείτε το παράδειγμα της ψυχοθεραπείας. Ο Άρης Πέτρου ανήκει στην κατηγορία των ανθρώπων που πάσχουν από ένα νευρωσικό σύμπτωμα τύπου *N*. Σε αυτήν την κατηγορία, ανεξάρτητα από το αν κάποιος ακολουθεί την όποια αγωγή ή όχι, υπάρχει μια συγκεκριμένη πιθανότητα ανακούφισης (*R*) από το σύμπτωμα. Αυτή είναι η *πρότερη πιθανότητα* ανάρρωσης· ας τη συμβολίσουμε με «*Pr(R/N)*». Τότε αποδίδεται μια πιθανότητα ανάρρωσης στην κατηγορία των ανθρώπων που πάσχουν από αυτό το σύμπτωμα, και οι οποίοι περνούν

[19] Αυτό το χαρακτηριστικό απαιτείται για να εξασφαλισθεί το ότι οι διασπάσεις έγιναν αυθόρμητα και δεν προκλήθηκαν από εξωτερική ακτινοβόληση.

από ψυχοθεραπεία (P)· αυτή μπορεί να συμβολιστεί ως «$Pr(R/N.P)$». Αν

$$Pr(R/N.P) > Pr(R/N)$$

τότε η ψυχοθεραπεία σχετίζεται θετικά (από άποψη αποτελεσματικότητας) με την ανάρρωση, και αν

$$Pr(R/N.P) < Pr(R/N)$$

τότε η ψυχοθεραπεία σχετίζεται αρνητικά με την ανάρρωση. Αν

$$Pr(R/N.P) = Pr(R/N)$$

τότε η ψυχοθεραπεία δεν σχετίζεται καθόλου με τη θεραπεία. Υποθέστε πως η ψυχοθεραπεία σχετίζεται θετικά με την ανάρρωση. Αν τότε κάποιος ρωτήσει γιατί ο Άρης Πέτρου, που υπέφερε από το νευρωσικό σύμπτωμα N, θεραπεύτηκε από το σύμπτωμά του, μπορούμε να του απαντήσουμε ότι αυτό συνέβη επειδή υποβλήθηκε σε ψυχοθεραπεία. Αυτό αποτελεί τουλάχιστον ένα σημαντικό μέρος της εξήγησης.

Σκεφτείτε ένα άλλο παράδειγμα. Υποθέστε πως η Ζωή Θάνου (μια Αθηναία) έπαθε ένα σοβαρό καρδιακό επεισόδιο. Θέλοντας να εξηγήσουμε γιατί συνέβη αυτό, ερευνούμε για παράγοντες που σχετίζονται με σοβαρά καρδιακά επεισόδια – για παράδειγμα, το κάπνισμα, το υψηλό επίπεδο χοληστερίνης, και το βάρος του σώματος. Αν ανακαλύψουμε πως αυτή η γυναίκα ήταν μανιώδης καπνίστρια, πως το επίπεδο της χοληστερίνης της ήταν πάνω από 300, και ότι ήταν ιδιαίτερα ευτραφής, έχουμε τουλάχιστον ένα σημαντικό μέρος της εξήγησης, αφού όλοι αυτοί οι παράγοντες παρουσιάζουν θετική σχέση με τα σοβαρά καρδιακά επεισόδια. Υπάρχουν φυσικά και άλλοι σχετικοί παράγοντες, αλλά αυτοί οι τρεις αρκούν για το σκοπό του παραδείγματος.

Περισσότερο αυστηρά, αν ρωτήσουμε γιατί αυτό το μέλος της κατηγορίας A (Αθηναίες γυναίκες) έχει το χαρακτηριστικό H (σοβαρό καρδιακό επεισόδιο), μπορούμε να πάρουμε την αρχική κατηγορία αναφοράς A και να την υποδιαιρέσουμε –ή να την *διαμερίσουμε*– ως προς τους παράγοντες που αναφέραμε: K (μανιώδης καπνίστρια), X (υψηλό επίπεδο χοληστερίνης), B (υπερβολικό βάρος). Έτσι θα κατασκευασθεί ένας διαμερισμός σε οκτώ υποομάδες (όπου η τελεία δείχνει σύζευξη και η κυματοειδής γραμμή δείχνει άρνηση):

$K.X.B$	$\sim K.X.B$
$K.X.\sim B$	$\sim K.X.\sim B$
$K.\sim X.B$	$\sim K.\sim X.B$
$K.\sim X.\sim B$	$\sim K.\sim X.\sim B$

Μια Σ-Σ εξήγηση του καρδιακού επεισοδίου της Θάνου έχει τρία μέρη:

1. Την πρότερη πιθανότητα του να συμβεί το Η, δηλαδή, $Pr(H/A)$.
2. Τις ύστερες πιθανότητες του H ως προς την κάθε μία από τις οκτώ περι-

πτώσεις $Pr(H/K.X.B)$, $Pr(H/K.X.\sim B)$ ... $Pr(H/\sim K.\sim X.\sim B)$.

3. Την πρόταση ότι η Θάνου είναι μέλος της υποομάδας $K.X.B$.

Έχει προσυμφωνηθεί πως ο διαμερισμός της κατηγορίας αναφοράς πρέπει να γίνει ως προς όλους τους παράγοντες που σχετίζονται με τα σοβαρά καρδιακά επεισόδια, και μόνον ως προς αυτούς.

Μια εξήγηση αυτού του είδους προφανώς δεν συνιστά επιχείρημα· αυτή δεν έχει ούτε προκείμενες ούτε συμπέρασμα. Όμως, φυσικά, αποτελείται από ένα εξηγούν και ένα εξηγητέο. Τα στοιχεία 1-3 συνιστούν το εξηγούν· το εξηγητέο είναι το καρδιακό επεισόδιο της Θάνου. Επιπλέον, δεν τίθενται καθόλου περιορισμοί στα μεγέθη των πιθανοτήτων – μπορεί αυτές να είναι υψηλές, μέσες ή χαμηλές. Το μόνο που απαιτείται είναι να διαφέρουν αυτές οι πιθανότητες μεταξύ τους κατά διάφορους τρόπους, γιατί αυτό που κυρίως ενδιαφέρει είναι η στατιστική σχέση.

Μολονότι το Σ-Σ πρότυπο επιστημονικής εξήγησης παρουσιάζει κάποιες βελτιώσεις ως προς το Ε-Σ μοντέλο, αυτό πάσχει από μια θεμελιώδη ανεπάρκεια. Επικεντρώνεται στη στατιστική σχέση και όχι στην αιτιακή σχέση. Έτσι τείνει να δημιουργήσει σύγχυση ανάμεσα σε αιτίες και συσχετίσεις. Στο παράδειγμα της βιταμίνης C, ας πούμε, έχουμε ανάγκη από ένα ελεγχόμενο πείραμα για να ανακαλύψουμε αν η μαζική λήψη δόσεων βιταμίνης C *σχετίζεται αιτιακά* με την ταχεία ανάρρωση από το κρυολόγημα. Όμως επιχειρούμε να ανακαλύψουμε αν η λήψη βιταμίνης C *σχετίζεται στατιστικά* με την ταχεία ανάρρωση, γιατί η στατιστική σχέση αποτελεί τεκμήριο για την παρουσία ή απουσία *αιτιακής σχέσης*. Η αιτιακή σχέση είναι αυτή που έχει γνήσια εξηγητική ισχύ. Η ίδια παρατήρηση ισχύει και για άλλα παραδείγματα. Στο παράδειγμα της ψυχοθεραπείας προσπαθούμε να ανακαλύψουμε αν μια τέτοια θεραπεία παρουσιάζει στατιστική σχέση με την ανακούφιση από νευρωσικά συμπτώματα με σκοπό να βρούμε αν σχετίζεται και αιτιακά. Στην περίπτωση του καρδιακού επεισοδίου, πολλές κλινικές μελέτες έχουν προσπαθήσει να βρουν στατιστικές σχέσεις ως βάση για να καθοριστεί τι σχετίζεται αιτιακά με την εμφάνιση σοβαρών καρδιακών επεισοδίων.

1.15 ΔΥΟ ΜΕΓΑΛΕΣ ΠΑΡΑΔΟΣΕΙΣ

Παρακολουθήσαμε ώς τώρα την ανάπτυξη της καθιερωμένης σήμερα άποψης για την επιστημονική εξήγηση, και κάποιες από τις κριτικές που της ασκήθηκαν. Η άποψη αυτή είναι πολύ περισσότερο σαγηνευτική σε ό,τι αφορά την εξήγηση νόμων παρά σε ό,τι αφορά την εξήγηση επιμέρους γεγονότων. Ένα μείζον παράδειγμα είναι η *Νευτώνεια σύνθεση*. Πριν από τον Νεύτωνα διαθέταμε μια συλλογή από ποικίλους νόμους που περιελάμβανε τους τρεις νόμους του Κέπλερ για την πλανητική κίνηση και τους νόμους του Γαλιλαίου για την πτώση

των σωμάτων, για την αδράνεια, για την κίνηση των βλημάτων και για τα εκκρεμή. Με την εισαγωγή τριών απλών νόμων για την κίνηση και ενός νόμου για τη βαρύτητα, ο Νεύτων κατόρθωσε να εξηγήσει όλους τους παραπάνω νόμους – και σε μερικές περιπτώσεις να τους διορθώσει. Επιπλέον μπόρεσε να εξηγήσει πολλές άλλες κανονικότητες, όπως τη συμπεριφορά των κομητών καθώς και αυτή των παλιρροιών. Αργότερα, η μοριακή κινητική θεωρία μάς έδωσε μια Νευτώνεια εξήγηση πολλών νόμων σχετικών με τα αέρια. Ίσως το σπουδαιότερο γνώρισμα της Νευτώνειας σύνθεσης ήταν η έκταση κατά την οποία συστηματοποίησε τη γνώση μας για τον φυσικό κόσμο υπάγοντας όλα τα είδη κανονικοτήτων σε έναν μικρό αριθμό πολύ απλών νόμων. Ένα άλλο θαυμάσιο ιστορικό παράδειγμα είναι η εξήγηση του φωτός με την υπαγωγή του στη θεωρία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του Μάξγουελ (Maxwell).

Η λέξη κλειδί πίσω από αυτά τα όμορφα ιστορικά παραδείγματα είναι η *ενοποίηση*. Ένας μεγάλος αριθμός εξειδικευμένων κανονικοτήτων ενοποιούνται σε μια θεωρία που περιλαμβάνει έναν μικρό αριθμό παραδοχών ή αξιωμάτων. Αυτό το θέμα έγινε αντικείμενο επεξεργασίας από τον Μάικλ Φρίντμαν (Michael Friedman, 1974), ο οποίος ισχυρίστηκε ότι η κατανόηση του σύμπαντος αυξάνεται όσο μειώνεται το πλήθος των ανεξάρτητων παραδοχών που χρειαζόμαστε. Θα έτεινα να προσθέσω πως αυτό το είδος συστηματικής ενοποίησης της επιστημονικής γνώσης μάς δίνει μια περιεκτική εικόνα του κόσμου ή ένα περιεκτικό κοσμοείδωλο. Αυτό, πιστεύω, αντιπροσωπεύει μια κύρια όψη της επιστημονικής εξήγησης – είναι η ιδέα ότι καταλαβαίνουμε τι γίνεται στον κόσμο γύρω μας αν μπορούμε να τον κάνουμε να ταιριάξει με ένα περιεκτικό κοσμοείδωλο. Όπως επισημαίνει ο Φρίντμαν, αυτή είναι μια *καθολική* σύλληψη της εξήγησης. Η αξία της εξήγησης έγκειται στο ότι συνταιριάζει τα πράγματα σε μια καθολική δομή, ή σε μια δομή που καλύπτει μεγάλα τμήματα του σύμπαντος.[20]

Ενόσω εξετάζουμε πολλές από τις κριτικές που στράφηκαν ενάντια στην καθιερωμένη άποψη, γίνεται φανερό ότι η αιτιότητα αποτελεί ένα σημαντικό σημείο επικέντρωσης αυτής της κριτικής. Ο Σκρίβεν έδωσε το παράδειγμα με τον λεκέ από μελάνι, ΑΠ-5, για να υποστηρίξει την άποψη ότι, σε πολλές περιπτώσεις, το να βρει κανείς την εξήγηση ισοδυναμεί απλώς με το να βρει τις αιτίες. Προφανώς, αυτό αποτελεί εξήγηση σε ένα επίπεδο πολύ *τοπικό*. Σύμφωνα με τον Σκρίβεν, το μόνο που χρειάζεται να κάνουμε, είναι να αποκαταστήσουμε μια σχέση μεταξύ των γεγονότων μιας εξαιρετικά περιορισμένης χωροχρονικής περιοχής, τα οποία οδήγησαν αιτιακά στο λεκέ πάνω στο χαλί. Αυτό αρκεί για να αποκτήσουμε μια επαρκή κατανόηση του συγκεκριμένου γεγονότος. Στην ίδια κατεύθυνση, ας θυμηθούμε και τα ΑΠ-1 και ΑΠ-2. Στο πρώτο αναζητήσαμε μια τοπική αιτιακή εξήγηση για το μήκος της σκιάς, ενώ στο δεύτερο θέλαμε μια αι-

[20] Η ενοποιητική αυτή προσέγγιση της εξήγησης έχει επεκταθεί και βελτιωθεί εντυπωσιακά από τον Φίλιπ Κίτσερ (Philip Kitcher 1976, 1981 και 1989).

τιακή εξήγηση για μια συγκεκριμένη καταιγίδα. Προσεκτικά διατυπωμένες μη αιτιακές «εξηγήσεις» δεν μπορούσαν ολοφάνερα να γίνουν αποδεκτές. Επιπλέον, σε περιπτώσεις όπως το ατύχημα του Τσερνομπίλ, ή την έκρηξη του διαστημικού λεωφορείου Τσάλεντζερ, αναζητούμε αιτιακές εξηγήσεις για να προσπαθήσουμε να αποφύγουμε τέτοιες τραγωδίες στο μέλλον. Η επιστημονική εξήγηση έχει τόσο την πρακτική της όσο και την καθαρά γνωσιακή της αξία.

Όταν προσπαθούμε να βρούμε αιτιακές εξηγήσεις για διάφορα συμβάντα, συμβαίνει συχνά να πρέπει να αναφερθούμε σε οντότητες οι οποίες δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμες από τις αισθήσεις του ανθρώπου χωρίς υποβοήθηση. Για παράδειγμα, για να κατανοήσουμε το σύνδρομο επίκτητης ανοσολογικής ανεπάρκειας, δηλαδή το AIDS, οφείλουμε να αντιμετωπίσουμε ιούς και κύτταρα. Για να κατανοήσουμε τη μετάδοση χαρακτηριστικών από τους γονείς στους απογόνους, εμπλεκόμαστε με τη δομή του μορίου DNA. Για να εξηγήσουμε ένα μεγάλο εύρος φαινομένων συσχετιζόμενων με το ατύχημα στο Θρη Μάιλ Άιλαντ (Three Mile Island) οφείλουμε να χειρισθούμε άτομα και υποατομικά σωματίδια. Όταν προσπαθούμε να συγκροτήσουμε αιτιακές εξηγήσεις, προσπαθούμε να ανακαλύψουμε τους μηχανισμούς –συχνά κρυμμένους μηχανισμούς– που προκαλούν τα γεγονότα με τα οποία καταγινόμαστε. Η αναζήτηση αιτιακών εξηγήσεων και η συναφής προσπάθεια να φέρουμε στο φως τις κρυμμένες λειτουργίες της φύσης αντιπροσωπεύει μια δεύτερη μεγάλη παράδοση σε ό,τι αφορά την επιστημονική εξήγηση. Μπορούμε να αναφερόμαστε σε αυτήν ως την *αιτιοκρατική-μηχανιστική παράδοση* (causal-mechanical tradition).

Έχοντας αντιπαραβάλει τις δυο μεγάλες παραδόσεις, πρέπει να επιστήσουμε την προσοχή του αναγνώστη στο σημείο όπου αυτές συμβαίνει να αλληλεπικαλύπτονται. Όταν η αναζήτηση των κρυμμένων μηχανισμών είναι επιτυχής, το αποτέλεσμα είναι συχνά η ανακάλυψη ενός μικρού αριθμού βασικών μηχανισμών που υποβαστάζουν ένα ευρύ πεδίο φαινομένων. Η εξήγηση διαφορετικών φαινομένων με τη βοήθεια των ίδιων μηχανισμών συνιστά θεωρητική ενοποίηση. Για παράδειγμα, η κινητική-μοριακή θεωρία των αερίων ενοποίησε τα θερμοδυναμικά φαινόμενα με τη Νευτώνεια μηχανική του υλικού σημείου. Η ανακάλυψη της δομής διπλής έλικας του DNA, είχε ως αποτέλεσμα μια μείζονα ενοποίηση της Βιολογίας και της Χημείας.

Κάθε μια από τις δυο μεγάλες παραδόσεις αντιμετωπίζει ορισμένες θεμελιώδεις δυσκολίες. Η παράδοση της εξήγησης ως ενοποίησης –συνδεδεμένη με την καθιερωμένη άποψη– εξακολουθεί να αντιμετωπίζει το πρόβλημα που αφορά την εξήγηση των νόμων, πρόβλημα που είχε τεθεί από τους Χέμπελ και Οπενχάιμ ήδη από το 1948 και το οποίο δεν λύθηκε από τον Χέμπελ σε καμιά από τις σχετικές με την επιστημονική εξήγηση εργασίες του που ακολούθησαν. Αν οι τεχνικές λεπτομέρειες της θεωρίας του Φρίντμαν περί ενοποίησης ήταν ικανοποιητικές, η θεωρία αυτή θα έδινε μια λύση σ' αυτό το πρόβλημα. Δυστυχώς όμως, η εν λόγω θεωρία φαίνεται να συναντά σοβαρές τεχνικές δυσκολίες (βλ. Kitcher 1976 και Salmon 1989).

Η αιτιοκρατική-μηχανιστική παράδοση αντιμετωπίζει μια χρονίζουσα φιλοσοφική δυσκολία που αφορά τη φύση της αιτιότητας και που τη διατύπωσε ο Ντέιβιντ Χιουμ (David Hume) τον δέκατο όγδοο αιώνα. Το πρόβλημα –διατυπωμένο εξαιρετικά πυκνά– είναι ότι φαίνεται αδύνατο να προσδιορίσουμε την ταυτότητα της *σύνδεσης* ανάμεσα στην αιτία και το αποτέλεσμα, ή να βρούμε τη *μυστική δύναμη* διά της οποίας η αιτία προκαλεί το αποτέλεσμα. Ο Χιουμ μπορούσε να βρίσκει ορισμένες *σταθερές συζεύξεις μεταξύ γεγονότων* (constant conjunctions of events) –για παράδειγμα μεταξύ φωτιάς και ζέστης– αλλά δεν μπορούσε να βρει τη σύνδεση (connection) ανάμεσα σε αυτά τα γεγονότα. Μπορούσε να βλέπει τόσο τη χωρική γειτνίαση των γεγονότων που αναγνωρίζουμε ως αιτία και αποτέλεσμα, όσο και τη χρονική προτεραιότητα του αιτίου έναντι του αποτελέσματος –όπως, για παράδειγμα, στις συγκρούσεις των σφαιρών του μπιλιάρδου– αλλά και πάλι δεν μπορούσε να δει καμιά *αναγκαία σύνδεση*. Έτσι κατέληξε να αποδώσει τη σύνδεση στη σφαίρα της ανθρώπινης φαντασίας, δηλαδή στην ψυχολογικής υφής προσδοκία που αισθανόμαστε αναφορικά με το αποτέλεσμα, όταν παρατηρούμε την αιτία.[21]

Το πρόβλημα του Χιουμ ως προς την αιτιότητα είναι ένα από τα πλέον δύστροπα προβλήματα σε ολόκληρη την ιστορία της φιλοσοφίας. Ορισμένοι φιλόσοφοι της επιστήμης προσπάθησαν να διατυπώσουν μια πιο αντικειμενική και περισσότερο στέρεη αντίληψη περί αιτιότητας, αλλά καμιά από αυτές δεν κέρδισε πολύ πλατιά αποδοχή. Ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους η καθιερωμένη άποψη υπήρξε επιφυλακτική στο να ενσωματώσει θέματα αιτιότητας στην ανάλυση της επιστημονικής εξήγησης, ήταν ένα οξύ αίσθημα ανησυχίας απέναντι στο πρόβλημα του Χιουμ. Μια από τις αδυναμίες της αιτιακής άποψης, όπως αντιμετωπίζεται από πολλούς φιλοσόφους που την ασπάζονται, είναι η απουσία οποιασδήποτε ικανοποιητικής θεωρίας περί αιτιότητας.[22]

1.16 ΠΡΑΓΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΗΓΗΣΗΣ

Όπως παρατηρήσαμε στην παράγραφο 1.4, ο όρος «εξήγηση» κάποτε αναφέρεται σε γλωσσικές οντότητες –δηλαδή σε συλλογές προτάσεων που δηλώνουν γεγονότα– και άλλοτε σε μη γλωσσικές οντότητες – δηλαδή σ' αυτά τα ίδια τα γεγονότα. Όταν σκεφτόμαστε το ζήτημα από τη σκοπιά της ανθρώπινης δραστηριότητας όπου κάποιος εξηγεί κάτι σε έναν άλλον άνθρωπο ή σε μια ομάδα ανθρώπων, έχουμε να κάνουμε με γλωσσική συμπεριφορά. Το να εξηγεί κανείς κάτι σε κάποιον περιλαμβάνει την εκφορά ή τη γραφή προτάσεων. Σε αυτή την πα-

---

[21] Η ανάλυση του Χιουμ για την αιτιότητα εξετάζεται με περισσότερες λεπτομέρειες στο Κεφάλαιο 2, Μέρος ΙΙ.

[22] Έχω προσπαθήσει να πραγματοποιήσω κάποια πρόοδο σε αυτή την κατεύθυνση στο Salmon (1984, κεφάλαια 5-7).

ράγραφο θα δούμε ορισμένες όψεις αυτής της *εξηγητικής διαδικασίας*. Μέχρις εδώ, στο παρόν κεφάλαιο ασχοληθήκαμε κυρίως με το *προϊόν* που προκύπτει από αυτήν τη δραστηριότητα, δηλαδή την εξήγηση που παρείχε η εξηγητική διαδικασία.

Όταν οι φιλόσοφοι εξετάζουν τη γλώσσα, χωρίζουν συνήθως τη μελέτη της σε τρία μέρη: σύνταξη, σημασιολογία, και πραγματολογική ανάλυση. Η σύνταξη ασχολείται μόνο με σχέσεις μεταξύ συμβόλων, χωρίς αναφορά στα νοήματα των συμβόλων ή στους ανθρώπους που τα χρησιμοποιούν. Χοντρικά, η σύνταξη είναι καθαρή γραμματική· ασχολείται μόνο με τις συμβάσεις που ορίζουν τους συνδυασμούς και το χειρισμό συμβόλων. Η σημασιολογία ασχολείται με τις σχέσεις μεταξύ των συμβόλων και των πραγμάτων στα οποία αυτά τα σύμβολα αναφέρονται. Το νόημα και η αλήθεια είναι οι κυριότερες έννοιες της σημασιολογίας. Η πραγματολογική ανάλυση ασχολείται με τις σχέσεις μεταξύ των συμβόλων, με αυτό στο οποίο αναφέρονται, καθώς και με τους χρήστες της γλώσσας και τις μεταξύ τους σχέσεις. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη συζήτησή μας παρουσιάζει η εξέταση του πλαισίου μέσα στο οποίο χρησιμοποιείται η γλώσσα.

Η εργασία των Χέμπελ και Οπενχάιμ του 1948 προσέφερε μια εξαιρετικά τυποποιημένη περιγραφή των Π-Ν εξηγήσεων για επιμέρους γεγονότα, και περιέγραψε αυτού του είδους τις εξηγήσεις αποκλειστικά με συντακτικούς και σημασιολογικούς όρους. Πραγματολογικά ζητήματα δεν αντιμετωπίστηκαν. Οι χαρακτηρισμοί άλλων τύπων εξηγήσεων που πρότεινε αργότερα ο Χέμπελ αποδόθηκαν κατά κύριο λόγο με συντακτικούς και σημασιολογικούς όρους, μολονότι οι Ε-Σ εξηγήσεις παρουσίαζαν, όπως παρατηρήσαμε, εξάρτηση από τις περιστάσεις. Οι περιστάσεις της γνώσης αποτελούν όψεις των πλαισίων μέσα στα οποία επιζητούνται και δίνονται οι εξηγήσεις. Τα πλαίσια αυτά έχουν και άλλες επιπλέον όψεις.

Ένας καλός τρόπος να εξετάσουμε τις πραγματολογικές διαστάσεις της εξήγησης είναι να ξεκινήσουμε από το ερώτημα μέσω του οποίου επιζητείται μια εξήγηση. Στην παράγραφο 1.3 ασχοληθήκαμε ακροθιγώς με το ζήτημα. Παρατηρήσαμε ότι πολλές εξηγήσεις, αν όχι όλες, μπορούν να επιζητηθούν σωστά μέσω *ερωτήσεων του τύπου «γιατί;» που επιζητούν εξήγηση*. Σε πολλές περιπτώσεις, το πρώτο πραγματολογικό βήμα είναι η διασάφηση της ερώτησης· συχνά, η ερμηνεία της πρότασης που διατυπώνεται από αυτόν που ρωτά εξαρτάται από στοιχεία που χαρακτηρίζουν το πλαίσιο εκφοράς της. Όπως έχει δείξει ο Μπας φαν Φράασεν (Bas van Fraassen), ο οποίος έχει συνεισφέρει πολλά στη μελέτη της πραγματολογικής ανάλυσης της εξήγησης, η έμφαση με την οποία κάποιος ομιλητής θέτει μια ερώτηση μπορεί να παίζει αποφασιστικό ρόλο στον επακριβή καθορισμό τού ποια ακριβώς είναι η ερώτηση. Για να το διευκρινίσει, ο ίδιος ανατρέχει στη Βιβλική ιστορία του Κήπου της Εδέμ. Αναλογιστείτε τις ακόλουθες τρεις ερωτήσεις:

(i) Γιατί ο Αδάμ έφαγε *το μήλο*;
(ii) Γιατί *ο Αδάμ* έφαγε το μήλο;

(iii) Γιατί ο Αδάμ *έφαγε* το μήλο;

Παρόλο που οι λέξεις είναι οι ίδιες –και με την ίδια σειρά– σε κάθε μια από τις τρεις παραπάνω ερωτήσεις, τίθενται τρία διαφορετικά ερωτήματα. Αυτό μπορεί να διαφανεί αν φέρουμε στο νου μας αυτό που ο Μπας φαν Φράασεν ονομάζει *σύνολο αντιπαραβολής* (contrast class). Η πρόταση (i) ρωτά γιατί ο Αδάμ έφαγε το μήλο αντί για ένα αχλάδι, μια μπανάνα ή ένα ρόδι. Η πρόταση (ii) ρωτά γιατί είναι ο Αδάμ, αντί η Εύα, ο όφις ή μια κατσίκα, που έφαγε το μήλο. Η πρόταση (iii) ρωτά γιατί ο Αδάμ έφαγε το μήλο αντί να το πετάξει μακριά, να ταΐσει μ' αυτό μια κατσίκα ή να το κρύψει κάπου. Μέχρι να ξεκαθαρίσουμε ποια ερώτηση διατυπώνεται, πολύ δύσκολα μπορούμε να περιμένουμε ότι θα αποκομίσουμε κατάλληλες απαντήσεις.

Ένα ακόμα πραγματολογικό χαρακτηριστικό της εξήγησης αφορά τη γνώση και τη διανοητική ικανότητα εκείνου του ατόμου ή εκείνης της ομάδας που επιζητά την εξήγηση. Συνήθως δεν έχει νόημα το να συμπεριλάβουμε στην εξήγηση πράγματα που είναι προφανή για όλους τους ενδιαφερόμενους. Επιστρέφοντας στο (3) –το κύριο παράδειγμα Π-Ν εξήγησης ενός επιμέρους γεγονότος– κάποιος που επιζητά μια εξήγηση της ξαφνικής εντυπωσιακής αύξησης του ρυθμού περιστροφής της αθλήτριας της καλλιτεχνικής παγοδρομίας μπορεί να είναι πλήρως ενήμερος του γεγονότος ότι εκείνη τράβηξε τα χέρια της κοντά στο σώμα της, αλλά να μην είναι καθόλου εξοικειωμένος με το νόμο διατήρησης της εντυπωσιακής αύξησης στροφορμής. Για αυτόν τον ερωτώντα, απαιτείται η γνώση του νόμου της διατήρησης της στροφορμής προκειμένου να κατανοήσει το εξηγητέο γεγονός. Κάποιος άλλος μπορεί να είναι πλήρως ενήμερος σχετικά με το νόμο διατήρησης της στροφορμής, αλλά να μην πρόσεξε το τι έκανε η αθλήτρια με τα χέρια της. Αυτός πρέπει να πληροφορηθεί για την ιδιαίτερη κίνηση των χεριών της. Κάποιος άλλος, ακόμα, μπορεί να πρόσεξε την κίνηση των χεριών της αθλήτριας, και μπορεί να είναι ενήμερος για το νόμο διατήρησης της στροφορμής, αλλά να μην έχει συνειδητοποιήσει ότι αυτός ο νόμος εφαρμόζεται στην κίνηση της αθλήτριας. Σ' αυτόν πρέπει να υποδειχθεί το πώς να εφαρμόσει το νόμο στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Από την άλλη, δεν έχει κανένα νόημα το να συμπεριλάβει κανείς στην εξήγηση υλικό το οποίο υπερβαίνει την ικανότητα αντίληψης του ακροατή. Για τα περισσότερα από τα παιδιά του σχολείου, για παράδειγμα, μια εξήγηση της σκοτεινότητας του ουρανού που κάνει αναφορά στη μη Ευκλείδεια δομή του χώρου ή στη μέση ελεύθερη διαδρομή των φωτονίων θα ήταν ακατάλληλη. Πολλές από τις εξηγήσεις που συναντάμε σε πραγματικές συνθήκες στη ζωή μας είναι ανεπαρκείς λόγω της λανθασμένης άποψης που έχει αυτός που εξηγεί σχετικά με το τι γνωρίζει το ακροατήριό του.

Ένα ακόμα πραγματολογικό ζήτημα αφορά τα ενδιαφέροντα του ακροατηρίου. Ένας επιστήμονας που δίνει μια εξήγηση για ένα σοβαρό ατύχημα σε μια εξεταστική επιτροπή της Βουλής ίσως πει στα μέλη της επιτροπής πολύ περισ-

σότερες επιστημονικές λεπτομέρειες από όσες αυτά θέλουν να γνωρίζουν. Όταν μια επιτροπή θέλει να μάθει γιατί έπεσε ένα αεροπλάνο, θα την ενδιέφερε μεν να μάθει ότι η αιτία ήταν η συσσώρευση πάγου στα φτερά, αλλά θα έπληττε αφάνταστα με την επιστημονική αιτιολόγηση του γιατί η συσσώρευση πάγου προκαλεί την πτώση των αεροπλάνων.

Ο Πίτερ Ράιλτον (Peter Railton, 1981) πρότεινε μια διάκριση που βοηθά σημαντικά την κατανόηση του ρόλου των πραγματολογικών στοιχείων στην εξήγηση. Πρώτα εισάγει την έννοια του *ιδανικού εξηγητικού κειμένου* (ideal explanatory text). Ένα ιδανικό εξηγητικό κείμενο περιέχει *όλα* τα γεγονότα και *όλους* του νόμους που είναι σχετικοί με το εξηγητέο γεγονός. Περιγράφει λεπτομερώς όλες τις αιτιακές συνδέσεις μεταξύ αυτών των γεγονότων, και όλους τους κρυμμένους μηχανισμούς. Στις περισσότερες περιπτώσεις το ιδανικό εξηγητικό κείμενο είναι πελώριο και εξαιρετικά σύνθετο. Φανταστείτε, για παράδειγμα, την εξήγηση ενός αυτοκινητιστικού δυστυχήματος. Οι *πλήρεις* λεπτομέρειες στοιχείων όπως η συμπεριφορά των δυο οδηγών, η μηχανική λειτουργία των δυο αυτοκινήτων, η κατάσταση του οδοστρώματος, η βρομιά πάνω στους δυο ανεμοθραύστες και ο καιρός θα ήταν απίστευτα σύνθετες. Όμως αυτό δεν αποτελεί πραγματικό πρόβλημα, αφού το ιδανικό εξηγητικό κείμενο δίδεται σπάνια, αν όχι ποτέ, με όλες τις λεπτομέρειες. Αυτό που έχει σημασία είναι το να υπάρχει η δυνατότητα να φωτίζονται τμήματα του ιδανικού κειμένου έτσι όπως αυτά ζητούνται ή χρειάζονται. Όταν παρέχουμε τη γνώση που χρειάζεται για να συμπληρωθούν κάποιες πλευρές του ιδανικού κειμένου, τότε παρέχουμε *εξηγητικές πληροφορίες*.

Το να επιζητούμε μια επιστημονική εξήγηση ενός δεδομένου γεγονότος είναι σχεδόν πάντοτε –αν όχι κυριολεκτικά πάντα– το να επιζητούμε, όχι ένα ιδανικό εξηγητικό κείμενο, αλλά εξηγητικές πληροφορίες. Το ιδανικό κείμενο περιέχει όλα τα γεγονότα και όλους τους νόμους που άπτονται του εξηγητέου γεγονότος. Αυτά αποτελούν τις εντελώς αντικειμενικές και μη πραγματολογικές όψεις της εξήγησης. Για να θεωρηθούν οι εξηγητικές πληροφορίες νόμιμες, πρέπει να αντιστοιχούν στα αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ιδανικού κειμένου. Το ιδανικό κείμενο καθορίζει τι είναι *σχετικό* με το εξηγητέο γεγονός. Από τη στιγμή, ωστόσο, που δεν είμαστε σε θέση, αλλά ούτε και θέλουμε, να παράσχουμε το ιδανικό κείμενο στην ολότητά του, πρέπει να κάνουμε μια επιλογή της πληροφορίας που πρόκειται να παρασχεθεί. Τούτο εξαρτάται από τη γνώση και τα ενδιαφέροντα τόσο εκείνων που επιζητούν όσο και εκείνων που παρέχουν τις εξηγήσεις. Η πληροφορία που ικανοποιεί την αίτηση για εξήγηση, από τη σκοπιά των ενδιαφερόντων και της γνώσης του ακροατηρίου, συνιστά *εξέχουσα* πληροφορία. Η πραγματολογική ανάλυση της εξήγησης προσδιορίζει το τι προέχει – δηλαδή το ποιες όψεις του ιδανικού εξηγητικού κειμένου είναι κατάλληλες για μια εξήγηση σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο.

1.17 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Πριν από αρκετά χρόνια, ένας φίλος και συνάδελφος –τον οποίο θα ονομάσω *ο φιλικός φυσικός*– καθόταν σ' ένα αεριωθούμενο αεροπλάνο περιμένοντας την απογείωση. Ακριβώς απέναντί του στο διάδρομο ήταν ένα αγόρι που κρατούσε από μια κλωστή ένα μπαλόνι γεμισμένο με ήλιο. Προσπαθώντας να κεντρίσει την περιέργεια του παιδιού, ο φιλικός φυσικός το ρώτησε τι νόμιζε ότι θα έκανε το μπαλόνι όταν το αεροπλάνο θα επιτάχυνε για να απογειωθεί. Αφού σκέφτηκε λίγο, το παιδί είπε πως το μπαλόνι θα πήγαινε προς το πίσω μέρος του αεροπλάνου. Ο φιλικός φυσικός απάντησε ότι *ο ίδιος* νόμιζε πως το μπαλόνι θα πήγαινε προς το εμπρός μέρος του θαλάμου. Αρκετοί ενήλικες από τα γύρω καθίσματα άρχισαν να δείχνουν ενδιαφέρον για τη συζήτηση, και επέμεναν ότι ο φιλικός φυσικός δεν είχε δίκιο. Ένας ιπτάμενος φροντιστής προσφέρθηκε να στοιχηματίσει ένα μικρό μπουκάλι ουίσκι ότι ο φυσικός έκανε λάθος – στοίχημα που ο τελευταίος αποδέχθηκε με προθυμία. Μετά από λίγο το αεροπλάνο επιτάχυνε, το μπαλόνι κινήθηκε προς τα εμπρός, και ο φιλικός φυσικός απόλαυσε ένα ποτό δωρεάν.[23]

Γιατί το μπαλόνι κινήθηκε προς το εμπρός μέρος του θαλάμου; Δυο εξηγήσεις είναι δυνατόν να δοθούν για το φαινόμενο, και οι δυο είναι σωστές. Πρώτα, μπορεί κάποιος να πει μια ιστορία για τη συμπεριφορά των μορίων που αποτελούν τον αέρα μέσα στο θάλαμο, εξηγώντας πώς το πίσω τοίχωμα συγκρούστηκε με τα κοντινά σ' αυτό μόρια όταν άρχισε η προς τα εμπρός κίνηση, δημιουργώντας έτσι μια βαθμίδα πίεσης με κατεύθυνση ελάττωσης της πίεσης από το πίσω προς το εμπρός μέρος του θαλάμου. Αυτή η βαθμίδα πίεσης προκάλεσε μια μη εξισορροπούμενη δύναμη από την πίσω προς την εμπρός πλευρά του μπαλονιού, με αποτέλεσμα την προς τα εμπρός κίνηση του μπαλονιού.[24] Έπειτα, μπορεί κανείς να παραθέσει μια εξαιρετικά γενική φυσική αρχή –την *αρχή της ισοδυναμίας* του Αϊνστάιν (Einstein)– σύμφωνα με την οποία, μια επιτάχυνση είναι από φυσική άποψη ισοδύναμη, για εκείνους που βρίσκονται στο θάλαμο, προς ένα βαρυτικό πεδίο. Εφόσον τα μπαλόνια που είναι γεμισμένα με ήλιο τείνουν να ανυψώνονται μέσα στο βαρυτικό πεδίο της γης, τότε αυτά θα κινηθούν προς τα εμπρός όταν το αεροπλάνο επιταχύνει, αντιδρώντας με τον τρόπο αυτό όπως ακριβώς θα αντιδρούσαν αν ένα αντικείμενο μεγάλης μάζας τοποθετούνταν ξαφνικά πίσω από το πίσω τοίχωμα του θαλάμου.

Η πρώτη από αυτές τις εξηγήσεις είναι αιτιοκρατική-μηχανιστική. Κάνει αναφορά σε μη παρατηρήσιμες οντότητες, περιγράφοντας τις αιτιακές διαδικασίες και τις αιτιακές αλληλεπιδράσεις που ενέχονται στο εξηγητέο φαινόμενο.

---

[23] Αυτή η μικρή ιστορία δημοσιεύθηκε στο Salmon (1980). Σ' εκείνο το άρθρο δεν έδωσα κάποια εξήγηση για το φαινόμενο.

[24] Αντικείμενα που είναι πυκνότερα από τον αέρα δεν κινούνται προς το εμπρός μέρος του θαλάμου, γιατί η διαφορά πίεσης δεν είναι επαρκής για να υπερκεράσει την αδράνειά τους.

Αφού γνωρίσουμε αυτά τα εξηγητικά γεγονότα, κατανοούμε το πώς προκλήθηκε το φαινόμενο. Αυτό είναι το είδος εξήγησης που ταιριάζει στις προτιμήσεις των υποστηρικτών της αιτιο-μηχανικής παράδοσης. Η δεύτερη εξήγηση αποτελεί παράδειγμα της ενοποιητικής προσέγγισης. Προσφεύγοντας σε μια εξαιρετικά γενική φυσική αρχή, δείχνει πώς αυτό το περίεργο μικρό συμβάν εντάσσεται μέσα στο καθολικό πλαίσιο των πραγμάτων. Δεν κάνει αναφορά σε λεπτομερειακούς μηχανισμούς. Αυτή η εξήγηση παρέχει ένα διαφορετικό είδος κατανόησης του ίδιου γεγονότος.

Ποια από τις δυο αυτές εξηγήσεις είναι η σωστή; Και οι δυο είναι. Και οι δυο είναι ενσωματωμένες στο ιδανικό εξηγητικό κείμενο. Κάθε μια μας προσφέρει πολύτιμες εξηγητικές πληροφορίες. Θα ήταν σοβαρό λάθος να θεωρήσουμε ότι κάθε φαινόμενο έχει μόνο μία εξήγηση. Είναι λάθος, πιστεύω, να ζητήσουμε *την* εξήγηση ενός συμβάντος. Κάθε μια από τις παραπάνω εξηγήσεις παρέχει ένα είδος επιστημονικής κατανόησης. Πραγματολογικά ζητήματα μπορεί να υπαγορεύσουν την επιλογή της μιας ή της άλλης μέσα σε ένα δεδομένο πλαίσιο. Για παράδειγμα, η εξήγηση από τη σκοπιά της αρχής της ισοδυναμίας δεν θα ταίριαζε στην περίπτωση ενός δεκάχρονου παιδιού. Η ίδια εξήγηση ίσως να ήταν η ενδεδειγμένη σε ένα προπτυχιακό πρόγραμμα Φυσικής. Όμως και οι δυο είναι bona fide εξηγήσεις.

Όπως είδαμε στην Παράγραφο 1.10, η εργασία των Χέμπελ και Οπενχάιμ του 1948 δεν τράβηξε το ενδιαφέρον κανενός επί μία περίπου δεκαετία από τη δημοσίευσή της. Γύρω στα 1959 έγινε η εστία μιας έντονης διαμάχης, μεγάλο μέρος της οποίας πήγαζε από όσους έβλεπαν την αιτιότητα ως κεντρικό θέμα της επιστημονικής εξήγησης. Στα τριάντα χρόνια που ακολούθησαν, γίναμε μάρτυρες μιας έντονης αντιπαράθεσης ανάμεσα στους υπερασπιστές της καθιερωμένης άποψης από τη μια, και σε εκείνους που πρεσβεύουν την αιτιακή εξήγηση από τη άλλη. Κάθε μια από τις δυο κύριες προσεγγίσεις αναπτύχθηκε εντυπωσιακά στη διάρκεια αυτής της περιόδου. Και οι δύο αναπτύχθηκαν τόσο ώστε να μπορούν να συνυπάρχουν ειρηνικά ως δύο διακριτές όψεις της επιστημονικής εξήγησης. Η επιστημονική κατανόηση είναι, εν τέλει, μια πολυσύνθετη υπόθεση· και δεν πρέπει να νιώσουμε έκπληξη ανακαλύπτοντας ότι έχει πολλές διαφορετικές όψεις. Η αποκάλυψη μηχανισμών που δρουν κάτω από την επιφάνεια των φαινομένων και η ενσωμάτωση φαινομένων μέσα σε περιεκτικές εικόνες του κόσμου φαίνεται να συνιστούν δύο σημαντικές όψεις. Επιπλέον, όπως σημειώθηκε πιο πάνω, πρέπει να θυμόμαστε ότι αυτοί οι δύο τύποι κατανόησης συχνά αλληλεπικαλύπτονται. Όταν διαπιστώνουμε πως ίδιοι μηχανισμοί ευθύνονται για φυσικά φαινόμενα διαφορετικού τύπου έχουμε ipso facto θεωρητική ενοποίηση.

Μόνον επί μίας βασικής θέσεως υπάρχει σχεδόν πλήρης ομοφωνία. Θυμηθείτε ότι στις πρώτες δεκαετίες του εικοστού αιώνα πολλοί επιστήμονες και φιλόσοφοι αρνούνταν πως υπήρχε κάτι σαν την επιστημονική εξήγηση. Εξήγηση μπορεί να υπάρξει, σύμφωνα με αυτή την άποψη, μόνον στο βασίλειο της Θεολογίας και της Μεταφυσικής. Προς το παρόν φαίνεται να ομοφωνούν σχεδόν

όλοι ότι, ανεξάρτητα από το πώς θα την ερμηνεύσουμε, η επιστημονική εξήγηση υπάρχει. Η επιστήμη *μπορεί* να παρέχει τη βαθιά κατανόηση του κόσμου. *Δεν* χρειάζεται να προσφύγουμε σε υπερφυσικές δυνάμεις για να επιτύχουμε την κατανόηση. Το ίδιο σημαντικό είναι να αντιπαρατάξουμε τις αντικειμενικές εξηγήσεις της σύγχρονης επιστήμης στην ψευδοκατανόηση που προσφέρουν ολοφάνερα μη επιστημονικές προσεγγίσεις, όπως αυτές της αστρολογίας, της «επιστήμης» της δημιουργίας, και της σαϊεντολογίας (scientology). Αυτά είναι πράγματα που αξίζει να θυμόμαστε σε μια εποχή που η ψευδοεπιστήμη οργιάζει.

ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΣΥΖΗΤΗΣΙΝ

1. Πρέπει κάθε εξήγηση να περιέχει ένα νόμο της φύσης; Σύμφωνα με τους φιλοσόφους που υποστηρίζουν την «καθιερωμένη άποψη», η απάντηση είναι καταφατική. Άλλοι φιλόσοφοι έχουν τοποθετηθεί αρνητικά. Συζητήστε, προσεγγίζοντάς τα με κριτικό τρόπο, τα επιχειρήματα υπέρ και κατά. Δώστε τη δική σας απάντηση, υποστηρίζοντάς την με επιχειρήματα.
2. Υπάρχουν επαγωγικές ή στατιστικές εξηγήσεις επιμέρους γεγονότων; Στην κλασική εργασία τους του 1948, οι Χέμπελ και Οπενχάιμ λένε ότι υπάρχουν τέτοιες εξηγήσεις, αλλά δεν μας προσφέρουν καμιάν ανάλυση της φύσης τους. Οι προσπάθειες που ακολούθησαν για την επεξεργασία των λεπτομερειών προσέκρουσαν σε πολλές δυσκολίες. Συζητήστε αυτά τα προβλήματα και πείτε αν νομίζετε πως είναι ανυπέρβλητα. Δώστε τα δικά σας επιχειρήματα.
3. Σύμφωνα με τη *θέση περί συμμετρίας εξήγησης-πρόβλεψης*, κάθε ικανοποιητική επιστημονική εξήγηση θα μπορούσε (σε κάποιο κατάλληλο πλαίσιο) να λειτουργήσει και ως επιστημονική πρόβλεψη, και κάθε επιστημονική πρόβλεψη θα μπορούσε (σε κάποιο κατάλληλο πλαίσιο) να λειτουργήσει και ως επιστημονική εξήγηση. Συζητήστε προσεγγίζοντάς τα με κριτικό τρόπο και τα δυο μέρη της θέσης περί συμμετρίας. Δώστε τα δικά σας επιχειρήματα για την αποδοχή ή την απόρριψη κάθε μέρους.
4. Υπάρχουν *θεμελιώδεις* διαφορές μεταξύ των εξηγήσεων στις φυσικές επιστήμες και των εξηγήσεων στις κοινωνικές επιστήμες; (Διαβάστε το Κεφάλαιο της Μέριλι Σάλμον για τη φιλοσοφία την κοινωνικών επιστημών.) Υπάρχουν βασικές διαφορές μεταξύ της ανθρώπινης συμπεριφοράς και της συμπεριφοράς άλλων ειδών φυσικών αντικειμένων που να καθιστούν το ένα είδος πιο πρόσφορο, από πλευράς εξήγησης, από το άλλο; Είναι δυνατή η εξήγηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς, στο μέτρο που η τελευταία σχετίζεται με συνειδητή σκέψη και ελεύθερη επιλογή; Συζητήστε το με τρόπο κριτικό.
5. Στο παρόν κεφάλαιο θεωρήσαμε ότι η πρόταση «Καμιά χρυσή σφαίρα δεν έχει μάζα μεγαλύτερη από 100.000 χιλιόγραμμα» δεν αποτελεί νομοειδή πρό-

ταση, ενώ η πρόταση «Καμιά σφαίρα εμπλουτισμένου ουρανίου δεν έχει μάζα μεγαλύτερη από 100.000 χιλιόγραμμα» αποτελεί νομοειδή πρόταση. Συζητήστε τη διάκριση μεταξύ νομοειδών και συμπτωματικών γενικεύσεων. Εξηγήστε όσο το δυνατόν καθαρότερα γιατί η μία είναι νομοειδής και η άλλη δεν είναι.

6. Συζητήστε το ρόλο της αιτιότητας στην επιστημονική εξήγηση. Κάνουν όλες οι νόμιμες επιστημονικές εξηγήσεις αναφορά σε αιτιακές σχέσεις; Είναι η αιτιότητα ουσιαστικά άσχετη με την επιστημονική εξήγηση; Είναι κάποιες καλές εξηγήσεις αιτιακές και κάποιες άλλες όχι; Συζητήστε το κριτικά.
7. Διαλέξτε ένα πραγματικό παράδειγμα επιστημονικής εξήγησης από ένα περιοδικό όπως τα *Scientific American, Science, Nature, Scientist*, ή από κάποιο διδακτικό εγχειρίδιο που χρησιμοποιήσατε σε ένα επιστημονικό μάθημα. Δώστε μια σύντομη περίληψη αυτής της εξήγησης, και αναλύστε την με βάση τα μοντέλα (όπως Π-Ν, Ε-Σ, Π-Σ, Σ-Σ) και τις έννοιες (όπως επικαλύπτων νόμος, αιτιοκρατικός αιτιο-μηχανικός, ενοποίηση κλπ.) που εξετάσαμε στο παρόν κεφάλαιο. Αξιολογήστε την εξήγηση με βάση αυτά τα μοντέλα και αυτές τις έννοιες.
8. Στην παράγραφο 1.9 διατυπώθηκε ο ισχυρισμός ότι η πρόταση

(i) Όλα τα αέρια που βρίσκονται κλεισμένα μέσα σε δοχεία σταθερού όγκου, ασκούν μεγαλύτερη πίεση όταν θερμανθούν,

είναι μια γενική πρόταση, ενώ η πρόταση

(v) Όλες οι εργασίες της καλαθοποιίας των Απάτσι γίνονται από τις γυναίκες

δεν είναι εντελώς γενική, επειδή αναφέρεται ειδικά σε μία επιμέρους ομάδα ανθρώπων. Ωστόσο μπορεί να εγερθεί η ένσταση ότι η (i) αναφέρεται σε φυσικά αντικείμενα ενός ειδικού τύπου, δηλαδή αέρια μέσα σε κλειστά δοχεία, και άρα δεν είναι ούτε αυτή απόλυτα γενική. Επιπλέον, η (v) είναι μια γενική πρόταση για τους Απάτσι. Συζητήστε αυτήν την ένσταση. Υπόδειξη: Η πρόταση (i) μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: «Αν *κάτι* είναι αέριο και βρίσκεται μέσα σε ένα κλειστό δοχείο που θερμαίνεται, τότε θα διασταλεί». Αλλά και η πρόταση (v) μπορεί να επαναδιατυπωθεί ως εξής: «Αν κάτι είναι ένα καλάθι των Απάτσι, τότε έχει φτιαχτεί από γυναίκα». Υπάρχει κάποια θεμελιώδης λογική διαφορά ανάμεσα στις δύο προτάσεις όπως επαναδιατυπώθηκαν;

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

FRIEDMAN, MICHAEL (1974), "Explanation and Scientific Understanding", στο *Journal of Philosophy 71:* 5-19. Ανατυπωμένο στο Pitt (1988). Αυτή είναι η πρωτότυπη διατύπωση την ενοποιητικής προσέγγισης της επιστημονικής εξήγησης. Μολονότι προς το τέλος υπάρχουν μερικά σύντομα, ιδιαίτερα τεχνικά, μέρη, το άρθρο περιέχει μια ενδιαφέρουσα γενική παρουσίαση των βασικών ζητημάτων.

HEMPEL, CARL G. (1942), "The Function of General Laws in History", *Journal of Philosophy 39*: 35-48. Ανατυπωμένο στο Hempel (1965β). Πρόκειται για την πρωτότυπη εργασία του Χέμπελ για την εξήγηση στην ιστορία.

— (1959), "The Logic of Functional Analysis", στο Llewellyn Gross (επιμ.), *Symposium on Sociological Theory*, New York: Harper & Row, σελ. 271-307. Ανατυπωμένο στο Hempel (1965β). Πρόκειται για την πρωτότυπη εργασία του Χέμπελ για τη λειτουργιστική (functional) εξήγηση.

— (1962), "Explanation in Science and in History", στο Robert G. Colodny (επιμ.), *Frontiers of Science and Philosophy*, Pittsburgh: University of Pitsburgh Press, σελ. 7-33. Μια διαφωτιστική και ευκολοδιάβαστη σύντομη παρουσίαση των βασικών απόψεων του Χέμπελ.

— (1965α), "Aspects of Scientific Explanation", στο Hempel (1965β), σελ. 331-496. Επιβλητική περιεκτική μονογραφία του Χέμπελ για την επιστημονική εξήγηση.

— (1965β), *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*, New York: The Free Press. Το 4ο Μέρος περιέχει τέσσερα κλασικά άρθρα για την επιστημονική εξήγηση.

— (1966), *Philosophy of Natural Science*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. Τα Κεφάλαια 5-8 προσφέρουν μια εξαιρετικά στοιχειώδη και πολύ ευκολοδιάβαστη εισαγωγή στις απόψεις του Χέμπελ.

HEMPEL, CARL G. and PAUL OPPENHEIM (1948), "Studies in the Logic of Explanation", *Philosophy of Science 15*: 135-175. Ανατυπωμένο στα Hempel (1965β) και Pitt (1988). Αυτή είναι η σύγχρονη κλασική εκδοχή για την επιστημονική εξήγηση. Το 1ο και το 3ο μέρος είναι ιδιαίτερα σημαντικά.

HUMPHREYS, PAUL (1981), "Aleatory Explanation". *Synthese 48*: 225-232. Εισαγωγική περιγραφή μιας νέας προσέγγισης της στατιστικής περιγραφής.

JEFFREY, RICHARD C. (1969), "Statistical Explanation vs. Statistical Inference", στο Nicholas Recher (επιμ.), *Essays in Honor of Carl G. Hempel*, Dortrecht: Reidel, σελ. 104-113. Ανατυπωμένο στο Wesley Salmon and others (1970), *Statistical Explanation and Statistical Relevance*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press. Αυτό το φιλοσοφικό κόσμημα θέτει ρητά την ερώτηση αν οι εξηγήσεις αποτελούν επιχειρήματα.

PITT, JOSEPH C (επιμ.) (1988), *Theories of Explanation*, New York: Oxford University Press. Μια ανθολογία που περιέχει αρκετά σημαντικά άρθρα.

RAILTON, PETER (1981), "Probability, Explanation and Information", *Synthese 48*: 233-256. Μια σαφής και προσεκτική εισαγωγή στη μηχανιστική προσέγγιση της πιθανοκρατικής εξήγησης.

SALMON, WESLEY C. (1987), "Why Ask, «Why?» - An Inquiry Concerning Explanation", *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association 51*: 683-705. Μια εισαγωγή στην εξήγηση με αναφορά σε μη παρατηρήσιμες οντότητες.

— (1982), "Comets, Pollen, and Dreams: Some Reflections on Scientific Explanation", στο Robert McLaughlin (επιμ.), *What? Where? When? Why?* Dortrecht: Reidel, σελ. 155-178. Εκλαϊκευμένη παρουσίαση κάποιων βασικών ζητημάτων σχετικά με την επιστημονική εξήγηση.

— (1990), *Four Decades of Scientific Explanation*, Minneapolis: University of Minnesota Press. Μια ιστορική ανασκόπηση των φιλοσοφικών εξελίξεων από την κλασική εργασία των Χέμπελ και Οπενχάιμ (τού 1948) και μετά.

SCRIVEN, MICHAEL (1959), "Explanation and Prediction in Evolutionary Theory", *Science 130:* 477-482. Μια πρώτη ισχυρή αμφισβήτηση της άποψης του Χέμπελ.

— (1962), "Explanations Predictions and Laws", στο Herbert Feigl and Grover Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Vol. 3, *Scientific Explanation, Space and Time*, Minneapolis: University of Minnesota Press, σελ. 170-230. Άλλη μια ισχυρή επίθεση εναντίον της καθιερωμένης άποψης για την επιστημονική εξήγηση.

VAN FRAASSEN, BAS C. (1980), *The Scientific Image*, Oxford: Clarendon Press. Το 5ο Κεφάλαιο αποτελεί μια σπουδαία παρουσίαση της πραγματολογικής ανάλυσης της εξήγησης.

WRIGHT, LARRY (1976), *Teleological Explanations*, Berkeley and Los Angeles: University of California Press. Μια σπουδαία διαπραγμάτευση τόσο της τελεολογικής όσο και της λειτουργιστικής εξήγησης.

Δεύτερο Κεφάλαιο

ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ

John Earman και *Wesley Salmon*

Στο πρώτο κεφάλαιο εξετάσαμε τη φύση και τη σπουδαιότητα της επιστημονικής εξήγησης. Όταν καλούμαστε να δώσουμε μια επιστημονική εξήγηση για ένα οποιοδήποτε γεγονός, επιμέρους ή γενικό, πρέπει να είμαστε σε θέση να διατυπώσουμε τις προτάσεις εκείνες που συνιστούν το εξηγούν της εξήγησης. Στην Εισαγωγή, είδαμε ήδη ότι πολλές από τις προτάσεις που κατέχουν ρόλο εξηγούντος δεν μπορούν να εδραιωθούν ως σύνολο προτάσεων οριστικά επικυρωμένο. Αυτές οι προτάσεις μπορούν ωστόσο να υποστηριχτούν ή να επικυρωθούν σε ένα βαθμό που δεν φτάνει την απόλυτη βεβαιότητα. Αυτό που επιθυμούμε να γνωρίζουμε είναι το εξής: τι είναι αυτό που ενέχεται στη διαδικασία που ονομάζουμε *επικύρωση*, η οποία αφορά τα διάφορα είδη προτάσεων που χρησιμοποιούνται στις εξηγήσεις καθώς και άλλες όψεις της επιστημονικής πρακτικής.

Το παρόν κεφάλαιο αποτελείται από τέσσερα μέρη. Στο Πρώτο Μέρος (Παράγραφοι 2.1-2.4) εισάγεται το πρόβλημα της επικύρωσης και εκτίθενται ορισμένες προσπάθειες να αναλυθεί ο ποιοτικός χαρακτήρας της έννοιας της στήριξης. Το Δεύτερο Μέρος (Παράγραφοι 2.5-2.6) περιέχει μιαν ανασκόπηση του προβλήματος της επαγωγής όπως τέθηκε από τον Χιουμ, και ορισμένες προσπάθειες επίλυσής του. Στο Τρίτο Μέρος (Παράγραφοι 2.7-2.8) αναπτύσσεται η μαθηματική θεωρία των πιθανοτήτων και εξετάζονται διάφορες ερμηνείες της έννοιας *πιθανότητα*. Στο Τέταρτο Μέρος (2.9 -2.10), τέλος, εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο το οπλοστάσιο της θεωρίας πιθανοτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διασάφηση ζητημάτων σχετικών με τη θεωρία της επικύρωσης.

Το καθένα από τα Μέρη I ώς III μπορεί να σταθεί και από μόνο του ως βασική εισαγωγή στο θέμα με το οποίο καταπιάνεται. Τα τρία αυτά μέρη, στο σύνολό τους, αποτελούν μια στέρεη εισαγωγή στα βασικά ζητήματα της επικύρωσης,

της επαγωγής και της πιθανότητας. Το Μέρος IV καλύπτει πιο προχωρημένα θέματα. Οι αναγνώστες που προτιμούν να μην καταπιαστούν με το πρόβλημα της επαγωγής στον Χιουμ μπορούν να παραλείψουν το Μέρος II χωρίς απώλεια της συνέχειας.

ΜΕΡΟΣ Ι: ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ

2.1 ΕΜΠΕΙΡΙΚΑ ΤΕΚΜΗΡΙΑ

Οι φυσικές, οι βιολογικές επιστήμες καθώς και οι επιστήμες της συμπεριφοράς είναι όλες εμπειρικές. Αυτό σημαίνει ότι οι ισχυρισμοί τους πρέπει να αντιμετωπίζουν σε κάποια τελική φάση τον έλεγχο της παρατήρησης. Ορισμένες επιστημονικές προτάσεις αντιμετωπίζουν τα τεκμήρια της παρατήρησης με τρόπο άμεσο. Για παράδειγμα, η πρόταση «Όλοι οι κύκνοι είναι άσπροι» στηριζόταν σε πολλές παρατηρήσεις κύκνων της Ευρώπης που ήταν όλοι τους άσπροι· διαψεύστηκε, όμως, από την παρατήρηση μαύρων κύκνων στην Αυστραλία. Άλλες επιστημονικές προτάσεις, πάλι, αντιμετωπίζουν τα τεκμήρια της παρατήρησης με τρόπους έμμεσους. Για παράδειγμα, η πρόταση «κάθε πρωτόνιο περιέχει τρία κουάρκ» μπορεί να ελεγχθεί μόνον με την παρατήρηση των αποτελεσμάτων υπερβολικά περίπλοκων πειραμάτων. Αναρίθμητες είναι, φυσικά, οι περιπτώσεις προτάσεων που κατατάσσονται στο ενδιάμεσο αυτών των δύο ακραίων εκδοχών.

Οι άνθρωποι είναι όντα μεσαίου μεγέθους. Είμαστε πολύ μεγαλύτεροι από τα άτομα και πολύ μικρότεροι από τους γαλαξίες. Το περιβάλλον μας είναι γεμάτο από διάφορα άλλα πράγματα μεσαίου μεγέθους – για παράδειγμα, έντομα, μπάλες, αυτοκίνητα και ουρανοξύστες. Όλα αυτά μπορούν να παρατηρηθούν από τις ανθρώπινες αισθήσεις χωρίς καμιά υποβοήθηση. Όμως, πράγματα όπως τα μικρόβια είναι πολύ μικρά για να μπορούμε να τα δούμε άμεσα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποια όργανα παρατήρησης –μικροσκόπια εν προκειμένω– ώστε να επεκτείνουμε τις παρατηρησιακές μας δυνατότητες. Αντίστοιχα, τα τηλεσκόπια είναι προεκτάσεις των αισθήσεών μας που μας καθιστούν ικανούς να βλέπουμε πράγματα που βρίσκονται τόσο μακριά ώστε η άμεση παρατήρησή τους να καθίσταται αδύνατη. Το εύρος των αισθήσεών μας της ακοής και της αφής μπορεί επίσης να επεκταθεί με τη χρησιμοποίηση οργάνων ποικίλων ειδών. Τα συνηθισμένα ματογυάλια –σε αντίθεση με τα μικροσκόπια και τα τηλεσκόπια– δεν αποτελούν επέκταση των φυσιολογικών ανθρώπινων αισθήσεων· είναι εφευρέσεις που δίνουν τη δυνατότητα καλύτερης όρασης σε εκείνους των οποίων αυτή η αίσθηση έχει εξασθενίσει.

Αξιόπιστη (veridical) θα ονομάζουμε μια παρατήρηση που αποκαλύπτει με ορθό τρόπο τα χαρακτηριστικά αυτού που παρατηρούμε – όπως μέγεθος, σχήμα,

χρώμα και υφή. Παρατηρήσεις που δεν είναι αξιόπιστες ονομάζονται *παραπλανητικές* (illusory). Σε αυτές μπορούμε να κατατάξουμε τις παραισθήσεις, το μετείκασμα, τις οφθαλμαπάτες και τις εμπειρίες που είναι συνδεδεμένες με την κατάσταση του ύπνου. Φιλοσοφικά επιχειρήματα που χρονολογούνται ήδη από την αρχαιότητα δείχνουν πως δεν μπορούμε να είμαστε απόλυτα βέβαιοι για το ότι οι άμεσες παρατηρήσεις μας είναι αξιόπιστες. Για παράδειγμα, είναι αδύνατο να αποδείξουμε με τρόπο οριστικό ότι οποιαδήποτε εμπειρία δεν αποτελεί ονειρική εμπειρία. Αυτό πρέπει να το δεχθούμε. Μπορούμε, ωστόσο, να υιοθετήσουμε μια στάση η οποία μας επιτρέπει να θεωρούμε αξιόπιστες ώς έναν λογικό βαθμό τις παρατηρήσεις των συνηθισμένων φυσικών αντικειμένων μεσαίου μεγέθους. Και ενώ δεν μπορούμε να επιτύχουμε την απόλυτη βεβαιότητα, μπορούμε, ωστόσο, να λαμβάνουμε μέτρα για να ελέγχουμε την αξιοπιστία των παρατηρήσεών μας, και να προβαίνουμε στις απαιτούμενες, κάθε φορά, διορθώσεις (για μια διεξοδικότερη ανάλυση της θεματικής του σκεπτικισμού και του αντιρεαλισμού, βλέπε Κεφάλαιο 4).

Κάπως πρόχειρα, μπορούμε να διακρίνουμε τις οντότητες σε τρία είδη: (i) σε εκείνες που μπορούν να παρατηρηθούν άμεσα από τις φυσιολογικές ανθρώπινες αισθήσεις, (ii) σε εκείνες που μπορούν να παρατηρηθούν μόνον έμμεσα με τη χρήση ορισμένων οργάνων που επεκτείνουν τις δυνατότητες των φυσιολογικών αισθήσεων, και (iii) σε εκείνες των οποίων η παρατήρηση δεν μπορεί να γίνει ούτε άμεσα ούτε έμμεσα, και των οποίων η ύπαρξη και η φύση συνάγεται από κάποιο είδος θεωρητικής διαδικασίας. Δεν ισχυριζόμαστε εδώ πως η προηγούμενη διάκριση είναι ακριβής, αυτό όμως δεν πρόκειται να επηρεάσει την εξέλιξη της συζήτησής μας. Στην πορεία ανάπτυξης των θεμάτων αυτού του κεφαλαίου θα πούμε πολύ περισσότερα για την κατηγορία (iii) και για τα είδη των συναγωγών στα οποία αναφερθήκαμε λίγο πριν.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι επιστημονικές γλώσσες μας περιέχουν δύο ειδών όρους. Διαθέτουμε ένα *παρατηρησιακό λεξιλόγιο* (observational vocabulary), το οποίο περιέχει εκφράσεις που αναφέρονται σε οντότητες, ιδιότητες και σχέσεις που μπορούμε να παρατηρήσουμε. Οι όροι «δένδρο», «αεροπλάνο», «πράσινο», «μαλακό» και η έκφραση «είναι ψηλότερο από» αποτελούν οικεία παραδείγματα. Διαθέτουμε επίσης και ένα *θεωρητικό λεξιλόγιο* (theoretical vocabulary), το οποίο περιέχει εκφράσεις που αναφέρονται σε οντότητες, ιδιότητες και σχέσεις που είναι αδύνατον να παρατηρήσουμε. Οι όροι «μικρόβιο», «κουάρκ», «ιονισμένο» καθώς και οι εκφράσεις «ηλεκτρικά φορτισμένο» και «περιέχει περισσότερα πρωτόνια από» μπορούν να θεωρηθούν ως παραδείγματα αυτής της δεύτερης κατηγορίας. Επικρατεί η τάση να συνδέονται οι όροι του θεωρητικού λεξιλογίου με τις μη παρατηρήσιμες οντότητες (unobservable entities) της κατηγορίας (iii) που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Όμως αυτός ο συσχετισμός δεν είναι κατά κανένα τρόπο ακριβής. Η διάκριση μεταξύ παρατηρησιακών και θεωρητικών όρων –καθώς και η διάκριση μεταξύ των τριών ειδών οντοτήτων– είναι χρήσιμη χωρίς να καταφέρνει όμως να είναι και ξεκά-

θαρη και μονοσήμαντη. Μια ακόμα παρατήρηση σχετικά με την ορολογία. Οι φιλόσοφοι χρησιμοποιούν συχνά την έκφραση «θεωρητική οντότητα» (theoretical entity), θα ήταν όμως ορθότερο να το αποφεύγουμε και να μιλάμε είτε για *θεωρητικούς όρους* είτε για *μη παρατηρήσιμες οντότητες*.

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να βγάλουμε ένα θεμελιώδες δίδαγμα για τη φύση της επιστημονικής γνώσης. Είναι γενικώς αποδεκτό ότι η επιστημονική γνώση δεν περιορίζεται σε ό,τι έχει ήδη παρατηρηθεί. Η επιστήμη μάς παρέχει τη δυνατότητα πρόβλεψης πραγμάτων που θα συμβούν στο μέλλον – όπως το σβήσιμο του Ήλιου όταν όλο το υδρογόνο του θα έχει καταναλωθεί στη σύνθεση του αερίου ήλιο. Αυτό δεν παρατηρήθηκε και ίσως δεν πρόκειται ποτέ να παρατηρηθεί από κανέναν άνθρωπο. Η επιστήμη μάς δίνει την δυνατότητα γνώσης γεγονότων του μακρινού παρελθόντος –όπως η εξαφάνιση των δεινοσαύρων– πριν καν υπάρξουν άνθρωποι να το παρατηρήσουν. Η επιστήμη μας δίνει τη δυνατότητα γνώσης άλλων περιοχών του σύμπαντος –π.χ., γνώση για πλανήτες που περιστρέφονται σε τροχιά γύρω από μακρινά άστρα– που προς το παρόν δεν είμαστε σε θέση να παρατηρήσουμε. Τούτο σημαίνει ότι μεγάλο μέρος της επιστημονικής γνώσης μας εξαρτάται τόσο από την παρατήρηση όσο και από τη μαθηματική συναγωγή συμπερασμάτων. Ωστόσο, από τη στιγμή που η παραγωγή είναι μη ενισχυτική (όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 1, Παράγραφος 1.5), ο συνδυασμός παρατήρησης και συναγωγής δεν μπορεί να μας παράσχει γνώση του μη πρατηρήσιμου. Απαιτείται, λοιπόν, κάποιος άλλος τρόπος συναγωγής ώστε να διανυθεί όλο το εύρος της διαθέσιμης επιστημονικής γνώσης.

2.2 Η ΥΠΟΘΕΤΙΚΟ-ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Όπως είδαμε νωρίτερα, ορισμένες από τις επιστημονικές προτάσεις αποτελούν αναφορές άμεσων παρατηρήσεων ενώ κάποιες άλλες όχι. Στο ερώτημα που αφορά τον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζουν τον εμπειρικό έλεγχο οι προτάσεις του τελευταίου τύπου, η απάντηση που συνήθως δίνεται είναι ότι τούτο γίνεται σύμφωνα με την *υποθετικο-παραγωγική* (*Υ-Π*) *μέθοδο*. Πραγματικά, η υποθετικο-παραγωγική μέθοδος θεωρείται ορισμένες φορές ως *η* μέθοδος επιστημονικού συμπερασμού. Οφείλουμε να εξετάσουμε τη λογική αυτής της μεθόδου.

Ο όρος *υπόθεση* μπορεί να χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση πρότασης που καλείται να αποτιμηθεί βάσει των συνεπειών της. Το ζήτημα είναι να συντάξουμε μια πρόταση, ατομική ή γενική, από την οποία να μπορούν να εξαχθούν συνέπειες παρατηρησιακού χαρακτήρα. *Συνέπεια παρατηρησιακού χαρακτήρα* ονομάζεται μια πρόταση –που μπορεί να είναι είτε αληθής είτε ψευδής– της οποίας η αλήθεια ή το ψεύδος μπορεί να βρεθεί με την πραγματοποίηση παρατηρήσεων. Οι συνέπειες αυτές ελέγχονται μέσω της παρατήρησης ώστε να καθοριστεί το αν είναι αληθείς ή ψευδείς. Αν αποδειχθεί ότι μια τέτοια συνέπεια είναι αληθής, τότε λέμε ότι αυτή *επικυρώνει* (confirm) την υπόθεση κατά

έναν ορισμένο βαθμό. Αν αποδειχθεί ότι είναι ψευδής, αυτή *αντικρούει* (disconfirm) την υπόθεση.

Ας αρχίσουμε εξετάζοντας τον Υ-Π έλεγχο υποθέσεων που έχουν τη μορφή καθολικών γενικεύσεων. Ένα πολύ απλό παράδειγμα αποτελεί ο νόμος των αερίων του Μπόιλ, που λέει ότι η πίεση P κάθε αερίου που διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία T είναι αντιστρόφως ανάλογη του όγκου V που καταλαμβάνει,[1] δηλαδή

$$P \times V = \text{σταθερό (για σταθερή θερμοκρασία } T).$$

Αυτό έχει ως συνέπεια την ελάττωση, για παράδειγμα, του όγκου του αερίου στο μισό του αρχικού όταν διπλασιάζεται η εξασκούμενη πίεση. Υποθέστε ότι σε έναν κύλινδρο βρίσκεται ένα δείγμα αερίου που περιορίζεται από ένα αβαρές και χωρίς τριβές κινητό έμβολο και πως η πίεση του αερίου είναι ίση με αυτήν που εξασκεί εξωτερικά η ατμόσφαιρα επί του εμβόλου – την ονομάζουμε 1 ατμόσφαιρα. Έστω ότι τότε το αέριο καταλαμβάνει όγκο ενός κυβικού μέτρου. Αν εφαρμόσουμε πίεση μιας επιπλέον ατμόσφαιρας, ανυψώνοντας έτσι την ολική εξωτερική πίεση στις δύο ατμόσφαιρες, τότε ο όγκος του αερίου μειώνεται στο μισό κυβικό μέτρο. Η όλη αυτή διαδικασία αποτελεί υποθετικο-παραγωγική επικύρωση του νόμου του Μπόιλ. Μπορεί δε να σχηματοποιηθεί ως ακολούθως:

(1) Η πίεση ενός αερίου, υπό σταθερή θερμοκρασία, είναι αντιστρόφως ανάλογη του όγκου του (νόμος του Μπόιλ).
Ο αρχικός όγκος του αερίου είναι 1 κυβικό μέτρο.
Η αρχική πίεση είναι 1 ατμόσφαιρα.
Η πίεση αυξήθηκε σε 2 ατμόσφαιρες.
Η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.

Ο όγκος μειώνεται σε 1/2 κυβικό μέτρο.

Το επιχείρημα (1) αποτελεί μια έγκυρη παραγωγή. Η πρώτη προκείμενη είναι η *υπόθεση* που ελέγχεται, δηλαδή ο νόμος του Μπόιλ. Θα πρέπει, ωστόσο, να προσέξουμε ότι ο νόμος του Μπόιλ *δεν* είναι η μοναδική προκείμενη αυτού του επιχειρήματος. *Είναι αδύνατη η παραγωγή οποιασδήποτε παρατηρησιακής πρόβλεψης αποκλειστικά και μόνο από μια μεμονωμένη υπόθεση.* Για το σκοπό αυτό απαιτούνται και άλλες προκείμενες. Οι τέσσερις προκείμενες που ακολουθούν δηλώνουν τις *αρχικές συνθήκες* υπό τις οποίες πραγματοποιείται ο έλεγχος. Το συμπέρασμα του επιχειρήματος αποτελεί την *παρατηρησιακή πρόβλεψη* που συνάγεται από την υπόθεση και τις αρχικές συνθήκες. Αφού η θερμοκρασία, η πίεση και ο

[1] Αυτή η σχέση δεν ισχύει για θερμοκρασίες και πιέσεις γύρω από το σημείο όπου το εν λόγω αέριο συμπυκνώνεται για να περάσει είτε στην υγρή είτε στην αέρια φάση.

όγκος είναι άμεσα μετρήσιμα, ας δεχθούμε προς το παρόν ότι δεν χρειάζεται να έχουμε σοβαρές αμφιβολίες σχετικά με την αλήθεια των προτάσεων που περιγράφουν τις αρχικές συνθήκες. Το επιχείρημα μπορεί να επαναδιατυπωθεί ως εξής:

(2) *Υ* (υπόθεση προς έλεγχο)
Α (αρχικές συνθήκες)

Π (παρατηρησιακή πρόβλεψη)

Αφού εκτελεσθεί το πείραμα, παρατηρούμε ότι η εν λόγω πρόβλεψη είναι αληθής.

Όπως παρατηρήσαμε στο κεφάλαιο 1, ένας έγκυρος συμπερασμός είναι δυνατό να έχει μία ή περισσότερες ψευδείς προκείμενες και το συμπέρασμα που προκύπτει να είναι αληθές. Κατά συνέπεια, το γεγονός ότι το επιχείρημα (1) έχει αληθές συμπέρασμα δεν αποδεικνύει και ότι όλες οι προκείμενές του είναι αληθείς. Αυτό σημαίνει ότι είναι αδύνατο να συμπεράνουμε έγκυρα ότι η υπόθεσή μας, ο νόμος του Μπόιλ, είναι αληθής μόνο και μόνο επειδή η πρόβλεψή μας αποδείχθηκε αληθής. Στο επιχείρημα (1), η μετάβαση από τις προκείμενες στο συμπέρασμα αποτελεί μια έγκυρη παραγωγή, ενώ η αντίστροφη μετάβαση *από* το συμπέρασμα *στις* προκείμενες, όχι. Ένας τέτοιος συμπερασμός θα μπορούσε να αντλήσει την όποια αξία του μόνον αν θεωρηθεί ως επιχείρημα επαγωγικού τύπου.

Ας επαναδιατυπώσουμε το επιχείρημα με κατεύθυνση από την πρόβλεψη προς το συμπέρασμα, αυτή τη φορά, ως εξής:

(3) Ο αρχικός όγκος του αερίου είναι 1 κυβικό μέτρο.
Η αρχική πίεση είναι 1 ατμόσφαιρα.
Η πίεση αυξάνεται στις 2 ατμόσφαιρες
Η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.
Ο όγκος ελαττώνεται στο 1/2 κυβικό μέτρο.

Υπό σταθερή θερμοκρασία, η πίεση ενός αερίου είναι αντιστρόφως ανάλογη του όγκου του (νόμος του Μπόιλ).

Κανένας δεν θα υπέθετε στα σοβαρά ότι το (3) αποδεικνύει το νόμο του Μπόιλ με τρόπο αδιαμφισβήτητο, ή έστω ότι τον καθιστά εξαιρετικά πιθανό. Στην καλύτερη περίπτωση, παρέχει ένα *ίχνος* μόνο επαγωγικής στήριξης. Αν θέλουμε να προσφέρουμε ισχυρή επαγωγική στήριξη στο νόμο του Μπόιλ, είναι απαραίτητο να πραγματοποιήσουμε επανειλημμένους ελέγχους με το συγκεκριμένο αέριο, στην ίδια θερμοκρασία, για διαφορετικές πιέσεις και όγκους, καθώς επίσης και άλλους ανάλογους ελέγχους υπό διαφορετικές θερμοκρασίες. Επιπλέον, θα ήταν απαραίτητο να ελεγχθούν κατά τον ίδιο τρόπο και άλλα είδη αερίων.

Στο πλαίσιο της παρούσας αντιμετώπισης, ο έλεγχος του νόμου του Μπόιλ έχει υπεραπλουστευθεί τουλάχιστον από μία άποψη. Στην πορεία διεξαγωγής του ελέγχου δεν παρατηρούμε άμεσα –π.χ., ακουμπώντας το δοχείο με το χέρι μας– ότι η αρχική και τελική θερμοκρασία του αερίου είναι η ίδια. Χρησιμοποιείται γι' αυτό κάποιος τύπος θερμομέτρου. Αυτό που παρατηρούμε άμεσα δεν είναι η θερμοκρασία του αερίου αλλά η ένδειξη του θερμομέτρου. Κατά συνέπεια, βασιζόμαστε σε μια *βοηθητική υπόθεση* που ανάγεται στο ότι το θερμόμετρο είναι ένα αξιόπιστο όργανο για τη μέτρηση της θερμοκρασίας. Στηριζόμενοι σε μια πρόσθετη υπόθεση αυτού του είδους, ισχυριζόμαστε ότι είμαστε σε θέση να παρατηρούμε τη θερμοκρασία με τρόπο έμμεσο. Κατά παρόμοιο τρόπο, δεν παρατηρούμε την πίεση άμεσα, βάζοντας το χέρι μας πάνω στο έμβολο για να αισθανθούμε τη δύναμη που θα το απωθούσε. Αντί γι' αυτό, χρησιμοποιούμε κάποιο είδος μανόμετρου. Εδώ χρειαζόμαστε και πάλι μια βοηθητική υπόθεση που να βεβαιώνει ότι το όργανο αυτό παρέχει όντως αξιόπιστες ενδείξεις.

Η ανάγκη για βοηθητικές υποθέσεις δεν προκύπτει μόνον από το συγκεκριμένο παράδειγμα που διαλέξαμε. Στη μεγάλη πλειοψηφία την περιπτώσεων –αν όχι σε όλες– οι βοηθητικές υποθέσεις αποδεικνύονται απαραίτητες. Για παράδειγμα, στα βιολογικά και τα ιατρικά πειράματα χρησιμοποιούνται μικροσκόπια διαφόρων ειδών –από το απλό οπτικό μικροσκόπιο μέχρι το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο–, για καθένα από τα οποία απαιτείται ένα διαφορετικό σύνολο βοηθητικών υποθέσεων. Για τις αστρονομικές παρατηρήσεις χρησιμοποιούνται, παρομοίως, τηλεσκόπια –διοπτρικά και κατοπτρικά, ραδιοτηλεσκόπιο, τηλεσκόπιο υπέρυθρων ακτίνων και ακτίνων Χ–, καθώς επίσης και φωτογραφικές μηχανές. Ως εκ τούτου, η οπτική θεωρία για τα τηλεσκόπια και η χημική θεωρία για τα φωτογραφικά γαλακτώματα είναι απαραίτητες ως βοηθητικές υποθέσεις. Στα περίπλοκα πειράματα φυσικής, όπου χρησιμοποιούνται επιταχυντές σωματιδίων, απαιτείται ένα σύνολο εξαιρετικά επεξεργασμένων βοηθητικών υποθέσεων που αφορούν τα διάφορα μέρη του εξοπλισμού. Λαμβάνοντας υπ' όψιν αυτό το γεγονός, το σχήμα (2) πρέπει να επεκταθεί ως εξής:

(4) Y (υπόθεση προς έλεγχο)
B (βοηθητικές υποθέσεις)
A (αρχικές συνθήκες)

Π (παρατηρησιακή πρόβλεψη)

Ως εδώ εξετάσαμε την περίπτωση κατά την οποία η πρόβλεψη αποδεικνύεται αληθής. Το ερώτημα που προκύπτει τώρα είναι τι γίνεται στην περίπτωση που η πρόβλεψη συμβαίνει να είναι ψευδής. Για να ασχοληθούμε με την περίπτωση αυτή, χρειαζόμαστε ένα άλλο παράδειγμα.

Στις αρχές του δεκάτου ενάτου αιώνα, υπήρχε μια σοβαρή διαμάχη σχετικά με τη φύση του φωτός. Δύο σημαντικές υποθέσεις ήταν αντίπαλες. Σύμφωνα με τη μία θεωρία, το φως αποτελείται από μικρότατα σωματίδια, ενώ σύμφωνα με

την άλλη είναι κύμα. Στην περίπτωση που η σωματιδιακή θεωρία είναι αληθής, αν ένα κυκλικό αντικείμενο, όπως ένα νόμισμα ή η φαινόμενη επιφάνεια μιας μικρής μπάλας, φωτιστεί με δυνατό φως, θα πρέπει να προκαλέσει τη δημιουργία μιας ομοιόμορφης κυκλικής σκιάς. Πραγματοποιήθηκε ο ακόλουθος Υ-Π έλεγχος:

(5) Το φως αποτελείται από σωματίδια τα οποία κινούνται σε ευθείες τροχιές.[2]
Φωτίζουμε με δυνατό φως ένα αντικείμενο με σχήμα δίσκου.

Το αντικείμενο ρίχνει μια ομοιόμορφη κυκλική σκιά

Όταν το πείραμα εκτελέστηκε, παρατηρήθηκε απροσδόκητα πως το αποτέλεσμα ήταν η εμφάνιση μιας φωτεινής κηλίδας στο κέντρο της σκιάς. Έτσι, το αποτέλεσμα του πειράματος ήταν αρνητικό και η παρατηρησιακή πρόβλεψη ψευδής.

Το επιχείρημα (5) αποτελεί μια έγκυρη παραγωγή· συνεπώς, αν οι προκείμενες είναι αληθείς, το συμπέρασμα πρέπει να είναι επίσης αληθές. Όμως, το συμπέρασμα δεν είναι αληθές. Άρα μία τουλάχιστον από τις προκείμενες πρέπει να είναι ψευδής. Εφόσον η αλήθεια της δεύτερης προκείμενης ήταν εξαρχής γνωστή στη βάση της άμεσης παρατήρησης, ψευδής πρέπει να είναι η πρώτη προκείμενη – η σωματιδιακή υπόθεση.

Εξετάσαμε δύο παραδείγματα Υ-Π ελέγχου υποθέσεων. Στο πρώτο, όπου αυτό που ελεγχόταν ήταν ο νόμος του Μπόιλ, το αποτέλεσμα ήταν θετικό – η πρόβλεψη βρέθηκε να είναι αληθής. Είδαμε ότι, ακόμα και αν δεχθούμε την αλήθεια και των άλλων προκείμενων του επιχειρήματος (1), το θετικό αποτέλεσμα θα μπορούσε, στην καλύτερη περίπτωση, να προσφέρει μια μικρή μόνο στήριξη στην υπόθεση. Στο δεύτερο, όπου ελεγχόταν η σωματιδιακή θεωρία για το φως, το αποτέλεσμα ήταν αρνητικό – η πρόβλεψη βρέθηκε να είναι ψευδής. Σ' αυτήν την περίπτωση, έχοντας υποθέσει την αλήθεια της δεύτερης προκείμενης, η υπόθεση διαψεύστηκε κατηγορηματικά.

Το αρνητικό αποτέλεσμα σε έναν Υ-Π έλεγχο παρουσιάζει συχνά περισσότερες επιπλοκές από ό,τι στο παράδειγμα που μόλις εξετάσαμε. Για παράδειγμα, οι αστρονόμοι που χρησιμοποίησαν τη Νευτώνεια μηχανική για να προβλέψουν την τροχιά του πλανήτη Ουρανού βρήκαν αυτές τις προβλέψεις λανθασμένες. Φυσικά, στους υπολογισμούς τους είχαν λάβει υπ' όψιν τις βαρυτικές επιδράσεις μόνο των πλανητών που ήταν τότε γνωστοί. Αντί να εκλάβουν το αρνητικό αποτέλεσμα αυτού του Υ-Π ελέγχου ως διάψευση της Νευτώνειας μηχανικής, υπέθεσαν την ύπαρξη ενός άλλου πλανήτη που δεν είχε ώς τότε παρατηρηθεί. Αυτός ο πλανήτης, ο Ποσειδώνας, παρατηρήθηκε αμέσως μετά. Αυτό που απορρίφθηκε τότε ήταν μια βοηθητική υπόθεση που αφορούσε τη συγκρότηση του ηλιακού συστήματος και όχι η Νευτώνεια μηχανική.

---

2 Εκτός από την περίπτωση κατά την οποία περνούν από ένα μέσο (π.χ., από τον αέρα) σε κάποιο άλλο (π.χ., στο γυαλί ή στο νερό).

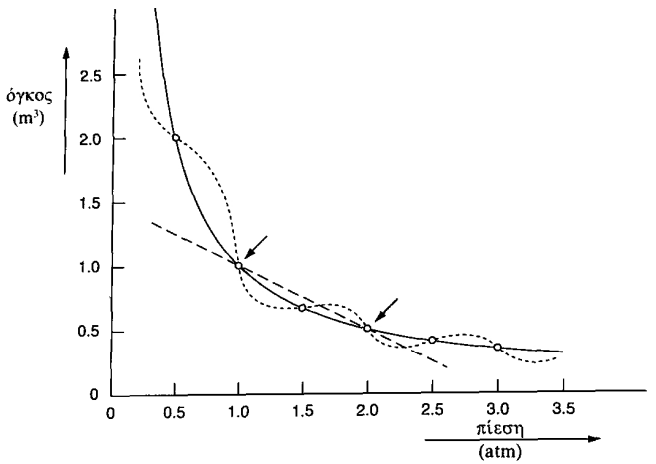
Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση του παραδείγματος του Ουρανού με αυτό του Ερμή. Ο Ερμής κινείται επίσης σε μια τροχιά που διαφέρει από αυτήν που υπολογίζεται με τη βοήθεια της Νευτώνειας μηχανικής. Αυτή η απόκλιση, ωστόσο, δεν μπορεί να εξηγηθεί επιτυχώς με την υπόθεση ενός άλλου πλανήτη, παρόλο που αυτό δοκιμάστηκε ως στρατηγική. Όπως αποδείχθηκε, η διαταραχή της τροχιάς του Ερμή αποτέλεσε ένα από το τρία κύρια τεκμήρια στήριξης της γενικής θεωρίας της σχετικότητας – της θεωρίας που αντικατέστησε τη Νευτώνεια μηχανική στον εικοστό αιώνα. Το ηθικό δίδαγμα είναι ότι τα αρνητικά αποτελέσματα στους Υ-Π ελέγχους άλλοτε καταλήγουν στη διάψευση της υπό έλεγχο υπόθεσης και άλλοτε όχι. Αφού οι βοηθητικές υποθέσεις είναι σχεδόν πάντοτε παρούσες στους Υ-Π ελέγχους, πρέπει να αντιμετωπίζουμε πάντοτε το ενδεχόμενο, αντί για την υπό έλεγχο υπόθεση, να ευθύνεται κάποια από τις βοηθητικές υποθέσεις για το αρνητικό αποτέλεσμα.

2.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΖΕΙ Η ΥΠΟΘΕΤΙΚΟ-ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Η Υ-Π μέθοδος παρουσιάζει δύο σοβαρές αδυναμίες που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν. Η πρώτη από αυτές μπορεί να ονομαστεί *πρόβλημα των εναλλακτικών υποθέσεων*. Ας επιστρέψουμε στο παράδειγμα με το νόμο του Μπόιλ. Αν τον παραστήσουμε γραφικά, λέει ότι η σχέση της πίεσης προς τον όγκο είναι μια συνεχής καμπύλη, όπως αυτή του Σχήματος 2.1.

Το αποτέλεσμα του πειράματος, όπως διατυπώθηκε στο επιχείρημα (1), είναι ότι έχουμε δύο σημεία πάνω σ' αυτή την καμπύλη (που δείχνονται με τα βέλη) το ένα να αντιστοιχεί σε πίεση μιας ατμόσφαιρας και όγκο ενός κυβικού μέτρου και το άλλο σε πίεση δύο ατμοσφαιρών και όγκο μισού κυβικού μέτρου. Τα δύο αυτά σημεία συμβιβάζονται μεν με τη συνεχή καμπύλη, μπορούν όμως να ταιριάξουν εξίσου καλά και σε άπειρες το πλήθος άλλες καμπύλες – για παράδειγμα, στη διακεκομμένη ευθεία που περνά από αυτά τα δύο σημεία. Αν πραγματοποιήσουμε έναν άλλο έλεγχο σε μια πίεση τριών ατμοσφαιρών, θα δούμε ότι έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου στο 1/3 του κυβικού μέτρου. Αυτό είναι ασυμβίβαστο με την ευθεία γραμμή, αλλά τα τρία σημεία που έχουμε τώρα εξακολουθούν να είναι συμβατά με άπειρες το πλήθος καμπύλες που περνούν από αυτά, όπως τη στικτή καμπύλη του σχήματος. Προφανώς μπορούμε να πραγματοποιήσουμε πεπερασμένο μόνο πλήθος ελέγχων. Καθίσταται έτσι σαφές ότι άσχετα με το πόσους ελέγχους κάνουμε, τα αποτελέσματα θα είναι πάντοτε συμβατά με άπειρες το πλήθος διαφορετικές καμπύλες.

Αυτό το γεγονός θέτει ένα σοβαρό πρόβλημα στην υποθετικο-παραγωγική μέθοδο. *Κάθε αποτέλεσμα παρατήρησης που επικυρώνει μια δεδομένη υπόθεση κατά τη διαδικασία ενός Υ-Π ελέγχου, επικυρώνει επίσης άπειρες το πλήθος άλλες υποθέσεις που δεν συμβιβάζονται με αυτήν.* Πώς μπορούμε να ισχυριζόμαστε, σε αυτή



Σχήμα 2.1

την περίπτωση, ότι ο έλεγχος επικυρώνει την υπό έλεγχο υπόθεσή μας μάλλον παρά άπειρες άλλες δυνατές υποθέσεις; Αυτό είναι το πρόβλημα των εναλλακτικών υποθέσεων. Η απάντηση που συνήθως δίνεται είναι ότι θα πρέπει να προτιμούμε την *απλούστερη* υπόθεση που συμβιβάζεται με το αποτελέσματα των ελέγχων. Το ερώτημα, όμως, που γεννάται τότε είναι τι σχέση έχει η απλότητα με το ζήτημα της επικύρωσης; Γιατί οι απλούστερες υποθέσεις πρέπει να προτιμώνται από τις συνθετότερες; Η Υ-Π μέθοδος αυτή καθ' εαυτή, δεν αντιμετωπίζει τα ερωτήματα αυτού του είδους.

Το δεύτερο θεμελιώδες πρόβλημα της Υ-Π μεθόδου αφορά τις περιπτώσεις εκείνες στις οποίες δεν είναι δυνατό να *συναχθούν* προβλέψεις. Τυπική περίπτωση εμφάνισης αυτού του προβλήματος είναι οι στατιστικές υποθέσεις. Το πρόβλημα μπορεί να ονομαστεί τότε *πρόβλημα των στατιστικών υποθέσεων*. Για να επιστρέψουμε στο παράδειγμα του Κεφαλαίου 1, θεωρήστε ότι θέλουμε να βεβαιωθούμε για το αν η μαζική λήψη βιταμίνης C συντείνει στη συντόμευση της διάρκειας των κρυολογημάτων. Αν η υπόθεση αυτή είναι σωστή, τότε η πιθανότητα ταχείας ανάρρωσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη για όσους παίρνουν τη βιταμίνη. (Όπως επισημάνθηκε στο Κεφάλαιο 1, πρόκειται για ένα φανταστικό παράδειγμα· το πραγματικό ερώτημα είναι αν η βιταμίνη C ελαττώνει τη συχνότητα των κρυολογημάτων.) Όπως προτάθηκε σ' εκείνο το κεφάλαιο, μπορούμε να διεξαγάγουμε ένα διπλά τυφλό ελεγχόμενο πείραμα. Ωστόσο, *είναι αδύνατο* να *συναγάγουμε* ότι η μέση διάρκεια των κρυολογημάτων των ανθρώπων που παίρ-

νουν τη βιταμίνη θα είναι μικρότερη από εκείνη που αντιστοιχεί στην ομάδα ελέγχου. Το μόνο που μπορούμε να συμπεράνουμε είναι ότι, αν η υπόθεση είναι σωστή, τότε είναι απλώς *πιθανό* η μέση διάρκεια των κρυολογημάτων στην ομάδα πειραματισμού να είναι μικρότερη από αυτήν στην ομάδα ελέγχου. Αν όμως προβλέψουμε ότι η μέση διάρκεια στην ομάδα πειραματισμού θα είναι μικρότερη, τότε ο τρόπος συμπερασμού είναι *επαγωγικός*. Η Υ-Π μέθοδος δεν αφήνει καθόλου χώρο για επιχειρήματα αυτού του είδους. Ο περιορισμός αυτός αποτελεί σοβαρή αδυναμία της Υ-Π μεθόδου εξαιτίας της έκτασης που καταλαμβάνουν οι έλεγχοι στατιστικών υποθέσεων στο χώρο της σύγχρονης επιστήμης.

2.4 ΑΛΛΟΥ ΕΙΔΟΥΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ

Η πιο γνωστή εναλλακτική πρόταση έναντι της Υ-Π μεθόδου είναι μια μέθοδος ποιοτικής επικύρωσης που ανέπτυξε ο Καρλ Χέμπελ (Carl G. Hempel, 1945). Η βασική ιδέα της προσέγγισης του Χέμπελ είναι ότι οι υποθέσεις επικυρώνονται από τα θετικά στιγμιότυπά τους (positive instances). Η φαινομενική απλότητα και καθαρότητα αυτής της διαισθητικής σύλληψης μετατρέπεται σε εξαιρετική δυσκολία όταν προσπαθήσουμε να την κάνουμε πιο χειροπιαστή. Θεωρήστε, για παράδειγμα, την απόπειρα του Νικό (Nicod) να αναλύσει την ιδέα μιας καθολικής υποθετικής πρότασης, έστω της:

$$H\text{: } (x)\,(Rx \supset Bx)$$ (Όλα το κοράκια είναι μαύρα)*

(Το σύμβολο «(x)» είναι ο λεγόμενος καθολικός ποσοδείκτης, που μπορεί να διαβαστεί ως «για κάθε αντικείμενο που είναι x», «$\supset$» είναι το σύμβολο για την υλική συνεπαγωγή, το οποίο *πολύ πρόχειρα* μπορεί να διαβαστεί ως «αν ... τότε ...».) Μολονότι αυτή η πρόταση είναι πολύ απλοϊκή για να μπορεί να θεωρηθεί ως σοβαρή επιστημονική υπόθεση, οι λογικής φύσεως προβληματισμοί που θα συζητήσουμε είναι δυνατό να εφαρμόζονται σε όλες τις περιπτώσεις καθολικών γενικεύσεων στο επιστημονικό πεδίο, ασχέτως του πόσο πολύπλοκες είναι – βλέπε και την Παράγραφο 2.11 αυτού του κεφαλαίου. Σύμφωνα με τον Νικό, μια πρόταση E επικυρώνει κατά Νικό μια τέτοια υποθετική πρόταση H όταν κάποιο αντικείμενο συμβαίνει να αποτελεί στιγμιότυπο της υπόθεσης, με την έννοια ότι ικανοποιεί και την υπόθεση και την απόδοση. Παράδειγμα μιας πρότασης E είναι η $Ra.Ba$ (η τελεία εδώ σημαίνει «και»· πρόκειται για το σύμβολο της σύζευξης). Για να αντιληφθείτε το λόγο για τον οποίο αυτή η διαισθητική ιδέα αντιμετωπίζει προβλήματα, θεωρήστε τον εξής εύλογο περιορισμό στο τι σημαίνει ποιοτική επικύρωση.

* Αναλυτικότερα, η πρόταση αυτή συμπυκνώνει την εξής υπόθεση (Hypothesis στα Αγγλικά): για κάθε x (αυτό σημαίνει ότι το x τίθεται εντός παρενθέσεως), αν το x είναι Κοράκι (Raven στα Αγγγλικά), τότε το x είναι μαύρο (Black στα Αγγλικά). (Σ.τ.Μ.).

Συνθήκη ισοδυναμίας (*equivalence condition*):
Αν η *E* επικυρώνει την *H* και ισχύει ότι $\vdash H \equiv H'$,
τότε η *E* επικυρώνει την *H'*.

(Οι τρεις παράλληλες γραμμές είναι το σύμβολο της υλικής ισοδυναμίας που *πολύ πρόχειρα* μπορεί να διαβαστεί ως «αν και μόνον αν». Αυτή η τελευταία έκφραση μπορεί να γράφεται για συντομία και ως «ανν». Το πλάγιο ταυ «⊢», όταν βρίσκεται μπροστά από έναν τύπο, σημαίνει ότι ο τύπος αυτός αποτελεί λογική αλήθεια.) Η αποτυχία εκπλήρωσης αυτής της συνθήκης θα οδηγούσε σε δυσάρεστες καταστάσεις, αφού τότε η επικύρωση θα εξαρτάτο από τον τρόπο διατύπωσης της υπόθεσης. Θεωρήστε, τώρα, την εξής υπόθεση:

$$H'\colon (x)\,(\sim Bx \supset \sim Rx).$$

(Η κυματοειδής γραμμή «~» δηλώνει την άρνηση και διαβάζεται απλώς ως «όχι».) Η *H'* είναι λογικά ισοδύναμη με την *H*. Όμως η

$$E\colon Ra.\ Ba$$

δεν επικυρώνει κατά Νικό την *H'* παρόλο που επιβεβαιώνει κατά Νικό την *H*. Θεωρήστε τώρα την

$$H''\colon (x)\,[(Rx.\sim Bx) \supset (Px.\ \sim Px)\,].$$

Εδώ και πάλι η *H''* είναι λογικά ισοδύναμη με την *H*. Αλλά από την άποψη της λογικής και μόνο δεν υπάρχει τίποτα που να μπορεί να ικανοποιεί την απόδοση της *H''* ενώ, επιπλέον, αν η *H* είναι αληθής, δεν μπορεί να υπάρξει τίποτα που να ικανοποιεί την υπόθεση της *H''*. Αυτό σημαίνει ότι, αν η *H* είναι αληθής, τότε δεν υπάρχει τίποτα που να μπορεί να επικυρώσει κατά Νικό την *H''*.[3]

---

[3] Τέτοιου είδους παραδείγματα μπορεί να ωθήσουν κάποιον να προσπαθήσει να συντάξει τη συνθήκη ισοδυναμίας στον ορισμό της κατά Νικό επικύρωσης κατά τον ακόλουθο τρόπο:

(*N'*) Η *E* επικυρώνει κατά Νικό την *H* μόνον όταν υπάρχει κάποια *H'* τέτοια ώστε $\vdash H \equiv H'$ και τέτοια ώστε από την *E* να συνεπάγεται ότι τα αντικείμενα στα οποία αυτή αναφέρεται ικανοποιούν τόσο την υπόθεση όσο και την απόδοση της *H'*.

Αλλά όπως φαίνεται στο επόμενο παράδειγμα που οφείλουμε στον Χέμπελ, η (*N'*) οδηγεί σε επικύρωση ακόμα και σε περιπτώσεις όπου αυτό δεν είναι επιθυμητό, όταν έχουμε υποθέσεις με ποσοδείκτες πολλαπλών θέσεων. Θεωρήστε την ακόλουθη κατάσταση

$$H\colon (x)\,(y)\ Rxy$$
$$H'\colon (x)\,(y)\,[\sim (Rxy\,.\,Ryx) \supset (Rxy.\sim Ryx)]$$
$$E\colon Rab.\ \sim Rba$$

Από την *E* συνεπάγεται ότι το ζεύγος a, b ικανοποιεί και την υπόθεση και την απόδοση της *H'*, ενώ η *H'* είναι λογικά ισοδύναμη με την *H*. Έτσι, με τη (*N'*), η *E* επικυρώνει κατά Νικό την *H*. Όμως αυτό δεν είναι αποδεκτό, αφού η *E* αντιφάσκει προς την *H*.

Μετά την απόρριψη της θέσης του Νικό εξαιτίας αυτών αλλά και άλλων αδυναμιών, το επόμενο βήμα του Χέμπελ ήταν να καθορίσει αυτό που ο ίδιος θεωρούσε ως συνθήκες επάρκειας για μια ποιοτική επικύρωση – δηλαδή, συνθήκες που θα έπρεπε να ικανοποιούνται από κάθε επαρκή ορισμό για το τι συνιστά ποιοτική επικύρωση. Επιπλέον της συνθήκης ισότητας υπάρχουν (μεταξύ άλλων) και οι εξής:

Συνθήκη λογικής συνεπαγωγής (entailment condition):
Αν $E \vdash H$, η E επικυρώνει την H.

(Όταν το πλάγιο ταυ προηγείται ενός τύπου, σημαίνει πως αυτό που βρίσκεται μπροστά από το πλάγιο ταυ (το «E» στην «$E \vdash H$») *συνεπάγεται λογικά* εκείνο που το ακολουθεί – η E συνεπάγεται λογικά την H.)

Συνθήκη ειδικής συνεπαγωγής (special consequence condition):
Αν η E επικυρώνει την H και $H \vdash H'$ τότε η E επικυρώνει την H'.

Συνθήκη συνεπείας (consistency condition):
Αν η E επικυρώνει την H και επιπλέον την H',
τότε οι H και H' είναι λογικά συνεπείς.

Ως αποτέλεσμα ο Χέμπελ απορρίπτει τη

Συνθήκη αντίστροφης συνεπαγωγής (converse consequence condition):
Αν η E επικυρώνει την H και $H' \vdash H$, τότε η E επικυρώνει την H',

επειδή η αποδοχή της συνθήκης αντιστρόφου συνεπαγωγής σε συνδυασμό με τις συνθήκες λογικής συνεπαγωγής και ειδικής συνεπαγωγής θα οδηγούσαν στο καταστροφικό αποτέλεσμα να επικυρώνει η E κάθε υπόθεση H. (Η απόδειξη αυτής της πρότασης αφήνεται για άσκηση στο τέλος του κεφαλαίου.) Παρατηρήστε ότι η Υ-Π προσέγγιση ικανοποιεί τη συνθήκη αντίστροφης συνεπαγωγής αλλά δεν ικανοποιεί ούτε τη συνθήκη ειδικής συνεπαγωγής ούτε τη συνθήκη συνεπείας.

Ο Χέμπελ διατύπωσε έναν ορισμό για την επικύρωση που ικανοποιεί όλες τις συνθήκες επάρκειας που πρότεινε. Η βασική ιδέα αυτού του ορισμού του είναι το *ανάπτυγμα* μιας υπόθεσης H για ένα σύνολο στοιχείων I, που συμβολίζουμε ως «$αναπ_I(H)$». Διαισθητικά, $αναπ_I(H)$ είναι αυτό που λέει η υπόθεση για ένα πεδίο που περιέχει ακριβώς τα στοιχεία του I. Από τυπική άποψη, οι καθολικοί ποσοδείκτες αντικαθίστανται με συζεύξεις και οι υπαρκτικοί ποσοδείκτες αντικαθίστανται με διαζεύξεις. Έστω, για παράδειγμα, ότι I = $\{a,b\}$ και θεωρήστε την

$$H: (x)\ Bx \quad \text{(Κάθε τι είναι όμορφο)}$$

τότε

$$αναπ_I(H) = Ba.\ Bb.$$

Ή, πάλι, θεωρήστε την

$$H': (\exists x)\ Rx \quad \text{(Κάτι είναι σάπιο)}$$

τότε

$$αναπ_I(H') = Ra \vee Rb.$$

(Το σύμβολο «ν» δείχνει την απλή διάζευξη, σημαίνει δηλαδή «ή/και» — που έχει το νόημα του «το ένα, ή το άλλο, ή και τα δύο».) Αν αυτή τη φορά θεωρήσετε την

$$H'': (x)\ (\exists y)\ Lxy \quad \text{(Όλοι αγαπάνε κάποιον)}$$

τότε είναι

$$αναπ_I(H'') = (Laa \vee Lab).\ (Lba \vee Lbb).$$ [4]

Με τη βοήθεια αυτής της έννοιας μπορούμε τώρα να δώσουμε τους εξής ορισμούς:

Ορισμός. Η *Ε επικυρώνει άμεσα κατά Χέμπελ την Η* μόνον όταν συμβαίνει $E \vdash αναπ_I(H)$ ως προς την κατηγορία αντικειμένων *I* για τα οποία γίνεται αναφορά στην *Ε*.

Ορισμός. Η *Ε επικυρώνει κατά Χέμπελ την Η* μόνον όταν συμβαίνει η *Ε* να επικυρώνει άμεσα κάθε μέλος ενός συνόλου προτάσεων *Κ* τέτοιο που $K \vdash H$.

Για να αντιληφθείτε σαφέστερα τη διαφορά μεταξύ των δύο ορισμών, παρατηρήστε ότι η πρόταση $Ra.Ba$ δεν επικυρώνει άμεσα κατά Χέμπελ την $Rb \supset Bb$,

---

[4] Σε περιπτώσεις τύπων όπως ο H'' που περιέχουν συνδυασμούς ποσοδεικτών, προχωρούμε σε δύο βήματα, αρχίζοντας από το εσωτερικό και πηγαίνοντας προς το εξωτερικό. Αυτό σημαίνει ότι στο πρώτο βήμα αντικαθιστούμε τον υπαρκτικό ποσοδείκτη με μια διάζευξη, πράγμα που μας δίνει

$$(x)\ (Lxa \vee Lxb).$$

Στο επόμενο βήμα αντικαθιστούμε τον καθολικό ποσοδείκτη με μια σύζευξη, οπότε έχουμε την $αναπ_I(H'')$.

ενώ την επικυρώνει κατά Χέμπελ. Η αντίκρουση μπορεί να αντιμετωπιστεί με τον ακόλουθο τρόπο:

Ορισμός. Η *Ε αντικρούει κατά Χέμπελ την Η* στην περίπτωση που η *Ε* επικυρώνει την $\sim H$.

Παρ' όλη την αρχική γοητεία που φαίνεται να αποπνέει η απόπειρα του Χέμπελ να αναλύσει την έννοια της ποιοτικής επικύρωσης, γρήγορα ανακύπτουν αρκετά χαρακτηριστικά που διαταράσσουν αυτή την αίσθηση. Η πραγμάτευση αυτών των χαρακτηριστικών μπορεί να γίνει με την κατάταξή τους σε δύο ομάδες ερωτημάτων. Πρώτον: μήπως ο ορισμός που έδωσε ο Χέμπελ είναι πολύ περιοριστικός από κάποιες απόψεις; Και δεύτερον: μήπως, από κάποιες άλλες απόψεις, είναι πολύ φιλελεύθερος; Για να δικαιολογήσουμε το βάσιμο της πρώτης ανησυχίας, θεωρήστε την ακόλουθη υπόθεση:

$$H : (x)\ Rxy$$

(Η έκφραση «*Rxy*» σημαίνει: «το *x* συνδέεται με το *y* μέσω της σχέσης *R*».) Η *Η* επικυρώνεται κατά Χέμπελ από την

$$E : Raa.\ Rab.\ Rbb.\ Rba.$$

Αλλά δεν επικυρώνεται από την

$$E' : Raa.\ Rab.\ Rbb$$

μολονότι, διαισθητικά, η τελευταία πρόταση στηρίζει την *Η*. Ή θεωρήστε τη σύνθετη υπόθεση

$$(x)\,(\exists y)\ Rxy.\ (x)\ \sim Rxx.\ (x)\,(y)\,(z)\,[(Rxy.\ Ryz) \supset Rxz\,],$$

η οποία είναι αληθής, αν θεωρήσουμε ότι οι ποσοδείκτες εκτείνονται στο σύνολο των φυσικών αριθμών και ερμηνεύσουμε τον τύπο *Rxy* ως: το *y* είναι μεγαλύτερο από το *x*. (Έτσι ερμηνευμένος, ο τύπος λέει ότι για κάθε αριθμό υπάρχει κάποιος άλλος μεγαλύτερος. Μολονότι αυτή η πρόταση αληθεύει για τη συλλογή όλων των φυσικών αριθμών, είναι προφανώς ψευδής για κάθε πεπερασμένο σύνολο ακεραίων.) Αυτή η υπόθεση δεν μπορεί να επικυρωθεί κατά Χέμπελ από καμιά συνεπή πρόταση, αφού το ανάπτυγμά της για οποιοδήποτε πεπερασμένο σύνολο *I* είναι ασυνεπές. Τελικώς, αν η *Η* διατυπωθεί στη γλώσσα του θεωρητικού λεξιλογίου, τότε, εκτός από ορισμένες ειδικές περιπτώσεις οι οποίες δεν παρουσιάζουν κανένα θεωρητικό ενδιαφέρον, αυτή δεν μπορεί ποτέ να επικυρωθεί κατά Χέμπελ από το τεκμήριο *Ε*, αν τούτο είναι διατυπωμένο αποκλειστικά στη γλώσσα του παρατηρησιακού λεξιλογίου. Η προσέγγιση

του Χέμπελ δεν μπορεί να πει τίποτα για το πώς μπορούν να επικυρώνονται προτάσεις που διατυπώνονται από επιστήμες όπως η θεωρητική φυσική –π.χ., η πρόταση ότι όλα τα πρωτόνια αποτελούνται από τρία κουάρκ– από τεκμήρια που αποκτώνται μέσω παρατήρησης και πειραματισμού. Αυτή η κατάσταση αφασίας αποτελεί εξαιρετικά μεγάλο τίμημα σε σχέση με αυτό που είναι σε θέση να προσφέρει η προσέγγιση του Χέμπελ, δηλαδή το ξεπέρασμα ορισμένων από τις αδυναμίες τής, κατά τα άλλα, λιγότερο προβληματικής Υ-Π προσέγγισης.

Αυτό το τελευταίο πρόβλημα στάθηκε η αφετηρία για τη διατύπωση της ιδέας περί *αυτενέργειας* (*boot-strapping account*),* την οποία πρότεινε ο Γκλύμουρ (Glymour 1980) για την επίλυση του προβλήματος της επικύρωσης. Ο Γκλύμουρ προσπάθησε να κρατήσει την ιδέα του Χέμπελ, δηλαδή ότι οι υποθέσεις επικυρώνονται μέσω της συναγωγής εμπειρικών στιγμιοτύπων τους από προτάσεις που παρουσιάζουν τεκμήρια. Όμως, στην περίπτωση μιας θεωρητικής υπόθεσης, ο ίδιος επέτρεψε να παράγονται τα συναφή στιγμιότυπα με τη συνδρομή βοηθητικών υποθέσεων. Έτσι, για τον Γκλύμουρ η βασική σχέση επικύρωσης είναι μια σχέση με τρεις θέσεις, η E επικυρώνει την H σε σχέση με την H', αντί για σχέση δύο θέσεων που ήταν αρχικά. Η κατεξοχήν περίπτωση όπου επιθυμούμε να βρίσκει εφαρμογή αυτή η προσέγγιση, είναι αυτή όπου διαθέτουμε μια επιστημονική θεωρία T η οποία συνίσταται σε ένα δίκτυο υποθέσεων από το οποίο μπορούμε να απομονώσουμε τις H και H'. Αν η T είναι πεπερασμένα αξιωματικοποιήσιμη –δηλαδή αν η T αποτελείται από το σύνολο των λογικών συνεπειών που είναι δυνατό να έχουν προκύψει από ένα πεπερασμένο σύνολο υποθέσεων, $H_1, H_2, \ldots, H_n$– τότε μπορούμε να λέμε ότι η T επικυρώνεται αυτενεργητικά αν για κάθε H_i υπάρχει μια H_j τέτοια ώστε η E να επικυρώνει την H_i σε σχέση με την H_j. Αυτές οι ιδέες γίνονται πιο εύκολα κατανοητές στην περίπτωση που οι υποθέσεις αποτελούνται από απλές γραμμικές εξισώσεις.

Φανταστείτε μια θεωρία που αποτελείται από τις ακόλουθες τέσσερις υποθέσεις (καθώς και από όλες τις εκ παραγωγής συνέπειές τους):

$$H_1: \Pi_1 = X$$
$$H_2: \Pi_2 = Y + Z$$
$$H_3: \Pi_3 = Y + X$$
$$H_4: \Pi_4 = Z$$

Τα Π_i υποτίθεται ότι αποτελούν παρατηρήσιμα μεγέθη ενώ τα X και Y είναι θεωρητικά.

Για να κάνουμε το παραπάνω πιο συγκεκριμένο, υποθέστε πως διατηρούμε

---

* Ο βαρώνος Μυνχάουζεν, σε μία από τις περιπέτειές του, έσωσε τον εαυτό του από βέβαιο πνιγμό αφού τράβηξε το ίδιο του το σώμα προς τα πάνω κρατώντας με τα χέρια του τα «αφτάκια» (bootstraps) από τις μπότες που φορούσε. [Σ.τ.Μ.]

δείγματα τεσσάρων διαφορετικών αερίων σε ξεχωριστά δοχεία. Όλα τα δοχεία έχουν τον ίδιο όγκο και βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Τότε, σύμφωνα με το νόμο του Αβογκάντρο, κάθε δείγμα περιέχει τον ίδιο αριθμό μορίων. Θεωρούμε ότι τα Π_1 έως Π_4 συμβολίζουν τα βάρη των τεσσάρων δειγμάτων:

$$\Pi_1 = 28 \text{ gr}, \Pi_2 = 44 \text{ gr}, \Pi_2 = 44 \text{ gr}, \Pi_4 = 28 \text{ gr}$$

Οι υποθέσεις μας λένε το εξής:

H_1: το πρώτο δείγμα αποτελείται μόνον από μόρια αζώτου —N_2— μοριακού βάρους 28· X είναι το βάρος ενός γραμμομορίου N_2 (28 gr).

H_2: Το δεύτερο δείγμα αποτελείται από διοξείδιο του άνθρακα —CO_2— μοριακού βάρους 44· Y είναι το γραμμοάτομο του οξυγόνου (O) (16 gr) και Z είναι το γραμμομόριο του μονοξειδίου του άνθρακα CO (28 gr).

H_3: Το τρίτο δείγμα αποτελείται από οξείδιο του αζώτου —N_2O— μοριακού βάρους 44· Y είναι το γραμμοάτομο του O (16 gr) και X είναι το γραμμομόριο του αζώτου (28 gr).

H_4: Το τέταρτο δείγμα αποτελείται από μονοξείδιο του άνθρακα —CO— μοριακού βάρους 28· Z είναι το γραμμομόριο του CO (28 gr).

(Οι ακέραιες τιμές των ατομικών και μοριακών βαρών δεν είναι απόλυτα ακριβείς, όμως αποτελούν καλές προσεγγίσεις για τους σκοπούς αυτού του παραδείγματος.)

Για να δείξουμε πώς η υπόθεση H_1 μπορεί να επικυρωθεί αυτενεργητικά σε σχέση με τις άλλες τρεις υποθέσεις, θεωρήστε πως οι τιμές των παρατηρήσιμων μεγεθών Π_1, Π_2, Π_3, Π_4 έχουν καθοριστεί με τη βοήθεια ενός πειράματος. Από τις τιμές των Π_2 και Π_4 μπορούμε να υπολογίσουμε τις τιμές για το $Y + Z$ και για το Z χρησιμοποιώντας τις υποθέσεις H_2 και H_4. Οι δύο αυτές μαζί καθορίζουν μια τιμή για το Y. Στη συνέχεια, από την τιμή του Π_3 μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή του αθροίσματος $Y + X$ χρησιμοποιώντας την H_3. Από τις δυο τελευταίες αυτές τιμές μπορούμε να πάρουμε μια τιμή για το X, και τελικά να συγκρίνουμε την παρατηρημένη τιμή Π_1 με την τιμή του X που πήραμε με τον υπολογισμό. Αν είναι ίσες, τότε η H_1 έχει επικυρωθεί. Παρόλο που το παράδειγμα φαίνεται κάπως απλοϊκό, είναι στην ουσία παρόμοιο με τους τρόπους μέτρησης και επιχειρηματολογίας που χρησιμοποιούσαν οι χημικοί τον δέκατο ένατο αιώνα για να βρουν ατομικά και μοριακά βάρη.

Αν θέλουμε να αποτελεί η αυτενεργητική διαδικασία πραγματικό έλεγχο, με την έννοια ότι ενσωματώνει και τη δυνατότητα διάψευσης, τότε πρέπει να απαιτήσουμε κάτι παραπάνω: πρέπει να μπορούν να υπάρξουν τιμές για τα παρατηρήσιμα μεγέθη, οι οποίες να είναι σε θέση, αν τις χρησιμοποιήσουμε κατά την ίδια διαδικασία αυτενεργητικού υπολογισμού που μας οδήγησε σε επικυρωτικό

στιγμιότυπο, να παράγουν τιμές για τα θεωρητικά μεγέθη που αντικρούουν την εν λόγω υπόθεση. Αυτή η απαίτηση ικανοποιείται στο παραπάνω παράδειγμα.

Στην αρχική διατύπωσή της, η ιδέα του Γκλύμουρ περί αυτενέργειας επέτρεπε μια πρόσθετη παλικαριά: συγκεκριμένα επέτρεπε τη χρησιμοποίηση της ίδιας της υπόθεσης H ως βοηθητικής υπόθεσης κατά τη συναγωγή των δικών της στιγμιοτύπων. Για να γίνει αυτό σαφέστερο, θεωρήστε και πάλι το παράδειγμα του νόμου των τελείων αερίων $P \times V = K \times T$, και υποθέστε ότι τα P, V, T είναι παρατηρήσιμα μεγέθη, ενώ η σταθερά των αερίων K είναι ένα θεωρητικό μέγεθος. Προχωρούμε στον αυτενεργητικό έλεγχο αυτού του νόμου, σε σχέση με τον εαυτό του, μετρώντας τα παρατηρήσιμα μεγέθη σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις και συγκρίνοντας κατόπιν τις τιμές K_1 και K_2 για το K όπως αυτές υπολογίζονται από τον ίδιο το νόμο και τις δυο ομάδες παρατηρηθέντων τιμών p_1, v_1, t_1 και p_2, v_2, t_2. Μια τέτοια παλικαριά, ωστόσο, μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα, ή μπορεί να αποδειχθεί εντελώς άχρηστη. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του νόμου των αερίων είναι δυνατό να αναλύσει κανείς τη λογική του ελέγχου χωρίς να χρησιμοποιήσει την ίδια την υπόθεση που ελέγχεται ως βοηθητική παραδοχή κατά τη διαδικασία του αυτενεργητικού υπολογισμού (βλέπε Edidin 1983 και van Fraassen 1983). Αυτά καθώς και άλλα ερωτήματα σχετικά με τον αυτενεργητικό έλεγχο αποτελούν τρέχοντα θέματα υπό συζήτηση στα φιλοσοφικά περιοδικά. (Για την αρχική ανάλυση περί αυτενέργειας, Glymour 1980, μπορούν να επιστρατευθούν διάφορα αντιπαραδείγματα που εκτίθενται στο Christensen 1983. Βλέπε επίσης και Glymour 1983.)

Ας επιστρέψουμε τώρα στην ανάλυση του Χέμπελ περί επικύρωσης για να θέσουμε το ερώτημα κατά πόσο είναι πολύ φιλελεύθερη. Δύο λόγοι που συνηγορούν υπέρ μιας θετικής απάντησης περιέχονται στα παράδοξα που ακολουθούν.

Το παράδοξο με τα κοράκια. Θεωρήστε και πάλι την υπόθεση ότι όλα τα κοράκια είναι μαύρα: (x) $(Rx \supset Bx)$. Ποια από τις επόμενες προτάσεις-τεκμήρια επικυρώνουν κατά Χέμπελ την υπόθεση με τα κοράκια;

$$E_1 : Ra_1 . Ba_1$$
$$E_2 : \sim Ra_2$$
$$E_3 : Ba_3$$
$$E_4 : \sim Ra_4 . \sim Ba_4$$
$$E_5 : \sim Ra_5 . Ba_5$$
$$E_6 : Ra_6 . \sim Ba_6$$

Η απάντηση είναι ότι όλες οι E_1 έως E_5 επικυρώνουν την υπόθεση. Μόνο το τεκμήριο E_6, το οποίο καταρρίπτει την υπόθεση, αποτυγχάνει να την επικυρώσει. Η ορνιθολογία γραφείου που προδίδουν ορισμένες από αυτές τις σχέσεις επικύρωσης κατά Χέμπελ –για παράδειγμα, η επικύρωση της υπόθεσης σχετικά

με τα κοράκια με τεκμήριο το ότι κάποιο αντικείμενο είναι ένα κομμάτι λευκής κιμωλίας– φαίνεται σε πολλούς υπερβολικά εύκολη για να είναι αληθινή.

Το παράδοξο του Γκούντμαν. Αν κάτι φαίνεται να διασφαλίζεται στο παρόν πλαίσιο, αυτό είναι ότι το τεκμήριο *Ra. Ba*, δηλαδή ότι το *a* είναι ένα μαύρο κοράκι, επικυρώνει την υπόθεση σχετικά με τα κοράκια (*x*) (*Rx* ⊃ *Bx*). Αλλά στην προσέγγιση του Χέμπελ δεν υπάρχει τίποτε που να περιορίζει την ερμηνεία των κατηγορημάτων *Rx* και *Bx*. Πράγμα που σημαίνει ότι θα είχαμε επικύρωση κατά Χέμπελ ακόμα και στην περίπτωση που ερμηνεύαμε το *Bx* ως εάν σήμαινε ότι το *x* είναι μάπρο. Το κατηγόρημα «μάπρο» ορίζεται ως εξής: ένα αντικείμενο είναι μάπρο αν εξετάζεται πριν ή κατά τις 31 Δεκεμβρίου του 2300 και διαπιστώνεται ότι είναι μαύρο, ή εξετάζεται μετά από αυτή την ημερομηνία και βρίσκεται ότι είναι άσπρο. Έτσι, λόγω της συνθήκης ειδικής συνεπαγωγής, το τεκμήριο ότι το *a* είναι ένα μαύρο κοράκι, επικυρώνει την πρόβλεψη ότι αν κάποιο *b* είναι ένα κοράκι που εξετάζεται μετά το 2300, αυτό θα βρεθεί να είναι άσπρο. Το λιγότερο που μπορούμε να πούμε είναι ότι αυτό το αποτέλεσμα αντιβαίνει σε κάθε στοιχειώδη διαίσθησή μας.

ΜΕΡΟΣ ΙΙ:
ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ ΟΠΩΣ ΤΕΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΧΙΟΥΜ

2.5 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΙΚΑΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Γρίφοι του είδους που μόλις αναφέρθηκε –οι οποίοι περιλαμβάνουν μάπρα κοράκια και πράκινα σμαράγδια (ένα αντικείμενο είναι πράκινο αν εξετάζεται πριν ή κατά τις 31 Δεκεμβρίου του 2300 και βρίσκεται να είναι πράσινο ή αν εξεταζόμενο μετά από αυτή την ημερομηνία βρίσκεται να είναι κόκκινο)– παρουσιάστηκαν στο Nelson Goodman (1955) με το όνομα *νέος γρίφος της επαγωγής*. Ο Γκούντμαν αναζήτησε τη βάση επί της οποίας κάνουμε πρόθυμα επαγωγικές γενικεύσεις αναφορικά με κατηγορήματα όπως «μαύρο», «άσπρο», «πράσινο» και «κόκκινο», όχι όμως και αναφορικά με τα «μάπρο» και «πράκινο». Επισημαίνοντας αυτή τη διαφορά, μίλησε για *προβολικά κατηγορήματα* (*projectible predicates*) και *μη προβολικά κατηγορήματα* (*unprojectible predicates*) υποθέτοντας ότι υπάρχουν κατηγορήματα και των δύο αυτών τύπων. Το πρόβλημα είναι να βρεθεί η βάση επί της οποίας να αποφασίζουμε ποιο είναι τι.

Υπάρχει ωστόσο μια δυσκολία η οποία προηγείται τόσο από ιστορικής όσο και από λογικής απόψεως. Ο Ντέιβιντ Χιουμ στα έργα του *Πραγματεία περί της Φύσεως του Ανθρώπου* (*Treatise of Human Nature* [1739-1740], 1978) και *Έρευνα Περί της Ανθρωπίνου Νοήσεως* (*Enquiry Concerning Human Understading*, 1748) έθεσε υπό σοβαρή αμφισβήτηση τη θέση ότι υπάρχει κάποια λογική ή ορθολο-

γική βάση που να δικαιολογεί την οποιαδήποτε επαγωγική γενίκευση – δηλαδή τη θεώρηση οποιουδήποτε κατηγορούμενου ως προβολικού.

Ο Χιουμ διαίρεσε όλους τους συλλογισμούς σε δύο τύπους, στους συλλογισμούς που αφορούν *σχέσεις ιδεών* (relations of ideas) και στους συλλογισμούς που αφορούν *καταστάσεις πραγμάτων και ύπαρξη* (matters of fact and existence). Όλα τα παραγωγικά επιχειρήματα των καθαρών μαθηματικών και της λογικής εντάσσονται στην πρώτη κατηγορία, χωρίς να παρουσιάζουν κανένα πρόβλημα. Στη σύγχρονη ορολογία, θα λέγαμε ότι διατηρούν αναγκαστικά την αλήθεια επειδή δεν είναι ενισχυτικά (βλέπε Κεφάλαιο 1, Παράγραφο 1.5). Αν οι προκείμενες οποιουδήποτε τέτοιου επιχειρήματος είναι αληθείς, τότε το συμπέρασμα πρέπει να είναι επίσης αληθές, αφού δεν λέει τίποτα που να μην έχει ήδη ειπωθεί, τουλάχιστον υπόρρητα, από τις προκείμενες.

Όμως, δεν ανήκουν όλοι οι επιστημονικοί συλλογισμοί στην πρώτη κατηγορία. Όποτε από γεγονότα που έχουν παρατηρηθεί βγάζουμε συμπεράσματα για γεγονότα που δεν έχουν παρατηρηθεί, τότε ολοφάνερα συλλογιζόμαστε ενισχυτικά – το περιεχόμενο, δηλαδή, του συμπεράσματος υπερβαίνει το περιεχόμενο των προκειμένων. Όταν προβλέπουμε μελλοντικά συμβάντα, όταν «προβλέπουμε» αναδρομικά συμβάντα του παρελθόντος, όταν συνάγουμε συμπεράσματα περί του τι συμβαίνει κάπου αλλού, καθώς και όταν εισάγουμε γενικεύσεις που αξιώνουν εφαρμογή σε κάθε τόπο και χρόνο, τότε δεσμευόμαστε στον τρόπο του συλλογίζεσθαι που αφορά καταστάσεις πραγμάτων και ύπαρξη. Αναφορικά με τους συλλογισμούς αυτού του δεύτερου τύπου, ο Χιουμ θέτει ευθέως το ερώτημα: ποιο είναι το θεμέλιο για τη συναγωγή συμπερασμάτων από το παρατηρηθέν στο απαρατήρητο; Και αμέσως καταλήγει στο ότι οι συλλογισμοί αυτού του τύπου στηρίζονται σε σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος. Όταν βλέπουμε κάπου κοντά μιαν αστραπή (αιτία), τότε συμπεραίνουμε ότι θα επακολουθήσει η βροντή ενός κεραυνού (αποτέλεσμα). Όταν αντικρίζουμε ίχνη από πατημασιές στην άμμο (αποτέλεσμα), τότε συμπεραίνουμε ότι κάποιος άνθρωπος περπάτησε εκεί πρόσφατα (αιτία). Όταν ακούμε ένα χτύπημα στην πόρτα και κάποια οικεία φωνή να λέει «Είναι κανείς εδώ;» (αποτέλεσμα), συμπεραίνουμε την παρουσία ενός φίλου έξω από την πόρτα (αιτία).

Αυτομάτως προκύπτει το ακόλουθο ερώτημα: Πώς είναι δυνατόν να γνωρίζουμε τις σχέσεις αιτίου αποτελέσματος στις οποίες προσφεύγουμε όταν πραγματοποιούμε συναγωγές συμπερασμάτων από το παρατηρηθέν στο απαρατήρητο; Ο Χιουμ εξετάζει διάφορες δυνατότητες. Διαθέτουμε άραγε a priori γνώση αιτιακών σχέσεων; Μπορούμε άραγε να συναγάγουμε τη φύση της αιτίας από την παρατήρηση του αποτελέσματος; Απαντά μετ' εμφάσεως αρνητικά. Για κάποιον που δεν έχει εμπειρία σχετική με διαμάντια ή με πάγο –τα οποία φαίνονται πολύ όμοια στην εμφάνιση– δεν υπάρχει τρόπος να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η υψηλή θερμοκρασία και πίεση που μπορεί να παράγει το διαμάντι καταστρέφει τον πάγο. Από την παρατήρηση του αποτελέσματος, δεν διαθέτουμε κανένα τρόπο να συναγάγουμε το αίτιο. Κατά παρόμοιο τρόπο, για κάποιον

που δεν έχει οποιαδήποτε εμπειρία σχετική με φωτιά ή με χιόνι, δεν υπάρχει κανένας τρόπος να συμπεράνει ότι η φωτιά θα προκαλούσε το αίσθημα του θερμού ενώ το χιόνι το αίσθημα του ψυχρού. Από την παρατήρηση του αιτίου, δεν διαθέτουμε κανένα τρόπο για να συναγάγουμε το αποτέλεσμα. Όλη η γνώση αιτιακών σχέσεων που διαθέτουμε, συμπεραίνει ο Χιουμ, πρέπει να στηρίζεται στην εμπειρία.

Όταν ένα γεγονός προκαλεί κάποιο άλλο, μπορούμε να υποθέσουμε την παρουσία τριών παραγόντων – δηλαδή την αιτία, το αποτέλεσμα και την αιτιακή σύνδεση μεταξύ τους. Ωστόσο, μετά τη διερεύνηση των συναφών περιστάσεων, ο Χιουμ δεν καταφέρνει να βρει το τρίτο στοιχείο – αυτή την ίδια την αιτιακή σύνδεση. Υποθέστε ότι μια μπίλια του μπιλιάρδου είναι ακίνητη πάνω σε ένα τραπέζι τη στιγμή που μια άλλη μπάλα κατευθύνεται γρήγορα προς το μέρος της. Συγκρούονται. Η μπίλια που ήταν ακίνητη, τώρα κινείται. Αυτό που παρατηρούμε αρχικά, επισημαίνει ο Χιουμ, είναι η κίνηση της μιας μπίλιας και η σύγκρουσή της με την άλλη. Κατόπιν παρατηρούμε την κίνηση της δεύτερης μπίλιας. Όπως λέει ο ίδιος, αυτή είναι από τις τελειότερες περιπτώσεις αιτίου και αποτελέσματος που θα μπορούσαμε να δούμε. Εδώ παρατηρούμε τρία πράγματα. Το πρώτο είναι *η χρονική προτεραιότητα*. Η αιτία προηγείται του αποτελέσματος. Το δεύτερο είναι *η χωροχρονική εγγύτητα*. Η αιτία και το αποτέλεσμα βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο στο χώρο και το χρόνο. Και το τρίτο είναι η σχέση *σταθερής σύζευξης*. Αν επαναλάβουμε το πείραμα πολλές φορές, ανακαλύπτουμε ότι το αποτέλεσμα είναι ακριβώς το ίδιο όπως την πρώτη φορά. Η μπίλια που ήταν ακίνητη απομακρύνεται πάντοτε μετά τη σύγκρουση.

Η μεγάλη εξοικείωσή μας με περιστάσεις παρόμοιες μ' αυτήν της μπίλιας του μπιλιάρδου είναι δυνατό να μας δημιουργήσει την εντύπωση πως το γεγονός ότι η κινούμενη μπίλια θα προκαλεί την κίνηση αυτής που ήταν ακίνητη «εδράζεται στο ίδιο το λογικό μας». Όμως ο Χιουμ διαπιστώνει μετά από διεξοδική ανάλυση ότι ένας *a priori συλλογισμός* δεν είναι δυνατόν να στηρίξει ένα τέτοιο συμπέρασμα. Μπορούμε να φανταστούμε χωρίς αντίφαση διάφορες δυνατότητες: ότι, για παράδειγμα, τη στιγμή της σύγκρουσης οι δυο μπίλιες εξαφανίζονται σε μιαν ατμίδα καπνού, ή ότι η κινούμενη μπίλια θα υπερπηδήσει εκείνη που ηρεμούσε, ή ότι η μπίλια που αρχικά ήταν ακίνητη θα παραμείνει στην ίδια κατάσταση ενώ η κινούμενη θα επιστρέψει κατά την κατεύθυνση από την οποία ήλθε. Επιπλέον, και ανεξάρτητα από το πόσο προσεκτικά εξετάζουμε την κατάσταση, αυτό που είναι αδύνατο να δούμε, βεβαιώνει ο Χιουμ, είναι η αιτιακή σύνδεση αυτή καθ' εαυτή – η «κρυφή δύναμη» μέσω της οποίας η αιτία επιφέρει το αποτέλεσμα. Αν παρατηρήσουμε δύο γεγονότα να εκτυλίσσονται σε χωροχρονική εγγύτητα έτσι ώστε το ένα να ακολουθεί αμέσως το άλλο, *αλλά μόνον μια φορά*, δεν είμαστε σε θέση να πούμε αν πρόκειται για απλή σύμπτωση ή για γνήσια περίπτωση αιτιακής σύνδεσης. Ο Χανς Ράιχενμπαχ (Hans Reichenbach) ανέφερε ένα περιστατικό που συνέβη κάποτε σε έναν κινηματογράφο στην Καλιφόρνια καθώς ο ίδιος παρακολουθούσε μια ταινία. Ακριβώς τη στιγμή που μια

τεράστια έκρηξη εκτυλισσόταν στην οθόνη, η αίθουσα άρχισε να σείεται. Η πρώτη αντίδραση κάποιου ατόμου θα ήταν να συνδέσει τα δύο γεγονότα ως αιτία και αποτέλεσμα. Στην πραγματικότητα, όμως, αυτό που είχε συμβεί την ίδια εκείνη στιγμή, από καθαρή σύμπτωση, ήταν ένας σεισμός μικρής έντασης. Επιστρέφοντας στο παράδειγμα του Χιουμ με την μπίλια του μπιλιάρδου, δεν μπορούμε να ξέρουμε κατά την πρώτη παρατήρηση μιας τέτοιας σύγκρουσης αν η κίνηση της μπίλιας που αρχικά ήταν ακίνητη συνέβη συμπτωματικά ή ως αποτέλεσμα της σύγκρουσής της με την κινούμενη μπίλια. Μόνο μετά από επανειλημμένες παρατηρήσεις τέτοιων γεγονότων έχουμε λόγους να συμπεράνουμε ότι υφίσταται γνήσια αιτιακή σχέση. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η αιτιακή σύνδεση αυτή καθ' εαυτή δεν αποτελεί ένα από τα παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά αυτού που εκτυλίσσεται. Αν ήταν παρατηρήσιμο χαρακτηριστικό, δεν θα χρειαζόταν να παρατηρήσουμε επαναλήψεις της ακολουθίας των συναφών γεγονότων, γιατί θα είμασταν σε θέση να την παρατηρήσουμε από την πρώτη κιόλας φορά.[5]

Ποια είναι τότε η βάση για τις κρίσεις μας που αφορούν αιτιακές σχέσεις; Ο Χιουμ απαντά ότι είναι ζήτημα συνήθειας. Παρατηρούμε σε κάποια περίπτωση ένα γεγονός τύπου *C* και διαπιστώνουμε ότι ακολουθείται από ένα γεγονός τύπου *E*. Σε κάποια άλλη περίπτωση, παρατηρούμε ένα παρόμοιο γεγονός τύπου *C* να ακολουθείται από ένα παρόμοιο γεγονός τύπου *E*. Αυτό συμβαίνει πολλές φορές. Στο εξής, όταν παρατηρούμε ένα γεγονός τύπου *C* περιμένουμε ότι αυτό θα ακολουθηθεί από ένα γεγονός τύπου *E*. Πρόκειται απλώς για ένα γεγονός που αφορά την ανθρώπινη ψυχολογία. Αποκτούμε μια συνήθεια, διαμορφωνόμαστε έτσι ώστε να περιμένουμε το *E* οποτεδήποτε συμβαίνει το *C*. Δεν υπάρχει καμιά λογική αναγκαιότητα σε όλα αυτά.

Στην πραγματικότητα, ο Χιουμ έφερε στο φως έναν λογικό κύκλο. Ξεκινήσαμε ρωτώντας για τη βάση πάνω στην οποία θεμελιώνεται η συναγωγή συμπερασμάτων για εκείνο που δεν έχει ακόμα παρατηρηθεί από αυτό που έχει παρατηρηθεί. Η απάντηση ήταν ότι όλος αυτός ο τρόπος του συλλογίζεσθαι βασίζεται σε σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος. Κατόπιν αναρωτηθήκαμε για το πώς θα μπορούσαμε να εδραιώσουμε τη γνώση των σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος. Η απάντηση ήταν πως δεχόμαστε –ή ψυχολογικά αναμένουμε– ότι μελλοντικές περιπτώσεις εμφάνισης γεγονότων του τύπου *C* θα ακολουθούνται από γεγονότα τύ-

[5] Ο Άγγλος φιλόσοφος Τζων Λοκ (John Locke) είχε ισχυριστεί ότι σε κάποιες περιστάσεις παρατηρούμε πράγματι τη δύναμη ενός γεγονότος να επιφέρει ένα άλλο, δηλαδή σε περιπτώσεις όπου κάποιος άνθρωπος έχει τη βούληση ή την επιθυμία να εκτελέσει κάποια πράξη και πράγματι το κάνει ως αποτέλεσμα αυτής της βούλησης ή της επιθυμίας του. Μπορεί, για παράδειγμα, να επιθυμούμε να υψώσουμε τα χέρια μας και πράγματι να το κάνουμε. Σύμφωνα με τον Λοκ έχουμε συναίσθηση αυτής της δύναμής μας να παράγουμε κίνηση σε ένα τμήμα του σώματός μας. Ο Χιουμ εξέτασε προσεκτικά τον ισχυρισμό του Λοκ και συμπέρανε ότι είναι λανθασμένος. Μεταξύ άλλων επεσήμανε ότι υφίσταται μια σύνθετη σχέση για την οποία δεν έχουμε άμεση συναίσθηση –η οποία έχει να κάνει με τη μετάδοση παλμών κατά μήκος των νεύρων και με συστολές διαφόρων μυών– μεταξύ της επιθυμίας που εκπηγάζει απ' τον εγκέφαλο και της εν λόγω κίνησης του χεριού. Η κριτική του Χιουμ υπέσκαψε αποφασιστικά τον ισχυρισμό του Λοκ.

που *E*, ακριβώς όπως συνέβη κατά το παρελθόν γεγονότα τύπου *C* να ακολουθούνται από γεγονότα τύπου *E*. Με άλλα λόγια, δεχόμαστε ότι η φύση είναι ομοιόμορφη –ότι το μέλλον θα είναι όπως και το παρελθόν– ότι οι κανονικότητες που έχουν παρατηρηθεί να ισχύουν έως αυτή τη στιγμή θα εξακολουθήσουν να ισχύουν και στο μέλλον.

Αλλά τι *λόγους* έχουμε για να υποθέτουμε ότι η φύση είναι ομοιόμορφη; Αν πούμε ότι η ομοιομορφία της φύσης έχει διασφαλισθεί βάσει παρατηρήσεων που έγιναν στο παρελθόν, τότε το να υποθέτουμε ότι θα *εξακολουθήσει* να είναι ομοιόμορφη ισοδυναμεί απλώς με το να υποθέτουμε ότι το μέλλον θα είναι όμοιο με το παρελθόν. Όμως αυτός είναι ένας κατάφωρα κυκλικός συλλογισμός. Αν πούμε ότι η επιστήμη προχωρά βασιζόμενη στην υπόθεση ότι η φύση είναι ομοιόμορφη και ότι η επιστήμη υπήρξε εξαιρετικά επιτυχημένη στην πρόβλεψη μελλοντικών συμβάντων, η αντίδραση του Χιουμ θα εξακολουθεί να είναι η ίδια. Το να υποθέσουμε ότι οι μελλοντικές προσπάθειες της επιστήμης θα επιτύχουν επειδή η επιστήμη διαθέτει ένα αρχείο *παρελθουσών* επιτυχιών ισοδυναμεί, και πάλι, με το να δεχόμαστε ότι το μέλλον θα είναι όμοιο με το παρελθόν. Επιπλέον, παρατηρεί ο Χιουμ, είναι απολύτως δυνατό η φύση να *μην* είναι ομοιόμορφη και στο μέλλον –ότι το μέλλον *δεν είναι απαραίτητα* όμοιο με το παρελθόν– γιατί είμαστε σε θέση να φανταστούμε με λογική συνέπεια όλων των ειδών τις διαφορετικές δυνατότητες. Δεν υπάρχει καμιά αντίφαση στο να υποθέσουμε ότι, σε κάποιο μελλοντικό χρόνο, μια ουσία που μοιάζει με το χιόνι θα πέσει από τον ουρανό αλλά θα προκαλεί το αίσθημα που προκαλεί η φωτιά και θα έχει τη γεύση αλατιού. Δεν υπάρχει καμιά αντίφαση στο να υποθέσουμε ότι ο ήλιος δεν θα ανατείλει αύριο το πρωί. Μπορεί κάποιος να φανταστεί με συνέπεια ότι μια μολυβένια μπάλα που αφήνεται ελεύθερη από το χέρι μας, αντί να πέσει, θα ανυψωθεί. Δεν περιμένουμε να συμβούν τέτοια απόκοσμα γεγονότα, όμως αυτό είναι αποτέλεσμα της ψυχολογικής μας συγκρότησης. Δεν είναι ζήτημα λογικής.

Ό,τι ισχύει για τα παραδείγματα του Χιουμ από το χώρο της καθημερινής ζωής ισχύει εξίσου και για τους νόμους της επιστήμης, άσχετα από το πόσο πολύπλοκοι μπορεί να είναι. Δεν παρατηρήσαμε ποτέ κάποια εξαίρεση στο νόμο διατήρησης της στροφορμής, ωστόσο αυτός αύριο μπορεί να αποτύχει. Μέσα στα όρια της εμπειρίας μας, ο χρόνος ημίσειας ζωής του C^{14} ήταν έως τώρα 5.730 χρόνια· αύριο μπορεί να γίνει 10 λεπτά. Δεν βρήκαμε ποτέ ένα σήμα που να διαδίδεται ταχύτερα από το φως· αύριο μπορεί να βρούμε κάποιο. Δεν υπάρχει καμιά εγγύηση ότι η χημεία του μορίου DNA θα παραμείνει η ίδια στο μέλλον. Οι δυνατότητες είναι ατέλειωτες.

Θα πρέπει να είμαστε σαφείς σχετικά με το βάθος και το εύρος των επιχειρημάτων του Χιουμ. Ο Χιουμ δεν λέει απλώς ότι δεν μπορούμε να είμαστε *βέβαιοι* για τα πορίσματα της επιστήμης – σχετικά με τις επιστημονικές προβλέψεις, για παράδειγμα. Το σημείο αυτό είχε επισημανθεί από τους αρχαίους Σκεπτικούς πολλούς αιώνες πριν από τον Χιουμ. Το επιχείρημα του Χιουμ είναι ότι

δεν διαθέτουμε καμιά λογική βάση που να εδραιώνει *οποιαδήποτε* εμπιστοσύνη σχετικά με την *οποιαδήποτε* επιστημονική πρόβλεψη. Από το σημείο αυτό και στο εξής, *κάθε* επιστημονική πρόβλεψη μπορεί να αποτύχει. Δεν μπορούμε να πούμε καν ότι οι επιστημονικές προβλέψεις είναι πιθανές. (Η έννοια της πιθανότητας θα εξεταστεί με λεπτομέρεια στο τρίτο Μέρος.) Δεν διαθέτουμε καμιά ορθολογική βάση που να μας επιτρέπει να έχουμε μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στις προβλέψεις της επιστήμης από ό,τι στις προβλέψεις των μέντιουμ ή στις αχαλίνωτες εικασίες. Η βάση για τις συναγωγές συμπερασμάτων από το παρατηρηθέν στο απαρατήρητο είναι, για να χρησιμοποιήσουμε τον όρο του Χιουμ, *η συνήθεια*.

2.6 ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΧΙΟΥΜ

Η κριτική που άσκησε ο Χιουμ στην επαγωγική συλλογιστική κατάφερε ένα καίριο πλήγμα στα ίδια τα θεμέλια της εμπειρικής επιστήμης. Η όλη κατάσταση μπορεί να διατυπωθεί με τη μορφή ενός διλήμματος. Η επιστήμη περιλαμβάνει ενισχυτικούς τρόπους συμπερασμού κατά τρόπο ουσιώδη. Αν διερωτηθούμε σχετικά με τις εγγυήσεις ή τη δικαιολόγηση που απαιτεί οποιοσδήποτε ενισχυτικός συμπερασμός, δύο απαντήσεις φαίνονται δυνατές. Θα μπορούσαμε, από τη μια, να αποπειραθούμε να σχηματίσουμε έναν παραγωγικό συλλογισμό για να δείξουμε ότι το συμπέρασμα έπεται από τις προκείμενες – δηλαδή ότι το συμπέρασμα θα είναι αληθές αν οι προκείμενες συμβαίνει να είναι αληθείς. Αλλά αν γινόταν να διατυπωθεί ένα τέτοιο επιχείρημα, αυτό θα μεταμόρφωνε την επαγωγή σε παραγωγή, και έτσι θα απομέναμε χωρίς το παραμικρό είδος ενισχυτικού συμπερασμού. Από την άλλη, θα μπορούσαμε να προτείνουμε μια επαγωγική δικαιολόγηση. Αλλά μια τέτοια δικαιολόγηση θα ήταν κυκλική – θα ενέπλεκε τη χρησιμοποίηση της επαγωγής στη δικαιολόγηση αυτής της ίδιας της επαγωγής. Το αποτέλεσμα είναι ότι και με τις δυο εναλλακτικές λύσεις είναι αδύνατο να παράσχουμε δικαιολόγηση για το είδος συλλογισμού που είναι απαραίτητο στην επιστήμη – αλλά και στον κοινό νου. Αυτή είναι η κατάσταση που οδήγησε τον Μπρόουντ (Broad, 1926) να παρατηρήσει πως η επαγωγή είναι το μεγαλείο της επιστήμης και το σκάνδαλο της φιλοσοφίας.

Ίσως δεν χρειάζεται καν να πούμε πως οι φιλόσοφοι έχουν υιοθετήσει μια ποικιλία στρατηγικών για να αντεπεξέλθουν στο δίλημμα του Χιουμ. Θα εξετάσουμε ορισμένες από τις πιο ελκυστικές ή και πιο σημαντικές. (Αρκετές από αυτές τις διαφορετικές προσεγγίσεις εξετάζονται με λεπτομέρεια στο Salmon 1967, Κεφάλαιο 2.)

*1. **Η επιτυχία της επιστήμης.*** Παρ' όλα τα ξεκάθαρα επιχειρήματα του Χιουμ σχετικά με την κυκλικότητα που παρουσιάζει η δικαιολόγηση της επαγωγής με τη χρήση της ίδιας της επαγωγής, είναι δύσκολο να ξεφύγουμε από την αίσθηση

ότι ο πιο βασικός λόγος για την εμπιστοσύνη μας στις μεθόδους της επιστήμης είναι η αξιοσημείωτη επιτυχία που αυτές έχουν επιδείξει στο να μας καθιστούν ικανούς να εξηγούμε τα φυσικά φαινόμενα και να προβλέπουμε μελλοντικά συμβάντα. Ποια καλύτερη βάση θα μπορούσε να βρεθεί για τη δικαιολόγηση της αξίας μιας μεθόδου από την έως τώρα καταγραμμένη πορεία της; Και φυσικά καμιά μέθοδος αστρολογίας, κρυσταλλοσκοπίας, μαντικής, σπλαχνοσκοπίας, χαρτομαντικής, οιωνοσκοπίας, χειρομαντίας ή προφητικής δεν μπορεί να συγκριθεί με την επιτυχία της επιστήμης. Θα φαινόταν πραγματικά ανόητο να εγκαταλείψουμε μια τόσο πετυχημένη μέθοδο με αντάλλαγμα κάποια άλλη της οποίας το παρελθόν είναι σαφώς υποδεέστερο.

Υποθέστε, ωστόσο, πως κάποιος επιστήμονας –είτε ένας που την εξασκεί είτε κάποιος άλλος που πιστεύει στην επιστημονική μέθοδο– προκαλείται από έναν κρυσταλλοσκόπο. Ο επιστήμονας μιλά υποτιμητικά για την κρυσταλλοσκοπία, ως μέθοδο για την πρόβλεψη του μέλλοντος, με βάση το ότι αυτή δεν υπήρξε αρκετά επιτυχημένη μέθοδος στο παρελθόν, ενώ η επιστημονική μέθοδος δούλεψε καλά. Ο κρυσταλλοσκόπος μπορεί, ορθώς, να κατηγορήσει τον επιστήμονα ότι χρησιμοποιεί την επιστημονική μέθοδο για να δικαιώσει την επιστημονική μέθοδο. Τελικά η επιστημονική μέθοδος βασίζεται στην προβολή, επί του μέλλοντος, κανονικοτήτων του παρελθόντος. Το να προβλέψεις ότι η επιστημονική μέθοδος θα εξακολουθήσει να είναι επιτυχημένη στο μέλλον επειδή υπήρξε επιτυχημένη στο παρελθόν είναι σκανδαλωδώς κυκλικό. «Αν χρησιμοποιείς τη μέθοδό σου για να κρίνεις τη μέθοδό σου», μπορεί να επισημάνει ο κρυσταλλοσκόπος, «τότε έχω κάθε δικαίωμα να χρησιμοποιήσω τη μέθοδό μου για να κρίνω τη μέθοδό μου». Μετά από επισταμένη παρατήρηση της κρυστάλλινης σφαίρας, ο κρυσταλλοσκόπος αποφαίνεται πως η μέθοδος της κρυσταλλοσκοπίας (παρ' όλη την αποτυχία της κατά το παρελθόν) πρόκειται να γίνει, όπου να 'ναι, μία καθ' όλα επιτυχημένη μέθοδος πρόβλεψης. «Επιπλέον», θα μπορούσε να προσθέσει ο κρυσταλλοσκόπος, «αφού εσύ χρησιμοποιείς τη μέθοδό σου για να συκοφαντείς εις βάρος της μεθόδου μου, εγώ θα χρησιμοποιήσω τη δική μου μέθοδο για να κρίνω τη δική σου: μέσα στην κρυστάλλινη σφαίρα μου βλέπω ότι η επιστημονική μέθοδος πρόκειται να γνωρίσει μεγάλη κακοτυχία στη μελλοντική χρήση της ως μεθόδου για πρόβλεψη».

Όπως έδειξε ολοκάθαρα το επιχείρημα του Χιουμ αναφορικά με την κυκλικότητα, είναι δύσκολο να βρεθεί κάποιο σφάλμα στη λογική του κρυσταλλοσκόπου.[6]

2. Η διάλυση διά της καθημερινής γλώσσας. Η προσέγγιση στο πρόβλημα της επαγωγής του Χιουμ που υιοθετήθηκε πιο πλατιά είναι ίσως η απόπειρα να το

[6] Και ο Μαξ Μπλακ (Max Black) και ο Μπρέιθγουέιτ υποστήριξαν ότι οι επαγωγικές δικαιολογήσεις της επαγωγής θα μπορούσαν να διαφύγουν της κυκλικότητας. Τα επιχειρήματα του Μπλακ εξετάζονται κριτικά με λεπτομέρεια στο Salmon (1967, 12-17). Τα επιχειρήματα του Μπρέιθγουέιτ προσφέρονται για κριτική ανάλογου χαρακτήρα.

διαλύσουν μάλλον, παρά να το επιλύσουν, δείχνοντας ότι αυτό δεν αποτελούσε εξαρχής πραγματικό πρόβλημα. Ένας τρόπος να διατυπώσουμε το επιχείρημα είναι ο εξής. Αν διερωτηθούμε σε τι συνίσταται το να συλλογιζόμαστε σωστά, η προφανής απάντηση είναι ότι συνίσταται στη διαμόρφωση πεποιθήσεων υπό το φως διαθέσιμων τεκμηρίων. Όμως τι σημαίνει η έννοια του τεκμηρίου; Υπάρχουν τεκμήρια δύο τύπων, τα οποία αντιστοιχούν σε δύο ειδών επιχειρήματα, στα παραγωγικά και στα επαγωγικά. Λέγοντας ότι μια πρόταση στηρίζεται σε τεκμήρια παραγωγικού είδους, εννοούμε ότι αυτή μπορεί να συναχθεί παραγωγικά από προτάσεις που είμαστε πρόθυμοι να αποδεχθούμε. Αν, για παράδειγμα, αποδεχθούμε τα αξιώματα της Ευκλείδειας Γεωμετρίας, τότε μας επιτρέπεται να αποδεχθούμε το Πυθαγόρειο θεώρημα, εφόσον τούτο παράγεται από αυτά τα αξιώματα. Κατά παρόμοιο τρόπο, συνεχίζει το επιχείρημα, αν αποδεχθούμε τον τεράστιο όγκο των εμπειρικών τεκμηρίων που έχουμε στη διάθεσή μας, πρέπει να είμαστε έτοιμοι να αποδεχθούμε το νόμο διατήρησης της στροφορμής (θυμηθείτε την περίπτωση της αθλήτριας της καλλιτεχνικής παγοδρομίας στο Κεφάλαιο 1). Τούτο το τεκμήριο στηρίζει επαγωγικά τον ισχυρισμό ότι η στροφορμή διατηρείται πάντοτε και, ως εκ τούτου, θα εξακολουθήσει να διατηρείται αύριο, την επόμενη βδομάδα, τον επόμενο μήνα, χρόνο κ.ο.κ. Το να διερωτόμαστε, κατά το πνεύμα του Χιουμ, αν είναι δικαιολογημένο να πιστεύουμε ότι η στροφορμή θα εξακολουθήσει να διατηρείται και αύριο, είναι σαν να διερωτόμαστε αν είναι λογικό να βασίζουμε τις πεποιθήσεις μας στα διαθέσιμα τεκμήρια, τα οποία, σε τούτη την περίπτωση, είναι τεκμήρια εξ επαγωγής. Όμως το να βασίζουμε τις πεποιθήσεις μας στα τεκμήρια είναι ό,τι ακριβώς *συνιστά* την ορθολογικότητα. Το να διερωτόμαστε αν πρέπει να βασιζόμαστε σε τεκμήρια εξ επαγωγής ισοδυναμεί με το να διερωτόμαστε αν είναι λογικό να είμαστε λογικοί (δυο κλασικές διατυπώσεις αυτής της άποψης έχουν δοθεί από τον Έιρ (Ayer, 1956, 71-75) και από τον Στρώσον (Strawson 1952, στο κεφάλαιο 9). Το πρόβλημα εξαφανίζεται ευθύς μόλις κατανοήσουμε καλά το νόημα των όρων «τεκμήριο» και «ορθολογικότητα».

Το προηγούμενο επιχείρημα ενισχύεται συχνά κι από έναν άλλο παράγοντα. Υποθέστε πως κάποιος εξακολουθεί να απαιτεί δικαιολόγηση για τις θεμελιώδεις αρχές της επαγωγής, ας πούμε για το ότι οι κανονικότητες του παρελθόντος μπορούν να προβληθούν στο μέλλον. Το ερώτημα μετατρέπεται τότε στο σε ποια αρχή θα μπορούμε να προσφύγουμε ώστε να παράσχουμε μια τέτοια δικαιολόγηση. Αφού οι βασικές αρχές του επαγωγικού συλλογισμού, όπως άλλωστε και αυτές του παραγωγικού συλλογισμού, είναι οι έσχατες, είναι αδύνατο να βρεθεί κάτι πιο θεμελιώδες με τους όρους του οποίου να μπορούμε να διατυπώσουμε κάποια δικαιολόγηση. Έτσι, η απαίτηση να δικαιολογηθούν οι πιο βασικές αρχές μας αποδεικνύεται άνευ αντικειμένου, αφού είναι αυτές οι αρχές που ορίζουν την ίδια την έννοια της δικαιολόγησης.

Παρ' όλη την πλατιά αποδοχή της μεταξύ των φιλοσόφων, αυτή η απόπειρα να ξεφορτωθούμε το χιουμιανό πρόβλημα δικαιολόγησης της επαγωγής μπορεί

να γίνει αντικείμενο σοβαρών ενστάσεων. Η κυριότερη από αυτές μπορεί να διατυπωθεί με τη βοήθεια ενός χρήσιμου διαχωρισμού που τον οφείλουμε στον Χέρμπερτ Φέιγκλ (Herbert Feigl, 1950). Ο τελευταίος διακρίνει μεταξύ δύο ειδών δικαιολόγησης: της *κύρωσης* (*validation*) και της *δικαίωσης* (*vindication*). Η κύρωση μιας αρχής έγκειται στη συναγωγή της από άλλες θεμελιωδέστερες, τις οποίες αποδεχόμαστε. Για παράδειγμα, προσπαθούμε συχνά να κυρώσουμε ηθικές και/ή νομικές αρχές. Ορισμένοι ισχυρίζονται ότι η άμβλωση δεν είναι κάτι ορθό και πρέπει να τεθεί εκτός νόμου, επειδή δεν είναι ορθό να αφαιρούμε ανθρώπινες ζωές (εκτός από συγκεκριμένες οριακές περιπτώσεις), και επειδή η ανθρώπινη ζωή αρχίζει τη στιγμή της σύλληψης. Κάποιοι άλλοι όμως (στην Αμερική), προσφεύγοντας σε ορισμένα δικαιώματα που θεωρούν ότι τα εγγυάται το σύνταγμα των Ηνωμένων Πολιτειών, υποστηρίζουν ότι οι αμβλώσεις πρέπει να επιτρέπονται. Αυτό που μετράει ως κύρωση εξαρτάται από τις βασικές αρχές που κάποιος υιοθετεί.

Η κύρωση εμφανίζεται επίσης στα μαθηματικά και τη λογική. Η εξαγωγή του Πυθαγόρειου θεωρήματος από τα αξιώματα της Ευκλείδειας γεωμετρίας αποτελεί ένα καλό μαθηματικό παράδειγμα. Στη λογική, ο κανόνας συναγωγής modus tollens

$$(6)\ \frac{p \supset q \quad \sim q}{\sim p}$$

μπορεί να κυρωθεί με προσφυγή στον modus ponens

$$(7)\ \frac{p \supset q \quad p}{q}$$

και την αντιμετάθεση

$$(p \supset q)\ \mathrm{K}\ (\sim q \supset \sim p).^{7}$$

Η *δικαίωση* ενός κανόνα ή μιας διαδικασίας ενέχει το να δείξουμε ότι ο εν λόγω κανόνας ή διαδικασία εξυπηρετεί το σκοπό για το οποίο σχεδιάστηκε. Δικαιώνουμε τους βασικούς κανόνες της παραγωγικής λογικής δείχνοντας ότι διατηρούν την αλήθεια – δηλαδή, ότι όταν αυτοί οι κανόνες ακολουθούνται, τότε είναι αδύνατο να συνάγουμε ψευδή συμπεράσματα από αληθείς προκείμενες. Και αυτό

---

[7] Ένα λιγότερο τετριμμένο παράδειγμα από την παραγωγική λογική είναι η κύρωση του κανόνα της υπό συνθήκη απόδειξης με τη βοήθεια του θεωρήματος της παραγωγής. Το θεώρημα της παραγωγής δείχνει ότι οποιοδήποτε συμπέρασμα μπορεί να συναχθεί με τη βοήθεια της υπό συνθήκη απόδειξης, μπορεί να συναχθεί με τη χρήση των πρότυπων παραγωγικών κανόνων χωρίς προσφυγή στην υπό συνθήκη απόδειξη. Η υπό συνθήκη απόδειξη απλοποιεί ιδιαίτερα πολλές αποδείξεις αλλά δεν επιτρέπει τη συναγωγή κανενός συμπεράσματος που να μην μπορεί να συναχθεί χωρίς αυτήν.

συνιστά δικαίωση, γιατί αυτό που θέλουμε είναι ακριβώς η εγγύηση ότι είναι αδύνατο να παρεισφρήσει ψευδές συμπέρασμα σε μια διαδικασία παραγωγής από αληθείς προκείμενες, εφόσον ακολουθούνται οι κανόνες της παραγωγής.

Σε ό,τι αφορά την επαγωγή, γνωρίζουμε –επειδή είναι ενισχυτική– ότι είναι αδύνατο να υπάρξει εγγύηση ότι η αλήθεια διατηρείται. Συμβαίνει κάποτε να παίρνουμε ψευδή συμπεράσματα από αληθείς προκείμενες. Θα επιθυμούσαμε να είχαμε τη δυνατότητα να εγγυηθούμε ότι θα συνάγουμε *συνήθως* αληθή συμπεράσματα από αληθείς προκείμενες. Όμως, τα επιχειρήματα του Χιουμ δείχνουν ότι ούτε τότε μπορεί να υπάρξει εγγύηση. Όπως θα δούμε, ο Ράιχενμπαχ προσπάθησε να δώσει ένα διαφορετικό είδος δικαιολόγησης, αλλά δεν μας αφορά εδώ. Η ουσία είναι ότι, από τα δύο είδη δικαιολόγησης, μόνον ένα –η κύρωση– απαιτεί προσφυγή σε βασικότερες αρχές. Η *δικαίωση* δεν το απαιτεί. Η δικαίωση έχει να κάνει με σκοπούς και στόχους. Όταν επισημαίνεται –όπως προηγουμένως– ότι δεν υπάρχει κάποια θεμελιωδέστερη αρχή βάσει της οποίας να μπορεί να δικαιολογηθεί η επαγωγή, αυτό σημαίνει ότι η επαγωγή δεν είναι δυνατό να κυρωθεί. *Δεν σημαίνει* όμως και ότι δεν μπορεί να δικαιωθεί.

Αν διατηρήσουμε καθαρά στο νου μας το διαχωρισμό μεταξύ κύρωσης και δικαίωσης, θα δούμε ότι η διάλυση του προβλήματος που φάνηκε να επιτυγχάνεται με την προσφυγή στην καθημερινή γλώσσα είναι αδύνατο να ολοκληρωθεί. Όταν θέτουμε το ερώτημα: «Είναι λογικό να είναι κανείς λογικός;», είναι πολύ εύκολο να παραπλανηθούμε από μιαν αμφισημία. Στη λέξη «λογικός» αντιστοιχούν οι δύο σημασίες της λέξης «δικαιολόγηση» (justification). Η μία σημασία της λέξης «λογικός» (η «λογικός$_1$») αντιστοιχεί στη δικαίωση, με την έννοια ότι, ρωτώντας αν κάτι είναι λογικό, εννοούμε αν πρόκειται για ένα αποτελεσματικό μέσο για την επίτευξη κάποιου επιδιωκόμενου στόχου. Σε ό,τι αφορά την επαγωγή, αυτός ο στόχος μπορεί να σκιαγραφηθεί ως η επίτευξη αληθών συμπερασμάτων, ή ως η πραγματοποίηση ορθών προβλέψεων όσο το δυνατόν συχνότερα. Η άλλη σημασία της λέξης «λογικός» (η «λογικός$_2$») αντιστοιχεί στην κύρωση. Με αυτήν την έννοια, το να είναι κανείς λογικός$_2$ συμπεριλαμβάνει την υιοθέτηση των γενικά αποδεκτών βασικών κανόνων του επαγωγικού συμπερασμού. Αν τώρα ρωτήσουμε: «Είναι λογικό$_1$ να είναι κανείς λογικός$_2$;», τότε το ερώτημα δεν είναι καθόλου τετριμμένο. Αυτό που σημαίνει τώρα είναι: «Εξυπηρετεί πράγματι το στόχο μας για όσο το δυνατόν συχνότερη πρόβλεψη (λογικό$_1$) η χρήση των αποδεκτών κανόνων επαγωγικού συμπερασμού (λογικό$_2$);» Αυτός είναι ένας άλλος τρόπος να διατυπωθεί το θεμελιακό ερώτημα που έθεσε ο Χιουμ αναφορικά με τη δικαιολόγηση της επαγωγής. Το βασικό πρόβλημα δεν επιλύθηκε· απλώς επαναδιατυπώθηκε.

3. Επαγωγική διαίσθηση. Όταν ο Γκούντμαν έθεσε το νέο πρόβλημα της επαγωγής, διατύπωσε ορισμένους σαρωτικούς ισχυρισμούς σχετικά με τη φύση της δικαιολόγησης λογικών αρχών. Αυτοί οι ισχυρισμοί αφορούσαν και την παραγωγή και την επαγωγή. Και στις δύο περιπτώσεις, είπε, πρέπει να αντιμετωπί-

ζουμε τις βασικές αρχές που μας είναι προσφιλείς με τα είδη των συλλογισμών που έχουμε την προδιάθεση να αποδεχόμαστε ως έγκυρους ή λογικά ορθούς. (Ο όρος «έγκυρος» ορίζεται συχνά έτσι ώστε να χαρακτηρίζει μόνον τα ορθά παραγωγικά επιχειρήματα. Αν εκληφθεί κατ' αυτόν τον τρόπο, τότε χρειαζόμαστε έναν άλλο όρο, όπως το «λογικά ορθός», για να χαρακτηρίζουμε εκείνα τα επαγωγικά επιχειρήματα που συμμορφώνονται με τις κατάλληλες λογικές αρχές.) Όταν ένα επιχείρημα, το οποίο επιθυμούμε να διατηρήσουμε, συγκρούεται με κάποια λογική αρχή, την οποία δεν επιθυμούμε να εγκαταλείψουμε, τότε πρέπει να προβούμε σε κάποια ρυθμιστική επέμβαση. Μιλώντας για την παραγωγή, ο Γκούντμαν λέει:

> Η όλη ιδέα είναι ότι οι κανόνες και οι επιμέρους συμπερασμοί δικαιολογούνται με το να έρχονται σε αμοιβαία συμφωνία μεταξύ τους. *Ένας κανόνας τροποποιείται αν αποδίδει ένα συμπερασμό που δεν είμαστε διατεθειμένοι να αποδεχθούμε. Ένας συμπερασμός απορρίπτεται αν παραβιάζει κάποιον κανόνα τον οποίο δεν είμαστε διατεθειμένοι να τροποποιήσουμε.* Δικαιολόγηση είναι η λεπτεπίλεπτη διαδικασία της αμοιβαίας ρύθμισης μεταξύ κανόνων και αποδεκτών συμπερασμών· και η μόνη δικαιολόγηση που χρειάζεται και για τους δύο έγκειται στη συμφωνία που επιτεύχθηκε. (1955, 67, η έμφαση είναι του πρωτοτύπου).

Και συνεχίζει:

> Όλα αυτά εφαρμόζονται εξίσου καλά και στην περίπτωση της επαγωγής. Μια επαγωγική συναγωγή δικαιολογείται, επίσης, από το πόσο συμβιβάζεται με κάποιους γενικούς κανόνες· και ένας γενικός κανόνας από το πόσο συμβιβάζεται με αποδεκτές επαγωγικές συναγωγές. Οι προβλέψεις δικαιολογούνται όταν συμβιβάζονται με έγκυρους κανόνες επαγωγής, και οι κανόνες είναι έγκυροι αν κωδικοποιούν με ακρίβεια αποδεκτές επαγωγικές πρακτικές. (ό.π.)

Ο Ρούντολφ Κάρναπ (Rudolf Carnap) –η θεωρία των πιθανοτήτων του οποίου θα εξεταστεί στο εδάφιο 6 της Παραγράφου 2.8– φαίνεται να είχε κάτι παρόμοιο στο νου του όταν είπε ότι η βασική δικαιολόγηση των αξιωμάτων της επαγωγικής λογικής στηρίζεται στις επαγωγικές μας διαισθήσεις (Schilpp 1963, 978).

Οι ισχυρισμοί του Γκούντμαν σχετικά με την παραγωγική λογική είναι πολύ δύσκολο να γίνουν αντικείμενο υπεράσπισης. Απορρίπτουμε, ως εσφαλμένη, τη μορφή βεβαίωσης της απόδοσης

$$(8)\ p \supset q$$

$$\frac{q}{p}$$

γιατί είναι εύκολο να δοθεί μια *γενική* απόδειξη για το ότι ο παραπάνω συλλογισμός δεν διατηρεί αναγκαστικά την αλήθεια. Η απόρριψη αυτή δεν είναι το αποτέλεσμα ενός λεπτεπίλεπτου διακανονισμού μεταξύ επιμέρους επιχειρημάτων και γενικών κανόνων, αλλά η απόδειξη του ότι από τη μορφή αυτή λείπει ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά που απαιτούνται από τους παραγωγικούς κανόνες. Οι μορφές άλλων επιχειρημάτων, όπως για παράδειγμα του modus ponens και του modus tollens, είναι αποδεκτές γιατί μπορεί να αποδειχθεί με *γενικό* τρόπο ότι διατηρούν αναγκαστικά την αλήθεια. (Αν πάμε πέρα από τη λογική των συναρτήσεων αληθείας, υπάρχουν γενικές αποδείξεις της συνέπειας και της πληρότητας της κανονικής πρωτοβάθμιας λογικής.)

Στην επαγωγική λογική, η κατάσταση είναι πιο πολύπλοκη. Όπως θα δούμε όταν φτάσουμε στη μελέτη των διαφόρων ερμηνειών της έννοιας της πιθανότητας, υπάρχει μια πληθώρα δυνατών κανόνων συναγωγής. Μπορούμε να γίνουμε σαφέστεροι εξετάζοντας την περίπτωση της εφαρμογής τριών απλών κανόνων σ' ένα τεχνητό, εν πολλοίς, παράδειγμα. Υποθέστε ότι έχουμε ένα πολύ μεγάλο δοχείο που περιέχει έναν ιδιαίτερα μεγάλο αριθμό σφαιριδίων, για τα οποία γνωρίζουμε από πριν ότι μπορεί να είναι είτε κόκκινα είτε κίτρινα είτε μπλε. Όμως δεν ξέρουμε εκ των προτέρων ποια είναι η αναλογία των σφαιριδίων για κάθε χρώμα. Προσπαθούμε να μάθουμε ποια είναι η σύνθεση του πληθυσμού των σφαιριδίων μέσα στο δοχείο, από την άποψη του χρώματός τους, τραβώντας τυχαία δείγματα και παρατηρώντας το χρώμα τους.

Υποθέστε, τώρα, ότι το περιεχόμενο του δοχείου είναι πολύ καλά αναμεμειγμένο και ότι αποσπούμε από αυτό ένα δείγμα n σφαιριδίων, από τα οποία τα m είναι κόκκινα. Θεωρήστε τρεις δυνατούς τρόπους για τη συναγωγή (ή για μια εκτίμηση) του ποσοστού των κόκκινων σφαιριδίων που βρίσκονται στο δοχείο:

Επαγωγή με απαρίθμηση: αν το ποσοστό m/n των σφαιριδίων του δείγματος είναι κόκκινα, συνάγουμε το συμπέρασμα ότι η αναλογία m/n ισχύει κατά προσέγγιση για το σύνολο των σφαιριδίων του δοχείου.

A priori κανόνας: ανεξάρτητα από τη συγκρότηση του δείγματος που παρατηρήθηκε, συνάγουμε το συμπέρασμα ότι, κατά προσέγγιση, το 1/3 του συνόλου των σφαιριδίων είναι κόκκινο. (Επελέγη το κλάσμα 1/3 γιατί είναι τρία τα χρώματα που εμφανίζονται στο σύνολο του πληθυσμού των σφαιριδίων εντός του δοχείου.)

Αντιεπαγωγικός κανόνας: Αν το ποσοστό m/n των σφαιριδίων του δείγματος είναι κόκκινα, συνάγουμε το συμπέρασμα ότι, κατά προσέγγιση, $(n - m)/n$ των σφαιριδίων του δείγματος εντός του δοχείου είναι κόκκινα.

Ορισμένα χαρακτηριστικά αυτών των κανόνων είναι δυνατό να προκύψουν με *γενικά επιχειρήματα*. Ο αντιεπαγωγικός κανόνας ονομάζεται έτσι γιατί κάνει

χρήση παρατηρημένων τεκμηρίων με αρνητικό τρόπο. Αν παρατηρήσουμε την αναλογία των κόκκινων σφαιριδίων σε ένα δείγμα, αυτός ο κανόνας μάς οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αναλογία των κόκκινων σφαιριδίων στο σύνολο του πληθυσμού είναι κατά προσέγγιση ίση με το ποσοστό εκείνων που δεν είναι κόκκινα στο δείγμα. Η χρήση αυτού του κανόνα θα μας οδηγούσε πολύ σύντομα σε μια κατάφωρη αντίφαση. Υποθέστε, χάριν απλότητος, ότι το δείγμα που παρατηρήσαμε περιέχει 1/3 κόκκινα, 1/3 κίτρινα και 1/3 μπλε. Εφαρμόζοντας τον αντιεπαγωγικό κανόνα για καθένα από τα χρώματα, θα προέκυπτε ότι τα 2/3 των σφαιριδίων στο δοχείο είναι κόκκινα, τα 2/3 κίτρινα και τα 2/3 μπλε. Όμως αυτό είναι λογικά αδύνατο και συνεπώς ο αντιεπαγωγικός κανόνας δεν είναι ικανοποιητικός.

Υποθέστε ότι εφαρμόζουμε τον a priori κανόνα. Σε αυτή την περίπτωση, ακόμα και αν το 98% του δείγματος που παρατηρήσαμε αποτελείται από κόκκινα σφαιρίδια, 1% από κίτρινα και 1% από μπλε, ο κανόνας θα μας ανάγκαζε να αγνοήσουμε τα εμπειρικά τεκμήρια και να συναγάγουμε το συμπέρασμα ότι μόνο το 1/3 του συνόλου των σφαιριδίων στο δοχείο είναι κόκκινα. Επειδή ο a priori κανόνας αποσυνδέει πλήρως την παρατήρηση από την πρόβλεψη, πρέπει και αυτός να απορριφθεί.

Ο κανόνας της επαγωγής με απαρίθμηση δεν παρουσιάζει καμιά από τις προηγούμενες αδυναμίες ενώ έχει και κάποιες επιπλέον αρετές. Μία από τις αρετές του είναι ότι αν χρησιμοποιηθεί με επιμονή σε όλο και μεγαλύτερα δείγματα, οφείλει τελικά να δώσει συμπεράσματα που θα είναι κατά προσέγγιση σωστά. Αν στην αρχή είμαστε άτυχοι και παίρνουμε δείγματα μη αντιπροσωπευτικά, θα χρειαστεί αρκετός χρόνος πριν αρχίσουμε να παίρνουμε ακριβή αποτελέσματα. Αν όμως είμαστε τυχεροί και πάρουμε αντιπροσωπευτικά δείγματα από την αρχή, τότε τα ακριβή αποτελέσματα θα έρθουν πολύ νωρίτερα. (Ορισμένοι φιλόσοφοι αισθάνθηκαν μεγάλη ανακούφιση από το γεγονός ότι η συντριπτική πλειοψηφία των δειγμάτων που είναι δυνατό να ληφθούν είναι σχεδόν αντιπροσωπευτικά. Βλέπε Williams 1947)

Προφανώς υπάρχουν πάρα πολλοί –στην πραγματικότητα άπειροι– δυνατοί κανόνες για να πραγματοποιούμε επαγωγικούς συμπερασμούς. Το πρόβλημα του ποιον από αυτούς τους κανόνες πρέπει να χρησιμοποιούμε είναι πολύπλοκο και δύσκολο. Είδαμε, ωστόσο, ότι υπάρχουν επιχειρήματα γενικού χαρακτήρα που μπορούν να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή αυτών των κανόνων. Δεν αρκεί να συμβουλευόμαστε τη διαίσθησή μας για το αν κάποιος συγκεκριμένος τύπος επαγωγικού συμπερασμού είναι ή δεν είναι αποδεκτός. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι η διαίσθηση δεν μπορεί να έχει μεγάλη ευρετική αξία.

Παρόλο που αντιμετωπίσαμε με σκεπτικισμό το κατά πόσον ο Γκούντμαν όντως εξάλειψε το παλιό αίνιγμα της επαγωγής, πρέπει να επισημάνουμε τη σπουδαιότητα του δικού του αινίγματος. Πρώτον, ο Χιουμ δεν έλαβε ποτέ υπ' όψιν του το γεγονός ότι ορισμένες μορφές σταθερής σύζευξης δεν δημιουργούν συνήθειες ως προς το τι να προσδοκούμε. Κατηγορήματα τύπου Γκούντμαν,

όπως «μάπρο» και «πράκινο», το δείχνουν έντονα. Δεύτερον, τα παραδείγματα του Γκούντμαν παρέχουν τα μέσα για να δείξουμε, από έναν απλό δρόμο, ότι υπάρχουν μη κυκλικές δικαιολογήσεις της επαγωγής μέσω προσφυγής σε κάποια αρχή ομοιομορφίας. Υπάρχουν πολλές ομοιομορφίες, και το πρόβλημα ποια από αυτές εκτείνεται στο μέλλον αποτελεί για άλλη μια φορά το ίδιο το πρόβλημα της επαγωγής.

4. Παραγωγισμός. Ένας φιλόσοφος που άσκησε μεγάλη επίδραση, ο Σερ Καρλ Πόππερ, αντιμετώπισε το χιουμιανό πρόβλημα της επαγωγής αρνούμενος ότι η επιστήμη χρησιμοποιεί καθ' οιονδήποτε τρόπο την επαγωγή. Θεώρησε ότι ο Χιουμ απέδειξε τελεσίδικα ότι η επαγωγή είναι αδύνατο να δικαιολογηθεί και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η επιστήμη –αν είναι να θεωρείται ορθολογικό εγχείρημα– πρέπει να τα καταφέρει χωρίς την επαγωγή. Η μόνη λογική της επιστήμης, ισχυρίστηκε, είναι η παραγωγή.

Ο Πόππερ χαρακτηρίζει την επιστημονική μέθοδο ως διαδικασία *δοκιμής και λάθους* (trial and error), ως διαδικασία *εικασιών* και *καταρρίψεων* (conjectures and refutations). Ο επιστήμονας διατυπώνει τολμηρές εξηγητικές υποθέσεις και μετά τις υποβάλλει σε αυστηρό έλεγχο. Αυτή η διαδικασία ελέγχου μοιάζει *πάρα* πολύ με τον υποθετικο-παραγωγικό έλεγχο, παρουσιάζει όμως και μια διαφορά αποφασιστικής σημασίας. Σύμφωνα με την Υ-Π θεωρία, όταν η παρατηρησιακή πρόβλεψη αποδεικνύεται αληθής, τότε η υπόθεση *επιβεβαιώνεται* κατά έναν κάποιο βαθμό. Ο Πόππερ αρνείται ότι υπάρχει επικύρωση. Ωστόσο, αν η παρατηρησιακή πρόβλεψη είναι εσφαλμένη, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο συλλογιστικός τρόπος modus tollens για να συμπεράνουμε παραγωγικά ότι κάποια από τις προκείμενες είναι ψευδής. Αν έχουμε εμπιστοσύνη στις αρχικές συνθήκες και στις βοηθητικές υποθέσεις, τότε δεν έχουμε παρά να απορρίψουμε την υπόθεση. Η υπόθεση ήταν μια *εικασία*, και ο έλεγχος την *κατέρριψε*. Οι υποθέσεις που καταρρίπτονται πρέπει να απορρίπτονται.

Αν μια τολμηρή υπόθεση δεν αντικρουστεί μετά την υποβολή της σε αυστηρό έλεγχο, λέμε τότε ότι *επιρρώνεται* (*corroborated*). Ο Πόππερ αρνείται εμφατικά την περίπτωση να αποτελεί η επίρρωση κάποιο είδος επικύρωσης. Οι θεωρητικοί της Υ-Π μεθόδου εκλαμβάνουν την επικύρωση ως διαδικασία που επαυξάνει το βαθμό πιθανότητας μιας υπόθεσης και, κατά συνέπεια, και την πιθανότητα να μας παράσχει η εν λόγω υπόθεση ορθές προβλέψεις. Η επίρρωση, αντίθετα, δεν λέει απολύτως τίποτα σχετικά με τη μελλοντική επιτυχία των προβλέψεων που θα έχουν ως αφετηρία την υπόθεση. Αντίθετα, αναφέρεται αποκλειστικά στη συμπεριφορά της υπόθεσης κατά το παρελθόν. Ο βαθμός επίρρωσης αποτελεί έκφραση των παλιών επιτυχιών της υπόθεσης ως εξηγητικής θεωρίας. Οι αναφορές επίρρωσης δεν μολύνονται από κανένα επαγωγικό στοιχείο.

Ακόμα κι αν δεχθούμε τον αμφισβητήσιμο ισχυρισμό του Πόππερ ότι η θεωρητική επιστήμη ενδιαφέρεται μόνο για την εξήγηση και όχι για προβλέψεις, οφείλουμε να αναγνωρίσουμε ότι χρησιμοποιούμε την επιστημονική γνώση και

για τη λήψη αποφάσεων με πρακτικό περιεχόμενο. Αν θελήσουμε να στείλουμε έναν τεχνητό δορυφόρο γύρω από τη Γη, θα χρησιμοποιήσουμε τη Νευτώνεια μηχανική για να υπολογίσουμε την τροχιά του, περιμένοντας με εμπιστοσύνη να συμπεριφερθεί όπως προβλέφθηκε ότι θα συμπεριφερθεί. Ένας επαγωγιστής θα έλεγε ότι βασίζουμε τέτοιου είδους προσδοκίες στο γεγονός ότι η Νευτώνεια θεωρία, εντός καλά καθορισμένων ορίων, είναι μια καλώς επιβεβαιωμένη θεωρία. Ο Πόππερ ισχυρίζεται ότι για τους σκοπούς της πρακτικής πρόβλεψης η χρήση καλώς επιρρωμένων θεωριών συνιστάται απλώς γιατί τίποτα δεν είναι περισσότερο ορθολογικό.

Ωστόσο, το ερώτημα αποφασιστικής σημασίας είναι αν θα μπορούσε να υπάρξει κάτι λιγότερο ορθολογικό από τη χρήση του βαθμού επίρρωσης για να επιλέξουμε μια θεωρία όταν επιθυμούμε να κάνουμε προβλέψεις. Αν θυμηθούμε ότι ο Πόππερ τόνισε ρητά πως ο βαθμός επίρρωσης αναφέρεται αποκλειστικά στις επιτυχίες του παρελθόντος, και όχι στο ενδεχόμενο μελλοντικής επιτυχίας, φαίνεται πως ο βαθμός επίρρωσης δεν έχει καμιά σχέση με τις προβλεπτικές αρετές της θεωρίας. Η χρήση θεωριών με υψηλό βαθμό επίρρωσης για το σκοπό της πρόβλεψης δεν έχει έτσι το δικαίωμα να διεκδικήσει στερεότερη ορθολογική βάση από εκείνη των μέντιουμ ή της αχαλίνωτης φαντασίας. Το κόστος του εξορισμού όλων των επαγωγικών στοιχείων από την επιστήμη είναι το ότι η επιστήμη καθίσταται έτσι άχρηστη για το σκοπό της πρόβλεψης και της λήψης αποφάσεων πρακτικού χαρακτήρα. (Βλέπε Salmon 1981.)

5. Πραγματολογική δικαίωση. Ο Ράιχενμπαχ αποδέχθηκε πλήρως το συμπέρασμα του Χιουμ ότι είναι αδύνατο να αποδείξουμε την ομοιομορφία της φύσης. Συμφώνησε πως δεν είμαστε κατά κανένα τρόπο σε θέση να γνωρίζουμε αν η ομοιομορφία του παρελθόντος θα εξακολουθήσει να υφίσταται και στο μέλλον. Παραδέχθηκε ότι κάθε επαγωγικός συμπερασμός μπορεί κάλλιστα να οδηγήσει μελλοντικά σε εσφαλμένη πρόβλεψη. Αποπειράθηκε, όμως, να οικοδομήσει μια θεωρία δικαιολόγησης για τη χρησιμοποίηση της επαγωγής εδραιωμένη σε πραγματολογική, αυτή τη φορά, βάση.

Δεδομένης της αδυναμίας μας να γνωρίζουμε αν η φύση είναι ομοιόμορφη, μπορούμε να εξετάσουμε τι συμβαίνει σε κάθε περίπτωση. Ο Χιουμ έδειξε με πειστικό τρόπο ότι αν η φύση είναι ομοιόμορφη, τότε ο επαγωγικός συμπερασμός θα δουλεύει πολύ καλά, ενώ, αν η φύση δεν είναι ομοιόμορφη, τότε ο επαγωγικός συμπερασμός θα αποτυγχάνει. Αυτά είναι πλέον προφανή. Ωστόσο, ο Ράιχενμπαχ πρότεινε να λάβουμε υπ' όψιν μας και άλλες δυνατότητες για την πρόβλεψη του μέλλοντος εκτός της επαγωγής. Υποθέστε ότι προσπαθούμε να πάρουμε τις προβλέψεις μας συμβουλευόμενοι μια κρυστάλλινη σφαίρα. Δεν μπορούμε να αποφανθούμε a priori ότι θα κάνουμε ορθές προβλέψεις, ακόμα κι αν η φύση αποδεικνυόταν ομοιόμορφη. Όμως, δεν μπορούμε να αποφανθούμε a priori ούτε κι ότι δεν θα κάνουμε. Απλώς δεν ξέρουμε. Ας καταστρώσουμε τον ακόλουθο πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1

	Με φύση ομοιόμορφη	Με φύση μη ομοιόμορφη
Όταν χρησιμοποιούμε επαγωγή	Επιτυχία	Αποτυχία
Όταν δεν χρησιμοποιούμε επαγωγή	Είτε επιτυχία είτε αποτυχία	Αποτυχία

Το αποφασιστικής σημασίας αποτέλεσμα είναι το περιεχόμενο της κάτω δεξιά κυψελίδας. Τι γίνεται όταν η φύση δεν είναι ομοιόμορφη και εμείς δεν προβαίνουμε στη χρήση επαγωγής; Μια δυνατότητα είναι, βέβαια, να μην κάνουμε καθόλου προβλέψεις, πράγμα που σημαίνει ότι ανεξάρτητα από το αν η φύση είναι ομοιόμορφη ή όχι, προφανώς δεν κάνουμε επιτυχείς προβλέψεις. Μια άλλη δυνατότητα είναι να υιοθετήσουμε μια μη επαγωγική μέθοδο όπως η κρυσταλλοσκοπία. Οποιαδήποτε μέθοδος –ακόμα και η πιο αχαλίνωτη φαντασία– μπορεί να δώσει, μια στις τόσες, αληθή πρόβλεψη κατά τύχη, άσχετα από το αν η φύση είναι ομοιόμορφη ή όχι. Υποθέστε, όμως, ότι η κρυσταλλοσκοπία δουλεύει με συνέπεια. Αυτό θα συνιστούσε σημαντική ομοιομορφία που θα μπορούσε να στηριχτεί επαγωγικά. Με βάση, δηλαδή, τις παρατηρημένες επιτυχείς εγγραφές στο αρχείο αναφορών του κρυσταλλοσκόπου, θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε επαγωγικά ότι η κρυσταλλοσκοπία θα αποτελεί επιτυχή μέθοδο πρόβλεψης και στο μέλλον. Πράγμα που σημαίνει ότι αν η κρυσταλλοσκοπία μπορεί να παραγάγει συνεπείς προβλέψεις, τότε το ίδιο μπορεί να επιτύχει και η χρήση της επαγωγής. Όσα ειπώθηκαν για την κρυσταλλοσκοπία προφανώς βρίσκουν εφαρμογή και σε οποιαδήποτε άλλη μη επαγωγική μέθοδο. Επομένως, συμπέρανε ο Ράιχενμπαχ, αν οποιαδήποτε μέθοδος δίδει με συνέπεια επιτυχή αποτελέσματα, το ίδιο θα κάνει και η επαγωγή. Το ίδιο συμπέρασμα μπορεί να επαναδιατυπωθεί με τον ακόλουθο τρόπο: Αν η επαγωγή δεν δουλεύει, τότε καμιά άλλη μέθοδος δεν θα δουλέψει. Ως εκ τούτου, αν υιοθετήσουμε την επαγωγική μέθοδο δεν έχουμε τίποτα να χάσουμε, αλλά αντιθέτως κάτι θα κερδίσουμε – εφόσον ενδιαφερόμαστε για προβλέψεις. Καμιά άλλη μέθοδος δεν μπορεί να ισχυριστεί κάτι ανάλογο. Το επιχείρημα του Ράιχενμπαχ είναι μια απόπειρα *δικαίωσης* (vindication) της επαγωγικής μεθόδου. Προσπαθεί, δηλαδή, να δείξει ότι η επαγωγή αποτελεί την καλύτερη μέθοδο για την πρόβλεψη του μέλλοντος σε σχέση με όλες τις άλλες μεθόδους που θα μπορούσαν να υιοθετηθούν για τον ίδιο σκοπό, ακόμα κι αν αποδεχθούμε τα σκεπτικιστικά επιχειρήματα του Χιουμ.

Παρόλο που η δικαίωση της επαγωγής, από τον Ράιχενμπαχ, σε πραγματολογική βάση φαίνεται ότι υπόσχεται πολλά, αν εξεταστεί από πιο κοντά διαπιστώνεται ότι αντιμετωπίζει σοβαρές δυσκολίες. Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει η ανάλυση που προηγήθηκε είναι ότι κυριαρχείται από υπερβολική αοριστία. Τι εννοούμε όταν μιλάμε περί *ομοιομορφίας της φύσης*; Η φύση

δεν είναι πλήρως ομοιόμορφη, τα πράγματα γύρω μας αλλάζουν. Από την άλλη, και τουλάχιστον μέχρι σήμερα, η φύση έχει όντως επιδείξει ορισμένες μορφές ομοιόμορφης συμπεριφοράς. Τι είδους ομοιομορφία απαιτείται ώστε το επιχείρημά μας να λογίζεται επιτυχές; Σ' αυτό το σημείο πρέπει να είμαστε περισσότερο ακριβείς. Παρομοίως, όταν κάναμε λόγο περί μη επαγωγικών μεθόδων δεν εξετάσαμε εξονυχιστικά όλες τις διαθέσιμες δυνατότητες. Όταν το επιχείρημα γίνει επαρκώς αυστηρό, τότε αποδεικνύεται ότι αυτό δεν δικαιώνει μόνον έναν κανόνα επαγωγικού συμπερασμού, αλλά άπειρους τέτοιους κανόνες. Όλες οι σοβαρές προσπάθειες να βρεθεί μια ικανοποιητική βάση για την επιλογή ενός μοναδικού κανόνα αποδείχθηκαν –έως σήμερα τουλάχιστον– ανεπιτυχείς. (Οι σχετικές τεχνικές λεπτομέρειες αναπτύσσονται στο Salmon 1967, Κεφάλαιο 6.)

Οπότε πού βρίσκονται σήμερα τα πράγματα, 250 χρόνια μετά την έκδοση της *Πραγματείας περί της Φύσεως του Ανθρώπου,* ως προς το πρόβλημα που κληρονομήσαμε από τον Χιουμ; Παρ' όλες τις πολυάριθμες εμπνευσμένες απόπειρες που προτάθηκαν είτε για την επίλυση είτε για τη διάλυσή του, δεν επιτεύχθηκε συναίνεση. Υφίσταται ως μια υπόθεση της οποίας «ο φάκελος δεν έχει κλείσει ακόμα» για τη φιλοσοφία της επιστήμης (βλέπε Salmon 1978α). Το όλο πρόβλημα μπορεί ίσως να συνοψισθεί με την παράθεση ενός χωρίου από τον ίδιο τον Χιουμ:

> Ακόμα κι αν η ροή των πραγμάτων, όπως αυτά μας εμφανίζονται ώς τώρα, συνεχίσει να είναι εξίσου κανονική, αυτό από μόνο του, χωρίς κάποιο επιχείρημα ή συμπερασμό, δεν αποδεικνύει καθόλου ότι το ίδιο θα συνεχιστεί και στο μέλλον. Ματαίως προσποιείστε ότι έχετε γνωρίσει τη φύση των πραγμάτων από την παρελθούσα εμπειρία σας. Η κρυμμένη φύση τους και συνεπώς και όλες τους οι επιδράσεις και τα αποτελέσματά τους, μπορεί κάλλιστα να αλλάξουν χωρίς καμιά επίπτωση στις αισθητές ποιότητές τους. Τούτο συμβαίνει ενίοτε, αναφορικά με ορισμένα αντικείμενα. Γιατί να μην συμβαίνει πάντοτε και αναφορικά με όλα τα αντικείμενα; Ποια λογική, ποια συλλογιστική διαδικασία σάς διασφαλίζει έναντι μιας τέτοιας υπόθεσης; Η πρακτική μου, μου λέτε, απορρίπτει τις αμφιβολίες μου. Μάλλον, όμως, δεν κατανοήσατε το νόημα της ερώτησής μου. Ως δρων άνθρωπος μένω και εγώ ικανοποιημένος με αυτή την τελευταία σκέψη· ως φιλόσοφος, όμως, ... επιθυμώ να μάθω ποιο είναι το θεμέλιο αυτού του συμπερασμού. (1784, Παράγραφος 4)

Ωστόσο, όπως επισημαίνει ξεκάθαρα ο Χιουμ, η ζωή –και η επιστήμη– εξακολουθούν πάντα να πορεύονται το δρόμο τους χωρίς να νοιάζονται για όλες αυτές τις βασανιστικές αμφιβολίες των φιλοσόφων.

ΜΕΡΟΣ ΙΙΙ: ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ

2.7 Η ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ

Ό,τι εξετάσαμε ώς τώρα το πραγματευτήκαμε χωρίς τη βοήθεια ενός ισχυρού εργαλείου: του λογισμού των πιθανοτήτων. Έφτασε η ώρα να επικαλεστούμε τη βοήθειά του. Οι αδυναμίες των προσεγγίσεων ποιοτικού τύπου στο ζήτημα της επικύρωσης, όπως αυτές συζητήθηκαν στις Παραγράφους 2.3 και 2.4, δείχνουν από μόνες τους ότι για μια επαρκή πραγμάτευση της επικύρωσης των επιστημονικών προτάσεων οφείλουμε να προσφύγουμε σε ποσοτικές ή πιθανοκρατικές μεθόδους. Θυμηθείτε ότι συναντήσαμε ήδη την έννοια της πιθανότητας όταν εξετάζαμε τις ποιοτικές προσεγγίσεις. Για παράδειγμα, όταν αναλύαμε την Υ-Π μέθοδο, συναντήσαμε την έννοια της πιθανότητας υπό δύο τουλάχιστον έννοιες. Παρατηρήσαμε, πρώτα, ότι ένα θετικό αποτέλεσμα ενός Υ-Π ελέγχου δεν είναι ικανό να εδραιώσει με τελεσίδικο τρόπο μια υπόθεση και επισημάναμε ότι αυτό το αποτέλεσμα μπορεί απλώς να καταστήσει την υπόθεση κατά τι πιθανότερη ως προς αυτό που ήταν πριν. Δεύτερον, όταν είχαμε καταπιαστεί με το πρόβλημα των στατιστικών υποθέσεων, είδαμε ότι μόνον πιθανοκρατούμενες παρατηρησιακές προβλέψεις μπορούσαν να συναχθούν από τέτοιες υποθέσεις. Για να συνεχίσουμε τη διερεύνηση αυτών των ζητημάτων πρέπει να δούμε από πιο κοντά την έννοια, ή τις έννοιες, της πιθανότητας.

Η καταγωγή της σύγχρονης θεωρίας των πιθανοτήτων ανάγεται στον δέκατο έβδομο αιώνα. Ο θρύλος θέλει κάποιον διάσημο κύριο, τον Ιππότη ντε Μερέ (Chevalie de Méré), να θέτει κάποια ερωτήματα σχετικά με τα τυχερά παιχνίδια στο φιλόσοφο και μαθηματικό Μπλαιζ Πασκάλ (Blaise Pascal). Ο Πασκάλ μετέφερε τα προβλήματα στον μαθηματικό Πιέρ ντε Φερμά (Pierre de Fermat), κι έτσι άρχισε η όλη ιστορία. Όπως και να 'χει το θέμα, η σοβαρή ενασχόληση με τη θεωρία της μαθηματικής πιθανότητας άρχισε περί το 1660, και ο Πασκάλ με τον Φερμά, αλλά και τον Κρίστιαν Χόυχενς (Christian Huygens), έπαιξαν αποφασιστικό ρόλο στην ανάπτυξή τους. (Για μια ιστορική περιγραφή βλέπε: Hacking 1975 και Stigler 1986.)

Για να εισαγάγουμε τη θεωρία των πιθανοτήτων, σημειώνουμε ότι ως πιθανότητα θεωρούμε μια σχέση μεταξύ δύο γεγονότων διαφορετικού τύπου, για παράδειγμα μεταξύ του ριξίματος ενός κανονικού ζαριού και της εμφάνισης του έξι, ή μεταξύ του τραβήγματος από μια κανονική τράπουλα και της εμφάνισης του ρήγα. Συμβολίζουμε τις πιθανότητες ως εξής:

Pr (*B*|*A*) είναι η πιθανότητα ενός αποτελέσματος τύπου *B* δεδομένου ενός γεγονότος τύπου *A*.

Αν A είναι το ρίξιμο ενός κανονικού ζαριού και B είναι η εμφάνιση του τρία, τότε $Pr\,(B|A)$ σημαίνει την πιθανότητα να εμφανιστεί το τρία κατά το ρίξιμο ενός κανονικού ζαριού. Με τον τρόπο που αντιμετωπίζονται σήμερα οι πιθανότητες, όλοι οι βασικοί κανόνες των πιθανοτήτων μπορούν να συναχθούν από έναν περιορισμένο αριθμό απλών αξιωμάτων. Το νόημα αυτών των αξιωμάτων και κανόνων μπορεί να κατανοηθεί με την παράθεση παραδειγμάτων από τα τυχερά παιχνίδια, όπου χρησιμοποιούνται αντικείμενα όπως τα τραπουλόχαρτα και τα ζάρια. Αφού εισαγάγουμε σ' αυτή την παράγραφο ορισμένα βασικά γνωρίσματα του μαθηματικού λογισμού των πιθανοτήτων, θα εξετάσουμε, στην επόμενη, μια ποικιλία ερμηνειών από αυτές που έχουν κατά καιρούς προταθεί για το τι είναι πιθανότητα.

ΑΞΙΩΜΑΤΑ (ΒΑΣΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ)

Αξίωμα (ή κανόνας) 1: Κάθε πιθανότητα είναι ένας μοναδικός πραγματικός αριθμός στο κλειστό διάστημα μεταξύ μηδέν και ένα, δηλαδή,

$$O \leq Pr\,(B|A) \leq 1.$$

Αξίωμα (ή κανόνας) 2: Αν από το A έπεται λογικά το B, τότε $Pr\,(B|A) = 1$.

Ορισμός: Γεγονότα των τύπων B και C είναι *αμοιβαίως αποκλειόμενα* αν είναι αδύνατο να συμβούν σε οποιαδήποτε περίπτωση και B και C. Έτσι, για παράδειγμα, οι δυνατότητες να τραβήξουμε από μια κανονική τράπουλα μια κούπα και ένα σπαθί είναι γεγονότα αμοιβαίως αποκλειόμενα αφού κανένα τραπουλόχαρτο δεν είναι ταυτόχρονα και κούπα και σπαθί.

Αξίωμα (ή κανόνας) 3: Αν τα B και C είναι γεγονότα αμοιβαίως αποκλειόμενα, τότε

$$Pr\,(B \vee C|A) = Pr\,(B|A) + Pr\,(C|A).$$

Αυτό το αξίωμα είναι γνωστό και ως *κανόνας της ειδικής προσθέσεως*.

Παράδειγμα: Η πιθανότητα να τραβήξουμε μια κούπα ή ένα σπαθί ισούται με την πιθανότητα να τραβήξουμε μια κούπα συν την πιθανότητα να τραβήξουμε ένα σπαθί.

Αξίωμα (ή κανόνας) 4: Η πιθανότητα ενός *ζευγωτού συμβάντος* –δηλαδή της σύζευξης του B και του C– είναι ίση με την πιθανότητα του πρώτου πολλαπλασιασμένη με την πιθανότητα του δευτέρου, δεδομένου ότι το πρώτο έχει ήδη συμβεί:

$$Pr\,(B.\,C|A) = Pr\,(B|A) \times Pr\,(C|A.\,B).$$

Αυτό το αξίωμα είναι γνωστό και ως *γενικός κανόνας του πολλαπλασιασμού*.

Παράδειγμα: Αν τραβήξετε δυο φορές *χωρίς να βάλετε το πρώτο χαρτί πίσω στην τράπουλα*, τότε ποια είναι η πιθανότητα νά τραβήξετε διαδοχικά δύο άσσους; Η πιθανότητα να τραβήξετε έναν άσσο στο πρώτο τράβηγμα είναι 4/52, ενώ η πιθανότητα νά τραβήξετε έναν άσσο στην αμέσως επόμενη λήψη φύλλου αν *έχετε ήδη τραβήξει άσσο στην πρώτη λήψη*, είναι 3/51, γιατί η τράπουλα έχει απομείνει με 51 φύλλα εκ των οποίων τρία μόνον είναι πια άσσοι. Έτσι η πιθανότητα τραβήγματος δύο άσσων σε δύο διαδοχικές λήψεις φύλλων είναι

$$4/52 \times 3/51 = 12/2652 = 1/221.$$

ΟΡΙΣΜΕΝΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ

Από τα τέσσερα αξιώματα (βασικούς κανόνες) που μόλις εκθέσαμε, είναι εύκολο να παραγάγουμε αρκετούς άλλους κανόνες, οι οποίοι είναι εξαιρετικά χρήσιμοι κατά τον υπολογισμό πιθανοτήτων:

Ορισμός: Τα γεγονότα B και C είναι *ανεξάρτητα* αν και μόνον αν

$$Pr(C|A.\ B) = Pr(C|A).$$

Όταν τα γεγονότα B και C είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, τότε ο κανόνας του πολλαπλασιασμού (αξίωμα 4) παίρνει μια πολύ απλή μορφή:

Κανόνας 5: Αν το B είναι ανεξάρτητο του C, τότε δεδομένου του A

$$Pr(B.\ C|A) = Pr(B|A) \times Pr(C|A).$$

Αυτός ο κανόνας είναι γνωστός ως *ειδικός κανόνας του πολλαπλασιασμού*. (Οι αποδείξεις, τα σχέδια αποδείξεων, και άλλες τεχνικές λεπτομέρειες θα τοποθετούνται σε παραλληλόγραμμα. Σε μια πρώτη ανάγνωση μπορούν να παραλειφθούν.)

> Απόδειξη του κανόνα 5: Στο Αξίωμα 4, αντικαταστήστε την παράσταση $Pr(B.\ C/A)$, όπου υπάρχει, με την παράσταση $Pr(C/A)$.

Παράδειγμα: ποια είναι η πιθανότητα να πάρουμε δυο φορές 6 («εξάρες») στο ρίξιμο ενός ζεύγους κανονικών ζαριών; Αφού τα αποτελέσματα των δυο ζαριών είναι ανεξάρτητα, και η πιθανότητα του αποτελέσματος 6 για κάθε ζάρι είναι 1/6, η πιθανότητα να ρίξουμε διπλό 6 είναι

$$1/6 \times 1/6 = 1/36$$

Παράδειγμα: ποια είναι η πιθανότητα να τραβήξουμε δυο σπαθιά σε δυο διαδοχικές λήψεις φύλλων *όταν ξαναβάλουμε το φύλλο που τραβήξαμε στην τράπουλα*; Η πιθανότητα να τραβήξουμε ένα σπαθί στην πρώτη λήψη είναι 13/52 = 1/4. Αφού τραβήξουμε το πρώτο φύλλο, ασχέτως από το αν ήταν σπαθί ή όχι, το ξανατοποθετούμε στην τράπουλα και όλα τα φύλλα ανακατεύονται πάλι. Τότε τραβάμε το δεύτερο φύλλο. Επειδή ξαναβάλαμε το φύλλο στην τράπουλα, το αποτέλεσμα της δεύτερης λήψης είναι ανεξάρτητο του αποτελέσματος της πρώτης. Άρα, η πιθανότητα λήψης ενός σπαθιού στο δεύτερο τράβηγμα είναι ακριβώς η ίδια με εκείνη της πρώτης φοράς. Έτσι η πιθανότητα να τραβήξουμε δυο σπαθιά σε δυο διαδοχικές λήψεις είναι

$$1/4 \times 1/4 = 1/16$$

ΠΡΟΣΟΧΗ. Αν οι λήψεις φύλλων πραγματοποιούνται *χωρίς να ξαναβάλουμε το φύλλο στην τράπουλα*, τότε δεν μπορεί να εφαρμόζεται ο ειδικός κανόνας του πολλαπλασιασμού αφού τα αποτελέσματα δεν *είναι ανεξάρτητα* μεταξύ τους. Σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να εφαρμόζεται ο Κανόνας 4.

Κανόνας 6: $Pr(\sim B|A) = 1 - Pr(B|A)$.

Αυτός ο απλός κανόνας είναι γνωστός ως *κανόνας της άρνησης* και είναι πολύ χρήσιμος.

Παράδειγμα: Υποθέστε ότι θα επιθυμούσατε να γνωρίζετε την πιθανότητα να πάρετε τουλάχιστον ένα 6 αν ρίχνατε ένα κανονικό ζάρι τρεις φορές.[8] Αυτό σημαίνει ότι επιθυμείτε να γνωρίζετε την πιθανότητα να πάρετε 6 με το πρώτο ρίξιμο *ή* με το δεύτερο *ή* με το τρίτο, όπου το «*ή*» εννοείται εδώ ως *μη* αποκλειστικό. Υπ' αυτή την έννοια, τα γεγονότα αυτά *δεν* είναι αμοιβαίως αποκλειόμενα. Έτσι, δεν γίνεται να εφαρμόσετε τον κανόνα της ειδικής προσθέσεως (Αξίωμα 3). Μπορούμε να προσεγγίσουμε το πρόβλημα μέσω της άρνησης. Η αποτυχία του να πάρουμε τουλάχιστον ένα 6 στα τρία ριξίματα σημαίνει ότι εμφανίσθηκε ένα μη-6 στο πρώτο ρίξιμο *και* ένα μη-6 στο δεύτερο *και* ένα μη-6 στο τρίτο. Εφόσον η πιθανότητα για ένα 6 είναι 1/6, ο κανόνας της άρνησης μας λέει ότι η πιθανότητα ενός μη-6 είναι 5/6. Επειδή τα αποτελέσματα στα τρία ριξίματα είναι ανεξάρτητα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε

[8] Αυτό το παράδειγμα σχετίζεται στενά με ένα από τα προβλήματα που τέθηκαν από τον Ιππότη ντε Μερέ. Ρώτησε το εξής: πόσες ρίψεις χρειάζονται για να έχουμε πιθανότητα πενήντα πενήντα να πάρουμε εξάρες; Φαίνεται πως η κοινή γνώμη των τζογαδόρων, εκείνης της εποχής, ήθελε να αρκούν οι 24 φορές. Ο Ιππότης αμφισβητούσε αυτή την απάντηση και, όπως αποδείχθηκε, είχε δίκιο. Χρειάζονται 25 ρίψεις του ζεύγους των ζαριών για να γίνει η πιθανότητα τουλάχιστον πενήντα πενήνα.

τον Κανόνα 5 για να υπολογίσουμε την πιθανότητα εμφάνισης μη-6 και στα τρία ριξίματα μαζί ως

$$5/6 \times 5/6 \times 5/6 = 125/216.$$

Η πιθανότητα εμφάνισης ενός τουλάχιστον 6, που είναι η άρνηση της μη εμφάνισης 6, είναι άρα

$$1 - 125/216 = 91/216.$$

ΠΡΟΣΟΧΗ: Η πιθανότητα εμφάνισης ενός τουλάχιστον 6 σε τρία ριξίματα *δεν* είναι 1/2. Είναι ίση με 91/216, που είναι περίπου ίσο με 0.42.

Απόδειξη του Κανόνα 6: Προφανώς κάθε A είναι είτε B είτε μη B. Συνεπώς, από το Αξίωμα 2,

$$Pr\,(B \vee {\sim}B|A) = 1.$$

Εφ' όσον B και ~B είναι αμοιβαίως αποκλειόμενα, το Αξίωμα 3 δίνει

$$Pr\,(B|A) + Pr\,({\sim}B|A) = 1.$$

Ο Κανόνας 6 προκύπτει με αφαίρεση της παράστασης $Pr(B|A)$ και από τα δύο μέλη της ισότητας.

Κανόνας 7: $Pr\,(B \vee C|A) = Pr\,(B|A) + Pr\,(C|A) - Pr\,(B.\,C|A)$.

Αυτός είναι ο *κανόνας της γενικής προσθέσεως*. Αυτός ο κανόνας, σε αντίθεση με τον Κανόνα 3, εφαρμόζεται σε αποτελέσματα B και C ακόμα και αν δεν είναι αμοιβαίως αποκλειόμενα.

Παράδειγμα: Ποια είναι η πιθανότητα να τραβήξουμε ένα σπαθί ή μια φιγούρα κατά τη λήψη ενός φύλλου από μια κανονική τράπουλα; Αυτά τα δυο αποτελέσματα δεν είναι αμοιβαίως αποκλειόμενα, διότι υπάρχουν τρία χαρτιά –Ρήγας, Ντάμα και Βαλές σπαθί– που είναι και φιγούρες και σπαθιά. Εφόσον υπάρχουν 12 φιγούρες και 13 σπαθιά, η πιθανότητα για σπαθί ή για φιγούρα είναι

$$12/52 + 13/52 - 3/52 = 22/52$$

Είναι εύκολα αντιληπτό γιατί αυτός ο κανόνας έχει τη συγκεκριμένη μορφή.

Αν τα *B* και *C* δεν είναι αμοιβαίως αποκλειόμενα, τότε κάποια αποτελέσματα μπορεί να είναι και *B* και *C*. Όλα αυτά θα μετρηθούν διπλά – μία φορά κατά την καταμέτρηση όλων των *B* και μία κατά την καταμέτρηση όλων των *C*. (Στο παράδειγμα που προηγήθηκε, ο ρήγας σπαθί καταμετρείται μία φορά σαν φιγούρα και μία φορά σαν σπαθί.) Άρα, πρέπει να αφαιρέσουμε τον αριθμό των αποτελεσμάτων που είναι και *B* και *C*, έτσι ώστε να ληφθούν υπ' όψιν μόνο μία φορά.

Τρόπος απόδειξης του Κανόνα 7: Πρώτα, παρατηρούμε ότι η τάξη των αντικειμένων που είναι *B* ή *C*, κατά την μη αποκλειστική έννοια, αποτελείται από ό,τι είναι είτε *B. C*, είτε $\sim B. C$, είτε $B. \sim C$, όπου αυτές οι τρεις περιπτώσεις αποτελούνται από *αμοιβαίως αποκλειόμενα γεγονότα*. Μπορεί άρα να εφαρμοστεί ο Κανόνας 3 δίνοντας:

$$Pr\,(B \vee C|A) = Pr\,(B.\,C|A) + Pr\,(\sim B.\,C|A) + Pr\,(B.\sim C|A).$$

Κατόπιν εφαρμόζουμε τον Κανόνα 4 σε καθέναν από τους τρεις όρους του δεύτερου μέλους, και ακολούθως τον Κανόνα 6 για να απαλλαγούμε από τις αρνήσεις εντός των παρενθέσεων. Με τη βοήθεια λίγων αλγεβρικών πράξεων παίρνουμε τον Κανόνα 7.

Κανόνας 8: $Pr\,(C|A) = Pr\,(B|A) \times Pr\,(C|A.\,B) + Pr\,(\sim B|A) \times Pr\,(C|A.\sim B)$.

Αυτός είναι ο *κανόνας της ολικής πιθανότητας*. Το παράδειγμα που ακολουθεί βοηθά στην αποσαφήνισή του:

Παράδειγμα: Φανταστείτε ένα εργοστάσιο που παράγει λαμπτήρες. Στο εργοστάσιο αυτό βρίσκονται δύο μόνον μηχανές, μία καινούργια μηχανή **B**, που παράγει 800 λαμπτήρες την ημέρα, και μία παλιά μηχανή **~B**, που παράγει 200 λαμπτήρες την ημέρα. Μεταξύ των λαμπτήρων που παράγονται από τη μηχανή **B** το 1% είναι ελαττωματικό και μεταξύ εκείνων που παράγονται από τη μηχανή **~B** ελαττωματικό είναι το 2%. Ας ονομάσουμε *A* το σύνολο της ημερήσιας παραγωγής, *B* το σύνολο της παραγωγής της καινούργιας μηχανής και $\sim B$ αυτό της παλιάς μηχανής. Τέλος, ας ονομάσουμε *C* το σύνολο της ελαττωματικής παραγωγής. Τότε θα έχουμε:

$Pr\,(B|A)$ = η πιθανότητα να έχει παραχθεί ένας συγκεκριμένος λαμπτήρας από τη μηχανή **B** = *0. 8*
$Pr\,(\sim B|A)$ = η πιθανότητα να έχει παραχθεί ένας λαμπτήρας από τη μηχανή **~B** = *0. 2*
$Pr\,(C|A.\,B)$ = η πιθανότητα να είναι ελαττωματικός ένας συγκεκριμένος λαμπτήρας που έχει παραχθεί από τη μηχανή **B** = *0. 01*

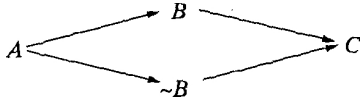
$Pr\,(C|A.\sim B)$ = η πιθανότητα να είναι ελαττωματικός ένας συγκεκριμένος λαμπτήρας που έχει παραχθεί από τη μηχανή $\sim\mathbf{B} = 0.02$

Συνεπώς η πιθανότητα να είναι ελαττωματικός ένας λαμπτήρας είναι:

$$0.8 \times 0.01 + 0.2 \times 0.02 = 0.012$$

Όπως μπορεί να φανεί από αυτό το τεχνητό παράδειγμα, ο κανόνας της ολικής πιθανότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό ενός αποτελέσματος, το οποίο μπορεί να εμφανιστεί κατά έναν από δύο τρόπους: είτε μέσω της εμφάνισης ενός ενδιάμεσου γεγονότος *B*, είτε μέσω της μη εμφάνισης αυτού του γεγονότος. Η όλη κατάσταση μπορεί να απεικονισθεί στο εξής διάγραμμα:

Ερχόμαστε τώρα στον κανόνα που εφαρμόζεται ειδικά στην επικύρωση των υποθέσεων.



Απόδειξη του Κανόνα 8: Αφού κάθε *C* είναι είτε *B* είτε μη *B*, η κλάση *C* είναι ταυτόσημη με την κλάση $B.\,C \vee \sim B.\,C$, και αφού τίποτα δεν είναι και *B* και μη *B* οι κλάσεις *B*. *C* και $\sim B.\,C$ είναι αμοιβαία αποκλειόμενες. Άρα:

$$\begin{aligned} Pr(C|A) &= Pr\,(C.\,[B \vee \sim B]|A) \\ &= Pr\,([B.\,C \vee \sim B.\,C]|A) \\ &= Pr\,(B.\,C|A) + Pr\,(\sim B.\,C|A) \qquad \text{από τον Κανόνα 3} \\ &= Pr\,(B|A) \times Pr\,(C|A.\,B) + Pr\,(\sim B|A) \times Pr\,(C|A.\sim B) \\ &\qquad \text{από τη διπλή εφαρμογή του Κανόνα 4.} \end{aligned}$$

Κανόνας 9: $$Pr\,(B|A.C) = \frac{Pr\,(B|A) \times Pr\,(C|A.B)}{Pr\,(C|A)}$$

$$= \frac{Pr\,(B|A) \times Pr\,(C|A.B)}{Pr\,(B|A) \times Pr\,(C|A.B) + Pr.(\sim B|A) \times Pr\,(C|A.\sim B)}$$

με τον περιορισμό ότι $Pr\,(C|A) \neq 0$. Το γεγονός ότι οι δύο αυτοί τύποι είναι ισοδύναμοι έπεται άμεσα από τον κανόνα της ολικής πιθανότητας (Κανόνας 8), ο οποίος δείχνει ότι οι παρονομαστές των δύο μελών της ισότητας είναι ίσοι.

Ο Κανόνας 9 είναι γνωστός ως *κανόνας του Μπέις* (Bayes) και βρίσκει εξαιρετικά σημαντικές εφαρμογές. Για να τον επεξηγήσουμε, ας επιστρέψουμε στο απλό παράδειγμα του εργοστασίου που παράγει λαμπτήρες και το οποίο χρησιμοποιήσαμε ήδη για να αποσαφηνίσουμε τον κανόνα της ολικής πιθανότητας.

Παράδειγμα: Υποθέστε ότι έχουμε διαλέξει, με τυχαίο τρόπο, ένα λαμπτήρα μέσα από το σύνολο της παραγωγής μίας ημέρας και βρίσκουμε ότι είναι ελαττωματικός. Δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε ποια μηχανή τον παρήγαγε. Ποια είναι η πιθανότητα –*Pr* (*B*|*A*. *C*)– να έχει παραχθεί από την καινούργια μηχανή; Ο κανόνας του Μπέις μάς δίνει την απάντηση:

$$\frac{0.8 \times 0.01}{0.8 \times 0.01 + 0.2 \times 0.02} = \frac{0.008}{0.012} = 2/3$$

Το πραγματικά σημαντικό γεγονός σχετικά με τον κανόνα του Μπέις είναι ότι μας λέει πολλά για την επικύρωση υποθέσεων. Το παράδειγμα με τους λαμπτήρες αποσαφηνίζει αυτό το σημείο. Έχουμε ένα λαμπτήρα που έχει παραχθεί σ' αυτό το εργοστάσιο (*A*), ο οποίος βρίσκεται να είναι ελαττωματικός (*C*) και αναρωτιόμαστε για το αν κατασκευάστηκε από την καινούργια μηχανή (*B*) (δηλαδή, αν αυτή ήταν το αίτιο). Με άλλα λόγια, κάνουμε μιαν αποτίμηση της υπόθεσης ότι το συγκεκριμένο ελαττωματικό προϊόν παρήχθη από την καινούργια μηχανή. Όπως είδαμε, η συναφής πιθανότητα είναι 2/3.

Απόδειξη του κανόνα του Μπέις: Ο κανόνας του Μπέις έχει τις δύο μορφές που δόθηκαν προηγουμένως. Εδώ θα δείξουμε πώς αποδεικνύονται και οι δυο. Αρχίζουμε γράφοντας δύο φορές τον Κανόνα 4, όπου τη δεύτερη φορά κάναμε αμοιβαία αλλαγή του *B* με το *C*.

$$Pr\,(B.\,C|A) = Pr\,(B|A) \times Pr\,(C|A.\,B)$$
$$Pr\,(C.\,B|A) = Pr\,(C|A) \times Pr\,(B|A.\,C)$$

Αφού η κλάση *B*. *C* είναι προφανώς ίδια με την κλάση *C*. *B*, μπορούμε να εξισώσουμε τα δεξιά μέλη των δύο εξισώσεων:

$$Pr\,(C|A) \times Pr\,(B|A.\,C) = Pr\,(B|A) \times Pr\,(C|A.\,B).$$

Υποθέτοντας ότι $Pr\,(C|A) \neq 0$, διαιρούμε και τα δύο μέλη της ισότητας με αυτήν την παράσταση:

$$Pr\,(B|A.C) = \frac{Pr\,(B|A) \times Pr\,(C|A.B)}{Pr\,(C|A)}$$

Καταλήξαμε δηλαδή στην πρώτη μορφή. Ακολούθως, χρησιμοποιώντας τον Κανόνα 8, δηλαδή τον κανόνα της ολικής πιθανότητας, αντικαθιστούμε τον παρονομαστή και προκύπτει η δεύτερη μορφή:

$$Pr\,(B|A.C) = \frac{Pr\,(B|A) \times Pr\,(C|A.B)}{Pr\,(B|A) \times Pr\,(B|A.C) + Pr\,(\sim B|A) \times Pr\,(C|A.\sim B)}$$

Στο μέτρο που αλλάζουμε την οπτική γωνία μας μιλώντας όχι πια για τύπους αντικειμένων και γεγονότα *A, B, C, ...* αλλά για υποθέσεις, ας κάνουμε και κάποιες μικρές αλλαγές στο συμβολισμό έτσι ώστε να διευκολυνθούμε στη μετάβαση. Αντί να χρησιμοποιούμε το σύμβολο "*A*" για να εκφράσουμε την ημερήσια παραγωγή λαμπτήρων, θα χρησιμοποιούμε στο εξής το σύμβολο "*K*" για να υποδηλώνουμε το υπόβαθρο της *γνώσης* μας, δηλαδή όλα όσα γνωρίζουμε σχετικά με την κατάσταση που επικρατεί στο εργοστάσιο. Αντί να χρησιμοποιούμε το σύμβολο "*B*" για να υποδηλώνουμε το πλήθος των λαμπτήρων που παρήχθησαν από την καινούργια μηχανή **B**, θα χρησιμοποιούμε το σύμβολο "*H*" για να εκφράσουμε την *υπόθεση* πως ένας τέτοιος λαμπτήρας έχει παραχθεί από τη μηχανή **B**. Και, τέλος, αντί να χρησιμοποιούμε το σύμβολο "*C*" για να εκφράσουμε το πλήθος των ελαττωματικών λαμπτήρων, θα χρησιμοποιούμε στο εξής το σύμβολο "*E*" για να εκφράσουμε το *τεκμήριο* ότι ένας λαμπτήρας είναι ελαττωματικός. Τώρα πια ο κανόνας του Μπέις παίρνει τη μορφή:

Κανόνας 9: $$Pr(H|K.E) = \frac{Pr(H|K) \times Pr(E|K.H)}{Pr(E|K)}$$

$$= \frac{Pr(H|K) \times Pr(E|K.H)}{Pr(H|K) \times Pr(E|K.H) + Pr(\sim H|K) \times Pr(E|K.\sim H)}$$

Αυτή η αλλαγή γραμμάτων στον αρχικό τύπο προφανώς δεν μεταβάλλει τίποτα στο επίπεδο της σημασίας του κανόνα. Αν ξαναγράφαμε τα αξιώματα χρησιμοποιώντας τις νέες μεταβλητές, ο Κανόνας 9 θα προέκυπτε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Καθ' όσον δε εξακολουθούμε να μιλάμε για *πιθανότητες* –για πιθανότητες υποθέσεων εν προκειμένω και όχι για πιθανότητες γεγονότων– εξακολουθούμε να χρειαζόμαστε τους ίδιους κανόνες.

Μπορούμε τώρα να θεωρήσουμε τις εκφράσεις που εμφανίζονται στον κανόνα του Μπέις και αναφέρονται σε πιθανότητες με τον εξής τρόπο:

$Pr(H|K)$ είναι η *πρότερη πιθανότητα* (*prior probability*) της υπόθεσης H, η οποία συνάγεται απλώς και μόνον από το υπόβαθρο της γνώσης μας K, χωρίς να λάβουμε υπ' όψιν το συγκεκριμένο νέο τεκμήριο E. (Στο προηγούμενο παράδειγμα αυτή αντιπροσωπεύει την πιθανότητα να έχει παραχθεί ένας συγκεκριμένος λαμπτήρας από τη μηχανή **B**.) $Pr(\sim H|K)$ είναι η πρότερη πιθανότητα να είναι ψευδής η υπόθεση H. (Στο προηγούμενο παράδειγμα αντιπροσωπεύει την πιθανότητα να μην έχει παραχθεί ένας συγκεκριμένος λαμπτήρας από τη μηχανή **B**.) Παρατηρήστε ότι οι υποθέσεις H και $\sim H$ πρέπει να εξαντλούν όλες τις δυνατότητες.

Από τον κανόνα της άρνησης (Κανόνας 6), προκύπτει ότι το άθροισμα αυτών των δύο πιθανοτήτων ισούται με τη μονάδα. Άρα, αν η μία από αυτές γίνει γνωστή, η άλλη μπορεί να υπολογιστεί αυτομάτως.

Pr (*E*|*K.H*) είναι η πιθανότητα να ανακύψει το τεκμήριο *E*, δεδομένης της αλήθειας της υπόθεσης *H* και του υποβάθρου της γνώσης μας *K*. (Στο προηγούμενο παράδειγμα, πρόκειται για την πιθανότητα να είναι ένας συγκεκριμένος λαμπτήρας ελαττωματικός, δεδομένου ότι έχει παραχθεί από τη μηχανή **B**.) Αυτή ειδικά η πιθανότητα είναι γνωστή και ως *ενδεχόμενο* (likelihood).
Pr (*E*|*K.* ~*H*) είναι η πιθανότητα να ανακύψει το τεκμήριο *E* αν η υπόθεσή μας *H* είναι ψευδής. (Στο προηγούμενο παράδειγμα, πρόκειται για την πιθανότητα να είναι ελαττωματικός ένας συγκεκριμένος λαμπτήρας που δεν έχει παραχθεί από τη μηχανή **B**.) **Και αυτή η πιθανότητα λέγεται επίσης *ενδεχόμενο*.**

Τα δύο ενδεχόμενα –κατά ισχυρή αντιδιαστολή προς τις πρότερες πιθανότητες– είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Αν δηλαδή μας δοθεί η τιμή της μιας μόνον από τις δύο, είναι *αδύνατο* να υπολογίσουμε την τιμή της άλλης.

Pr(*E*/*K*) **είναι η πιθανότητα να ανακύψει το τεκμήριο *E*, ανεξάρτητα** από το **αν η υπόθεση *H* είναι αληθής ή ψευδής.** (Στο παράδειγμα **πρόκειται για την** πιθανότητα να είναι ένας συγκεκριμένος λαμπτήρας ελαττωματικός, ανεξαρτήτως του ποια μηχανή τον παρήγαγε.) Αυτή η πιθανότητα ονομάζεται συχνά *προσδοκία* (expectedness) εμφάνισης του τεκμηρίου.[9]
Pr(*H*/*K.E*) είναι η πιθανότητα να είναι αληθής η υπόθεσή μας, στη βάση της γνώσης *K* που διαθέτουμε και του συγκεκριμένου τεκμηρίου *E*. Αυτή η πιθανότητα είναι γνωστή και ως *ύστερη πιθανότητα* (posterior probability). Πρόκειται για την πιθανότητα που επιδιώκουμε να εξακριβώσουμε. (Στο παράδειγμα **αντιπροσωπεύει την πιθανότητα να έχει παραχθεί ένας** συγκεκριμένος λαμπτήρας από την καινούργια μηχανή. Εφόσον η ύστερη πιθανότητα να είναι αληθής η υπόθεση *H* είναι διαφορετική από την πρότερη πιθανότητα αλήθειας της ίδιας υπόθεσης, το γεγονός ότι κάποιος λαμπτήρας είναι ελαττωματικός αποτελεί τεκμήριο σχετικό με την υπόθεση.)

Παρατηρήστε ότι, παρόλο που το *ενδεχόμενο* που αντιστοιχεί σε κάποιο ελαττωματικό προϊόν είναι διπλάσιο για αυτά που προέρχονται από την παλιά μηχανή (0.02) **σε σχέση με αυτό που αντιστοιχεί σε εκείνα που προέρχονται από την** καινούργια μηχανή (0.01), η *ύστερη πιθανότητα* να είναι ελαττωματικός ένας λαμπτήρας που έχει παραχθεί από την καινούργια μηχανή (2/3) είναι διπλάσια από την πιθανότητα να έχει παραχθεί από την παλιά μηχανή (1/3).

---

[9] Η προσδοκία είναι το αντίθετο του *απροσδόκητου*. Αν η προσδοκία εμφάνισης του τεκμηρίου είναι μικρή, τότε η εμφάνιση του τεκμηρίου είναι απροσδόκητη. Εφόσον η προσδοκία εμφάνισης βρίσκεται στον παρονομαστή του κλάσματος, όσο μικρότερη είναι αυτή, τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του κλάσματος. Τα απροσδόκητα τεκμήρια επικυρώνουν τις υποθέσεις πολύ περισσότερο από ό,τι τα τεκμήρια που είναι αναμενόμενα, κι αυτό ανεξάρτητα από την υπόθεση που ελέγχεται.

Στην Παράγραφο 2.9 θα επιστρέψουμε στο πρόβλημα της απόδοσης πιθανοτήτων σε υποθέσεις. Αυτό είναι το πρόβλημα που αποτελεί το κύριο θέμα του παρόντος κεφαλαίου.

2.8 ΤΟ ΝΟΗΜΑ ΤΩΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ

Στην προηγούμενη παράγραφο εξετάσαμε την όλη ιδέα περί πιθανοτήτων από άποψη καθαρά τυπική. Εισαγάγαμε, δηλαδή, το σύμβολο "*Pr*(|)" για να παραστήσουμε την πιθανότητα και ακολούθως εκθέσαμε ορισμένους τυπικούς κανόνες που καθορίζουν τη χρήση αυτού του συμβόλου. Επεξηγήσαμε τους κανόνες αυτούς με συγκεκριμένα παραδείγματα, ώστε να εξοικειωθούμε μαζί τους. Όμως, δεν καταβάλαμε καμιά προσπάθεια να εξετάσουμε το νόημα του όρου "πιθανότητα" ή του συμβόλου "*Pr*". Αυτός είναι ο σκοπός της παρούσας παραγράφου.

Καθώς θα εξετάζουμε τις διάφορες απόψεις περί νοήματος που προτείνονται σχετικά με αυτό τον όρο, είναι πολύ σημαντικό να έχουμε στο νου μας το γεγονός ότι εκθέσαμε μια σειρά βασικών κανόνων (αξιωμάτων). Αν ένας προτεινόμενος ορισμός του τι είναι "πιθανότητα" ικανοποιεί τους βασικούς κανόνες –κατά συνέπεια, και τους παράγωγους, αφού αυτοί έχουν παραχθεί από τους βασικούς– τότε θα λέμε ότι ο προτεινόμενος ορισμός αποτελεί μιαν *αποδεκτή ερμηνεία* (admissible interpretation) της έννοιας *πιθανότητα*. Αν μια προταθείσα ερμηνεία παραβιάζει αυτούς τους κανόνες, θα πρέπει να εκλάβουμε αυτό το γεγονός ως σοβαρό μειονέκτημα.

1. Η κλασική ερμηνεία. Μια διάσημη προσπάθεια να οριστεί η έννοια της πιθανότητας προέρχεται από το φιλόσοφο και επιστήμονα Πιέρ Σιμόν ντε Λαπλάς (Pierre Simon de Laplace, 1749-1827). Το προϊόν της είναι γνωστό ως η *κλασική ερμηνεία*. Σύμφωνα με αυτό τον ορισμό, *η πιθανότητα να προκύψει ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα ισούται με το λόγο του αριθμού των ευνοϊκών αποτελεσμάτων προς τον αριθμό όλων των εξίσου δυνατών αποτελεσμάτων*. Φανταστείτε το εξής απλό παράδειγμα: ένα κανονικό ζάρι έχει έξι έδρες αριθμημένες από το ένα ώς το έξι. Όταν ρίχνεται με τον συνήθη τρόπο, υπάρχουν έξι εξίσου *δυνατά* αποτελέσματα. Αν θελήσουμε να μάθουμε την πιθανότητα να προκύψει "6", η απάντηση είναι 1/6, γιατί μόνο ένα από τα έξι συνολικά εξίσου δυνατά αποτελέσματα είναι το *ευνοϊκό*. Η πιθανότητα να πάρουμε ως αποτέλεσμα έναν άρτιο αριθμό είναι 3/6, γιατί τώρα υπάρχουν τρία ευνοϊκά αποτελέσματα (2, 4, 6).

Ο Λαπλάς γνώριζε καλά ότι υπάρχει ένα θεμελιώδες πρόβλημα με τον ορισμό. Ο ορισμός αναφέρεται όχι απλώς σε δυνατά αποτελέσματα, αλλά σε αποτελέσματα *εξίσου* δυνατά. Φανταστείτε ένα άλλο παράδειγμα. Υποθέστε ότι στρίβουμε δύο κανονικά κέρματα ταυτόχρονα. Ποια είναι η πιθανότητα να έχουμε δύο κορόνες; Κάποιος ίσως απαντούσε 1/3, αφού υπάρχουν τρία δυνατά αποτελέ-

σματα, δύο κορόνες, μία κορόνα και ένα γράμματα, ή δύο γράμματα. Διαπιστώνουμε αμέσως ότι αυτή η απάντηση είναι λανθασμένη, γιατί αυτά τα αποτελέσματα δεν είναι εξίσου δυνατά. Και αυτό συμβαίνει γιατί μία κορόνα και ένα γράμματα μπορεί να προκύψει με δύο διαφορετικούς τρόπους – κορόνα το κέρμα 1 και γράμματα το κέρμα 2, ή γράμματα το κέρμα 1 και κορόνα το κέρμα 2. Άρα, πρέπει να πούμε ότι τελικά υπάρχουν τέσσερα *εξίσου δυνατά* αποτελέσματα και, κατά συνέπεια, η πιθανότητα για δύο κορόνες είναι 1/4.

> Συγκρίνετε το παράδειγμα με το νόμισμα με αυτό που ακολουθεί από τη σύγχρονη φυσική. Υποθέστε ότι μέσα σε ένα κουτί υπάρχουν δύο άτομα ηλίου-4. Σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή, στο καθένα απ' αυτά αντιστοιχεί μια πιθανότητα πενήντα πενήντα να βρίσκεται στο αριστερό τμήμα του κουτιού. Ποια είναι η πιθανότητα να βρίσκονται και τα δύο άτομα στο αριστερό τμήμα του κουτιού σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή; Η απάντηση είναι: 1/3. Αφού τα δύο άτομα είναι κατ' αρχήν μη διακρίσιμα –κάτι που δεν ισχύει στην περίπτωση των νομισμάτων, τα οποία είναι ολοφάνερα διακρίσιμα– δεν μπορούμε να εκλάβουμε την περίπτωση να βρίσκεται το άτομο 1 στο αριστερό τμήμα και το άτομο 2 στο δεξί τμήμα ως διαφορετική από την περίπτωση να βρίσκεται το άτομο 2 στο αριστερό τμήμα και το άτομο 1 στο δεξί. Στην πραγματικότητα δεν έχει καν νόημα να μιλάμε για άτομο 1 και άτομο 2, αφού δεν διαθέτουμε κανένα τρόπο, ούτε κατ' αρχήν, για να πούμε ποιο είναι ποιο.

Προκειμένου να καταστήσει σαφέστερο τον ορισμό του, ο Λαπλάς έπρεπε να πει τι εννοεί με την έκφραση "εξίσου δυνατά", και προσπάθησε να το κάνει διατυπώνοντας την περίφημη *αρχή της αδιαφορίας*. Σύμφωνα με αυτήν την αρχή, δύο αποτελέσματα είναι εξίσου δυνατά –μπορούμε κάλλιστα να λέμε "ίσης πιθανότητας"– αν *δεν έχουμε κανένα λόγο να προτιμήσουμε κάποιο από αυτά έναντι των άλλων*. Υποθέστε, για παράδειγμα, ότι εξετάζουμε κάποιο νόμισμα πολύ προσεκτικά και διαπιστώνουμε ότι είναι τέλεια συμμετρικό. Η οποιαδήποτε δικαιολόγηση που μπορεί να προταθεί για το αποτέλεσμα κορόνα, μπορεί να συμβαδίζει με μια εξίσου καλή δικαιολόγηση για το αποτέλεσμα γράμματα. Λέμε τότε ότι τα δύο αποτελέσματα είναι εξίσου δυνατά, και συμπεραίνουμε ότι η πιθανότητα για κορόνα είναι 1/2. Ωστόσο, αν στρίψουμε το νόμισμα πολλές φορές και διαπιστώσουμε ότι το αποτέλεσμα κορόνα εμφανίζεται τόσες φορές ώστε να αντιστοιχεί περίπου στα 3/4 του συνόλου των στριψιμάτων, ενώ το αποτέλεσμα γράμματα περίπου στο 1/4, τότε *έχουμε πράγματι* ισχυρούς λόγους να κλίνουμε προς την προτίμηση του ενός αποτελέσματος έναντι του άλλου. Σ' αυτή την περίπτωση, *δεν* θα τα εκλάβουμε ως εξίσου δυνατά. Η βασική ιδέα που βρίσκεται πίσω από την αρχή της αδιαφορίας είναι αυτή: Όταν δεν έχουμε κανέναν *λόγο* να θεωρήσουμε το ένα αποτέλεσμα πιθανότερο κάποιου άλλου, τότε δεν πρέπει να κατα-

λήξουμε *αυθαίρετα* στην προτίμηση του ενός έναντι των άλλων. Η όλη ιδέα εμφανίζεται ως βάσιμη αρχή της πιθανοκρατικής συλλογιστικής.

Ωστόσο, υπάρχει μια σοβαρή δυσκολία που συνδέεται με την αρχή της αδιαφορίας: η χρησιμοποίησή της μπορεί να μας οδηγήσει σε μια εξόφθαλμη ασυνέπεια. Το πρόβλημα είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί στην ίδια κατάσταση με διαφορετικούς τρόπους δίνοντας ασυμβίβαστες τιμές για μια συγκεκριμένη πιθανότητα. Φανταστείτε και πάλι ένα παράδειγμα, και πιο συγκεκριμένα την περίπτωση του τσαπατσούλη μπάρμαν Ιάκωβου. Όταν κάποιος πελάτης παραγγείλει ένα μαρτίνι 3:1 (τρία μέρη τζιν με ένα μέρος ντράι βερμούτ), ο Ιάκωβος σερβίρει μιαν αναλογία που κυμαίνεται μεταξύ του 2:1 και 4:1, χωρίς να υπάρχει καμία πρόσθετη πληροφορία που να συγκεκριμενοποιεί το πού ακριβώς, μεταξύ αυτών των ορίων, βρίσκεται η αναλογία του μαρτίνι. Σύμφωνα με την αρχή της αδιαφορίας, μπορούμε να πούμε, τότε, ότι υπάρχει μια πιθανότητα πενήντα-πενήντα να βρίσκεται το μίγμα μεταξύ των αναλογιών 2:1 και 3:1, και μια ίση πιθανότητα να βρίσκεται μεταξύ 3:1 και 4:1. Το συμπέρασμα φαίνεται αρκετά δικαιολογημένο. Αλλά υπάρχει και ένας άλλος τρόπος να αντιμετωπίσουμε την κατάσταση. Ένα μαρτίνι 2:1 περιέχει 1/3 βερμούτ, και ένα 4:1 περιέχει 1/5 βερμούτ. Αφού δεν έχουμε καμιά παραπάνω πληροφορία σχετικά με την περιεκτικότητα σε βερμούτ, μπορούμε να εφαρμόσουμε την αρχή της αδιαφορίας για μιαν ακόμα φορά. Αφού 1/3 = 20/60 και 1/5 = 12/60, μπορούμε να πούμε ότι υπάρχει μια πιθανότητα πενήντα-πενήντα να βρίσκεται η περιεκτικότητα σε βερμούτ μεταξύ 20/60 και 16/60 και μια ίση πιθανότητα να βρίσκεται μεταξύ 16/60 και 12/60. Πάμε καλά ώς εδώ;

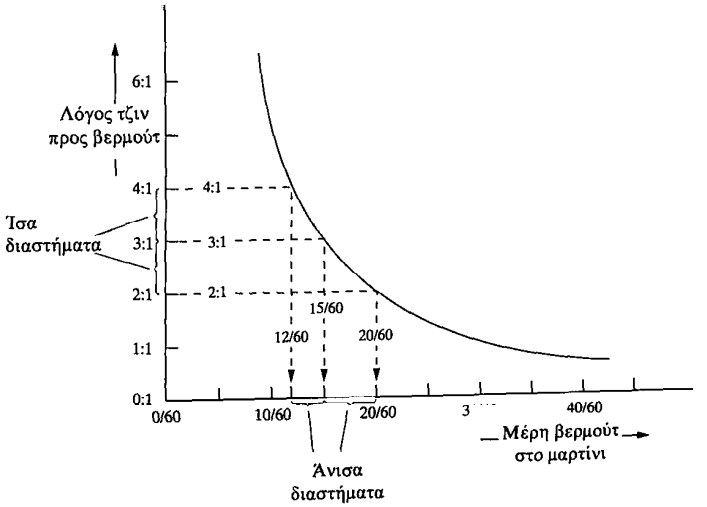
Δυστυχώς όχι, διότι μόλις συλληφθήκαμε να αντιφάσκουμε. Ένα 3:1 μαρτίνι περιέχει 25% βερμούτ, που ισοδυναμεί με 15/60 *και όχι* με 16/60. Η αρχή της αδιαφορίας, λοιπόν, μας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι αντιστοιχεί ίση πιθανότητα στο να βρίσκεται η περιεκτικότητα του μαρτίνι σε βερμούτ τόσο μεταξύ 20/60 και 16/20, όσο και μεταξύ 20/60 και 15/60. Η κατάσταση αυτή απεικονίζεται γραφικά στο Σχήμα 2.2. Όπως δείχνει το γράφημα, το ίδιο θα συνέβαινε και για εκείνους που θα προτιμούσαν το μαρτίνι τους με λιγότερο βερμούτ. Ο χειρισμός των αριθμών παρουσιάζει, όπως βλέπουμε, δυσκολίες.

Σ' αυτό το σημείο πρέπει να θυμηθούμε το πρώτο μας αξίωμα, το οποίο, εκτός των άλλων, δηλώνει ότι η πιθανότητα ενός δεδομένου αποτελέσματος, κάτω από καθορισμένες συνθήκες, είναι ένας *μοναδικός* πραγματικός αριθμός. Όπως μόλις είδαμε, η κλασική ερμηνεία της πιθανότητας δεν μας παρέχει μοναδικά αποτελέσματα. Βρήκαμε δύο διαφορετικές πιθανότητες για το ίδιο αποτέλεσμα. Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι η κλασική ερμηνεία *δεν* είναι μια επιτρεπτή ερμηνεία της πιθανότητας.

Ίσως μπείτε στον πειρασμό να σκεφτείτε ότι η περίπτωση του τσαπατσούλη μπάρμαν είναι ένα μεμονωμένο και ασήμαντο παράδειγμα που απλώς το φανταστήκαμε. Όμως αυτό απέχει πολύ από την πραγματικότητα. Αυτό το παράδειγμα αντιπροσωπεύει μια ευρεία κατηγορία περιπτώσεων στις οποίες η αρχή της

αδιαφορίας οδηγεί σε αντιφάσεις. Η προέλευση της δυσκολίας έγκειται στο ότι έχουμε δύο μεγέθη –την αναλογία των μερών τζιν και βερμούτ, και την περιεκτικότητα σε βερμούτ– που μπορούν να οριστούν αμοιβαία. Αν γνωρίζετε το ένα, τότε μπορείτε να υπολογίσετε και το άλλο. Όμως, όπως δείχνει καθαρά το Σχήμα 2.2, η σχέση αλληλο-ορισμού δύο μεγεθών δεν είναι γραμμική (το γράφημα δεν είναι ευθεία γραμμή). Μπορούμε γενικά να πούμε: όποτε η σχέση αλληλο-ορισμού δύο μεγεθών δεν είναι γραμμική, τότε η αρχή της αδιαφορίας μπορεί να οδηγεί σε παρόμοιες αντιφάσεις. Για να πεισθείτε, επεξεργαστείτε τις λεπτομέρειες ενός άλλου παραδείγματος. Υποθέστε ότι μέσα σε ένα κλειστό κουτί βρίσκεται ένα τετράγωνο μεταλλικό έλασμα. Εσείς δεν μπορείτε να το δείτε. Σας διαβεβαιώνουν, όμως, ότι η επιφάνειά του είναι κάτι μεταξύ ενός και τεσσάρων τετραγωνικών εκατοστών, χωρίς όμως να είναι γνωστό οτιδήποτε άλλο σχετικά με το εμβαδόν του. Αρχικά εφαρμόστε την αρχή της αδιαφορίας για το εμβαδόν του ελάσματος, και ακολούθως εφαρμόστε τη για το μήκος της πλευράς του, το οποίο είναι, βεβαίως, άμεσα υπολογίσιμο από το εμβαδόν. (Για ένα άλλο παράδειγμα, που περιγράφει την περίπτωση ενός αγωνιστικού αυτοκινήτου, βλέπε Salmon 1967, 66-67.)

Παρόλο που η κλασική ερμηνεία αποτυγχάνει να μας δώσει έναν ικανοποιητικό βασικό ορισμό της έννοιας της πιθανότητας, αυτό δεν σημαίνει ότι η ιδέα να σχηματίσουμε το λόγο ευνοϊκών αποτελεσμάτων προς τα ισοπίθανα δυνατά αποτελέσματα είναι άχρηστη. Το πρόβλημα έγκειται στην αρχή της αδιαφορίας,



Σχήμα 2.2

και στο στόχο της να μετατρέψει την άγνοια σχετικά με τις πιθανότητες σε τιμές πιθανοτήτων. Ωστόσο, σε περιπτώσεις που γνωρίζουμε καλά ότι έχουμε να κάνουμε με ενδεχόμενα ίσης πιθανότητας, η στρατηγική του να καταμετρούμε ισοπίθανες ευνοϊκές περιπτώσεις και να σχηματίζουμε το λόγο των ευνοϊκών αποτελεσμάτων προς τα ισοπίθανα δυνατά αποτελέσματα συχνά διευκολύνει τους υπολογισμούς.

2. *Η πιθανότητα ως συχνότητα.* Η ερμηνεία της πιθανότητας ως συχνότητας διαθέτει μια σεβαστή ιστορία, που αρχίζει με τον Αριστοτέλη (4ος αιώνας π.Χ.), ο οποίος ισχυρίστηκε ότι πιθανό είναι αυτό που συμβαίνει συχνά. Η πρώτη φορά κατά την οποία αυτή η προσέγγιση έγινε αντικείμενο λεπτομερούς και ακριβούς επεξεργασίας ήταν όταν ασχολήθηκε με το θέμα ο άγγλος λογικός Τζων Βεν (John Venn, 1866, [1888] 1962). Είναι πολύ εύκολο να δοθεί η βασική ιδέα μέσω ενός παραδείγματος. Φανταστείτε την περίπτωση ενός συνηθισμένου νομίσματος που το στρίβουμε με τον κανονικό τρόπο. Καθώς στρίβουμε το νόμισμα διαδοχικά, προκύπτει μια ακολουθία αποτελεσμάτων:

Κ Γ Κ Γ Γ Γ Κ Κ Γ Γ Κ Γ Γ Γ Γ Κ Γ Κ Γ Γ Γ Κ Κ Κ Κ ...[10]

Μπορούμε να συσχετίσουμε αυτή την ακολουθία αποτελεσμάτων με μιαν ακολουθία *σχετικών συχνοτήτων εμφάνισης* –δηλαδή, την αναλογία στριψιμάτων που έφεραν κορόνα μέχρι ένα δεδομένο σημείο της ακολουθίας– ως εξής:

1/1, 1/2, 2/3, 2/4, 2/5, 2/6, 3/7, 4/8, 4/9, 4/10, 5/11, 5/12, 5/13, 5/14, 5/15, 6/16, 6/17, 7/18, 7/19, 7/20, 7/21, 8/22, 9/23, 10/24, 11/25, . . .

Ο παρονομαστής κάθε κλάσματος αντιπροσωπεύει το πλήθος των στριψιμάτων που πραγματοποιήθηκαν ώς το αντίστοιχο σημείο, ενώ ο αριθμητής αντιπροσωπεύει τις κορόνες που προέκυψαν σε αυτά τα στριψίματα. Θα μπορούσαμε, φυσικά, να εξακολουθήσουμε να στρίβουμε το νόμισμα, καταγράφοντας τα αποτελέσματα και τις συναφείς σχετικές συχνότητες. Εννοείται, βέβαια, ότι διαθέτουμε επαρκείς λόγους που πείθουν ότι το συγκεκριμένο νόμισμα είναι δίκαιο και ότι στρίβεται με τρόπο που να μην ευνοεί κάποιο συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Αυτό σημαίνει πως πιστεύουμε ότι η πιθανότητα να έρθει κορόνα είναι 1/2. Αν αυτή η πεποίθηση είναι σωστή, τότε, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των στριψιμάτων, οι σχετικές συχνότητες θα πλησιάζουν και θα παραμένουν κοντά στο 1/2. Η κατάσταση απεικονίζεται γραφικά στο Σχήμα 2.3. Δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος αριθμός στριψιμάτων για τον οποίο το κλάσμα να γίνεται και να παραμένει ακριβώς ίσο με 1/2. Πράγματι, για έναν άρτιο αριθμό στριψιμάτων το κλάσμα εί-

[10] Αυτά είναι τα αποτελέσματα 25 στριψιμάτων που πραγματοποιήθηκαν απο τους συγγραφείς.

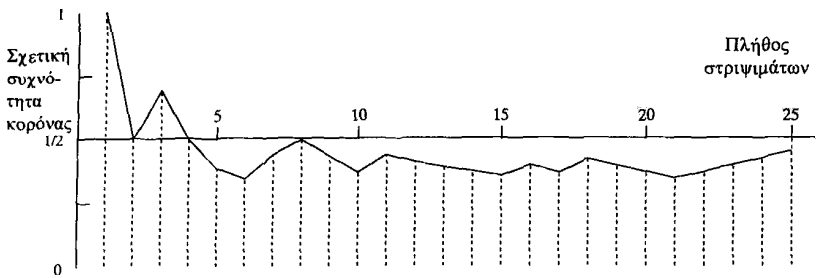
ναι αδύνατο να εξισωθεί με 1/2. Επιπλέον, αν σε κάποιο σημείο της ακολουθίας η σχετική συχνότητα γίνει ίση με 1/2, τότε υποχρεωτικά θα διαφοροποιηθεί από αυτή την τιμή στο επόμενο στρίψιμο. Αντί να λέμε ότι η σχετική συχνότητα πρέπει να εξισωθεί με το 1/2 σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο της ακολουθίας, λέμε ότι προσεγγίζει την τιμή 1/2 *μακροπρόθεσμα*.

Παρόλο που ξέρουμε πολύ καλά ότι κανένα νόμισμα δεν είναι δυνατό να στριφτεί άπειρες φορές, είναι χρήσιμο να θεωρήσουμε μια *δυνάμει άπειρη* ακολουθία στριψιμάτων, ως μαθηματική εξιδανίκευση. Να φανταστούμε, δηλαδή, ότι ασχέτως από το πόσα στριψίματα έχουν ήδη πραγματοποιηθεί, εξακολουθεί να υπάρχει η δυνατότητα πραγματοποίησης και άλλων. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει κάποιος πεπερασμένος αριθμός N για τον οποίο να θεωρείται ότι η ακολουθία έχει περατωθεί. Μπορούμε να πούμε τότε ότι *το όριο της ακολουθίας* των σχετικών συχνοτήτων ισούται με την πιθανότητα. Αυτό αποτελεί και το νόημα της πρότασης ότι η *πιθανότητα* ενός συγκεκριμένου συμβάντος ταυτίζεται, εξ ορισμού, με τη μακροπρόθεσμη σχετική συχνότητα.

Ποιο είναι το νόημα της φράσης "όριο της σχετικής συχνότητας"; Έστω ότι ν_1, ν_2, ν_3, ... είναι οι διαδοχικοί όροι της ακολουθίας των σχετικών συχνοτήτων. Στο προηγούμενο παράδειγμα, $\nu_1 = 1$, $\nu_2 = 1/2$, $\nu_3 = 2/3$ κ.ο.κ. Υποθέστε ότι p είναι το όριο προς το οποίο τείνει η σχετική συχνότητα. Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές των ν_n πλησιάζουν και παραμένουν κοντά στο p καθώς αυξάνονται οι τιμές που παίρνει το n. Για να είμαστε πιο ακριβείς, ας θεωρήσουμε έναν οσοδήποτε μικρό θετικό αριθμό δ. Υπάρχει τότε ένας πεπερασμένος ακέραιος N τέτοιος ώστε για κάθε $n > N$, η ν_n να μην διαφέρει από την τιμή p περισσότερο από δ.

Πολλές είναι οι αντιρρήσεις που εκτοξεύθηκαν εναντίον της ερμηνείας της πιθανότητας ως συχνότητας. Μια από τις λιγότερο σημαντικές είναι αυτή που ήδη αναφέρθηκε και που αναφέρεται στον πεπερασμένο χαρακτήρα των ακολουθιών γεγονότων που μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσα στα όρια της ανθρώπινης εμπειρίας. Ο λόγος για τον οποίο αυτή η αντίρρηση δεν θεωρείται ιδιαιτέρως βαρύνουσα είναι ότι η επιστήμη βρίθει από τέτοιου είδους εξιδανικεύσεις. Εφαρμόζοντας τη Γεωμετρία στον κόσμο της Φυσικής, αναφερόμαστε σε ιδεατές ευθείες και τέλειους κύκλους. Χρησιμοποιώντας τον απειροστικό λογισμό, υποθέτουμε ότι ορισμένα μεγέθη –όπως το ηλεκτρικό φορτίο– μπορούν να μεταβάλλονται κατά συνεχή τρόπο ενώ γνωρίζουμε ότι στην πραγματικότητα είναι διακριτά. Τέτοιου είδους πρακτικές δεν ενέχουν κανένα κίνδυνο εφόσον γνωρίζουμε σαφώς ότι κάνουμε χρήση εξιδανικεύσεων. Το να πραγματευόμαστε άπειρες ακολουθίες είναι ευκολότερο από το να πραγματευόμαστε πεπερασμένες ακολουθίες με πολύ μεγάλο πλήθος μελών.

Ένα κατά πολύ σοβαρότερο πρόβλημα ανακύπτει αν ρωτήσουμε πώς θα μπορέσουμε να βρούμε τις τιμές αυτών των οριακών συχνοτήτων. Αυτό που φαίνεται να γίνεται είναι ότι παρατηρούμε ένα περιορισμένο τμήμα μιας τέτοιας ακολουθίας και προεκτείνουμε στο μέλλον τα σχετικά συμπεράσματα. Κατά τη ρίψη του συγκεκριμένου κέρματος, μπορεί να μην θέλουμε να αποφανθούμε οριστικά



Σχήμα 2.3

ως προς την πιθανότητα να έρθουν κορόνα στη βάση 25 μόνο δοκιμών και ίσως θέλουμε να κάνουμε κάτι τέτοιο στη βάση αρκετών εκατοντάδων. Μια τέτοιου είδους διαδικασία, ωστόσο, παρουσιάζει αρκετά προβλήματα λογικού χαρακτήρα. Πρώτον, ανεξάρτητα από το πόσες ρίψεις κάναμε, υπάρχει πάντοτε η *δυνατότητα* να εμφανιστεί μια μακρά σειρά από κορόνες, η οποία να εκτοξεύσει τη σχετική συχνότητα πολύ πάνω από το 1/2. Παρομοίως, μια μακρά σειρά από γράμματα μπορεί να εκτοξεύσει τη σχετική συχνότητα πολύ κάτω του 1/2.

Ένας άλλος τρόπος για να αντιληφθούμε αυτό το σημείο είναι ο ακόλουθος. Υποθέστε ότι, για κάθε n, το m/n είναι το κλάσμα του οποίου ο αριθμητής παριστάνει το πόσες φορές ήρθε κορόνα και ο παρονομαστής το σύνολο των ρίψεων. Υποθέστε επίσης ότι η ν_n έχει όντως ως όριο την τιμή p. Έστω α και β δυο συγκεκριμένοι θετικοί ακέραιοι τέτοιοι που $\alpha \leq \beta$. Αν προσθέτουμε τη σταθερά α σε κάθε τιμή του m και τη σταθερά β σε κάθε τιμή του n, τότε η προκύπτουσα ακολουθία $(m + \alpha) / (n + \beta)$ θα συγκλίνει στην ίδια τιμή p. Αυτό σημαίνει ότι θα μπορούσαμε να προσαρτήσουμε την οποιαδήποτε ακολουθία β ρίψεων, εκ των οποίων οι α δίνουν κορόνα, στην αρχή της ακολουθίας, χωρίς να αλλάξει η τιμή του ορίου της σχετικής συχνότητας. Επιπλέον, μπορούμε να αποκόψουμε από την αρχή της ακολουθίας οποιονδήποτε πεπερασμένο αριθμό β μελών της, α εκ των οποίων έφεραν κορόνα, χωρίς να αλλάζει η τιμή p του ορίου της σχετικής συχνότητας. Καθώς αυξάνονται προοδευτικά οι τιμές των m και n, η πρόσθεση ή η αφαίρεση μελών στην ακολουθία έχει όλο και μικρότερη επίπτωση στην τιμή του κλάσματος. Αυτό φαίνεται να σημαίνει ότι *η παρατηρηθείσα σχετική συχνότητα σε ένα πεπερασμένο δείγμα δεν σχετίζεται με το όριο της σχετικής συχνότητας*. Όμως, τότε, πώς θα μπορέσουμε να βρούμε την τιμή αυτής της σχετικής συχνότητας (πιθανότητας);

Θα μπορούσε να δημιουργηθεί η εντύπωση ότι τα πράγματα δεν είναι δυνατόν να γίνουν χειρότερα για την ερμηνεία της πιθανότητας ως συχνότητας. Όμως δεν είναι έτσι. Για κάθε ακολουθία, σαν αυτή που εξετάσαμε, δεν υπάρχει

εγγύηση ότι υφίσταται καν όριο σχετικής συχνότητας. Είναι λογικώς δυνατό μια μακρά αλυσίδα από κορόνες να ακολουθηθεί από μια μακρύτερη αλυσίδα από γράμματα και αυτή από μιαν ακόμα μακρύτερη αλυσίδα από κορόνες και ούτω καθ' εξής, έτσι ώστε η σχετική συχνότητα από κορόνες να κυμαίνεται μεταξύ ευρύτατα απομεμακρυσμένων ορίων σε όλη την έκταση των άπειρων υπολειπομένων όρων της ακολουθίας. Αν δεν υφίσταται κανένα όριο, τότε *δεν υπάρχει καν πιθανότητα του αποτελέσματος κορόνα κατά το στρίψιμο ενός κέρματος*.

Παρά τις εν λόγω δυσκολίες, η ερμηνεία της συχνότητας ως πιθανότητα φαίνεται να χρησιμοποιείται εκτεταμένα στις επιστήμες. Στο Κεφάλαιο 1, για παράδειγμα, αναφερθήκαμε στην αυθόρμητη διάσπαση ατόμων C^{14}, σημειώνοντας ότι ο χρόνος ημιζωής τους είναι 5.730 χρόνια. Αυτός είναι ο ρυθμός με τον οποίο τα άτομα αυτού του είδους διασπώνταν στο παρελθόν και εμείς προβλέπουμε με εμπιστοσύνη ότι θα εξακολουθήσουν να διασπώνται με τον ίδιο ρυθμό και στο μέλλον. Η σχετική συχνότητα διάσπασης των ατόμων του C^{14} μέσα σε ένα διάστημα 5.730 χρόνων είναι 1/2. Αυτή η περίπτωση παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για τους αρχαιολόγους, τους φυσικούς και τους γεωφυσικούς. Στις βιολογικές επιστήμες, για παράδειγμα, έχει παρατηρηθεί μεγάλη σταθερότητα στο γεγονός ότι γεννιέται μεγαλύτερος αριθμός αρρένων παρά θηλέων, και αυτή η κανονικότητα αναμένεται να συνεχισθεί. Οι κοινωνιολόγοι παρατηρούν, ωστόσο, ότι οι γυναίκες ζουν κατά μέσο όρο περισσότερο από τους άνδρες. Και αυτή η συχνότητα αναμένεται να παραμείνει σταθερή.

Είναι εύκολο να αποδειχθεί ότι η ερμηνεία της πιθανότητας ως συχνότητας ικανοποιεί τα αξιώματα των πιθανοτήτων που εκτέθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Ως εκ τούτου, η ερμηνεία αυτή είναι αποδεκτή. Η κύρια δυσκολία της έγκειται στη *δυνατότητα διακρίβωσης*. Πώς μπορούμε να αποδώσουμε τιμές σε πιθανότητες αυτού του είδους; Αυτό το ερώτημα μας επαναφέρει στο πρόβλημα του Χιουμ για τη δικαιολόγηση της επαγωγής.

Παραμένει ένα ακόμα πρόβλημα. Οι πιθανότητες του τύπου συχνότητας χρησιμοποιούνται με δύο τρόπους. Από τη μια πλευρά, εμφανίζονται στους στατιστικούς νόμους, όπως αυτός της ραδιενεργού διάσπασης ασταθών πυρήνων. Απ' την άλλη, εφαρμόζονται συχνά για να διατυπωθούν προβλέψεις σχετικά με ατομικά γεγονότα, ή πεπερασμένα σύνολα γεγονότων. Για παράδειγμα, αυτοί που κάνουν σφυγμομετρήσεις της κοινής γνώμης προβλέπουν τα αποτελέσματα μεμονωμένων εκλογικών αναμετρήσεων βάσει συνεντεύξεων που παίρνουν από δείγματα του εκλογικού σώματος. Όμως, αν ως πιθανότητα ορίζεται η τιμή του ορίου της συχνότητας μιας δυνάμει άπειρης ακολουθίας γεγονότων, δεν φαίνεται να έχει πολύ νόημα το να μιλάμε για πιθανότητες μεμονωμένων συμβάντων. Το *ζήτημα της μεμονωμένης περίπτωσης* εγείρει προβλήματα σχετικά με την *εφαρμοσιμότητα* της ερμηνείας της πιθανότητας ως συχνότητας.

Πριν αφήσουμε την εν λόγω ερμηνεία, επιβάλλεται να διατυπώσουμε μια προειδοποίηση. Αυτή είναι εντελώς διαφορετική από την κλασική ερμηνεία και δεν θα πρέπει να συγχέεται μαζί της. Όταν στην κλασική ερμηνεία γίνεται λό-

γος για δυνατά και για ευνοϊκά αποτελέσματα, η αναφορά γίνεται σε τύπους ή τάξεις αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα, η τάξη όλων των περιπτώσεων στις οποίες εμφανίζεται κορόνα αποτελεί *ένα* δυνατό αποτέλεσμα, και η τάξη όλων των περιπτώσεων στις οποίες το αποτέλεσμα είναι γράμματα αποτελεί *ένα* άλλο δυνατό αποτέλεσμα. Σε αυτό το παράδειγμα υπάρχουν μόνο δύο δυνατά αποτελέσματα. Είναι αυτές *οι τάξεις* –και *όχι τα μέλη τους*– ό,τι πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν κατά την κλασική ερμηνεία. Αντίθετα, στην ερμηνεία της πιθανότητας ως συχνότητας είναι τα *μέλη* αυτών των τάξεων που καταμετρούνται. Αν στρίψουμε ένα κέρμα πολλές φορές, τότε θα εμφανιστεί πολλές φορές κορόνα και πολλές φορές γράμματα. Στην περίπτωση της ερμηνείας της πιθανότητας ως συχνότητας ο αριθμός των περιπτώσεων για τις οποίες σχηματίζουμε τους αντίστοιχους λόγους, εξακολουθεί να μεταβάλλεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ατομικών συμβάντων. Στην περίπτωση της κλασικής ερμηνείας, η πιθανότητα δεν εξαρτάται κατά κανέναν τρόπο από το πόσες φορές ήρθε ή δεν ήρθε πράγματι κορόνα ή γράμματα.

*3. **Η ερμηνεία της πιθανότητας ως τάσης.*** Η ερμηνεία της πιθανότητας ως τάσης είναι μια σχετικά πρόσφατη καινοτομία στο χώρο της θεωρίας των πιθανοτήτων. Παρά το ότι προτάθηκε νωρίτερα, ιδιαίτερα από τον Τσαρλς Σάντερς Περς (Charles Saunders Peirce), διατυπώθηκε για πρώτη φορά σαφώς από τον Πόππερ (Popper, 1957b, 1960). Αυτή η ερμηνεία προτάθηκε ειδικά για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα των μεμονωμένων περιπτώσεων.

Το είδος της κατάστασης που απασχόλησε τον Πόππερ ήταν μία δυνάμει άπειρη ακολουθία ρίψεων ενός ζαριού διασκευασμένου έτσι ώστε η έδρα με το 6 να έχει πιθανότητα εμφάνισης ίση με 1/4. Η τιμή του ορίου της σχετικής συχνότητας για το 6 είναι, φυσικά, ίση με 1/4. Υποθέστε, ωστόσο, ότι τρεις από τις ρίψεις δεν έγιναν με το κάλπικο ζάρι αλλά με ένα κανονικό ζάρι. Όποια κι αν ήταν τα αποτελέσματα αυτών των τριών ρίψεων δεν θα επηρέαζαν την τιμή του ορίου της σχετικής συχνότητας. Ωστόσο, ο Πόππερ υποστήριξε ότι θέλουμε βέβαια να πούμε ότι η πιθανότητα του αποτελέσματος 6, σε αυτές τις τρεις ρίψεις του ζαριού, ήταν 1/6 και *όχι* 1/4. Ο Πόππερ επιχειρηματολόγησε υπέρ του ότι ο καταλληλότερος τρόπος για να αντιμετωπίσουμε τέτοιες περιπτώσεις είναι να συνδέσουμε την πιθανότητα με την *τυχαιότητα της διάταξης* που παράγει το συγκεκριμένο αποτέλεσμα, αντί να την ορίσουμε μέσω της ακολουθίας των συναφών αποτελεσμάτων. Έτσι, διατείνεται, κάθε φορά που ρίχνεται το κανονικό ζάρι, η διάταξη (που, εν προκειμένω, αποτελείται από το ζάρι και εκείνον που το ρίχνει) παρουσιάζει μια αιτιακή ροπή ή *τάση* να παράγει με πιθανότητα 1/6 το αποτέλεσμα 6. Παρομοίως, κάθε φορά που ρίχνεται το κάλπικο ζάρι, η διάταξη έχει μια τάση να παράγει το αποτέλεσμα 6 με πιθανότητα 1/4.

Μολονότι η ιδέα περί τάσης –πιθανοκρατούμενης αιτιακής ροπής– είναι σημαντική και χρήσιμη, δεν παρέχει μιαν αποδεκτή ερμηνεία του λογισμού των πιθανοτήτων. Αυτό μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό με τη βοήθεια του παρα-

δείγματος με το εργοστάσιο που κατασκευάζει λαμπτήρες, το οποίο εξετάσαμε στην προηγούμενη ενότητα. Ας θυμηθούμε ότι εκεί γινόταν λόγος για δύο μηχανές, κάθε μία από τις οποίες παρουσίαζε μια τάση ή ροπή να παράγει έναν αριθμό ελαττωματικών λαμπτήρων. Για την καινούργια μηχανή αυτή η τάση ήταν 0.01, ενώ για την παλιά 0.02. Κάνοντας χρήση του κανόνα ολικής πιθανότητας, υπολογίσαμε την τάση προς κατασκευή ελαττωματικών λαμπτήρων που παρουσίαζε το εργοστάσιο ως σύνολο. Αυτή ήταν 0.012. Ως εδώ, όλα καλά.

Το πρόβλημα εμφανίζεται σε σχέση με τον κανόνα του Μπέις. Αφού διαλέξαμε με τυχαίο τρόπο έναν ελαττωματικό λαμπτήρα από την ημερησία παραγωγή, ρωτήσαμε ποια είναι η πιθανότητα να είχε παραχθεί αυτός από τη νέα μηχανή. Η απάντηση ήταν: 2/3. Αυτή είναι μία καθ' όλα νόμιμη πιθανότητα, η οποία, όμως, είναι αδύνατο να εννοηθεί ως τάση. Δεν έχει νόημα να πούμε ότι αυτός ο λαμπτήρας παρουσιάζει μια τάση 2/3 να έχει παραχθεί από την καινούργια μηχανή. Αυτός παράχθηκε είτε από την καινούργια μηχανή είτε από την παλιά. Δεν παρουσιάζει μια τάση 1/3 να έχει παραχθεί από την παλιά μηχανή και μια τάση 2/3 να έχει παραχθεί από την καινούργια. Το βασικό σημείο είναι ότι οι αιτίες προηγούνται των αποτελεσμάτων τους, και ότι οι αιτίες παράγουν τα αποτελέσματά τους, ακόμα και αν η αιτιακή σχέση παρουσιάζει πιθανοκρατικά χαρακτηριστικά. Μπορούμε εύλογα να μιλήσουμε για την αιτιακή ροπή που παρουσιάζει μια μηχανή να παράγει ελαττωματικά προϊόντα. Τα αποτελέσματα δεν παράγουν τις αιτίες τους. *Δεν* έχει νόημα να μιλάμε για την αιτιακή ροπή που παρουσιάζει το αποτέλεσμα ως προς το να έχει παραχθεί από τη μια ή την άλλη αιτία.

Ο κανόνας του Μπέις μας παρέχει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε αυτό που σε ορισμένες περιπτώσεις ονομάζουμε *αντίστροφες πιθανότητες*. Ενώ ο κανόνας της ολικής πιθανότητας μας παρέχει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε την ορθόδρομη πιθανότητα να εμφανιστεί ένα αποτέλεσμα, δεδομένων κάποιων κατάλληλων πληροφοριών γύρω από τους αιτιακούς παράγοντες που προηγούνται χρονικά, ο κανόνας του Μπέις μας επιτρέπει να υπολογίζουμε την αντίστροφη πιθανότητα να έχει παραχθεί ένα δεδομένο αποτέλεσμα από μια συγκεκριμένη αιτία. Αυτές οι αντίστροφες πιθανότητες αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα του μαθηματικού λογισμού των πιθανοτήτων, αλλά χωρίς να μπορεί να τους αντιστοιχηθεί κανενός είδους τάση. Για το λόγο αυτό η ερμηνεία της πιθανότητας ως τάσης δεν αποτελεί αποδεκτή ερμηνεία του λογισμού των πιθανοτήτων.

4. Η υποκειμενική ερμηνεία. Τόσο η ερμηνεία της πιθανότητας ως συχνότητας όσο και η ερμηνεία της ως τάσης θεωρούνται από τους υποστηρικτές τους ως είδη *φυσικών πιθανοτήτων*. Εκφράζουν αντικειμενικά χαρακτηριστικά του πραγματικού κόσμου. Αλλά πολλοί μαθηματικοί και φιλόσοφοι θεωρούν ότι οι πιθανότητες ενέχουν και ένα υποκειμενικό στοιχείο. Αυτό φαίνεται να είναι συνδεδεμένο με το βαθμό πεποίθησης στον οποίο κάποιο άτομο πιστεύει στη μία ή στην άλλη πρόταση. Για παράδειγμα, η Βάνα Παπαδοπούλου είναι σίγουρη ότι τον

επόμενο χειμώνα στη Θράκη θα κάνει κρύο – ότι δηλαδή σε κάποιο μέρος αυτής της περιοχής, μεταξύ 21 Δεκεμβρίου και 21 Μαρτίου, η θερμοκρασία θα πέσει κάτω από τους 10°C. Η υποκειμενική πιθανότητα που αποδίδει στο να συμβεί αυτό το γεγονός είναι πολύ κοντά στο 1. Η ίδια αποκλείει εντελώς την πιθανότητα να κάνει ζέστη στην Ανταρκτική οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στο νότιο ημισφαίριο. Είναι σίγουρη, δηλαδή, ότι η εκεί θερμοκρασία δεν θα ανέβει πάνω από τους 25°C μεταξύ 21 Δεκεμβρίου και 21 Μαρτίου. Η υποκειμενική πιθανότητα που αποδίδει στο να υπάρξει εκεί ζέστη είναι πολύ κοντά στο 0. Επίσης, δεν πιστεύει, αλλά και δεν αποκλείει, την πιθανότητα να βρέξει αύριο στην Ουρανούπολη – η πεποίθησή της για καθεμιά από αυτές τις εναλλακτικές δυνατότητες είναι το ίδιο ισχυρή. Η υποκειμενική πιθανότητα που αποδίδει στην υπόθεση να βρέξει αύριο στην Ουρανούπολη είναι περίπου 1/2. Καθώς εξετάζει τις διάφορες προτάσεις που μπορεί να πιστεύει ή να αποκλείει, διαπιστώνει ένα εύρος βαθμών πεποίθησης που εκτείνεται κατά μήκος όλης της κλίμακας μεταξύ 0 και 1. Φυσικά, άλλοι άνθρωποι θα διαθέτουν διαφορετικούς βαθμούς πεποίθησης για τις ίδιες προτάσεις.

Είναι εύκολο να γίνει αντιληπτό ότι ο βαθμός υποκειμενικής δέσμευσης δεν αποτελεί αποδεκτή ερμηνεία του λογισμού των πιθανοτήτων. Θεωρήστε το εξής απλό παράδειγμα: Πολλοί άνθρωποι πιστεύουν ότι η πιθανότητα να φέρουν 6, όταν ρίχνουν το ζάρι, είναι 1/6, και ότι τα αποτελέσματα στις διαδοχικές ρίψεις του ζαριού είναι μεταξύ τους ανεξάρτητα. Πιστεύουν επίσης ότι υπάρχει μια πιθανότητα πενήντα – πενήντα να φέρουν ένα τουλάχιστον 6 σε τρεις διαδοχικές ρίψεις. Όπως όμως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα, η πιθανότητα ενός τέτοιου γεγονότος είναι πολύ μικρότερη του 1/2. Κατά συνέπεια, οι προηγούμενοι βαθμοί πεποίθησης παραβιάζουν τον μαθηματικό λογισμό των πιθανοτήτων. Φυσικά, δεν κάνουν όλοι αυτό το συγκεκριμένο σφάλμα, αλλά εκτεταμένη εμπειρική έρευνα έδειξε ότι οι περισσότεροι κάνουμε διαφόρων ειδών λάθη όταν ασχολούμαστε με τις πιθανότητες. Ο βαθμός πεποίθησης γενικά αποτυγχάνει να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του μαθηματικού λογισμού.

5. Η προσωπική πιθανότητα. Τι θα συνέβαινε άραγε αν οι βαθμοί πεποίθησης κάποιου ανθρώπου δεν παραβίαζαν το λογισμό των πιθανοτήτων; Οι υποκειμενικές πιθανότητες αυτού του ανθρώπου θα συνιστούσαν μιαν αποδεκτή ερμηνεία. Ασχέτως από το αν όντως υπάρχει ένας τέτοιος άνθρωπος, μπορούμε να θεωρήσουμε έναν τέτοιο τρόπο οργάνωσης των βαθμών πεποίθησης ως κάτι ιδεώδες.

Συγκρίνετε αυτήν την κατάσταση με την παραγωγική λογική. Μια από τις κυριότερες λειτουργίες της είναι να μας βοηθά να αποφύγουμε ορισμένους τύπους λογικών σφαλμάτων. Για παράδειγμα, οποιοσδήποτε πιστεύει ότι όλοι οι άνθρωποι είναι θνητοί και ότι ο Σωκράτης είναι άνθρωπος, αλλά ταυτόχρονα πιστεύει και ότι ο Σωκράτης είναι αθάνατος, τότε διαπράττει το σφάλμα της αυτοαναίρεσης. Εκείνος που επιθυμεί να πιστεύει μόνον ό,τι είναι αληθές, πρέπει να αποφεύγει τις αντιφάσεις, γιατί οι αντιφάσεις δεν είναι δυνατό να είναι αληθείς.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, μεταξύ των τριών προτάσεων "Όλοι οι άνθρωποι είναι θνητοί", "Ο Σωκράτης είναι άνθρωπος" και "Ο Σωκράτης είναι αθάνατος", τουλάχιστον μία πρέπει να είναι ψευδής. Η λογική δεν μπορεί να μας βοηθήσει από μόνη της να αποφασίσουμε ποια είναι η ψευδής, μας ειδοποιεί όμως για το ότι οφείλουμε να προβούμε σε κάποιες αλλαγές στο δίκτυο των πεποιθήσεών μας αν δεν επιθυμούμε να πιστεύουμε ψεύδη. Εκείνος που αποφεύγει τις λογικές αντιφάσεις –τις ασυνέπειες– διαθέτει ένα συνεπές (consistent) σύνολο πεποιθήσεων.

Όταν ένα σύνολο από βαθμούς πεποίθησης παραβιάζει το λογισμό των πιθανοτήτων, λέμε ότι είναι *μη συνεκτικό* (*incoherent*). Εκείνος που πιστεύει με βαθμό πεποίθησης 1/6 ότι όταν ρίξει ένα κανονικό ζάρι θα εμφανιστεί το αποτέλεσμα 6, ότι τα αποτελέσματα διαδοχικών ρίψεων είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους (ο βαθμός πεποίθησης για την πιθανότητα εμφάνισης του αποτελέσματος 6 στην επόμενη ρίψη του ζαριού δεν επηρεάζεται από το αποτέλεσμα προηγούμενων ρίψεων), και δεσμεύεται επίσης με βαθμό πεποίθησης 1/2 ότι το 6 θα εμφανιστεί τουλάχιστον μία φορά μέσα σε τρεις ρίψεις, διαθέτει ένα μη συνεκτικό δίκτυο πεποιθήσεων. Το ίδιο συμβαίνει και με όποιον αποδίδει δύο διαφορετικές τιμές στην πιθανότητα να είναι η αναλογία ενός μαρτίνι, που έφτιαξε ο τσαπατσούλης μπάρμαν Ιάκωβος, μεταξύ 3:1 και 4:1.

Σκληρή τιμωρία επιφυλάσσεται για εκείνον που διαθέτει μη συνεκτικό δίκτυο πεποιθήσεων. Είναι ευάλωτος στα *Ολλανδικά στοιχήματα* (Dutch book). Ολλανδικό λέμε ένα σύνολο στοιχημάτων φτιαγμένο έτσι ώστε, ανεξάρτητα από το αποτέλεσμα, αυτός που στοιχηματίζει να χάνει. Φανταστείτε το εξής απλό παράδειγμα: Ο κανόνας της άρνησης στο λογισμό των πιθανοτήτων λέει ότι το άθροισμα των $Pr(B|A)$ και $Pr(\sim B|A)$ πρέπει να ισούται με τη μονάδα. Υποθέστε ότι κάποιος διαθέτει ένα βαθμό πεποίθησης 2/3 ότι το αποτέλεσμα της επόμενης ρίψης ενός συγκεκριμένου κέρματος θα φέρει κορόνα, και ένα βαθμό πεποίθησης επίσης 2/3 ότι το αποτέλεσμα θα είναι γράμματα. Πρέπει τότε να είναι πρόθυμος να στοιχηματίσει 2 προς 1 ότι το αποτέλεσμα θα είναι κορόνα και 2 προς 1 ότι το αποτέλεσμα θα είναι γράμματα. Ο συνδυασμός αυτών των δύο στοιχημάτων συνιστά ένα Ολλανδικό στοίχημα γιατί, αν το κέρμα φέρει κορόνα, αυτός που στοιχημάτισε κερδίζει ένα πεντοχίλιαρο αλλά χάνει δύο, ενώ αν φέρει γράμματα χάνει δύο πεντοχίλιαρα και κερδίζει ένα. Αφού αυτά είναι τα μόνα δυνατά αποτελέσματα, ό,τι κι αν συμβεί, ο τζογαδόρος μας χάνει ένα πεντοχίλιαρο.

Έχει αποδειχθεί γενικά ότι κάποιος πέφτει θύμα ενός Ολλανδικού στοιχήματος αν και μόνον αν το σύνολο που απαρτίζουν οι βαθμοί πεποίθησής του είναι μη συνεκτικό. Έτσι, μπορούμε να δούμε το λογισμό των πιθανοτήτων ως ένα είδος λογικού συστήματος – αυτού της λογικής των βαθμών πεποίθησης. Η συμμόρφωση με τους κανόνες του λογισμού των πιθανοτήτων μάς καθιστά ικανούς να αποφεύγουμε ορισμένες γκάφες σε περιπτώσεις επιχειρηματολογίας όπου εμπλέκονται πιθανότητες. Πιο συγκεκριμένα, μας βοηθά να αποφεύγουμε εκεί-

νο τον τύπο των σφαλμάτων που μας καθιστούν ευάλωτους στα Ολλανδικά στοιχήματα. Στο φως αυτών των συλλογισμών, οι *προσωπικές πιθανότητες* έχουν οριστεί ως *συνεκτικό σύνολο βαθμών πεποίθησης*. Άμεση συνέπεια αυτού είναι το γεγονός ότι οι προσωπικές πιθανότητες αποτελούν αποδεκτή ερμηνεία του λογισμού των πιθανοτήτων, αφού ορίστηκαν ακριβώς με αυτόν το σκοπό.

Ένα από τα ισχυρότερα κίνητρα για εκείνους που αποδέχονται την προσωπική ερμηνεία των πιθανοτήτων συνδέεται άμεσα με τη χρήση του κανόνα του Μπέις, έτσι ώστε όσοι υποστηρίζουν αυτή την ερμηνεία να αποκαλούνται συχνά "μπεϊσιανοί". Για να γίνει κατανοητό το γιατί, ας ρίξουμε μιαν ακόμα ματιά στον κανόνα του Μπέις (Κανόνας 9):

$$Pr\,(H|K.E) = \frac{Pr\,(H|K) \times Pr\,(E|K.H)}{Pr\,(H|K) \times Pr\,(E|K.H) + Pr\,(\sim H|K) \times Pr\,(E|K.\sim H)}$$

δεδομένου ότι $Pr(E/K) \neq 0$.

Φανταστείτε το εξής απλό παράδειγμα. Υποθέστε ότι κάποιος στο διπλανό δωμάτιο στρίβει ένα δεκάρικο, και ότι εμείς λαμβάνουμε μιαν αξιόπιστη αναφορά για το αποτέλεσμα μετά από κάθε ρίψη. Δεν έχουμε τη δυνατότητα να εξετάσουμε με τα ίδια μας τα μάτια το δεκάρικο, αλλά για κάποιο λόγο έχουμε την υποψία ότι πρόκειται για ένα δικόρονο κέρμα. Για να παραμείνουμε σε ένα επίπεδο απλής αριθμητικής, ας υποθέσουμε ότι το συγκεκριμένο κέρμα είναι είτε δικόρονο είτε κανονικό. Ας συμβολίσουμε με K το υπόβαθρο της γνώσης μας και την προσωπική μας γνώμη, με H την υπόθεση ότι το κέρμα είναι δικόρονο και με E τα αποτελέσματα των ρίψεων. Για κάθε δεδομένο άτομο, η παράσταση $Pr(H|K)$ *–η πρότερη πιθανότητα–* αντιπροσωπεύει το βαθμό πεποίθησης του ατόμου ότι το συγκεκριμένο κέρμα είναι δικόρονο, πριν γίνει αναφορά για τα αποτελέσματα. Η παράσταση $Pr(E|K.H)$ *–ένα από τα ενδεχόμενα–* αντιπροσωπεύει την πιθανότητα του αποτελέσματος που μας ανακοινώθηκε, με δεδομένο το ότι το κέρμα είναι δικόρονο. Αν μας κοινοποιηθεί αποτέλεσμα γράμματα, τότε αυτή η πιθανότητα εξισώνεται προφανώς με μηδέν και η υπόθεση H καταρρίπτεται.

Αν μας κοινοποιηθούν αποτελέσματα για μία ή περισσότερες κορόνες, τότε αυτή η πιθανότητα ισούται προφανώς με 1. Η παράσταση $Pr(\sim H|K)$ αντιπροσωπεύει την πρότερη πιθανότητα ότι το κέρμα δεν είναι δικόρονο – δηλαδή, ότι είναι κανονικό. Επί ποινή ασυνεπείας, αυτή η πιθανότητα πρέπει να ισούται με 1 - $Pr(H|K)$. Η παράσταση $Pr(E|\sim H.K)$ αντιπροσωπεύει επίσης ένα ενδεχόμενο. Είναι η πιθανότητα που αφορά τα αποτελέσματα που μας κοινοποιούνται, δεδομένου ότι το κέρμα δεν είναι δικόρονο. Η παράσταση $Pr(H/K.E)$ –η ύστερη πιθανότητα– αντιπροσωπεύει την πιθανότητα να είναι το κέρμα δικόρονο δεδομένου τόσο του υποβάθρου της γνώσης μας όσο και της γνώσης των αποτελεσμάτων. Αυτή η πιθανότητα αντιπροσωπεύει μια εκτίμηση της υπόθεσης στο

φως των παρατηρησιακών τεκμηρίων (που μας ανακοινώνονται με αξιόπιστο τρόπο).

Υποθέστε πως η προσωπική πρότερη πιθανότητα του Ακύλα ότι το κέρμα είναι δικόρονο είναι 1/100. Του κοινοποιείται το αποτέλεσμα της πρώτης ρίψης και είναι κορόνα. Χρησιμοποιώντας τον κανόνα του Μπέις υπολογίζει την ύστερη πιθανότητα ως ακολούθως:

$$\frac{1/100 \times 1}{1/100 \times 1 + 99/100 \times 1/2} = 2/101 \approx 0.02$$

Μετά από δύο κορόνες, το αποτέλεσμα είναι

$$\frac{1/100 \times 1}{1/100 \times 1 + 99/100 \times 1/4} = 4/103 \approx 0.04$$

Μετά από δέκα κορόνες, το αποτέλεσμα είναι

$$\frac{1/100 \times 1}{1/100 \times 1 + 99/100 \times 1/1024} = 1024/1123 \approx 0.91.$$

Υποθέστε ότι η προσωπική πρότερη πιθανότητα που αποδίδει ο Αλέξανδρος στο ίδιο γεγονός, πριν γίνει γνωστό το οποιοδήποτε αποτέλεσμα, είναι κατά πολύ υψηλότερη από αυτήν που απέδιδε ο Ακύλας. Ο πρότερος βαθμός πεποίθησης του Αλέξανδρου για το ότι το κέρμα είναι δικόρονο είναι 1/2. Μετά την πρώτη κορώνα κάνει τον ακόλουθο υπολογισμό:

$$\frac{1/2 \times 1}{1/2 \times 1 + 1/2 \times 1/2} = 2/3 \approx 0.67.$$

Μετά τη δεύτερη κορόνα υπολογίζει

$$\frac{1/2 \times 1}{1/2 \times 1 + 1/2 \times 1/4} = 4/5 \approx 0.80.$$

Μετά από δέκα κορόνες βρίσκει

$$\frac{1/2 \times 1}{1/2 \times 1 + 1/2 \times 1/1024} = 1024/1025 > 0.99.$$

Αυτοί οι υπολογισμοί μάς φανερώνουν δυο πράγματα. Πρώτον, μας δείχνουν το πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο κανόνας του Μπέις για τη διακρίβωση της πιθανότητας που αντιστοιχεί σε μια υπόθεση, *εφόσον διαθέτουμε κάποιες τιμές για πρότερες πιθανότητες*. Αν χρησιμοποιήσουμε τις *προσωπικές πιθανότητες*, τότε

όντως διαθέτουμε τιμές για τις πρότερες πιθανότητες. Πρόκειται απλώς για τους βαθμούς πεποίθησης σχετικά με την υπόθεση πριν ληφθούν παρατηρησιακά τεκμήρια. Σε παραδείγματα τέτοιου είδους, ενδεχόμενα μπορούν να υπολογιστούν από κοινές πεποιθήσεις που αφορούν τη συμπεριφορά κανονικών και δικόρονων κερμάτων.

Δεύτερον, αυτοί οι υπολογισμοί δείχνουν ένα φαινόμενο που είναι γνωστό είτε ως *ξέπλυμα των προτέρων* (washing out of the priors) είτε ως *καταβύθιση των προτέρων* (swamping of the priors). Προσέξτε ότι πραγματοποιήσαμε δύο ομάδες υπολογισμών – μία για τον Ακύλα και μία για τον Αλέξανδρο. Ξεκινήσαμε με βαθμούς πεποίθησης επί της υποθέσεως που απέκλιναν πολύ μεταξύ τους· για τον Αλέξανδρο ήταν 1/2 ενώ για τον Ακύλα 1/100. Καθώς τα τεκμήρια συσσωρεύονταν, οι βαθμοί πεποίθησης συνέκλιναν όλο και περισσότερο. Μετά από δέκα κορόνες, ο βαθμός πεποίθησης ήταν, κατά προσέγγιση, 0.99 για τον Αλέξανδρο και 0.91 για τον Ακύλα. Καθώς εμφανίζονταν περισσότερες κορόνες, η συμφωνία ως προς το αποτέλεσμα γινόταν ισχυρότερη. Αυτό καθιστά σαφές ένα γενικό χαρακτηριστικό του κανόνα του Μπέις. Υποθέστε ότι υπάρχουν δύο άνθρωποι που δεσμεύονται με πρότερες πιθανότητες που διαφέρουν οσοδήποτε πολύ, υπό τον όρο ότι καμιά δεν παίρνει τις οριακές τιμές 0 ή 1. Τότε, αν αυτοί συμφωνούν ως προς το ενδεχόμενο και αν διαθέτουν τα ίδια παρατηρησιακά τεκμήρια, οι ύστερες πιθανότητες θα πλησιάζουν όλο και περισσότερο μεταξύ τους καθώς τα τεκμήρια θα συσσωρεύονται. Η επίδραση των πρότερων πιθανοτήτων επί των ύστερων μειώνεται όσο αυξάνονται τα διαθέσιμα τεκμήρια. Το φαινόμενο της απαλοιφής των πρότερων μετριάζει το συναίσθημα δυσπιστίας που μπορεί να δημιουργείται όταν προσφεύγουμε σε υποκειμενικούς βαθμούς πεποίθησης κατά τη διαδικασία αποτίμησης των επιστημονικών υποθέσεων.

Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν άλλα σύνθετα προβλήματα που συνδέονται με την προσωπική ερμηνεία των πιθανοτήτων. Ο μόνος περιορισμός που θέτει αυτή η ερμηνεία είναι ότι οι τιμές των πιθανοτήτων οφείλουν να είναι συνεκτικές – δηλαδή, ότι οφείλουν να ικανοποιούν τους κανόνες της μαθηματικής θεωρίας των πιθανοτήτων. Αυτός ο περιορισμός είναι πολύ ασθενής. Αν ρίξουμε μια ματιά στους κανόνες των πιθανοτήτων, θα παρατηρήσουμε ότι, με εξαίρεση δύο τετριμμένες περιπτώσεις, ο μαθηματικός λογισμός των πιθανοτήτων δεν μας παρέχει από μόνος του τιμές για τις πιθανότητες. Αυτές οι εξαιρέσεις είναι ότι οι λογικά αναγκαίες προτάσεις πρέπει να έχουν τιμή πιθανότητας 1 ενώ οι λογικές αντιφάσεις πρέπει να έχουν τιμή πιθανότητας 0. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, οι κανόνες των πιθανοτήτων μάς επιτρέπουν να υπολογίζουμε κάποιες τιμές πιθανοτήτων από κάποιες άλλες. Τροφοδοτούμε το μηχανισμό των κανόνων με τιμές για κάποιες πιθανότητες, γυρίζουμε τη μανιβέλα, και προκύπτουν κάποιες άλλες τιμές. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει μεγάλη σχέση μεταξύ των προσωπικών πιθανοτήτων και του τι συμβαίνει στον εξωτερικό κόσμο. Μπορεί, για παράδειγμα, να υπάρχει κάποιος που να έχει βαθμό πεποίθησης 9/10 για το ότι το αποτέλεσμα της επόμενης ρίψης ενός νομίσματος θα

είναι κορόνα ακόμα και αν το κέρμα έχει ριφθεί εκατοντάδες φορές με αποτέλεσμα κορόνα στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων. Ρυθμίζοντας κατάλληλα κάποιες άλλες προσωπικές πιθανότητες, μπορούμε να διαθέτουμε προσωπικές πιθανότητες σαν αυτήν που περιγράψαμε αμέσως πριν, χωρίς να προκύπτει πρόβλημα απουσίας συνεκτικότητας. Αν όμως το ζητούμενο είναι να αντιπροσωπεύουν οι πιθανότητές μας *εύλογους* βαθμούς πεποίθησης, τότε είναι απαραίτητοι κάποιοι ισχυρότεροι περιορισμοί.

6. Η λογική ερμηνεία. Στον εικοστό αιώνα, μια από τις πιο φιλόδοξες προσπάθειες να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της επικύρωσης και της ερμηνείας των πιθανοτήτων ήταν η κατασκευή μιας *λογικής θεωρίας των πιθανοτήτων* από τον Ρούντολφ Κάρναπ. Ο Κάρναπ δεν υπήρξε ο πρώτος που κατέβαλε προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση, η δική του όμως ήταν η πρώτη προσπάθεια να γίνει αυτό με τρόπο συστηματικό και ακριβή. Στην πραγματικότητα, ο Κάρναπ υποστήριξε ότι υπάρχουν δύο σημαντικές και νόμιμες έννοιες πιθανότητας –σχετικές συχνότητες και λογικές πιθανότητες– αλλά ο κύριος όγκος της εργασίας του στράφηκε προς τη διερεύνηση της δεύτερης έννοιας. Χαρακτήρισε τη λογική πιθανότητα ως *βαθμό επικύρωσης*. Πολλοί φιλόσοφοι χαρακτηρίζουν τη λογική πιθανότητα ως *επαγωγική πιθανότητα*. Οι δύο αυτοί χαρακτηρισμοί είναι ισοδύναμοι.

Η πρόθεση του προγράμματος του Κάρναπ ήταν σαφής. Πίστευε ότι είναι δυνατόν να αναπτυχθεί μια τυπική επαγωγική λογική κατά τρόπο, λίγο πολύ, ανάλογο με αυτόν της παραγωγικής λογικής. Στην πραγματικότητα, κατασκεύασε μια βασική λογική γλώσσα μέσα στην οποία θα μπορούσαν να φιλοξενηθούν τόσο οι παραγωγικές όσο και οι επαγωγικές σχέσεις. Στην παραγωγική λογική, αν μια πρόταση *E* συνεπάγεται μιαν άλλη πρόταση *H*, τότε η *E* στηρίζει πλήρως την *H* – αν η *E* είναι αληθής, και η *H* είναι αληθής. Στην επαγωγική λογική, αν η *E* αποτελεί τεκμήριο για μια υπόθεση *H*, τότε η *E* παρέχει μόνο κάποιου είδους μερική στήριξη στην *H*. Αυτό το είδος μερικής στήριξης χαρακτηρίζεται πολλές φορές ως *μερική συνεπαγωγή*.

Ο ευκολότερος τρόπος να γίνει αντιληπτό το σχέδιο του Κάρναπ είναι να επεξεργαστούμε τις λεπτομέρειες ενός απλού και καθαρά τεχνητού παραδείγματος. Ας κατασκευάσουμε μια γλώσσα η οποία προορίζεται για την περιγραφή ενός σύμπαντος αποτελούμενου από τρεις μόνον οντότητες, κάθε μια από τις οποίες είτε κατέχει είτε δεν κατέχει μια ιδιότητα. Για να κάνουμε το παράδειγμα πιο συγκεκριμένο, ας φανταστούμε αυτές τις οντότητες ως στερεές σφαίρες και την ιδιότητα ως το κόκκινο χρώμα. Ο συμβολισμός *Fa* δηλώνει ότι η πρώτη σφαίρα είναι κόκκινη και ο συμβολισμός *~Fa* δηλώνει ότι η πρώτη σφαίρα δεν είναι κόκκινη. Χρειαζόμαστε ορισμένα επιπλέον βασικά λογικά σύμβολα. Χρησιμοποιούμε τα *x* και *y* ως μεταβλητές για τις οντότητες, και το σύμβολο (x), που είναι γνωστό ως *καθολικός ποσοδείκτης* και σημαίνει "για κάθε *x*". Το σύμβολο $(\exists x)$, που είναι γνωστό ως *υπαρκτικός ποσοδείκτης*, σημαίνει "υπάρχει ένα

τουλάχιστον *x* τέτοιο ώστε". Χρησιμοποιούμε μια τελεία "." για να δηλώνεται η σύζευξη "*και*", και μια σφήνα "∨" για να δηλώνεται η διάζευξη "*ή*". Αυτά αποτελούν τη λογική σκευή που πρόκειται να χρειαστούμε.

Το κανονικό σύμπαν για το οποίο μιλάμε είναι ένας απλός τόπος τον οποίο μπορούμε να περιγράψουμε πλήρως. Μπορούμε όντως να περιγράψουμε κάθε *λογικά δυνατή* κατάσταση αυτού του σύμπαντος. Κάθε τέτοια πλήρης περιγραφή μιας δυνατής κατάστασης συνιστά μια *καταστασιακή περιγραφή*. Υπάρχουν οκτώ συνολικά τέτοιες περιγραφές:

1. *Fa. Fb. Fc*
2. *Fa. Fb. ~Fc*
3. *Fa. ~Fb. Fc*
4. *~Fa. Fb. Fc*
5. *Fa. ~Fb. ~Fc*
6. *~Fa. Fb. ~Fc*
7. *~Fa. ~Fb. Fc*
8. *~Fa. ~Fb. ~Fc*

Κάθε συνεπής πρόταση που μπορούμε να διατυπώσουμε σ' αυτήν τη γλώσσα μινιατούρα μπορεί να εκφραστεί με τη βοήθεια αυτών των καταστασιακών περιγραφών. Για παράδειγμα, η πρόταση $(x)\,Fx$, η οποία δηλώνει ότι κάθε σφαίρα είναι κόκκινη, είναι ισοδύναμη με την καταστασιακή περιγραφή 1. Η πρόταση $(\exists x)\,Fx$, η οποία δηλώνει ότι τουλάχιστον μία από τις σφαίρες είναι κόκκινη, είναι ισοδύναμη με τη διάζευξη των καταστασιακών περιγραφών 1 - 7. Αυτό σημαίνει ότι είναι αληθής ή η καταστασιακή περιγραφή 1 ή η 2 ή η 3 ή η 4 ή η 5 ή η 6 ή η 7. Η πρόταση *Fa* είναι ισοδύναμη με τη διάζευξη των καταστασιακών περιγραφών 1, 2, 3, και 5. Η *Fa.Fb* είναι ισοδύναμη με τη διάζευξη των καταστασιακών περιγραφών 1 και 2. Αν συμφωνήσουμε να δεχθούμε –χάριν ευκολίας και μόνον– ότι μπορούν να υπάρξουν διαζεύξεις με έναν μόνον όρο, τότε μπορούμε να πούμε ότι κάθε συνεπής πρόταση ισοδυναμεί με κάποια διάζευξη καταστασιακών περιγραφών. Οι καταστασιακές περιγραφές σε κάθε τέτοια διάζευξη συγκροτούν το *πεδίο* αυτής της πρότασης. Μια αντιφατική πρόταση είναι ισοδύναμη με την άρνηση και των οκτώ καταστασιακών περιγραφών. Το πεδίο της είναι κενό.

Σε όσα ακολουθούν, το σύμβολο *H* θα παριστάνει κάθε πρόταση που μπορεί να θεωρηθεί ως υπόθεση και το *E* κάθε πρόταση που μπορεί να θεωρηθεί ως τεκμήριο. Επίσης κάθε συνεπής πρόταση η οποία μπορεί να διατυπωθεί στα πλαίσια της γλώσσας μας μπορεί να παίξει το ρόλο τεκμηρίου, και κάθε πρόταση –συνεπής ή μη– μπορεί να παίξει το ρόλο υπόθεσης. Θεωρήστε, τώρα, την υπόθεση $(\exists x)\,Fx$ και το τεκμήριο *Fc*. Είναι φανερό ότι ένα τεκμήριο όπως το τελευταίο οδηγεί παραγωγικά στη διατύπωση αυτής της υπόθεσης. Αν, δηλαδή, συμβαίνει να είναι κόκκινη η τρίτη σφαίρα, τότε τουλάχιστον μία σφαίρα είναι κόκκινη. Αν παρατηρήσουμε το πεδίο του προηγούμενου τεκμηρίου και αυτής της υπόθεσης, θα προσέξουμε ότι το πεδίο του *Fc* (καταστασιακές περιγραφές 1, 3, 4, 7) περιλαμβάνεται ολόκληρο μέσα στο πεδίο της $(\exists x)\,Fx$ (καταστασιακές περιγραφές 1 - 7). Αυτό είναι κάτι που ισχύει πάντοτε. Αν μια πρόταση συνεπάγεται κάποια άλλη, τότε το πεδίο της πρώτης περικλείεται στο πεδίο της δεύτε-

ρης. Αυτό σημαίνει ότι κάθε δυνατή κατάσταση του σύμπαντος για την οποία αληθεύει η πρώτη είναι μια δυνατή κατάσταση του σύμπαντος για την οποία αληθεύει και η δεύτερη. Αν δύο προτάσεις έχουν ταυτόσημα πεδία, τότε αυτές οι προτάσεις είναι λογικά ισοδύναμες και καθεμιά από τις δυο έπεται λογικά από την άλλη. Αν δύο προτάσεις είναι λογικά ασυμβίβαστες, τότε τα πεδία τους δεν αλληλεπικαλύπτονται καθόλου. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει καμιά δυνατή κατάσταση του σύμπαντος όπου να είναι ταυτόχρονα αληθείς και οι δυο. Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι οι παραγωγικές λογικές σχέσεις μπορούν να παρασταθούν ως σχέσεις μεταξύ των πεδίων των ενεχομένων προτάσεων.

Ας στραφούμε τώρα στις επαγωγικές λογικές σχέσεις. Θεωρήστε την υπόθεση $(x)Fx$ και το τεκμήριο Fa. Αυτό το τεκμήριο προφανώς δεν συνεπάγεται την υπόθεση, όμως φαίνεται εύλογο να θεωρήσουμε ότι παρέχει κάποιο βαθμό επαγωγικής στήριξης ή επικύρωσης. Το πεδίο του τεκμηρίου (1, 2, 3, 5) δεν περιέχεται εξ ολοκλήρου στο πεδίο της υπόθεσης (1), όμως τα δύο πεδία αλληλεπικαλύπτονται – έχουν κοινή την καταστασιακή περιγραφή 1. Αυτό που χρειαζόμαστε είναι μια περιγραφή της έννοιας της επικύρωσης συναρτήσει της αλληλεπικάλυψης των πεδίων. Όταν εκλαμβάνουμε την οποιαδήποτε πρόταση E ως τεκμήριο, την αποδεχόμαστε ταυτόχρονα ως αληθή· κάνοντάς το, εξοβελίζουμε όλες εκείνες τις δυνατές καταστάσεις του σύμπαντός μας που είναι ασυμβίβαστες με το τεκμήριο E. Έχοντάς τες εξοβελίσει, θέλουμε να ξέρουμε σε ποιο βαθμό οι δυνατές καταστάσεις στις οποίες το τεκμήριο είναι αληθές, είναι δυνατές καταστάσεις στις οποίες είναι αληθής *και* η υπόθεση. Αυτό μπορεί να εκφραστεί με τη μορφή μιας αναλογίας: "πεδίο $(E.H)$ / πεδίο (E)". Αυτό αποτελεί τη βασική ιδέα που βρίσκεται πίσω από την έννοια του *βαθμού επικύρωσης*.

Θεωρήστε το πεδίο της $(x)Fx$· αυτή η υπόθεση ισχύει στη μία από τις οκτώ καταστασιακές περιγραφές. Αν ωστόσο μάθουμε ότι η Fa είναι αληθής, εξοβελίζουμε τέσσερις από τις καταστασιακές περιγραφές, αφήνοντας μόνον τέσσερις ως δυνατότητες. Η υπόθεση τώρα αληθεύει σε μία από τέσσερις καταστασιακές περιγραφές. Αν κατόπιν ανακαλύψουμε ότι είναι αληθής και η Fb, τότε το συνδυασμένο τεκμήριο $Fa.Fb$ ισχύει μόνο σε δύο από τις καταστασιακές περιγραφές, ενώ η υπόθεση ισχύει στη μία από τις δύο. Φαίνεται εύλογο, τότε, να πούμε ότι η υπόθεσή μας έχει μια πιθανότητα 1/8 όταν δεν υπάρχουν τεκμήρια, μια πιθανότητα 1/4 όταν παρουσιάστηκε το πρώτο τεκμήριο, και μια πιθανότητα 1/2 όταν διαθέτουμε και τα δύο τεκμήρια. (Αυτή η ιδέα προτάθηκε στο Wittgenstein 1922). Όμως, εδώ τα φαινόμενα απατούν.

Αν υιοθετούσαμε αυτήν την ιδέα στη μορφή που παρουσιάστηκε, τότε, όπως διαπίστωσε ο Κάρναπ, θα χάναμε κάθε δυνατότητα να μάθουμε από την εμπειρία. Θα χάναμε, δηλαδή, κάθε δυνατότητα να προβλέψουμε μελλοντικά συμβάντα. Θεωρήστε, αντί για την υπόθεση $(x)Fx$, την υπόθεση Fc. Αυτή η υπόθεση ισχύει σε τέσσερις (1, 3, 4, 7) από τις οκτώ καταστασιακές περιγραφές. Υποθέστε ότι ανακαλύπτουμε το τεκμήριο Fa. Το πεδίο αυτού του τεκμηρίου είναι τέσσερις καταστασιακές περιγραφές (1, 2, 3, 5), και η υπόθεσή μας ισχύει για

δύο από αυτές. Όμως 4/8 = 2/4, κι έτσι το τεκμήριο δεν συνέβαλε καθόλου στη στήριξη της υπόθεσης. Επιπλέον, αν συμβεί να μάθουμε ότι το *Fb* είναι αληθές, τότε τεκμήριο γίνεται το *Fa.Fb*, το οποίο ισχύει για δύο από τις καταστασιακές περιγραφές (1, 2), ενώ η υπόθεση ισχύει μόνο για τη μία δίνοντας ως αποτέλεσμα το λόγο 1/2. Ως εκ τούτου, σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο ορισμού της επικύρωσης, αυτό που παρατηρούμε στο παρελθόν ή στο παρόν δεν έχει καμιά επίπτωση σε αυτό που θα συμβεί στο μέλλον. Αυτή είναι μια απαράδεκτη συνέπεια. Όταν εξετάσαμε την υπόθεση (*x*) *Fx* στην προηγούμενη παράγραφο, φάνηκε σαν να επιτυγχάναμε γνήσια επικύρωση, όμως αυτό δεν συνέβαινε. Η υπόθεση (*x*) *Fx* δηλώνει απλώς ότι τα *a, b, c* χαρακτηρίζονται από την ιδιότητα *F*. Όταν, μέσω της παρατήρησης, βρήκαμε ότι η πρώτη σφαίρα είναι κόκκινη, τότε απλώς ελαττώσαμε το προβλεπτικό περιεχόμενο της *H*. Αρχικά αυτή προέβλεπε το χρώμα τριών σφαιρών· αμέσως μετά την εξέταση της πρώτης σφαίρας, αυτή προβλέπει το χρώμα δύο μόνο σφαιρών. Μετά την εξέταση του χρώματος και της δεύτερης σφαίρας, η υπόθεση προβλέπει το χρώμα μίας μόνο σφαίρας. Αν εξετάζαμε και την τρίτη σφαίρα και βρίσκαμε ότι και αυτή ήταν κόκκινη, τότε η υπόθεσή μας θα έπαυε να διαθέτει οποιοδήποτε προβλεπτικό περιεχόμενο. Αντί να επικυρώνουμε την υπόθεσή μας, απλώς ελαττώνουμε την προβλεπτική της ισχύ.

Ο Κάρναπ πρότεινε έναν διαφορετικό τρόπο αξιολόγησης του πεδίου των προτάσεων ώστε να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία. Η μέθοδος που υιοθετήθηκε από τον Βιτγκενστάιν ισοδυναμεί με την απόδοση ίσου βάρους σε όλες τις καταστασιακές περιγραφές. Ο Κάρναπ πρότεινε την απόδοση ανισομερώς κατανεμημένων βαρών, όπως παρακάτω. Ας ξαναρίξουμε μια ματιά στον κατάλογο των καταστασιακών περιγραφών του Πίνακα 2.2:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2

Καταστασιακή περιγραφή	*Βάρος*	*Δομική περιγραφή*	*Βάρος*
1. *Fa. Fb. Fc*	1/4	Όλα τα *F*	1/4
2. *Fa. Fb. ~Fc*	1/12		
3. *Fa. ~Fb. Fc*	1/12	2 *F*, 1 *~F*	1/4
4. *~Fa. Fb. Fc*	1/12		
5. *Fa. ~Fb. ~Fc*	1/12		
6. *~Fa. Fb. ~Fc*	1/12	1 *F*, 2 *~F*	1/4
7. *~Fa. ~Fb. Fc*	1/12		
8. *~Fa. ~Fb. ~Fc*	1/4	Κανένα *F*	1/4

Ο Κάρναπ παρατήρησε ότι οι καταστασιακές περιγραφές 2, 3, και 4 δηλώνουν παρόμοιους ισχυρισμούς σχετικά με το μικροσύμπαν μας· λένε ότι δύο οντότητες έχουν την ιδιότητα *F* και μία οντότητα όχι. Θεωρημένες στο σύνολό τους, περιγράφουν μια ορισμένη δομή. Διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το ότι προσδιορίζουν ποια συγκεκριμένη σφαίρα δεν είναι κόκκινη, αλλά ο Κάρναπ θεώρησε ότι αυτό είναι δευτερεύουσας σημασίας. Κατά παρόμοιο τρόπο, οι καταστασιακές περιγραφές 5, 6, και 7, θεωρημένες στο σύνολό τους, περιγράφουν μια συγκεκριμένη δομή του μικροσύμπαντος στην οποία μία από τις οντότητες που το απαρτίζουν έχει την ιδιότητα *F*, ενώ οι υπόλοιπες δύο δεν την έχουν. Κατ' αντιδιαστολήν, η καταστασιακή περιγραφή 1 περιγράφει από μόνη της μια ιδιαίτερη δομή, αυτήν όπου όλες οι οντότητες έχουν την ιδιότητα *F*. Κατά παρόμοιο τρόπο, η καταστασιακή περιγραφή 8 περιγράφει μια δομή όπου κανένα αντικείμενο δεν έχει την ιδιότητα.

Έχοντας ομαδοποιήσει τις καταστασιακές περιγραφές με αυτό τον τρόπο, ο Κάρναπ προβαίνει στην απόδοση ίσων βαρών σε αυτές τις περιγραφές (σε κάθε ομάδα αντιστοιχεί βάρος ίσο με 1/4). Κατόπιν αποδίδει ίσα βάρη σε κάθε καταστασιακή περιγραφή στο εσωτερικό κάθε περιγραφής της δομής. Το σύστημα βαρών που προκύπτει παριστάνεται στον Πίνακα 2.2. Αυτά τα βάρη χρησιμοποιούνται ως μέτρο του πεδίου των καταστασιακών περιγραφών,[11] και αυτό το μετρικό σύστημα ονομάζεται m*. Μια συνάρτηση επικύρωσης c* μπορεί, τότε, να οριστεί ως εξής:[12]

$$c^*(H/E) = m^*(H.E)/m^*(E).$$

Για να δούμε πώς δουλεύει αυτή η συνάρτηση, ας εξετάσουμε και πάλι την υπόθεση *Fc* υπό το φως διάφορων τεκμηρίων. Πρώτον, το πεδίο της *Fc* αποτελείται από την καταστασιακή περιγραφή 1, στην οποία αποδίδεται βάρος ίσο με 1/4, και τις 3, 4, και 7, στην καθεμιά από τις οποίες αποδίδεται βάρος ίσο με 1/12. Το συνολικό βάρος όλων αυτών είναι ίσο με 1/2, που αντιπροσωπεύει την πιθανότητα της υπόθεσης πριν έρθει στο φως οποιοδήποτε τεκμήριο. Θεωρήστε, τώρα, ότι βρίσκουμε το τεκμήριο *Fa*, το μέτρο του οποίου είναι 1/2. Το πεδίο του *Fa. Fc* είναι οι καταστασιακές περιγραφές 1 και 3, το βάρος των οποίων είναι αντίστοιχα 1/4 και 1/12, με συνολικό βάρος 1/3. Τώρα είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε το βαθμό επικύρωσης της υπόθεσης με βάση αυτό το τεκμήριο:

$$c^*(H|E) = m^*(E.H)|m^*(E) = 1/3 \div 1/2 = 2/3.$$

---

[11] Το μέτρο του πεδίου κάθε πρότασης Η μπορεί να ταυτιστεί με την πρότερη πιθανότητα αυτής της πρότασης εν απουσία οποιασδήποτε γνώσης υποβάθρου Κ. Πρόκειται για μιαν a priori πρότερη πιθανότητα.

[12] Η μετρική συνάρτηση του Βιτγκενστάιν αποδίδει βάρος ίσο με 1/8 σε καθεμιά από τις καταστασιακές περιγραφές. Η συνάρτηση επικύρωσης που βασίζεται σε αυτή την απόδοση βαρών συμβολίζεται με c†.

Αν κάνουμε το ίδιο είδος υπολογισμών για το τεκμήριο *Fa. Fb*, βρίσκουμε ότι η υπόθεση διαθέτει βαθμό επικύρωσης 3/4. Αν, ωστόσο, το πρώτο τεκμήριο ήταν το *~Fa*, τότε ο βαθμός επικύρωσης της υπόθεσής μας θα ήταν 1/3. Αν το δεύτερο τεκμήριο ήταν *~Fb*, τότε αυτό θα είχε υποβιβάσει το βαθμό επικύρωσης στο 1/4. Η συνάρτηση επικύρωσης c^* φαίνεται να παίζει το ρόλο της σωστά. Όταν το τεκμήριο έχει χαρακτήρα που εκλαμβάνουμε κανονικά ως θετικό, ο βαθμός επικύρωσης αυξάνεται. Όταν το τεκμήριο έχει το χαρακτήρα που κανονικά εκλαμβάνουμε ως αρνητικό, ο βαθμός επικύρωσης ελαττώνεται. Η συνάρτηση c^* επιτρέπει ολοφάνερα να μαθαίνουμε από την εμπειρία.

Προκύπτει, ωστόσο, ένα σοβαρό φιλοσοφικό πρόβλημα. Από τη στιγμή που θα αρχίσουμε να αποδίδουμε βάρη στις καταστασιακές περιγραφές, βρισκόμαστε αντιμέτωποι με μια πληθώρα δυνατοτήτων. Κατά την κατασκευή του μηχανισμού των καταστασιακών περιγραφών και των βαρών, ο Κάρναπ θέτει τη μοναδική προϋπόθεση να είναι το άθροισμα των βαρών για τις καταστασιακές περιγραφές ίσο με 1 και να είναι κάθε βάρος μεγαλύτερο του 0. Αυτές οι συνθήκες αρκούν για να εγγυηθούν μιαν αποδεκτή ερμηνεία του λογισμού των πιθανοτήτων. Ο Κάρναπ αναγνώρισε το γεγονός ότι, προφανώς, υπάρχουν άπειρες δυνατές συναρτήσεις επικύρωσης που ικανοποιούν αυτήν τη βασική προϋπόθεση. Το ερώτημα είναι πώς να επιλεγεί η κατάλληλη. Μπορεί να δειχθεί εύκολα ότι η επιλογή της κατάλληλης συνάρτησης επικύρωσης συνιστά ακριβώς το ίδιο πρόβλημα με την απόδοση πρότερων πιθανοτήτων σε όλες τις δυνατές υποθέσεις που μπορούν να διατυπωθούν σε μια δεδομένη γλώσσα.

Θεωρήστε την ακόλουθη μετρική συνάρτηση:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3

Καταστασιακή περιγραφή	*Βάρος*	*Περιγραφή διαμόρφωσης*	*Βάρος*
1. *Fa. Fb. Fc*	1/20	Όλα τα *F*	1/20
2. *Fa. Fb. ~Fc*	3/20		
3. *Fa. ~Fb. Fc*	3/20	2 *F*, 1 *~F*	9/20
4. *~Fa. Fb. Fc*	3/20		
5. *Fa. ~Fb. ~Fc*	3/20		
6. *~Fa. Fb. ~Fc*	3/20	1 *F*, 2 *~F*	9/20
7. *~Fa. ~Fb. Fc*	3/20		
8. *~Fa. ~Fb. ~Fc*	1/20	Κανένα *F*	1/20

(Η ιδέα μιας συνάρτησης επικύρωσης αυτής της μορφής αναπτύσσεται στο

Burks 1953, ενώ τα φιλοσοφικά ζητήματα που ανακύπτουν εξετάζονται περισσότερο στο Burks 1977, Κεφ. 3) Αυτή η μέθοδος απόδοσης βαρών, που συμβολίζουμε με m^0, οδηγεί σε μια συνάρτηση επικύρωσης c^0, η οποία συνιστά ένα είδος αντιεπαγωγικής μεθόδου. Ενώ η συνάρτηση m^* αποδίδει υψηλότερα βάρη στην πρώτη και στην τελευταία καταστασιακή περιγραφή, οι οποίες περιγράφουν σύμπαντα με μεγάλη ομοιομορφία (είτε όλα τα αντικείμενα έχουν την ιδιότητα, είτε κανένα δεν την έχει), η m^0 αποδίδει χαμηλότερα βάρη σε περιγραφές που αφορούν ομοιόμορφα σύμπαντα. Όπως η c^*, έτσι και η c^0 επιτρέπει την "εκμάθηση από την εμπειρία", όμως στην τελευταία περίπτωση πρόκειται για ένα περίεργο είδος αντιεπαγωγικής "εκμάθησης". Ωστόσο, προτού απορρίψουμε απευθείας την m^0, πρέπει να αναρωτηθούμε αν διαθέτουμε κάποιου τύπου a priori εγγύηση για το ότι το σύμπαν μας παρουσιάζει ομοιομορφία. Μπορούμε να επιλέξουμε μια κατάλληλη συνάρτηση επικύρωσης η οποία να μη χειρίζεται ένα τέτοιο ζήτημα εντελώς αυθαίρετα; Αυτό είναι και το βασικότερο πρόβλημα που σχετίζεται με τη λογική ερμηνεία των πιθανοτήτων.

ΜΕΡΟΣ IV: ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ

2.9 Η ΜΠΕΪΖΙΑΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗΣ

Θα προσπαθήσουμε τώρα να δούμε πώς όσα αναπτύξαμε σχετικά με τις πιθανότητες μπορούν να εφαρμοστούν για να αποσαφηνίσουν διάφορα ζητήματα που αφορούν την επικύρωση επιστημονικών προτάσεων. Το θεώρημα του Μπέις (Κανόνας 9) θα εμφανιστεί επανειλημμένα στα παρακάτω δικαιολογώντας έτσι τον τίτλο της παρούσας παραγράφου.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι σύνδεσης της πιθανοκρατικής προσέγγισης στο ζήτημα της επικύρωσης με την ποιοτική έννοια, αλλά ο πιο διαδεδομένος τρόπος κάνει χρήση της ιδέας μιας επαυξητικής (incremental) έννοιας επικύρωσης: η E επικυρώνει την H ως προς τη γνώση υποβάθρου K στην περίπτωση που ο συνυπολογισμός της E στην K επαυξάνει την πιθανότητα της H, δηλαδή όταν $Pr(H|E.K) > Pr(H|K)$.[13] Οι μελέτες του Χέμπελ για την επικύρωση μέσω στιγμιοτύπων (instance confirmation) ως σχέσης δύο θέσεων μπορεί να θεωρηθεί ότι αφορά την ειδική περίπτωση όπου η K δεν περιέχει καμιά πληροφορία. Αλ-

[13] Ορισμένες φορές, όταν λέμε ότι μια υπόθεση έχει επικυρωθεί, εννοούμε ότι έχει καταστεί σε υψηλό βαθμό πιθανή με βάση τα διαθέσιμα τεκμήρια. Αυτό αποτελεί την επικύρωση κατά υψηλή πιθανότητα, ή την έννοια της απόλυτης επικύρωσης, και θα πρέπει να διαχωρίζεται προσεκτικά από την έννοια της επαυξητικής επικύρωσης την οποία συζητάμε τώρα (βλέπε σχετικά Carnap 1962, Salmon 1973, και Salmon 1975). Μια απλούστερη αντιμετώπιση βρίσκεται στο Salmon (1973).

λιώς, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η K έχει απορροφηθεί στη συνάρτηση πιθανότητας υπό την έννοια ότι $Pr(K) = 1$,[14] όπου η συνθήκη για να έχουμε επαυξητική επικύρωση ανάγεται στην $Pr(H|E) > Pr(H)$. (Η μη ανηγμένη πιθανότητα $Pr(H)$ μπορεί να νοηθεί ως η ανηγμένη πιθανότητα $Pr(H|T)$, όπου T είναι μια πρόταση κενή περιεχομένου, για παράδειγμα μια ταυτολογία. Τα αξιώματα της Παραγράφου 2.7 βρίσκουν εφαρμογή μόνο σε ανηγμένες πιθανότητες.)

Είναι εύκολο να διαπιστωθεί ότι η επαυξητική παραλλαγή της επικύρωσης παραβιάζει τη συνθήκη συνέπειας του Χέμπελ καθώς και τη *συνθήκη σύζευξης*:

Συνθήκη σύζευξης:
Αν η E επικυρώνει την H *και* επιπλέον την H' τότε επικυρώνει και την $H.H'$.

Απαιτείται κάπως εκτενέστερη εργασία για να καταστρωθεί ένα αντιπαράδειγμα στη συνθήκη ειδικής συνεπείας. (Το σχετικό παράδειγμα είναι παρμένο από τα Carnap 1950 και Salmon 1975. Το δεύτερο περιέχει μια λεπτομερή ανάλυση της συνθήκης επάρκειας του Χέμπελ υπό το φως της ιδέας της επαυξητικής επικύρωσης.) Για το σκοπό αυτό θεωρήστε ότι η γνώση υποβάθρου περιέχει τις ακόλουθες πληροφορίες: Σε ένα τουρνουά σκακιού στην Αθήνα συμμετέχουν δέκα παίκτες. Ορισμένοι από αυτούς είναι ντόπιοι και ορισμένοι ξένοι, άλλοι πάλι είναι έφηβοι και άλλοι ενήλικες, ενώ κάποιοι είναι άνδρες (A) και κάποιες είναι γυναίκες (Γ). Η κατανομή τους δίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4

	Ντόπιοι	*Ξένοι*
Έφηβοι	A, Γ, Γ	A, A
Ενήλικες	A, A	Γ, Γ, Γ

Επιπλέον, κάθε παίκτης έχει αρχικά την ίδια πιθανότητα να νικήσει. Θεωρήστε τώρα την ακόλουθη υπόθεση H: νικά κάποιος ξένος, και H': νικά κάποιος που είναι ενήλικας. Θεωρήστε επιπλέον και το τεκμήριο E: νικά μια γυναίκα. Βρίσκουμε τότε ότι

$$Pr(H|E) = 3/5 > Pr(H) = 1/2$$

άρα η E επικυρώνει την H. Αλλά

$$Pr(H \vee H'/E) = 3/5 < Pr(H \vee H') = 7/10.$$

[14] Όπως θα συνέβαινε και στην περίπτωση όπου η μάθηση από την εμπειρία θα είχε ως πρότυπο την αλλαγή της συνάρτησης πιθανότητας μέσω αναγωγής στις συνθήκες (conditionalization), δηλαδή όταν η K έχει γίνει περιεχόμενο γνώσης, η $Pr_{\pi\rho\iota\nu}$ αντικαθίσταται από την $Pr_{\mu\varepsilon\tau\acute{\alpha}}(\ ) = Pr_{\pi\rho\iota\nu}(/K)$. Από αυτή την άποψη, το θεώρημα του Μπέις (Κανόνας 9) περιγράφει πώς μεταβάλλεται η πιθανότητα όταν γνωρίσουμε ένα νέο γεγονός.

Έτσι η E δεν επικυρώνει την $H \vee H'$. Στην πραγματικότητα, η E επικυρώνει την $\sim(H \vee H')$ και καταρρίπτει την $H \vee H'$, παρόλο που η $H \vee H'$ αποτελεί συνέπεια της H.

Το δίδαγμα είναι ότι κατά την επικύρωση υπό την επαυξητική έννοια, οι συνθήκες επάρκειας του Χέμπελ και, ως εκ τούτου, ο ορισμός της ποιοτικής επικύρωσης του ιδίου αποδεικνύονται ανεπαρκείς. Ωστόσο, οι συνθήκες επάρκειας του Χέμπελ αποδίδουν καλύτερα στην περίπτωση της επικύρωσης κατά υψηλή πιθανότητα σύμφωνα με την οποία η E επικυρώνει την H ως προς την K ακριβώς στην περίπτωση που $Pr(H|E.K) > r$, όπου r είναι ένας αριθμός μεγαλύτερος του 0.5. Αλλά η επικύρωση υπό αυτή την έννοια δεν μπορεί να είναι αυτό που είχε στο νου του ο Χέμπελ, γιατί αυτό που ήθελε να πει είναι πως η παρατήρηση ενός και μόνον μαύρου κορακιού (E) επικυρώνει την υπόθεση ότι όλα τα κοράκια είναι μαύρα (H), παρόλο που για ένα τυπικό K η $Pr(H|E.K)$ δεν πρόκειται να φτάσει το 0.5. Ως εκ τούτου, σε όσα ακολουθούν θα εξακολουθούμε να αναφερόμαστε στην επικύρωση υπό την επαυξητική έννοια.

Η πιθανοκρατική προσέγγιση στο ζήτημα της επικύρωσης συνδυασμένη με μιαν απλή εφαρμογή του θεωρήματος του Μπέις βοηθά να ανακαλυφθεί ένας πυρήνας αλήθειας στην Υ-Π μέθοδο. Υποθέστε ότι ισχύουν οι ακόλουθες συνθήκες:

(i) $H, K \vdash E$, (ii) $1 > Pr(H|K) > 0$, και (iii) $1 > Pr(E|K) > 0$.

Η συνθήκη (i) αποτελεί τη βασική Υ-Π συνθήκη. Οι συνθήκες (ii) και (iii) δηλώνουν ότι ούτε η H ούτε η E είναι με βεβαιότητα αληθείς βάσει της γνώσης υποβάθρου K. Τότε στο πλαίσιο της επαυξητικής προσέγγισης προκύπτει, όπως εξ άλλου θα περιμέναμε από την Υ-Π μεθοδολογία, ότι η E επικυρώνει την H βάσει της K. Σύμφωνα με το θεώρημα του Μπέις

$$Pr(H|E.K) = \frac{Pr(H|K)}{Pr(E|K)}$$

αφού έπεται από την (i) ότι

$$Pr(E|H.K) = 1.$$

Από τις (ii) και (iii) προκύπτει τότε ότι

$$Pr(H|E.K) > Pr(H|K).$$

Παρατηρήστε ότι όσο μικρότερη είναι η $Pr(E|K)$, τόσο μεγαλύτερη είναι η επαυξητική επικύρωση που παρέχεται από την E. Αυτό το τελευταίο συνδράμει στη θεμελίωση της διαίσθησης ότι όσο περισσότερο εκπλήσσει το τεκμήριο, τόσο μεγαλύτερη τιμή επικύρωσης προσφέρει. Ωστόσο, όπως θα αποδειχθεί στην Παράγραφο 2.10, αυτή η παρατήρηση κρύβει και μια δεύτερη όψη.

Η μπεϊσιανή ανάλυση μας παρέχει επίσης τα μέσα να αντιμετωπίσουμε ένα ανησυχητικό χαρακτηριστικό της Υ-Π μεθόδου, το οποίο ορισμένες φορές ονομάζεται πρόβλημα σύζευξης μη σχετικών προτάσεων. Αν η Υ-Π συνθήκη (i) ισχύει για την H, τότε θα ισχύει και για την $H.X$, όπου X μπορεί να είναι οτιδήποτε και μπορεί να περιλαμβάνει προτάσεις με τις οποίες διαισθανόμαστε ότι η E δεν έχει καμία σχέση. Κατά μία έννοια το πρόβλημα αυτό αντικατοπτρίζεται στην μπεϊσιανή προσέγγιση, αφού υποθέτοντας ότι $1 < Pr(H.X|K) < 0$, προκύπτει ότι η E επικυρώνει επαυξητικά την $H.X$. Αλλά καθώς η συνθήκη της ειδικής συνεπείας δεν ισχύει στην μπεϊσιανή προσέγγιση, δεν μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η E επικυρώνει τη συνέπεια X της $H.X$. Επιπλέον, σύμφωνα με την Υ-Π συνθήκη (i), η επαυξητική επικύρωση μιας υπόθεσης είναι ευθέως ανάλογη προς την πρότερή της πιθανότητα. Αφού $Pr(H|K) \geq Pr(H.X|K)$ –όπου στις τυπικές περιπτώσεις ισχύει η αυστηρή ανισότητα– η επαυξητική επικύρωση της H θα είναι μεγαλύτερη από αυτή της $H.X$.

Οι μπεϊσιανές μέθοδοι αποδεικνύονται αρκετά ευέλικτες ώστε να αντιπαρέρχονται διάφορες δυσκολίες που εμφανίζονται στην ανάλυση του Χέμπελ. Για παράδειγμα, τίποτα δεν μας εμποδίζει να ορίσουμε την επικύρωση ως μια συνάρτηση πιθανότητας η οποία επιτρέπει στα παρατηρησιακά τεκμήρια να ενισχύουν την πιθανότητα θεωρητικών υποθέσεων. Η μπεϊσιανή προσέγγιση μπορεί, επιπλέον, να χρησιμοποιηθεί για τη διασάφηση τόσο του παραδόξου με τα κοράκια, όσο και αυτού του Γκούντμαν.

Στην περίπτωση του παραδόξου με τα κοράκια μπορούμε να δεχθούμε πως το τεκμήριο ότι ένα αντικείμενο a είναι ένα κομμάτι άσπρης κιμωλίας μπορεί να επικυρώσει την υπόθεση "Όλα τα κοράκια είναι μαύρα", αφού, για να το θέσουμε αδρά, αυτό το τεκμήριο εξαντλεί ένα μέρος του περιεχομένου της υπόθεσης. Ωστόσο, όπως παρατηρεί ο Σάπες (Suppes), αν θέλουμε να υποβάλουμε τις υποθέσεις μας σε αυστηρό έλεγχο, είναι προτιμότερο να προβαίνουμε σε υπαίθριες ορνιθολογικές παρατηρήσεις, συλλέγοντας τα δείγματά μας από την τάξη των κορακιών, παρά από την τάξη των μη μαύρων πραγμάτων εν γένει (Suppes (1966)). Ας υποθέσουμε ότι το a συμβολίζει ένα αντικείμενο που επιλέξαμε τυχαία, και έστω

$$Pr(Ra.Ba) = p_1 \qquad Pr(Ra.\sim Ba) = p_2$$
$$Pr(\sim Ra.Ba) = p_3 \qquad Pr(\sim Ra.\sim Ba) = p_4 .$$

Τότε

$$Pr(\sim Ba|Ra) = p_2 \neq (p_1 + p_2)$$
$$Pr(Ra|\sim Ba) = p_2 \neq (p_2 + p_4)$$

Οπότε $Pr(\sim Ba|Ra) > Pr(Ra|\sim Ba)$ μόνο στην περίπτωση που $p_4 > p_1$. Στον κό-

σμο μας φαίνεται πως σίγουρα ισχύει ότι $p_4 > p_1$. Έτσι ο Σάπες συμπεραίνει ότι το να συλλέγουμε δείγματα από την τάξη των κορακιών παρέχει πιο εύκολα τη δυνατότητα να συναντήσουμε μια εξαίρεση στην υπόθεση των μαύρων κορακιών από ό,τι θα μας παρείχε μια συλλογή από την τάξη των μη μαύρων πραγμάτων.

Όμως, εδώ υπάρχουν δύο προβλήματα. Πρώτον, δεν είναι αρκετά ξεκάθαρο το πώς η τελευταία πρόταση (σχετικά με το τι είναι πιο εύλογο) ακολουθεί ως συμπέρασμα, αφού υποτίθεται ότι το *a* είναι ένα αντικείμενο που το επιλέξαμε τυχαία από το σύμπαν εν γένει. Από αυτή την άποψη, πώς προκύπτει ότι η $Pr(\sim Ba/Ra)$ αντιπροσωπεύει την πιθανότητα να είναι μη μαύρο ένα αντικείμενο που το τραβάμε τυχαία από την τάξη των κορακιών; Δεύτερον, εκείνοι που ενδιαφέρονται για τη διάψευση υποθέσεων είναι οι αντι-επαγωγιστές, όπως ο Πόππερ (βλέπε σχετικά στο εδάφιο 4 της Παραγράφου 2.8 και την Παράγραφο 2.10, που ακολουθεί). Θα αναμενόταν ότι κάποιος που ακολουθεί την μπεϊσιανή προσέγγιση συγκεντρώνει τις προσπάθειές του σε στρατηγικές που μεγιστοποιούν την απόλυτη και την επαυξητική πιθανότητα. Μια προσέγγιση που οφείλεται στους Γκάιφμαν (Gaifman, 1979) και Χόργουιτς (Horwich, 1982) αξιοποιεί έναν συνδυασμό και των δύο αυτών σημείων.

Ας καταστήσουμε τμήμα του περιεχομένου της γνώσης υποβάθρου *K* ότι το *a* είναι ένα αντικείμενο που έχει επιλεγεί τυχαία από την τάξη των κορακιών. ενώ *b* ένα αντικείμενο που έχει επιλεγεί τυχαία από την τάξη των μη μαύρων πραγμάτων. Τότε, η εφαρμογή του θεωρήματος του Μπέις δείχνει ότι

$$Pr(H \mid Ra.\, Ba.\, K) > Pr(H \mid \sim Rb.\, \sim Rb.\, K)$$

στην περίπτωση ακριβώς που

$$1 > Pr(\sim Rb \mid K) > Pr(Ba \mid K).$$

Για να διερευνήσουμε το νόημα αυτής της τελευταίας ανισότητας, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την αρχή της ολικής πιθανότητας για να βρούμε ότι

$$\begin{aligned} Pr(Ba \mid K) &= Pr(Ba \mid H.\, K) \cdot Pr(H \mid K) + Pr(Ba \mid \sim H.\, K) \cdot Pr(\sim H \mid K) \\ &= Pr(H \mid K) + Pr(Ba \mid \sim H.\, K) \cdot Pr(\sim H \mid K) \end{aligned}$$

καθώς και ότι

$$Pr(\sim Rb \mid K) = Pr(H \mid K) + Pr(\sim Rb \mid \sim H.\, K) \cdot Pr(\sim H \mid K).$$

Έτσι, η εν λόγω ανισότητα ισχύει ακριβώς στην περίπτωση όπου

$$1 > Pr(\sim Rb \mid \sim H.\, K) > Pr(Ba \mid \sim H.\, K),$$

ή όταν

$$Pr(\sim Ba|\sim H.K) > Pr(Rb|\sim H.K) > 0,$$

πράγμα που κατά τα φαινόμενα δηλώνει κάτι αληθές στο σύμπαν μας. Γιατί αν υποθέσουμε ότι ορισμένα κοράκια είναι μη μαύρα, είναι πολύ πιθανότερο ένα τέτοιο πτηνό να προκύψει από μια τυχαία δειγματοληψία που πραγματοποιούμε στην τάξη των κορακιών, παρά από μια τέτοια δειγματοληψία στην τάξη των μη μαύρων πραγμάτων, αφού η τελευταία είναι κατά πολύ ευρύτερη από αυτή των κορακιών. Έτσι, σύμφωνα με αυτές τις υποθέσεις σχετικά με το είδος δειγματοληψίας, το τεκμήριο *Ra. Ba* όντως αυξάνει την πιθανότητα για την υπόθεση των μαύρων κορακιών περισσότερο από ό,τι το τεκμήριο *~Rb. ~Bb*. Όπως πρώτος ο Σάπες υπέδειξε, ο λόγος γι' αυτό είναι ακριβώς οι διαφορικές τάσεις (differential propensities) των δύο δειγματοληπτικών μεθόδων να παράγουν αντιπαραδείγματα.

Η μπεϊσιανή ανάλυση διαφωτίζει επίσης και τα προβλήματα της επαγωγής, παλιά και νέα, δηλαδή τόσο αυτά που ανέδειξε η ανάλυση του Χιουμ όσο και αυτά που ανέδειξε η ανάλυση του Γκούντμαν. Ο Ράσελ (Russell, 1948) διέκρινε δύο είδη επαγωγής με απαρίθμηση:

> Επαγωγή με απλή απαρίθμηση είναι η ακόλουθη αρχή: «Δεδομένου ενός αριθμού *n* από *a* για τα οποία διαπιστώθηκε ότι είναι *b* και κανένα από τα οποία δεν διαπιστώθηκε να είναι μη *b*, τότε οι προτάσεις: (i) "το επόμενο *a* πρόκειται να είναι *b*", και (ii) "όλα τα *a* είναι *b*", έχουν και οι δυο μια πιθανότητα που αυξάνει όσο αυξάνει το *n*, και προσεγγίζει ως όριο τη βεβαιότητα καθώς το *n* προσεγγίζει το άπειρο».
>
> Θα ονομάζω "ειδική επαγωγή" (particular induction) την εκδοχή (i) και "γενική επαγωγή" (general induction) την εκδοχή (ii)." (1948, 401)

Μεταξύ της "ειδικής επαγωγής" και της "γενικής επαγωγής" που προτείνει ο Ράσελ μπορούμε να επιτρέψουμε να παρεισφρήσει ένας άλλος τύπος επαγωγής, σύμφωνα με τους ακόλουθους ορισμούς: (Σημειώστε ότι τα "*a*" και "*b*", στα οποία αναφέρεται ο Ράσελ, είναι ιδιότητες και όχι επιμέρους πράγματα):

> *Ορισμός*. Ως προς τη γνώση υποβάθρου *K*, το κατηγόρημα "*P*" είναι ασθενώς προβολικό (weakly projectible) επί της ακολουθίας των αντικειμένων $a_1, a_2, \ldots$ Στην περίπτωση ακριβώς κατά την οποία[15]
>
> $$\lim_{n\to\infty} Pr(Pa_{n+1}|Pa_1. \ldots .Pa_n. K) = 1$$
>
> *Ορισμός*. Ως προς τη γνώση υποβάθρου *K* το κατηγόρημα "*P*" είναι ισχυρώς

[15] Η ισότητα $\lim_{n\to\infty} x_n = L$ σημαίνει ότι για κάθε πραγματικό αριθμό $\varepsilon > 0$ υπάρχει κάποιος ακέραιος $N > 0$ τέτοιος ώστε για κάθε $n > N$ να ισχύει $|x_n - L| < \varepsilon$.

προβολικό επί της ακολουθίας των αντικειμένων a_1, a_2, ... Στην περίπτωση ακριβώς κατά την οποία

$$\lim_{n,\, m \to \infty} Pr(Pa_{n+1}. \ldots Pa_{n+m} | Pa_1. \ldots .Pa_n. K) = 1$$

(Ο συμβολισμός $\lim_{n,\, m \to \infty}$ εκφράζει το όριο όπου τόσο το m όσο και το n τείνουν στο άπειρο καθ' οιονδήποτε τρόπο.) Μια ικανή συνθήκη για να είναι ένα κατηγόρημα τόσο ασθενώς προβολικό όσο και ισχυρώς προβολικό είναι η γενική υπόθεση H: $(i)Pa_i$ να λαμβάνει μη μηδενική πρότερη πιθανότητα. Για να γίνει αντιληπτό ότι αυτό αποτελεί ικανή συνθήκη για να είναι ένα κατηγόρημα ασθενώς προβολικό, ας παρακολουθήσουμε την απόδειξη του Τζέφρι (Jeffrey, 1975). Από το θεώρημα του Μπέις,

$$Pr(H|Pa_1. \ldots .Pa_{n+1} . K) = \frac{Pr(Pa_1. \ldots . Pa_{n+1}|H.K) \cdot Pr(H|K)}{Pr(Pa_1. \ldots .Pa_{n+1}|K)}$$

$$= \frac{Pr(H|K)}{Pr(Pa_1|K) \cdot Pr(Pa_2|Pa_1.K) \cdot \ldots \cdot Pr(Pa_{n+1}|Pa_1. \ldots .Pa_n \cdot K)}$$

Εκτός από την περίπτωση όπου ο όρος $Pr(Pa_{n+1}|Pa_1. \ldots .Pa_n.K)$ τείνει προς τη μονάδα καθώς το $n \to \infty$, ο παρονομαστής του δεξιού σκέλους της δεύτερης ισότητας θα γίνει τελικά μικρότερος από τον αριθμητή $Pr(H/K)$, με συνέπεια το αριστερό σκέλος της ισότητας να γίνει μεγαλύτερο από τη μονάδα, πράγμα που αντιφάσκει με τη θεωρία των πιθανοτήτων.

Η συνθήκη

$$(P)\ Pr[(i)Pa_i|K] > 0$$

δεν είναι αναγκαία για ασθενώς προβολικά κατηγορήματα. Τα συστήματα επαγωγικής λογικής του Κάρναπ (βλέπε εδάφιο 6 στην παράγραφο 2.8 παραπάνω) αποτελούν συναφή παραδείγματα, αφού σε αυτά τα συστήματα η συνθήκη (P) δεν ισχύει για ένα σύμπαν με άπειρο αριθμό αντικειμένων, μολονότι ασθενώς προβολικά κατηγορήματα μπορούν κάλλιστα να ισχύουν.[16] Αν όμως επιβάλουμε να ισχύει επιπλέον η αριθμήσιμη προσθετικότητα (countable additivity)

---

[16] Μια μη μηδενική πρότερη πιθανότητα για τη γενική υπόθεση αποτελεί αναγκαία συνθήκη για την ύπαρξη ισχυρώς προβολικών κατηγορημάτων, όχι όμως και για την ύπαρξη ασθενώς προβολικών κατηγορημάτων. Αυτό το σημείο μπορεί να καταστεί σαφέστερο αν χρησιμοποιήσουμε το θεώρημα της αναπαράστασης του ντε Φινέτι (de Finetti), το οποίο λέει ότι αν το κατηγόρημα P μπορεί να εναλλάσσεται κατά την κατηγόρησή του επί των αντικειμένων a_1, a_2, ... (κάτι που σε πρώτη προσέγγιση σημαίνει ότι η πιθανότητα δεν εξαρτάται από τη διάταξη των όρων της ακολουθίας), τότε:

$$Pr(Pa_1. Pa_2. \ldots .Pa_n | K) = \int_0^1 \theta^n \, d\mu(\theta)$$

όπου $\mu(\theta)$ είναι ένα μοναδικά καθορισμένο μέτρο στο διάστημα $0 \leq \theta \leq 1$. Για το ομοιόμορφο μέτρο $d\mu(\theta) = d(\theta)$, έχουμε

$$Pr(Pa_{n+1}|Pa_1. \ldots .Pa_n . K) = n+1/n+2$$

και

$$Pr(Pa_{n+1}. \ldots .Pa_{n+m}|Pa_1. \ldots .Pa_n . K) = m+1/n+m+1.$$

$$(\mathrm{CA})\ \lim_{n\to\infty} Pr(Pa_i. \ldots .Pa_n|K) = Pr[(i)\ Pa_i|K]$$

τότε η (P) αποτελεί τόσο ικανή όσο και αναγκαία συνθήκη για την ύπαρξη ισχυρώς προβολικών κατηγορημάτων.

Επίσης, η αποδοχή των (CA) και (P) είναι ικανή να παράγει μια παραλλαγή της "γενικής επαγωγής" του Ράσελ, δηλαδή

$$(\mathrm{G})\ \lim_{n\to\infty} Pr[(i)\ Pa_i|Pa_1. \ldots Pa_n. K] = 1.$$

(Στο Russell 1948 αναπτύσσεται μια σειρά εμπειρικών αξιωμάτων τα οποία ο ίδιος θεώρησε απαραίτητα για τη θεμελίωση της επαγωγής. Από την παρούσα οπτική, μπορεί να θεωρηθεί ότι αυτά τα αξιώματα αφορούν το ερώτημα σε ποιες καθολικές υποθέσεις πρέπει να αποδίδονται μη μηδενικές πρότερες πιθανότητες.)

Με δεδομένη μια διαρκώς αυξανόμενη σειρά θετικών εμφανίσεων (που δεν διακόπτεται από καμιά αρνητική), οι σκεπτικιστές που εμπνέονται από την ανάλυση του Χιουμ και που συμμορφώνουν τις πεποιθήσεις τους προς τα αξιώματα της θεωρίας των πιθανοτήτων, δεν είναι δυνατό να διατηρούν το σκεπτικισμό τους σε ό,τι αφορά την επόμενη εμφάνιση, ή σε ό,τι αφορά την καθολική γενίκευση. Η μόνη περίπτωση που θα τους επέτρεπε να διατηρήσουν τη σκεπτικιστική στάση θα ήταν το να αποδώσουν μηδενική πρότερη πιθανότητα στην καθολική γενίκευση. Όμως το να ισχύει

$$Pr[(i)Pa_i|K] = 0$$

έχει ως συνέπεια

$$Pr[(\exists i)\ {\sim}Pa_i|K] = 1,$$

πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει βεβαιότητα σχετικά με την ύπαρξη αντιπαραδείγματος· αυτό το τελευταίο όμως δεν συμβιβάζεται και πολύ με μια συνεπή σκεπτικιστική στάση.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι τα παραπάνω αποτελέσματα αναφορικά με την επαγωγή ως προς μεμονωμένα συμβάντα ισχύουν ασχέτως από το αν το κατηγόρημα "P" είναι κανονικό ή κατά Γκούντμαν – ισχύουν, για παράδειγμα, το ίδιο καλά και προτάσεις του τύπου P^*a_i που ορίζονται ως

$$[(i \leq 2300)\ .\ Pa_i] \vee [(i > 2300)\ .\ {\sim}Pa_i],$$

όπου Pa_i σημαίνει ότι το a_i είναι κόκκινο. Όμως αυτό το γεγονός δεν δείχνει τίποτα άλλο παρά το πόσο ασθενή είναι τα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, αυτά ισχύουν μόνον οριακά, όταν $n \to \infty$, χωρίς να μας παρέχουν καμιά πληροφορία σχετικά με το πόσο γρήγορα προσεγγίζεται το όριο.

Ένας άλλος τρόπος να καταδειχθεί ο περιορισμένος χαρακτήρας των αποτελεσμάτων είναι να παρατηρήσουμε ότι η (P) δεν εγγυάται ούτε τη δυνατότητα ασθενούς προβολής στο πλαίσιο της ανάλυσης του Χιουμ.

Ορισμός. Ως προς τη γνώση υποβάθρου K, το κατηγόρημα *"P"* είναι *ασθενώς προβολικό κατά Χιουμ*, επί μίας αμφίπλευρα άπειρης ακολουθίας ..., a_{-2}, a_{-1}, a_0, a_1, a_2, ... ακριβώς όταν για κάθε τιμή του n

$$\lim_{k \to \infty} Pr(Pa_n | Pa_{n-1}. \ldots .Pa_{n-k}.K) = 1$$

(για να καταστεί σαφής η διαφορά μεταξύ χιουμιανής και μη χιουμιανής προβολικότητας, υποθέστε ότι η Pa_n σημαίνει ότι ο ήλιος ανατέλλει την ημέρα n. Η μη χιουμιανή προβολικότητα που δεν εμπίπτει στο πλαίσιο της ανάλυσης του Χιουμ απαιτεί το εξής: αν παρατηρηθεί η ανατολή του Ηλίου τις ημέρες 1, 2, κλπ., τότε για οποιοδήποτε $\varepsilon > 0$ θα φτάσει κάποια ημέρα N κατά την οποία η πιθανότητα ανατολής του Ηλίου για την ημέρα $N+1$ θα είναι τουλάχιστον 1-ε. Κατ' αντιδιαστολήν, αυτό που απαιτεί η χιουμιανή προβολικότητα είναι το εξής: αν παρατηρήθηκε ότι ο ήλιος ανέτειλε χθες, προχθές και ούτω καθ' εξής πίσω στο παρελθόν, τότε η πεποίθηση ότι ο ήλιος θα ανατείλει και αύριο εγγίζει τελικά τη βεβαιότητα.)

Αν η συνθήκη (P) ήταν ικανή για προβολικότητα κατά Χιουμ, τότε θα μπορούσαμε να αποδώσουμε μη μηδενική πρότερη πιθανότητα τόσο στην (*i*) Pa_i όσο και στην (*i*) P^*a_i. Το αποτέλεσμα θα ήταν, ενόσω συσσωρεύονται θετικά δείγματα από το παρελθόν, οι πιθανότητες τόσο για την Pa_{2301} όσο και για την P^*a_{2301} να εγγίζουν τη μονάδα, πράγμα που αποτελεί αντίφαση.

Μια ικανή συνθήκη προβολικότητας κατά Χιουμ είναι η ανταλλαξιμότητα (exchangeability).

Ορισμός. Ως προς τη γνώση υποβάθρου K, το *"P"* είναι *ανταλλάξιμο* επί των a_i ως προς Pr στην περίπτωση ακριβώς που για κάθε n, m

$$Pr(\pm Pa_n. \ldots .\pm Pa_{n+m}|K) = Pr(\pm Pa_{n'}. \ldots .\pm Pa_{n'+m'}|K)$$

όπου το ± δηλώνει ότι μπορεί να επιλεγεί είτε το P είτε η άρνησή του και όπου $[a_{i'}]$ είναι οποιαδήποτε αντιμετάθεση των a_i κατά την οποία όλα εκτός από έναν πεπερασμένο αριθμό παραμένουν αμετάβλητα. Πρέπει, λοιπόν, αντί για μια παραλλαγή του "κόκκινο" κατά Γκούντμαν, να χρησιμοποιούμε μια συνάρτηση πιθανότητας όπου το κατηγόρημα "κόκκινο" είναι ανταλλάξιμο; Η ανάλυση του Μπέις από μόνη της δεν απαντά, όπως δεν απαντά και στο ερώτημα ποιος θα εί-

ναι νικητής στις εκλογές το 2300. Μας επιτρέπει όμως να προσδιορίσουμε τις προκείμενες που μπορούν να εγγυηθούν την εγκυρότητα των διαφόρων τύπων επαγωγής.

Αφού επαινέσαμε τις αρετές της μπεϊσιανής προσέγγισης στην επικύρωση, είναι τώρα δίκαιο να αναγνωρίσουμε ότι υπήρξε αντικείμενο σοβαρής κριτικής. Αν καταφέρει να τις αντιμετωπίσει, θα γίνει περισσότερο γοητευτική.

2.10 ΚΡΙΤΙΚΕΣ ΣΤΗΝ ΜΠΕΪΣΙΑΝΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

*1. **Μη μηδενική πρότερη πιθανότητα.*** Ο Πόππερ (1959) ισχυρίζεται ότι "σε ένα άπειρο σύμπαν ... η πιθανότητα οποιουδήποτε (μη ταυτολογικού) καθολικού νόμου είναι μηδενική". Αν ο Πόππερ είχε δίκιο στο ότι οι καθολικές γενικεύσεις είναι αδύνατο να τύχουν πιθανοκρατικής ανάλυσης, τότε η μπεϊσιανή προσέγγιση σε ό,τι αφορά τις θεωρίες των αναπτυγμένων επιστημών θα ήταν άχρηστη, οπότε ίσως θα έπρεπε να καταφύγουμε στην ποππεριανή μέθοδο της επίρρωσης (Βλέπε εδάφιο 4 στην Παράγραφο 2.8 παραπάνω).

Για να εδραιώσουμε τον κύριο αρνητικό ισχυρισμό του Πόππερ, θα αρκούσε να δείξουμε ότι η πρότερη πιθανότητα μιας καθολικής γενίκευσης οφείλει να είναι μηδέν. Θεωρήστε και πάλι την υπόθεση *H:* (*i*) Pa_1. Αφού για κάθε *n*,

$$H \vdash Pa_1.\, Pa_2.\, \ldots .\, Pa_n,$$
$$Pr\,(H|K) \leq \lim_{n \to \infty} Pr(Pa_1.\, \ldots .\, Pa_n|K).$$

Υποθέστε κατόπιν ότι

(I) για κάθε *n*, $Pr(Pa_1.\, \ldots .\, Pa_n|K) = Pr(Pa_1|K) \cdot \ldots \cdot Pr(Pa_n|K)$

και επιπλέον ότι

(E) για οποιοδήποτε *m* και *n*, $Pr(Pa_m|K) = Pr(Pa_n|K)$.

Τότε, εκτός από την τετριμμένη περίπτωση όπου $Pr\,(Pa_n|K) = 1$ για κάθε *n*, έπεται ότι

$$\lim_{n \to \infty} Pr(Pa_1.\, \ldots .\, Pa_n|K) \doteq 0$$

και άρα ότι $Pr(H|K) = 0$.

Το επιχείρημα του Πόππερ παρουσιάζεται ευάλωτο σε αρκετά σημεία του. Η συνθήκη (E) αποτελεί μια μορφή ανταλλαξιμότητας, και είδαμε προηγουμένως ότι δεν είναι δυνατό να ισχύει για όλα τα κατηγορήματα. Ο Πόππερ όμως θα μπορούσε να απαντήσει ότι αν η (E) αποτυγχάνει, τότε το ίδιο συμβαίνει και σε

διάφορους τύπους επαγωγισμού (για παράδειγμα, στη Χιουμιανή προβολικότητα). Το κύριο σημείο όπου εστιάζει την κριτική του ένας επαγωγιστής είναι η προκείμενη (I), η οποία αφορά την ανεξαρτησία εμφάνισης (των στιγμιοτύπων). Η απάντηση του Πόππερ είναι ότι η απόρριψη της (I) ισοδυναμεί με το να θεωρήσουμε ότι υπάρχει κάποιο είδος αιτιακής σχέσης μεταξύ των δυνατών εμφανίσεων. Αυτό όμως αστοχεί, αφού ο επαγωγιστής μπορεί να ισχυριστεί ότι μεταξύ των δυνατών εμφανίσεων υπάρχει πιθανοκρατική εξάρτηση, χωρίς να προϋποτίθεται ότι αυτές είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένες μεταξύ τους με κάποιο είδος αιτιακής κόλλας.

Σε μιαν άλλη απόπειρα να καταδείξει ότι οι πιθανοκρατικές μέθοδοι είναι καταδικασμένες σε ασυνέπεια, ο Πόππερ παραθέτει την απόδειξη του Τζέφρι, που εκθέσαμε προηγουμένως, σύμφωνα με την οποία η απόδοση μη μηδενικής πιθανότητας στην (*i*) Pa_i εγγυάται ότι

$$\lim_{n \to \infty} Pr(Pa_{n+1} | Pa_1. \ldots . Pa_n.K) = 1$$

Ο Πόππερ επιμένει ότι κοντά στο βασιλικό πρέπει να ποτίζεται και η γλάστρα. Δηλαδή, μπορούμε να κάνουμε το ίδιο και για ένα κατηγόρημα P^* κατά Γκούντμαν και από τις προτάσεις που ισχύουν στο όριο να συμπεράνουμε ότι για κάποιο $r > 0.5$ υπάρχει ένα επαρκώς μεγάλο N, έτσι ώστε για κάθε $N' > N$ οι πιθανότητες για τις Pa_N και P^*a_N να είναι μεγαλύτερες από r, πράγμα όμως που οδηγεί σε αντίφαση για κατάλληλα επιλεγμένο P^*. Η επιχειρηματολογία, όμως, εδώ είναι λανθασμένη και στην πραγματικότητα στο θεώρημα του Τζέφρι δεν ελλοχεύει καμιά αντίφαση για τα όρια, αφού δεν υποτίθεται ότι η σύγκλιση είναι ομοιόμορφη επί των διαφορετικών κατηγορημάτων. Στην πραγματικότητα, η επιχειρηματολογία του Πόππερ δείχνει ότι δεν μπορεί να είναι.

Φυσικά, τίποτα από όλα αυτά δεν βοηθά στο να δοθούν τελικές απαντήσεις στα δύσκολα ερωτήματα που αφορούν το σε ποιες υποθέσεις θα πρέπει να αποδοθούν μη μηδενικές πρότερες πιθανότητες και ποιο θα πρέπει να είναι το μέγεθος μιας τέτοιας τιμής. Το παράδειγμα από το εδάφιο 5 της Παραγράφου 2.8 παραπάνω υποδεικνύει ότι το τελευταίο τουλάχιστον ερώτημα μπορεί να αγνοηθεί σε κάποιο βαθμό, αφού η συσσώρευση τεκμηρίων τείνει να εξαφανίσει τις διαφορές στις τιμές των πρότερων πιθανοτήτων οδηγώντας στη συγχώνευση των ύστερων πεποιθήσεων. Ορισμένα ισχυρά αποτελέσματα από την προχωρημένη θεωρία των πιθανοτήτων δείχνουν ότι μια τέτοια συγχώνευση συμβαίνει υπό πολύ γενικές προϋποθέσεις (επ' αυτού βλέπε Gaifman και Snir 1982).

2. ***Αύξηση της πιθανότητας έναντι επαγωγικής στήριξης.*** Οι Πόππερ και Μίλλερ (Popper και Miller, 1983) υποστήριξαν ότι η αύξηση της τιμής πιθανότητας δεν ισοδυναμεί με την αυθεντική επαγωγική στήριξη, ακόμα και αν παραδεχθούμε ότι οι καθολικές υποθέσεις έχουν μη μηδενική πρότερη πιθανότητα και ότι, ως εκ τούτου, μπορούν να καθίστανται όλο και πιο πιθανές καθώς αυξάνει το πλή-

θος των συσσωρευόμενων θετικών τεκμηρίων. Το επιχείρημα βασίζεται στην εφαρμογή δύο λημμάτων από το λογισμό των πιθανοτήτων:

Λήμμα 1. $Pr(\sim H|E.K) \times Pr(\sim E|K) = Pr(H \vee \sim E|K) - Pr(H \vee \sim E|E.K)$.

Το λήμμα 1 οδηγεί εύκολα στο

Λήμμα 2. Αν $Pr(H|E.K) < 1$ και $Pr(E|K) < 1$, τότε
$Pr(H \vee \sim E|E.K) < Pr(H \vee \sim E|K)$.

Ας εφαρμόσουμε το Λήμμα 2 στην περίπτωση που εξετάσαμε προηγουμένως, όπου η μπεϊσιανή ανάλυση χρησιμοποιήθηκε για να δείξει ότι, κάτω από ορισμένες συνθήκες, η Υ-Π μέθοδος δεν οδηγεί σε επαυξητική επικύρωση. Θυμηθείτε πως δεχθήκαμε ότι

$$H, K \vdash E, \ 1 > Pr(E|K) > 0, \text{ και } 1 > Pr(H|K) > 0$$

και κατόπιν δείξαμε ότι

$$Pr(H|E.K) > Pr(H|K),$$

πράγμα που οι επαγωγιστές εννοούν να ερμηνεύουν ως αποτέλεσμα που δείχνει ότι η E παρέχει επαγωγική στήριξη στην H βάσει της K. Ενάντια σε αυτή την ερμηνεία οι Πόππερ και Μίλλερ παρατηρούν ότι η H είναι λογικά ισοδύναμη προς την $(H \vee E) . (H \vee \sim E)$. Ο πρώτος όρος της σύζευξης συνάγεται με παραγωγή από την E, πράγμα που οδηγεί τους ίδιους να ταυτίσουν τον δεύτερο όρο ως εκείνο το τμήμα της H που υπερβαίνει τα διαθέσιμα τεκμήρια. Σύμφωνα με το Λήμμα 2 όμως, το εν λόγω τμήμα είναι αυτό ως προς το οποίο το τεκμήριο E λειτουργεί *αντίθετα προς την υπόθεση*, εκτός από την τετριμμένη περίπτωση όπου η σύζευξη $E.K$ καθιστά την H πιθανοκρατικά βέβαιη.

Ο Τζέφρι (1984) αντιτίθεται στην ταύτιση του $H \vee \sim E$ με εκείνο το μέρος της H που υπερβαίνει τα διαθέσιμα τεκμήρια. Για να γίνει αντιληπτό το πού εδράζεται αυτή η αντίρρηση, θεωρήστε την περίπτωση όπου

$$H: (i)\ Pa_i \text{ και } E: Pa_1 . \ldots . Pa_n .$$

Διαισθητικά, το μέρος της H που υπερβαίνει τα διαθέσιμα τεκμήρια είναι το (i) $[(i > n) \ldots Pa_i]$ και όχι αυτό που προτείνεται από τους Πόππερ και Μίλλερ, δηλαδή το (i) $Pa_1 \vee \sim(Pa_1 . \ldots . Pa_n)$.

Ο Γκίλις (Gillies, 1986) επαναδιατύπωσε το επιχείρημα των Πόππερ και Μίλλερ χρησιμοποιώντας ένα μέτρο επαγωγικής στήριξης βασισμένο στο επαυξητικό μοντέλο της επικύρωσης: (αφήνοντας κατά μέρος την K) η στήριξη που παρέχει το E στην H είναι $S(H,E) = Pr(H|E) - Pr(H)$. Μπορούμε τότε να δείξουμε ότι

Λήμμα 3. $S(\text{H}, E) = S(H \vee E, E) + S(H \vee \sim E, E)$.

Ο Γκίλις πρότεινε να οριστεί ο όρος $S(H \vee E, E)$ ως η παραγωγική στήριξη που παρέχει το E στην H, και ο όρος $S(H \vee \sim E, E)$ ως η επαγωγική στήριξη. Και όπως είδαμε ήδη, στις μη τετριμμένες περιπτώσεις αυτός ο τελευταίος όρος είναι αρνητικός. Οι Νταν και Χέλμαν (Dunn and Hellman, 1986) αντέδρασαν με τη χρησιμοποίηση της διάζευξης. Η υπόθεση H είναι λογικά ισοδύναμη με τη διάζευξη $(H.E) \vee (H.\sim E)$, ενώ $S(H, E) = S(H.E, E) + S(H.\sim E, E)$. Ο δεύτερος όρος του τελευταίου αθροίσματος ταυτίζεται με την παραγωγική αντίθεση προς την υπόθεση. Όμως, αφού αυτός παίρνει αρνητικές τιμές, κάθε θετική στήριξη πρέπει να παρέχεται από τον πρώτο όρο, ο οποίος αποτελεί μέτρο της μη επαγωγικής στήριξης.

3. Το πρόβλημα των παλιών τεκμηρίων. Κατά τον προσδιορισμό του έγκυρου πυρήνα της Υ-Π από την μπεϊσιανή προσέγγιση δεχθήκαμε ότι $Pr(E/K) < 1$, πράγμα που σημαίνει ότι στο τεκμήριο E ενέχεται ένα στοιχείο εκπλήξεως. Συχνά, όμως, αυτό δεν συμβαίνει σε σημαντικά ιστορικά παραδείγματα. Όταν ο Αϊνστάιν πρότεινε τη γενική θεωρία της σχετικότητας (H) στα τέλη του 1915, η ανώμαλη μετάπτωση του περιηλίου του Ερμή (E) ήταν ήδη γνωστή. Ήταν, δηλαδή, $Pr(E|K) = 1$. Έτσι, $Pr(H|E.K) = Pr(H|K)$ και, κατά συνέπεια, σύμφωνα με την επαυξητική αντίληψη για την επικύρωση, το περιήλιο του Ερμή δεν επικυρώνει τη θεωρία του Αϊνστάιν. Μια τέτοια θεώρηση όμως αντιτίθεται προκλητικά στο γεγονός ότι η επίλυση του προβλήματος του περιηλίου του Ερμή έγινε ευρέως αποδεκτή ως ένας από τους μεγαλύτερους θριάμβους της γενικής σχετικότητας. Θα ήταν δυνατό, βέβαια, να αναζητηθεί η εξήγηση αυτού του θριάμβου με τρόπο που να μην έχει σχέση με την επικύρωση. Όμως αυτό θα ήταν κίνηση απελπισίας.

Οι Γκάρμπερ (Garber, 1983) και Τζέφρι (1983) ζήτησαν να δοθεί ένα πιο ανθρώπινο πρόσωπο στην μπεϊσιανή ανάλυση. Η μπεϊσιανή προσέγγιση αφορά πραγματικούς επιστήμονες, οι οποίοι δεν είναι παντογνώστες από λογική σκοπιά, και ο Αϊνστάιν, παρ' όλη τη μεγαλοφυΐα του, δεν αποτελεί εξαίρεση. Όταν αυτός πρότεινε τη γενική σχετικότητα, δεν γνώριζε ότι η θεωρία του θα επέλυε όντως την ανωμαλία του περιηλίου, και χρειάστηκε να επιδοθεί σε μια περίπλοκη διαδικασία απόδειξης για να δείξει ότι αυτή συνεπαγόταν τα υπολειπόμενα 43″ της μοίρας ανά αιώνα. Οι επιστήμονες με σάρκα και οστά δεν μαθαίνουν μόνο εμπειρικά γεγονότα αλλά και λογικο-μαθηματικά γεγονότα, και αν θεωρήσουμε ότι τα νέα τεκμήρια συνίστανται σε τέτοιου τύπου γεγονότα, μπορούμε να ελπίζουμε ότι το επαυξητικό μοντέλο της επικύρωσης θα παραμείνει αλώβητο. Για να καταστεί αυτό σαφέστερο, ας δεχθούμε ότι ο Αϊνστάιν το 1915 είχε τους ακόλουθους βαθμούς πεποίθησης:

(α) $Pr(H|K) > 0$ (Ο Αϊνστάιν απέδιδε μη μηδενική πρότερη πιθανότητα στη γενική του θεωρία.)

(β) $Pr(E|K) = 1$ (Η μετάπτωση του περιηλίου αποτελεί παλιό τεκμήριο.)

(γ) $Pr(H \vdash E|K) < 1$ (Ο Αϊνστάιν δεν ήταν παντογνώστης από λογική άποψη και δεν εφηύρε τη θεωρία του μόνο και μόνο για να εγγυηθεί ότι συνεπαγόταν τα 43΄΄.)

(δ) $Pr[(H \vdash E) \vee (H \vdash \sim E)|K] = 1$ (Ο Αϊνστάιν γνώριζε ότι η θεωρία του συνεπαγόταν κάποιο συγκεκριμένο αποτέλεσμα για την κίνηση του περιηλίου.)

(ε) $Pr[H . (H \vdash \sim E)|K] = Pr[H . (H \vdash \sim E) . \sim E|K]$ (Είναι ο περιορισμός που μας επιβάλλει να ερμηνεύουμε το σύμβολο "$\vdash$" ως λογική συνεπαγωγή.)

Από τις σχέσεις (α) ώς (ε) μπορεί να αποδειχθεί ότι $Pr[H|(H \vdash E) . K] > Pr(H|K)$. Έτσι, το ότι έμαθε πως η θεωρία του παρήγαγε το ευτυχές αποτέλεσμα αύξησε την εμπιστοσύνη του Αϊνστάιν στη θεωρία του.

Παρόλο που η προσέγγιση των Γκάρμπερ και Τζέφρι διαθέτει την αρετή να εξανθρωπίζει τους επιστήμονες στην μπεϊσιανή ανάλυση, καθιστώντας τους έτσι πιο πραγματικούς, αποφεύγει το ερώτημα αν το φαινόμενο του περιηλίου όντως επικυρώνει τη γενική θεωρία της σχετικότητας, εστιάζοντας αντ' αυτού στην προσωπική ψυχολογία του Αϊνστάιν. Ούτε αρκεί να ξεχάσουμε το ζήτημα με τη δικαιολογία ότι η προσωποκεντρική μορφή του μπεϊσιανισμού ενδιαφέρεται ακριβώς για την ψυχολογία των συγκεκριμένων επιστημόνων. Και τούτο γιατί, ακόμα και αν το κύριο ενδιαφέρον μας περιοριζόταν αποκλειστικά στην προσωπικότητα του ίδιου του Αϊνστάιν, οι προηγούμενοι υπολογισμοί φαίνεται να χάνουν το ουσιώδες. Σήμερα πιστεύουμε ότι, για τον Αϊνστάιν του 1915, το φαινόμενο του περιηλίου αποτέλεσε ισχυρή επικύρωση της γενικής θεωρίας του. Και, αντίθετα με ό,τι φαίνεται να προτείνει η προσέγγιση των Γκάρμπερ και Τζέφρι, δεν πρόκειται να αλλάξουμε τις απόψεις μας αν οι ιστορικοί ανακαλύψουν ένα χειρόγραφο του Αϊνστάιν όπου θα διαβάσουμε ότι, καθώς αυτός κατέγραφε τις εξισώσεις του για τα πεδία, διείδε μέσα σε μια έκλαμψη μαθηματικής έμπνευσης ότι $H \vdash E$, ή ότι ενσυνειδήτως συνέταξε τις εξισώσεις πεδίου ώστε να προεξοφλήσει τη συνεπαγωγή του E. Τα ερωτήματα: "Επικύρωσε άραγε το τεκμήριο E την υπόθεση H για τον Αϊνστάιν;" και "Άραγε το γεγονός ότι ο Αϊνστάιν έμαθε πως $H \vdash E$ συνέβαλε στο να αυξηθεί η εμπιστοσύνη του στην H;" θέτουν δύο ξεχωριστά ζητήματα στα οποία ενδέχεται να αντιστοιχούν δύο διαφορετικές απαντήσεις. (Επιπλέον, το γεγονός ότι στην μπεϊσιανή προσέγγιση επιτρέπεται στους επιστήμονες να αποδώσουν $Pr(H \vdash E|K) < 1$, δηλαδή να μη γνωρίζουν τα πάντα εκ των προτέρων, σημαίνει ότι πρέπει να εγκαταλειφθεί η δικαιολόγηση των αξιωμάτων της θεωρίας των πιθανοτήτων με προσφυγή στα Ολλανδικά στοιχήματα. Κάτι τέτοιο αποτελεί ανάθεμα για τους ορθόδοξους προσωποκεντρικούς μπεϊσιανούς, οι οποίοι στηρίζονται στον ορισμό της πιθανότητας μέσω στοιχημάτων.)

Μια διαφορετική προσέγγιση στο πρόβλημα των παλιών τεκμηρίων συνίσταται στην εφαρμογή του επαυξητικού μοντέλου της επικύρωσης στους βαθμούς πεποίθησης για αντιγεγονικές υποθέσεις, τους οποίους θα διαθέταμε αν το τεκμήριο *E* δεν ήταν γνωστό. Οι αναγνώστες καλούνται να διερευνήσουν τις προοπτικές και τα προβλήματα μιας τέτοιας προσέγγισης από μόνοι τους. (Για μια περαιτέρω ανάλυση του προβλήματος των παλιών τεκμηρίων, βλέπε Howson 1985, Eells 1985 και van Fraassen 1988.)

2.11 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Θέμα αυτού του κεφαλαίου ήταν *η λογική της επιστήμης*. Προσπαθήσαμε να αναλύσουμε και να κατανοήσουμε τους τύπους συναγωγής που θεωρούνται νόμιμοι για την εδραίωση των επιστημονικών αποτελεσμάτων – και ειδικότερα για τη στήριξη εκείνων των υποθέσεων που αποτελούν μέρος του συνολικού περιεχομένου της μιας ή της άλλης επιστήμης. Ξεκινήσαμε εξετάζοντας μερικούς πολύ απλούς και βασικούς τρόπους επιχειρηματολογίας – την Υ-Π μέθοδο, την επικύρωση μέσω στιγμιοτύπων, και την επαγωγή με απαρίθμηση. Ασφαλώς (και αντίθετα με την άποψη του Πόππερ) όλοι αυτοί οι τρόποι απαντώνται συχνά κατά την τρέχουσα επιστημονική πρακτική.

Τόσο στη σύγχρονη επιστήμη όσο και στην ιστορία της επιστήμης, διαπιστώνουμε ότι οι επιστήμονες προτείνουν υποθέσεις από τις οποίες (με τη βοήθεια αρχικών συνθηκών και βοηθητικών υποθέσεων) παράγουν παρατηρησιακές προβλέψεις. Ο έλεγχος της θεωρίας της σχετικότητας του Αϊνστάιν μέσω της παρατήρησης ότι κατά τη διάρκεια μιας ολικής έκλειψης η τροχιά του φωτός που προέρχεται από έναν μακρινό αστέρα καμπυλώνεται καθώς αυτό περνά κοντά στον Ήλιο είναι ένα από τα συχνότερα παρατιθέμενα παραδείγματα. Στο παρόν κεφάλαιο εκθέσαμε και άλλα παραδείγματα. Είτε το παράδειγμα που επιλέγεται είναι τόσο περίπλοκο όσο η γενική θεωρία της σχετικότητας, είτε τόσο απλό όσο ο νόμος του Μπόιλ, τα λογικά προβλήματα που ανακύπτουν είναι ίδια. Παρόλο που η Υ-Π μέθοδος περιέχει έναν πυρήνα εγκυρότητας –όπως δείχνει ο κανόνας του Μπέις– αυτή πρέπει να θεωρείται ως υπεραπλούστευση όσων πραγματικά υπεισέρχονται στην επιστημονική επικύρωση. Ο ίδιος ο κανόνας του Μπέις φαίνεται να προσφέρει ένα κατά πολύ επαρκέστερο σχήμα σε σύγκριση με την Υ-Π μέθοδο. Όμως, όπως είδαμε, και αυτή η προσέγγιση είναι εκτεθειμένη σε σοβαρές αντιρρήσεις (όπως, για παράδειγμα, με το πρόβλημα των παλιών τεκμηρίων).

Όταν εξετάσαμε τη θεωρία του Χέμπελ για την επικύρωση μέσω στιγμιοτύπων, αναφερθήκαμε σε ένα παράδειγμα που παρατίθεται πολύ συχνά στη φιλοσοφική βιβλιογραφία, δηλαδή στη γενίκευση "Όλα τα κοράκια είναι μαύρα". Αν αυτή η πρόταση αποτελεί επιστημονική γενίκευση, τότε από πλευράς επιπέδου σπουδαιότητας βρίσκεται πολύ χαμηλά. Ωστόσο, δεν παύει να έχει σημασία. Τα συνθετότερα παραδείγματα εγείρουν τα ίδια λογικά προβλήματα. Σήμερα, οι επι-

στήμονες στρέφουν το ενδιαφέρον και τον ενθουσιασμό τους σε γενικεύσεις όπως: "Όλες οι ουσίες που διαθέτουν τη χημική δομή $YBa_2Cu_3O_7$ είναι υπεραγωγοί στους 70° K". Σαν να μην ήταν ήδη αρκετά περίεργη μια ορνιθολογία γραφείου, η ανάλυση του Χέμπελ μας επιτρέπει να επικυρώσουμε αυτήν την τελευταία λέξη επιστημονικής γενίκευσης παρατηρώντας μαύρες κάργιες. Φαίνεται σαν οι παρατηρήσεις των ορνιθολόγων να μπορούν να επικυρώνουν υποθέσεις της Φυσικής Στερεάς Κατάστασης. (Αντιλαμβανόμαστε, βέβαια, ότι οι θιασώτες των κινημάτων για την προστασία της πανίδας θα είχαν σοβαρές αντιρρήσεις για το είδος του πειραματικού ελέγχου που θα έπρεπε να διεξαχθεί για την εδραίωση της υπόθεσης ότι ένα κοράκι δεν παρουσιάζει ιδιότητες υπεραγωγού στους 70° K.) Άλλωστε, σημειώσαμε ήδη τους εξαιρετικούς περιορισμούς που επιβάλλονται στα είδη τεκμηρίων που μπορούμε να συλλέξουμε με έναν τέτοιο τρόπο.

Μολονότι η επαγωγή με απαρίθμηση χρησιμοποιείται για την εδραίωση καθολικών γενικεύσεων, η κατ' εξοχήν χρησιμότητά της στη σύγχρονη επιστήμη είναι συνδυασμένη με γενικεύσεις στατιστικού τύπου. Ένα από τα πρώτα παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι και η μέτρηση, από τον Ράδερφορντ (Rutherford), της συχνότητας με την οποία σωματίδια άλφα που βομβαρδίζουν λεπτά φύλλα χρυσού ανακλώνται υπό γωνίες παραπλήσιες προς τη γωνία πρόσπτωσης. Η καταμέτρηση αυτών των περιπτώσεων οδήγησε σε μια στατιστική υπόθεση που αποδίδει σταθερές συχνότητες σε γεγονότα τέτοιου τύπου. Ένα πιο πρόσφατο παράδειγμα –στο οποίο ενέχονται πολυσύνθετα πειράματα– αφορά την ανίχνευση νετρίνων που προέρχονται από τον Ήλιο. Οι φυσικοί απορούν με το γεγονός ότι η μετρούμενη συχνότητα καταγραφής τέτοιων γεγονότων είναι κατά πολύ μικρότερη από αυτήν που προβλέπουν οι τρέχουσες θεωρίες. (Προφανώς, είναι οι πιθανότητες ως συχνότητες που ενέχονται στα παραδείγματα αυτά.) Σε κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις πραγματοποιείται μια επαγωγική γενίκευση στη βάση των παρατηρηθέντων συχνοτήτων. Ωστόσο, όταν αναλύσαμε την επαγωγή με απαρίθμηση διαπιστώσαμε ότι αυτή υποφέρει τόσο από τον παλιό γρίφο του Χιουμ, όσο και από τον νέο γρίφο του Γκούντμαν.

Μια εξέλιξη ανυπολόγιστης σημασίας για τη φιλοσοφία της επιστήμης του εικοστού αιώνα αποτέλεσε το πλατιά διαδεδομένο ερώτημα του κατά πόσο υπάρχει κάτι σαν τη *λογική* της επιστήμης. Το έργο *Η δομή των Επιστημονικών Επαναστάσεων* του Τόμας Κουν (Tomas Kuhn, 1962, 1970),* το οποίο άσκησε πολύ μεγάλη επίδραση, ισχυρίζεται ότι στις επιστημονικές θεωρίες (ή υποθέσεις) εμπλέκονται παράγοντες που υπερβαίνουν την παρατήρηση και τη λογική και στους οποίους συμπεριλαμβάνονται η κρίση, η πειθώ, καθώς και ποικίλες ψυχολογικές και κοινωνιολογικές επιδράσεις. Ωστόσο, υπάρχει το ισχυρό ενδεχόμενο να έγραφε περί υπέρβασης των ορίων της παρατήρησης και της λογικής έχο-

* Ελληνική μετάφραση: *Η δομή των επιστημονικών επαναστάσεων*, Εκδόσεις Σύγχρονα Θέματα, Θεσσαλονίκη 1981, μτφ. Γ. Γεωργακόπουλος και Β. Κάλφας, εισαγωγή Β. Κάλφας [Σ.τ.Μ.].

ντας κατά νου μόνο το υπερβολικά ανεπαρκές Υ-Π σχήμα. (Βλέπε Salmon 1989 για μια εκτεταμένη ανάλυση αυτού του ερωτήματος, καθώς επίσης και για μια ανάλυση των απόψεων του Κουν υπό το φως του κανόνα του Μπέις). Τα ζητήματα που ανέκυψαν από την προσέγγιση του Κουν στα προβλήματα της φιλοσοφίας της επιστήμης αναλύονται επί μακρόν στο Κεφάλαιο 4 του παρόντος βιβλίου.

Μεταξύ των προβλημάτων που πραγματευτήκαμε εδώ υπάρχουν ασφαλώς και αρκετά για τα οποία δεν διαθέτουμε ικανοποιητικές λύσεις. Θεμελιώδη φιλοσοφικά προβλήματα εξακολουθούν να υφίστανται. Ωστόσο, η εκτεταμένη και σε βάθος φιλοσοφική εργασία των φιλοσόφων της επιστήμης του εικοστού αιώνα σε αυτές της περιοχές είχε ως αποτέλεσμα τη διασάφηση πολλών από αυτά τα προβλήματα. Η φιλοσοφία της επιστήμης είναι μια περιοχή έρευνας στην οποία επενδύεται σήμερα σημαντική ερευνητική εργασία, από την οποία θα πρέπει να αναμένονται σπουδαία αποτελέσματα.

ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΣΥΖΗΤΗΣΙΝ

1. Επιλέξτε μια επιστήμη με την οποία να είσαστε εξοικειωμένοι και βρείτε μια υπόθεση ή μια θεωρία η οποία να θεωρείται ότι επικυρώνεται από κάποιο τεκμήριο. Προσπαθήστε να προσδιορίσετε τη σχέση μεταξύ του τεκμηρίου και της υπόθεσης ή της θεωρίας από τη σκοπιά των διαφόρων τρόπων που αναλύθηκαν εδώ. Αν κανένας από αυτούς δεν μπορεί να εφαρμοστεί, μπορείτε τότε να βρείτε κάποιον νέο τρόπο;
2. Αν η πρότερη πιθανότητα κάθε καθολικής υπόθεσης είναι μηδενική, πώς πρέπει να εκτιμήσετε την πιθανότητα της πρότασης ότι υπάρχουν μονόκεροι (τουλάχιστον ένας); Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
3. Αποδείξτε ότι ο συνδυασμός της συνθήκης συνεπαγωγής, της συνθήκης ειδικής συνεπείας και της συνθήκης αντίστροφης συνεπείας (βλέπε Παράγραφο 2.4) έχει ως αποτέλεσμα την επικύρωση της H από οποιοδήποτε E.
4. Θεωρήστε έναν πληθυσμό που αποτελείται από όλους τους ενήλικες μιας συγκεκριμένης εκλογικής περιφέρειας. Θέλουμε να ελέγξουμε την υπόθεση ότι όλοι οι ψηφοφόροι είναι εγγράμματοι,

$$(x)(\Psi x \supset Ex)$$

η οποία είναι προφανώς ισοδύναμη με την

$$(x)(\sim\Psi x \supset \sim Ex).$$

Υποθέστε ότι το 75% περίπου του πληθυσμού είναι εγγράμματοι ψηφοφόροι, 15% περίπου είναι εγγράμματοι μη ψηφοφόροι, 5% περίπου είναι αγράμματοι

μη ψηφοφόροι και 5% περίπου είναι αγράμματοι ψηφοφόροι – όμως αυτό δεν αποκλείει τη δυνατότητα να μην υπάρχουν αγράμματοι ψηφοφόροι. Κρίνετε ότι είναι καλύτερο να επιλέξουμε το στατιστικό δείγμα από την κλάση των ψηφοφόρων ή από αυτή των αγραμμάτων; Δικαιολογήστε την απάντησή σας. [Το παράδειγμα αυτό αναφέρεται στο Suppes, 1966, σελ. 201.]

5. Τα παραδείγματα του Γκούντμαν αμφισβητούν την ιδέα ότι οι υποθέσεις επικυρώνονται από τα στιγμιότυπά τους. Ο Γκούντμαν υποστηρίζει ότι η διάκριση μεταξύ των υποθέσεων που χαρακτηρίζονται από τη δυνατότητα προβολής και αυτών που δεν χαρακτηρίζονται από αυτή την ιδιότητα μπορεί να γίνει με όρους *παγίωσης* (entrenchment). Τα κατηγορήματα παγιώνονται είτε ως υπόθεση είτε ως απόδοση παίζοντας αυτούς τους ρόλους σε καθολικές υποθετικές προτάσεις οι οποίες προβάλλονται πραγματικά. Ονομάστε μια υπόθεση *επιτρέψιμη* στην περίπτωση ακριβώς που βρεθούν για αυτήν κάποια θετικά στιγμιότυπα, κανένα αρνητικό στιγμιότυπο, και δεν έχει ακόμα εξαντληθεί. Λέμε ότι *η H κατισχύει* (overrides) *της H′* στην περίπτωση ακριβώς που η σύζευξή τους συνεπάγεται αντίφαση, η *H* είναι επιτρέψιμη και σταθερότερα παγιωμένη από την *H′* (δηλαδή, διαθέτει σταθερότερα παγιωμένη υπόθεση και εξίσου παγιωμένη απόδοση, ή αντίστροφα) και η *H* δεν αντιφάσκει προς μια ακόμα σταθερότερα παγιωμένη επιτρέψιμη υπόθεση. Εξετάστε κριτικά την ιδέα ότι η *H* είναι προβολική βάσει των θετικών στιγμιοτύπων της ακριβώς στην περίπτωση όπου είναι επιτρέψιμη και δεν έχει κατισχυθεί.
6. Αποδείξτε ότι η

$$H : (x)\,(\exists y)\,Rxy.(x)\sim Rxx.(x)\,(y)\,(z)\,[(Rxy.Ryz) \supset Rxz]$$

δεν μπορεί να επικυρωθεί κατά Χέμπελ από οποιαδήποτε συνεπή πρόταση τεκμηρίου *E*.

7. Στη φιλοσοφία της επιστήμης δεχόμαστε ότι αν κάποιος θέλει να παραστήσει αριθμητικά το βαθμό στήριξης της *H* από το τεκμήριο *E*, ως προς το υπόβαθρο γνώσης *B*, τότε οι αριθμοί που προκύπτουν –δηλαδή, $Pr(H|E.B)$– πρέπει να υπακούουν στο λογισμό των πιθανοτήτων. Ποιες θα είναι οι προοπτικές ενός εναλλακτικού λογισμού; (Υπόδειξη: Εξετάστε καθένα από τα αξιώματα χωριστά και αναρωτηθείτε για τις περιστάσεις υπό τις οποίες κάθε αξίωμα μπορεί να παραβιάζεται στο πλαίσιο της θεωρίας επικύρωσης. Ποιο εναλλακτικό αξίωμα θα επιλέγατε;)
8. Αν ο κανόνας του Μπέις θεωρηθεί ως σχήμα επικύρωσης των επιστημονικών υποθέσεων είναι επιβεβλημένο να αποφασίσουμε σχετικά με το ποια ερμηνεία των πιθανοτήτων είναι η καταλληλότερη για αυτό το πλαίσιο. Είναι αποφασιστικής σημασίας να καθορίσουμε το πώς πρέπει να εννοηθεί η πρότερη πιθανότητα. Εξετάστε αυτό το πρόβλημα υπό το φως των επιτρεπτών ερμηνειών που αναλύονται σε τούτο το κεφάλαιο.
9. Ο Γουλιέλμος Τέλος πρόσφερε στον νεαρό εξάδελφό του Ουέσλιο μια σειρά

εντατικών μαθημάτων τοξοβολίας. Μετά την ολοκλήρωση των μαθημάτων, ο Γουλιέλμος θέλησε να δοκιμάσει τις ικανότητες του Ουέσλιου, ζητώντας του να τοξεύσει πάνω σε έναν κυκλικό στόχο ακτίνας ενός μέτρου, του οποίου ο κεντρικός δίσκος μέγιστης επιτυχίας είχε ακτίνα μισό μέτρο.

"Δεν έμαθες ακόμα την τέχνη της ακριβούς σκοπεύσεως ...", αποφάνθηκε ο Γουλιέλμος μόλις τελείωσε η δοκιμασία παρατηρώντας και πειράζοντας συνάμα τον νεαρό Ουέσλιο. "Από το σύνολο των δέκα βελών που έστειλες στο στόχο, πέντε καρφώθηκαν σε απόσταση μικρότερη του μισού μέτρου από το ακριβές κέντρο και πέντε στο δακτύλιο μεταξύ μισού και ενός μέτρου από το ακριβές κέντρο". "Με αδικείτε!", απάντησε γλαφυρά ο Ουέσλιος, του οποίου το ενδιαφέρον για την τοξοβολία είχε προσφάτως ατροφήσει έως εκλείψεως χάριν της νεόκοπης αγάπης του για την επιστήμη της Γεωμετρίας. "Από το σύνολο των δέκα βελών που έστειλα στο στόχο, τα πέντε που καρφώθηκαν στον κεντρικό δίσκο μαρτυρούν απερίφραστα υπέρ της σκοπευτικής μου δεινότητας. Όπως είναι γνωστό, η περιοχή μέγιστης επιτυχίας καταλαμβάνει μόνο το ένα τέταρτο της συνολικής επιφάνειας του στόχου."

Αποφανθείτε σχετικά με αυτήν τη διαμάχη ανατρέχοντας στα ζητήματα που προέκυψαν σε αυτό το κεφάλαιο. Σημειώστε ότι μια εναλλακτική μορφή του κανόνα του Μπέις, η οποία εφαρμόζεται όταν ενδιαφέρει η σχετική επικύρωση δύο υποθέσεων H_1 και H_2 από κάποιο τεκμήριο E, ως προς τη γνώση υποβάθρου B, δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{Pr(H_1|E.\ B)}{Pr(H_2|E.\ B)} = \frac{Pr(E|H_1.\ B)}{Pr(E|H_2.\ B)} \cdot \frac{Pr(H_1.\ B)}{Pr(H_2.\ B)}$$

10. Έστω ότι $\{H_1, H_2, \ldots, H_n\}$ αποτελεί ένα σύνολο από αντιμαχόμενες υποθέσεις. Λέμε ότι το τεκμήριο E επικυρώνει επιλεκτικά κατά Χέμπελ κάποια υπόθεση H_j στην περίπτωση ακριβώς που επικυρώνει κατά Χέμπελ την H_j αλλά αδυνατεί να επικυρώσει τις εναλλακτικές H. Χρησιμοποιήστε την ιδέα περί επιλεκτικής επικύρωσης για να εξετάσετε τη σχετική επικυρωτική ισχύ που μπορούν να προσφέρουν τα μαύρα κοράκια έναντι αυτής που μπορούν να προσφέρουν τα μη μαύρα μη κοράκια για εναλλακτικές υποθέσεις που αφορούν το χρώμα των κορακιών.
11. Αποδείξτε τα Λήμματα 1, 2 και 3 της Παραγράφου 2.10.
12. Εξετάστε τις προοπτικές επίλυσης του προβλήματος των παλιών τεκμηρίων με τη χρήση αντιγεγονικών βαθμών πεποίθησης, δηλαδή βαθμών πεποίθησης που θα διαμορφώνονταν αν το τεκμήριο E δεν ήταν γνωστό.
13. Επεξεργαστείτε τις λεπτομέρειες του ακόλουθου παραδείγματος, το οποίο αναφέρθηκε και στην Παράγραφο 2.8. Μέσα σε ένα κλειστό κουτί βρίσκεται ένα τετράγωνο μεταλλικό έλασμα. Εσείς δεν μπορείτε να το δείτε αλλά σας λένε ότι η επιφάνειά του είναι κάπου μεταξύ ενός και τεσσάρων τετραγωνι-

κών εκατοστών. Δείξτε πώς η εφαρμογή της αρχής της αδιαφορίας μπορεί να οδηγήσει σε αντικρουόμενες τιμές πιθανότητας.

14. Υποθέστε ότι διαθέτουμε ένα ερμάριο με δυο συρτάρια. Σε κάθε συρτάρι βρίσκονται δυο νομίσματα, δυο χρυσά στο ένα και ένα χρυσό και ένα ασημένιο στο άλλο. Πρόκειται να πάρουμε ένα νόμισμα από κάποιο από τα δυο συρτάρια. Υποθέστε, επιπλέον, πως γνωρίζετε (χωρίς να έχετε προσφύγει στην αρχή της αδιαφορίας) ότι κάθε συρτάρι έχει την ίδια πιθανότητα να επιλεγεί για το σκοπό αυτό. Αφού πάρουμε το νόμισμα, βλέπουμε ότι είναι χρυσό. Ποια είναι η πιθανότητα να βρίσκεται, μέσα στο ίδιο συρτάρι, και το άλλο νόμισμα χρυσό; Εξηγήστε πώς φτάσατε στο συμπέρασμά σας.
15. Εξετάστε το πρόβλημα του πώς βρίσκουμε τα όρια σχετικών συχνοτήτων επί τη βάσει των παρατηρηθέντων συχνοτήτων στα αρχικά τμήματα μιας ακολουθίας συμβάντων. Αυτό το θέμα αφορά ειδικότερα εκείνους που μελέτησαν το πρόβλημα του Ντέιβιντ Χιουμ ως προς τη δικαιολόγηση του επαγωγικού συμπερασμού στο δεύτερο μέρος του παρόντος κεφαλαίου.
16. Όταν οι επιστήμονες δοκιμάζουν νέες υποθέσεις καταφεύγουν συχνά στην επίκληση της ευλογοφάνειας. Για να δικαιολογηθεί αυτή η διαδικασία προτάθηκε να θεωρήσουμε ότι η προσφυγή στην ευλογοφάνεια αποτελεί απόπειρα εδραίωσης πρότερων πιθανοτήτων. Εξετάστε αυτή την πρόταση χρησιμοποιώντας παραδείγματα είτε από την ιστορία της επιστήμης, είτε από τη σύγχρονη επιστήμη.
17. Αναλύστε τη μέθοδο της αυτενεργητικής επικύρωσης του νόμου των τελείων αερίων με τρόπο ώστε να αποφεύγονται οι "παλικαριές" στην εφαρμογή της. Αυτό σημαίνει ότι ο νόμος των αερίων δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ως βοηθητική υπόθεση για την παραγωγή θετικών στιγμιοτύπων του.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

GLYMOUR, CLARK (1980), *Theory and Evidence*. Princeton: Princeton University Press. Το βιβλίο αυτό, το οποίο περιέχει αρκετά τεχνικά μέρη, παρουσιάζει για πρώτη φορά την αυτενεργητική επικύρωση.

GOODMAN, NELSON (1955), *Fact, Fiction, and Forecast*. 1η έκδ. Cambridge, MA: Harvard University Press. Αυτό το κλασικό έργο του εικοστού αιώνα βρίσκεται στην τέταρτη έκδοσή του. Στο κεφάλαιο 3 περιέχεται η διάλυση του "παλιού γρίφου της επαγωγής" και παρουσιάζεται "ο νέος γρίφος της επαγωγής" – το παράδοξο του πράκινο-κόσινο. Στο κεφάλαιο 4, ο Γκούντμαν προτείνει τη δική του λύση για τον νέο γρίφο με τη βοήθεια της έννοιας της προβολικότητας.

HEMPEL, CARL G. (1945), "Studies in the Logic of Confirmation", *Mind 54* : 1-26, 97-121. Ανατυπωμένο στο Χέμπελ (1965, βλέπε σχετικά στη βιβλιογραφία), με την πρόσθεση ενός υστερόγραφου του 1964. Αυτή η κλασική ερ-

γασία περιέχει την ανάλυση του Χέμπελ για το κριτήριο του Νικό αναφορικά με την επικύρωση, και παρουσιάζει το περίφημο παράδοξο του Χέμπελ με τα κοράκια, μαζί με την ανάλυση που πρότεινε ο ίδιος για αυτό.

— (1966), *Philosophy of Natural Science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. Στα κεφάλαια 2-4 παρέχεται μια εξαιρετικά απλοποιημένη και κατανοητή εισαγωγή στην έννοια της επιστημονικής επικύρωσης.

HUME, DAVID (1748), *An Enquiry Concerning Human Understanding*. Διατίθεται σε πάρα πολλές διαφορετικές εκδόσεις. Πρόκειται για *το* κλασικό έργο αναφορικά με το πρόβλημα της επαγωγής και δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα κατανόησης. Οι παράγραφοι 4-7 ασχολούνται με την επαγωγή, την αιτιότητα, την αναγκαία σύζευξη και την ομοιομορφία της φύσης.

POPPER, KARL R. (1972), "Conjectural Knowledge : My Solution of the Problem of Induction," στο *Objective Knowledge*. Oxford: Clarendon Press, σελ. 1-31. Πρόκειται για μια εισαγωγική παρουσίαση της παραγωγιστικής άποψης.

SALMON, WESLEY C. (1967), *The Foundations of Scientific Inference*. Pittsburgh: University of Pittsburgh. Το βιβλίο αυτό παρουσιάζει μια εισαγωγική, αλλά κάπως απαιτητική, διερεύνηση πολλών από τα ζητήματα που συνδέονται με την επικύρωση, την πιθανότητα και την επαγωγή.

STRAWSON, P. F. (1952), *Introduction to Logical Theory*. London: Methuen. Στο Κεφάλαιο 9 παρουσιάζεται η διάλυση του προβλήματος της επαγωγής μέσω της ανάλυσης της καθημερινής γλώσσας.

Τρίτο Κεφάλαιο

Ο ΡΕΑΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ Η ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΘΕΩΡΙΩΝ

Clark Glymour

Όταν διαβάζουμε για τα αποτελέσματα κάποιων επιστημονικών ερευνών, συνήθως αντιλαμβανόμαστε τα όσα διαβάζουμε ως περιγραφές της φύσης. Σ' ένα τεύχος του *Scientific American*, για παράδειγμα, ίσως βρούμε ένα άρθρο περί του τρόπου λειτουργίας κάποιου μέρους του ανοσοποιητικού συστήματος ή περί της καταγωγής των πλανητών. Η επισήμανση ότι αυτά τα άρθρα εννοούνται ως σχετικά με το ανοσοποιητικό σύστημα ή τη δημιουργία πλανητών φαίνεται αυτονόητη. Σε τι άλλο θα μπορούσαν τάχα να αναφέρονται αν όχι σ' αυτό στο οποίο δηλώνουν ότι αναφέρονται; Το ίδιο ισχύει για άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά και βιβλία, για επιστημονικές διαλέξεις, ακόμα και για συζητήσεις πάνω σε επιστημονικά ζητήματα. Προφανώς, όλα αυτά όντως αναφέρονται σε ό,τι φαίνεται να αναφέρονται.

Ωστόσο στην ιστορία της σύγχρονης επιστήμης, η φαινομενικά ευνόητη αυτή άποψη περί του τι αφορούν οι επιστημονικές εργασίες, τα βιβλία, οι διαλέξεις και συζητήσεις, έχει σε πολλές περιπτώσεις αμφισβητηθεί έντονα. Πολλοί απ' αυτούς που την αρνήθηκαν υπήρξαν μεγάλοι επιστήμονες, ή συνέδεσαν αυτή τη στάση τους με μεγάλα επιστημονικά έργα. Ο πρόλογος του σπουδαίου έργου του Κοπέρνικου *De Revolutionibus** δεν γράφτηκε από τον ίδιο τον Κοπέρνικο, ωστόσο, ισχυριζόταν ότι, παρά τη φαινομενική σημασία των λέξεων του βιβλίου, η θεωρία του Κοπέρνικου δεν αφορούσε στην πραγματικότητα την κίνηση των πλανητών· σύμφωνα με τον πρόλογο, το βιβλίο παρουσίαζε μόνο ένα μαθηματικό εργαλείο υπολογισμού της θέσης των πλανητών στην ουράνια σφαίρα. Η θεωρία του Κοπέρνικου ήταν, σύμφωνα με τον πρόλογο πάντα, ένα *όργανο* και όχι μια περιγραφή. Στη δεκαετία του 1830 οι διάφορες μέθοδοι που προτάθηκαν

---

* Ο πλήρης τίτλος είναι *De revolutionibus orbium coelestium* [Σ.τ.Μ.]

για τον υπολογισμό της ατομικής μάζας των στοιχείων έδωσαν διαφορετικά και αλληλοσυγκρουόμενα αποτελέσματα. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούσαν τις χημικές αναλογίες έδωσαν διαφορετικές μάζες από τις μεθόδους που υπολόγιζαν την ατομική μάζα με βάση τη θερμοχωρητικότητα εφαρμόζοντας το νόμο των Ντυλόν-Πετί (Dulong-Petit). Κι αυτές, με τη σειρά τους, έδωσαν διαφορετικές μάζες από άλλες μεθόδους που βασίζονταν σε μετρήσεις της πυκνότητας των ατμών. Ο Ζαν Μαρί Ντυμά (Jean Marie Dumas), ο σπουδαιότερος Γάλλος χημικός της εποχής, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να ισχύει μια διαφορετική ατομική μάζα για καθέναν από τους τρόπους υπολογισμού της. Έτσι, κατά τον Ντυμά, τα άτομα δεν έχουν μία και μοναδική μάζα, αλλά μία μάζα σε σχέση με τις μετρήσεις της πυκνότητας των ατμών, μία άλλη σε σχέση με τις μετρήσεις της θερμοχωρητικότητας, κ.ο.κ. Αντίθετα προς τα φαινόμενα, κατά την άποψη του Ντυμά η επιστήμη δεν μας δείχνει πώς να μετρούμε μία και την αυτή ιδιότητα των πραγμάτων με διαφορετικούς τρόπους, αλλά ότι κάθε διαφορετική διαδικασία μέτρησης έχει μια ξεχωριστή ιδιότητα. Στον εικοστό αιώνα, αφού η θεωρία της σχετικότητας αντικατέστησε τη νευτώνεια έννοια της μάζας με δύο διαφορετικές έννοιες (μάζα ηρεμίας και σχετικιστική μάζα), ο Πέρσυ Μπρίτζμαν (Percy Bridgeman 1927), διακεκριμένος φυσικός, πρότεινε ότι κάθε διαφορετική φυσική διαδικασία προσδιορίζει μια ξεχωριστή ιδιότητα, άποψη που ο ίδιος ονόμασε *διαδικασιοκρατία* (operationalism). Στα τέλη του δεκάτου ενάτου αιώνα πολλές συνεπείς γεωμετρίες είχαν αναπτυχθεί στη θέση της ευκλείδειας γεωμετρίας και ο Ανρί Πουανκαρέ (Henri Poincare), ένας από τους μεγαλύτερους μαθηματικούς και μαθηματικούς φυσικούς της εποχής, διαπίστωσε ότι, με κατάλληλες αλλαγές στη θεωρία της φυσικής δυναμικής, καθεμιά απ' αυτές τις εναλλακτικές γεωμετρίες θα μπορούσε να συμφωνήσει με τις επιστημονικές παρατηρήσεις. Ο Πουανκαρέ υποστήριξε ότι η γεωμετρία του χώρου δεν είναι κάτι που ο κόσμος επιβάλλει σε μας, αλλά κάτι που εμείς επιβάλλουμε στον κόσμο. Εμείς, στην πράξη, αποδεχόμαστε μια *σύμβαση*: ότι μετράμε τα πράγματα και διατυπώνουμε τη φυσική μας με τέτοιον τρόπο ώστε η ευκλείδεια γεωμετρία να είναι αληθής.

Θα μπορούσαμε να δώσουμε και άλλα, πολλά ακόμη παρόμοια παραδείγματα. Το ερώτημα του τρόπου ερμηνείας των επιστημονικών θεωριών γίνεται ένα φλέγον ζήτημα όποτε το περιεχόμενο των θεωριών μάς φαίνεται αβέβαιο, και ειδικά όποτε φαίνεται ότι η επιστήμη έρχεται αντιμέτωπη με διάφορες εναλλακτικές θεωρίες εξίσου ικανές να εξηγήσουν τις δυνατές παρατηρήσεις. Ο κίνδυνος ότι το περιεχόμενο της επιστήμης ενδέχεται να παραμείνει υποκαθορισμένο από ορισμένες απόψεις παρ' όλα τα τεκμήρια που θα έχουμε ποτέ στη διάθεσή μας έχει συχνά ως αποτέλεσμα να προτείνουν διάφοροι επιστήμονες και φιλόσοφοι να επανερμηνευτεί το νόημα του περιεχομένου αυτού.

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε την πορεία των σύγχρονων φιλοσοφικών και επιστημονικών αντιπαραθέσεων γύρω από τον *επιστημονικό ρεαλισμό*. Οι αντιπαραθέσεις αυτές αφορούν τόσο τη φύση όσο και το περιεχόμενο των επι-

στημονικών θεωριών, καθώς και το αν υπάρχει κάποια πραγματική δικαιολόγηση της πίστης μας στους επιστημονικούς ισχυρισμούς.

3.1 ΜΕΤΑΦΥΣΙΚΟΣ ΣΚΕΠΤΙΚΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΣ ΣΚΕΠΤΙΚΙΣΜΟΣ

Κατά τον δέκατο έβδομο αιώνα, οι μηχανικιστικές εξηγήσεις παρουσίασαν μεγάλη ακμή στο χώρο της χημείας, της φυσικής, στη μελέτη των αερίων, και σε πολλούς άλλους κλάδους της επιστήμης. Οι νέες επιστήμες που εμφανίστηκαν επιδίωκαν να εξηγήσουν τα φαινόμενα μέσω των κινήσεων, των μαζών, των σχημάτων και των συγκρούσεων των συστατικών σωμάτων – των ατόμων ή «σωματιδίων» από τα οποία θεωρούσαν ότι συνίσταται η ύλη. Κατά τον 17ο και 18ο αιώνα, Άγγλοι φιλόσοφοι της επιστήμης προσπάθησαν να βγάλουν ένα φιλοσοφικό νόημα από τη μεγάλη επανάσταση των επιστημών που είχε επικρατήσει τον 17ο αιώνα. Ένα από τα πιο άμεσα φιλοσοφικά προβλήματα ήταν η διαφορά του κόσμου, έτσι όπως τον βιώνουμε, από τον κόσμο όπως τον περιέγραφαν οι μηχανικιστικές θεωρίες της φύσης του 17ου αιώνα. Ο κόσμος της εμπειρίας μας είναι γεμάτος από χρώματα, γεύσεις, οσμές, ήχους, θερμότητες κ.ά., πράγματα που δεν συγκαταλέγονται στις βασικές ιδιότητες της ύλης σύμφωνα με τη μηχανική επιστήμη του Νεύτωνα. Ένα θεμελιώδες φιλοσοφικό ερώτημα αφορούσε, ως εκ τούτου, τη σχέση που έχει ο κόσμος της εμπειρίας με τον καθαρά μηχανικό εκείνο κόσμο που έθεταν οι νέες επιστήμες: πώς τα χρώματα, οι γεύσεις, οι οσμές και οι θερμοκρασίες που παρατηρούμε στον κόσμο, παράγονται από μηχανικές δράσεις, και πώς εμείς μπορούμε να ξέρουμε με ποιο τρόπο συμβαίνει αυτό;

Το *Δοκίμιο πάνω στην Ανθρώπινη Νόηση* (*Essay Concerning Human Understanding* [1690] 1924) του Τζων Λοκ (John Locke) προσέγγισε αυτό το θέμα με την υπόθεση ότι ο κόσμος της εμπειρίας είναι εξ ολοκλήρου νοητικός, ότι πρόκειται για έναν κόσμο *ιδεών*. Οι απλές ιδέες που έχουμε μέσα μας δημιουργούνται εξ ολοκλήρου από τις μηχανικές διεργασίες των σωματιδίων που βρίσκονται στον εξωτερικό κόσμο· τα σωματίδια επιδρούν μηχανικά στο σώμα μας, το οποίο επίσης είναι ένα μηχανικό σύστημα, και τούτο έχει ως αποτέλεσμα, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, τη δημιουργία νοητικών γεγονότων μέσα μας: βλέπουμε σώματα, μυρίζουμε οσμές, ακούμε ήχους, αισθανόμαστε ζέστη κ.ο.κ. Από αυτές τις απλές ιδέες, το μυαλό μας δημιουργεί άλλες πιο σύνθετες, υποστήριζε ο Λοκ, σχηματίζοντας συνδυασμούς απλών ιδεών. Δεν διαθέτουμε καθόλου ιδέες, παρά μόνον εκείνες που προκύπτουν από το συνδυασμό των απλών ιδεών, οι οποίες προέρχονται είτε από τις αισθήσεις, είτε την εσωτερική παρατήρηση των λειτουργιών του νου μας. Μερικές απλές ιδέες μας αντιστοιχούν σε ορισμένες ιδιότητες, οι οποίες όντως ανήκουν στα εξωτερικά σώματα· έτσι, η ιδέα της στερεότητας, της κίνησης, του σχήματος και του αριθμού των σωμάτων ανταποκρίνονται σε χαρακτηριστικά των εξωτερικών σωμάτων. Ο Λοκ ονόμασε αυτές

τις ιδιότητες «πρωτογενείς ποιότητες» (primary qualities). Άλλες ιδέες, όπως η ιδέα της θερμότητας, της γεύσης, της οσμής και του χρώματος δεν αντιστοιχούν, σύμφωνα με τον Λοκ, σε κάποιες ιδιότητες οι οποίες ανήκουν πραγματικά στα εξωτερικά σώματα. Τα εξωτερικά σώματα δεν είναι π.χ. χρωματιστά, όμως έχουν τη «δύναμη» (λόγω της διάταξης των πρωτογενών ποιοτήτων τους) να παράγουν μέσα μας την ιδέα του χρώματος.

Η λοκιανή παρουσίαση της ένταξής μας στον κόσμο δεν διαφέρει σημαντικά από εκείνη που θα προέκυπτε αν στη θέση της μηχανικής φυσικής που γνωρίζει ο Λοκ χρησιμοποιούσαμε τη σύγχρονη φυσική. Αλλά όποια φυσική και να χρησιμοποιήσουμε, είτε τη νευτώνεια είτε τη σύγχρονη, τέτοιες εικόνες θέτουν ένα θεμελιώδες φιλοσοφικό πρόβλημα, το οποίο μένει άλυτο στον Λοκ: αν έχει δίκιο, αν το μόνο που βιώνουμε είναι οι «ιδέες» μας, όχι τα ίδια τα πράγματα, τότε πώς μπορούμε να έχουμε οποιαδήποτε *γνώση* των ίδιων των πραγμάτων; Π.χ. πώς μπορούσε άραγε ο Λοκ να γνωρίζει ότι η ιδέα μας του σωματιδίου, η ιδέα μας της στερεότητας, της μορφής και της κίνησης αντιστοιχούν πράγματι σε κάποιες ποιότητες των ίδιων των σωμάτων και όχι οι ιδέες μας για το χρώμα ή την οσμή; Πώς θα μπορούσε κανείς να γνωρίζει ότι οι ισχυρισμοί της φυσικής είναι αληθείς; Η εμπειρία μας θα ήταν απ' ό,τι φαίνεται η ίδια, και στην περίπτωση κατά την οποία τα σώματα θα είχαν πραγματικά χρώματα και οσμές και όχι μόνο σχήματα, μάζες και ταχύτητες. Η εμπειρία μας θα μπορούσε να είναι η ίδια και στην ακόμη πιο απίθανη περίπτωση που ο εξωτερικός ορατός κόσμος στην πραγματικότητα δεν υπήρχε, και τα πράγματα καθ' εαυτά δεν είχαν ούτε μάζα, ούτε σχήμα ούτε ταχύτητα. Το πρόβλημα με την παρουσίαση του Λοκ είναι ότι ενώ, από τη μια, προϋποθέτει την ύπαρξη μιας επιστημονικής περιγραφής της φύσης των πραγμάτων καθ' εαυτά, από την άλλη φαίνεται να απαγορεύει κάθε μέθοδο με την οποία θα μπορούσαμε να αποκομίσουμε κάποια συναφή τεκμήρια για την αλήθεια αυτής της περιγραφής.

Το πρόβλημα που θέτει η παρουσίαση του Λοκ αναφέρεται ως το πρόβλημα του *μεταφυσικού σκεπτικισμού*. Ο μεταφυσικός σκεπτικισμός παρουσιάζεται κάθε φορά που φαίνεται να υπάρχουν δύο ή περισσότεροι δυνατοί τρόποι συγκρότησης του κόσμου, και *όλα τα δυνατά τεκμήρια* δεν θα ήταν αρκετά για να προσδιοριστεί με ποιον από αυτούς τους τρόπους είναι πραγματικά συγκροτημένος ο κόσμος. Σ' αυτήν την περίπτωση, θα ήταν ευλόγως αμφίβολο αν είναι δυνατόν να γνωρίσουμε πραγματικά (ή έστω να έχουμε έναν σοβαρό λόγο να σκεφτόμαστε) ότι ο κόσμος είναι συγκροτημένος μάλλον με τον τάδε παρά με τον δείνα τρόπο. Το "πέπλο ιδεών" του Λοκ είναι ένας μόνο από τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να τεθεί το πρόβλημα του μεταφυσικού σκεπτικισμού. Τον 19ο αιώνα ο αιδεσιμότατος Φίλιπ Γκόσσε (Phillip Gosse) επινόησε μια νέα εκδοχή του μεταφυσικού σκεπτικισμού με σκοπό ν' αμφισβητήσει την αποδεικτική αξία των απολιθωμάτων, η ύπαρξη των οποίων υποδήλωνε ότι η ηλικία της γης είναι πολύ μεγαλύτερη απ' αυτήν που μας λένε οι Γραφές. Ο Γκόσσε διατείνεται πως ο Θεός έπλασε τον κόσμο πριν από λιγότερο από 6.000 χρόνια (όπως ισχυρίζεται η

Παλαιά Διαθήκη), απλώς τον έπλασε μαζί με τα γεωλογικά στρώματα και τα απολιθώματα (που υπονοούν μια πιο απομακρυσμένη αφετηρία). Προφανώς ποτέ δεν θα μπορούσαμε να κάνουμε κάποια παρατήρηση που θα ανασκεύαζε αυτή τη θεωρία, εκτός κι αν διαθέταμε μια «μηχανή του χρόνου». Όσον αφορά μια σύγχρονη εκδοχή μεταφυσικού σκεπτικισμού, εξετάστε το ενδεχόμενο να είστε ένας εγκέφαλος μέσα σε ένα δοχείο, και όσα βλέπετε, γευόσαστε, μυρίζετε και αγγίζετε να είναι πλασματικά· οι αισθήσεις σας παράγονται όταν ερεθίζονται τα αισθητήρια νεύρα σας, σύμφωνα με ένα σχέδιο που εκτελεί κάποιος πολύ ανεπτυγμένος υπολογιστής. Ό,τι και αν παρατηρήσετε κατά την πορεία της ζωής σας, δεν θα αντιφάσκει, ούτε προς την υπόθεση ότι είσθε ένας εγκέφαλος μέσα σε δοχείο, ούτε προς την υπόθεση ότι δεν είσθε.

Σ' αυτού του είδους τις μεταφυσικές απορίες σχετικά με την επιστήμη και τη γνώση, ο Ντέιβιντ Χιουμ προσέθεσε ακόμα μία τον 18ο αιώνα. Το πρόβλημα της επαγωγής στον Χιουμ έχει ήδη εξεταστεί (βλέπε Κεφάλαιο 2). Ο Χιουμ το εξέφρασε ως πρόβλημα που αφορά τη γνώση μας κάθε *αναγκαίας σύνδεσης* μεταξύ αιτίας και αιτιατού. Υποστήριξε ότι δεν αντιλαμβανόμαστε καμιά αναγκαία σύνδεση μεταξύ μιας αιτίας και του αποτελέσματός της, και άρα ότι η ιδέα της αναγκαίας σύνδεσης δεν μπορεί να προέρχεται από την εμπειρία του εξωτερικού κόσμου. Ο Χιουμ αντιπρότεινε ότι η πηγή –και ως εκ τούτου το περιεχόμενο– της ιδέας της αναγκαίας σύνδεσης είναι η παρατήρηση μέσα στον εαυτό μας της δύναμης της συνήθειας, η οποία μας κάνει να αναμένουμε ένα οικείο σε μας αποτέλεσμα όταν παρατηρούμε μια οικεία αιτία. Απ' αυτήν την ανάλυση ο Χιουμ υποστήριξε πως ούτε η εμπειρία ούτε ο λόγος μπορούν να εγγυηθούν ότι οι μελλοντικές περιπτώσεις μιας οποιασδήποτε γνώριμης αιτίας θα ακολουθηθούν από το γνώριμο αποτέλεσμα. Παρά τα όσα τυχόν στηρίζονται στο λόγο ή την εμπειρία, το ψωμί ίσως δεν θρέψει αύριο τους ανθρώπους, ή η αυριανή μέρα ίσως δεν ακολουθηθεί από νύχτα.

Ο Χιουμ διατύπωσε το επιχείρημά του με όρους που αντιστοιχούσαν στην έννοια της «ιδέας» και στη φιλοσοφική γλώσσα του δέκατου όγδοου αιώνα, αλλά ο *επαγωγικός σκεπτικισμός* του είναι τόσο παλαιός όσο περίπου και η φιλοσοφία. Μια συγγενής γνώμη διατυπώθηκε με μεγάλη σαφήνεια, και από μερικές απόψεις με μεγαλύτερη σαφήνεια απ' ό,τι στον Χιουμ, από τον Πλάτωνα στο διάλογο *Μένων*. Οι πρωταγωνιστές του Πλάτωνα, ο Μένωνας και ο Σωκράτης, επιδιώκουν να θεμελιώσουν μια γενική, καθολική υπόθεση με βάση παραδείγματα και αντιπαραδείγματα. Οι γενικές υποθέσεις που εξετάζονται σ' αυτόν το διάλογο είναι ορισμένοι όροι ύπαρξης της αρετής, ωστόσο η φιλοσοφική θέση του Πλάτωνα είναι εξίσου εφαρμόσιμη σε κάθε επιστημονική υπόθεση, φέρ' ειπείν σε υποθέσεις σχετικές με το σημείο τήξης του πάγου.

Θα μπορούσε να φαντασθεί κανείς ότι κάθε καθαρός πάγος λιώνει στην ίδια ακριβώς θερμοκρασία, ή ότι διαφορετικά δείγματα πάγου λιώνουν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Είναι απολύτως *συνεπές* να φανταζόμαστε έναν κόσμο στον οποίο μέχρι τώρα όλα τα δείγματα πάγου έλιωναν στους 0 βαθμούς Κελσίου, αλ-

λά από τώρα και στο εξής θα λιώνουν στους 10 βαθμούς Κελσίου. Έχουμε την πεποίθηση πως δεν ζούμε πραγματικά σ' έναν τέτοιο κόσμο, αλλά μπορούμε κάλλιστα να φανταστούμε έναν παρόμοιο. Αν υποθέσουμε, βάσει της εμπειρίας μας, ότι κάθε καθαρός πάγος τήκεται στους 0 βαθμούς Κελσίου και ότι αυτό ισχύει όντως για τον πραγματικό κόσμο στον οποίο κατοικούμε, τότε η θέση μας για το σημείο τήξης του πάγου θα εξακολουθήσει να ισχύει και στο μέλλον. Μια σύγχρονη εκδοχή του πλατωνικού ερωτήματος είναι η εξής: ακόμη κι αν αυτή τη στιγμή έχουμε δίκιο σχετικά με το σημείο τήξης του πάγου για κάθε περίπτωση, οπουδήποτε συμβεί αυτή, στο παρελθόν και στο μέλλον, πώς μπορούμε *να ξέρουμε αυτή τη στιγμή* ότι έχουμε δίκιο;

Μπορούμε να καταλάβουμε τη λογική δομή του προβλήματος του Χιουμ και του Πλάτωνα, αν φανταστούμε ένα παιχνίδι το οποίο ένας επιστήμονας είναι υποχρεωμένος να παίξει εναντίον ενός δαίμονα αποφασισμένου να τον εξαπατήσει. Θα υποθέσουμε τους δύο παίκτες αθάνατους. Ο δαίμονας έχει στη διάθεσή του μια συλλογή δυνατών κόσμων. Οι δύο αντίπαλοι γνωρίζουν ποιοι κόσμοι απαρτίζουν τη συλλογή. Ο επιστήμονας και ο δαίμονας συμφωνούν να εξετάσουν μια πρόταση η οποία είναι αληθής σε ορισμένους δυνατούς κόσμους και ψευδής στους άλλους. Η πρόταση μπορεί να είναι «το ψωμί είναι πάντοτε θρεπτικό» ή «το σημείο τήξης του πάγου είναι μηδέν βαθμοί Κελσίου» ή οποιαδήποτε άλλη πρόταση τους ενδιαφέρει. Ο δαίμονας επιλέγει έναν από τους δυνατούς κόσμους και αποκαλύπτει στον επιστήμονα διάφορα γεγονότα αυτού του κόσμου, ένα κάθε φορά, και με όποια σειρά θέλει. Ωστόσο δεν του επιτρέπεται να πει ψέματα όσον αφορά τα γεγονότα ή να αποκρύψει ένα σημαντικό γεγονός· κάθε γεγονός σχετικό με τον κόσμο που επέλεξε ο δαίμονας πρέπει κάποια στιγμή να παρουσιασθεί στον επιστήμονα. Αυτός πρέπει να μαντέψει αν η δεδομένη πρόταση είναι ή όχι αληθής μέσα στον επιλεγμένο κόσμο. Αν θέλει μπορεί ν' αλλάζει την εικασία του κάθε φορά που ανακύπτει ένα νέο γεγονός.

Τι σημαίνει κερδίζω αυτό το παιχνίδι; Κερδίζω σημαίνει γνωρίζω. Για τον Πλάτωνα (και με λιγότερη σαφήνεια για τον Χιουμ) ο επιστήμονας γνωρίζει ότι η πρόταση είναι αληθής ή ψευδής αν και μόνον αν, ανεξάρτητα από το ποιον κόσμο επιλέγει ο δαίμονας, ο επιστήμονας είναι σε θέση, αφού του παρουσιαστεί ένας πεπερασμένος αριθμός γεγονότων, να ανακοινώσει την εικασία που ισχύει από τώρα και στο εξής σχετικά με την πρόταση, και αν αυτή η εικασία είναι ορθή. Για τον Πλάτωνα η γνώση απαιτεί μιαν *αληθή* πίστη αποκτημένη με *αξιόπιστη* μέθοδο, η οποία επιτρέπει στον γνωρίζοντα να *γνωρίζει ότι γνωρίζει.*

Από λογικής απόψεως ισχύει το απλό αλλά καταστροφικό γεγονός ότι, εκτός από τις πολύ τετριμμένες προτάσεις ή πολύ περιορισμένα σύνολα εναλλακτικών κόσμων, ο επιστήμονας δεν μπορεί ποτέ να νικήσει σ' αυτό το είδος παιχνιδιού. Είναι σχεδόν αδύνατο να ικανοποιηθούν οι όροι της γνώσης που ζητούν ο Πλάτων και ο Χιουμ, εκτός αν οι εναλλακτικές περιστάσεις είναι περιορισμένες εκ των προτέρων, μια υπόθεση που δέχεται ο Πλάτων αλλά την αρνείται ο Χιουμ.

Με τη μία ή την άλλη μορφή, τα προβλήματα του μεταφυσικού και του επαγωγικού σκεπτικισμού κατείχαν κεντρική θέση στις θεωρίες της γνώσης και τις φιλοσοφίες της επιστήμης σ' ολόκληρη την ιστορία της φιλοσοφίας, και το ίδιο ισχύει και για τη σημερινή επιστημολογία. Οι δύο προβληματισμοί συμφωνούν στο ότι αμφισβητούν την ικανότητά μας να αποκτήσουμε επιστημονική γνώση όταν εξετάζουμε περιστάσεις όπου υπάρχουν εναλλακτικές υποθέσεις οι οποίες δεν αντιφάσκουν προς τα τεκμήρια που είναι δυνατόν να αποκτήσουμε. Οι δύο προβληματισμοί διαφέρουν ως προς τα επιμέρους. Ο μεν επαγωγικός σκεπτικισμός στηρίζεται στο γεγονός ότι είμαστε πεπερασμένα όντα τα οποία δεν διαθέτουν παρά μόνο μία εκάστοτε πεπερασμένη σειρά δεδομένων. Ο δε μεταφυσικός σκεπτικισμός στηρίζεται στην παραδοχή ενός χωρισμού ανάμεσα σε δύο λογιών πράγματα: αυτά για τα οποία διαθέτουμε κάποια δεδομένα και αυτά για τα οποία επιθυμούμε να μάθουμε· ακόμη και αν είχαμε εξαντλητική γνώση των πραγμάτων της πρώτης κατηγορίας, αυτή δεν θα ήταν επαρκής για να προσδιορίσουμε την αλήθεια αναφορικά με τα πράγματα της δεύτερης. Αυτοί οι δύο προβληματισμοί βρίσκονται πίσω από πολλές διαμάχες γύρω από τη φύση των επιστημονικών ισχυρισμών, τη δομή των επιστημονικών θεωριών, και τη νομιμότητα της πίστης μας στους ισχυρισμούς της σύγχρονης επιστήμης.

3.2 Η ΚΑΝΤΙΑΝΗ ΛΥΣΗ

Ο Ιμάνιουελ Καντ (Immanuel Kant), φυσικός και φιλόσοφος του 18ου αιώνα, προσέφερε μια καινοφανή λύση και στα δύο προβλήματα του μεταφυσικού και του επαγωγικού σκεπτικισμού. Οι ιδέες του άσκησαν εξαιρετική επιρροή τόσο στην επιστήμη όσο και στη φιλοσοφία από τα τέλη του 19ου ώς τις αρχές του 20ού αιώνα. Είναι σχεδόν αδύνατο να καταλάβουμε τις συζητήσεις του εικοστού αιώνα για τη δομή της επιστήμης αν αγνοούμε τις απόψεις του Καντ.

Οι απορίες των Άγγλων φιλοσόφων, όπως του Λοκ και του Χιουμ, οδήγησαν τον Καντ σε ένα ριζοσπαστικό συμπέρασμα. Το συμπέρασμά του ήταν πως *δεν μπορούμε να έχουμε καμιά γνώση για τα πράγματα καθ' εαυτά.* Αλλά γιατί να θέλουμε; Ο Καντ ήξερε πως ο κόσμος που επηρεάζει τον καθένα μας, ο κόσμος που μας ενδιαφέρει και τον οποίο θέλουμε να προβλέπουμε, να ελέγχουμε και να καταλαβαίνουμε, είναι ο κόσμος της εμπειρίας μας και όχι ο κόσμος των πραγμάτων καθ' εαυτά. Στον κόσμο της εμπειρίας μας έχουμε τραπέζια, καρέκλες, σπίτια και άλλους ανθρώπους· στον κόσμο της εμπειρίας μας τα σώματα κινούνται (κατά προσέγγιση) σύμφωνα με το νόμο της αδράνειας, τα συμβάντα προκύπτουν το ένα μετά το άλλο, τα πράγματα έχουν σχήματα, οι ιδιότητες των μορφών και των σχημάτων περιγράφονται από γεωμετρικές αρχές, και γνώριμες αιτίες παράγουν γνώριμα αποτελέσματα. Αυτός είναι ο κόσμος που η επιστήμη επιδιώκει να περιγράψει και όχι ο κόσμος των πραγμάτων καθ'εαυτά.

Υπό μία σημαντική έννοια, ο Καντ απέρριψε την άποψη πως ό,τι αντιλαμβα-

νόμαστε είναι οι δικές μας ιδέες. Αντιλαμβανόμαστε πράγματα στον κόσμο της εμπειρίας, όχι τις δικές μας ιδέες. Σύμφωνα με τον Καντ, ισχύει απλώς ότι η δομή της εμπειρίας μας εξαρτάται εν μέρει από τη δομή του νου μας. Τα αντικείμενα που βλέπουμε, αγγίζουμε, ακούμε, αισθανόμαστε ή οσφραινόμαστε τα συγκροτεί από ορισμένες απόψεις ο ίδιος μας ο νους: τα φύσει άγνωστα "πράγματα καθ' εαυτά" και ο νους μας παράγουν από κοινού τον κόσμο της εμπειρίας. Κάτι *είναι* ένα αντικείμενο της εμπειρίας –π.χ. μια απλή καρέκλα– εφ' όσον ακριβώς είναι ένα προϊόν των πραγμάτων καθ' εαυτά και του νου.

Τούτο είναι μεν μια λύση σχετικά με τον μεταφυσικό σκεπτικισμό, αλλά όχι σχετικά με τον επαγωγικό σκεπτικισμό. Ο Καντ πρότεινε μια ιδιοφυή λύση και γι' αυτόν, όμως είναι πολύ πιο σύνθετη και απαιτεί μια γενικότερη έποψη του φιλοσοφικού σχεδίου του Καντ. Ο Καντ έθετε ερωτήματα όπως: ποιοι όροι είναι αναγκαίοι ώστε να υπάρχει μία οποιαδήποτε εμπειρία πραγμάτων στο χώρο και στο χρόνο και διαδοχικών γεγονότων; Τέτοιες ερωτήσεις επιδέχονται μια ψυχολογική ερμηνεία –πώς πρέπει να λειτουργεί ο νους προκειμένου η εμπειρία να είναι αυτού του τύπου;– ή μια λογική ερμηνεία – ποιες αρχές προϋποθέτει λογικά η παραδοχή ότι υπάρχει εμπειρία; (Το κείμενο του Καντ επιτρέπει τόσο μια ψυχολογική όσο και μια λογική ερμηνεία του σχεδίου του, και οι σχολιαστές είναι έκτοτε διχασμένοι σ' αυτό το θέμα). Ο Καντ ονόμασε αυτού του είδους τις ερωτήσεις *υπερβατολογικές* και μέχρι σήμερα οι φιλόσοφοι ονομάζουν «υπερβατολογικό» κάθε επιχείρημα που στοχεύει να δείξει ότι κάτι αληθεύει εφ' όσον είναι (ή υποτίθεται ότι είναι) ένας αναγκαίος όρος ύπαρξης της ανθρώπινης γνώσης ή της ανθρώπινης εμπειρίας.

Ο διαχωρισμός του υπερβατολογικού επιχειρήματος από το συνηθισμένο εμπειρικό επιχείρημα που απαντά στις επιστήμες δεν είναι τελείως σαφής. Ορισμένα εμπειρικά επιχειρήματα έχουν ως προκείμενες επιμέρους γεγονότα της εμπειρίας μας (λ.χ., ότι συγκεκριμένα δείγματα νατρίου τήκονται σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες) και καταλήγουν σε γενικεύσεις (για παράδειγμα, ότι κάθε καθαρό νάτριο τήκεται εντός ενός ειδικού διαστήματος θερμοκρασιών). Άλλα επιστημονικά επιχειρήματα βασίζονται σε γενικά χαρακτηριστικά της ανθρώπινης εμπειρίας (για παράδειγμα, ότι οι κινήσεις των πλανητών ικανοποιούν τον δεύτερο νόμο του Κέπλερ) και καταλήγουν σε περιεκτικότερους γενικούς νόμους (όπως είναι ο νόμος της βαρύτητας). Τα «υπερβατολογικά» επιχειρήματα φαίνεται πως διακρίνονται μόνο από το γεγονός ότι οι προκείμενές τους σχετικά με την εμπειρία είναι εξαιρετικά γενικές (και επομένως συχνά κοινότοπες), και ότι τα συμπεράσματά τους δεν οφείλουν απλώς να είναι η καλύτερη εξήγηση των προκειμένων ή η βέλτιστη επιστημονική εικασία, αλλά να είναι αποδεικτικά αναγκαία ώστε οι προκείμενες να είναι αληθείς.

Ο Καντ θεωρούσε ότι ο τρόπος με τον οποίο ο νους μορφοποιεί την εμπειρία εγγυάται πως τα εμπειρικά αντικείμενα θα έχουν ορισμένα γνωρίσματα. Τα αντικείμενα γίνονται αντιληπτά στο χώρο, και ο Καντ υποστήριζε πως η «εμπειρική εποπτεία» του χώρου –δηλαδή, το να βλέπουμε επιμέρους πράγματα στο χώρο–

απαιτεί οι αρχές της ευκλείδειας γεωμετρίας να περιγράφουν τις χωρικές σχέσεις με αληθινό τρόπο. Τα συμβάντα προκύπτουν στο χρόνο, και ο Καντ υποστηρίζει περαιτέρω ότι η «εποπτεία» του χρόνου απαιτεί τα συμβάντα να προκύπτουν σύμφωνα με μια γραμμική, σειριακή διάταξη, όπως οι ακέραιοι αριθμοί. Η ευκλείδεια γεωμετρία και η αριθμητική δεν είναι οι ίδιες χωρικές ή χρονικές εποπτείες· είναι αυτό που ο Καντ ονόμασε *μορφές* των αισθητηριακών εποπτειών του χώρου και του χρόνου. Πράγματι, ο Καντ υποστήριζε πως αυτές οι μορφές της εποπτείας μάς προσφέρουν μία a priori γνώση για το γεγονός ότι η γεωμετρία και η αριθμητική θα αληθεύουν στον κόσμο της εμπειρίας – αυτή η γνώση δεν προέρχεται, δηλαδή, από επιμέρους εμπειρίες. Ο Καντ θεωρούσε ιδιαίτερα αινιγματική τη γνώση που έχουμε ότι οι προτάσεις της αριθμητικής και της γεωμετρίας είναι αληθείς. Οι προτάσεις αυτές φαίνεται να είναι βέβαιες και να μη βασίζονται σε κανενός είδους πείραμα, ούτε όμως η αλήθεια τους φαινόταν να είναι «αναλυτική» για τον Καντ. Παρόλο που 7 + 5 = 12, η έννοια του επτά συν πέντε δεν *περιέχει,* σύμφωνα με τον Καντ, την έννοια του δώδεκα, και άρα δεν θα μπορούσαμε να μάθουμε ότι 7 + 5 = 12 απλώς και μόνο αναλύοντας την έννοια του επτά συν πέντε. Η θεωρία σύμφωνα με την οποία η αριθμητική είναι η καθαρή μορφή της εποπτείας του χρόνου* φάνηκε να εξηγεί πώς είναι δυνατόν να γνωρίζουμε a priori παρόμοιες «συνθετικές» προτάσεις.

Εκτός απ' αυτές τις «καθαρές μορφές της εποπτείας», ο Καντ θεωρούσε ότι ορισμένες «καθαρές έννοιες της νόησης» εφαρμόζονται κατ' ανάγκη σε κάθε κρίση σχετική με τα εμπειρικά αντικείμενα. Ονόμασε τις έννοιες αυτές «καθαρές», γιατί πίστευε πως ούτε αυτές αντλούνται *από* την εμπειρία· αντιθέτως αυτές *μορφοποιούν* την εμπειρία, είναι προϋποθέσεις της εμπειρίας των αντικειμένων. Οι «καθαρές έννοιες της νόησης» του Καντ είναι οι κοινώς αποδεκτές στην εποχή του λογικές κατηγορίες (και μάλιστα ο ίδιος έγραψε μια πραγματεία περί Λογικής). Για τις ανάγκες της ανάλυσής μας, η πιο σημαντική από τις έννοιες

---

* Αξίζει να επισημανθεί ότι αυτή η ανάγνωση έχει αμφισβητηθεί τα τελευταία χρόνια από ορισμένους έγκυρους μελετητές του καντιανού έργου. Βλ. Friedman, M. (1992): *Kant and the Exact Sciences*, Harvard University Press - Parsons, C.: «Kant's Philosophy of Arithmetic», στο Morgenbesser, Suppes and White (1971): *Philosophy, Science and Method*, Macmillan & St Martin's Press· Kitcher, P.: «Kant and the Foundation of Mathematics», *Philosophical Review*, 84, 1975, σελ. 23-50. Χαρακτηριστικά ο Φρίντμαν επισημαίνει (σελ. 105): « Στην Υπερβατολογική Αισθητική, η παρ. 5 (Η υπερβατολογική έκθεση της έννοιας του χρόνου) αντιστοιχεί στην παρ. 3 (Η υπερβατολογική έκθεση της έννοιας του χώρου), όπου η a priori συνθετική γνώση της γεωμετρίας εξηγείται μέσω της καθαρής εποπτείας του χώρου. Στην παρ. 5, ωστόσο, η αριθμητική δεν αναφέρεται· αντίθετα, η a priori συνθετική επιστήμη της οποίας η δυνατότητα εξηγείται μέσω της καθαρής εποπτείας του χρόνου αναγνωρίζεται ότι είναι «το γενικό δόγμα της κίνησης». (B49). Η ίδια ιδέα βρίσκεται και στην *Inaugural Disertation*, παρ. 12: «ΤΑ ΚΑΘΑΡΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ εξετάζουν το *χώρο* στη ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ, το *χρόνο* στη ΜΗΧΑΝΙΚΗ» (2, 397.28-29). Και στα *Προλεγόμενα*, παρ. 10: «κυρίως όμως η καθαρή μηχανική μπορεί να σχηματίζει τις έννοιες της κίνησης μόνο μέσω της παράστασης του χρόνου» (4, 283.17-21). Η επιστήμη του χρόνου, για τον Καντ, δεν είναι συνεπώς η αριθμητική αλλά μάλλον η καθαρή μηχανική ή το καθαρό δόγμα της κίνησης» [Σ.τ.Μ.]

της νόησης είναι η έννοια της *αιτιότητας*. Το συμπέρασμα που προκύπτει, διατυπωμένο με ψυχολογικούς όρους, είναι ότι μέσω μιας όχι ολότελα σαφούς διαδικασίας, η νόηση εγγυάται ότι τα αντικείμενα της εμπειρίας υπόκεινται σε αιτιακές κανονικότητες. Ο Καντ δεν ισχυρίστηκε πως η νόηση αποκαλύπτει γενικά με a priori τρόπο *ποιοι* από τους δυνατούς νόμους αιτιότητας είναι αληθείς· είναι έργο της επιστήμης να το προσδιορίσει με βάση την εμπειρία. Η νόηση εγγυάται μόνο ότι εάν τα πράγματα γίνονται αντικείμενο εμπειρίας, τότε αυτά και οι ιδιότητές τους υπόκεινται απαραιτήτως σε μια αιτιακή κανονικότητα. Ωστόσο, ο Καντ υποστήριζε επίσης πως η νόηση εγγυάται a priori την αλήθεια πολλών αρχών της νευτώνειας φυσικής, όπως για παράδειγμα το νόμο της αδράνειας.

Το σύστημα του Καντ φάνηκε να δίνει απάντηση στα περισσότερα από τα φιλοσοφικά προβλήματα που βασάνιζαν την επιστήμη του 18ου αιώνα. Οι αμφιβολίες του μεταφυσικού σκεπτικισμού παραμερίστηκαν ως άσχετες προς τους στόχους της επιστήμης ή τις ανησυχίες των ανθρώπων. Το πρόβλημα του επαγωγικού σκεπτικισμού φάνηκε λυμένο. Επιπλέον, το καντιανό σύστημα δικαιολόγησε την αίσθηση που υπήρχε –περισσότερο τον 18ο αιώνα παρά σήμερα– ότι η γεωμετρία, η αριθμητική και οι θεμελιώδεις αρχές της κινηματικής και δυναμικής φυσικής είναι πολύ βέβαιες για να βασίζονται σε γενικεύσεις προερχόμενες από την εμπειρία και πολύ πλήρεις περιεχομένου για να είναι απλώς συγκεκαλυμμένοι ορισμοί.

Είναι πολύ δύσκολο για μας σήμερα να αποκτήσουμε αίσθηση της επιρροής που άσκησε το σύστημα του Καντ στους επιστήμονες και τους φιλοσόφους. Θα την καταδείξουμε με ένα παράδειγμα. Ο Τζόσια Γουίλαρντ Γκιμπς (Josiah Willard Gibbs) ήταν ο πρώτος μεγάλος θεωρητικός φυσικός που γεννήθηκε στην Αμερική και ένας από τους κύριους πρωτεργάτες του κλάδου της φυσικής ο οποίος ονομάζεται «στατιστική θερμοδυναμική» και εξηγεί τα φαινόμενα της θερμότητας με την εφαρμογή της θεωρίας των πιθανοτήτων στη μηχανική των μοριακών συστημάτων. Στον πρόλογο του πρωτοποριακού έργου του *Στοιχειώδεις Αρχές της Στατιστικής Μηχανικής* (*Elementary Principles of Statistical Mechanics*, [1902] 1960) ο Γκιμπς δηλώνει ότι σκοπός του είναι να αναγάγει τα φαινόμενα της θερμότητας σε κανονικότητες της μηχανικής με a priori θεμελίωση.

3.3 Ο ΣΚΕΠΤΙΚΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΑΝΤΙΝΟΜΙΕΣ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ

Η *Κριτική του Καθαρού Λόγου* ([1787] 1929) του Καντ περιείχε ωστόσο κάποια ενοχλητικά σπέρματα σκεπτικισμού. Τίποτε στο καντιανό κοσμοείδωλο δεν εγγυάται ότι κάθε μη παράλογο επιστημονικό ερώτημα σχετικό με τον κόσμο της εμπειρίας είναι δυνατό να απαντηθεί μέσω της επιστημονικής έρευνας. Το πρόβλημα του Χιουμ ίσως λύνεται με την καντιανή ερμηνεία της έννοιας της αιτιότητας, αλλά δεν φαίνεται να λύνεται στο ελάχιστο το πλατωνικό λογικό πρόβλημα σχετικά με την άντληση γνώσεων από την εμπειρία. Η άποψη του ίδιου

του Καντ είναι ότι ορισμένα ερωτήματα δεν μπορούν να λυθούν εμπειρικά ή λογικά. Περιέγραψε ([1787] 1929, σελ. 384-484) τέσσερις «αντινομίες του καθαρού λόγου», δύο από τις οποίες μπορεί να θεωρηθούν καθαρά επιστημονικά ερωτήματα για τον κόσμο της εμπειρίας:

1. Έχει ο κόσμος κάποια αρχή μέσα στο χρόνο και είναι ο χώρος απεριόριστος;
2. Είναι τα αντικείμενα επ' άπειρον διαιρετά;

Σύμφωνα με τον Καντ, αυτά είναι νοήσιμα ερωτήματα για τον κόσμο της εμπειρίας και δεν υπάρχει καμιά εμπειρία ή a priori συλλογισμός ικανός να τα απαντήσει. Ο ίδιος προσπάθησε ν' αποδείξει αυτόν τον ισχυρισμό δίνοντας για κάθε περίπτωση μία a priori απόδειξη σύμφωνα με την οποία η απάντηση είναι καταφατική, και μία εξίσου καλή a priori απόδειξη σύμφωνα με την οποία η απάντηση είναι αρνητική. Οι «αποδείξεις» αυτές, όπως οι περισσότερες από τις ανάλογες απόπειρες του Καντ, δεν είναι αυστηρές και μονοσήμαντες, υπάρχει όμως και μια αυστηρή λογική έννοια σύμφωνα με την οποία ορθώς αμφισβητούσε τη δυνατότητα να απαντηθούν αυτά τα ερωτήματα από την εμπειρία.

Ας θυμηθούμε τον επιστήμονα και το δαίμονα. Ας υποθέσουμε ότι ο δαίμονας μπορεί να διαλέξει μεταξύ διαφόρων δυνατών κόσμων κάποιον μέσα στον οποίο ένα συγκεκριμένο αντικείμενο –μια μπανάνα, για παράδειγμα– μπορεί να διαιρεθεί ακριβώς σε δύο κομμάτια, έναν άλλον όπου μπορεί να διαιρεθεί σε τρία κομμάτια, έναν άλλον όπου μπορεί να διαιρεθεί σε τέσσερα, κ.ο.κ. για κάθε αριθμό. Ας συμπεριλάβουμε και έναν κόσμο όπου η μπανάνα μπορεί να διαιρείται συνεχώς. Το δεύτερο ερώτημα, σχετικά με την άπειρη διαιρετότητα, μπορεί να απαντηθεί καταφατικά μόνο στον τελευταίο από τους δυνατούς κόσμους. Ας υποθέσουμε ότι ο επιστήμονας μπορεί να κάνει μερικά πειράματα για να χωρίσει τη μπανάνα ή ένα μέρος της. Κάποιες πειραματικές μέθοδοι για τη διαίρεση του αντικειμένου μπορεί να είναι επιτυχείς ενώ κάποιες άλλες όχι. Αν το αντικείμενο μπορεί όντως να διαιρεθεί, ας υποθέσουμε ότι το διαιρεί μια πειραματική μέθοδος διαθέσιμη στον επιστήμονα, παρόλο που ο επιστήμονας δεν μπορεί να καταλάβει ποια μέθοδος είναι αποτελεσματική –αν είναι κάποια– παρά μόνο αν τη δοκιμάσει. Ας υποθέσουμε επιπλέον ότι ο αριθμός των μεθόδων διαίρεσης που μπορούν να δοκιμαστούν είναι απεριόριστος. Ο δαίμονας διαλέγει έναν από τους δυνατούς κόσμους και μέσα σ' αυτόν τον κόσμο η μπανάνα έχει κάποια καθορισμένη διαιρετότητα. Ο επιστήμονας δοκιμάζει διάφορες πειραματικές μεθόδους για να χωρίσει τη μπανάνα ή τα κομμάτια της και μετά από κάθε πείραμα μπορεί να εικάσει αν η μπανάνα είναι απείρως διαιρετή.

Μπορεί ο επιστήμονας να κερδίσει αυτό το παιχνίδι; Όχι, αν χρησιμοποιήσουμε το κριτήριο περί νίκης του Πλάτωνα, σύμφωνα με το οποίο ο επιστήμονας δεν πρέπει απλώς να βρει τη σωστή απάντηση στο ερώτημα, αλλά και *να γνωρίζει πότε* την έχει πράγματι βρει. Στην *πραγματικότητα, ο επιστήμονας δεν μπορεί ποτέ να νικήσει σ' αυτό το παιχνίδι ακόμη και αν, χαλαρώνοντας την πλατωνι-*

κή αντίληψη περί γνώσεως, δεν απαιτούμε να γνωρίζει πότε έχει βρει την ορθή απάντηση. Ας υποθέσουμε ότι αλλάζουμε την κατάσταση με τον εξής τρόπο: Ο επιστήμονας κερδίζει αν κάποτε μαντέψει τη σωστή απάντηση στο δεύτερο ερώτημα, όποιος κι αν είναι ο κόσμος που έχει επιλέξει ο δαίμονας, και συνεχίσει έκτοτε να την μαντεύει σ' αυτόν τον κόσμο. Δεν χρειάζεται να είναι σε θέση να *λέει* πότε συμπίπτει με την αλήθεια. Αν το σκεφτούμε για λίγο, θα δούμε ότι υπάρχουν πολλά παιχνίδια στα οποία μπορεί να νικήσει ο επιστήμονας κατ' αυτόν τον τρόπο και στα οποία είναι αδύνατο να νικήσει, αν εμμείνουμε στις προδιαγραφές του Πλάτωνα. Για παράδειγμα, ο επιστήμονας μπορεί τώρα να κερδίσει ένα παιχνίδι όπου το ερώτημα θα ήταν αν όλα τα δείγματα πάγου τήκονται στους μηδέν βαθμούς Κελσίου. Δεν μπορεί όμως, ακόμα και μ' αυτό το επιεικέστερο κριτήριο επιτυχίας, να κερδίσει το παιχνίδι με το ερώτημα για την άπειρη διαιρετότητα. Μ' ένα συγκεκριμένο νόημα, ο Καντ ορθώς υποστήριζε ότι η απάντηση στο ερώτημα υπερβαίνει κάθε δυνατή εμπειρία.

Η παρουσίαση του ζητήματος από τον Καντ αφήνει συνεπώς ανοικτά σημαντικά πρακτικά ζητήματα: ποια επιστημονικά ερωτήματα μπορούν να απαντηθούν και ποια όχι και μέσω ποιων μεθόδων. Πριν από τον Καντ, αλλά και μετά απ' αυτόν, αυτά τα ζητήματα ήσαν στο επίκεντρο των συζητήσεων γύρω από τον επιστημονικό ρεαλισμό.

3.4 Ο ΛΟΓΙΚΟΣ ΘΕΤΙΚΙΣΜΟΣ ΚΑΙ Η ΣΤΡΟΦΗ ΠΡΟΣ ΤΗ ΓΛΩΣΣΑ

Οι περισσότεροι φιλόσοφοι, καθώς και αρκετοί επιστήμονες που σπούδασαν στα τέλη του 19ου και τις αρχές του 20ού, διδάχτηκαν τις καντιανές ιδέες, αλλά κατά τη δεκαετία του 1920 οι πιο τολμηροί και προικισμένοι από τους νέους φιλοσόφους της επιστήμης κατέληξαν να απορρίψουν το καντιανό κοσμοείδωλο. Η μερική αποσύνθεση της καντιανής λύσης οφειλόταν σε διάφορους παράγοντες. Ο ένας ήταν η επιστημονική απόρριψη αρχών της γεωμετρίας και της φυσικής για τις οποίες ο Καντ είχε ισχυριστεί ότι απέδειξε πως είναι a priori συνθετικές αλήθειες. Στα μέσα και το τέλος του 19ου αιώνα αναπτύχθηκαν οι μη ευκλείδειες γεωμετρίες, οι οποίες ανταγωνίζονταν την ευκλείδεια γεωμετρία του Καντ, ως προς την περιγραφή της δομής του χώρου. Κατά τη δεκαετία του 1920 η γενική θεωρία της σχετικότητας έκανε πολλούς επιστήμονες αφ' ενός να σκεφτούν –αντίθετα με τον Πουανκαρέ– ότι η ευκλείδεια γεωμετρία δεν είναι αληθής όσον αφορά τον φυσικό χώρο, και αφ' ετέρου να απορρίψουν το νόμο της αδράνειας, έτσι όπως τον είχαν καταλάβει ο Νεύτωνας και ο Καντ. Τέτοιου είδους αποτελέσματα οδήγησαν αναπόφευκτα τους επιστημονικά ενημερωμένους φιλοσόφους στο να αμφισβητήσουν τα επιχειρήματα του Καντ: πόσο καλές μπορούσαν να είναι οι αποδείξεις του τελευταίου, αν ανασκευάζονταν από την πρόοδο της επιστήμης;

Ένας άλλος παράγοντας που οδήγησε στην πτώση του καντιανού συστήματος

ήταν η ανάπτυξη της σύγχρονης Λογικής από τον Γκότλομπ Φρέγκε (Gottlob Frege, 1972), τον Ντέιβιντ Χίλμπερτ κ.ά. Το 1879 ο Φρέγκε επέφερε μια επανάσταση στη Λογική θεμελιώνοντας μια θεωρία μαθηματικής απόδειξης, που επέτρεπε τη μαθηματική μελέτη της δομής των ίδιων των μαθηματικών. Στη δεκαετία του 1920, ο Χίλμπερτ, ο Μπέρτραντ Ράσσελ κ.ά. ανέπτυξαν τις ιδέες του Φρέγκε δημιουργώντας ένα πλούσιο και δυνατό εργαλείο ανάλυσης της γλώσσας και των επιχειρημάτων των μαθηματικών, της φυσικής, ακόμα και της φιλοσοφίας. Από την οπτική γωνία που παρείχε αυτό το νέο εργαλείο, τα επιχειρήματα του Καντ δεν φαίνονταν και πολύ βάσιμα. Φαίνονταν διφορούμενα, γεμάτα κενά και ανίκανα να αποδείξουν όσα ισχυρίζονταν. Η απάντηση του Καντ στον Χιουμ, για παράδειγμα, φάνηκε ανεπαρκής από τη στιγμή που η έρευνα στρεφόταν από το ερώτημα περί της δικαιολόγησης κάποιας ασαφούς αρχής της αιτιότητας σε ερωτήματα για το πώς θα μπορούσαμε να γνωρίσουμε τους καθολικούς φυσικούς νόμους επί τη βάσει οποιουδήποτε πεπερασμένου συνόλου τεκμηρίων. Η καντιανή εικόνα εξακολουθούσε να υφίσταται, αλλά χωρίς πειστικά επιχειρήματα υπέρ των λεπτομερειών της. Το καντιανό σύστημα αντικαταστάθηκε από ένα νέο φιλοσοφικό εγχείρημα: την ανάπτυξη της *λογικής* της επιστήμης.

Η λογική θεωρία του Φρέγκε εστίασε το ενδιαφέρον της σε τυπικές γλώσσες οι οποίες παρουσιάζονταν ως αφηρημένα αλλά ακριβή μαθηματικά αντικείμενα, τόσο καθορισμένα όσο και το σύστημα των φυσικών αριθμών. Το μεγαλύτερο επίτευγμα του Φρέγκε ήταν ότι έδειξε με ποιο τρόπο μια ποικιλία μαθηματικών θεωριών μπορεί να αναπαρασταθεί από τέτοιες τυπικές γλώσσες και επίσης το ότι η έννοια της *απόδειξης* μπορεί να προσδιοριστεί σε μια τέτοια γλώσσα ως ακριβής μαθηματική ιδιότητα κάποιων συνόλων από ακολουθίες συμβόλων. Στις αρχές του 20ού αιώνα, οι διάδοχοι του Φρέγκε αποσαφήνισαν τα όσα αυτός είχε πραγματοποιήσει, τυποποίησαν ακόμη ισχυρότερες γλώσσες καθώς και άλλες μαθηματικές θεωρίες και εισήγαγαν μια μαθηματική αναπαράσταση του τρόπου με τον οποίο η γλώσσα περιγράφει διάφορα είδη γεγονότων.

Ο νέος κλάδος που προέκυψε, η *θεωρία μοντέλων*, αφορά την αναπαράσταση του τρόπου με τον οποίο η γλώσσα περιγράφει τον πραγματικό κόσμο ή κάθε δυνατό κόσμο. Κάθε τυπική γλώσσα συσχετίζεται με ένα άπειρο πλήθος συνολοθεωρητικών δομών που ονομάζονται μοντέλα. Κάθε μοντέλο αποτελείται από ένα σύνολο (το *πεδίο ορισμού* του μοντέλου) και από συγκεκριμένα υποσύνολα αυτού του πεδίου ορισμού ή από συγκεκριμένα υποσύνολα δυάδων, τριάδων ή ν-άδων των μελών του ίδιου πεδίου. Το πεδίο ορισμού ενός μοντέλου είναι μια μαθηματική αναπαράσταση των αντικειμένων κάποιου δυνατού κόσμου και τα υποσύνολα, καθώς και τα σύνολα δυάδων, τριάδων κ.ο.κ. μελών του πεδίου ορισμού, είναι μαθηματικές αναπαραστάσεις ιδιοτήτων ή σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων αυτών. Σε γενικές γραμμές, η βασική ιδέα είναι ότι μία ιδιότητα αντιστοιχεί στο σύνολο των πραγμάτων που έχουν αυτή την ιδιότητα σε κάθε δυνατό κόσμο. Σε κάθε δυνατό κόσμο, το «καφέ» αντιστοιχεί στο σύνολο των καφέ πραγμάτων που βρίσκονται μέσα σ' αυτόν τον κόσμο.

Μέρη της τυπικής γλώσσας συσχετίζονται με μέρη του κάθε μοντέλου της γλώσσας. Ορισμένα σύμβολα της γλώσσας ονομάζουν μέλη του πεδίου ορισμού, ενώ άλλα σύμβολα υποδηλώνουν ιδιότητες ή σχέσεις – δηλαδή υποσύνολα ή σύνολα από δυάδες, ή τριάδες κ.ο.κ. μελών του πεδίου ορισμού. Άλλα σύμβολα της τυπικής γλώσσας χρησιμοποιούνται ως μεταβλητές που διατρέχουν το πεδίο ορισμού. Με μια τέτοια σύνδεση των συμβόλων μιας αφηρημένης τυπικής γλώσσας από τη μια μεριά, και των χαρακτηριστικών ενός μοντέλου από την άλλη, γίνεται δυνατό να προσδιοριστεί με σαφείς μαθηματικούς όρους το τι σημαίνει για μια πρόταση της τυπικής γλώσσας να είναι *αληθής* (ή ψευδής) στο μοντέλο.

Με αυτά τα εργαλεία θα μπορούμε να μελετήσουμε με αποκλειστικά μαθηματικό τρόπο την εκφραστική ισχύ διαφόρων τυποποιημένων θεωριών. Θα μπορούσαμε να μελετήσουμε τους όρους υπό τους οποίους είναι (ή δεν είναι) δυνατό να περιγραφούν διάφορες θεωρίες μέσω ενός πεπερασμένου συνόλου προτάσεων. Θα μπορούσαμε να μελετήσουμε ποιες από τις ιδιότητες κάποιων συνόλων από μοντέλα είναι (ή δεν είναι) δυνατό να περιγραφούν από οποιαδήποτε δυνατή θεωρία διατυπωμένη σε μια τυπική γλώσσα. Θα μπορούσαμε να μελετήσουμε κατά πόσο διάφορες τυποποιημένες θεωρίες είναι ή δεν είναι πλήρεις, με την έννοια ότι δεν αφήνουν ακαθόριστη την αληθοτιμή κανενός από τους ισχυρισμούς τους σε ό,τι αφορά τα μοντέλα τους (ή αφήνουν ακαθόριστη την τιμή μόνον πεπερασμένων τέτοιων ισχυρισμών). Επίσης, θα μπορούσαμε να μελετήσουμε ποιες ιδιότητες των τυπικών θεωριών είναι δυνατό να προσδιοριστούν με αλγορίθμους – όπως, για παράδειγμα, ο αλγόριθμος της διαίρεσης στη στοιχειώδη αριθμητική προσδιορίζει το αποτέλεσμα της διαίρεσης ενός αριθμού με κάποιον άλλον. Στα 1930 ο Κουρτ Γκέντελ (Kurt Gödel), ένας νεαρός μελετητής της Λογικής, απέδειξε ότι η αναδιατύπωση της Λογικής του Φρέγκε από τους Χίλμπερτ και Άκερμαν (Ackermann) είναι *πλήρης* με την εξής έννοια: Για κάποιο είδος τυπικών γλωσσών κάθε πρόταση που είναι αληθής σε κάθε μοντέλο που σχετίζεται με αυτές τις γλώσσες αποτελεί επίσης πρόταση που μπορεί να αποδειχθεί με τους αποδεικτικούς κανόνες που διαθέτει αυτή η αναδιατύπωση.

Η επανάσταση στο χώρο της Λογικής κατά τα τέλη του 19ου και τις αρχές του 20ού αιώνα οδήγησε σε επαναστατικές εξελίξεις σε ό,τι αφορά τα θεμέλια των μαθηματικών και αργότερα στη δημιουργία της σύγχρονης επιστήμης των υπολογιστών. Παράλληλα άλλαξε και τη φιλοσοφία της επιστήμης, και είναι αυτό που μας ενδιαφέρει εδώ.

Πρωτοπόροι στη νέα προοπτική που άνοιξε η Λογική ήταν ο Μπέρτραντ Ράσσελ στην Αγγλία και ο Ρούντολφ Κάρναπ στην Αυστρία. Αρχικά ο Ράσσελ υπήρξε καντιανός – η διδακτορική του διατριβή δεν ήταν παρά μια υπεράσπιση της καντιανής θεώρησης της γεωμετρίας απέναντι στην ανάπτυξη των μη ευκλείδειων γεωμετριών. Αργότερα, ωστόσο, ο Ράσσελ εγκατέλειψε *σχεδόν* ολοκληρωτικά την καντιανή οπτική γωνία· αλληλογράφησε με τον Φρέγκε και συνεισέφερε σημαντικά στην ανάπτυξη της Λογικής. Ο Κάρναπ, παρ' ότι δεν προσέφερε ο ίδιος τίποτα πρωτότυπο στη Λογική, σπούδασε υπό τον Φρέγκε, εν-

στερνίστηκε τις νέες μεθόδους της Λογικής και, όπως ο Ράσσελ, εγκατέλειψε *σχεδόν* ολοκληρωτικά την καντιανή οπτική. Κυρίως ο Κάρναπ και κατά δεύτερο λόγο ο Ράσσελ είδαν τη φρεγκεανή μαθηματική ανασυγκρότηση της έννοιας της απόδειξης ως μοντέλο για ολόκληρη τη φιλοσοφία. Η φιλοσοφία θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει τα εργαλεία της σύγχρονης Λογικής για να ανασυγκροτήσει όλες τις έννοιες της επιστημονικής μεθοδολογίας – την έννοια της επιστημονικής θεωρίας, της δοκιμής, της επικύρωσης, της εξήγησης, της πρόβλεψης κ.λπ. Αντί να μιλάει με καντιανούς όρους για «σύνθεση» ή με λοκιανούς όρους για «ιδέες», η φιλοσοφία θα μπορούσε να μιλάει για τη γλώσσα, για τα *σύμβολα*, για τις μαθηματικές τους σχέσεις και για το νόημά τους.

Αυτή η νέα προοπτική που στηριζόταν στη Λογική οδήγησε σε μια συστηματική προσπάθεια που θέλησε να αντικαταστήσει τις λύσεις της καντιανής γνωσιολογίας στα προβλήματα του σκεπτικισμού, και ιδιαίτερα του μεταφυσικού σκεπτικισμού, με άλλες. Στα πλαίσια της νέας αυτής προοπτικής, μια από τις πρώτες προσπάθειες ήταν η απόπειρα να αντικατασταθεί η καντιανή σύνθεση του κόσμου της εμπειρίας με μια *λογική κατασκευή* του κόσμου της εμπειρίας. Η ιδέα έμοιαζε με αυτή του Λοκ αλλά, αντί να γίνεται πλέον αορίστως λόγος για συνδυασμό ιδεών, θα μπορούσε να θεωρηθεί πως ορισμένα μέρη της τυπικής γλώσσας περιγράφουν όσα μας προσφέρει η εμπειρία, ενώ θα εισάγονταν κατόπιν, μέσω τυπικών-λογικών ορισμών, νέοι όροι που θα μπορούσαν να αναχθούν σε όρους που υποδηλώνουν άμεσες εμπειρίες (βλέπε Κεφάλαιο 4, Παράγραφοι 4.2 και 4.3). Κατ' αυτήν την άποψη, εξωτερικός κόσμος είναι οτιδήποτε ικανοποιεί τις συγκεκριμένες λογικές κατασκευές, ενώ η δομή των ορισμών εγγυάται πως ό,τι ικανοποιεί τις κατασκευές, αν υπάρχει κάτι τέτοιο, οφείλει να είναι σύνολο άμεσων εμπειριών ή σύνολο συνόλων από άμεσες εμπειρίες ή σύνολο συνόλων από σύνολα άμεσων εμπειριών κ.ο.κ. Κατ' αυτόν τον τρόπο, οποιαδήποτε συζήτηση με νόημα σχετικά με τα αντικείμενα της επιστήμης, τον εξωτερικό κόσμο ή οτιδήποτε άλλο, ανάγεται σε συζήτηση γύρω από δυνατές εμπειρίες. Ο μεταφυσικός σκεπτικισμός αποφεύχθηκε σχεδόν κατά τον ίδιο τρόπο που τον απέφυγε και ο Καντ, ενώ ταυτόχρονα εξηγήθηκε η δυνατότητα εμπειρικής γνώσης. Ο Ράσσελ πρώτα σκιαγράφησε σε γενικές γραμμές μια τέτοια προσέγγιση, ενώ γύρω στα 1925 ο Κάρναπ προσπάθησε να την ολοκληρώσει και να την παρουσιάσει σε ένα βιβλίο που το ονόμασε *Η Λογική Δομή του Κόσμου* (*The Logical Structure of the World*, 1969). Μια παρόμοια άποψη αναπτύχθηκε κατά την ίδια περίπου περίοδο από τον Αμερικανό φιλόσοφο και επιστήμονα της Λογικής Κ.Ι. Λιούις (C. I. Lewis) στο έργο του *Ο Νους και η Τάξη του Κόσμου* (*Mind and the World Order*, [1929] 1956).

Το σύστημα του Καντ παρείχε κάποιου είδους εξήγηση της μαθηματικής γνώσης. Πώς, όμως, η νέα αυτή λογική στροφή της δεκαετίας του 1920 εξηγούσε τη γνώση που έχουμε από την αριθμητική και τη γεωμετρία; Όχι επιχειρώντας να αποδείξει ότι ένα μέρος της μαθηματικής γνώσης είναι συνθετικό a priori. Οι νέοι φιλόσοφοι της επιστήμης απέρριψαν ομόφωνα τους ισχυρισμούς

του Καντ για την πηγή και το χαρακτήρα της μαθηματικής γνώσης· αρκετές άλλες εναλλακτικές προσεγγίσεις προτάθηκαν σχετικά. Μια ιδέα ήταν ο *λογικισμός*, που υποστήριζε ότι, όπως ακριβώς οι ισχυρισμοί για τον κόσμο μπορούν να αναχθούν, μέσω κατάλληλων ορισμών, σε ισχυρισμούς που αφορούν αποκλειστικά την εμπειρία, έτσι και οι ισχυρισμοί των μαθηματικών μπορούν να αναχθούν, μέσω κατάλληλων ορισμών, σε ισχυρισμούς που αφορούν το τίποτα και το καθετί. Με τη βοήθεια κατάλληλων ορισμών για τα μαθηματικά αντικείμενα και τις μαθηματικές πράξεις, οι μαθηματικοί ισχυρισμοί θα ανάγονταν σε σύνθετες *λογικές αλήθειες*. Οι λογικές αλήθειες είναι αληθείς για κάθε τι, αληθείς σε κάθε δυνατό κόσμο και μπορούν να εδραιωθούν με καθαρά λογικές αποδείξεις. Με αυτόν τον τρόπο θα εξηγούνταν η βεβαιότητα και ο a priori χαρακτήρας των μαθηματικών αλλά τα μαθηματικά θα στερούνταν έτσι, υπό μία έννοια, κάθε περιεχομένου. Την πρόταση αυτή επεξεργάστηκαν διεξοδικά ο Μπέρτραντ Ράσσελ και ο Άλφρεντ Νορθ Γουάιτχεντ (Alfred North Whitehead) (1925). Μια δεύτερη ιδέα θέλει τη μαθηματική γνώση αξιωματική και υπόρρητα κατά συνθήκη. Πολλοί μαθηματικοί είχαν δείξει πώς μπορούν να διατυπωθούν αυστηρά σύνολα αξιωμάτων για διάφορες θεμελιώδεις μαθηματικές θεωρίες. Τον δέκατο ένατο αιώνα ο Γκιουζέπε Πεάνο (Giuseppe Peano) διατύπωσε ένα σύνολο αξιωμάτων για την αριθμητική και αργότερα ο Χίλμπερτ ([1909], 1971) διατύπωσε ένα αυστηρό σύνολο αξιωμάτων για τη γεωμετρία. Η ιδέα ότι η μαθηματική γνώση υπόκειται σε αξιωματικοποίηση είχε να κάνει με το ότι στην πραγματικότητα δεν γνωρίζουμε a priori αν τα αξιώματα της αριθμητικής είναι αληθή για κάποιον τομέα. Το μόνο που γνωρίζουμε είναι ότι *εάν* τα αξιώματα της αριθμητικής είναι αληθή για ένα σύστημα, τότε ορισμένοι άλλοι ισχυρισμοί πρέπει κατ' ανάγκην να είναι επίσης αληθείς. Για παράδειγμα, δεν γνωρίζουμε a priori ότι 1+1=2 είναι αληθές σε κάθε επιμέρους σύστημα· ορισμένες φορές μάλιστα δεν είναι: 1 όγκος νερού αναμεμειγμένος με 1 όγκο οινοπνεύματος δεν μας κάνει δύο όγκους από κάτι άλλο, γιατί το ένα υγρό διαλύεται στο άλλο. Αυτό που γνωρίζουμε a priori είναι ότι *εάν* τα αξιώματα του Πεάνο περιγράφουν ένα οποιοδήποτε σύστημα ποσοτήτων, *τότε* 1+1=2 είναι αληθές σ' αυτό το σύστημα. Το ίδιο ισχύει και για τη γεωμετρία. Όπως το έθεσε ο Αϊνστάιν, στο μέτρο που η γεωμετρία αφορά την εμπειρία, δεν είναι βέβαιη, και στο μέτρο που η γεωμετρία είναι βέβαιη, δεν αφορά την εμπειρία.

Το φιλοσοφικό κίνημα που αντιπροσώπευε ο Κάρναπ έγινε γνωστό ως «λογικός θετικισμός». Αυτός ο όρος χρησιμοποιήθηκε κυρίως από γερμανούς και αυστριακούς φιλοσόφους για να ονομάσει την άποψή τους, αλλά όπως ήδη επισημάναμε, και άλλοι φιλόσοφοι από την Αγγλία και τις Ηνωμένες Πολιτείες ασπάζονταν την ίδια άποψη. Η λογικο-γλωσσική προσέγγιση στην επιστημονική γνώση εξελίχθηκε γρήγορα· αυτό προκλήθηκε κυρίως από διάφορες τεχνικές δυσκολίες που προέκυψαν κατά την προσπάθεια λογικής ανασυγκρότησης της ανθρώπινης γνώσης. Μια από τις πρώτες δυσκολίες αποτέλεσε η αποτυχία του Κάρναπ να δείξει με ποιο τρόπο ο εξωτερικός κόσμος θα μπορούσε να κατα-

σκευασθεί λογικά από περιγραφές της εμπειρίας. Ο Κάρναπ βρήκε ότι μπορούσε να κατασκευάσει κλάσεις που ήταν αναγώγιμες σε μιαν απλή σχέση μεταξύ όρων που υποδηλώνουν εμπειρίες και διαπίστωσε ότι ορισμένες από αυτές τις κλάσεις παρουσιάζονταν ως εύλογες ανασυγκροτήσεις αισθητηριακών τροπικοτήτων όπως το χρώμα και ο ήχος. Ωστόσο, δεν βρήκε κάποιο ικανοποιητικό τρόπο να ερμηνεύσει την έννοια του φυσικού αντικειμένου, ή των θέσεων και των χρόνων ως τέτοιου είδους αναγώγιμων κλάσεων. Ο μεταφυσικός σκεπτικισμός φαινόταν να απειλεί άλλη μια φορά· ευτυχώς όμως, ο Κάρναπ και οι άλλοι λογικοί θετικιστές διέθεταν κάποιο όπλο για να τον χτυπήσουν.

3.5 ΤΟ ΝΟΗΜΑ ΚΑΙ Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Ο Λοκ ισχυριζόταν ότι μπορούμε να σκεφτόμαστε μόνο ιδέες, και υποστήριζε ότι η πηγή των ιδεών πρέπει να είναι είτε η αίσθηση είτε η εσωτερική παρατήρηση των λειτουργιών του νου μας. Κατά τρόπο όχι εντελώς αποδεκτό από τον ίδιο τον Λοκ, αυτή η άποψη εμπεριέχει μια λύση στο πρόβλημα του μεταφυσικού σκεπτικισμού, εφόσον, σύμφωνα με τον φιλόσοφο, δεν μπορούμε στην πραγματικότητα να σκεφτόμαστε αντικείμενα καθ' εαυτά, παρά μόνο ιδέες. Για ό,τι δεν μπορούμε να σκεφτούμε, δεν μπορούμε και να μιλήσουμε με τρόπο καταληπτό. Οπότε, όταν ρωτάμε αν ο κόσμος καθ' εαυτόν μπορεί να αποτελείται από μη-οντότητες χωρίς πρωτογενείς ιδιότητες, δεν λέμε, σύμφωνα με την παραπάνω άποψη, κάτι που έχει νόημα. Ενάντια στον μεταφυσικό σκεπτικισμό και άλλους συναφείς γρίφους, οι λογικοί θετικιστές είχαν να προτείνουν μία ακόμη πιο ριζική λύση: την *αρχή της επαληθευσιμότητας* (verifiability principle).

Η αρχή της επαληθευσιμότητας λέει ότι ένας ισχυρισμός έχει νόημα αν και μόνο αν μπορεί να επαληθευτεί, δηλαδή, αν και μόνο αν υπάρχει κάποιο δυνατό σύνολο παρατηρήσεων που, αν ελάμβαναν χώρα, θα αποδείκνυαν την αλήθεια του ισχυρισμού (βλ. Κεφάλαιο 4, παράγραφος 4.4). Ένας ισχυρισμός που στην πραγματικότητα είναι ψευδής μπορεί να είναι επαληθεύσιμος υπ' αυτή την έννοια. Είναι ψευδές ότι ζυγίζω λιγότερο από 80 κιλά, αλλά υπάρχει μια δυνατή σειρά παρατηρήσεων που, αν γίνονταν, θα αποδείκνυαν ότι όντως ζυγίζω λιγότερο από 80 κιλά. Επειδή δεν ζυγίζω λιγότερο από 80 κιλά, τέτοιου είδους παρατηρήσεις δεν θα γίνουν στην πραγματικότητα· απλώς είναι δυνατές.

Βασιζόμενοι στην αρχή της επαληθευσιμότητας, οι λογικοί θετικιστές ήταν σε θέση να απορρίψουν τον μεταφυσικό σκεπτικισμό και τη μεταφυσική εικοτολογία ως καθαρές ανοησίες, ως λόγο χωρίς κανένα νόημα, αφού ο μεταφυσικός σκεπτικισμός μπορεί να ξεκινήσει μόνο προσπαθώντας να περιγράψει ορισμένες περιστάσεις των οποίων η αλήθεια ή το ψεύδος φέρεται να υποκαθορίζεται από όλα τα δυνατά τεκμήρια. Σύμφωνα με την αρχή της επαληθευσιμότητας, τέτοιου είδους περιστάσεις δεν μπορούν ποτέ να περιγραφούν· οι λέξεις δεν έχουν τη δύναμη να εκφράσουν αυτό που στερείται νοήματος. (Για ένα παράδειγμα

εφαρμογής αυτής της αρχής σε επιστημονικά πλαίσια, βλέπε Κεφάλαιο 5, παράγραφος 5.1).

Καθώς οι φιλόσοφοι είχαν στη διάθεσή τους την αρχή της επαληθευσιμότητας, η αποτυχία του Κάρναπ να δείξει πώς κατασκευάζονται περιγραφές του κόσμου από περιγραφές της εμπειρίας, δεν κήρυξε την αναγέννηση του μεταφυσικού σκεπτικισμού, ενώ η αρχή αυτή παρέμενε ακόμη και σήμερα αποδεκτή από κάποιους φιλοσόφους. Ωστόσο, η αρχή της επαληθευσιμότητας φαίνεται να δημιούργησε περισσότερα προβλήματα απ' όσα έλυσε. Για άλλη μια φορά, το πρόβλημα που ανέκυπτε είναι αυτό που διατύπωσε ο Πλάτων.

Ας εξετάσουμε αν ο ισχυρισμός ότι το σημείο τήξης του πάγου είναι μηδέν βαθμοί Κελσίου μπορεί να επαληθευθεί. Αν «επαληθεύω» σημαίνει εδραιώνω την αλήθεια με τέτοιο τρόπο ώστε να μην χρειάζεται να διατηρήσουμε το δικαίωμα να αλλάξουμε γνώμη, τότε το κριτήριο του Πλάτωνα για το πότε κερδίζει κανείς στο παιχνίδι της γνώσης φαίνεται να ισχύει: Για να επαληθευτεί η πρόταση, πρέπει να υπάρχει μια πεπερασμένη ακολουθία παρατηρήσεων των οποίων η πραγματοποίηση μας καθιστά βέβαιους ότι η πρόταση είναι αληθής. Επομένως οι παρατηρήσεις πρέπει να *καθιστούν αναγκαία* την αλήθεια της πρότασης, ή, με άλλα λόγια, ο δαίμονας δεν πρέπει να διαθέτει έναν δυνατό κόσμο στον οποίο οι παρατηρήσεις να είναι αληθείς και η εν λόγω πρόταση ψευδής. Ωστόσο δεν μπορούμε να επαληθεύσουμε με αυτόν τον τρόπο *κανένα* γενικό επιστημονικό νόμο. Δεν μπορούμε, για παράδειγμα, να χρησιμοποιήσουμε παρατηρήσεις για το σημείο τήξης του πάγου για να επαληθεύσουμε ότι το νερό τήκεται στους μηδέν βαθμούς Κελσίου, γιατί είναι λογικά δυνατό (ακόμη και αν δεν το πιστεύουμε) το νερό να τήκεται στο μέλλον στους 10 βαθμούς Κελσίου. Έτσι, αν εννοηθεί κατ' αυτόν τον τρόπο η αρχή της επαληθευσιμότητας, *κάθε επιστημονικός νόμος στερείται νοήματος*. Η αρχή της επαληθευσιμότητας απαλλάσσει τον κόσμο από τη μεταφυσική, με τίμημα την απώλεια του κόσμου!

Κάποιοι φιλόσοφοι, όχι πολλοί, αποδέχθηκαν αυτό το συμπέρασμα. Ορισμένοι φιλόσοφοι που εκπαιδεύτηκαν στην Οξφόρδη το προσυπέγραψαν (Dummett 1978, Wright 1980). Ο Στέφεν Τούλμιν (Stephen Toulmin), ένας διακεκριμένος φιλόσοφος της επιστήμης, πρότεινε, για παράδειγμα, ότι οι επιστημονικές θεωρίες στην πραγματικότητα δεν αποτελούν ισχυρισμούς περί του κόσμου, αλλά «εισιτήρια συναγωγών» που μας οδηγούν στο να προβλέπουμε νέες παρατηρήσεις από παλιές παρατηρήσεις. Η ιδέα του Τούλμιν συνιστά ένα είδος εργαλειοκρατίας, που μοιάζει με την άποψη που υιοθετεί ο Οσιάντερ (Osiander), ο συγγραφέας του Κοπερνίκειου προλόγου. Τις τελευταίες δεκαετίες, ωστόσο, πολλοί ερευνητές έφτασαν στο συμπέρασμα ότι η αρχή της επαληθευσιμότητας δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή. Αυτό το συμπέρασμα είναι εύκολο να συναχθεί αν σκεφτούμε ότι κανένα ανεξάρτητο επιχείρημα υπέρ της αρχής δεν προέρχεται από κάποια εμπειρική ανάλυση του πώς λειτουργεί η γλώσσα στην πραγματικότητα. Η αρχή της επαληθευσιμότητας φαίνεται να υπήρξε απλώς ένα βολικό δόγμα για να παραμεριστούν οι γρίφοι της μεταφυσικής. Οι γρίφοι κέρδισαν.

3.6. Η ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ, ΤΟ ΝΟΗΜΑ ΚΑΙ Η «ΚΑΘΙΕΡΩΜΕΝΗ ΑΝΤΙΛΗΨΗ» ΠΕΡΙ ΘΕΩΡΙΩΝ

Με την αποτυχία όλων των προσπαθειών να φανεί το πώς ο κόσμος θα μπορούσε να θεωρηθεί ως λογική κατασκευή που εδράζεται σε απλές περιγραφές της εμπειρίας, και με την απόρριψη της αρχής της επαληθευσιμότητας, το πρόβλημα του διαχωρισμού της επιστήμης από τη μεταφυσική άρχισε να φαίνεται όλο και πιο δύσκολο. Ο Καντ είχε λύσει το πρόβλημα του μεταφυσικού σκεπτικισμού περιορίζοντας τους ισχυρισμούς της εμπειρικής επιστήμης στον κόσμο της εμπειρίας. Οι πρώτες απόπειρες των νέων λογικών μεθόδων να αντικαταστήσουν το καντιανό σύστημα με μια καθαρότερη, αυστηρότερη, πιο «επιστημονική» κατανόηση της γνώσης κατέληξαν είτε στο να μην μπορούν να δείξουν πώς ο κόσμος της εμπειρίας θα μπορούσε καν να γνωρισθεί, είτε στην αδυναμία να διαχωρίσουν τους ισχυρισμούς της επιστήμης από εκείνους της μεταφυσικής εικοτολογίας, παρ' όλο τον υποκαθορισμό των τελευταίων από τα τεκμήρια. Οι φιλόσοφοι της επιστήμης στη δεκαετία του 1930 ανταποκρίθηκαν σ' αυτό το δίλημμα χρησιμοποιώντας τις έννοιες του ελέγχου και της επικύρωσης για να περιστείλουν το νόημα. Στο τέλος, αυτό αποδείχθηκε ότι δεν βοηθά πολύ τα πράγματα.

Μια έξυπνη λύση στο πρόβλημα του μεταφυσικού σκεπτικισμού προτάθηκε από τον Χανς Ράιχενμπαχ (Hans Reichenbach, 1938): Ακόμη και αν εκφράζονται με διαφορετικό τρόπο, δύο ισχυρισμοί σημαίνουν το ίδιο πράγμα αν κάθε δυνατό τεκμήριο υπέρ (ή κατά) του ενός από τους ισχυρισμούς είναι εξίσου ισχυρό τεκμήριο υπέρ (ή κατά) του άλλου ισχυρισμού, και το αντίστροφο. Τα συνήθη παραδείγματα μεταφυσικού σκεπτικισμού ανακύπτουν όταν φαίνεται να υπάρχουν δύο ή περισσότεροι ισχυρισμοί που δεν μπορούν να διακριθούν κατ' αυτόν τον τρόπο με βάση οποιοδήποτε δυνατό τεκμήριο. Σύμφωνα με την πρόταση του Ράιχενμπαχ, το να υποστηρίζει κανείς τον μεταφυσικό σκεπτικισμό συναρθρώνοντας δύο ισχυρισμούς που δεν είναι διακρίσιμοι με οποιοδήποτε δυνατό τεκμήριο, ισοδυναμεί με το να υποστηρίζει ότι δεν υπάρχει καμιά διαφορά ανάμεσα στους ισχυρισμούς. Δεν υπάρχει τίποτα ανάμεσα στους δύο για το οποίο μπορούμε να αμφιβάλλουμε. Ο Ράιχενμπαχ θεώρησε την επικύρωση ως ζήτημα πιθανοκρατικών σχέσεων: Ένα τεκμήριο επικυρώνει μια υπόθεση αυξάνοντας την πιθανότητά της σύμφωνα με τον κανόνα του Μπέις (βλέπε Κεφάλαιο 2). Κατ' αυτήν την άποψη, δύο θεωρίες λένε το ίδιο πράγμα αν αποκτούν την ίδια πιθανότητα για κάθε δυνατή παρατήρηση.

Όπως συνέβη και με την αρχή της επαληθευσιμότητας, δεν ανέκυψε κανένα επιχείρημα υπέρ αυτής της πρότασης που να βασίζεται στο πώς χρησιμοποιείται η γλώσσα· αντίθετα, εμφανίστηκαν σημαντικές τεχνικές δυσκολίες. Ο Ράιχενμπαχ είχε προτείνει το περίγραμμα ενός κριτηρίου για τη συνωνυμία: Το *A* είναι συνώνυμο με το *B* μόνο αν το *A* και το *B* δέχονται την ίδια επικύρωση για κάθε

τεκμήριο. Εφόσον αυτή η σχέση συνωνυμίας εξαρτάται από μιαν αρχική κατανομή πιθανοτήτων, δεν υπάρχει τρόπος να γνωρίσουμε το ποια ακριβώς σχέση συνωνυμίας είχε κατά νου ο Ράιχενμπαχ. Ας υποθέσουμε ότι διαχωρίζουμε από μια τυπική γλώσσα ένα συγκεκριμένο μέρος, δηλαδή μια υπο-γλώσσα με την οποία εκφράζονται οι παρατηρήσεις, και ας υποθέσουμε, κατά το πνεύμα του Ράιχενμπαχ, ότι δύο θεωρίες είναι συνώνυμες αν και μόνο αν συνεπάγονται ακριβώς την ίδια συλλογή προτάσεων στο πλαίσιο αυτής της *παρατηρησιακής γλώσσας*. Σε αυτήν την περίπτωση, η θεωρία απόδειξης του Φρέγκε δεν ισχύει, και μάλιστα δεν είναι δυνατή καμιά αποτελεσματική θεωρία απόδειξης σε μια τέτοια γλώσσα. Έτσι, μια σχετικά σαφής εκδοχή της πρότασης του Ράιχενμπαχ θα κατέστρεφε ένα από τα βασικά στηρίγματα του κινήματος του Λογικισμού.

Ο Ράιχενμπαχ, ο Χέρμαν Βάιλ (Hermann Weyl, [1949] 1963), ο μεγάλος μαθηματικός φυσικός και μαθηματικός των αρχών του αιώνα, ο Κάρναπ, όπως και ο μαθητής τού Ράιχενμπαχ (αλλά και του Χίλμπερτ) Καρλ Χέμπελ, ανέπτυξαν μιαν άλλη προσέγγιση. Η προσέγγιση που παρουσιάζεται σ' αυτό το κεφάλαιο ακολουθεί αυτήν του Κάρναπ, αλλά όλοι οι παραπάνω φιλόσοφοι ανέπτυξαν πολύ συναφείς ιδέες.

Σύμφωνα με την εικόνα που δίνει ο Κάρναπ, μπορούμε όντως να παρατηρήσουμε τα συνήθη αντικείμενα και τις συνήθεις ιδιότητές τους· δεν είμαστε διαχωρισμένοι από τον κόσμο με ένα πέπλο ιδεών. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά πράγματα που δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε: συμβάντα απρόσιτα στο χώρο-χρόνο, πράγματα μικροσκοπικά, και διαφορές στις ιδιότητες που είναι πολύ λεπτές για τις αισθήσεις μας. Η επιστήμη ενδιαφέρεται τόσο για αυτό που παρατηρείται όσο και για αυτό που δεν παρατηρείται, ακόμη και για αυτό που δεν *μπορεί* να παρατηρηθεί. Περιγράφουμε ό,τι παρατηρούμε γλωσσικά και διατυπώνουμε τις επιστημονικές μας θεωρίες και υποθέσεις επίσης γλωσσικά. Και οι δύο αυτές όψεις της γλώσσας μπορούν να τυποποιηθούν. Οι επιστημονικές θεωρίες και οι ισχυρισμοί τους μπορούν να αναπαρασταθούν με μια τυπική γλώσσα του είδους που ανέπτυξαν ο Φρέγκε, ο Ράσσελ, ο Χίλμπερτ και οι άλλοι ερευνητές της Λογικής.

Οι διαφορές ανάμεσα στο τμήμα της τυπικής γλώσσας που αναπαριστά ισχυρισμούς που αναφέρονται σε παρατηρήσεις και στα τμήματά της που είναι περισσότερο θεωρητικά, είναι διαφορές κυρίως λεξιλογικής φύσεως. Πολλά από τα σύμβολα που χαρακτηρίζουν τη γλώσσα της επιστήμης –«φωτόνιο», «μοριακός δεσμός», «γονίδιο», κ.λπ.– δεν είναι σύμβολα που δηλώνουν παρατηρούμενα πράγματα ή ιδιότητες ή γεγονότα.

Με την παρατήρηση και το πείραμα μπορούμε να επιτύχουμε περιγραφές επιμέρους γεγονότων· σε μια τυπική γλώσσα, αυτές οι περιγραφές αναπαριστώνται ως ενικές προτάσεις διατυπωμένες με το λεξιλόγιο των παρατηρησιακών όρων. Ο τρόπος με τον οποίο τέτοιου είδους γεγονότα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τεκμήρια υπέρ ή κατά *γενικεύσεων* που εκφράζονται με καθαρά παρατηρησιακούς όρους φαίνεται αρκετά σαφής. Αν, για παράδειγμα, η γενίκευση εί-

ναι ότι ο πάγος τήκεται στους μηδέν βαθμούς Κελσίου, τότε παρατηρήσεις πάγου που τήκεται στους μηδέν βαθμούς Κελσίου μετρούν υπέρ της γενίκευσης, τουλάχιστον μέχρις ότου βρούμε ένα δείγμα πάγου που δεν τήκεται στους μηδέν βαθμούς. Ο Κάρναπ (1936) θεώρησε ότι οι ενικές προτάσεις που περιγράφουν παρατηρήσεις στέκονται σε μια σχέση *επικύρωσης* απέναντι στους γενικούς ισχυρισμούς. Η πρόταση «Αυτό το δείγμα πάγου έλιωσε στους μηδέν βαθμούς Κελσίου» επικυρώνει τον ισχυρισμό ότι «ο πάγος τήκεται στους μηδέν βαθμούς Κελσίου». Αλλά πώς μπορούμε να επικυρώσουμε γενικεύσεις που δεν περιορίζονται σε παρατηρησιακούς όρους; Πώς μπορούμε, για παράδειγμα, να επικυρώσουμε ότι το ατομικό βάρος του οξυγόνου είναι μεγαλύτερο από το ατομικό βάρος του υδρογόνου; Η απάντηση του Κάρναπ σ' αυτό το θεμελιώδες ερώτημα ήταν ένα είδος συμβατισμού κατά τον οποίο οι συμβάσεις καθορίζουν το *νόημα*. Κατά τον Κάρναπ, οι θεωρητικοί όροι κυριολεκτικά στερούνται νοήματος μέχρις ότου δοθούν κάποιες συνθήκες ή κάποιοι κανόνες που καθορίζουν ποια παρατηρήσιμη περίσταση θα μετρούσε ως επιμέρους παράδειγμα των όρων. Ο Κάρναπ ονόμασε αυτούς τους κανόνες *αιτήματα νοήματος*. Αυτή η αρχή είναι πιο αδύναμη από την αρχή της επαληθευσιμότητας. Ο Κάρναπ δεν απαίτησε από τις προτάσεις με νόημα να είναι επαληθεύσιμες· απαίτησε μόνο να συντίθενται αυτές από κατηγορήματα για τα οποία να υπάρχουν αιτήματα νοήματος (βλέπε Κεφάλαιο 4, Παραγράφους 4. 3 και 4. 4).

Τα αιτήματα νοήματος μοιάζουν πολύ με άλλες γενικεύσεις. Παρ' ότι ο Κάρναπ πρότεινε κάποιες συγκεκριμένες λογικές μορφές ως αιτήματα νοήματος, αυτό που τα χαρακτηρίζει είναι ο ρόλος και η δικαιολόγησή τους. Ο ρόλος τους συνίσταται τόσο στο να αποδίδουν νόημα στους θεωρητικούς όρους όσο και στο να επιτρέπουν την επικύρωση θεωρητικών ισχυρισμών. Επιτρέπουν την επικύρωση θεωρητικών ισχυρισμών παρέχοντάς μας τη δυνατότητα να συνάγουμε επιμέρους παραδείγματα θεωρητικών γενικεύσεων από ενικές παρατηρησιακές δηλώσεις. Αν, για παράδειγμα, ο νόμος των Ντυλόνγκ και Πετί εκλαμβανόταν ως αίτημα νοήματος, τότε θα μπορούσαμε να τον χρησιμοποιήσουμε για να συναγάγουμε τιμές ατομικών βαρών από μετρήσεις θερμοχωρητικότητας. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαμε να επικυρώσουμε τον ισχυρισμό ότι το ατομικό βάρος του οξυγόνου είναι μεγαλύτερο από το ατομικό βάρος του υδρογόνου. Η δικαιολόγηση των αιτημάτων νοήματος συνίσταται στο ότι αυτές αποτελούν απλώς *συνομολογήσεις*, συμβάσεις για το πώς θα χρησιμοποιούμε θεωρητικούς όρους. Με την ορολογία του Κάρναπ, αποτελούν συνεπώς *αναλυτικές* αλήθειες. Κατ' αντιδιαστολή, οι ισχυρισμοί της επιστήμης που δεν είναι ούτε αλήθειες της Λογικής ούτε συνέπειες αιτημάτων νοήματος αποτελούν *συνθετικούς* ισχυρισμούς.

Μερικοί σύγχρονοι σχολιαστές συχνά ονομάζουν αυτήν τη θεώρηση της δομής των επιστημονικών θεωριών ή κάποιες παραλλαγές της «καθιερωμένη θεώρηση». Συστατικά στοιχεία της είναι η παραδοχή ότι η επιστημονική γλώσσα μπορεί να τυποποιηθεί, η διαίρεση σε παρατηρησιακούς και θεωρητικούς όρους, ένα σύνολο αιτημάτων νοήματος ή συμβάσεων που συνδέουν τα δύο είδη

όρων, και μια ανάλυση της επικύρωσης ως σχέσης μεταξύ προτάσεων στο ίδιο λεξιλόγιο. Η καθιερωμένη θεώρηση αποτελεί τον κοντινότερο διάδοχο της καντιανής εικόνας που κατόρθωσε να προσεγγίσει η σύγχρονη φιλοσοφία της επιστήμης στηριζόμενη στη Λογική. Τα προβλήματα του μεταφυσικού σκεπτικισμού λύνονται κατά την καθιερωμένη θεώρηση με τη διαπίστωση ότι οι όροι που χρησιμοποιούνται στις μεταφυσικές διαμάχες στερούνται εκείνων των κατάλληλων αιτημάτων νοήματος που θα επέτρεπαν την επικύρωση των διαμφισβητούμενων μεταφυσικών ισχυρισμών. Αναδύεται, λοιπόν, μια εικόνα για το πώς η επιστημονική γνώση είναι δυνατή: τα αιτήματα νοήματος περιορίζουν την επιστημονική γλώσσα, ενώ οι παρατηρήσεις παράγουν παρατηρησιακές αναφορές που επικυρώνουν ή καταρρίπτουν επιστημονικές υποθέσεις

3.7 Ο ΡΕΑΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΟΡΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ

Η καθιερωμένη θεώρηση έθεσε τα πλαίσια μέσα στα οποία οι ερευνητές της Λογικής μπορούν να διερευνήσουν ένα από τα θεμελιώδη καντιανά ερωτήματα: Ποια είναι τα όρια της δυνατής επιστημονικής γνώσης; Τα ερωτήματα είναι ακριβώς εκείνα που απασχολούσαν και τον Καντ, αλλά η λογική θεώρηση επέτρεψε στους ερευνητές της Λογικής να βρουν απαντήσεις που να αποδεικνύονται πραγματικά και να μην στηρίζονται στα διαισθητικά και μη αποφασιστικά επιχειρήματα του Καντ. Αυτή η εργασία ξεκίνησε γύρω στα 1960 από τον Χίλαρυ Πάτναμ (Hilary Putnam, 1965), και έκτοτε συνεχίσθηκε από ορισμένους ερευνητές της Λογικής και φιλοσόφους.

Ένας τρόπος να κατανοήσουμε τέτοιου είδους ερωτήματα είναι να εξετάσουμε πάλι τα παιχνίδια γνώσης που κάποιος επιστήμονας θα μπορούσε να κερδίσει ενάντια σ' ένα δαίμονα, αφού δεχτούμε την καθιερωμένη θεώρηση. Ο δαίμονας και ο επιστήμονας συμφωνούν στο ποιοι όροι είναι παρατηρησιακοί και ποιοι μη παρατηρησιακοί καθώς και σε ένα σύνολο αιτημάτων νοήματος. Ο δαίμονας έχει στη διάθεσή του ένα σύνολο δυνατών κόσμων από τους οποίους μπορεί να επιλέξει. Σε καθέναν απ' αυτούς τους δυνατούς κόσμους τα αιτήματα νοήματος πρέπει να είναι αληθή, αλλά οτιδήποτε άλλο μπορεί να ποικίλλει μεταξύ των κόσμων. Όποιο κόσμο και αν διαλέξει ο δαίμονας, πρέπει να δώσει στον επιστήμονα τα παρατηρήσιμα γεγονότα αυτού του κόσμου με κάποια σειρά, ενώ τελικά πρέπει να τα δώσει όλα. Ο επιστήμονας πρέπει να εικάσει αν κάποιος ισχυρισμός είναι αληθής ή ψευδής. Μπορούμε να υιοθετήσουμε είτε το πλατωνικό κριτήριο επιτυχίας για τον επιστήμονα είτε το πιο ασθενές κριτήριο που υπαινίσσονται οι καντιανές αντινομίες του Λόγου. Γνωρίζουμε ότι ο επιστήμονας δεν μπορεί να κερδίσει σε καμιά ενδιαφέρουσα περίπτωση αν υιοθετήσουμε το πλατωνικό κριτήριο επιτυχίας σύμφωνα με το οποίο οι εικασίες του επιστήμονα πρέπει τελικά να συγκλίνουν στην αλήθεια και ο ίδιος ο επιστήμονας πρέπει να γνωρίζει πότε συγκλίνει στην αλήθεια ανεξάρτητα από το ποια είναι η επιλογή

του δαίμονα. Αλλά τι συμβαίνει αν δεχτούμε ότι ο επιστήμονας κερδίζει ακόμη και όταν δεν γνωρίζει *πότε* συνέκλινε στην αλήθεια; Τότε το ζήτημα της γνώσης γίνεται πιο ενδιαφέρον. Σ' αυτή την περίπτωση, αν κινηθούμε στα πλαίσια μιας τυπικής γλώσσας σαν αυτή που ανέπτυξαν οι Χίλμπερτ και Άκερμαν, το εάν ο επιστήμονας μπορεί να κερδίσει εξαρτάται αποκλειστικά από τις λογικές ιδιότητες του υπό κρίσιν ισχυρισμού και τις λογικές ιδιότητες των αιτημάτων νοήματος. Ο επιστήμονας μπορεί να κερδίσει μόνο αν τα αιτήματα νοήματος συνεπάγονται ότι ο υπό κρίσιν ισχυρισμός είναι αληθής αν και μόνο αν κάποιοι καθαρά παρατηρησιακοί ισχυρισμοί μιας ειδικής λογικής μορφής είναι αληθείς. Με τη βοήθεια των αιτημάτων νοήματος, ο εξεταζόμενος ισχυρισμός πρέπει να μπορεί να αναχθεί σ' έναν ισχυρισμό της μορφής, «Για κάθε *x, y, . . . , z* υπάρχει κάποιο *u, w, . . . , v*, τέτοιο ώστε να συμβαίνει το εξής», όπου το «εξής» περιέχει μόνο παρατηρησιακούς όρους και δεν περιέχει εκφράσεις του τύπου «για κάθε» ή «υπάρχει» (τους ονομαζόμενους *ποσοδείκτες*). Επιπλέον, για να κερδίσει ο επιστήμονας, πρέπει τα αιτήματα νοήματος να συνεπάγονται ότι ο υπό κρίσιν ισχυρισμός είναι αναγώγιμος σε κάποιον άλλο καθαρά παρατηρησιακό ισχυρισμό με αντεστραμμένους τους ποσοδείκτες, δηλαδή, σ' έναν ισχυρισμό της μορφής «Υπάρχει *x, y, . . . , z* τέτοιο ώστε για κάθε *u, w, . . . , v*, να ισχύει το εξής».[1]

Χρησιμοποιώντας την καθιερωμένη θεώρηση, οι ερευνητές της Λογικής ήταν σε θέση να εδραιώσουν παρόμοια αποτελέσματα για μια μεγάλη σειρά τυπικών γλωσσών και για προβλήματα για την αντιμετώπιση των οποίων ο επιστήμονας πρέπει να ανακαλύψει μια ολόκληρη θεωρία και όχι απλώς να απαντήσει

---

[1] Η ακόλουθη διαδικασία θα καθορίσει στο όριο ότι ο ισχυρισμός «Υπάρχει *x* τέτοιο ώστε για κάθε *y F(x, y)*» είναι όντως αληθής ή ότι δεν συγκλίνει σε καμιά υπόθεση (αν δεν είναι αληθής): Έστω $x_0, x_1, \ldots x_n \ldots$ μια απαρίθμηση όλων των αντικειμένων που θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια τιμή *ν* του *x* για την οποία ο ισχυρισμός «για κάθε *y F(ν, y)*» είναι αληθής. Ας αρχίσουμε υποθέτοντας ότι *ισχύει* ο ισχυρισμός «Υπάρχει *x* τέτοιο ώστε για κάθε *y F(x, y)*» όσο τα δεδομένα είναι συνεπή με τον ισχυρισμό «για κάθε *y* $F(x_0, y)$». Αν εμφανισθεί ένα δεδομένο που αντιφάσκει προς τον ισχυρισμό «για κάθε *y* $F(x_0, y)$», υποθέτουμε ότι *δεν ισχύει* ο αρχικός ισχυρισμός. Στη συνέχεια, υποθέτουμε εκ νέου ότι *ισχύει* υπό τον όρο ότι όλα τα τεκμήρια που έχουν ήδη εμφανισθεί είναι συνεπή με τον ισχυρισμό «για κάθε *y* $F(x_1, y)$» μέχρις ότου διαψευσθεί, οπότε υποθέτουμε ότι *δεν ισχύει*, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται με τον ισχυρισμό «για κάθε *y* $F(x_2, y)$» κ.ο.κ. Αν ο ισχυρισμός «Υπάρχει *x* τέτοιο ώστε για κάθε *y F(x, y)*» είναι αληθής, τότε η διαδικασία βρίσκει τελικά ένα x_n για το οποίο ο ισχυρισμός «για κάθε *y* $F(x_n, y)$» δεν διαψεύδεται ποτέ από τα δεδομένα και έτσι η διαδικασία από τότε και στο εξής βρίσκει συνεχώς ότι ο ισχυρισμός *ισχύει*. Αν ο ισχυρισμός «Υπάρχει *x* τέτοιο ώστε για κάθε *y* $F(x_n, y)$» είναι ψευδής, τότε για κάθε x_n ο ισχυρισμός «Υπάρχει *x* τέτοιο ώστε για *y* $F(x_n, y)$» διαψεύδεται τελικά από τα δεδομένα, και η διαδικασία αλλάζει υποθέσεις απείρως συχνά.

Αν η άρνηση του «Υπάρχει *x* τέτοιο ώστε για κάθε *y F(x, y)*» είναι λογικά ισοδύναμη με την πρόταση «Υπάρχει *x*, για κάθε *y* έτσι ώστε να ισχύει το εξής», τότε μια όμοια διαδικασία μπορεί να εφαρμοσθεί. Οι δύο διαδικασίες, η μια για την αρχική πρόταση και η άλλη για την άρνησή της, μπορούν να συνδεθούν σε μια διαδικασία που συγκλίνει στο ότι ο ισχυρισμός «Υπάρχει *x* τέτοιο ώστε για κάθε *y F(x, y)*» *ισχύει* αν είναι αληθής ή στο ότι *δεν ισχύει* αν η άρνησή του είναι αληθής. Μπορεί να δειχθεί ότι μια πρόταση που δεν είναι ισοδύναμη με μια πρόταση της μορφής «υπάρχει *x*, για κάθε *y*, ώστε να ισχύει το εξής» δεν μπορεί να επαληθευθεί στο όριο.

σε ένα προκαθορισμένο ερώτημα. Τέτοιες μαθηματικές αναλύσεις μπορούν να γίνουν ακόμα και όταν ο χαρακτηρισμός των δυνατών παρατηρησιακών προτάσεων δεν γίνεται μέσω λεξιλογίου, όταν όλα τα τεκμήρια που θα δει ο επιστήμονας δεν είναι πλήρη και όταν οι παρατηρησιακές προτάσεις δεν περιορίζονται σε δηλώσεις που αφορούν επιμέρους γεγονότα. Αν θέλουμε να δούμε τον πυρήνα του προβλήματος, τέτοια λογικά αποτελέσματα μας δίνουν τη δυνατότητα να προσδιορίσουμε επακριβώς ποια ερωτήματα βρίσκονται ή δεν βρίσκονται πέρα από την ανθρώπινη γνώση όταν δίδεται ένα ορισμένο λογικό σύστημα, ένα σύνολο αιτημάτων νοήματος, και ένας χαρακτηρισμός για το ποιες προτάσεις μπορούν να κριθούν άμεσα μέσω της παρατήρησης.

Με δεδομένα τα συστατικά της καθιερωμένης θεώρησης, οι λογικές αναλύσεις των ορίων της γνώσης δίδουν μάλλον απαισιόδοξα αποτελέσματα: Σε σχέση με τη λογική πολυπλοκότητα των παρατηρησιακών προτάσεων, κάθε ισχυρισμός της επιστήμης που θα μπορούσε να γνωρισθεί ακόμη και στο όριο, πρέπει να είναι ισοδύναμος με προτάσεις που έχουν ειδικά περιορισμένη δομή ως προς τους ποσοδείκτες τους. Επιπλέον, ό,τι δεν μπορεί να γνωρισθεί μακροπρόθεσμα, δεν μπορεί βέβαια να γνωρισθεί ούτε βραχυπρόθεσμα. Σύμφωνα με εύλογες θεωρήσεις για το τι μπορούμε πραγματικά να παρατηρήσουμε, πολλά απ' αυτά που νομίζουμε ότι γνωρίζουμε είναι αδύνατο να τα γνωρίζουμε. Το πρόβλημα του Καντ για τις αντινομίες του Λόγου βρίσκει εδώ μια σύγχρονη διατύπωση.

Ακόμη και χωρίς λεπτομερείς λογικές αναλύσεις, πολλοί φιλόσοφοι είχαν την αίσθηση ότι μεγάλο μέρος των επιστημονικών πεποιθήσεων που αφορούν συγκεκριμένες επιστημονικές θεωρίες θα αποδεικνυόταν ότι υποκαθορίζεται από την παρατήρηση, όχι μόνο βραχυπρόθεσμα αλλά και μακροπρόθεσμα. Τέτοιου είδους επιχειρήματα αναπτύχθηκαν με διαφορετικούς τρόπους για χαρακτηριστικά της γεωμετρίας και της φυσικής από τους Ράιχενμπαχ ([1928] 1957), Salmon 1975, Grunbaun 1973, Glymour 1977, Malament 1976 και άλλους, και για επιστήμες που εξαρτώνται από την αποκρυπτογράφηση νοημάτων από τους Κουάιν (Quine 1960) και Ντένβιντσον (Davidson 1984). Αυτές οι δυσκολίες συνάντησαν τουλάχιστον τρεις διαφορετικές αποκρίσεις.

Μια απάντηση στους φαινομενικά αυστηρούς περιορισμούς που τίθενται στη δυνατότητα επιστημονικής γνώσης είναι το επιχείρημα που υποστηρίζει ότι δεν είναι εύλογο να στηριζόμαστε σε θαύματα. Το επιχείρημα είναι σχηματικά το εξής: Θα ήταν θαύμα αν τα παρατηρημένα χαρακτηριστικά του κόσμου συμπεριφέρονταν ακριβώς *ως εάν* οι καλύτερες επιστημονικές θεωρίες μας ήταν αληθείς, παρ' ότι αυτές οι θεωρίες δεν είναι στην πραγματικότητα αληθείς ή έστω κοντά στην αλήθεια. Καθώς είναι παράλογο να πιστεύουμε σε θαύματα, πρέπει να πιστεύουμε τις καλύτερες θεωρίες μας.

Το επιχείρημα είναι διαισθητικά πολύ πειστικό, γιατί εκφράζει τον επιστημονικό κοινό νου. Ακόμη και αν ορισμένες θεωρίες παρέχουν λογικά δυνατές εξηγήσεις των φαινομένων, η επιστημονική κοινότητα μπορεί να τις απορρίψει αν οι εξηγήσεις απαιτούν «θαύματα». Ένα συνηθισμένο είδος απορριπτέων θαυ-

μάτων είναι αυτό που απαιτεί να έχουν απείρως ακριβείς τιμές κάποιες παράμετροι ώστε να εξηγηθούν ορισμένα παρατηρούμενα φαινόμενα. Ο Ρίτσαρντ Φέινμαν (Richard Feynman, 1985), για παράδειγμα, αφηγείται πώς ανακάλυψε θεωρίες για τα θεμελιώδη σωματίδια και τις απέρριψε γιατί απαιτούσαν από αυθαίρετες παραμέτρους να έχουν πολύ ακριβείς τιμές. Το επιχείρημα που στηρίζεται στο ότι τα θαύματα δεν είναι εύλογα, στην πραγματικότητα κρίνει ότι είμαστε πρόθυμοι να απορρίψουμε πολλές θεωρίες, γιατί αυτές απαιτούν περιστάσεις που θεωρούμε ότι έχουν μηδενική πιθανότητα.

Ωστόσο, εδώ συναντάμε μια δυσκολία. Συνήθως κατανοούμε πολύ καλά τις ιδιότητες θεωριών που οι επιστήμονες κατά καιρούς ανέπτυξαν, αλλά δεν έχουμε την παραμικρή ιδέα για τις ιδιότητες θεωριών που οι επιστήμονες *δεν* έχουν αναπτύξει. Για να λειτουργήσει το παραπάνω επιχείρημα περί θαύματος, έχουμε ανάγκη από ορισμένες εγγυήσεις ότι μέσα στο τεράστιο σύνολο των λογικά δυνατών θεωριών για τον κόσμο δεν υπάρχουν κάποιες που θα παρήγαν τις παρατηρήσεις μας· ή ακόμη εγγυήσεις για το ότι οποιεσδήποτε εναλλακτικές θεωρίες κι αν υπάρχουν, αυτές απαιτούν κάποιου είδους επιστημονικό θαύμα. (Για παράδειγμα, το ότι οι κόσμοι που περιγράφουν είναι πολύ ασταθείς και ότι η παραγωγή των παρατηρουμένων φαινομένων σ' αυτούς εξαρτάται από απείρως ακριβείς τιμές των παραμέτρων που ενισχύονται). Το απλό γεγονός ότι δεν γνωρίζουμε τέτοιες θεωρίες, δεν σημαίνει ότι αυτές δεν υπάρχουν.

Μια άλλη αντίδραση στην άποψη ότι οι επιστημονικοί ισχυρισμοί φθάνουν πέρα από κάθε δυνατότητα γνώσης είναι το να αρνηθούμε ότι πρόκειται πράγματι για ισχυρισμούς, ή τουλάχιστον για τους ισχυρισμούς που φαίνονται να είναι. Είδαμε ήδη μια μορφή αυτής της άποψης, την εργαλειοκρατία, αλλά μια άλλη μορφή έχει αποκτήσει επιρροή τις τελευταίες δεκαετίες. Αντί να αντιμετωπίζουμε τη θεωρία ως σύνολο ισχυρισμών που είναι αληθείς ή ψευδείς, θα μπορούσαμε να την αντιμετωπίζουμε ως ένα (περίπλοκο) κατηγόρημα το οποίο είναι *αληθές* για ορισμένα συστήματα και μη αληθές για άλλα. Η νευτώνεια δυναμική, για παράδειγμα, αντί να θεωρείται ως σύνολο ισχυρισμών που αφορούν όλα τα συστήματα, μπορεί να ιδωθεί ως σύνθετη περιγραφή που είναι αληθής για ορισμένα συστήματα και ψευδής για άλλα. Αντί να στοχεύουμε σε ένα μόνο μοντέλο –τον κόσμο– η θεωρία εκλαμβάνεται ως τρόπος προσδιορισμού μιας συλλογής εναλλακτικών μοντέλων με τα οποία προσπαθούμε να αναπαραστήσουμε, να εξηγήσουμε και να προβλέψουμε όψεις των παρατηρούμενων φαινομένων. Έτσι η νευτώνεια δυναμική αποτελεί ένα σύνθετο κατηγόρημα που εφαρμόζεται σε πολλά διαφορετικά συστήματα και έχει πολλά διαφορετικά μοντέλα, καθένα από τα οποία έχει μελετηθεί καλά. Τέτοια μοντέλα είναι, μεταξύ άλλων, ο αρμονικός ταλαντωτής, ο αρμονικός ταλαντωτής με απόσβεση, ένα σύστημα δύο σωμάτων στο οποίο μια σημειακή μάζα κινείται σε κλειστή τροχιά, ένα σύστημα τριών σωμάτων κ.λπ. Κατά την εξήγηση των φαινομένων προσπαθούμε να δείξουμε με ποιο τρόπο οι παρατηρούμενες κανονικότητες μπορούν να ενσωματωθούν σ' ένα μοντέλο κάποιας γνωστής θεωρίας, έτσι ώστε κάθε σύστημα που εμ-

φανίζει τα φαινόμενα να μπορεί να θεωρηθεί ότι ικανοποιεί το θεωρητικό κατηγόρημα. Η πρακτική της επιστήμης συνίσταται στην προσπάθειά της να δείξει με ποιο τρόπο οι παρατηρούμενες κανονικότητες μπορούν να ενσωματωθούν σ' ένα μοντέλο μιας θεωρίας, έτσι ώστε το σύστημα που εμφανίζει την κανονικότητα να μπορεί να αντιμετωπισθεί ως σύστημα στο οποίο όντως εφαρμόζεται το θεωρητικό κατηγόρημα.

Αυτή η θεώρηση, που μερικές φορές ονομάζεται *σημασιολογική θεώρηση των θεωριών*, τείνει να εμποδίσει ερωτήματα σχετικά με τα όρια ή τα θεμέλια της επιστημονικής γνώσης, γιατί το προϊόν της επιστήμης κατ' αυτή την άποψη δεν είναι τόσο η γνώση γενικών προτάσεων όσο η κατανόηση συνόλων από μοντέλα και το πώς μπορούν να ενσωματωθούν φαινόμενα διαφόρων ειδών σ' αυτά τα μοντέλα. Με βάση αυτή τη θεώρηση, μπορούμε να δεχθούμε και να χρησιμοποιήσουμε μια επιστημονική θεωρία, αλλά δεν έχουμε κανένα λόγο να *πιστέψουμε* τη θεωρία. Διάφορες εκδοχές αυτής της προσέγγισης αναπτύχθηκαν από φιλόσοφους της επιστήμης μεταξύ των οποίων είναι ο Σάπες (Suppes), ο φαν Φράασεν (Van Fraassen, 1980), ο Σάπι (Suppe, 1989), ο Σνεντ (Sneed, 1971), ο Γκιρ (Giere, 1988) και άλλοι.

Η σημασιολογική θεώρηση σίγουρα συλλαμβάνει μια σημαντική όψη του τρόπου με τον οποίο αναπτύσσονται οι θεωρητικές αντιλήψεις στην επιστήμη. Δεν είναι, ωστόσο, σαφές το κατά πόσο η θεώρηση αυτή όντως επιλύει κάποια από τα θεμελιώδη παραδοσιακά προβλήματα που απασχολούν τη φιλοσοφία της επιστήμης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως στην κοσμολογία, μπορεί να μην υπάρχει διαφορά μεταξύ τού να λέμε ότι μια θεωρία είναι αληθής, και του να λέμε ότι αυτή είναι αληθής για κάποιο σύστημα. Είναι αρκετά εύλογο να θεωρούμε τη νευτώνεια δυναμική ως κατηγόρημα συστημάτων, ή ως μια κλάση μοντέλων που ποικίλλουν ως προς τις λεπτομέρειες, αλλά φαίνεται λιγότερο εύλογο να αντιμετωπίζουμε με αυτόν τον τρόπο την ατομική θεωρία της χημείας. Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι ακόμη και σύμφωνα με τη σημασιολογική θεώρηση, ένας από τους στόχους της επιστήμης είναι να *προβλέπει* την πορεία των φαινομένων· και αν υπάρχουν περιορισμοί της γνώσης υπάρχουν και αντίστοιχοι περιορισμοί στην αξιοπιστία της πρόβλεψης. Σε διάφορες περιστάσεις μπορούν να αποδειχθούν ακριβή θεωρήματα αναφορικά με τέτοιους περιορισμούς, ακόμη και στην οριακή περίπτωση όπου τα διαθέσιμα τεκμήρια πολλαπλασιάζονται οσοδήποτε θέλουμε.

Μια τρίτη αντίδραση στον υποκαθορισμό που υποστηρίζεται από τους Ράσσελ (1948), Κουάιν (1969 b) και μερικούς άλλους φιλοσόφους είναι η αντίληψη περί *φυσικοποιημένης γνωσιολογίας* (naturalized epistemology). Ας θεωρήσουμε δεδομένο ότι αν ξεκινήσουμε μόνο από τις παρατηρήσεις μας, χωρίς κανένα υπόβαθρο γνώσης για το πώς λειτουργεί ο κόσμος, θα κατορθώσουμε να γνωρίσουμε μόνο ένα περιορισμένο σύνολο ισχυρισμών για τον κόσμο. Ας δεχτούμε επίσης ότι αν ο επιστήμονας στα παιχνίδια με τον δαίμονα δεν γνωρίζει εκ των προτέρων ότι η συλλογή δυνατών κόσμων που μπορεί να επιλέξει ο δαίμονας εί-

ναι πολύ περιορισμένη, τότε ο επιστήμονας δεν μπορεί να κερδίσει (ακόμα και κατά τη γενικότερη εκδοχή σύμφωνα με την οποία δεν απαιτείται να γνωρίζει ο επιστήμονας πότε έχει δίκιο) παρά μόνο αναφορικά με ένα πολύ περιορισμένο σύνολο ερωτημάτων. Ωστόσο, εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο είμαστε βιολογικά και κοινωνικά κατασκευασμένοι, δεν ξεκινούμε ποτέ την έρευνα όντας εντελώς αδαείς. Έχουμε εξελιχθεί έτσι ώστε να προτιμούμε ορισμένες συμπεριφορές και να οργανώνουμε τις αισθήσεις μας με συγκεκριμένους τρόπους. Αν δεν παρεμποδισθούν για κάποιο σοβαρό λόγο, τα νήπια μαθαίνουν γρήγορα να ταυτοποιούν και να αναγνωρίζουν αντικείμενα, όπως και να μαθαίνουν ότι τα αντικείμενα συνεχίζουν να υπάρχουν ακόμα και όταν δεν τα παρατηρούν· τα νήπια έχουν σχεδόν εκ γενετής στη διάθεσή τους ορισμένα απλά δεδομένα σχετικά με το μέγεθος, την απόσταση, την προοπτική κ.ο.κ. Η κοινωνία είναι η πηγή ενός μεγάλου αριθμού πεποιθήσεων σχετικά με τον κόσμο, τους άλλους ανθρώπους και τις κοινωνικές σχέσεις. (Φυσικά ορισμένα απ' αυτά που η κοινωνία μάς οδηγεί να πιστεύουμε είναι λανθασμένα.) *Αν δεχθούμε* ως υπόβαθρο τις πεποιθήσεις που μας δίδονται κατ' αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να μελετήσουμε το ίδιο μας το αντιληπτικό και γνωσιακό σύστημα καθώς και τις κοινωνικές μας δομές για να ανακαλύψουμε πώς διαμορφώνονται οι πεποιθήσεις μας και για να καθορίσουμε την αξιοπιστία (και την αναξιοπιστία) των διαδικασιών της ανθρώπινης γνώσης. Τέτοιες έρευνες μας οδηγούν σε όργανα και διαδικασίες που βελτιώνουν τον τρόπο με τον οποίον αποκτούμε νέες πεποιθήσεις· μπορούν μάλιστα να μας οδηγήσουν ακόμη και στο να τροποποιήσουμε ή να εγκαταλείψουμε ορισμένες κοινές πεποιθήσεις του πολιτισμού μας. Αποδεχόμενοι τις πεποιθήσεις –ή τις περισσότερες από αυτές– προς τις οποίες είμαστε προδιατεθειμένοι από τη φύση και τον πολιτισμό μας, προχωρούμε στην επέκταση της επιστημονικής γνώσης. Σε αυτό το παιχνίδι που παίζουμε με αντίπαλο το δαίμονα της φύσης, έχουμε την πεποίθηση ότι ο δαίμονας έχει στη διάθεσή του μόνο εκείνους τους δυνατούς κόσμους όπου οι δικές μας πεποιθήσεις υποβάθρου είναι αληθείς.

Η φυσικοποιημένη γνωσιολογία συνιστά ένα πρόγραμμα για να νικήσουμε παρά την ήττα. Είναι αλήθεια ότι ο μεταφυσικός σκεπτικισμός βγαίνει κερδισμένος, αλλά στην πράξη δεν βρισκόμαστε ούτε θα μπορούσαμε να βρισκόμαστε σε μια θέση όπου να προσπαθούμε να μάθουμε ξεκινώντας από την πλήρη άγνοια. Με δεδομένες τις περιστάσεις στις οποίες δεν μπορούμε παρά να πιστέψουμε ότι βρισκόμαστε, οι δυνάμεις που διαθέτει η επιστήμη για να επεκτείνει τη γνώση μας είναι αυξημένες – ο δαίμονας της φύσης έχει λιγότερους τρόπους να μας εξαπατά. Οι λογικές και οι στατιστικές έρευνες των δυνατοτήτων και των περιορισμών της επιστημονικής έρευνας παραμένουν πολύτιμα κριτικά εργαλεία για να καθορίσουμε, ανάλογα με το υπόβαθρο γνώσης μας, ποια επιστημονικά προγράμματα μπορούμε να ελπίζουμε ότι θα επιλύσουν ποια συγκεκριμένα ερωτήματα. Ακόμη κι όταν η γνωσιολογία φυσικοποιείται, η κανονιστική φιλοσοφία της επιστήμης παραμένει ένα πολύ σημαντικό εγχείρημα.

3.8 ΝΟΗΜΑ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΟΛΙΣΜΟΣ

Τα τελευταία είκοσι χρόνια η καθιερωμένη θεώρηση και οι λύσεις που προτείνει στα προβλήματα του μεταφυσικού σκεπτικισμού και της δικαιολόγησης των επιστημονικών πεποιθήσεων υπέστησαν αυστηρή κριτική. Μια κριτική της καθιερωμένης θεώρησης είναι ότι μοιάζει να μην υπάρχουν αντικειμενικά γνωρίσματα που να μας λένε ποιοι επιστημονικοί ισχυρισμοί αποτελούν αιτήματα νοήματος. Κανένα διακριτικό γνώρισμα των επιστημονικών υποθέσεων δεν μας λέει ότι υπάρχουν αιτήματα νοήματος που δεν υπόκεινται σε εμπειρική απόρριψη. Ακόμη και μια αρχή που εισάγεται ρητά ως σύμβαση για το πώς θα χρησιμοποιείται ένας νέος όρος ενδέχεται, με τη συσσώρευση παρατηρήσεων, να εγκαταλειφθεί χάριν άλλων ισχυρισμών που έχουν επικυρωθεί ιστορικά με την αποδοχή και χρήση του υποτιθέμενου αιτήματος νοήματος. Όπως είπε και ο Κουάιν, κάθε ισχυρισμός μπορεί να θεωρηθεί ως αληθής ό,τι και αν συμβεί.

Κατά περίεργο τρόπο, τόσο ο Ράϊχενμπαχ όσο και ο Κάρναπ είχαν εν μέρει προβλέψει αυτή την κριτική. Είχαν θεωρήσει ότι η επιλογή συγκεκριμένων ισχυρισμών ως συμβάσεων νοήματος αποτελεί ένα κάπως αυθαίρετο στοιχείο της λογικής ανασυγκρότησης της επιστήμης. Η θέση τους φαίνεται να ήταν ότι για να κατανοήσουμε με ποιο τρόπο λειτουργούν κάθε φορά η επιστημονική συναγωγή και το επιστημονικό επιχείρημα, *κάποιοι* από τους ισχυρισμούς πρέπει να θεωρούνται ότι λειτουργούν ως αιτήματα νοήματος. Τα αιτήματα νοήματος μπορεί να αλλάζουν με το χρόνο, αλλά αυτές οι αλλαγές είναι στην ουσία μεταβολές του νοήματος των επιστημονικών όρων, όχι μεταβολές του περιεχομένου των επιστημονικών ισχυρισμών. Η εικόνα που υποστήριξε ο Κουάιν παρουσιάζει μια λεπτή αλλά σημαντική διαφορά. Κάθε αποδεκτός επιστημονικός ισχυρισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανά πάσα στιγμή για να δικαιολογήσει οποιονδήποτε άλλο αποδεκτό επιστημονικό ισχυρισμό· αν εξαιρέσουμε κάποιες σπάνιες χρήσεις όπως οι συντμήσεις, δεν υπάρχει, ούτε καν σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, καμιά διάκριση μεταξύ των ισχυρισμών.

Η κριτική του Κουάιν παρήγαγε δύο γραμμές σκέψης που ξεκινούν και οι δύο από την παραδοχή ότι ο Κουάιν έχει δίκιο και ότι καμιά πρόταση δεν λειτουργεί απλώς ως αίτημα νοήματος. Η μια γραμμή σκέψης προσπάθησε να διασώσει τα επιτεύγματα της καθιερωμένης θεώρησης με το να εξηγήσει πώς οι επιστημονικοί ισχυρισμοί θα μπορούσαν να ελεγχθούν και να επικυρωθούν ακόμη και χωρίς αιτήματα νοήματος. Η άλλη επικεντρώθηκε περισσότερο στο νόημα παρά στα τεκμήρια. Αν δεν υπάρχουν αιτήματα νοήματος, με ποιο τρόπο αποκτούν οι θεωρητικοί όροι το νόημά τους; Τι είναι αυτό που καθορίζει σε ποιες συνθήκες οι θεωρητικοί όροι εφαρμόζονται ορθά και σε ποιες όχι; Μια απάντηση που δόθηκε έχει σε γενικές γραμμές ως εξής: Ένας θεωρητικός όρος γενικά εισάγεται για να περιγράψει το αίτιο κάποιας όψης ενός σώματος από πειραματικά και παρατηρησιακά φαινόμενα. Ο θεωρητικός όρος υποδηλώνει τότε οτιδή-

ποτε είναι αυτό που παίζει αυτόν τον αιτιακό ρόλο για την εν λόγω όψη των φαινομένων (αν τελικά υπάρχει κάτι τέτοιο). Ενδέχεται οι όψεις κάποιων φαινομένων για τις οποίες εισάγεται ένας όρος να οφείλονται σε άλλες αιτίες· σ' αυτή την περίπτωση, ο θεωρητικός όρος μπορεί «να υποδηλώνει εν μέρει» καθένα απ' αυτά τα χαρακτηριστικά και όχι μόνο ένα απ' αυτά (Field 1973). Μια πιο ριζοσπαστική άποψη υποστηρίχθηκε από τον ίδιο τον Κουάιν: Ένας θεωρητικός όρος αποκτά το νόημά του από ολόκληρο το σώμα των επιστημονικών πεποιθήσεων στο οποίο βρίσκεται ενσωματωμένος. Αυτή η άποψη, που συχνά ονομάζεται *νοηματικός ολισμός* (meaning holism), αρνείται κάθε διάκριση μεταξύ νοήματος και πεποίθησης. Συνεπάγεται δε, ότι αν αλλάξουν οι πεποιθήσεις σχετικά με μια συλλογή προτάσεων, τότε αλλάζει και το νόημα των όρων που περιέχονται στις προτάσεις. Αυτή η άποψη, ή μάλλον το φαινόμενο που διατείνεται ότι περιγράφει –ότι δηλαδή κάθε φορά που αλλάζει κάποια επιστημονική γνώμη, αλλάζει και το νόημα όλων των επιστημονικών όρων– ονομάζεται ορισμένες φορές *νοηματική μεταβλητότητα* (meaning variance).

Ακριβώς όπως κανένα καθαρό σημάδι δεν φαίνεται να διακρίνει τα αιτήματα νοήματος από τους άλλους επιστημονικούς ισχυρισμούς, έτσι, αν το σκεφτεί κανείς, κανένα καθαρό σημάδι δεν φαίνεται να διακρίνει αυτό που είναι παρατηρήσιμο από εκείνο που δεν είναι παρατηρήσιμο, και σίγουρα κανένα διακριτικό γνώρισμα δεν φαίνεται κατάλληλο για να θεμελιώσει μια θεωρία νοήματος. Ανάλογα με τις λεπτομέρειες των συμφραζομένων και τις ενεχόμενες επιστημονικές πεποιθήσεις, σχεδόν κάθε πρόταση διατυπωμένη στη γλώσσα των θεωριών μας *θα μπορούσε* να χρησιμεύσει ως αναφορά παρατηρήσεων. Για παράδειγμα, ένας επιστήμονας που πιστεύει ότι ο νόμος των Ντυλόνγκ και Πετί είναι κατά προσέγγιση σωστός, θα μπορούσε να κάνει μετρήσεις με ένα θερμιδόμετρο και να αναφέρει: «Παρατηρήθηκε ότι το ατομικό βάρος του υδρογόνου είναι μικρότερο από το ατομικό βάρος του οξυγόνου στα δείγματά μας». Ένας φυσικός, εξετάζοντας φωτογραφίες σωματιδίων που κινούνται σ' έναν επιταχυντή, θα μπορούσε να πει: «Παρατηρήθηκε ένα σωματίδιο Ζ». Στην πράξη κρίνουμε εάν οι αναφορές των παρατηρήσεων είναι ορθές από το αν η περίπτωση που υποτίθεται ότι παρατηρήθηκε έλαβε όντως χώρα, και από το αν οι παρατηρητές ήταν έτσι τοποθετημένοι ώστε να είναι ικανοί να διακρίνουν τη συγκεκριμένη περίπτωση από άλλες, για παράδειγμα από την απουσία ενός σωματιδίου Ζ στην εικόνα. Καμιά απ' αυτές τις αξιώσεις δεν ικανοποιείται αποκλειστικά από προτάσεις που είναι διατυπωμένες σε κάποιο ειδικό παρατηρησιακό λεξιλόγιο. Επιπλέον, ο τρόπος με τον οποίο αναφέρονται οι παρατηρήσεις εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό –όπως επεσήμανε ο Λοκ– από τις πεποιθήσεις του παρατηρητή. Ένας επιστήμονας που υποστηρίζει μια θεωρία μπορεί να περιγράψει ειλικρινώς πειραματικές παρατηρήσεις με διαφορετικό τρόπο από αυτόν με τον οποίο ένας άλλος επιστήμονας που υποστηρίζει μιαν ανταγωνιστική θεωρία θα περιέγραφε, πάλι ειλικρινώς, τα αποτελέσματα του ίδιου πειράματος. Ωστόσο, αν ισχύει ο νοηματικός ολισμός, δεν υπάρχει ουδέτερη διατύπωση για το τι πα-

ρατηρήθηκε. Οι παρατηρήσεις είναι αναπόφευκτα *φορτισμένες από θεωρία* (theory laden).

Μερικές φορές, οι πιο φρέσκιες σκέψεις σ' έναν κλάδο προέρχονται από κάποιους που βρίσκονται στο εξωτερικό του και διαισθάνονται τα ευρύτερα ζητήματα χωρίς να εμπλέκονται στη λεπτομερή επιχειρηματολογία των ειδικών. Ηγέτης της επίθεσης ενάντια στην καθιερωμένη θεώρηση υπήρξε ο Τόμας Κουν (Thomas Kuhn, 1970), ο οποίος είχε τότε σπουδάσει φυσική και ιστορία της επιστήμης αλλά όχι φιλοσοφία. Με τη βοήθεια ιστορικών παραδειγμάτων, ο Κουν υποστήριξε ότι ριζικές ρήξεις εμφανίζονται περιστασιακά στην επιστημονική παράδοση όταν οι επιστήμονες ακολουθούν διαφορετικές γραμμές έρευνας χρησιμοποιώντας διαφορετικά πρότυπα επιχειρημάτων και συνάγοντας διαφορετικά συμπεράσματα από τις παρατηρήσεις. Ο Κουν υποστήριξε ότι οι επιστήμονες που χωρίζονται από μια τέτοια ρήξη κυριολεκτικά δεν καταλαβαίνουν ο ένας τον άλλο –οι επιστημονικές τους γλώσσες είναι ασύμμετρες (incommesurable)– *και* δεν διαθέτουν καμιά κοινή μέθοδο που θα τους επέτρεπε να λύσουν τις διαφωνίες τους. Κατά τη διάρκεια μιας επιστημονικής επανάστασης, η επιτυχία καθορίζεται από τη ρητορική και την πολιτική και όχι από τα τεκμήρια. Επιπλέον, η επιστήμη δεν συσσωρεύει αλήθειες με την πάροδο του χρόνου. Όταν λαμβάνει χώρα μια επιστημονική ρήξη, όλα τα αποτελέσματα που συγκεντρώθηκαν από την προηγούμενη παράδοση απορρίπτονται· είτε απορρίπτονται εξ ολοκλήρου από τη νέα παράδοση –ή *παράδειγμα*, όπως την ονομάζει ο Κουν– είτε τους δίδεται νέο νόημα.

Μεγάλο μέρος της φιλοσοφίας της επιστήμης τα τελευταία είκοσι χρόνια αφιερώθηκε στο ζήτημα του αν θα πρέπει να εγκαταλειφθεί εντελώς η καθιερωμένη θεώρηση ή να διασωθούν τα ουσιώδη στοιχεία της. Μεταξύ άλλων, υποστηρίχθηκε ότι οι θεωρίες του νοηματικού ολισμού και της νοηματικής μεταβλητότητας είναι λανθασμένες υπερβολές, ότι υπάρχουν χαρακτηρισμοί των παρατηρήσεων που παραμένουν ουδέτεροι ως προς ανταγωνιστικές θεωρίες και ότι οι ιστορικές θεωρήσεις του Κουν και άλλων είναι λανθασμένες. Αντί να υπεισέλθουμε στις λεπτομέρειες αυτών των διαμαχών (βλέπε Κεφάλαιο 4), ας εξετάσουμε ορισμένες απαντήσεις που αφορούν την εγκατάλειψη της καθιερωμένης θεώρησης.

3.9 ΟΛΙΣΜΟΣ, ΣΧΕΤΙΚΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΑ

Μία από τις πρώτες συνέπειες που έχει η απόρριψη της καθιερωμένης θεώρησης είναι ένα πρόβλημα που ανακύπτει σχετικά με τη συνάφεια των τεκμηρίων προς την αντίστοιχη θεωρία. Η εγκατάλειψη των αιτημάτων νοήματος σήμαινε ότι οι σχέσεις επικύρωσης που ενέχουν θεωρητικούς όρους δεν μπορούσαν πλέον να προσδιορίζονται σε αναφορά προς το σύνολο μιας γλώσσας θεωρητικών και παρατηρησιακών όρων. Οπότε, οι φιλόσοφοι της επιστήμης προσπάθησαν

να εντοπίσουν σχέσεις επικύρωσης που είναι *συναφείς προς μία θεωρία*. Από το ίδιο σύνολο παρατηρησιακών προτάσεων, διαφορετικές θεωρίες θα παράγουν διαφορετικές προτάσεις επικύρωσης μιας υπόθεσης. Αυτή η γραμμή σκέψης υπονομεύθηκε από την ουσιώδη ανικανότητά της να επιλύσει ζητήματα σχετικά με τα όρια της γνώσης, δηλαδή να απαντήσει σε εκείνα ακριβώς τα ερωτήματα που υποκίνησαν όλη τη φιλοσοφική ανάπτυξη που οδήγησε στην καθιερωμένη θεώρηση. Για παράδειγμα, θα μπορούσε κανείς να αναλύσει λογικά το ποιους ισχυρισμούς ήταν δυνατόν να ανακαλύψει στο όριο ένας επιστήμονας *προϋποθέτοντας μία θεωρία*. Η απάντηση εδώ θα ήταν ουσιαστικά ίδια με αυτήν της καθιερωμένης θεώρησης με τη διαφορά ότι στη θέση των αιτημάτων νοήματος θα βρισκόταν το σύνολο της θεωρίας. Αφού η αλήθεια μιας θεωρίας στο σύνολό της προφανώς δεν εξασφαλίζεται μέσω νοηματικών συμβάσεων, πώς μπορούμε να γνωρίζουμε ποιες θεωρίες να χρησιμοποιήσουμε; Αν καμιά θεωρία δεν προϋποτίθεται, τότε οι επιστήμονες θα μπορούσαν να κερδίσουν μόνο εκείνα τα παιχνίδια στα οποία ο εξεταζόμενος ισχυρισμός θα είχε απλώς την κατάλληλη λογική μορφή και καθόλου θεωρητικό λεξιλόγιο.

Από τη στιγμή που εγκαταλείπουμε την άποψη της καθιερωμένης θεώρησης ότι τα συναφή τεκμήρια μπορούν να εντοπίζονται, ότι ένα πειραματικό αποτέλεσμα είναι υπέρ ή κατά συγκεκριμένων υποθέσεων αλλά όχι άλλων, οι επιστημονικοί ισχυρισμοί φαίνονται να υποκαθορίζονται όλο και περισσότερο. Αυτό ήταν το συμπέρασμα του Κουάιν (1961), και του Πιέρ Ντυέμ (Pierre Duhem [1906], 1954), ενός διακεκριμένου φυσικοχημικού που έγραψε το έργο του πριν από τη διαμόρφωση της καθιερωμένης θεώρησης. Ο Ντυέμ υποστήριξε ότι σε κάθε σύγχρονο επιστημονικό πείραμα ουσιαστικά περιέχεται το σύνολο της φυσικής· ο σχεδιασμός της συσκευής και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μπορεί να ενέχει όχι μόνο την εξεταζόμενη υπόθεση, αλλά και αρχές της οπτικής, της θερμοδυναμικής, της ηλεκτρονικής, άρα και του ηλεκτρομαγνητισμού, κ.ο.κ. Αν το πείραμα δεν δίνει το αναμενόμενο αποτέλεσμα, η ευθύνη μπορεί να αποδοθεί στην εξεταζόμενη υπόθεση, αλλά από καθαρά λογική άποψη οποιαδήποτε από τις αρχές της φυσικής μπορεί να θεωρηθεί εξίσου υπεύθυνη. Ο έντονα αμφισβητούμενος ισχυρισμός ότι δεν υπάρχουν αρχές βάσει των οποίων να μπορεί να εντοπισθεί το σημείο αναφοράς των τεκμηρίων ονομάζεται συχνά *θέση Ντυέμ-Κουάιν*.

Μια χρήση της θέσης Ντυέμ-Κουάιν γίνεται στην ονομαζόμενη *απαισιόδοξη επαγωγή*· πρόκειται για ένα επιχείρημα κατά το οποίο το μόνο εύλογο συμπέρασμα που μπορούμε να συναγάγουμε για τους τρέχοντες ισχυρισμούς της επιστήμης είναι ότι αυτοί είναι ψευδείς. Το επιχείρημα (Laudan, 1984) έχει ως εξής: Βλέποντας τα πράγματα από τη σκοπιά τού σήμερα, κάθε θεωρία στην ιστορία της επιστήμης είναι ψευδής από κάποια άποψη. Η νευτώνεια θεωρία της βαρύτητας είναι λανθασμένη, όπως επίσης είναι η κλασική θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού, η ατομική θεωρία του Ντάλτον, η κλασική φυσική οπτική, η ειδική θεωρία της σχετικότητας, η θεωρία του Μπορ (Bohr) για το άτομο, κ.ο.κ. Τα λά-

θη αυτών των θεωριών μπορεί να μην έχουν σημασία για τους περισσότερους πρακτικούς σκοπούς μας, ωστόσο, αν ιδωθούν από τη σημερινή οπτική γωνία όλες οι θεωρίες είναι, για την ακρίβεια, θεωρίες ψευδείς. Αφού όλες οι θεωρίες στην ιστορία υπήρξαν ψευδείς, συνεχίζει το επιχείρημα, πρέπει να συμπεράνουμε ότι οι μέθοδοι της επιστήμης δεν παράγουν αληθείς θεωρίες· κατά συνέπεια, οι σημερινές επιστημονικές θεωρίες, που αποκτήθηκαν με τις ίδιες μεθόδους, είναι επίσης ψευδείς.

Είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι η οποιαδήποτε ευλογοφάνεια της απαισιόδοξης επαγωγής, εξαρτάται από την απόρριψη της καθιερωμένης θεώρησης των θεωριών και από την επίκληση της θέσης Ντυέμ-Κουάιν ή κάποιας παρόμοιας. Αν στραφούμε σε περιπτώσεις ψευδών θεωριών του παρελθόντος, παρατηρούμε ότι ορισμένα τμήματα της θεωρίας είναι λανθασμένα, ενώ άλλα φαίνονται να είναι λιγότερο λάθος. Η ατομική θεωρία του Ντάλτον, για παράδειγμα, περιλαμβάνει τους ισχυρισμούς ότι η θερμότητα είναι ένα ρευστό, το «θερμιδικό» (caloric), και ότι όλα τα άτομα έχουν τον ίδιο όγκο. Εκ των υστέρων, αυτοί οι ισχυρισμοί φαίνονται λανθασμένοι. Ο Ντάλτον υποστήριζε επίσης ότι όλα τα άτομα του ίδιου στοιχείου έχουν το ίδιο βάρος, που φαίνεται επίσης λανθασμένο, αλλά λιγότερο, και στην ουσία *σχεδόν* αληθές. Ο ίδιος, επίσης, υποστήριζε ότι όλα τα μόρια μιας ένωσης περιέχουν τον ίδιο αριθμό ατόμων από κάθε στοιχείο, και αυτό φαίνεται ακόμη και σήμερα εντελώς σωστό. Όπως διακρίνουμε χωρίς αυστηρότητα τα διάφορα μέρη της θεωρίας του Ντάλτον ως περισσότερο ή λιγότερο σωστά, έτσι και εκτιμούμε χωρίς αυστηρότητα την επάρκεια των τεκμηρίων που αυτός αντίστοιχα διέθετε. Τα τεκμήρια που διέθετε ο Ντάλτον για τη θερμιδική θεωρία και για την υπόθεση σχετικά με τα άτομα φαίνονται εκ των υστέρων ανυπόστατα, ενώ τα τεκμήρια για τη σύσταση των μορίων και την ισότητα των βαρών τους φαίνονται καλύτερα. Αυτοί οι διαχωρισμοί έχουν κάποιο νόημα για την καθιερωμένη θεώρηση, αλλά δεν έχουν κανένα νόημα σύμφωνα με την ολιστική άποψη για τα τεκμήρια.

Μια άλλη αντίδραση που προκλήθηκε από την παρακμή των απόψεων της καθιερωμένης θεώρησης εκφράστηκε από το κίνημα της κοινωνιολογίας της γνώσης. Κατά την ισχυρότερη διατύπωσή της (η οποία, μάλιστα, αποκαλείται συχνά *ισχυρό πρόγραμμα*), κάποιοι κοινωνιολόγοι και πολιτισμικοί ανθρωπολόγοι υποστήριξαν ότι το περιεχόμενο της επιστήμης αποτελεί εξ ολοκλήρου προϊόν σύνθετων κοινωνικών διεργασιών και εθίμων των οποίων η λειτουργία συχνά παραμένει κρυμμένη από τους ίδιους τους επιστήμονες. Σύμφωνα με αυτή την άποψη, οι επιστήμονες δεν ανακαλύπτουν στην πραγματικότητα τίποτε, αν και οι ίδιοι μπορεί να νομίζουν ότι ανακαλύπτουν. Αντίθετα η επιστήμη είναι ένα πολύπλοκο και δαπανηρό κοινωνικό σύστημα για να αποφασίζει κανείς για το τι να πει, για το πώς να μιλήσει για τον κόσμο, και για να παίρνει αποφάσεις που αφορούν την κοινωνία σχετικά με τεχνικά ζητήματα όπως, για παράδειγμα, αν θα κτιστεί ένα εργοστάσιο πυρηνικής ενέργειας. Η επιστημονική κοινότητα λαμβάνει τέτοιου είδους αποφάσεις στηριζόμενη ουσιαστικά σε πολιτικά κριτή-

ρια· μερικοί άνθρωποι έχουν περισσότερο κύρος, περισσότερη επιρροή και δύναμη από άλλους, και εφόσον διατηρούν αυτά τα πλεονεκτήματα, οι επιστημονικές θεωρήσεις που υποστηρίζουν γίνονται σεβαστές. Δεν υπάρχει η παραμικρή κανονιστική διαφορά μεταξύ των ισχυρισμών της επιστήμης και των ισχυρισμών οποιασδήποτε θρησκείας ή θρησκευτικής ομάδας· οι επιστημονικοί ισχυρισμοί δεν στηρίζονται σε περισσότερες εγγυήσεις, δεν είναι περισσότερο δικαιολογημένοι ή ορθολογικοί από τους ισχυρισμούς των ισλαμικών ή των χριστιανικών αιρέσεων, ή από τις θεωρίες της επίπεδης Γης και την αστρολογία.

Λίγοι φιλόσοφοι της επιστήμης βλέπουν με συμπάθεια το ισχυρό πρόγραμμα, ωστόσο η ουσία του προγράμματος πρέπει να κατανοηθεί με τον σωστό τρόπο. Η θέση που υποστηρίζεται δεν είναι (ή τουλάχιστον, δεν χρειάζεται να είναι) ότι τα *μόνα γεγονότα* που υπάρχουν είναι κοινωνικά γεγονότα. Αναμφίβολα υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός γεγονότων που δεν είναι κοινωνικά, αλλά ακριβώς επειδή η επιστήμη συνιστά κοινωνικό εγχείρημα, θεωρείται ανίκανη να εγγυηθεί την ορθότητα των ισχυρισμών της.

Οι θεωρίες της νοηματικής μεταβλητότητας και του νοηματικού ολισμού, σε συνδυασμό με την απόρριψη της διάκρισης θεωρητικής-παρατηρησιακής γλώσσας, καταλήγουν σε μιαν άποψη κατά την οποία η επιτυχία της επιστήμης αποτελεί μυστήριο: Το νόημα αλλάζει με τις πεποιθήσεις και η θεωρία της νοηματικής μεταβλητότητας εφαρμόζεται τόσο για αναφορές παρατηρήσεων όσο και για άλλους επιστημονικούς ισχυρισμούς. Οι επιστήμονες που υποστηρίζουν διαφορετικές γνώμες δεν μοιράζονται τα ίδια νοήματα, ακόμα και αν οι διαφορές ανακύπτουν σε ζητήματα που δεν φαίνεται να σχετίζονται άμεσα με το εξεταζόμενο θέμα. Ανταγωνιστικές επιστημονικές θεωρίες φαίνεται να μην μπορούν να εξετασθούν ως προς μια κοινή βάση παρατηρήσεων, αφού το νόημα των παρατηρήσεων εξαρτάται από το ποια θεωρία κανείς αποδέχεται. Δεν φαίνεται να υπάρχει κανένας τρόπος που να δείχνει πότε η επιστημονική έρευνα είναι ή δεν είναι σε θέση να οδηγήσει με αξιοπιστία στην αλήθεια. Όταν τόσο το νόημα όσο και ο κόσμος της εμπειρίας ποικίλλουν ανάλογα με τις πεποιθήσεις ή το εννοιολογικό σχήμα του παρατηρητή, τα μεγάλα φιλοσοφικά ζητήματα σχετικά με τη δυνατότητα της γνώσης δεν μπορούν να απαντηθούν, γιατί δεν μπορούν να διατυπωθούν με τρόπο που να έχει νόημα. Η φιλοσοφία της επιστήμης (και κάποιοι θα έλεγαν η φιλοσοφία γενικά) φθάνει σε ένα αδιέξοδο όπου δεν μπορεί να γίνει τίποτα· η φιλοσοφία και ειδικότερα η φιλοσοφία της επιστήμης δεν έχει τίποτα να ανακαλύψει σχετικά με το πώς μπορούμε να αποκτήσουμε αξιόπιστη γνώση για τον κόσμο ή σχετικά με τα όρια μιας τέτοιας γνώσης. Αυτό ακριβώς είναι το συμπέρασμα στο οποίο έφθασαν ορισμένοι επιφανείς φιλόσοφοι, όπως ο Ρόρτυ για παράδειγμα (Rorty, 1979), που ακολούθησαν και αποδέχθηκαν τις επιθέσεις εναντίον της καθιερωμένης θεώρησης και οι οποίοι συνιστούν να εγκαταλειφθεί η αναζήτηση φιλοσοφικών απαντήσεων σχετικά με τη γνώση.

3.10 ΣΧΕΤΙΚΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Ανεξάρτητα από την επιχειρηματολογία γύρω από την καθιερωμένη θεώρηση των θεωριών, η σύγχρονη κβαντομηχανική προσέφερε σε ορισμένους φιλοσόφους της επιστήμης λόγους να πιστεύουν ότι δεν μπορούμε να αποκτήσουμε καμιά γνώση για τον κόσμο ανεξάρτητα από τα μεταβλητά γνωρίσματα του εαυτού μας. Δεν μπορούμε, διότι δεν υπάρχει τέτοιος κόσμος.

Η κβαντική θεωρία περιλαμβάνει τόσο δυναμικές μεταβλητές, όπως τη θέση, την ορμή, το χρόνο, την ενέργεια όσο και καταστάσεις ενός φυσικού συστήματος. Η θεωρία, ωστόσο, δεν περιέχει φυσικές καταστάσεις στις οποίες όλες οι δυναμικές μεταβλητές έχουν ακριβείς τιμές. Για παράδειγμα, κάθε κατάσταση όπου η θέση είναι πλήρως καθορισμένη, αποτελεί μια κατάσταση όπου η ορμή είναι εντελώς απροσδιόριστη. Η κβαντική θεωρία περιορίζει την ακρίβεια με την οποία κάθε επιτρεπτή κατάσταση μπορεί να καθορίσει τη θέση και την ορμή, όπως επίσης το χρόνο και την ενέργεια. Αυτοί οι περιορισμοί είναι οι περίφημες σχέσεις απροσδιοριστίας του Χάιζενμπεργκ (βλέπε Κεφάλαιο 6, Παράγραφοι 6.11- 6.16 για εις βάθος ανάλυση).

Μια εύλογη αντίδραση στην κβαντική θεωρία είναι να θεωρήσουμε ότι τα μικροσκοπικά συστήματα έχουν ακριβείς τιμές για όλες τις δυναμικές μεταβλητές τους, αλλά η θεωρία απλώς δεν είναι σε θέση να προσδιορίσει με ακρίβεια αυτές τις ποσότητες. Μολονότι αυτή η άποψη έχει τους υποστηρικτές της, ένας μεγάλος αριθμός εμπειρικών και μαθηματικών ερευνών οδήγησαν πολλούς φυσικούς και φιλοσόφους της επιστήμης να πιστέψουν ότι αυτή είναι λανθασμένη. Αντίθετα, τα συστήματα κυριολεκτικά δεν έχουν ταυτοχρόνως ακριβή τιμή για τη θέση και την ορμή· ωστόσο, αν κάνουμε ένα πείραμα για να μετρήσουμε τη θέση, βρίσκουμε μια τιμή, όπως και αν κάνουμε ένα πείραμα να μετρήσουμε την ορμή βρίσκουμε και πάλι κάποια τιμή. Το ποιες ιδιότητες επιδεικνύει ο κόσμος εξαρτάται από το ποιο ερώτημα του θέτουμε.

Ο Νιλ Μπορ ονόμασε αυτό το φαινόμενο «συμπληρωματικότητα» (complementarity), και το συμπέρασμα στο οποίο έφτασε ήταν μια αναθεώρηση της καντιανής προσέγγισης. Η ψυχολογική εκδοχή της καντιανής εικόνας επιτάσσει έναν σταθερό αλλά μη δυνάμενο να γνωρισθεί κόσμο καθ' εαυτόν και ένα σταθερό «εμείς»· τα δύο προσδιορίζουν από κοινού τον κόσμο της εμπειρίας. Στην εικόνα του Μπορ υπάρχει επίσης ένας κόσμος καθ' εαυτόν που δεν μπορεί να γνωρισθεί και να περιγραφεί, όπως και ένα «εμείς», με τη διαφορά ότι το «εμείς» δεν είναι παγιωμένο. Μπορούμε να θέσουμε ένα σύνολο ερωτημάτων σχετικά με τον κόσμο και να λάβουμε ένα σύνολο συνεκτικών απαντήσεων. Όπως μπορούμε και να θέσουμε ένα άλλο από τα πολλά δυνατά σύνολα ερωτημάτων για τον κόσμο και σε κάθε περίπτωση να λάβουμε συνεκτικές απαντήσεις. Ωστόσο, οι διάφορες απαντήσεις για τα εκάστοτε σύνολα ερωτημάτων δεν μπορούν να συνδυαστούν σε μια μοναδική συνεκτική εικόνα του κόσμου. Το να αλλάζουμε

τα πειράματα που διεξάγουμε είναι σαν να αλλάζουμε εννοιολογικά σχήματα ή παραδείγματα: βιώνουμε έναν διαφορετικό κόσμο. Ακριβώς όπως κανένας κόσμος της εμπειρίας δεν συνδυάζει διαφορετικά εννοιολογικά σχήματα, καμιά πραγματικότητα που μπορούμε να βιώσουμε (ακόμη και εμμέσως μέσω των πειραμάτων μας) δεν συνδυάζει ακριβή θέση και ακριβή ορμή.

3.11 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ: ΡΕΑΛΙΣΜΟΣ, ΣΧΕΤΙΚΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

Η πιο άμεση σύνδεση μεταξύ της φιλοσοφίας της επιστήμης και της υπόλοιπης φιλοσοφίας γίνεται μέσω ζητημάτων που αφορούν τα όρια της γνώσης, το χαρακτήρα των δικαιολογημένων πεποιθήσεων και το εάν αυτές είναι δυνατές. Για ένα σύντομο χρονικό διάστημα, η συναίνεση μεταξύ των καλύτερων φιλοσόφων της επιστήμης που ακολουθούσαν το λογικό πρόγραμμα παρείχε ένα καθαρό πλαίσιο για τη διερεύνηση των παραπάνω ζητημάτων και την εύρεση αξιόλογων απαντήσεων. Αυτή η συναίνεση έχει εξαφανισθεί τα τελευταία χρόνια. Η κοινότητα των φιλοσόφων της επιστήμης έχει διασπαστεί σ' αυτούς που θεωρούν τη γενική προοπτική της καθιερωμένης θεώρησης των θεωριών ως σωστή –αν και οι περισσότεροι θα την τροποποιούσαν σε σημαντικό βαθμό– και σ' εκείνους που την απορρίπτουν υπέρ διαφόρων εναλλακτικών προσεγγίσεων. Το πιο ριζοσπαστικό και κατά μία έννοια το πιο ενδιαφέρον τμήμα υποστηρίζει ότι εφόσον το νόημα ποικίλλει ανάλογα με τις πεποιθήσεις και το εννοιολογικό σχήμα και εφόσον δεν υπάρχει γλωσσολογικός χαρακτηρισμός τού παρατηρήσιμου, τα γνωσιολογικά ερωτήματα που υποκίνησαν το εγχείρημα της φιλοσοφίας της επιστήμης δεν μπορούν να απαντηθούν. Η προσέγγιση των Λοκ, Καντ και Κάρναπ ερωτά τι μπορεί να γνωρίσει η επιστήμη με την παραδοχή ότι ορισμένα πράγματα –όπως τα νοήματα– είναι σταθερά. Οι ριζοσπάστες, ωστόσο, ισχυρίζονται ότι αυτά τα πράγματα δεν είναι παγιωμένα, και συνεπώς τα ερωτήματα δεν έχουν απάντηση.

Πολλοί, ίσως οι περισσότεροι, φιλόσοφοι της επιστήμης απορρίπτουν αυτήν τη σχετικιστική άποψη και οι συναφείς διαμάχες, όπως και αυτές που αφορούν το πώς πρέπει να βελτιωθεί ή εάν πρέπει να αντικατασταθεί η καθιερωμένη θεώρηση, παραμένουν κεντρικές στη σύγχρονη φιλοσοφία της επιστήμης. Αν υποθέσουμε, ωστόσο, ότι αποδεχόμαστε πλήρως τη σχετικιστική άποψη: το νόημα και η αλήθεια ποικίλλουν κατά τρόπο άγνωστο ανάλογα με όψεις της πεποίθησης και με τα πειράματα που επιλέγουμε να διεξαγάγουμε· παρατηρούμε έναν κόσμο, αλλά ο κόσμος που παρατηρούμε εξαρτάται από τα γνωρίσματα των πεποιθήσεών μας, του πολιτισμού μας ή των πειραμάτων μας. Κατά έναν αναπάντεχο τρόπο, ακόμη και σ' αυτήν τη ριζοσπαστική εικόνα, ερωτήματα σχετικά με τον επιστημονικό ρεαλισμό και τα όρια της επιστημονικής γνώσης εξακολουθούν να έχουν νόημα και απαντήσεις· οι γρίφοι των αντινομιών του Καντ εξακο-

λουθούν να επιβιώνουν. Υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με το ποιος είναι ο βέλτιστος τρόπος για να διεξάγεται η έρευνα, τις οποίες η φιλοσοφία μπορεί να αναζητήσει και να βρει.

Ακόμη και αν η σχετικιστική εικόνα ήταν σωστή, οι φιλόσοφοι (καθώς και άλλοι) μπορούν να διερευνήσουν *με ποιο τρόπο* το νόημα εξαρτάται από τις πεποιθήσεις και ποιες όψεις του νοήματος, της αναφοράς και της εμπειρίας μπορούν να τροποποιηθούν από αυτό που αλλάζει στις πεποιθήσεις, τα έθιμα ή τον πολιτισμό. Αλλά ίσως είναι σημαντικότερο το ότι ο σχετικισμός δεν είναι υποκειμενισμός· το ότι ο κόσμος της εμπειρίας εξαρτάται εν μέρει από μεταβλητά χαρακτηριστικά μας δεν σημαίνει ότι μπορούμε να έχουμε οποιονδήποτε κόσμο εμπειρίας επιθυμούμε. Ό,τι βιώνουμε εξαρτάται από εμάς και από κάτι διάφορο από εμάς – τα καντιανά πράγματα καθ' εαυτά ελλείψει καλύτερου όρου. Ο κόσμος καθ' εαυτόν και το εννοιολογικό μας σχήμα προσδιορίζουν από κοινού τον κόσμο που βιώνουμε και κατά συνέπεια το ποια ερωτήματα μπορούμε να απαντήσουμε και ποια όχι. Αν ο κόσμος της εμπειρίας εξαρτάται από κάποιο χαρακτηριστικό δικό μας και της κοινότητας –ας το ονομάσουμε εννοιολογικό σχήμα– τότε υπάρχουν λογικά γεγονότα σχετικά με το ποια ερωτήματα μπορούν να απαντηθούν και ποια όχι σ' ένα δεδομένο εννοιολογικό σχήμα και σχετικά με το ποια ερωτήματα μπορούν να απαντηθούν αν αλλάξει το εννοιολογικό σχήμα. Υπάρχουν τυπικά μοντέλα έρευνας όπου ορισμένα ερωτήματα μπορούν οριακά να διευθετηθούν –οι επιστήμονες μπορούν να νικήσουν το δαίμονα– αλλά μόνο αν οι επιστήμονες είναι ελεύθεροι να τροποποιήσουν κατάλληλα τα εννοιολογικά σχήματα. Σύμφωνα με αυτά τα μοντέλα, για ορισμένα ζητήματα η επιτυχημένη ανακάλυψη *απαιτεί* επιστημονικές επαναστάσεις. Ακόμη και αν ο σχετικισμός ήταν αληθής, τα όρια της γνώσης θα μπορούσαν να διερευνηθούν και θα προέκυπταν νέοι, καλύτεροι ή χειρότεροι, τρόποι διεξαγωγής της έρευνας. Η φιλοσοφία της επιστήμης αντέχει την επίθεση του σχετικισμού.[2]

ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΣΥΖΗΤΗΣΙΝ

1. Ας υποθέσουμε ότι κάποιος γνώριζε ότι δύο ασύμβατες θεωρίες, ας τις ονομάσουμε Α και Β, υποκαθορίζονται από όλα τα δυνατά τεκμήρια ενός ορισμένου τύπου Ε: Κάθε δυνατό τεκμήριο τύπου Ε είναι γνωστό ότι είναι συνεπές τόσο με την Α όσο και με τη Β. Υπάρχει κανένας *λόγος* να ισχυριζόμαστε ότι, παρ' όλα αυτά, το τεκμήριο τύπου Ε *επικυρώνει* την Α και όχι τη Β; Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο, ποιος είναι αυτός ο λόγος και γιατί έχει ενδιαφέρον; Έχει κανένα νόημα να ισχυριζόμαστε, παρ' όλα αυτά, ότι λόγω του τεκμηρίου τύπου Ε θα *δικαιολογούνταν* κάποιος να πιστέψει την Α παρά τη Β; Ποιοι στόχοι θα εξυπηρετούνταν με το να έχουμε μια σχέση επικύρωσης,

[2] Η γενική οπτική αυτού του κεφαλαίου - και η μπανάνα - οφείλουν πολλά στον Κέβιν Κέλυ.

κοινή για τις δύο θεωρίες, που προτιμά τη μια υποκαθορισμένη υπόθεση έναντι της άλλης;

2. Υπάρχει μια θεωρία για την έννοια της αλήθειας η οποία υποστηρίζει ότι όταν κανείς ισχυρίζεται ότι μια πρόταση είναι αληθής δεν κάνει τίποτε παραπάνω από το να επαναβεβαιώνει την πρόταση. Σύμφωνα με αυτή την άποψη, που ορισμένες φορές ονομάζεται *πλεοναστική* θεωρία της αλήθειας (redundancy theory of truth), η πρόταση, «"Ο ουρανός είναι μπλε" είναι αληθής» βεβαιώνει απλώς ότι ο ουρανός είναι μπλε. Ο ισχυρισμός ότι «Όλα όσα πιστεύει ο Σαμ είναι αληθή» ισοδυναμεί με το να βεβαιώνει κανείς το, άγνωστο κατά τα άλλα, σύνολο προτάσεων που πιστεύει ο Σαμ.

Κάποιος υποστηρικτής της πλεοναστικής θεωρίας θέτει το ερώτημα: *Γιατί είναι πρακτικά χρήσιμο να πιστεύουμε στην αλήθεια; Έχει καν νόημα* αυτό το ερώτημα σύμφωνα με την πλεοναστική θεωρία και γιατί; Ποιες εκφράσεις που χρησιμοποιούν τη λέξη «αλήθεια» είναι δύσκολο να εξηγηθούν από την πλεοναστική θεωρία;

3. Ας υποθέσουμε ότι μετά από προσεκτική λογική και ψυχολογική μελέτη βρίσκουμε ότι το σύνολο των κοινότοπων πεποιθήσεων (σχετικά με τα καθημερινά αντικείμενα, τις τοπικές και χρονικές σχέσεις, τις αιτιακές συνδέσεις κ.λπ.) που απαιτούνται ως υπόβαθρο γνώσης για μιαν αξιόπιστη επιστημονική έρευνα δεν μπορούν να αποκτηθούν αξιόπιστα από κανένα σύνολο δυνατών γεγονότων που αναφέρονται σε στοιχειώδεις εμπειρίες σαν αυτές που έχει στη διάθεσή του ένα νήπιο. Τι πρέπει να πούμε σ' αυτή την περίπτωση για τους επιστημονικούς ισχυρισμούς μας και τις κοινότοπες πεποιθήσεις μας για τον κόσμο; Θα συνιστούσαν γνώση, δόγμα, ή κάτι άλλο;
4. Ας υποθέσουμε ότι δύο μέθοδοι έρευνας έχουν τον ίδιο βαθμό αξιοπιστίας και καταλληλότητας, με εξαίρεση ότι η πρώτη μέθοδος θα βρει ότι το Α είναι αληθές αν όντως το Α είναι αληθές, ενώ η δεύτερη μέθοδος δεν θα το βρει. Ας υποθέσουμε ότι είστε πεπεισμένοι ότι το Α δεν είναι αληθές. Έχετε κανένα λόγο να προτιμήσετε την πρώτη μέθοδο αντί της δεύτερης;
5. Τι νόημα θα μπορούσε να έχει ο ισχυρισμός ότι δύο επιστήμονες που μιλούν την ίδια φυσική γλώσσα και δουλεύουν στον ίδιο επιστημονικό κλάδο κυριολεκτικά δεν κατανοούν ο ένας τους ισχυρισμούς του άλλου; Τι απαιτεί η κατανόηση των ισχυρισμών ενός άλλου ατόμου; Αρκεί, για παράδειγμα, να είναι κάποιος ικανός να περιγράψει αυτό που ο άλλος θα έλεγε για την εκάστοτε περίσταση; Είναι δυνατόν να υπάρξουν επαρκή τεκμήρια όσον αφορά το ότι μεγάλοι επιστήμονες που ασπάστηκαν διαφορετικές θεωρίες ή «παραδείγματα» κυριολεκτικά *δεν μπορούσαν* να καταλάβουν ο ένας τον άλλο; Με τι θα έμοιαζαν τέτοιου είδους τεκμήρια;
6. Οι κοινωνικές προσεγγίσεις στη γνωσιολογία δίνουν έμφαση στην αξία των διαδικασιών που οδηγούν στη συναίνεση και όχι στην αξία των αξιόπιστων διαδικασιών της έρευνας. Ποιοι τρόποι οργάνωσης της ανταμοιβής, της διάδοσης των απόψεων, της πρόσβασης στις πηγές θα οδηγούσαν στην επίτευξη

μιας συναίνεσης για το ποιες απόψεις είναι *αληθείς*; Είναι η επιστήμη οργανωμένη με έναν τέτοιο τρόπο; Τι είδους τεκμήρια υπάρχουν για το ότι το εγχείρημα της επιστήμης έχει στόχους διαφορετικούς από μια συναίνεση που είναι ανεξάρτητη από την αλήθεια;

7. Αν στην πραγματικότητα ήσασταν ένας εγκέφαλος μέσα σε δοχείο, εγκέφαλος του οποίου όλες οι εμπειρίες αποτελούν ψευδαισθήσεις που παράγονται από ερεθισμούς στις απολήξεις των νεύρων του, ελεγχόμενους από έναν υπολογιστή, τι θα σήμαινε η φράση σας «εγκέφαλος σε δοχείο»;
8. Θα μπορούσε μια ιδεώδης επιστημονική θεωρία που έδωσε την καλύτερη δυνατή εξήγηση όλων των δυνατών τεκμηρίων να είναι μολαταύτα ψευδής;

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ορισμένες σημαντικές πηγές από τη φιλοσοφική παράδοση μπορούν να βρεθούν στα βιβλία:

CAHN, STEVEN M. (επιμ.) (1977) *Classics of Western Philosophy*. Indianapolis: Hackett.

HAMILTON, EDITH και HUNTINGTON CAIRNS (επιμ.) (1961). *The Collected Dialogues of Plato. Including the Letters*. Translated by Lane Cooper and others. New York: Pantheon Books.

KANT, IMMANUEL ([1787] 1865), *Critique of Pure Reason*. Translated by Norman Kemp Smith. New York: St. Martin 's Press.

Δύο πρόσφατες ερμηνείες της καντιανής θεωρίας της γνώσης, πολύ διαφορετικές μεταξύ τους, είναι:

GUYER, PAUL (1987), *Kant and the Claims of Knowledge*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

KITCHER, PATRICIA (1990). *Kant's Transcendental Psychology*. New York: Oxford University Press.

Πολλά σημαντικά άρθρα για την επανάσταση στη Λογική και τις εφαρμογές της στη Φιλοσοφία της επιστήμης μπορούν να βρεθούν στα βιβλία:

AYER, A. J. (επιμ.), *Logical Positivism*. New York: The Free Press.

VAN HEIJENOORT, JEAN (1967), *From Frege to Gödel: A Source Book in Mathematical Logic*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Η εργασία γύρω από τη λογική έρευνα της ανακάλυψης ξεκινά με το ιστορικό κείμενο του Πάτναμ και συνεχίζεται ώς τις μέρες μας:

GLYMOUR, CLARK and KEVIN KELLY (υπό έκδοση), *Logic, Computation and Discovery*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

KELLY, KEVIN (1995), *The Logic of Reliable Inquiry*. New York: Oxford University Press

OSHERSON, DANIEL. N., MICHAEL STOB, and SCOTT WEINSTEIN (1986), *Systems That Learn: An Introduction to Learning Theory for Cognitive and Computer Scientists*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.

PUTNAM, HILARY (1965). «Trial and Error Predicates and the Solution to a Problem of Mostowski», *The Journal of Symbolic Logic* 30: 49-57.

Διατυπώσεις αντιρεαλιστικών θέσεων που άσκησαν ιδιαίτερη επιρροή δίδονται στα βιβλία:

DUMMETT, MICHAEL. (1978). *Truth and Other Enigmas*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

FIELD, HARTRY (1980). *Science Without Numbers: A Defence of Nominalism*. Princeton University Press.

FINE, ARTHUR (1986). *The Shaky Game: Einstein, Realism, and the quantum Theory*. Chicago: University of Chicago Press.

GOODMAN, NELSON (1978), *Ways of Worldmaking*. Indianapolis, Hackett.

PUTNAM, HILARY (1981), *Reason, Truth and History*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

VAN FRAASSEN, BAS (1980), *The Scientific Image*. Oxford: Clarendon Press.

Συστηματικές απαντήσεις των ρεαλιστών αποτελούν μεταξύ άλλων τα βιβλία:

DEVITT, MICHAEL (1984), *Realism and Truth*. Princeton: Princeton University Press.

MILLER, RICHARD W. (1987), *Fact and Method: Explanation, Confirmation and Reality in the Natural and the Social Sciences*. Princeton: Princeton University Press.

VISION, GERALD (1988), *Modern Anti-Realism and Manufactured Truth*. London: Routledge.

Τέταρτο Κεφάλαιο

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ: ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

J.E. McGuire

Οι επιστημονικοί πολιτισμοί αναπτύσσονται και αλλάζουν. Οι κοσμοαντιλήψεις των αρχαίων πολιτισμών τροποποιήθηκαν σημαντικά κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα και της Αναγέννησης. Με τη σειρά τους, και αυτοί οι πολιτισμοί μετασχηματίσθηκαν ριζικά κατά τον δέκατο έβδομο αιώνα, τον αιώνα της Επιστημονικής Επανάστασης που σηματοδότησε την αρχή της Σύγχρονης Εποχής. Ομοίως και ο δικός μας επιστημονικός και τεχνολογικός πολιτισμός δύσκολα θα μπορούσε να συγκριθεί με τους κόσμους των Αρχαίων Ελλήνων, των μεσαιωνικών μεταφυσικών ή με τις κοσμοαντιλήψεις του δέκατου ένατου αιώνα. Με δυο λόγια, οι τρόποι που αλληλεπιδρούμε με το φυσικό περιβάλλον μας και οι τρόποι που το σκεφτόμαστε έχουν αλλάξει στο παρελθόν και θα συνεχίζουν να αλλάζουν.

Πώς όμως μπορούμε να κατανοήσουμε αυτήν την αλλαγή; Τι είδους παράγοντες (κοινωνικοί, ιστορικοί, πολιτισμικοί, θεσμικοί κ.λπ.) καθορίζουν την επιστημονική αλλαγή; Γιατί ορισμένες απόψεις για τον φυσικό κόσμο γίνονται αποδεκτές ενώ άλλες, εξίσου αληθοφανείς, απορρίπτονται; Υπάρχουν μορφές συνέχειας μέσα από την επιστημονική αλλαγή; Εάν ναι, ποιες είναι και πώς μπορούμε να τις προσδιορίσουμε; Ή μήπως οι παλιότερες θεωρίες και πρακτικές είναι ριζικά ασύμμετρες σε σχέση με τις κατοπινές; Είναι υποχρεωτικό να θεωρήσουμε την επιστημονική ανάπτυξη στο σύνολό της συνεχή ή ασυνεχή, ή μήπως μπορούμε να τη θεωρήσουμε συνεχή σε κάποια επίπεδα πρακτικής και ασυνεχή σε κάποια άλλα; Και πάλι, ποια σχέση υφίσταται μεταξύ των παραδοσιακών προοπτικών που βρίσκονται ενσωματωμένες στο επιστημονικό εγχείρημα και των νεοτερικών αλλαγών στη θεωρία και την πρακτική; Η σχέση μεταξύ παράδοσης και καινοτομίας είναι απλώς συγκυριακή, ή υπάρχει κάποια εσωτερική συνάφεια; Οι θεωρίες γίνονται αποδεκτές επειδή διατηρούν κάποια υπερ-

χρονική, από λογική άποψη, σχέση με αντικειμενικά εμπειρικά τεκμήρια, όπως σχέση επικύρωσης, επαλήθευσης ή ενίσχυσης; Ή μήπως γίνονται αποδεκτές επειδή συνιστούν ανθρώπινες κατασκευές που ικανοποιούν τις γνωσιακές και κοινωνικές κανονικότητες των επιστημονικών πολιτισμών στις οποίες είναι εμφυτευμένες;

Είναι περιττό να πούμε ότι οι διάφορες απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα ανακινούν βαθύτατα ζητήματα. Ας ξεκινήσουμε διερευνώντας κατά έναν προκαταρκτικό τρόπο την εμβέλεια αυτών των ζητημάτων. Η επιστημονική αλλαγή μπορεί να θεωρηθεί κατά δύο βασικούς τρόπους. Πρώτον, μπορεί να ιδωθεί ως το εγχείρημα λογικής αποτίμησης των εμπειρικών συνεπαγωγών που έχουν οι διάφορες επιστημονικές θεωρίες σε σύγκριση με αυτές των αντιπάλων τους. Σε αυτό το πλαίσιο, λαμβάνονται υπ' όψιν οι διάφοροι παράγοντες δικαιολόγησης, όπως ο βαθμός επικύρωσης, η ισχύς της επαλήθευσης, ο χειρισμός των σχετικών εμπειρικών τεκμηρίων ή ο βαθμός ενίσχυσης, ενώ η αλλαγή αποτιμάται από την ικανότητα των θεωριών να αντεπεξέρχονται σε τέτοια κριτήρια. Δεύτερον, η επιστημονική αλλαγή μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ιστορικό και κοινωνικό φαινόμενο. Αυτός ο προσανατολισμός λαμβάνει υπ' όψιν του τις ιστορικές και χρονικές τροπικότητες. Με ποιο τρόπο η επιστημονική εξέλιξη σχετίζεται με την παρελθούσα ιστορία και με ποιο τρόπο κατευθύνεται προς το μέλλον; Αυτή η άποψη στηρίζεται στην πεποίθηση ότι τα πλαίσια αλλαγής και προόδου εντοπίζονται στο ξεδίπλωμα της ιστορίας από το παρόν προς το μέλλον. Για να κρίνουμε, λοιπόν, εάν ένα τμήμα της επιστήμης είναι προοδευτικό ή όχι, οφείλουμε να ανασυγκροτήσουμε τις παρελθούσες επιδόσεις του και να τις συγκρίνουμε με αυτές των αντιπάλων του.

Το πέρασμα προς τη «νέα φιλοσοφία της επιστήμης» κατά τις δεκαετίες του 1960 και του 1970 σημαδεύτηκε από μία μετατόπιση από την πρώτη προοπτική προς έναν ιστορικό και κοινωνικό προσανατολισμό. Για να καταστήσουμε σαφέστερο αυτό το σημείο, ας εξετάσουμε τις παραδοχές δύο γενικών πλαισίων ή σεναρίων, στο εσωτερικό των οποίων αντιμετωπίστηκαν τα ζητήματα της επιστημονικής αλλαγής.

Το πρώτο έχει ως εξής: οι άνθρωποι ζουν και κινούνται μέσα στο άμεσο αλλά διαρκώς μεταβαλλόμενο ιστορικό και κοινωνικό τους πλαίσιο. Κατά συνέπεια, κάθε φορά προσδιορίζοται ιστορικά και κοινωνικά από περιβάλλοντα που διαφέρουν ουσιωδώς το ένα από το άλλο. Οι συγκροτητικές προϋποθέσεις των πλαισίων μέσα στα οποία ζούμε διέπουν έτσι τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε την ιστορία, την επιστήμη, τη φιλοσοφία και τον πολιτισμό. Αυτή η αντίληψη έχει σημαντικές επιπτώσεις όσον αφορά την αλήθεια, τη φύση της ανθρώπινης γνωσιακής δραστηριότητας και την αντικειμενικότητα τόσο της γνώσης, όσο και αυτών που μπορούμε να γνωρίσουμε. Εάν οι γνώμονες και τα μέτρα μας (τόσο στο γνωσιακό, όσο και στο κοινωνικό επίπεδο) εξαρτώνται από το εκάστοτε ιστορικό πλαίσιο, όπως θέλει αυτό το σενάριο, έπεται ότι όλα όσα εκλαμβάνουμε ως αλήθεια, γνώση, μέθοδο και αντικειμενικότητα αποτελούν συ-

νάρτηση της προοπτικής του εν λόγω πλαισίου. Έτσι, κάθε πολιτισμική πραγματικότητα, συμπεριλαμβανομένης της επιστήμης, φέρει την εσωτερική της λογική, τις δικές της αξίες και κανονικότητες, τους προσίδιους τρόπους κατάτμησης της εμπειρίας, τη δική της, εσωτερική δυναμική μετασχηματισμού, οπότε πρέπει να κρίνεται αναλόγως. Σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση δεν υπάρχουν υπερχρονικές αλήθειες, ταυτόσημες για κάθε σφαίρα της ανθρώπινης δραστηριότητας – ηθικής και πολιτικής, κοινωνικής και οικονομικής, επιστημονικής και καλλιτεχνικής· οι πολιτισμικοί κόσμοι μέσα στους οποίους ενοικούμε δεν είναι ουσιωδώς αντικειμενικά σύνολα μέσα στα οποία κάθε πράγμα θα έβρισκε την προσδιορισμένη θέση του, αλλά συγκυριακά τεχνήματα της ελεύθερης δημιουργικότητάς μας· εν τέλει, δεν υπάρχει μόνο μία αληθής μέθοδος, βασισμένη στον ορθό λόγο, η οποία μπορεί να δώσει τη σωστή λύση σε κάθε αυθεντικό πρόβλημα, και άρα σε κάθε πεδίο συστηματικής έρευνας. Αντιθέτως, όλες οι μορφές γνωσιακής διαδικασίας διέπονται από την ιστορική και κοινωνική ενδεχομενικότητα, πράγμα που ισχύει και για τους αρθρωμένους λόγους διά των οποίων διατεινόμαστε ότι γνωρίζουμε.

Κατά συνέπεια, η ανθρώπινη γνωσιακή δραστηριότητα, μαζί με τις κατά καιρούς αξιώσεις γνώσης της, εξαρτάται από τους πρόσκαιρους κόσμους μέσα στους οποίους ενοικεί. Επιπλέον, ο ανθρώπινος εαυτός δεν συνιστά μία παγιωμένη ουσία, αλλά μία κοινωνική κατασκευή που εξελίσσεται και μετασχηματίζεται. Δεν υπάρχουν, λοιπόν, αντικείμενα προς γνώση που αναδύονται ανεξάρτητα από κάθε πλαίσιο αναφοράς, προς τα οποία θα στρεφόταν ένας εξίσου απελευθερωμένος από κάθε πλαίσιο εαυτός για να σχετισθεί μαζί τους κατά έναν καθολικό τρόπο· τόσο αυτός ο εαυτός, όσο και τα εν λόγω αντικείμενα είναι ψευδαισθήσεις μεταφυσικής υποστασιοποίησης. Υπ' αυτές τις παραδοχές, η επιστημονική αλλαγή δεν έγκειται στο μετασχηματισμό μίας προοπτικής επί του φυσικού περιβάλλοντος σε μία άλλη, αλλά στην αντικατάσταση ενός επιστημονικού πολιτισμού από έναν άλλο. Κάτι που συνεπάγεται, βεβαίως, την επαναδιαπραγμάτευση της θεωρίας και της πρακτικής μέσα στο νέο πλαίσιο. Σύμφωνα με αυτήν την αντίληψη, λοιπόν, δεν υπάρχει διαπολιτισμική θεμελίωση της αντικειμενικότητας και της καθολικότητας της επιστήμης. Οι διάφορες ιστορικές, κοινωνικές, κοινωνιολογικές, ανθρωπολογικές, κατασκευασιοκρατικές [constructivist] προσεγγίσεις της επιστημονικής αλλαγής, καθώς και αυτές που βασίζονται στη ρητορική ανάλυση, αποδέχονται στον έναν ή τον άλλο βαθμό το εν λόγω σενάριο.

Το δεύτερο σενάριο στηρίζεται στην πεποίθηση περί συνεχούς προόδου της επιστήμης και ύπαρξης ενός κόσμου, ανεξάρτητου από τον ανθρώπινο νου, ο οποίος επιδέχεται αντικειμενική γνώση. Οι άνθρωποι δεν είναι απλώς χωροχρονικά όντα, αλλά είναι επιπλέον και υποκείμενα γνώσης. Και δεν είναι απλώς υποκείμενα γνώσης, αλλά υποκείμενα γνώσης που διατηρούν την ταυτότητά τους μέσα από την αλλαγή. Ας προσέξουμε τη σημασία αυτής της παραδοχής. Οτιδήποτε και αν σημαίνει αυτή η ταυτότητα του ανθρώπινου νου μέσα από τις

διάφορες αλλαγές, το γεγονός είναι ότι σε κάθε σημείο του χώρου και του χρόνου (και άρα, πολύ περισσότερο, σε κάθε πολιτισμό, παρελθόντα, παρόντα και μελλοντικό) ο ανθρώπινος νους παραμένει δομικά ο ίδιος. Αυτή η εικόνα του υποκειμένου της γνώσης είναι ενισχυτική της αντίληψης που θέλει τον ανθρώπινο νου, εντοπισμένο σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου και του χρόνου στα πλαίσια μίας χωροχρονικής μήτρας, να είναι σε θέση να προβλέπει ή να ανατρέχει σε γεγονότα τα οποία θα προκύψουν ή προέκυψαν σε οποιονδήποτε γραμμικό ορίζοντα χώρου και χρόνου.

Έχουμε, λοιπόν, μία εικόνα του ανθρώπινου υποκειμένου της γνώσης, αποδεσμευμένου από κάθε πλαίσιο αναφοράς και τοποθετημένου μέσα σε έναν αντικειμενικό κόσμο του οποίου η φύση διαφέρει από τη δική του. Και αυτό όχι μόνο επειδή η χωροχρονική μήτρα είναι ανεξάρτητη από την ανθρώπινη αντίληψη, αλλά και επειδή ο φυσικός κόσμος που συνιστά το αντικείμενο της ανθρώπινης γνωσιακής δραστηριότητας είναι ο ίδιος εξίσου ανεξάρτητος. Ουσιώδες στοιχείο αυτής της εικόνας είναι η πεποίθηση σύμφωνα με την οποία η σχέση του νου με τα φυσικά γεγονότα τα οποία γνωρίζει συνιστά η ίδια ένα γεγονός. Στην απλούστερη μορφή της αυτή η πεποίθηση έχει ως εξής: ο νους αντιλαμβάνεται (ας πούμε) ένα δέντρο δυνάμει της ικανότητάς του να σχηματίζει εσωτερικές νοητικές αναπαραστάσεις αυτής της εξωτερικής φυσικής πραγματικότητας (δες Κεφάλαιο 3, παράγραφος 3.1).

Στα πλαίσια αυτής της αντίληψης, αναδύεται μία συγκεκριμένη εικόνα της επιστημονικής αλλαγής. Υπάρχει, τρόπος του λέγειν, η ματιά του Θεού επί των επιστημικών οριζόντων που εποπτεύουμε. Η σκεπτικιστική πρόκληση που θέτει ο δυϊσμός του νου και του φυσικού σύμπαντος αντιμετωπίζεται διά της κατασκευής σημασιολογικά συνεκτικών θεωριών στη βάση καθολικά εφαρμόσιμων μεθοδολογιών. Από τον δέκατο έβδομο αιώνα, αυτή η προοδευτική πίστη στη θεωρία και τη μεθοδολογία υπήρξε σχεδόν αδιαμφισβήτητη, καθώς παρέμενε εδραιωμένη η πεποίθηση ότι οι μεθοδολογίες της επιστήμης επιτρέπουν μία λογικώς συνεκτική προσέγγιση της αληθινής δομής της φυσικής πραγματικότητας. Επιμέρους θεωρίες μπορεί να έρχονται και να παρέρχονται· όμως η στέρεα δομημένη πάνω σε γεγονότα βάση της γνώσης του πραγματικού παραμένει. Κατά συνέπεια, η επιστημονική αλλαγή είναι η διαδικασία της σταδιακής ενσωμάτωσης προγενέστερων επιτυχημένων θεωριών στο πλαίσιο των διαδόχων τους, έτσι ώστε ο έλεγχος επί της φύσεως –όσον αφορά τη γνώση ή την πρόβλεψη των γεγονότων– να αυξάνεται κατά σωρευτικό τρόπο με το χρόνο. Μ' άλλα λόγια, ως αποτέλεσμα της σωρευτικής επιστημονικής αλλαγής, γνωρίζουμε όλο και περισσότερα γεγονότα του αντικειμενικού κόσμου που υπάρχει έξω από εμάς. Ο λογικός θετικισμός και ο λογικός εμπειρισμός συμβαδίζουν με το πνεύμα αυτού του σεναρίου.

Έχουμε λοιπόν δύο γενικές συλλογιστικές που αντιμετωπίζουν κατά αντιθετικό τρόπο τα προβλήματα της επιστημονικής αλλαγής. Η πρώτη προοπτική είναι διαχρονική και λαμβάνει σοβαρά υπ' όψιν της τη χρονικότητα και την ιστο-

ρικότητα που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία της επιστημονικής αλλαγής. Η δεύτερη είναι συγχρονική και θεωρεί τα προϊόντα της επιστημονικής πρακτικής αποδεσμευμένα από το πλαίσιό τους και από το χρόνο. Ο στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι διπλός. Πρώτον, να σκιαγραφήσει και να αξιολογήσει κριτικά τις τρέχουσες βασικές τοποθετήσεις επί της επιστημονικής αλλαγής που απαντώνται στη βιβλιογραφία. Μεταξύ των προοπτικών που θα συζητηθούν συγκαταλέγονται ο λογικός θετικισμός και ο λογικός εμπειρισμός, οι οποίοι ακόμα και σήμερα θεωρούνται από πολλούς (ακόμα και από τους επικριτές τους) ως η «αποδεκτή άποψη» στη φιλοσοφία της επιστήμης. Δεύτερον, να εξετάσει τη «Νέα Φιλοσοφία της Επιστήμης», η οποία μετρά μεταξύ των υπερμάχων της τον Τόμας Κουν, τον Ίμρε Λάκατος (Imre Lakatos) και τον Πωλ Φαγεράμπεντ. Στη συνέχεια θα εξετασθούν οι μεγάλες προκλήσεις που εγείρονται από την κοινωνική θεωρία, την κοινωνιολογία, τον ιστορικισμό και την ανθρωπολογία της επιστήμης. Το παρόν κεφάλαιο αποσκοπεί στην κριτική αποτίμηση ορισμένων από τις μεγάλες συνεισφορές στην ολοένα αύξουσα και περίπλοκη φιλολογία σχετικά με την επιστημονική αλλαγή.

4.1 Η ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΗ ΤΗΣ «ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ ΑΠΟΨΗΣ» ΣΤΗ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

Η «αποδεκτή άποψη» συνίσταται στις προσεγγίσεις επί της γλώσσας και των θεμελίων της επιστήμης που υποστηρίχθηκαν κατά τη διάρκεια αυτού του αιώνα από τον λογικό θετικισμό, τον λογικό κατασκευαστισμό [logical constructionism], τον λογικό εμπειρισμό, τον λογικό ατομισμό [logical atomism] και τον φυσικαλισμό [physicalism] (στην ίδια άποψη συγκαταλέγεται και η «καθιερωμένη αντίληψη περί επιστημών», Κεφάλαιο 3, Παράγραφος 3.7). Αυτές οι ονομασίες μπορεί να αποβούν παραπλανητικές καθώς είναι προφανές ότι καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα στάσεων και τοποθετήσεων απέναντι στο ζήτημα της επιστημονικής αλλαγής. Ο Κάρναπ, επί παραδείγματι, σ' όλη τη διάρκεια της σταδιοδρομίας του έδειξε λίγο ή καθόλου ενδιαφέρον για την επιστημονική αλλαγή. Το ίδιο και ο Ράσελ. Το γεγονός αυτό δεν πρέπει να ξενίζει ιδιαίτερα, αν ληφθεί υπ' όψιν ο χαρακτήρας των λογικών, μαθηματικών, φιλοσοφικών και γλωσσολογικών ενδιαφερόντων τους. Επιπλέον, οι δύο φιλόσοφοι προϋποθέτουν ότι η επιστήμη είναι από τη φύση της, και δυνάμει των ίδιων των μεθόδων της, σωρευτική και προοδευτική, πράγμα που συνεπάγεται την ολοένα και καλύτερη εκ μέρους μας κατανόηση του κόσμου. Απεναντίας, το έργο των Ράιχενμπαχ και Πόππερ άπτεται των ερωτημάτων που αφορούν την επιλογή θεωριών και τα συγκριτικά πλεονεκτήματα μεταξύ ανταγωνιστικών θεωριών. Στην πραγματικότητα, τα ερωτήματα που αφορούν την επιλογή θεωριών και τη φύση της επιστημονικής αλλαγής δεν καταλαμβάνουν κεντρική θέση στα πλαίσια της «αποδεκτής άποψης» παρά μόνο μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Ωστό-

σο, ερωτήματα σχετικά με την ασυνέχεια και την αλλαγή στα πλαίσια της ανάπτυξης των επιστημών υπήρξαν κομβικά για συγγραφείς όπως ο Γκαστόν Μπασελάρ (Gaston Bachelard, 1984) στη Γαλλία, κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1930 και μετά.

Ο σκοπός της σκιαγράφησης των βασικών δεσμεύσεων και παραδοχών της «αποδεκτής άποψης» είναι διπλός: (1) να αναδείξει τη στάση της απέναντι στην επιστημονική αλλαγή, και (2) να τοποθετήσει αυτήν τη στάση στα πλαίσια του ευρύτερου θετικιστικού ιδιώματος. Βεβαίως, δεν προσυπογράφουν όλοι οι υποστηρικτές της «αποδεκτής άποψης» τις ίδιες δεσμεύσεις και παραδοχές· ωστόσο, αν δεν κατανοηθεί το εύρος της θετικιστικής προβληματικής, δεν θα καταστούν εμφανή τα ζητήματα που παρακίνησαν το πέρασμα στη «Νέα Φιλοσοφία της Επιστήμης» των ετών της δεκαετίας του 1950 και της δεκαετίας 1960.

4.2 ΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΣΜΟΣ: Η ΛΟΓΙΚΗ ΩΣ ΦΙΛΟΣΟΦΙΚΗ ΛΙΘΟΣ

Ας ξεκινήσουμε με το πρόγραμμα του λογικού κατασκευαστισμού. Αυτό θα μας βοηθήσει να αποσαφηνίσουμε τη φύση της επιστημονικής φιλοσοφίας, και θα μας εξυπηρετήσει στο να εισαγάγουμε το εννοιολογικό πλαίσιο ενός περισσότερο πραγματιστικού τρόπου ανάλυσης που βρίσκεται ακόμη στην ημερήσια διάταξη στα πλαίσια της κοινωνικής θεωρίας της επιστήμης, συγκεκριμένα τον κοινωνικό και γλωσσολογικό κατασκευαστισμό (δες τις Παραγράφους 4.10, 4.11, 4.12 και 4. 13).

Ο λογικός κατασκευαστισμός βασίζεται σε δύο δεσμεύσεις. Η παράδοση της δυτικής φιλοσοφίας έχει κατά καιρούς επιχειρήσει να εξηγήσει όλες τις μορφές του «είναι» και όλους τους τρόπους του «γνωρίζειν» επικαλούμενη «προνομιακές» οντολογικές και επιστημολογικές μονάδες. Προς τούτο, έχει κατ' επανάληψη διακυρήξει το ειδικό καθεστώς των διεπόμενων από νόμους ή κανόνες συνδυασμών των εκάστοτε τέτοιων στοιχείων: πλατωνικές μορφές, άτομα, πεδία, καθημερινά φυσικά αντικείμενα, ατομικά γεγονότα, δεδομένα των αισθήσεων, προτάσεις-πρωτόκολλα, μονάδες πληροφορίας, συντακτικές δομές κ.ο.κ. Επιπλέον, η άποψη αυτή υποστηρίζει πως οτιδήποτε μπορούμε να αντιληφθούμε διά των αισθήσεων, να γνωρίσουμε ή να ισχυρισθούμε έγκυρα ότι υπάρχει, μπορεί να μεταφρασθεί, να αναχθεί ή να εξηγηθεί με τη βοήθεια προνομιακών βασικών μονάδων.

Η δεύτερη δέσμευση διατείνεται ότι ο μετασχηματισμός προς την προνομιακή βάση πρέπει να επιτελείται διά μέσου μίας σημασιολογικά συνεκτικής και λογικά αυστηρής γλώσσας. Σύμφωνα με τον Ράσελ, αλλά και με τον Κάρναπ που τον ακολουθεί εν προκειμένω, τέτοια είναι η γλώσσα του βιβλίου του ίδιου του Ράσελ και του Γουάιτχεντ *Principia Mathematica* (1925). Το πρόγραμμα των Ράσελ και Γουάιτχεντ σκόπευε να αποδείξει ότι τα καθαρά μαθηματικά μπορούν

να διατυπωθούν στην αυστηρώς διακανονισμένη γλώσσα της λογικής, όπου δεν υπεισέρχεται κανένας απροσδιόριστος όρος πλην των λογικών πράξεων της συνεπαγωγής, της διάζευξης, του σχηματισμού υποσυνόλων και του ανήκειν σε σύνολο. Το κίνητρο είναι προφανές: να αποδειχθεί ότι οι προβληματικές μαθηματικές οντότητες μπορούν να εκφρασθούν επαρκώς σ' αυτήν τη γλώσσα, εφ' όσον μπορούν να συγκροτηθούν από οντότητες που θεωρούνται λιγότερο προβληματικές. Πρόκειται για τον ισχυρισμό σύμφωνα με τον οποίο οι λιγότερο θεμελιακές οντότητες μπορούν, δυνάμει αυτής της λογικής γλώσσας, να αναχθούν σε μία προνομιακή βάση συγκρότησης χωρίς απώλεια νοήματος. Παραδείγματος χάριν, οι αριθμοί ορίζονται ως σύνολα συνόλων: το μηδέν είναι το σύνολο όλων των κενών συνόλων, και ο αριθμός ένα είναι το σύνολο όλων εκείνων των συνόλων που είναι έτσι συγκροτημένα ώστε κάθε μέλος τους να είναι ταυτόσημο με κάθε άλλο μέλος. Η χρησιμοποίηση, ωστόσο, του αναγωγικού σχήματος για την απόδειξη του γεγονότος ότι ορισμένες οντότητες είναι συγκροτήσιμες από άλλες, προνομιακότερες μονάδες, οδήγησε σε προβλήματα. Σ' αυτά συγκαταλέγεται το υποτιθέμενο μη προβληματικό καθεστώς των συνόλων, και το περιβόητο παράδοξο σχετικά με την ένταξη ή τη μη ένταξη των συνόλων στον εαυτό τους.

Αυτός είναι ο λογικός κατασκευαστισμός στην καθαρότερή του μορφή. Είναι φανερό ότι παρακινείται από την πεποίθηση κατά την οποία οτιδήποτε μπορεί να ειπωθεί σαφώς, μπορεί να ειπωθεί στη γλώσσα της λογικής, μία γλώσσα που υποτίθεται ότι συλλαμβάνει κατά τον καλύτερο τρόπο το θεμελιώδες καθεστώς των προνομιακών οντοτήτων και των σχέσεών τους. Έτσι, ένας ισχυρισμός που φαινομενικά αναφέρεται στο οποιοδήποτε αντικείμενο, στην πραγματικότητα αναφέρεται σε αυτές τις προνομιακές οντότητες οι οποίες θεωρείται ότι, διά των ιδιοτήτων και των σχέσεών τους και μόνο, εξαντλούν κάθε δυνατή γνώση. Με άλλα λόγια, οι τεχνικές του λογικού κατασκευαστισμού ενέχουν μία αρχή οικονομίας που αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των επιστημικών και οντολογικών δεσμεύσεων και στο μετριασμό της δυνατότητας λάθους ή σύγχυσης.

Την περίοδο που ακολούθησε τη δημοσίευση των *Principia Mathematica*, ο Ράσελ εφάρμοσε τις τεχνικές του λογικού κατασκευαστισμού στη γνώση των φυσικών αντικειμένων, τόσο στα πλαίσια των επιστημών, όσο και σ' αυτά της καθημερινής εμπειρίας. Το βασικό πρόβλημα που αντιμετώπισε είναι το εξής: Πώς μπορεί να βεβαιωθεί η ύπαρξη μη αντιληπτών οντοτήτων, όπως πεδία, δυνάμεις, υπατομικά σωματίδια, κβάντα ενέργειας κ.λπ.; Μία παραδοσιακή προσέγγιση είναι να δείξουμε ότι τέτοιου τύπου μη αντιληπτές οντότητες μπορούν να συναχθούν συμπερασματικά από το περιεχόμενο της άμεσης εμπειρίας μας. Πώς όμως αυτή η εμπειρία μπορεί να συσχετισθεί με τις εν λόγω μη παρατηρήσιμες οντότητες και σχέσεις; Και τι επιστημικό καθεστώς πρέπει να αποδώσουμε στις συναφείς αρχές συσχετισμού; Η άλλη εκδοχή είναι να ισχυρισθούμε ότι ο ρεαλισμός όσον αφορά αυτές τις μη παρατηρήσιμες οντότητες συνιστά προϋπόθεση κάθε επαρκούς εξηγητικής προσέγγισης των παρατηρήσιμων

οντοτήτων. Αυτό όμως απαιτεί ένα μετα-επιχείρημα το οποίο να αποδεικνύει ότι δεν μπορούν να δοθούν επαρκείς επιστημονικές εξηγήσεις με τη βοήθεια αποκλειστικά παρατηρήσιμων όρων, μία άποψη την οποία έχουν αμφισβητήσει προσφάτως ο φαν Φράασεν (van Fraassen, 1980) και η Καρτράιτ (Cartwright, 1983).

Στο πρώιμο έργο του, ο Ράσελ ακολουθεί μία διαφορετική πορεία, η οποία επίσης παρακινείται από τη δέσμευσή του στον κατασκευαστισμό: όπου είναι δυνατόν, αντικαθιστούμε συμπερασματικές συναγωγές που εμπλέκουν άγνωστες και μη παρατηρήσιμες οντότητες με κατασκευές από γνωστές οντότητες. Στόχος του είναι να δείξει ότι τόσο οι μη παρατηρήσιμες επιστημονικές οντότητες, όσο και τα καθημερινά φυσικά αντικείμενα, όπως τα λουλούδια ή τα τραπέζια, μπορούν να συγκροτηθούν από δεδομένα της κατ' αίσθησιν εμπειρίας που δεν επιδέχονται διόρθωση ([1912] 1959, Κεφάλαιο 3 και [1914] 1960, Διάλεξη 3).

Απέναντι στη σεβάσμια διάκριση μεταξύ του εσωτερικού κόσμου της ανθρώπινης εμπειρίας και του εξωτερικού κόσμου των φυσικών αντικειμένων, ο Ράσελ προκρίνει τον εσωτερικό κόσμο των αισθητηριακών δεδομένων, δηλαδή τον κόσμο των χρωμάτων, των σχημάτων και των ήχων που αντιλαμβανόμαστε άμεσα κατά την κατ' αίσθησιν αντίληψη, και των οποίων η φύση και η ύπαρξη θεωρείται ότι δεν επιδέχεται σοβαρή αμφιβολία. Συναντά, βέβαια, και αυτός το παλιό σκεπτικιστικό πρόβλημα του τρόπου με τον οποίο αυτές οι ιδιωτικές οντότητες σχετίζονται με εξωτερικά αντικείμενα ή του τρόπου με τον οποίο μπορούμε να συμπεράνουμε την ύπαρξη τέτοιων αντικειμένων. Αυτό ακριβώς το πρόβλημα προσπαθεί να αποφύγει καταδεικνύοντας ότι όλα τα εξωτερικά αντικείμενα της επιστήμης και του κοινού νου μπορούν να εκληφθούν ως σύμπλοκα άμεσων αισθητηριακών δεδομένων. Για άλλη μία φορά, εμφανίζεται εδώ η βασική υπόθεση του κατασκευαστισμού, σύμφωνα με την οποία το προβληματικό μπορεί να αναχθεί σε, ή να κατασκευασθεί από, το περισότερο σίγουρο και λιγότερο προβληματικό.

Ωστόσο, για να αποφύγει τις επιπτώσεις του σολιψιστικού αναγωγισμού (δηλαδή την ιδέα ότι τα φυσικά αντικείμενα συγκροτούνται από τα πραγματικώς βιωμένα αισθητηριακά δεδομένα ενός μοναδικού παρατηρούντος νου), ο Ράσελ τροποποίησε την άποψή του. Θα ισχυρισθεί τώρα ότι η συγκροτητική βάση πρέπει να περιλαμβάνει τόσο τα πραγματικώς βιωμένα αισθητηριακά δεδομένα ενός παρατηρητή, όσο και αυτά που *θα ήταν* ή *θα μπορούσαν να είναι* βιωμένα από άλλους παρατηρητές, εάν οι τελευταίοι *είχαν υποβληθεί* σε συγκεκριμένες εμπειρίες κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Αυτού του τύπου ο φαινομεναλισμός συναντά τεράστιες δυσκολίες, πολλές από τις οποίες αναγνώρισε ο ίδιος ο Ράσελ στο ύστερο έργο του. Επί παραδείγματι, πώς μπορούμε να προσδιορίσουμε ποιες πραγματικές και δυνατές εμπειρίες ορίζουν ένα συγκεκριμένο φυσικό αντικείμενο κάτω από μεταβαλλόμενες αντιληπτικές συνθήκες χωρίς, κατά τον προσδιορισμό μας, να αναφερθούμε άμεσα σ' αυτό ή σε άλλα αντικείμενα; Για άλλη μια φορά, η εν λόγω τοποθέτηση συναντά δυσκολίες στο να προσδιορίσει

τους όρους στους οποίους υπόκειται η δομή «εάν-τότε» των αντιγεγονικών [counterfactual] αποφάνσεων, δηλαδή των αποφάνσεων που ισχυρίζονται ότι εάν συνέβαινε ή είχε συμβεί κάτι, τότε θα συνέβαινε ή θα μπορούσε να είχε συμβεί κάτι άλλο.

Ας πάμε τώρα στο βιβλίο του Κάρναπ *Η λογική δομή του κόσμου (The Logical Structure of the World* , [1928] 1967). Εδώ ο Κάρναπ χρησιμοποιεί τις τεχνικές της θεωρίας του κατασκευαστισμού, εμπνεόμενος από τις μεθόδους του Ράσελ και από το *Tractatus* του Βιτγκενστάιν (Wittgenstein, [1922] 1955, δες επίσης Κεφάλαιο 3, Παράγραφος 3.4). Το κύριο εννοιολογικό του εργαλείο είναι αυτό της αναγωγιμότητας. Μία έννοια S είναι αναγώγιμη σε ένα άλλο σύνολο εννοιών W, εάν οι προτάσεις της S μπορούν να μεταχηματισθούν σε προτάσεις του W και, ταυτόχρονα, να διατηρήσουν εκτασιακά την αληθοτιμή τους. Ο μετασχηματισμός επιτελείται με τη βοήθεια ενός κανόνα, τον οποίο ο Κάρναπ ονομάζει συστατικό ορισμό [constitutional definition]. Τέτοιοι ορισμοί διευθετούνται στα πλαίσια μίας δομής την οποία ονομάζει συστατικό σύστημα [constitutional system]. Αυτό το σύστημα είναι ένα σύμπλοκο ορισμών και θεωρημάτων εκφρασμένων στη γλώσσα των *Principia Mathematica.* Τα γνωστά (ή δυνάμενα να γνωσθούν) αντικείμενα που ο Κάρναπ επιδιώκει να εντάξει, ή να αναγάγει, στο συστατικό σύστημα είναι τεσσάρων τύπων: πολιτισμικά αντικείμενα, άλλοι νόες, ιδιωτικές εμπειρίες του δικού μας νου, και, τέλος, φυσικά αντικείμενα (1967, Μέρος 4).

Ο Κάρναπ ([1928] 1967) χρησιμοποιεί μία αρχή ανοχής [principle of tolerance]. Ο στόχος του δεν είναι να δώσει μία περιγραφή του σχηματισμού των εννοιών, αλλά μάλλον μία ορθολογική ανασυγκρότησή τους, μία ιδέα που αργότερα θα επανεμφανισθεί στο έργο του Ίμρε Λάκατος (δες Παράγραφο 4.6). Έτσι, παρόλο που επιλέγει τις εσωτερικές εμπειρίες του νου ως βάση του σολιψιστικού του συστήματος, ο Κάρναπ φροντίζει να υπογραμμίσει ότι, στην πραγματικότητα, κάθε άλλη βάση είναι εξίσου δυνατή, και ότι η εκ μέρους του πρόκριση των εμπειριών του νου έγινε για μεθοδολογικούς και όχι για μεταφυσικούς λόγους. Πράγματι, αργότερα πείσθηκε από τον Όττο Νόυρατ (Otto Neurath) –ένα άλλο μέλος του Κύκλου της Βιέννης (δες Εισαγωγή)– ότι μία φυσικαλιστική βάση ή γλώσσα θα ήταν προτιμότερη. Ο Κάρναπ ([1928] 1967, Κεφάλαιο 5) εξετάζει την επιστήμη, τη φιλοσοφία και τη μεταφυσική υπό το φως της συστασιακής θεωρίας, και δίδει κριτήρια για τη διάκριση των επιστημονικών ερωτημάτων από τα μεταφυσικά. Έτσι, το ερώτημα σχετικά με την ύπαρξη ενός εξωτερικού κόσμου είναι ένα μεταφυσικό ερώτημα, το οποίο πρέπει να διακριθεί με σαφήνεια από το επιστημονικό ερώτημα σχετικά με τη δυνατότητα ένταξης ενός φυσικού αντικειμένου στο εσωτερικό ενός συνόλου νομοειδών κανονικοτήτων και ενός σύστηματος χωρο-χρονικών συντεταγμένων. Κατά συνέπεια, όπως ακριβώς συνέβαινε με τον Ράσελ, ο Κάρναπ ασχολείται με τη διάκριση των μεταφυσικών ερωτημάτων και ψευδοερωτημάτων από τα γνήσια επιστημονικά ερωτήματα, και από κοινού με τον Ράσελ επιζητά να υποβάλει σε αυστηρή ανάλυση τον επιστη-

μονικό και καθημερινό τρόπο κατανόησης της εμπειρίας, υπό την αποκλειστική καθοδήγηση της γλώσσας της λογικής.

4.3 ΛΟΓΙΚΟΣ ΑΤΟΜΙΣΜΟΣ, ΕΜΠΕΙΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ Η ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

Παρόλο που το κύριο μέλημα των Ράσελ και Κάρναπ υπήρξε η λογική σύνταξη των κατασκευών τους, αυτοί ασχολήθηκαν και με τη σημασιολογία ή τα νοήματα. Αλλά τώρα το ερώτημα μετασχηματίζεται: ποια είναι τα πρωταρχικά νοήματα και πώς μπορούν να εδραιωθούν γνωσιακά; Το ερώτημα του πώς και του πού μπορούμε να εδραιώσουμε την απώτατη προέλευση του νοήματος στα πλαίσια μίας ανάλυσης της επιστημονικής πρακτικής, παρέμεινε ένα από τα κεντρικά θέματα της φιλοσοφίας της επιστήμης καθ' όλη τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970.

Ας επιχειρήσουμε, κατ' αρχάς, να περιγράψουμε τα κίνητρα της θεωρίας του λογικού ατομισμού. Μέχρι στιγμής έχουμε επικεντρωθεί στη μεθοδολογική όψη του λογικού κατασκευατισμού και, συγκεκριμένα, στο μέλημά του να καταστήσει ελάχιστες τις γνωσιακές δεσμεύσεις και να καταδείξει το προνομιακό καθεστώς των γνωστών, ή δυνάμει γνωστών, αντικειμένων. Οι Ράσελ και Κάρναπ, ωστόσο, θεωρούν ότι οι κατασκευές τους δεν έχουν μόνο κανονιστική ισχύ, αλλά και ότι διασαφηνίζουν επίσης τη δομή όσων πραγματικά συμβαίνουν στα πλαίσια της εμπειρίας μας. Παρόλο που ο Ράσελ ορισμένες φορές δίνει την εντύπωση ότι εκλαμβάνει τις κατασκευές του ως ουδέτερες, ισχυρίζεται αλλού (επί παραδείγματι) ότι οι συγκροτήσεις που βασίζονται στα μη αναγώγιμα δεδομένα της συνείδησης αποκαλύπτουν την πραγματική φύση του νου, ή ότι τα δεδομένα των αισθήσεων που συγκροτούν την εμφάνιση ενός φυσικού αντικειμένου παρέχουν τη θεμελιώδη βάση της γνώσης μας σχετικά με την πραγματική φύση, ας πούμε, αυτού του τραπεζιού. Αυτή η δεύτερη τάση της σκέψης του αναπτύσσεται συστηματικά στα Russell ([1918] 1956b και [1914] 1960).

Εδώ, από κοινού με τον Κάρναπ, προσυπογράφει την αρχή σύμφωνα με την οποία μία μεταφυσική, ή προσανατολισμένη προς τον κόσμο, ερμηνεία του λογικού κατασκευαστισμού προϋποθέτει μία αντιστοιχία μεταξύ μιας ιδεώδους γλώσσας και της δομής του πραγματικού. Πώς όμως επιλέγουμε αυτήν την ιδεώδη γλώσσα; Σε τελευταία ανάλυση, πολλά εναλλακτικά γλωσσικά πλαίσια είναι δυνατά. Για τον Ράσελ, η γλώσσα πρέπει να είναι εμπειρική, μία αρχή την οποία διατυπώνει ως την «αρχή της εξοικείωσης» [principle of acquaintance].

Ο Ράσελ μας λέει ότι «κάθε γνώση, είτε αντικειμένων είτε αληθειών, στηρίζεται στο θεμέλιο της εξοικείωσης» ([1912] 1959, 48). Είμαστε εξοικειωμένοι με κάτι στο βαθμό που έχουμε άμεση επίγνωσή του, χωρίς τη μεσολάβηση συμπερασμού. Έτσι, έχουμε άμεση επίγνωση των αισθητηριακών δεδομένων (χρώματα, ήχοι, σχήματα), διαθέτουμε άμεση γνώση μέσω της μνήμης, έχουμε άμεση

επίγνωση ότι έχουμε επίγνωση κάποιου πράγματος, και είμαστε σε θέση να συλλάβουμε κατά άμεσο τρόπο μη επιμεριστικούς, καθολικούς όρους. Οι καθολικοί όροι παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επέκταση της γνώσης μας πέρα από τα επιμέρους ενεργήματα επίγνωσης· και αυτό γιατί, όταν γνωρίζουμε αντικείμενα όπως τραπέζια ή ηλεκτρόνια, δεν τα γνωρίζουμε μέσω άμεσης εξοικείωσης, αλλά μέσω περιγραφής, δηλαδή με τη βοήθεια γενικών αληθειών και αποφάνσεων που ενέχουν καθολικούς όρους. Ο Ράσελ ονομάζει αυτόν τον τύπο γνωσιακών ενεργημάτων «γνώση μέσω περιγραφής», και τον αντιπαραβάλλει με τα ενεργήματα άμεσης επίγνωσης τα οποία ονομάζει «γνώση μέσω εξοικείωσης». Επιπλέον, επιμένει ότι η γνώση αυτού που γνωρίζεται μέσω περιγραφής είναι σε τελευταία ανάλυση αναγώγιμη σε ό,τι γνωρίζουμε μέσω εξοικείωσης (στο ίδιο, 58).

Ωστόσο, μας λέει επίσης ότι «κάθε κατανοητή πρόταση αποτελείται εξ ολοκλήρου από συστατικά με τα οποία είμαστε εξοικειωμένοι» (στο ίδιο). Ο Ράσελ ισχυρίζεται εδώ ότι, εάν θέλουμε να μιλάμε με νόημα, οφείλουμε να προσδώσουμε νόημα στη γλώσσα που χρησιμοποιούμε· και σε τελευταία ανάλυση, το νόημα αυτό πρέπει να αναφέρεται σε πράγματα με τα οποία είμαστε άμεσα εξοικειωμένοι. Χωρίς νόημα δεν υπάρχει κατανόηση. Κατά συνέπεια, υποστηρίζει επιπλέον ο Ράσελ, κατανοούμε τη γλώσσα μόνο εάν αυτή αναφέρεται σε πράγματα των οποίων έχουμε εμπειρία μέσω εξοικείωσης, ή σε πράγματα που ορίζονται με τη βοήθεια εκφράσεων που έχουν τέτοια αναφορά. Ο ισχυρισμός του είναι διπλός. Πρώτον, ότι δεν μπορούμε να γνωρίσουμε τα φυσικά αντικείμενα αν αυτά δεν ορισθούν με όρους τρόπων εξοικείωσης. Και δεύτερον, και σημαντικότερο, ότι χωρίς την πλήρωση αυτής της προϋπόθεσης, αυτά δεν μπορούν ούτε καν να γίνουν κατανοητά.

Αλλά τι προτίθεται να αναλύσει ο Ράσελ στα πλαίσια της ιδεώδους γλώσσας του, και ποια είναι η δομή αυτής της γλώσσας; Με δυο λόγια: αυτό που χρειάζεται ανάλυση είναι τα γεγονότα, ενώ η δομή της γλώσσας είναι ρητώς αληθο-συναρτησιακή. Στον κόσμο, τα πράγματα έχουν ποικίλες ιδιότητες και εντάσσονται σε ποικίλες σχέσεις. Οι ιδιότητες και οι σχέσεις είναι γεγονότα που αφορούν τα πράγματα. Κατά τον Ράσελ, τα γεγονότα διατυπώνονται μέσω προτάσεων που συντίθενται από όρους και άλλες γλωσσικές οντότητες. Ορισμένοι όροι είναι απλοί· παραδείγματος χάριν, ο όρος «κόκκινο» αντιστοιχεί σε μία συγκεκριμένη απόχρωση, ενώ το κύριο όνομα «Δημήτρης» αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο άτομο. Η κατανόηση, τώρα, του όρου «κόκκινο» δεν εξαρτάται από κάτι απλούστερο, στο βαθμό που εδώ η κατανόηση εξαρτάται από την εξοικείωση με αυτό στο οποίο αναφέρεται ο όρος, δηλαδή με τη συγκεκριμένη απόχρωση. Έτσι, η πρόταση «αυτό είναι κόκκινο» συντίθεται από τον απλό προσδιοριστικό όρο «αυτό» και το κατηγόρημα «κόκκινο». Η εν λόγω πρόταση αντιπροσωπεύει τον τύπο προτάσεων τις οποίες ο Ράσελ ονομάζει «ατομικές», ενώ τα γεγονότα που διατυπώνονται με τέτοιες προτάσεις ονομάζονται ατομικά γεγονότα.

Από τέτοιες ατομικές προτάσεις μπορούν να κατασκευασθούν περισσότερο

πολύπλοκες προτάσεις. Συνενώνοντας ατομικές προτάσεις με τη βοηθεια των τελεστών «και» ή «ή» μπορούμε να κατασκευάσουμε προτάσεις τις οποίες ο Ράσελ ονομάζει μοριακές. Αλλά δεν υπάρχουν γεγονότα, ισχυρίζεται ο Ράσελ, τα οποία να αντιστοιχούν στις μοριακές προτάσεις. Αυτό που καθιστά αληθή τη μοριακή πρόταση «αυτό είναι κόκκινο και εκείνο είναι πράσινο», δεν είναι κάποιο μοριακό γεγονός αλλά δύο ατομικά γεγονότα, ότι αυτό είναι κόκκινο και εκείνο πράσινο. Έτσι, η αλήθεια ή το ψεύδος των μοριακών προτάσεων εξαρτάται εξ ολοκλήρου από την αλήθεια ή το ψεύδος των ατομικών προτάσεων που τις συνθέτουν. Με άλλα λόγια, οι μοριακές προτάσεις είναι «συναρτήσεις αλήθειας» των ατομικών προτάσεων.

Ο Ράσελ είχε πλήρη επίγνωση ότι πρόκειται για μια ιδεώδη εικόνα της γλώσσας και της σχέσης της με τον κόσμο. Επιπλέον, είχε επίγνωση ότι πολλές προτάσεις που διαθέτουν νόημα δεν μπορούν να συλληφθούν από μία ανάλυση που βασίζεται αποκλειστικά σε συναρτήσεις αλήθειας. Παραδείγματος χάριν, το νόημα της πρότασης «όλοι οι κύκνοι είναι άσπροι» δεν έγκειται σε μία συνένωση των προτάσεων «αυτός ο κύκνος είναι άσπρος και αυτός ο κύκνος είναι άσπρος και...», μέχρις ότου καταμετρηθεί κάθε κύκνος. Γιατί, ακόμα και αν ήταν δυνατό να καταμετρηθούν όλοι οι υπαρκτοί κύκνοι, θα ήταν απαραίτητο να τεθεί επιπλέον ότι οι κατ' αυτόν τον τρόπο καταμετρημένοι κύκνοι εξαντλούν όλους τους δυνατούς κύκνους. Αυτό προφανώς θα επανεισήγε τη γενικότητα και, ως εκ τούτου, δεν θα μπορούσε να συνιστά ανάλυσή της. Ο Ράσελ υποχρεώθηκε έτσι να εγκαταλείψει την ανάλυση τέτοιων προτάσεων με όρους συναρτήσεων αλήθειας και να εισαγάγει μη αναγώγιμα γενικά γεγονότα. Χρειάσθηκε επίσης να εγκαταλείψει αυτού του τύπου την ανάλυση όσον αφορά προτάσεις που έχουν τη μορφή «ο x πιστεύει ότι p», δεδομένου ότι η αλήθεια του «ο x πιστεύει ότι p» είναι ανεξάρτητη από την αλήθεια του «ότι p». Παρ' όλες αυτές τις δυσκολίες, ο Ράσελ παρέμεινε δεσμευμένος στο εγχείρημα της ελαχιστοποίησης του λεξιλογίου και της αναγωγής της συνθετότητας στο λογικώς απλό. Και παρόλο που φοβόταν ότι αυτό που εξελάμβανε ως λογικώς απλό μπορούσε να επιδέχεται περαιτέρω ανάλυση, ποτέ δεν έπαψε να πιστεύει ότι, αν ψάχνουμε για νόημα και κατανόηση, οφείλουμε να αναζητούμε το απώτατο θεμέλιο της γνώσης στην απλότητα, και ότι αυτό που πράγματι *υπάρχει* ελέγχει την *επιτυχία* των αντικειμενικών περιγραφών μας.

Όπως ο Ράσελ, έτσι και ο Κάρναπ προέκρινε αυτές τις εγγύτερες προς την εμπειρία ελάχιστες προτάσεις. Εκεί που ο Ράσελ μιλά για «ατομικές προτάσεις», ο Κάρναπ μιλά για «προτάσεις-πρωτόκολλα» [protocol sentences]. Αυτή η δέσμευση στις παρατηρησιακές προτάσεις ως τη μονάδα που παρέχει το θεμέλιο νοήματος και κατανόησης των επιστημών συνιστά ίσως το πρωτεύον χαρακτηριστικό της «αποδεκτής άποψης» στη φιλοσοφία της επιστήμης μέχρι τη δεκαετία του 1970. Επιπλέον, ένα από τα κεντρικά μελήματα αυτής της εμπειριστικής παράδοσης (η οποία περιλαμβάνει επίσης τον Χιουμ, τον Μαχ [Mach] και τον Ντυέμ [Duhem]) είναι ο προσδιορισμός όχι μόνο του τρόπου με τον οποίο η

γνώση βασίζεται στις απλές μονάδες της εμπειρίας, αλλά και του τρόπου με τον οποίο οι θεωρητικές προτάσεις, δηλαδή οι προτάσεις που είναι απομακρυσμένες από την παρατηρησιακή εμπειρία και άρα δεν συνιστούν προτάσεις-πρωτόκολλα, σχετίζονται με παρατηρησιακές προτάσεις.

Όταν οι Ράσελ και Κάρναπ μιλούν για αναγωγή των σύνθετων αποφάνσεων και όρων σε απλούστερους, είναι φανερό ότι αποδέχονται τη διάκριση μεταξύ των «θεωρητικών» και των «παρατηρησιακών» προτάσεων και όρων (δες Κεφάλαιο 2). Εάν το νόημα συνδέεται μόνο με τους παρατηρησιακούς όρους της άμεσης εμπειρίας, όπως διατείνεται η εμπειριστική παράδοση, πώς μπορούμε να αποδώσουμε νόημα στους θεωρητικούς όρους; Με δεδομένη τη διάκριση μεταξύ θεωρητικών και παρατηρησιακών όρων, υπάρχουν τρεις σαφώς οριοθετημένες λύσεις: (1) να αποδείξουμε ότι οι σύνθετοι θεωρητικοί όροι είναι αναγώγιμοι σε, ή κατασκευάζονται από, παρατηρησιακούς όρους· (2) να αποδείξουμε ότι οι θεωρητικοί όροι δεν είναι απαραίτητοι στην επιστήμη και, ως εκ τούτου, είναι εξαλείψιμοι από τις επιστημονικές θεωρίες, στο βαθμό που οι τελευταίες κατανοούνται ως τυπικά συστήματα, και (3) να αρνηθούμε την ίδια τη διάκριση, είτε δείχνοντας ότι οι παρατηρησιακοί όροι είναι φορτισμένοι με θεωρία, είτε ισχυριζόμενοι ότι υπάρχουν μόνο θεωρίες και θεωρητικοί όροι και ότι οι φερόμενοι ως κατώτατου επιπέδου όροι διατηρούν αυτό το καθεστώς μόνο σε συνάρτηση με μια θεωρία (δες Κεφάλαιο 3, Παράγραφος 3.7).

Ο Κάρναπ ([1928] 1967), υπό την επιρροή του Ράσελ, τοποθετεί τις κατασκευές του και τη γλώσσα του σε μια φαινομεναλιστική βάση – τα ιδιωτικά δεδομένα της εσωτερικής εμπειρίας. Ο Νόυρατ έπεισε τον Κάρναπ ότι μια φυσικαλιστική γλώσσα έχει ορισμένα πλεονεκτήματα. Το κεντρικό ζήτημα εδώ δεν είναι η επιλογή μιας φαινομεναλιστικής μεταφυσικής έναντι μιας φυσικαλιστικής, αλλά μάλλον η επιλογή μιας θεμελιώδους γλώσσας, στην περίπτωσή μας των βασικών παρατηρησιακών προτάσεων τις οποίες ο Κάρναπ ονομάζει προτάσεις-πρωτόκολλα. Έτσι, ο Κάρναπ υιοθετεί την άποψη (την οποία ανέπτυξε επίσης ο Ράσελ [1914] 1960, Διάλεξη 4) ότι οι προτάσεις-πρωτόκολλα της επιστήμης εκφράζονται κατά τον καλύτερο τρόπο ως ποσοτικές εκφράσεις που αναφέρονται σε καθορισμένες περιοχές χωρο-χρονικών σημείων (1967, Μέρος 3, C). Σύμφωνα με αυτήν την άποψη, όλες οι θεωρητικές προτάσεις της επιστήμης μπορούν να εκφρασθούν ιδεωδώς ως ισοδύναμες προτάσεων της φυσικαλιστικής γλώσσας πρωτοκόλλου. Είναι προφανές ότι η φυσικαλιστική γλώσσα πρωτοκόλλου διαθέτει ορισμένα πλεονεκτήματα έναντι μιας φαινομεναλιστικής βάσης. Είναι κοινή όσον αφορά διαφορετικές αισθήσεις, είναι διυποκειμενική, δηλαδή κατά άμεσο τρόπο διαθέσιμη σε όλους τους παρατηρητές, και είναι καθολική, με την ισχυρή έννοια που θέλει όλες τις προτάσεις της επιστήμης να μπορούν ιδεωδώς να μεταφρασθούν στην εν λόγω γλώσσα. Εκτός των φυσικών πρωτοκόλλων, ο Κάρναπ υποστηρίζει επίσης την έννοια της ενότητας της επιστήμης. Σύμφωνα με τον Κάρναπ, αυτή η έννοια αντιπροσωπεύεται από τη θέση ότι η γλώσσα της επιστήμης, συμπεριλαμβανομένων των γλωσσών της ψυχολογίας και της βιολο-

γίας, μπορεί να κατασκευασθεί εξ ολοκλήρου με αφετηρία μια φυσικαλιστική βάση.

Από την αρχή ώς το τέλος, αυτό που αποζητά ο Κάρναπ είναι να εξαλείψει τη μεταφυσική και τα ψευδοφιλοσοφικά προβλήματα. Η κίνηση αυτή είναι περισσότερο εμφανής στο βιβλίο του *Λογική σύνταξη της γλώσσας (Logical Syntax of Language*, 1937). Εδώ, υπό την επιρροή του φιλοσόφου της λογικής Γκότλομπ Φρέγκε (Gottlob Frege) και των μαθηματικών Νταίηβιντ Χίλμπερτ και Λ.Ε. Μπράουερ (L.E. Brouwer), ο Κάρναπ διακρίνει τη «γλώσσα-αντικείμενο» (την υπό διερεύνηση γλώσσα) από τη «μεταγλώσσα» (τη γλώσσα στην οποία αρθρώνεται η θεωρητική προσέγγιση της γλώσσας-αντικείμενο). Στόχος του είναι η κατασκευή κατάλληλων μεταγλωσσών, με τη βοήθεια των οποίων να ασκήσει τη φιλοσοφία ή, όπως προτιμούσε να την ονομάζει, τη λογική ανάλυση της γλώσσας. Πράγματι, παρήγαγε δύο υποδείγματα γλωσσών. Η γλώσσα Ι είναι «καθορισμένη» [definite], με την έννοια ότι οι ορίζουσες εκφράσεις της περιέχουν περιορισμένους ποσοδείκτες και έχει κατασκευαστικό ή περατοκρατικό χαρακτήρα. Η γλώσσα ΙΙ παρουσιάζεται ως μία αναπαράσταση των κλασικών μαθηματικών (1937, Μέρη 2, 3). Για άλλη μια φορά, ο ίδιος επικαλείται την αρχή της ανοχής, εδώ την αντίληψη ότι οι γλωσσικές δομές είναι συμβατικού χαρακτήρα και επιτρέπουν την κατασκευή οποιασδήποτε μορφής γλώσσας κρίνεται προτιμότερη.

Σύμφωνα με τον Κάρναπ, η λογική δομή της γλώσσας πρέπει να αντικατασταθεί από τη λογική σύνταξη της γλώσσας. Εδώ εισάγει την αντίληψη ότι τα ψευδοπροβλήματα στη φιλοσοφία προκύπτουν από την παρανόηση του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί η σύνταξη. Για παράδειγμα, όταν αρθρώνουμε λόγους στο πρώτο επίπεδο, το επίπεδο της γλώσσας-αντικείμενο, η γλώσσα χρησιμοποιείται κατά αναφορικό τρόπο, έτσι ώστε να κατονομάζονται τα αντικείμενά της. Αλλά σε ένα δεύτερο επίπεδο, στο επίπεδο της μεταγλώσσας, οι γλωσσικές εκφράσεις αναφέρονται σε γλωσσικές οντότητες του πρώτου επιπέδου και όχι σε μη γλωσσικές οντότητες. Ακολουθώντας μια καταξιωμένη από το χρόνο φιλοσοφική παράδοση, που παραπέμπει στον *Θεαίτητο* του Πλάτωνα, τη σκέψη του Μεσαίωνα και το έργο του Χομπς [Hobbes] και του Λάιμπνιτς [Leibniz], ο Κάρναπ επισημαίνει την ενδημική τάση να συγχέονται αυτά τα δύο επίπεδα της γλώσσας. Η σύγχυση ανάγεται στο απλό γεγονός ότι ο «υλικός τρόπος» του ομιλείν εκλαμβάνεται σαν ένας «αντικειμενικός τρόπος»· πράγμα που σημαίνει ότι η μεταγλωσσική λειτουργία της γλώσσας κατανοείται ως αναφορά σε αντικείμενα, και όχι στην ίδια τη γλώσσα-αντικείμενο. Σύμφωνα με τον Κάρναπ, αυτή η σύγχυση συνιστά την πηγή των ψευδοφιλοσοφικών προβλημάτων.

Σε μία κατοπινή πραγμάτευση των οντολογικών δεσμεύσεων (1956a), η οποία έχει τη ρίζα της στο βιβλίο του 1937, ο Κάρναπ καταφέρεται ξανά εναντίον των ψευδοερωτημάτων. Προσπαθεί να αποδείξει ότι ένας συνεπής εμπειρισμός δεν είναι ασυμβίβαστος με τη χρήση αφηρημένων οντοτήτων. Πρέπει να διακρίνουμε μεταξύ δύο τύπων ερωτημάτων σχετικά με την ύπαρξη οντοτήτων: από τη μία

μεριά, εσωτερικά ερωτήματα που αφορούν τον τύπο οντολογίας στην οποία δεσμεύεται ένα συγκεκριμένο θεωρητικό ή γλωσσικό πλαίσιο και, από την άλλη, εξωτερικά ερωτήματα που διερευνούν το οντολογικό καθεστώς αυτών των ίδιων των πλαισίων (Carnap 1956b, Προσθήκη). Σύμφωνα με τον Κάρναπ, η αποδοχή αυτής της έννοιας πλαισίου δεν εγείρει ζητήματα που άπτονται εξωτερικών ερωτημάτων οντολογικής δέσμευσης. Τέτοια ερωτήματα δίνουν λαβή σε ψευδοπροβλήματα σαν αυτά που συναντώνται στην παραδοσιακή διαμάχη ρεαλισμού, ιδεαλισμού και ονοματοκρατίας [nominalism]. Το αυθεντικό ερώτημα είναι εκείνο το συγκεκριμένο που αφορά την επιλογή του γλωσσικού πλαισίου και, όπως και προηγουμένως, έτσι και εδώ ο Κάρναπ πρεσβεύει την ανοχή.

Ο λογικός θετικισμός υπήρξε πάντοτε ένα αυτο-κριτικό κίνημα, και αυτό δεν είναι λιγότερο εμφανές στον Κάρναπ από ό,τι σε οποιοδήποτε άλλο μέλος του Κύκλου της Βιέννης. Πολλά μέλη του Κύκλου, του Κάρναπ συμπεριλαμβανομένου, κάποια στιγμή φοβήθηκαν ότι η φιλοσοφική τους ενασχόληση με λογικώς «καθαρές» γλώσσες δεν ήταν σε θέση να καταπιαστεί με τις διαρκώς μεταβαλλόμενες πραγματικότητες της επιστημονικής πρακτικής. Πράγματι, αν ο εμπειρισμός θέλει να επιληφθεί επαρκώς των σημαντικών εξελίξεων στο χώρο της επιστήμης, πρέπει να το κάνει χωρίς εκ των προτέρων προκαταλήψεις. Οφείλει να ανασυγκροτήσει την επιστημονική γνώση από τη βάση προς την κορυφή, ξεκινώντας από τα δεδομένα της άμεσης εμπειρίας, και όχι αντιστρόφως, ανατρέχοντας σε συνθετικές a priori κρίσεις, οι οποίες θεωρούνται κατά παράδοση ως οι αναγκαίες προϋποθέσεις της έλλογης εμπειρίας. Ωστόσο, κατά την υποστήριξη ενός ακραιφνούς εμπειρισμού ανακύπτουν σημαντικές δυσκολίες. Έχουμε ήδη σημειώσει τα προβλήματα που συναντά ο Ράσελ όσον αφορά τα γενικά γεγονότα και τις αποβλεπτικές καταστάσεις. Ο Ράσελ (1948) θέτει a priori αξιώματα τα οποία θεωρεί ως απαραίτητες συνθήκες του επιστημονικού συμπερασμού, με έναν τρόπο που παρουσιάζει ομοιότητες με τον υπερβατολογισμό της νεο-καντιανής παράδοσης (στο ίδιο, 6). Και ο Κάρναπ (1963, 978-979) επίσης παραβαίνει τις επιταγές μιας καθαρώς εμπειριστικής προσέγγισης της γνώσης. Στο ύστερο έργο του επί των βαθμών επικύρωσης ή της επαγωγικής πιθανότητας, ωθείται στο να αναγνωρίσει απρόθυμα ότι οι πρότερες πιθανότητες βασίζονται στη διαίσθηση σε ό,τι αφορά την a priori κατανομή τους. Οι σχετικές προτάσεις δύσκολα θα μπορούσαν να είναι κάτι διαφορετικό από συνθετικές a priori προτάσεις (δες Κεφάλαιο 3, Παραγράφους 3.5, 3.7). Μολαταύτα, αυτές οι βαθιές εντάσεις του εμπειριστικού προγράμματος βρίσκονταν πίσω από τις απόπειρες του Κάρναπ, κατά τη δεκαετία του 1930, να χαλαρώσει τα λογικά και εμπειρικά κριτήρια του προγράμματος, επιχειρώντας να συλλάβει πιστότερα τον ανοιχτό χαρακτήρα της πραγματικής επιστημονικής προόδου. Εδώ η επαναξιολόγησή του επικεντρώνεται κατά κύριο λόγο στην απαίτηση αναγωγιμότητας και στην επαληθευτική αρχή του νοήματος, η εμβέλεια της οποίας τροποποιείται σημαντικά. Πράγματι, ο Κάρναπ (1936) συμφωνεί με τον Πόππερ ότι οι επιστημονικές υποθέσεις δεν επιδέχονται πλήρη επαλήθευση από παρατηρησιακά τεκμή-

ρια, και υποστηρίζει την αντικατάσταση της έννοιας της επαλήθευσης από εκείνη του βαθμού επικύρωσης.

Παρόλο που ο Κάρναπ ποτέ δεν πραγματεύεται ρητά το θέμα της επιστημονικής αλλαγής, το έργο του για τις πιθανότητες, την επικύρωση και την επαγωγή σχετίζεται με το πρόβλημα (ή τα προβλήματα) της παροχής κριτηρίων για την επιλογή θεωριών. Το ζήτημα εδώ είναι ο τρόπος με τον οποίο μια θεωρία μπορεί να αποδειχθεί γνωσιακά και εμπειρικά καλύτερη από κάποια άλλη. Ο Κάρναπ και οι περισσότεροι σύγχρονοί του συμφωνούσαν στο ότι μια γνήσια επιστημονική θεωρία οφείλει, με τον έναν ή τον άλλο τρόπο, να ανταποκρίνεται σε εμπειρικώς προσδιορίσιμα τεκμήρια και ότι μια καλύτερη θεωρία ανταποκρίνεται σχετικά καλύτερα στα εν λόγω τεκμήρια από ό,τι μια υποδεέστερη θεωρία. Πώς όμως μπορούμε να προσδιορίσουμε αυτήν τη σχέση; Σύμφωνα με τον Κάρναπ, αυτό μπορεί να γίνει με όρους επαγωγικής υποστήριξης, όπως αναλύεται στην πιθανοκρατική έννοια περί βαθμού επικύρωσης που εισήγαγε (δες Κεφάλαιο 2). Έτσι, με δεδομένο ένα σώμα εμπειρικών τεκμηρίων, μια θεωρία είναι καλύτερα τεκμηριωμένη από μιαν άλλη εάν η επαγωγική πιθανότητά της είναι υψηλότερη.

4.4 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ, ΓΝΩΣΙΑΚΟ ΝΟΗΜΑ, ΕΠΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΥΠΟΘΕΣΗ

Ας στραφούμε τώρα σε ορισμένες πιο πρόσφατες αναπτύξεις της «αποδεκτής άποψης», κάνοντας αναφορά στο έργο του Χανς Ράιχενμπαχ και του Καρλ Πόππερ. Ο Ράιχενμπαχ υπήρξε ο πιο ακραιφνής και ασυμβίβαστος εμπειριστής της ομάδας που αρχικά ήταν συγκεντρωμένη στο Βερολίνο. Από την άλλη μεριά, ο Πόππερ, αν και είχε τις ίδιες φιλοσοφικές ευαισθησίες –χωρίς ωστόσο να είναι μέλος ούτε του κύκλου της Βιέννης ούτε και της ομάδας του Βερολίνου– υπήρξε σταθερός επικριτής του θετικισμού, ειδικότερα στο ζήτημα του τρόπου με τον οποίο μια θεωρία ανταποκρίνεται στην εμπειρική της βάση.

Το εντυπωσιακό με τον εμπειρισμό του Ράιχενμπαχ είναι ότι η πιθανοκρατική θεωρία του περί γνωσιακού νοήματος του επιτρέπει να αποφύγει τις δυσκολότερες δεσμεύσεις του πρώιμου θετικισμού. Δεν χρειάσθηκε να προβληματισθεί για τον φαινομεναλισμό, όπως ο Ράσελ και ο Κάρναπ· δεν χρειάσθηκε να θεωρήσει τα φυσικά αντικείμενα ως κατασκευές από αισθητηριακά δεδομένα· ούτε χρειάσθηκε να προϋποθέσει ότι κάθε φυσικό αντικείμενο είναι λογικώς ισοδύναμο με μία πεπερασμένη σειρά παρατηρησιακών αναφορών ενσωματωμένων σε προτάσεις-πρωτόκολλα. Με δυο λόγια, είναι σε θέση να παρακάμψει τις βασικές σημασιολογικές και οντολογικές δυσκολίες που περιβάλλουν τον κλασικό θετικισμό, και παρ' όλα αυτά να διατηρήσει έναν σθεναρό εμπειρισμό.

Το κλειδί για την κατανόηση της «ραϊχενμπαχιανής στροφής» του εμπειριστικού προγράμματος έγκειται στον τρόπο με τον οποίο ο Ράιχενμπαχ συσχετίζει την επαγωγή και τις πιθανότητες με το πρόβλημα του γεγονικού ή εμπειρικού νοήματος. Παρόλο που η απόπειρα του Έιρ (A.J. Ayer) να επεξεργασθεί ένα

«ασθενές» κριτήριο επαληθευσιμότητας δοκιμάσθηκε σκληρά στα χέρια του Αλόνζο Τσερτς [Alonzo Church] (δες Κεφάλαιο 3, Παραγράφους 3.5, 3.6), ο Ράιχενμπαχ ποτέ δεν απεμπόλησε την πεποίθησή του στη δυνατότητα μίας επαληθευσιοκρατικής θεωρίας νοήματος. Κατά τη γνώμη του, το πρόβλημα της εμπειριστικής φιλοσοφίας δεν έγκειται στη συγκρότηση των αντικειμένων με βάση την εμπειρία, αλλά στον τρόπο με τον οποίο επαληθεύονται από την παρούσα ή τη μελλοντική εμπειρία αποφάνσεις που αναφέρονται τόσο σε παρατηρήσιμα, όσο και σε μη παρατηρήσιμα αντικείμενα. Εκείνο, λοιπόν, που έχει σημασία δεν είναι το πλαίσιο ανακάλυψης, αλλά το πλαίσιο δικαιολόγησης. Επιπλέον, αντιλαμβάνεται ότι τα κριτήρια γνωσιακού νοήματος δεν μπορούν να διατυπωθούν με όρους αυστηρής, παραγωγικής επαληθευσιμότητας στη βάση ενός πεπερασμένου συνόλου παρατηρησιακών αποφάνσεων, αλλά πρέπει να επικαλεσθούν την έννοια της πιθανοκρατικής επαληθευσιμότητας μέχρι κάποιου συγκεκριμένου βαθμού. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο Ράιχενμπαχ αποφεύγει τις παραδοσιακές δυσκολίες της αναγωγιμότητας και της κατασκευασιμότητας, στρέφοντας τη δυναμική της επιστημολογίας του προς μια πιθανοκρατική εκτίμηση εκείνων των γνωσιακών αποτελεσμάτων που έχουν τις καλύτερες πιθανότητες να επικρατήσουν μακροπρόθεσμα. Πράγματι, ο Ράιχενμπαχ (1938, Κεφάλαιο 5) επιχειρεί να δείξει τον θεμελιώδη ρόλο που παίζουν οι πιθανότητες σε μια προσέγγιση της γνώσης.

Σύμφωνα με τον Ράιχενμπαχ, μια απόφανση έχει νόημα μόνο εάν είναι κατ' αρχήν δυνατό να υπάρξουν εμπειρικά τεκμήρια που να την υποστηρίζουν σε κάποιο βαθμό πιθανότητας. Ανάλογα με το εάν αυτός ο βαθμός είναι υψηλός, ενδιάμεσος ή χαμηλός, μια πιθανοκρατική επαλήθευση μπορεί να παρέχει ή να μην παρέχει υποστήριξη στην απόφανση. Έτσι, το κριτήριο γνωσιακού νοήματος του Ράιχενμπαχ είναι η πιθανοκρατική τάση προς επικύρωση ή κατάρριψη.

Στενά συνδεδεμένος με αυτήν την εικόνα για το πώς γνωρίζουμε είναι ο ισχυρισμός του Ράιχενμπαχ ότι η επαγωγή αποτελεί έναν κανόνα που μπορεί να δικαιολογηθεί πραγματιστικά με όρους πιθανοτικών συχνοτήτων. Σύμφωνα με αυτήν την άποψη, η επαγωγή είναι μια διακανονισμένη δραστηριότητα που μας επιτρέπει να συναγάγουμε ή να «θέσουμε» ότι η παρατηρούμενη συχνότητα προσεγγίζει τη μακροπρόθεσμη συχνότητα. Δεν είμαστε σε θέση, βεβαίως, να γνωρίζουμε εκ των προτέρων κατά πόσο μία ακολουθία έχει ή δεν έχει μια οριακή συχνότητα. Αλλά εάν η ακολουθία έχει όριο, η επαγωγή θα το συλλάβει διά της χρήσεως του επαγωγικού κανόνα· εάν όχι, καμία μέθοδος δεν είναι χρησιμοποιήσιμη. Υπό το φως αυτής της πραγματιστικής προσέγγισης της επαγωγής, ο Ράιχενμπαχ αναπτύσσει μία από τις κομβικές επιστημικές έννοιές του, την έννοια του τεθέντος [posit]. Ένα τεθέν είναι μία απόφανση ή μία υπόθεση που αντιμετωπίζεται ως εάν να ήταν αληθής και που δεν θα μπορούσε να τεθεί εάν γνωρίζαμε ότι είναι ψευδής. Τα τεθέντα αντιπροσωπεύουν γνωσιακές στρατηγικές που μεγιστοποιούν τη διαθέσιμη πληροφορία μέσω της χρήσης του επαγωγικού κανόνα (του κανόνα διά του οποίου παράγουμε τεθέντα) με σκοπό την εξακρίβωση του ορίου των συχνοτήτων (δες Κεφάλαιο 2).

Κατά τα φαινόμενα, η επιστημονική αλλαγή δεν αποτελεί πρόβλημα για τον Ράιχενμπαχ. Ποτέ δεν αμφιβάλλει ότι η επιστήμη αλλάζει και αναπτύσσεται ή ότι στα πλαίσια αυτής της ανάπτυξης συμβαίνουν επαναστατικές ασυνέχειες. Για τον Ράιχενμπαχ, τα κεντρικά ζητήματα της φιλοσοφίας βρίσκονται αλλού, στο εγχείρημα της όσο το δυνατόν διαυγέστερης προσέγγισης του τρόπου με τον οποίο οι επιστημονικές αποφάνσεις επιδέχονται δικαιολόγηση. Με δεδομένη την εκ μέρους του πιθανοκρατική κατανόηση του πλαίσιου δικαιολόγησης και τον μπεϊσιανισμό του, ο Ράιχενμπαχ έχει πολλά να πει επί της συγκριτικής αξιολόγησης και επιλογής θεωριών (δες Κεφάλαιο 2).

Η ποππεριανή έννοια της εικασίας έχει, από γνωσιακή άποψη, πολλά κοινά σημεία με την έννοια του τεθέντος κατά Ράιχενμπαχ. Σύμφωνα με τον Πόππερ, δουλειά της επιστήμης είναι να διαψεύδει βασικές αποφάνσεις, όχι να τις επαληθεύει. Έτσι, η επιστήμη οφείλει να συγκροτεί είτε τολμηρές εικασίες, είτε αυστηρούς ελέγχους θεωριών· οι θεωρίες αυτές μπορεί να γίνουν προσωρινά αποδεκτές μόνο στο βαθμό που αντεπεξέρχονται σε σοβαρές τέτοιες προσπάθειες διάψευσής τους. Ο Πόππερ τονίζει, ωστόσο, ότι καμία θεωρία ή υπόθεση δεν μπορεί να εδραιωθεί πέρα από κάθε αμφιβολία. Μια θεωρία ενισχύεται όταν επιβιώνει σοβαρών εγχειρημάτων που αποσκοπούν στην κατάρριψή της, και η ενίσχυσή της είναι τόσο μεγαλύτερη όσο περισσότερο διαψεύσιμη είναι η θεωρία (1963, Κεφάλαιο 10). Σύμφωνα με τον Πόππερ, μια θεωρία είναι περισσότερο διαψεύσιμη στο μέτρο που ισχυρίζεται περισσότερα πράγματα για τον κόσμο και δεσμεύει έτσι περισσότερο το πλαίσιο της γενικευτικής ισχύος της. Όταν συμβαίνει αυτό, οι βασικές αποφάνσεις της θεωρίας έχουν συγκριτικά περισσότερο εμπειρικό περιεχόμενο. Κατά την άποψη του Πόππερ, η επαγωγή πρέπει να εγκαταλειφθεί γιατί δεν συνιστά ορθολογικά δικαιολογήσιμη διαδικασία. Έτσι, οι διάφορες στρατηγικές που αποσκοπούν στην εγκαθίδρυση επαγωγικών γενικεύσεων πρέπει να απορρίπτονται, ενώ η επιστήμη οφείλει να επικεντρώνεται στον έλεγχο υποθέσεων και στη διάψευση θεωριών ανεξαρτήτως της διαδικασίας ανακάλυψής τους. Στην πραγματικότητα, αυτό σημαίνει ότι η επιστήμη πρέπει να παραιτηθεί από κάθε ιδέα της θετικής στήριξης των θεωριών της που υπερβαίνει τα συναφή άμεσα εμπειρικά τεκμήρια. Η ειρωνεία είναι ότι η τοποθέτηση του Πόππερ δεν είναι η ίδια απρόσβλητη από την επαγωγή: τι λόγους θα είχαμε να υποβάλλουμε σε αυστηρούς ελέγχους μία επιστημονική θεωρία αν δεν προϋποθέταμε ότι μία ενδεχόμενη επιτυχία της θα καταστήσει πιθανότερη τη μελλοντική της επιτυχία; Είναι προφανές ότι αυτή η παραδοχή ενέχει την επαγωγική προβολή των επικυρωτικών στιγμών στο μέλλον. Κατά ενδιαφέροντα τρόπο, ωστόσο, η στάση του Πόππερ ευνοεί την ερμηνεία της επιστήμης ως ένα δυναμικό εγχείρημα που έχει τη δυνατότητα να αλλάζει αδιάκοπα τον εαυτό του. Πάντα θα υπάρχει η δυνατότητα μιας επιστημονικής επανάστασης.

Ιδού λοιπόν μια ισχυρή προβληματική που προσπαθεί να φέρει στο φως τις αμετάβλητες δομές που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της επιστημονικής πρακτικής. Σύμφωνα με την «αποδεκτή άποψη», η επιστήμη είναι ταυτοχρόνως

προοδευτική κατά σωρευτικό τρόπο, αντικειμενική και καθολική. Είναι αντικειμενική με δύο έννοιες. Πρώτον, με την έννοια ότι η βασική της γλώσσα απευθύνεται στο δικαστήριο της άμεσης παρατηρησιακής εμπειρίας, η οποία θεωρείται διαθέσιμη κατά διυποκειμενικό τρόπο σε όλους τους απροκατάληπτους παρατηρητές. Επιπλέον, το ιδεώδες της «αποδεκτής άποψης» είναι να συλλάβει γλωσσικά αυτή την εμπειρία στην καθαρότερή της μορφή, μέσω ενός ελάχιστου λεξιλογίου το οποίο να την διαστρεβλώνει όσο γίνεται λιγότερο. Δεύτερον, είναι αντικειμενική με την έννοια ότι έχει ως βασική της γλώσσα τη γλώσσα της σύγχρονης λογικής, μια γλώσσα που εκλαμβάνεται ως αντανάκλαση των δομών της εξωτερικής πραγματικότητας. Σύμφωνα με την «αποδεκτή άποψη», τέλος, η επιστήμη είναι καθολική στο μέτρο που οι μεθοδολογικές κανονικότητές της πραγματώνονται κατά αμετάβλητο τρόπο σε διαφορετικούς πολιτισμούς και σε διαφορετικές εποχές. Η στάση της «αποδεκτής άποψης» ενσαρκώνει, λοιπόν, έναν ουσιοκρατικό τρόπο κατανόησης της επιστημονικής αλλαγής. Πρόκειται γιά μια ουσιοκρατική κατανόηση στο βαθμό που επικεντρώνεται στη συγχρονική διάσταση της επιστημονικής αλλαγής, απογυμνώνοντάς την από τη χρονικότητα που της προσιδιάζει, καθώς την ανάγει σε μια διαδικασία καθιέρωσης συγκριτικών κριτηρίων λογικής φύσεως για την αξιολόγηση των θεωριών, κριτηρίων όπως επικύρωση, επαλήθευση, διάψευση ή λογική απλότητα. Κατά συνέπεια, η άμεση «μονάδα» αλλαγής στα πλαίσια της επιστημονικής προόδου είναι η παρατηρησιακή πρόταση, πράγμα που σημαίνει ότι μια αλλαγή του συναφούς εμπειρικού περιεχόμενου ή μια απόρριψη σε αυτό το επίπεδο οδηγεί στην αναπροσαρμογή των θεωρητικών προτάσεων του συστήματος.

Ας σημειωθεί ότι η «αποδεκτή άποψη» διατηρεί ορισμένες αναμφισβήτητες παραδοχές. Κανένα πειστικό επιχείρημα δεν παρατίθεται υπέρ της επαληθευσιοκρατίας: για ποιο συγκεκριμένο λόγο το νόημα πρέπει να έγκειται σε ό,τι μπορεί να επαληθευθεί αντιληπτικά; Και γιατί οι αποφαντικές μορφές επιστημονικού λόγου πρέπει να εκλαμβάνονται ως προνομιακές σε σχέση με τις αντίστοιχες πραγματιστικές; Για άλλη μια φορά, η αντικειμενική αλήθεια προϋποτίθεται εδώ συλλογικά διαθέσιμη, επικοινωνήσιμη μέσω μιας ορθής και διεπόμενης από κανόνες γλώσσας, και σαφώς διακριτή από το ψεύδος. Υπάρχει, τέλος, μια αναγωγιστική εμπιστοσύνη στην προτεραιότητα των απλών στοιχείων, και μια εδραιωμένη πεποίθηση ότι αυτά μπορούν να αφαιρεθούν από το πλαίσιό τους, να απομονωθούν και να τεθούν στην υπηρεσία της θεωρίας. Είναι ακριβώς αυτές τις παραδοχές που αντιμετωπίζει με σκεπτικισμό η «Νέα Φιλοσοφία της Επιστήμης».

4.5 Η ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΗ ΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΩΝ ΤΗΣ ΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ: Η «ΝΕΑ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ»

Η διατύπωση «υποστηρικτές της σφαιρικής προσέγγισης» αναφέρεται σε φιλοσόφους όπως ο Τόμας Κουν, ο Ίμρε Λάκατος, ο Λάρυ Λαουντάν (Larry Laudan)

και ο Πωλ Φαγεράμπεντ. Όλοι ασχολούνται με προβλήματα σχετικά με την επιστημονική αλλαγή, απορρίπτουν εμφατικά το πρόγραμμα της «αποδεκτής άποψης» και λαμβάνουν σοβαρά υπ' όψιν τους τις ιστορικές και χρονικές διαστάσεις της επιστημονικής αλλαγής και ανάπτυξης. Η «Νέα Φιλοσοφία της Επιστήμης» είναι εκείνο το σώμα απόψεων που άσκησε μεγάλη επιρροή στο σχετικό πεδίο κατά την περίοδο που αρχίζει γύρω στο 1960 και τελειώνει περίπου το 1980.

Ας ξεκινήσουμε σκιαγραφώντας τις θέσεις και αντιλήψεις της «αποδεκτής άποψης» που οι υποστηρικτές της σφαιρικής προσέγγισης είτε απορρίπτουν, είτε αμφισβητούν σοβαρά.

1. Πρώτο και κύριο, απορρίπτουν τη διχοτομία μεταξύ θεωρητικών και παρατηρησιακών προτάσεων. Υποστηρίζουν είτε ότι μια τέτοια διάκριση είναι κατ' αρχήν αδύνατον να τεθεί, είτε ότι οι παρατηρησιακές προτάσεις είναι σοβαρά προσβεβλημένες από θεωρία. Στην ουσία πριμοδοτούν τη θεωρία έναντι της παρατήρησης, ενώ η «αποδεκτή άποψη» πριμοδοτούσε τη δεύτερη έναντι της πρώτης. Προσφάτως, ολόκληρη αυτή η συλλογιστική έχει αμφισβητηθεί ως παραπλανητική από εκείνους που θεωρούν τον πειραματισμό και τις πειραματικές τεχνικές ως το κομβικό σημείο της επιστημονικής πρακτικής και αλλαγής (δες Παράγραφο 4.14).
2. Απορρίπτουν την άποψη που εκλαμβάνει ως σωρευτική τη μετάβαση από τη μία θεωρία στην άλλη. Υποστηρίζουν ότι το λογικό και εμπειρικό περιεχόμενο (ακόμα και οι επικυρωμένες συνεπαγωγές) μίας προγενέστερης θεωρίας δεν διατηρούνται εξ ολοκλήρου όταν αυτή αντικαθίσταται από μία νεότερη. Αυτό αμφισβητεί τον ισχυρισμό περί συνέχειας του νοήματος των παρατηρησιακών προτάσεων διά μέσου της θεωρητικής αλλαγής.
3. Απορρίπτουν την άποψη ότι οι θεωρίες μπορούν ανά πάσα στιγμή να αξιολογηθούν λογικά μέσω των παρατηρησιακών συνεπαγωγών τους και με τη βοήθεια επικύρωσης, επαλήθευσης ή διάψευσης. Δεν υπάρχουν τέτοιοι απόλυτοι κανόνες μη-σχετικής γνώσης και αυθεντίας. Η αξιολόγηση των θεωριών συνιστά πολυσύνθετο ζήτημα, διεπόμενο από πολλούς παράγοντες που ξεπερνούν την τυποποιημένη λογική της δικαιολόγησης· η δε αλλαγή θεωριών είναι το δυναμικό χρονικό φαινόμενο της ιστορίας ενός επιστημονικού πεδίου, στο εσωτερικό ενός μεταβαλλόμενου κοινωνικού και ιστορικού πλαισίου.
4. Υποστηρίζουν ότι η διάκριση μεταξύ πλαισίου ανακάλυψης και πλαισίου δικαιολόγησης είναι παραπλανητική. Η προσήλωση στα λογικά ζητήματα της δικαιολόγησης διαστρεβλώνει τη εικόνα του αναπτυξιακού δυναμικού του επιστημονικού εγχειρήματος και παραβλέπει το ευρύτερο πλαίσιο μέσα στο οποίο η επιστήμη αναπτύσσεται και αλλάζει. Σύμφωνα με τη «Νέα Φιλοσοφία της Επιστήμης», είναι σημαντικό να κατανοήσουμε το γίγνεσθαι της επιστήμης.

5. Αμφισβητούν σοβαρά το θεμελιωτισμό, την άποψη σύμφωνα με την οποία μία αμέτοχη, αναστοχαστική γνωσιακή στάση είναι σε θέση να αποκαλύψει τις οντολογικώς ή γνωσιολογικώς προνομιακές οντότητες στις οποίες είναι αναγώγιμο κάθε τι, όπως «λογικά άτομα», «προτάσεις-πρωτόκολλα», «αισθητηριακά δεδομένα» και «αυξανόμενο εμπειρικό περιεχόμενο»· σ' αυτήν την αντίληψη υπάγεται και η ιδέα ότι μπορεί να υπάρχει μία και μοναδική αληθής θεωρία που είναι σε θέση να αναπαραστήσει την έσχατη δομή ενός ανεξάρτητου από το νου κόσμου.
6. Αμφισβητούν την αντίληψη που κατανοεί την επιστήμη αποκλειστικά ως ένα εγχείρημα που αποσκοπεί στην τεκμηριωμένη και αμερόληπτη γνώση των απόλυτων ιδιοτήτων κάποιων αυθύπαρκτων αντικειμένων, όπως ηλεκτρόνια, γονίδια ή κουάρκς. Για να το θέσουμε αλλιώς, η «Νέα Φιλοσοφία της Επιστήμης» αμφισβητεί την υπεραπλουστευτική εικόνα που θέλει την επιστήμη να διαθέτει κάποιο μυστηριώδες αλάθητο, να παρέχει μονοσήμαντη γνωσιακή πρόσβαση σε οτιδήποτε υπάρχει, να παράγει ακλόνητη, λειτουργούσα και αντικειμενική γνώση με τη βοήθεια απόλυτων και πολιτισμικά ουδέτερων μεθόδων και να συγκροτεί την αληθή περιγραφή του φυσικού κόσμου μέσω ενός σημασιολογικά καθαρού, αληθοεπούς λεξιλογίου.
7. Διακηρύσσουν ρητά την άποψη ότι η θεωρητική βαθμίδα της επιστήμης έχει την πρωτοκαθεδρία επί της επιστημονικής πρακτικής. Στην πραγματικότητα, μοιράζονται με την «αποδεκτή άποψη» την ιδέα ότι η εξηγητική γνώση είναι προτασιακή και ότι όλες οι μορφές του «γνωρίζω-πώς» [know-how] πρέπει να μετασχηματίζονται σε «γνωρίζω-ότι» [know-that]. Διαφέρουν από την «αποδεκτή άποψη» μόνο στο βαθμό που πριμοδοτούν τη θεωρία έναντι της παρατήρησης.

4.6 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ, ΛΕΞΙΚΑ ΚΑΙ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ

Θα παρουσιάσουμε τώρα τη βασική θεματολογία της «Νέας Φιλοσοφίας της Επιστήμης», όπως αυτή εμφανίζεται στα κείμενα των κύριων εκφραστών της. Το έργο του Τόμας Κουν αμφισβήτησε την προοδευτικότητα και τη σωρευτικότητα της επιστήμης όσον αφορά την αύξηση του εμπειρικού περιεχομένου της. Σύμφωνα με τον Κουν, οι θεωρίες δεν εκτοπίζονται από τις διάδοχές τους λόγω της συσσώρευσης εμπειρικών τεκμηρίων εναντίον τους, ούτε επειδή δεν επαληθεύονται ή τυχαίνει να αντικρούονται, αλλά επειδή αποδεικνύονται λιγότερο καλές σε σύγκριση με τις θεωρίες που τις εκτοπίζουν όσον αφορά την επιλογή νέων προβλημάτων ή τη θεσμοθέτηση κριτηρίων για την επίλυση εξεχόντων επιστημονικών προβλημάτων. Ας δούμε με ποιο τρόπο ερμηνεύει ο ίδιος την ανάδυση της κοπερνίκειας αστρονομίας. Ο Κουν επισημαίνει την εξακολουθητική αποτυχία της πτολεμαϊκής αστρονομίας να επιλύσει τα δικά της προβλήματα και τους

δικούς της γρίφους. Αυτή η αποτυχία μεγεθυνόταν από την αίσθηση που είχε αρχίσει να αναπτύσσεται στην επιστημονική κοινότητα της εποχής ότι τα προβλήματα της πτολεμαϊκής αστρονομίας δεν ήταν πλέον *επιλύσιμα* μέσα στο δικό της πλαίσιο. Η κοπερνίκεια θεωρία μοιάζει να αναδύθηκε ως άμεση απάντηση στην κρίση που προέκυψε από αυτήν την κατάσταση. Εδώ ο Κουν υπογραμμίζει τη σημασία της κρίσης στο εσωτερικό της επιστημονικής κοινότητας. Σε πολλές περιπτώσεις, η απάντηση στην αποτυχία επίλυσης ενός προβλήματος είχε προϋπάρξει. Παραδείγματος χάριν, τον τρίτο αιώνα π.Χ., ο Αρίσταρχος είχε εν πολλοίς προαναγγείλει τον Κοπέρνικο. Ωστόσο, όπως παρατηρεί ο Κουν, αν δούμε τα πράγματα ιστορικά, η ιδέα του Αρίσταρχου μπόρεσε να καταστεί μία βιώσιμη δυνατότητα από τον Κοπέρνικο μόνο από τη στιγμή που οι αποδεδειγμένες αποτυχίες του πτολεμαϊκού συστήματος οδήγησαν σε κρίση (Kuhn 1970, Κεφάλαιο 7).

Ο Κουν προτείνει ένα συγκεκριμένο μοντέλο για την κατανόηση της επιστημονικής αλλαγής και, ειδικότερα, των επιστημονικών αλλαγών που μπορούν να χαρακτηρισθούν επαναστατικές. Αυτό περιλαμβάνει τρεις κομβικές έννοιες: την αλλαγή παραδείγματος, τις επίμονες σημαντικές δυσκολίες που συναντά ένα παράδειγμα προσπαθώντας να επιλύσει τα προβλήματά του, πράγμα που καθιστά τη συναφή ικανότητά του φθίνουσα, και την ασυμμετρότητα μεταξύ του παλιού παραδείγματος και του καινούργιου που αναδύεται κατά τη διάρκεια μιας επιστημονικής κρίσης. Ο Κουν στηρίζει το μοντέλο του για την επιστημονική αλλαγή στις θεωρίες κοινωνικής αλλαγής, ενώ θεωρεί τους κοινωνικούς και θεσμικούς παράγοντες ως ουσιαστικές παραμέτρους για την κατανόηση της φύσης των αντίστοιχων μεταβάσεων στην επιστήμη. Υπ' αυτήν την έννοια, απορρίπτει τις γνωσιοθεωρητικά παρακινούμενες διακρίσεις που εν πολλοίς κυριαρχούσαν στη φιλοσοφία της επιστήμης εκείνη την εποχή: θεωρία έναντι παρατήρησης, πλαίσιο ανακάλυψης έναντι πλαισίου δικαιολόγησης, συνέχεια έναντι ασυνέχειας, επαληθευσιοκρατία έναντι εικασίας και ανασκευής κ.λπ. Οι διακρίσεις αυτές είχαν ήδη δεχθεί επιθέσεις από συγγραφείς όπως ο Π. Φαγεράμπεντ και ο Ν. Χάνσον (N.R. Hanson). Η ιδέα των ριζικών ασυνεχειών κατά την εξέλιξη της ανθρώπινης σκέψης αντιπροσώπευε από καιρό το σύμβολο πίστεως των οπαδών του Μπασελάρ (1984) στη Γαλλία. Ο Κουν, ωστόσο, ήταν αυτός που για πρώτη φορά συγκρότησε μια συστηματική εναλλακτική δυνατότητα απέναντι σ' αυτά τα εδραιωμένα φιλοσοφικά δόγματα.

Οι έννοιες του παραδείγματος και της αλλαγής παραδείγματος έχουν υποστεί κριτική, και δικαίως, ως ασαφείς και διφορούμενες. Για τους σκοπούς μας δεν χρειάζεται παρά να πούμε τα παρακάτω. Κατά τον Κουν, «παράδειγμα» σημαίνει δύο διακριτά πράγματα. Αντιπροσωπεύει, από τη μία μεριά, «ολόκληρο τον αστερισμό των πεποιθήσεων, των αξιών, των τεχνικών κ.λπ. που μοιράζονται τα μέλη μιας δεδομένης κοινότητας» (Kuhn 1970, 175). Έτσι, ένα ερευνητικό παράδειγμα έγκειται σε όλα όσα μοιράζεται μια επιστημονική κοινότητα, τους κοινούς δεσμούς εκπαίδευσης, αποδοχής θεωριών, στόχων, αξιών, κοινωνικού και επαγγελματικού καθεστώτος. Υπ' αυτήν την έννοια, μπορεί να συγκριθεί με τις

«μορφές ζωής» του Βιτγκενστάιν (Wittgenstein, 1953) ή με το Dasein του Χάιντεγκερ (Heidegger, 1962). Παρόλο που μια επιστημονική κοινότητα μπορεί να προσδιορισθεί μέσω του παραδείγματος που μοιράζονται τα μέλη της, αυτή καθ' εαυτήν η κοινότητα συνιστά ένα κοινωνικό φαινόμενο που μπορεί να απομονωθεί και να ταυτοποιηθεί ανεξάρτητα από το αντίστοιχο παράδειγμα. Υπ' αυτήν την έννοια, το παράδειγμα πρέπει να κατανοηθεί με κοινωνικούς και θεσμικούς όρους, ως ένα κοινωνικό σύμπλοκο που εκφράζει τις διασυνδέσεις, τις τεχνικές και την οργάνωση μιας ερευνητικής επιστημονικής κοινότητας.

Από την άλλη μεριά, το «παράδειγμα» αντιστοιχεί σε ένα σημαντικό στοιχείο αυτού του οργανωμένου συμπλόκου, και συγκεκριμένα στα πρότυπα που συνοψίζουν εν είδει υποδείγματος τους ρητούς κανόνες και τα κριτήρια που καθοδηγούν τη διαδικασία επίλυσης γρίφων στα πλαίσια της κανονικής επιστήμης (στο ίδιο). Κατά τον Κουν, η κανονική επιστήμη δεν αποζητά νεοτερισμούς. Αποζητά, μάλλον, να ενεργοποιήσει το δυναμικό ενός παραδείγματος, επαυξάνοντας, λόγου χάριν, το βαθμό αντιστοιχίας μεταξύ των «γεγονότων» που αυτό προσδιορίζει και της εμβέλειας των προβλέψεών του. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το παράδειγμα διορθώνεται περαιτέρω με την πραγματοποίηση του δυναμικού που διαθέτει για την επίλυση γρίφων. Έτσι, τα προβλήματα που επιλύονται στο πλαίσιο ενός συγκεκριμένου παραδείγματος είναι αυτά που λειτουργούν ως υποδείγματα για τη συνέχιση της δραστηριότητας επίλυσης γρίφων στο εσωτερικό του. Εδώ ο Κουν υπογραμμίζει τον γνωσιακό ρόλο που παίζουν τα επιτυχώς επιλυμένα προβλήματα ως πρότυπα προς μίμηση κατά την περαιτέρω έρευνα. Πράγμα που απορρίπτει την άποψη ότι η επιστήμη προχωρά απλώς επεκτείνοντας την εφαρμογή θεωριών και νόμων σε νέες πειραματικές και θεωρητικές συνθήκες, έτσι ώστε αυτοί είτε να επαληθεύονται είτε να καταρρίπτονται. Αντίθετα, η επιστήμη προχωρά αξιοποιώντας τις δυνατότητες επίλυσης γρίφων των παραδειγμάτων. Ο Κουν παρομοιάζει τις δυνατότητες αυτές με τη χρήση άρρητων κανόνων που ενέχονται στην επίλυση σταυρολέξων ή παζλ. Δηλαδή η επιστημονική επίλυση γρίφων συγκρίνεται με τις διακανονισμένες κινήσεις επίλυσης ενός παζλ, οι οποίες εξασφαλίζουν τη συναφή δυνατότητα θέτοντας συγκεκριμένους περιορισμούς στη σχετική διαδικασία. Όταν η επιστήμη βαίνει κατ' αυτόν τον διεπόμενο από κανόνες τρόπο, έχουμε κανονική επιστήμη. Όταν όμως οι εν λόγω γρίφοι παύουν να είναι επιλύσιμοι από τα αποθέματα της κανονικής επιστήμης, μετατρέπονται στα προβλήματά της (στο ίδιο, Κεφάλαιο 4).

Υφίσταται μία στενή σχέση, τώρα, ανάμεσα στον πολλαπλασιασμό των προβλημάτων που το παράδειγμα είτε δεν έχει ακόμα επιλύσει είτε έχει επιλύσει ανεπαρκώς, όπως επίσης και των προβλημάτων που θεωρούνται μη επιλύσιμα στα πλαίσια του παραδείγματος, και του φαινομένου της ριζικής μεταστροφής προς ένα νέο παράδειγμα. Η συνεχιζόμενη πτώση της ικανότητας επίλυσης γρίφων, μαζί με την αύξηση των επίμονων προβλημάτων που το παράδειγμα δεν είναι σε θέση να χειρισθεί, εισάγει την κοινότητα σε μία κρίση η οποία θα αρθεί

τελικά μόνο όταν η κοινότητα προσχωρήσει σε ένα καινούριο παράδειγμα. Αυτό το νέο παράδειγμα θέτει καινούριους γρίφους και θεσπίζει τους δικούς του κανόνες για την επίλυσή τους, ενώ καταπιάνεται επιτυχώς με καινούρια εξέχοντα προβλήματα και όχι απαραίτητα με εκείνα του παλιού παραδείγματος. Ο Κουν επιμένει εδώ ότι η απόφαση για την απόρριψη ενός παραδείγματος ταυτίζεται πάντοτε με την απόφαση για την αποδοχή ενός άλλου (στο ίδιο, Κεφάλαια 7, 8).

Πρέπει εν προκειμένω να καταστήσουμε σαφή τη θέση του Κουν. Δεν ισχυρίζεται ότι το παλιό παράδειγμα αλλάζει βαθμηδόν προς το διάδοχό του: αυτό που ισχυρίζεται είναι ότι το νέο παράδειγμα αντικαθιστά τελείως το παλιό. Πρόκειται για τη θεωρία περί ασυμμετρίας μεταξύ του παλιού και του νέου παραδείγματος, σύμφωνα με την οποία η ανάδυση του ενός ισοδυναμεί ιστορικά με την κατάργηση του άλλου. Κατά τον Κουν, λοιπόν, η επιστημονική αλλαγή ανάγεται στην πλήρη αντικατάσταση ενός συνόλου δομών από ένα άλλο (στο ίδιο, Κεφάλαιο 9). Είναι σημαντικό να συλλάβουμε την ισχύ της έννοιας της «πλήρους αντικατάστασης». Ο Κουν εννοεί μ' αυτήν ότι οι αποφάνσεις που συνιστούν τα αντίπαλα παραδείγματα δεν είναι αμοιβαίως μεταφράσιμες. Πράγμα που σημαίνει ότι η ασυμμετρία των παραδειγμάτων δεν μας επιτρέπει να τα θεωρήσουμε λογικώς ασύμβατα, δεδομένου ότι μία τέτοια ασυμβατότητα θα προϋπέθετε κάποιο κοινό μέτρο αμοιβαίας μεταφρασιμότητας, δηλαδή ακριβώς αυτό που απορρίπτει η αντίληψη περί ασυμμετρίας του Κουν.

Στο πιο πρόσφατο έργο του, ο Κουν εξακολουθεί να υποστηρίζει μια γλωσσική προσέγγιση της ασυμμετρίας. Από κοινού με τη δομιστική γλωσσολογία, ισχυρίζεται ότι ένας γλωσσικός όρος προσδιορίζεται από τις διαφορές του με τους άλλους όρους στα πλαίσια του γλωσσικού πεδίου. Το νόημα του όρου «λιοντάρι» εξαρτάται από το νόημα του όρου «τίγρη» και από τη διαφορά μεταξύ «λιονταριού» και «τίγρης». Αν αυτό αληθεύει, δηλαδή στο βαθμό που η σχέση κάθε όρου με το αντικείμενό του βασίζεται σε ένα δίκτυο διαφορών μεταξύ του όρου και του αντικειμένου του, από τη μια μεριά, και των άλλων όρων και αντικειμένων του γλωσσικού πεδίου, από την άλλη, τότε η αναφορά του εν λόγω όρου δεν μπορεί να εξασφαλισθεί κατά μεμονωμένο τρόπο, δηλαδή τοπικά. Έτσι, μια αποσπασματική μετάφραση είναι αδύνατη, πράγμα που σημαίνει ότι ο μεταφραστής οφείλει να ανασυγκροτήσει στη γλώσσα του ολόκληρο το προσίδιο γλωσσικό δίκτυο της προς μετάφραση γλώσσας. Είναι βεβαίως πιθανό το λεξικό της τελευταίας να μην είναι πλήρως ομόλογο με το λεξικό του ερμηνευτή. Εάν συμβαίνει αυτό, η ασυμμετρία ισοδυναμεί με μη μεταφρασιμότητα, καθώς μια πλήρης μετάφραση είναι αδύνατη. Σύμφωνα με τον Κουν, λοιπόν, η ασυμμετρία συνιστά αποτέλεσμα μη ομόλογων γλωσσικών δικτύων ή λεξικών, τα οποία αντανακλούν τους συναφείς πολιτισμούς ενόσω τους ερμηνεύουν. Παρόλο που μια πλήρης μετάφραση είναι αδύνατη, στο μέτρο που είμαστε σε θέση να μάθουμε το ξένο λεξικό ή γλώσσα, η ασυμμετρία μπορεί να ελεγχθεί (Kuhn 1983, 1989). Ας σημειωθεί το πόσο διαφέρει αυτή η αντίληψη τόσο από την ασυμμε-

τρία όσον αφορά τα παραδείγματα, όσο και από τον συναφή ισχυρισμό του Κουν σύμφωνα με τον οποίο καμία ουδέτερη παρατηρησιακή γλώσσα δεν είναι σε θέση να επιλέξει μεταξύ *θεωριών*, δεδομένου ότι κάθε επιστημονική γλώσσα είναι θεωρητικά φορτισμένη.

Πριν εξετάσουμε την έννοια της ασυμμετρίας των παραδειγμάτων και τη σχέση της με την επίλυση γρίφων, ας ρίξουμε μια γρήγορη ματιά στον πολύ διαφωτιστικό παραλληλισμό που προτείνει ο Κουν μεταξύ της πολιτικής και της επιστημονικής εξέλιξης. Όπως παρατηρεί, τόσο οι πολιτικές όσο και οι επιστημονικές επαναστάσεις ξεσπούν ως απαντήσεις σε αυξανόμενες δυσλειτουργίες του αντίστοιχου συστήματος. Αυτό συμβαίνει κατά τη διάρκεια της κρίσης που προηγείται κάθε επανάστασης. Επιπλέον, όπως σημειώνει, οι επαναστάσεις στην κοινωνία «αποσκοπούν στην αλλαγή των πολιτικών θεσμών κατά τρόπο που αυτοί οι ίδιοι οι θεσμοί απαγορεύουν» (Kuhn 1970, 93). Οι επακόλουθες εντάσεις οδηγούν σε αντίσταση, αδιαλλαξία και σε μερική κατάρρευση των υπαρχόντων κοινωνικών δομών. Το βάθεμα της κρίσης κατ' αρχάς αμβλύνει το ρόλο των υπαρχουσών δομών, αλλά οι συνακόλουθοι διχασμοί οδηγούν τελικά σε ανταγωνιστικές προτάσεις για την «αναδιοργάνωση της κοινωνίας σε ένα νέο θεσμικό πλαίσιο» (στο ίδιο). Εν τέλει, κάποια από τις προτάσεις αναδιοργάνωσης υπερισχύει διά της πειθούς και της ρητορείας. Όπως και στις πολιτικές επαναστάσεις, έτσι και στην επιστημονική επιλογή παραδειγμάτων δεν υπάρχει «υπερ-θεσμικό πλαίσιο για την επιδίκαση των επαναστατικών διαφορών ...» (στο ίδιο). Έτσι, η επιλογή μεταξύ «ανταγωνιστικών παραδειγμάτων σηματοδοτεί μία επιλογή μεταξύ ασύμβατων τρόπων ζωής της κοινότητας» (στο ίδιο, 94), με τον ίδιο τρόπο που επιλέγει κανείς μεταξύ ανταγωνιστικών κοινωνικών πλαισίων.

Εάν εξετάσουμε τον προσανατολισμό της σκέψης του Κουν, θα δούμε ότι ο παραλληλισμός μεταξύ πολιτικής και κοινωνικής αλλαγής, από τη μία μεριά, και επιστημονικής αλλαγής, από την άλλη, δεν είναι καθόλου επιφανειακός. Πράγματι, οι διαισθήσεις του σχετικά με την επαναστατική αλλαγή στην κοινωνία φαίνεται να μορφοποιούν το μοντέλο που έχει στο μυαλό του σχετικά με τις επιστημονικές επαναστάσεις. Σύμφωνα με τον Κουν, δεν υπάρχει επαναστατική κοινωνική αλλαγή η οποία να μην καταστρέφει, με την ίδια την επικράτησή της, το κοινωνικό πλαίσιο που αντικαθιστά. Με τον ίδιο τρόπο, μία επιστημονική επανάσταση, δηλαδή μία αλλαγή παραδείγματος, αντικαθιστά πλήρως το παράδειγμα το οποίο διαδέχεται και είναι ασύμβατη με αυτό. Ο Κουν δεν είναι αναγωγιστής. Δεν ανάγει την επιστημονική αλλαγή στην κοινωνική αλλαγή. Η στρατηγική του έγκειται μάλλον στη μεταβίβαση στοιχείων από το ένα πεδίο στο άλλο, μέσω της μεταφορικής διεύρυνσης των εννοιών. Οι αντιλήψεις του κοινωνικού αναγωγισμού εξετάζονται στα πλαίσια του «ισχυρού προγράμματος» (δες Παραγράφους 4.9, 4.10 και 4.11 αυτού του κεφαλαίου).

Αλλά εάν η άποψη του Κουν σχετικά με την ασυμμετρία, όπως αυτή προκύπτει από την αλλαγή παραδείγματος, είναι τόσο ριζική, τι γίνεται με την προφα-

νή συνέχεια κατά την ανάπτυξη και την αύξηση της επιστημονικής γνώσης, αλλά και με τον προοδευτικό χαρακτήρα αυτής της ανάπτυξης; Ο Κουν (1970) αντιμετωπίζει αυτό το ζήτημα στο άρθρο του «Πρόοδος μέσα από επαναστάσεις» («Progress Through Revolutions») και πολύ πιο αποφασιστικά στο «Υστερόγραφο-1969» («Postscript-1969»). Οι έννοιες-κλειδιά που χρησιμοποιεί για να διερευνήσει την επιστημονική πρόοδο είναι το «επιλυμένο πρόβλημα» και η «δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων». Σύμφωνα με τον Κουν, αυτές συνιστούν από κοινού «τη μονάδα επιστημονικού επιτεύγματος» (1970, 160). Όσον αφορά την κανονική επιστήμη, η θέση του Κουν είναι αρκετά σαφής. Με δεδομένη την εμπιστοσύνη της σε ένα κοινό παράδειγμα, μια επιστημονικη κοινότητα αποτελεί ένα αποτελεσματικό όργανο επίλυσης προβλημάτων ή γρίφων που το ίδιο το παράδειγμα προσδιορίζει (στο ίδιο, 169). Αποτελεί αξίωμα για τον Κουν το ότι η επιτυχής επίλυση προβλημάτων συνιστά πρόοδο. Αλλά η βασική του δυσκολία σε σχέση με την πρόοδο έγκειται στην υποστήριξη του επίμονου ισχυρισμού του ότι η πρόοδος αποτελεί καθολικό παρεπόμενο των επιστημονικών επαναστάσεων.

Εάν ένα αποδεκτό παράδειγμα καθορίζει τόσο τα προβλήματά του όσο και τα κριτήρια για την επίλυσή τους, όπως υποστηρίζει ο Κουν, δεν έπεται ότι η αντικατάστασή του από ένα ασύμμετρο διάδοχο παράδειγμα θα δημιουργήσει ένα καινούριο σύνολο προβλημάτων (και κριτηρίων για την επίλυσή τους), τα οποία είναι προσδιορίσιμα μόνο στα πλαίσια αυτού του διαδόχου παραδείγματος; Πώς μπορούν, λοιπόν, το παλιό και το νέο παράδειγμα να συγκριθούν όσον αφορά την προοδευτικότητά τους; Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να γίνει μόνο με αναφορά σε ένα ή περισσότερα στοιχεία που παραμένουν αμετάβλητα κατά την αλλαγή παραδείγματος, απέναντι στα οποία κάθε παράδειγμα δοκιμάζεται ατομικά. Σύμφωνα με τον Κουν, αυτό το στοιχείο έγκειται στην ικανότητα του νέου παραδείγματος να επιλύει «κάποια εξέχοντα και κοινώς αναγνωρισμένα προβλήματα που δεν μπορούν να αντιμετωπισθούν με άλλο τρόπο» (στο ίδιο). Και προσθέτει, μάλλον αναπάντεχα, ότι το νέο παράδειγμα «οφείλει να υπόσχεται ότι θα διατηρήσει ένα μεγάλο μέρος της συγκεκριμένης ικανότητας προς επίλυση προβλημάτων την οποία το προκάτοχό του είχε επιφέρει στην επιστήμη» (στο ίδιο) καθώς και ότι θα δημιουργήσει επιπλέον λύσεις προβλημάτων.

Αυτό είναι σωστό· οι διάδοχες θεωρίες πράγματι επιλύουν προβλήματα τα οποία δεν μπορούσαν να επιλύσουν οι θεωρίες του προκάτοχου παραδείγματος, και μπορούν επίσης να επιλύσουν και προβλήματα που ήταν ήδη επιλύσιμα. Μιλώντας κυριολεκτικά, ωστόσο, το μοντέλο αλλαγής του Κουν δεν είναι σε θέση να εξηγήσει ικανοποιητικά τέτοιου τύπου γεγονότα. Εάν τα παραδείγματα είναι μεταξύ τους ασύμμετρα, ομοίως ασύμμετρα θα είναι τόσο τα προβλήματα, όσο και τα κριτήρια επίλυσής τους που αυτά προσδιορίζουν. Το τι συνιστά πρόβλημα για ένα παράδειγμα διαφέρει από το τι συνιστά πρόβλημα για ένα άλλο. Πολύ απλά, εξαιτίας της ασυμμετρίας και, κατά συνέπεια, της αδυναμίας επίκλησης ενός ουδέτερου πλαισίου που να υπερβαίνει τα παραδείγματα, δεν υφίσταται

κανένα διαπαραδειγματικό κριτήριο εξατομίκευσης προβλημάτων, τέτοιο ώστε να μας επιτρέπει να πούμε ότι δύο παραδείγματα αντιμετωπίζουν το ίδιο πρόβλημα.

Ο Κουν φαίνεται πως έθεσε τον εαυτό του σε αυτήν την αμήχανη θέση για δύο κυρίως λόγους. Κατά πρώτο λόγο, αποζητά να υποκαταστήσει γνωσιολογικά την παραδοσιακή αντίληψη που θέλει δύο θεωρίες να προσδιορίζουν με διαφορετικό τρόπο τους όρους τους αλλά παρ' όλα αυτά να εξακολουθούν να αναφέρονται στα ίδια συμβάντα, πράγματα ή διαδικασίες. Όπως ισχυρίζεται εμφατικά, δεν έχουμε κανένα λόγο να υποθέσουμε ότι ο όρος (ας πούμε) μάζα, όπως χρησιμοποιείται στο πλαίσιο της νευτώνειας θεωρίας, αναφέρεται στα ίδια «πράγματα» στα οποία αναφέρεται ο ίδιος όρος σε ένα σχετικιστικό πλαίσιο. Τόσο ο τρόπος με τον οποίο μιλάμε, όσο και τα πράγματα *για τα οποία* μιλάμε αλλάζουν τελείως από το ένα πλαίσιο στο άλλο (1970, Κεφάλαιο 9). Είναι άλλο πράγμα να ισχυρισθούμε, από κοινού με τον Κουν, ότι δεν υπάρχει ουδέτερη παρατηρησιακή γλώσσα στην οποία να στηρίζεται ένας αλγόριθμος αξιολόγησης και επιλογής ανταγωνιστικών θεωριών, και άλλο να πούμε ότι δεν υπάρχει τέτοια γλώσσα επειδή οι υποστηρικτές των διαφορετικών παραδειγμάτων «βλέπουν τα πράγματα διαφορετικά» ή «ζουν σε διαφορετικούς κόσμους». Η τάση του Κουν να βλέπει τα πράγματα με όρους οντολογίας τον οδηγεί στο να επαναλαμβάνει ότι «μετά από μία επανάσταση οι επιστήμονες αποκρίνονται σε έναν διαφορετικό κόσμο» (1970, 111), χωρίς να ξεκαθαρίζει επαρκώς εάν αναφέρεται σε εννοιολογικούς κόσμους ή όχι.

Ανεξάρτητα από αυτήν την αμφισημία, ο ίδιος σκεφτόταν (και εξακολουθεί να σκέφτεται) ότι μπορούμε έτσι να εδραιώσουμε κατά τον καλύτερο τρόπο το γεγονός ότι δεν μπορεί να υπάρχει αλγόριθμος για την επιλογή θεωριών. Κατά αρκετά ειρωνικό τρόπο, η προσέγγισή του στη γνωσιακή αξία του επιστημονικού εγχειρήματος δεν εξαρτάταται υποχρεωτικά, όπως και ο ίδιος αναγνωρίζει, από τον ισχυρισμό ότι οι επιστήμονες ζουν σε έναν τελείως διαφορετικό κόσμο μετά από μία αλλαγή παραδείγματος. Για να αντιπαρατεθεί κανείς στη θεωρία περί ουδέτερης παρατηρησιακής γλώσσας που απλώς επιδέχεται διαφορετικές ερμηνείες, κάθε άλλο παρά απαραίτητες είναι –αντιθέτως, είναι παραπλανητικές– τέτοιες οντολογικές ακρότητες. Σε κατοπινές επισκοπήσεις της άποψής του, ο Κουν αναγνωρίζει αυτό το σημείο. Πράγματι, αυτός δεν σταμάτησε να επωφελείται από γλωσσολογικές και πραγματιστικές προσεγγίσεις για να υποστηρίξει την άποψή του που θέλει την επιστήμη να προχωρά αρθρώνοντας όλο και περισσότερους νέους και διαφορετικούς, διεπόμενους από κανόνες, λόγους οι οποίοι στοχοθετούν τα προβλήματά της και καθοδηγούν την επίλυσή τους.

Κατά δεύτερο λόγο, και παρ' όλη την επιμονή του στη σημασία του ιστορικού πλαισίου, ο Κουν ερμήνευσε αρχικά την ασυμμετρία κατά βάσιν τυποκρατικά, αφαιρώντας υπέρ το δέον την επιστημονική δραστηριότητα από το κατάλληλο ιστορικό και κοινωνικό πλαίσιό της. Δεν μπόρεσε, έτσι, να εκτιμήσει πλήρως το κοινό έδαφος που μοιράζονται οι διαφορετικές οπτικές γωνίες, και το οποίο απο-

τελεί προϋπόθεση οποιασδήποτε κρίσης περί ασυμμετρίας. Απεναντίας, ο Κουν προσπάθησε να αμφισβητήσει τα πάντα διά μιας, πράγμα αδύνατο από ιστορική οπτική γωνία. Σύμφωνα με τη σκοπιά της τελευταίας, οι παραδόσεις (π.χ. τα παραδείγματα) αλλάζουν, εξελίσσονται και συχνά διαπραγματεύονται τις εσωτερικές συγκρούσεις τους μέσω αυτοκριτικής και προσαρμογής. Εάν μία παράδοση έρθει σε ασυμφωνία με τον εαυτό της, είτε λόγω ενδογενών συγκρούσεων είτε εξαιτίας του ανταγωνισμού αντίπαλων παραδειγμάτων, είναι σε θέση να ανασυγκροτηθεί κριτικά, μέσω συνεχούς μετασχηματισμού, προς μια καινούρια προοπτική. Από τη σκοπιά αυτής της νέας προοπτικής, η παράδοση μπορεί να κοιτάξει με καινούρια ματιά τα διάφορα στοιχεία της έτσι ώστε να αποκαλύψει την προηγούμενη ακαταλληλότητα μερικών και να επιβεβαιώσει την τρέχουσα ισχύ κάποιων άλλων. Έτσι, σύμφωνα με την αίσθηση της ιστορικότητας που παρέχει η ιστορική αφήγηση των επιστημονικών κρίσεων, καμία επιστημονική παράδοση δεν μετασχηματίζεται προς μια καινούρια προοπτική χωρίς να διατηρεί ορισμένα σημαντικά στοιχεία συνέχειας με τον παλιό της εαυτό. Η νευτώνεια σύνθεση της αστρονομίας, των μαθηματικών και της μηχανικής εκείνης της εποχής υπήρξε ακριβώς αυτό, μια σύνθεση. Αυτό δεν σημαίνει ότι τα *Principia* δεν αποτέλεσαν εντυπωσιακό επίτευγμα. Αυτά καθ' εαυτά υπήρξαν μία επανάσταση που ενείχε τεράστιο επιστημονικό δυναμικό για τον δέκατο όγδοο αιώνα. Αλλά υπήρξαν επίσης και ένα έργο που αναζωογόνησε τις παραδόσεις στις οποίες εντασσόταν, καταδεικνύοντας τα όριά τους όσον αφορά την κατανόηση του κόσμου (π.χ. της περί κινήσεως θεωρίας του Καρτέσιου). Ταυτόχρονα, όμως, δεν ερχόταν σε ρήξη ούτε με το όραμα του Κέπλερ για μία αληθή και δυναμική αστρονομία η οποία να παντρεύει τις αιτίες με τη μαθηματικοποίηση των αποτελεσμάτων τους, ούτε και με το όραμα του Γαλιλαίου για μια γεωμετρία της κίνησης.

Υπάρχει μια σημαντική όψη του έργου του Κουν, η οποία λειτουργεί ως φυσική μετάβαση προς τη φιλοσοφία του Ίμρε Λάκατος. Πρόκειται για την εκ μέρους του απόρριψη της ιδέας ότι η γνώση αυξάνει μόνο στο βαθμό που οι θεωρίες μάς δίνουν καλύτερες αναπαραστάσεις της πραγματικότητας. Κατά τον Κουν, μία επιστημονική θεωρία είναι καλύτερη από τις προκάτοχές της μόνο με την έννοια ότι συνιστά καλύτερο εργαλείο διατύπωσης και επίλυσης γρίφων, και όχι καλύτερη αναπαράσταση του πώς είναι ο κόσμος στην πραγματικότητα. Ο Κουν θεωρεί γνωσιολογικά αμφίβολη την ιδέα μιας αντιστοιχίας μεταξύ της αναπαραστατικής ικανότητας μιας θεωρίας και αυτού που υπάρχει προς αναπαράσταση. Για το λόγο αυτό το έργο του συνηχεί με τις τρέχουσες αντιθεμελιωτικές προσεγγίσεις που χαρακτηρίζουν συνολικά το χώρο της εν γένει φιλοσοφίας, της ρητορικής ανάλυσης, και των ανθρωπιστικών επιστημών. Οι εν λόγω προσεγγίσεις ισχυρίζονται ότι το αληθές, το ορθό και το καλό δικαιολογούνται κατά πραγματιστικό τρόπο, διά της συναινέσεως της ομάδας (όσον αφορά το τι αποδεχόμαστε και το τι απορρίπτουμε) που επιφέρει η κοινωνική πρακτική, και όχι μέσω προνομιακής πρόσβασης σε κάποια εξωγλωσσική πραγματικότητα την οποία αναπαριστούμε διά της σκέψεως.

Αυτό δεν σημαίνει ότι ο Κουν απορρίπτει την ύπαρξη ενός φυσικού κόσμου τον οποίο προσπαθούμε να εξηγήσουμε διά της επιστήμης. Σηματοδοτεί όμως τις δύο βασικές δεσμεύσεις του. Πρώτον, ότι πρέπει να πραγματευόμαστε την επιστημονική εξήγηση με όρους που σχετίζονται με το δυναμικό για την επιτυχή επίλυση προβλημάτων που χαρακτηρίζει μία επιστήμη. Σύμφωνα με αυτήν την άποψη, η επιστημονική εξήγηση δεν έχει να κάνει ούτε με τη θεωρητική ενοποίηση φαινομένων (ή προτύπων επιχειρηματολόγησης) ούτε με την επίκληση ανεξάρτητων από καθε θεωρία οντοτήτων, όπως θα ήθελαν οι ρεαλιστές (δες Κεφάλαια 1 και 2). Δεύτερον, ο Κουν είναι μέχρις ενός σημείου οπαδός του κοινωνικού συγκροτισμού (δες τις απόψεις των Λατούρ και Γούλγκαρ στην Παράγραφο 4.14). Ωστόσο, δεν θέλει να αναγάγει τη «γεγονική» ποιότητα των επιστημονικών θεωριών σε κοινωνική συγκρότηση. Η επιστήμη, κατά τον Κουν, εξακολουθεί να αφορά έναν ανεξάρτητο από τις θεωρίες μας κόσμο. Πράγματι, η επιστήμη οφείλει «να ασχολείται με την επίλυση προβλημάτων σχετικά με τη συμπεριφορά της φύσης» (1970, 168).

4.7 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΔΟΣ

Στο έργο του Λάκατος βρίσκουμε μία ακόμα ισχυρή αντιθεμελιωτική θεματική. Ο ίδιος θεωρεί δεδομένο, όχι μόνο ότι διαθέτουμε γνώση, αλλά και ότι η γνώση μας αναπτύσσεται. Επιπλέον, θεωρεί ότι η ανάπτυξη της γνώσης είναι ένα φαινόμενο για το οποίο δεν χρειάζεται να επιχειρηματολογήσει κανείς. Αυτό που χρειάζεται, αντίθετα, είναι μία πραγμάτευση που να μας διαφωτίζει σχετικά με τη φύση και τον προοδευτικό ή όχι χαρακτήρα της ανάπτυξης της γνώσης. Εκτός αυτού, διατείνεται ότι μπορούμε να θέσουμε τα ερωτήματα που αφορούν την ανάπτυξη της γνώσης διερευνώντας προσεκτικά τα εσωτερικά γνωρίσματα ενός σώματος γνώσεων κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Αυτή η διαχρονική διάσταση αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό της σκέψης του Λάκατος. Έτσι, σύμφωνα με την άποψή του, μπορούμε να μιλάμε για επιστημονική πρόοδο μόνο με όρους ανάπτυξης της γνώσης. Του είναι περιττή η αντίληψη που θέλει τη γνώση να αναπτύσσεται μόνο στην περίπτωση που προσεγγίζουμε ολοένα και πιο κοντά στην αλήθεια, όπως και η ιδέα ότι η γνώση έγκειται στην παραγωγή ολοένα και προνομιακότερων αναπαραστάσεων της πραγματικότητας. Κατά τη γνώμη του, δεν έχουμε κανένα λόγο να πιστεύουμε ότι μόνο η σύγκριση με τη μη εννοιολογημένη πραγματικότητα είναι σε θέση να εγγυηθεί την αλήθεια των αποφάνσεών μας. Η θέση του είναι πιο κοντά στην άποψη του Πηρς (C.S. Pierce), ο οποίος ισχυριζόταν ότι η αλήθεια οφείλει να αντικατασταθεί από τη μέθοδο. Κατά συνέπεια, η αλήθεια δεν είναι παρά ένας τρόπος να αναφερθούμε σε ό,τι είναι τελικά αποδεκτό από μία κοινότητα ερευνητών που επιδιώκουν καθορισμένους στόχους με τη βοήθεια συγκεκριμένων πράξεων και δραστηριοτήτων (Hacking 1981a, 131). Έτσι, αντί να θέτει το ερώτημα της πι-

στότητας με την οποία οι επιστημονικές θεωρίες αναπαριστούν μια εξωγλωσσική πραγματικότητα, ο Λάκατος υποστηρίζει ότι η ανάπτυξη των μεθοδολογικών προγραμμάτων είναι αυτή που αυξάνει την επιστημονική γνώση και επιτρέπει την αποτίμηση της προοδευτικότητάς της.

Σύμφωνα με τον Λάκατος, η αύξηση της γνώσης συνιστά πάντοτε ένα δυναμικό φαινόμενο, ενώ η μονάδα διά της οποίας αναλύεται η φύση και η κατεύθυνση της εν λόγω αύξησης είναι το ερευνητικό πρόγραμμα. Όπως λέει ο ίδιος, στα πλαίσια της «μεθοδολογίας [του], τα μεγάλα επιστημονικά επιτεύγματα είναι τα ερευνητικά προγράμματα που μπορούν να αξιολογηθούν με όρους προοδευτικής ή εκφυλιζόμενης μετατόπισης της προβληματικής [problemshift]· οι επιστημονικές επαναστάσεις συνίστανται στον εκτοπισμό (διά του υπερσκελισμού σε προοδευτικότητα) ενός ερευνητικού προγράμματος από κάποιο άλλο». (στο ίδιο, 115). Σύμφωνα με την οπτική γωνία του Λάκατος, λοιπόν, η γνώση αναπτύσσεται καθώς προοδευτικά προγράμματα θριαμβεύουν επί εκφυλιζόμενων. Ας σημειώσουμε ευθύς αμέσως ένα πολύ σημαντικό σημείο της τοποθέτησής του. Απορρίπτει με έμφαση την άποψη που θέλει την επιστημονική ανακάλυψη και ανάπτυξη να εξασφαλίζονται διά της συγκριτικής αξιολόγησης δύο ανταγωνιστικών *θεωριών*. Με άλλα λόγια, ο Λάκατος αντικαθιστά την έννοια της *θεωρίας* με την έννοια της *σειράς θεωριών*, ως τη βασική έννοια που αφορά τη λογική της ανακάλυψης:

> *Είναι μια διαδοχή θεωριών, και όχι μια δεδομένη θεωρία, που εκτιμάται ως επιστημονική ή ψευδοεπιστημονική.* Αλλά τα μέλη τέτοιων σειρών θεωριών συνδέονται συνήθως με μία αξιοσημείωτη *συνέχεια* που τις ενοποιεί σε *ερευνητικά προγράμματα* (Lakatos and Musgrave 1970, 132· η υπογράμμιση στο πρωτότυπο)

Από ορισμένες όψεις, η έννοια του ερευνητικού προγράμματος του Λάκατος μοιάζει με αυτήν του Κουν για την κανονική επιστήμη. Σύμφωνα και με τις δύο, η επιστήμη βαίνει ακολουθώντας κανόνες, ενώ ο Λάκατος λέει ρητά ότι ένα ερευνητικό πρόγραμμα συνίσταται σε μεθοδολογικούς κανόνες: κάποιοι από αυτούς απαγορεύουν ορισμένα ερευνητικά μονοπάτια (η *αρνητική ευρετική* [negative heuristics]) ενώ κάποιοι άλλοι υποδεικνύουν τα μονοπάτια που πρέπει να ακολουθηθούν (η *θετική ευρετική* [positive heuristics]) (Lakatos and Musgrave 1970, 132-138).

Πώς πρέπει να κατανοήσουμε ένα προοδευτικό ερευνητικό πρόγραμμα σε αντιδιαστολή με ένα εκφυλιζόμενο; Ο Λάκατος ισχυρίζεται ότι μπορεί να διατυπώσει κριτήρια για την προοδευτικότητα ή για τη μη προοδευτικότητα που βρίσκονται στο εσωτερικό ενός προγράμματος, όπως επίσης και κανόνες για την «εξάλειψη» ενός ολόκληρου προγράμματος. Ένα πρόγραμμα χαρακτηρίζεται ως *προοδευτικό* εάν η θεωρητική του ανάπτυξη είναι σε θέση να προκαταλάβει την εμπειρική του ανάπτυξη, δηλαδή εάν συνεχίζει να προβλέπει επιτυχώς νέα γεγο-

νότα (Hacking 1981a, 117). Πράγμα που σημαίνει ότι μια θεωρία παραμένει προοδευτική για όσο καιρό η εσωτερική της ικανότητα να παράγει νέα ενεργό γνώση υπερβαίνει την ήδη πραγματοποιημένη ενεργό γνώση. Αυτό που έχει σημασία για μια θεωρία είναι η ικανότητά της να προλέγει καινούρια γεγονότα, δεδομένου ότι «*το χτίσιμο φωλιών πρέπει να προχωρά γρηγορότερα από την καταγραφή των γεγονότων που πρόκειται να τις κατοικήσουν*» (Lakatos and Musgrave 1970, 188). Ενεργός γνώση σημαίνει εδώ τις πειραματικές και θεωρητικές τεχνικές του προγράμματος που συνεισφέρουν στον δραστικό έλεγχο επί της φύσεως, που αυξάνουν δηλαδή το εμπειρικό περιεχόμενό του. Ένα πρόγραμμα θεωρείται στάσιμο ή μη προοδευτικό εάν η θεωρητική του ανάπτυξη υστερεί σε σχέση με την εμπειρική, δηλαδή «στο βαθμό που δίδει μόνο *post hoc* εξηγήσεις, είτε τυχαίων ανακαλύψεων είτε γεγονότων που έχουν ήδη προβλεφθεί και εξηγηθεί από αντίπαλα ερευνητικά προγράμματα («*εκφυλιζόμενη μετατόπιση προβληματικής*»)» (Hacking 1981a, 117). Το ερευνητικό πρόγραμμα που κατά προοδευτικό τρόπο εξηγεί περισσότερα γεγονότα από το αντίπαλό του (με την έννοια της εξήγησης που μόλις παρατέθηκε), το παραγκωνίζει, ενώ το αντίπαλο παράδειγμα μπορεί να αποχωρήσει από τη διαμάχη και να αποσυρθεί. Ο Λάκατος εφιστά την προσοχή, ωστόσο, στο γεγονός ότι αυτή η διαδικασία αξιολόγησης κάθε άλλο παρά μηχανική είναι. Παραδέχεται ότι είναι δύσκολο να αποφασίσει κανείς πότε ένα πρόγραμμα έχει ανεπανόρθωτα εκφυλισθεί, ή πότε ένα πρόγραμμα έχει επικρατήσει οριστικά επί του αντιπάλου του. Εν πάσει περιπτώσει, δεν είναι απίθανο ένα πρόγραμμα το οποίο χάνει επικίνδυνα έδαφος να επανέλθει στο προσκήνιο και, γενικά, δεν υπάρχει τίποτα το αναπόφευκτο σε μία νίκη ή σε μία ήττα.

Ο μεθοδολογικός «οικουμενισμός» του Λάκατος σηματοδοτεί ένα ακόμα γνώρισμα της τοποθέτησής του. Μέσα στην έννοια του ερευνητικού προγράμματος, ο Λάκατος ενσωματώνει τη σημασία που έχει η μελέτη της ιστορίας κάθε επιμέρους επεισοδίου της ανάπτυξης της γνώσης. Πράγμα που σημαίνει ότι η τωρινή πραγμάτευση μιας αναπτυσσόμενης ερευνητικής παράδοσης οφείλει να συμπεριλαμβάνει και την ιστορία της επιστήμης που αντιστοιχεί στο εν λόγω σώμα αύξουσας γνώσης. Ο καλύτερος τρόπος να κρίνει κανείς εάν ένα σώμα γνώσης συνιστά αυθεντική περίπτωση ανάπτυξης και προόδου είναι να μελετήσει όλα τα σχετικά ιστορικά τεκμήρια. Κατά συνέπεια, για να ελέγξουμε την υπόθεση ότι η γνώση αυξάνει διά του θριάμβου των προοδευτικών προγραμμάτων επί των εκφυλιζόμενων, επιλέγουμε ένα παράδειγμα το οποίο να απεικονίζει (εκ πρώτης όψεως) μια επιστημονική ανακάλυψη. Επιπλέον, πρέπει να είναι ένα παράδειγμα του οποίου η σημασία να είναι καθολικά αναγνωρισμένη στα πλαίσια του σχετικού πεδίου. Η ανασυγκρότηση ενός ερευνητικού προγράμματος, διά της ανάγνωσης των κειμένων που καλύπτουν μια ολόκληρη περίοδο ανάπτυξης του συγκεκριμένου σώματος γνώσεων και της μελέτης των πεπραγμένων των πρωταγωνιστών του, αποσκοπεί στην αποκατάσταση αυτού που ήθελαν να βρουν οι εν λόγω επιστήμονες, και του τρόπου με τον οποίο προσπαθούσαν να το βρουν.

Ας κοιτάξουμε τώρα από λίγο πιο κοντά την έννοια του ερευνητικού προ-

γράμματος και ας αναρωτηθούμε κατά πόσο η προσέγγιση του Λάκατος επί της επιστημονικής αλλαγής και προόδου είναι περισσότερο βιώσιμη από την αντίστοιχη του Κουν. Ο Λάκατος διακρίνει μεταξύ της αρνητικής ευρετικής ή του «σκληρού πυρήνα» [hard core] του προγράμματος, από τη μία μεριά, και της θετικής ευρετικής ή «προστατευτικού κλοιού» [protective belt], από την άλλη. Ο «σκληρός πυρήνας» ενός προγράμματος είναι αυτό για το οποίο οι πρωταγωνιστές του αποφασίζουν ότι δεν επιδέχεται κατάρριψη, με την έννοια ότι καθίσταται μεθοδολογικά προστατευμένο από αντικρούσεις. Πρόκειται για μία συμβατιστική στρατηγική, η οποία όμως δεν διατηρείται πάση θυσία. Εάν το πρόγραμμα σταματήσει να προβλέπει καινούρια γεγονότα, ο σκληρός πυρήνας του είναι δυνατό να εγκαταλειφθεί. Ενόσω όμως το πρόγραμμα, προστατευμένο και οχυρωμένο κατ' αυτόν τον τρόπο, συνεχίζει να προβλέπει νέα φαινόμενα, έχουμε μια προοδευτική θεωρητική μετατόπιση· στο βαθμό δε που αυτά τα φαινόμενα τελικά επαληθεύονται, έχουμε επίσης μια εμπειρική προοδευτική μετατόπιση (Lakatos and Musgrave 1970a, 133-134). Η θετική ευρετική, από την άλλη μεριά, καθορίζει τα προβλήματα ενός προγράμματος, «σκιαγραφεί τη συγκρότηση ενός κλοιού βοηθητικών υποθέσεων, προβλέπει ανωμαλίες τις οποίες μετασχηματίζει νικηφόρα σε παραδείγματα, ακολουθώντας πάντα ένα εκ των προτέρων καθορισμένο σχέδιο» (Hacking 1981a, 116). Εκτός αυτού, η θετική ευρετική όχι μόνο υπαγορεύει τις επιλογές προβλημάτων του προγράμματος, αλλά είναι υπεύθυνη και για τον υψηλό βαθμό αυτονομίας που απολαμβάνει η θεωρητική γνώση. Ένα συγκεκριμένο παράδειγμα αυτών των διακρίσεων αποτελεί η νευτώνεια θεωρία της βαρύτητας. Ο πυρήνας που δεν επιδέχεται κατάρριψη αποτελείται από τους τρεις νευτώνειους νόμους της δυναμικής και το νόμο της βαρύτητας. Οι ανωμαλίες προκαλούν αλλαγές μόνο στον «προστατευτικό» κλοιό των βοηθητικών «παρατηρησιακών» υποθέσεων και των αρχικών συνθηκών. Ο «προστατευτικός» κλοιός είναι, κατ' αυτόν τον τρόπο, πολύ πιο ευέλικτος και προσαρμοστικός από τον «σκληρό πυρήνα» του προγράμματος, και πολύ πιο εύκολα είναι σε θέση να μετασχηματίσει γεγονότα που αντιβαίνουν στο πρόγραμμα σε ενισχυτικά γεγονότα, διά της συστηματικής επινοήσεως βοηθητικών υποθέσεων και υποδειγμάτων (Lakatos and Musgrave 1970, 135).

Ο Λάκατος, όπως και ο Κουν, σαφώς απορρίπτει την ιδέα κατά την οποία η πρόοδος μπορεί να αποτιμηθεί με όρους παραγκωνισμού μίας θεωρίας από μία άλλη εξαιτίας του γεγονότος ότι η πρώτη εξηγεί ένα πείραμα που διαψεύδει τη δεύτερη. Ο Λάκατος χαρακτηρίζει αυτήν την αντίληψη ως «απλοϊκή διαψευσιοκρατία» [naive falsificationism] και προτείνει μια περισσότερο εκλεπτυσμένη προσέγγιση (στο ίδιο, 93-95). Πρώτον, η πρόοδος δεν συνιστά μία γραμμική διαδικασία στην οποία ενέχονται μόνο δύο ανταγωνιστικές θεωρίες, αλλά μία σύνθετη διαδικασία που προϋποθέτει την ταυτόχρονη ανάπτυξη πολλών διαφορετικών θεωριών. Δεύτερον, ένα γεγονός που αντιβαίνει σε μία θεωρία μπορεί να θεωρηθεί διάψευσή της μόνον *αφού* θα έχει εξηγηθεί ικανοποιητικά από μία άλλη θεωρία. Και τέλος, η διάψευση απαιτεί μία σειρά μεθοδολογικών αποφάσε-

ων: για παράδειγμα, ως προς το πώς επιλέγουμε μία μεταξύ πολλών δυνατών ερμηνειών μιας πειραματικής κατάστασης, ως προς το εάν το παράδειγμα διαψεύδει την ίδια τη θεωρία ή μόνο κάποια βοηθητική υπόθεση του «προστατευτικού κλοιού» της, ως προς το εάν και πότε η ίδια η θεωρία καταρρέει και πρέπει να εγκαταλειφθεί.

Ο Λάκατος προσδιορίζει σαφώς τη σχέση μεταξύ θεωριών με όρους προόδου, ενώ ο Κουν πρώτα συγκρίνει τις θεωρίες και μετά προσπαθεί να προσδιορίσει την πρόοδο. Σύμφωνα με την αντίληψη του Λάκατος, ένα ερευνητικό πρόγραμμα είναι εσωτερικά προοδευτικό μόνο στην περίπτωση που η προβλεπτική του ικανότητα ξεπερνά το εδραιωμένο εμπειρικό περιεχόμενό του. Ένα ερευνητικό πρόγραμμα είναι προοδευτικό σε σχέση με άλλα προγράμματα, εάν παρέχει ένα πλεόνασμα τεκμηριωμένης πληροφορίας σε σχέση με ό,τι αυτά απαγορεύουν. Ο Λάκατος είναι σε θέση, λοιπόν, να αποφύγει τα αδιέξοδα της ασυμμετρίας και, ταυτόχρονα, να επιχειρήσει μία κατά μέτωπο προσέγγιση της προόδου και της αλλαγής στην επιστήμη.

Το ότι η βασική μονάδα αξιολόγησης δεν είναι η μεμονωμένη θεωρία, ή μία σύζευξη θεωριών, αλλά το «ερευνητικό πρόγραμμα», σημαίνει μήπως ότι η μεθοδολογία του Λάκατος είναι αναδρομική; Η απάντηση είναι ναι. Σε τελευταία ανάλυση, η αιχμή της τοποθέτησής του έγκειται στον εντοπισμό πραγματικών περιστατικών προόδου και στη διάκρισή τους από ψευδεπίγραφα. Μόνο εκ των υστέρων μπορούμε να είμαστε βέβαιοι ότι ένα πρόγραμμα υπήρξε μακροπρόθεσμα προοδευτικό, ενώ αυτή η αξιολόγηση δεν μας δίνει κανένα δικαίωμα να ισχυρισθούμε ότι θα συνεχίσει έτσι. Μόνο αναδρομικά μπορούμε να πούμε τι είναι προοδευτικό και τι εκφυλιζόμενο, δεδομένου ότι ανά πάσα στιγμή ένα επιτυχώς προοδεύον πρόγραμμα μπορεί να μετατραπεί σε εκφυλιζόμενο και αντιστρόφως. Πράγμα που σημαίνει ότι η φιλοσοφία του Λάκατος δεν μας παρέχει τα μέσα για μια συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ ανταγωνιστικών επιστημονικών θεωριών με προοπτική το μέλλον. (Hacking 1981a, 133-134). Στην καλύτερη περίπτωση, η επόπτευση των ερευνητικών προγραμμάτων μάς συμβουλεύει να είμαστε μεθοδολογικώς επιεικείς. Πρέπει να είμαστε σεμνοί όσον αφορά τα σχέδιά μας, γιατί μπορεί τελικά να θριαμβεύσουν τα αντίπαλα προγράμματα. Επιπλέον, πρέπει να είμαστε υπομονετικοί όταν ένα πρόγραμμα δεν πηγαίνει καλά, μιας και η ιστορία της επιστήμης μάς διδάσκει ότι χρειάζονται συχνά παρατεταμένες περίοδοι πριν ένα πρόγραμμα εκτοπίσει ένα άλλο. Η επιστήμη πρέπει να κρίνεται, λοιπόν, ως μία ιστορική ανάπτυξη, ως ένα επίτευγμα που επιτελείται με το χρόνο, και όχι ως προς ό,τι συμβαίνει στιγμιαία. Ο Λάκατος συνδυάζει με σαφήνεια την ιστορία και τη μεθοδολογία σε ένα και μοναδικό εγχείρημα, και η εμμονή του στη δημιουργική διαπλοκή της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης δικαίως επηρέασε τη μεταγενέστερη σκέψη. Ωστόσο, η ταυτόχρονη εμμονή του στη συγχρονική «ανασυγκρότηση» της ιστορίας σύμφωνα με προ-επιλεγμένους ορθολογικούς κανόνες έχει, εξίσου δικαίως, απορριφθεί από τους ιστορικούς.

4.8 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΔΟΣ

Η τοποθέτηση του Λαουντάν συνδυάζει την αντίληψη του Κουν περί επίλυσης γρίφων με την έννοια των ερευνητικών προγραμμάτων του Λάκατος, τα οποία ο Λαουντάν ονομάζει ερευνητικές παραδόσεις [research traditions]. Για τον Λαουντάν, κάθε φιλοσοφία της επιστήμης οφείλει να πραγματευθεί ορισμένα σταθερά χαρακτηριστικά της επιστημονικής αλλαγής (Hacking 1981b, 144-145):

1. Η μετάβαση από τη μία θεωρία στην άλλη δεν είναι σωρευτική. Πράγμα που σημαίνει ότι το λογικό και εμπειρικό περιεχόμενο (ακόμα και οι επικυρωμένες συνεπαγωγές της προγενέστερης θεωρίας) δεν διατηρούνται εξ ολοκλήρου όταν μία θεωρία αντικαθίσταται από μία νεότερη.
2. Γενικά, οι θεωρίες δεν απορρίπτονται επειδή απλώς συναντούν ανωμαλίες, ούτε και γίνονται αποδεκτές επειδή επικυρώνονται εμπειρικά.
3. Οι διαμάχες σχετικά με τις επιστημονικές θεωρίες συχνά αφορούν εννοιολογικά ζητήματα και όχι ερωτήματα εμπειρικής στήριξης.
4. Οι αρχές και τα κριτήρια αξιολόγησης των επιστημονικών θεωριών δεν είναι παγιωμένα, και κατά την ιστορική διαδρομή της επιστήμης έχουν γνωρίσει σημαντικές αλλαγές.
5. Οι επιστήμονες αντιμετωπίζουν τις θεωρίες με ποικίλες γνωσιακές στάσεις, και όχι μόνο διά της αποδοχής ή της απόρριψής τους.
6. Η επιστημονική πρόοδος δεν μπορεί να θεωρηθεί εύλογα ως ανέλιξη ή προσέγγιση προς την αλήθεια.

Κάθε ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά έχει αμφισβητηθεί. Σήμερα, όμως, τα πιο πολλά από αυτά είναι αποδεκτά από την πλειονότητα των φιλοσόφων της επιστήμης, στη μία ή την άλλη μορφή. Αυτό που έχει σημασία για το σκοπό μας είναι ότι αντιπροσωπεύουν για τον Λαουντάν τη λυδία λίθο ως προς την επάρκεια κάθε θεωρίας με αντικείμενο την επιστημονική αλλαγή. Θεωρεί δε ότι η δική του προσέγγιση επί της επιστημονικής αλλαγής συγκαταλέγεται μεταξύ αυτών που εξηγούν επαρκώς αυτά τα χαρακτηριστικά.

Ο Λαουντάν ενδιαφέρεται, μεταξύ άλλων, να διατυπώσει το στόχο της επιστήμης έτσι ώστε να μην υπεισέρχονται όροι όπως «αλήθεια» ή «αποδεικτική βεβαιότητα». Σύμφωνα με τον Λαουντάν, ο ισχυρισμός ότι προοδεύουμε προς την κατεύθυνση της αλήθειας είναι κενός. Δεν έχουμε τη δυνατότητα να τεκμηριώσουμε το ότι οι τωρινές θεωρίες μας είναι πιο κοντά στην αλήθεια ή στηρίζονται σε πιο στέρεο έδαφος από τις προκάτοχές τους. Αλλά αν είναι κενή η αντίληψη που θέλει μία θεωρία καλύτερη από μία άλλη μόνο στο βαθμό που είναι περισσότερο αληθής ή που αναπαριστά επαρκέστερα την πραγματικότητα, ποιο μπορεί να είναι το εναλλακτικό κριτήριο προοδευτικότητας στην επιστήμη; Ο Λαουντάν ισχυρίζεται ότι οι γνωσιακοί στόχοι της επιστήμης μπορούν να

προσδιορισθούν με πολλούς τρόπους. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η επιστήμη αποσκοπεί σε καλύτερα ελεγμένες θεωρίες, σε θεωρίες που μπορούν να προβλέψουν νέα γεγονότα ή σε θεωρίες που επιδέχονται μεγαλύτερη δυνατή πρακτική εφαρμογή, και ούτω καθ' εξής. Το δικό του κριτήριο είναι η αποτελεσματικότητα στην επίλυση προβλημάτων. Με άλλα λόγια, σύμφωνα με την άποψη του Λαουντάν, «*η επιστήμη προοδεύει μόνο στην περίπτωση που οι διάδοχες θεωρίες επιλύουν περισσότερα προβλήματα από τις προκάτοχές τους*» (Laudan 1981, 145).

Σύμφωνα με την άποψη του Λαουντάν, αυτή η αντίληψη θέτει στην επιστήμη έναν γνωσιακά προσιτό στόχο, ενώ είναι σε θέση να συλλάβει τη φύση της επιστημονικής ανάπτυξης. Η επίλυση προβλημάτων διακρίνεται, κατά τον Λαουντάν, σε δύο κατηγορίες δραστηριοτήτων: επίλυση εμπειρικών προβλημάτων, από τη μία μεριά, και εξάλειψη εννοιολογικών προβλημάτων από την άλλη. Στο εμπειρικό επίπεδο, διακρίνει μεταξύ δυνάμει προβλημάτων, επιλυμένων προβλημάτων και ανώμαλων προβλημάτων. Ένα δυνάμει πρόβλημα είναι κάτι που θεωρούμε ότι συμβαίνει στον φυσικό κόσμο, χωρίς όμως προς το παρόν να μπορούμε να το εξηγήσουμε. Τα επιλυμένα προβλήματα συνιστούν εκφάνσεις εν ενεργεία γνώσης που έχουν επιτευχθεί από μία ή περισσότερες θεωρίες. Ανώμαλα προβλήματα μίας θεωρίας είναι αυτά που ενώ η ίδια δεν έχει επιλύσει, ή δεν μπορεί να επιλύσει, μία ανταγωνιστική της θεωρία μπορεί. Έτσι, ένα μη επιλυμένο ή εν δυνάμει πρόβλημα δεν συνιστά ποτέ, *ως τέτοιο*, ένα ανώμαλο πρόβλημα. Καθίσταται ανώμαλο για τη θεωρία που δεν μπορεί να το επιλύσει, εάν και μόνο εάν το επιλύει μία αντίπαλη θεωρία (στο ίδιο, 146).

Ο Λαουντάν ξεχωρίζει τα εννοιολογικά προβλήματα ως ιδιαίτερα σημαντικά. Μια θεωρία μπορεί να συναντά εννοιολογικές δυσκολίες εάν είναι εσωτερικά ασυνεπής, εάν διατυπώνει ισχυρισμούς που αντιβαίνουν βαθιές, ενδοθεωρητικές παραδοχές, όπως η διατήρηση της ενέργειας, ή εάν παραβιάζει τα αξιώματα γενικότερων θεωριών στις οποίες υπόκειται λογικά.

Κατά τον Λαουντάν, το μοντέλο επίλυσης προβλημάτων με το οποίο ο ίδιος προσεγγίζει την επιστημονική εξέλιξη αναγνωρίζει ρητά τις απαιτήσεις τις οποίες επιβάλλουν σε μία θεωρία τόσο τα εννοιολογικά όσο και τα εμπειρικά προβλήματά της. Οι εννοιολογικές δυσκολίες πρέπει να εξαλείφονται ενώ, ταυτόχρονα, η θεωρία οφείλει να επιλύει τον μεγαλύτερο δυνατό αριθμό εμπειρικών προβλημάτων δημιουργώντας τις λιγότερες δυνατές ανωμαλίες. Πράγματι, σύμφωνα με τον Λαουντάν, η εξάλειψη των εννοιολογικών δυσκολιών είναι εξίσου σημαντική για την επιστημονική πρόοδο με την επαύξηση της εμπειρικής στήριξης. Φτάνει μάλιστα στο σημείο να αναγνωρίσει ότι μπορεί να συμβεί μία μετατόπιση από μία καλύτερα στηριζόμενη θεωρία σε μία λιγότερο καλά στηριζόμενη, εάν η τελευταία ενέχει λιγότερες εννοιολογικές δυσκολίες.

Αλλά τι θεωρείται επίλυση ενός προβλήματος; Ο Λαουντάν ισχυρίζεται ότι «μια θεωρία επιλύει ένα *εμπειρικό* πρόβλημα όταν αυτή επιφέρει, μαζί με τις κατάλληλες κατά προσέγγιση αρχικές και οριακές συνθήκες, τη διατύπωση του προβλήματος. Μια θεωρία επιλύει ή εξαλείφει ένα *εννοιολογικό* πρόβλημα όταν

δεν παρουσιάζει μία εννοιολογική δυσκολία της προκατόχου της» (Laudan 1981, 148). Σύμφωνα με αυτήν την αντίληψη περί επιλυτικής ικανότητας, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι πολλές θεωρίες επιλύουν το ίδιο πρόβλημα (είτε εμπειρικό, είτε εννοιολογικό), και ότι η αξία μιας θεωρίας κρίνεται εν πολλοίς από την ποσότητα των προβλημάτων που επιλύει. Αυτό επιτρέπει στον Λαουντάν να αξιολογήσει μια θεωρία ανεξάρτητα από την επιβεβαιωμένη της επάρκεια, ή από το πόσο καλά εδραιωμένη είναι, αν μπορούμε να την πιστώσουμε με την επίλυση ενός εξέχοντος προβλήματος. Του επιτρέπει επίσης να διαρρήξει το δεσμό μεταξύ σωρευτικής διατήρησης και προόδου όσον αφορά την αξιολόγηση των θεωριών. Σύμφωνα με πολλές προ-κουνιανές προσεγγίσεις της προόδου, οι προγενέστερες θεωρίες όφειλαν να εμπεριέχονται στις κατοπινές. Κάποιες άλλες απαιτούσαν το εμπειρικό περιεχόμενο ή οι επικυρωμένες συνεπαγωγές των παλαιότερων θεωριών να συνιστούν υποσύνολο του περιεχομένου ή των συνεπαγωγών της νεότερης. Αυτό ισοδυναμούσε με τον ισχυρισμό ότι η καινούρια θεωρία μπορεί να κάνει όλα όσα έκανε η παλιότερη, και ακόμα περισσότερα. Σύμφωνα με το μοντέλο του Λαουντάν, είναι δυνατό να εκτιμήσουμε την προοδευτικότητα μιας θεωρίας στη βάση της αποτελεσματικότητάς της όσον αφορά την επίλυση προβλημάτων, χωρίς να λάβουμε υπ' όψιν μας το ζήτημα της σωρευτικής διατήρησης.

Πώς όμως καθορίζεται η ικανότητα επίλυσης προβλημάτων; Σ' αυτό το σημείο ο Λαουντάν αναγνωρίζει ορισμένες δυσκολίες. Ισχυρίζεται, και δικαίως, ότι το μοντέλο του συνιστά μόνο το γενικό περίγραμμα μιας προσέγγισης. Μας προτρέπει να εκτιμούμε μια θεωρία υπολογίζοντας τον αριθμό και τη βαρύτητα των εμπειρικών προβλημάτων που αναγνωρισμένα επιλύει, τον αριθμό και τη βαρύτητα των εμπειρικών ανωμαλιών της καθώς και των εννοιολογικών προβλημάτων της. Υπό το φως αυτής της προοπτικής, πρέπει να προτιμηθεί η θεωρία που προσεγγίζει το ιδεώδες, δηλαδή επιλύει τον μεγαλύτερο αριθμό σημαντικών εμπειρικών προβλημάτων δημιουργώντας τον μικρότερο αριθμό σημαντικών ανωμαλιών και εννοιολογικών προβλημάτων (στο ίδιο, 149).

Τα τεχνικά προβλήματα που προβάλλουν εδώ είναι τεράστια. Το όλο υπόδειγμα είναι σε υψηλό βαθμό ποιοτικό, και ωστόσο υπόσχεται ποσοτικές παραμέτρους αξιολόγησης. Το πώς θα μπορούσε να καθορισθεί μία συγκριτική αξιολογική κλίμακα αυτού του τύπου μένει αξεκαθάριστο. Εκτός αυτού, με ποιο τρόπο εξατομικεύονται και απαριθμούνται τα προβλήματα; Ο Λαουντάν παραδέχεται πρόθυμα αυτές τις δυσκολίες και παρατηρεί, προς μετριασμό τους, ότι και οι θεωρίες που προκρίνουν την εμπειρική στήριξη συναντούν επίσης δυσκολίες όσον αφορά την ταυτοποίηση και την εξατομίκευση των επικυρωτικών ή μη επικυρωτικών περιπτώσεων.

Σύμφωνα με την άποψη του Λαουντάν, η επιστήμη είναι μια δραστηριότητα διεπόμενη από κανόνες και καθοδηγούμενη από θεμελιώδεις δεσμεύσεις και κανονικότητες που διαρκούν για μεγάλες χρονικές περιόδους. Σε τελευταία ανάλυση, η θεώρηση της επιστημονικής αλλαγής πρέπει να κριθεί στη βάση αυτών

των θεμελιωδέστερων δεσμεύσεων. Ο Λαουντάν ονομάζει «ερευνητικές παραδόσεις» τις πεποιθήσεις που συγκροτούν αυτές τις θεμελιώδεις προοπτικές. Τα συγκροτητικά στοιχεία που αυτός υπογραμμίζει διαφοροποιούν αυτήν την έννοια από την αντίστοιχη του Λάκατος περί «ερευνητικών προγραμμάτων». Σύμφωνα με τον Λαουντάν, μία «ερευνητική παράδοση» διαθέτει δύο βασικά χαρακτηριστικά: αποτελείται (1) από ένα σύνολο πεποιθήσεων σχετικά με το είδος των οντοτήτων και των διαδικασιών που συνιστούν το ερευνητικό πεδίο, και (2) από ένα σύνολο από γνώμονες έρευνας που αφορούν τον τρόπο διερεύνησης του πεδίου, ελέγχου των θεωριών, συλλογής δεδομένων, κ.λπ. Μία «ερευνητική παράδοση», λοιπόν, συνενώνει μία οικογένεια θεωριών που καθοδηγούνται από τους ίδιους κανόνες και μοιράζονται την ίδια οντολογία (στο ίδιο, 150-152). Ένα παράδειγμα είναι η νευτώνεια ερευνητική παράδοση, η οποία εξελίχθηκε διεπόμενη από τους γνώμονες που συνιστούσαν οι νόμοι του Νεύτωνα για τη δυναμική και η αρχή της παγκόσμιας έλξης, καθώς και από την οντολογική πεποίθηση ότι όλες οι αλληλεπιδράσεις που παρατηρούνται στα διάφορα φαινόμενα (χημικά, μαγνητικά, βιολογικά κ.ό.κ.) προκύπτουν αναγκαστικά από κεντρικές δυνάμεις. Η παράδοση αυτή επιτέλεσε σημαντικό έργο, παρόλο που πολλές από τις θεωρίες που καθοδηγήθηκαν από τους συναφείς ερευνητικούς της γνώμονες έχουν τελικά εγκαταλειφθεί. Πράγμα που καθιστά σαφές ότι οι ερευνητικές παραδόσεις δεν είναι άμεσα ελέγξιμες, με τον τρόπο που είναι οι θεωρίες. Από κοινού με τον Λάκατος, ο Λαουντάν επιμένει ότι οι «ερευνητικές παραδόσεις» πρέπει να διερευνώνται με τη βοήθεια της ιστορικής έρευνας. Για άλλη μια φορά, σύμφωνα με τη γνώμη του Λαουντάν, όπως και μ' αυτήν του Λάκατος, η φιλοσοφία της επιστήμης είναι τυφλή χωρίς την ιστορία της επιστήμης. Είναι προφανές ότι οι αλλαγές των επιστημονικών θεωριών, και ο θρίαμβος ορισμένων θεωριών επί των αντιπάλων τους, δεν μπορούν να γίνουν αντικείμενα αφηρημένης έρευνας, χωρίς να ληφθεί υπ' όψιν το κοινωνικό και ιστορικό πλαίσιο στο οποίο έλαβαν χώρα και το οποίο καθόρισε την ειδική τους σημασία. Πράγματι, στο πρόσφατο έργο του ο Λαουντάν ασχολείται με τον έλεγχο διάφορων αφηρημένων μοντέλων επιστημονικής αλλαγής που ποικίλλουν από εμπειρική και ιστορική άποψη. Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει αυστηρά ελεγμένη θεωρία επιστημονικής αλλαγής. Το θέμα, ωστόσο, αξίζει περαιτέρω διερεύνηση. Και έχει πράγματι διερευνηθεί πρόσφατα από τον Νταίηβιντ Χαλ (David Hull, 1988), ο οποίος προτείνει μία ισορροπημένη προσέγγιση των κοινωνικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ ορθολογικότητας, επιχειρημάτων, εμπειρικών τεκμηρίων, ισχύος, κύρους και επιρροής κατά την ανάπτυξη ορισμένων από τις επιστήμες της ζωής.

4.9 ΑΝΑΡΧΙΣΜΟΣ ΚΑΙ «ΟΛΑ ΕΠΙΤΡΕΠΟΝΤΑΙ»

Όλοι οι θεωρητικοί της «σφαιρικής προσέγγισης» που εξετάσαμε μέχρι στιγμής υπήρξαν αντιθεμελιωτιστές σε ό,τι είχε να κάνει με τη γνωσιακή ανέλιξη της

επιστήμης· όλοι τους υποστηρίζουν ότι η συγκριτική αξιολόγηση θεωριών δεν είναι ζήτημα μιας, ανεξάρτητης από κάθε πλαίσιο, λογικής αποτίμησης των θεωριών κατά μόνας, αλλά ενέχει μακροπρόθεσμες θεωρήσεις και μπορεί να εδραιωθεί μόνο ιστορικά και διαχρονικά· και ο καθένας υποστηρίζει επίσης ότι η επιστήμη είναι μια δραστηριότητα που διέπεται από κανόνες.

Ο Φαγεράμπεντ ασκεί έντονη κριτική σ' αυτές τις δεσμεύσεις. Η τοποθέτησή του θα μπορούσε να χαρακτηρισθεί ριζοσπαστική, δεδομένου ότι απορρίπτει ρητά τον ισχυρισμό ότι η επιστήμη αποτελεί ορθολογικό εγχείρημα. Κατά τη γνώμη του Φαγεράμπεντ, η επιτυχής επιστημονική πρακτική ποτέ δεν διεκπεραιώνεται διεπόμενη από κάποια ορθολογική μέθοδο. Ως εκ τούτου, αντιμετωπίζει όλες τις απόπειρες προσδιορισμού της μεθόδου της επιστήμης ως παραπλανητικές. Για τον Φαγεράμπεντ, η επιτυχία στα πλαίσια του επιστημονικού εγχειρήματος διασφαλίζεται με την πειθώ, τη ρητορική, την προπαγάνδα ή την πρακτική, όχι όμως με ορθολογικά επιχειρήματα (Feyerabend 1978, Κεφάλαια 3, 4). Αυτό στο οποίο οφείλει να στρέψει την προσοχή της κάθε εξήγηση της επιστημονικής προόδου είναι μάλλον η δημιουργικότητα όσων ενστερνίζονται μία θεωρία ή ασκούν την επιστήμη, και όχι οι μεθόδοι και η αυθεντία της ίδιας της επιστήμης. Κατά τον Φαγεράμπεντ, η μόνη αρχή που «δεν αναστέλλει την πρόοδο είναι: όλα επιτρέπονται» (στο ίδιο, 23). Συνηγορεί, λοιπόν, υπέρ του αναρχισμού στην επιστήμη, και του πλουραλισμού αντικρουόμενων και αντιμαχόμενων θεωριών.

Ας γίνουμε σαφείς όσον αφορά την τοποθέτηση του Φαγεράμπεντ. Διατυπώνει δύο κυρίως ισχυρισμούς: (1) Η αντίληψη που θέλει την επιστημονική πρόοδο να επιτυγχάνεται μέσα από τους περιορισμούς που επιβάλλει ένα παράδειγμα, ένα ερευνητικό πρόγραμμα ή μία ερευνητική παράδοση αποτελεί ψευδαίσθηση· πρόκειται για τεχνητές κατασκευές, που δεν επιβεβαιώνονται από τη φύση της επιστημονικής αλλαγής. (2) Ψευδαίσθηση αποτελεί και η αντίληψη σύμφωνα με την οποία η επιστήμη είναι μία δραστηριότητα επίλυσης προβλημάτων που διέπεται από ρητούς κανόνες και γνώμονες. Αυτές οι παρατηρήσεις διαθέτουν αρκετή ισχύ. Ειδικότερα, μπορούμε όντως να ρωτήσουμε κατά πόσο η θεώρηση της επιστήμης ως διαδικασίας που επιλύει προβλήματα μπορεί να αντιμετωπίσει επαρκώς την εξηγητική της ισχύ. Πράγματι, εάν υπάρχουν κανόνες και γνώμονες της επιστημονικής πρακτικής που καθοδηγούν τις δραστηριότητες επίλυσης προβλημάτων, τι είναι αυτό που δημιουργεί την εξηγητική ικανοποίηση που αισθανόμαστε όταν επιλύουμε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα; Κάτι πρέπει να σημαίνει η δυνατότητα επίλυσης ενός προβλήματος όσον αφορά την εξηγητική ισχύ της επιστήμης, κάτι που διαφεύγει από τους κοινούς τόπους περί επίλυσης προβλημάτων.

Πώς κατέληξε ο Φαγεράμπεντ σ' αυτήν του την τοποθέτηση; Και πώς μπορεί να εξηγήσει την επιστημονική πρόοδο χωρίς τους μηχανισμούς που αρνείται; Η βάση της τοποθέτησής του βρίσκεται στο κλασικό του άρθρο «Προβλήματα εμπειρισμού, I και II» («Problems of Empiricism, I and II») (1965, 1970). Οι από-

ψεις που εξέφρασε στο βιβλίο του *Ενάντια στη μέθοδο (Against Method*, 1978) συνιστούν στην πραγματικότητα ιδεολογική και ρητορική επεξεργασία των απόψεων που διατυπώνονται σ' αυτά τα προγενέστερα άρθρα. Η πολεμική του Φαγεράμπεντ επικεντρώνεται σ' αυτό που ο ίδιος αποκαλεί *ριζικό εμπειρισμό*, (1965, 154-163). Πρόκειται για την αντίληψη που ισχυρίζεται ότι κάθε φορά μπορούμε να χρησιμοποιούμε ένα μόνο σύνολο αμοιβαίως συνεπών θεωριών και ότι, κατά συνέπεια, η ταυτόχρονη χρήση αμοιβαίως ασυνεπών θεωριών απαγορεύεται. Ο Φαγεράμπεντ υπεραμύνεται ενός *θεωρητικού πλουραλισμού*, επιτιθέμενος σε δύο ρητά δόγματα του ριζικού εμπειρισμού: τον ισχυρισμό (1) ότι πρέπει να υπάρχει *συνέπεια* μεταξύ προκατόχων και διαδόχων θεωριών –δηλαδή ότι οι νέες θεωρίες πρέπει ή να εμπεριέχουν ή να είναι συνεπείς με τα αποτελέσματα και το περιεχόμενο των θεωριών που αντικαθιστούν (μ' άλλα λόγια, αυτό που ο Λαουντάν αποκαλεί σωρευτική διατήρηση)· και (2) ότι υφίσταται *σταθερότητα νοήματος* κατά την αλλαγή θεωριών – επιτίθεται, δηλαδή, στην άποψη που ισχυρίζεται ότι το νόημα των επιστημονικών όρων πρέπει να παραμένει σταθερό στη διάρκεια της επιστημονικής εξέλιξης. Σύμφωνα με τον Φαγεράμπεντ, και οι δύο αυτές συνθήκες είναι περιοριστικές. Ενθαρρύνουν τον θεωρητικό *μονισμό* και αποθαρρύνουν τον θεωρητικό *πλουραλισμό* (Feyerabend 1965, 163-168). Μόνο εάν μία θεωρία μπορεί να ιδωθεί μέσα από την προοπτική αντιμαχόμενων εναλλακτικών θεωριών υφίσταται κάποια βάση για την κριτική αξιολόγησή της. Οι απαιτήσεις συνέπειας και σταθερότητας αποθαρρύνουν μια τέτοια κατάσταση, και ενθαρρύνουν την προσχώρηση σε μία μόνο θεωρία ή σύνολο θεωριών για πολύ μεγαλύτερο διάστημα από όσο χρειάζεται.

Ο Φαγεράμπεντ αποπειράται να δείξει ότι οι απαιτήσεις συνέπειας και σταθερότητας δεν βρίσκουν ερείσματα στην πραγματική ανάπτυξη της επιστήμης. Υποστηρίζει ότι, κυριολεκτικά μιλώντας, η νευτώνεια θεωρία δεν είναι συμβατή προς το νόμο του Κέπλερ για την αλληλεπίδραση n-σωμάτων· ότι η στατιστική δυναμική είναι ασυμβίβαστη προς τον δεύτερο νόμο της φαινομενολογικής θερμοδυναμικής· ότι η κυματική οπτική είναι ασυμβίβαστη προς τη γεωμετρική οπτική (στο ίδιο, 168-177). Ο Φαγεράμπεντ εννοεί εδώ *λογική ασυνέπεια*. Από την παρατηρησιακή σκοπιά, οι διαφορές μεταξύ αυτών των προοπτικών μπορεί να είναι αρκετά μικρές ώστε να περνούν απαρατήρητες. Στο σημείο αυτό, η άποψη του Φαγεράμπεντ παρουσιάζει συγγένειες με την ασυμμετρία του Κουν και την απόρριψη εκ μέρους του Λαουντάν της σωρευτικής διατήρησης. Ο Φαγεράμπεντ δεν δέχεται, βέβαια, τη θεωρητική υποστήριξη αυτών των αντιλήψεων εκ μέρους των τελευταίων.

Η απόρριψη από τον Φαγεράμπεντ της σταθερότητας νοήματος συνιστά ένα ακόμα πιο σημαντικό στοιχείο της τοποθέτησής του. Ισχυρίζεται ότι τόσο οι θεωρητικοί *όσο και* οι παρατηρησιακοί όροι αλλάζουν νόημα στο πλαίσιο μιας αλλαγής θεωριών. Οι όροι δεν έχουν τη σημασία τους απομονωμένοι ο ένας από τον άλλο, αλλά πάντοτε ενταγμένοι σε ένα θεωρητικό σύστημα. Δεν εισάγουμε, λοιπόν, πρώτα τους παρατηρησιακούς όρους που αποδίδουν τα φαινόμενα τα

οποία μια θεωρία οφείλει να εξηγήσει, έτσι ώστε στη συνέχεια να θέσουμε σε λειτουργία τους θεωρητικούς όρους που υποτίθεται ότι εξηγούν αυτούς τους παρατηρησιακούς όρους (δες Κεφάλαιο 3, Παράγραφος 3.7). Όλα ισχύουν ή καταρρέουν μαζί. Εάν δύο θεωρητικά πλαίσια βασικών αρχών είναι αντιφατικά, ή έχουν αμοιβαίως ασυνεπείς συνεπαγωγές σε ορισμένα πεδία, είναι εύλογο να υποθέσουμε ότι ορισμένοι από τους όρους του πρώτου δεν εμφανίζονται με το ίδιο νόημα στο δεύτερο. Έτσι, όταν έχουμε να κάνουμε με έλεγχο θεωριών, βρισκόμαστε μπροστά σε ολόκληρα σύνολα μερικώς επικαλυπτόμενων, επαρκών ως προς τα γεγονότα αλλά αμοιβαίως ασυνεπών θεωριών (Feyerabend 1965, 174-177). Κατά τον Φαγεράμπεντ, λοιπόν, ένας θεωρητικός πλουραλισμός υπόκειται σε κάθε διαδικασία ελέγχου. Υποστηρίζει με αρκετά λεπτομερή επιχειρήματα ότι οι όροι της νευτώνειας δυναμικής, όπως ο όρος «μάζα», δεν παραμένουν αμετάβλητοι όταν περνάμε από τη νευτώνεια θεωρία στη σχετικιστική δυναμική του Αϊνστάιν. Παρ' όλα αυτά, και οι δύο θεωρίες μπορούν να παρέχουν από κοινού το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για μια διαδικασία ελέγχου (στο ίδιο, 169-171).

Σύμφωνα με την άποψη του Φαγεράμπεντ, ο πλουραλισμός είναι ουσιώδης για την ανάπτυξη της γνώσης. Εκτός αυτού, η ανάδυση μιας πλειάδας θεωριών δεν σημαίνει ότι η γνώση βρίσκεται σε πρωτόγονο στάδιο ανάπτυξης. Αντιθέτως, συνιστά ουσιώδες χαρακτηριστικό κάθε γνώσης το γεγονός ότι αυτή δεν περιορίζεται από κανόνες και γνώμονες (Feyerabend 1978, Κεφάλαιο 3). Και αυτό γιατί, αν δεν υπάρχει σταθερότητα νοήματος από τη μία θεωρία στην άλλη, και αν οι θεωρίες είναι λογικώς ασυνεπείς μεταξύ τους, δεν υπάρχει βάση επάνω στην οποία να στηρίξουμε διαθεωρητικούς μεθοδολογικούς κανόνες που να διέπουν κάθε όψη της επιστημονικής ανέλιξης. Ο Κουν, ο Λάκατος και ο Λαουντάν μπορούν να συμφωνήσουν στο ότι τα κριτήρια που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες για την αξιολόγηση θεωριών μεταβάλλονται αργά με το χρόνο. Επιπλέον, οι Κουν και Λαουντάν, όχι όμως και ο Λάκατος, αρνούνται την ύπαρξη διαπολιτισμικών κανόνων ορθολογικότητας οι οποίοι καθοδηγούν την πρακτική της επιστήμης. Η τοποθέτηση του Φαγεράμπεντ είναι πιο ριζοσπαστική. Απαντώντας αρνητικά στις απαιτήσεις συνέπειας και σταθερότητας νοήματος, αρνείται επίσης και το ότι η επιστήμη διαθέτει κάποια πανεποπτική μεθοδολογία, η οποία να της προσδιορίζει τις δραστηριότητες και τους στόχους της. Με δεδομένο αυτό το συμπέρασμα, δεν είναι παράξενο που ο Φαγεράμπεντ θεωρεί ότι είναι μάταιο να αναζητάμε μοντέλα επιστημονικής αλλαγής, και ότι δεν έχει νόημα να αντιμετωπίζουμε την επιστήμη ως ένα εγχείρημα ειδικού τύπου που προχωρά ακολουθώντας ένα διακριτό σύνολο μεθοδολογικών διαδικασιών. Αντιθέτως, οφείλουμε να αφήνουμε οικειοθελώς εκκρεμή την προσχώρησή μας σε κατεστημένες θεωρίες, και να λαμβάνουμε υπ' όψιν μας τις αρετές των αντίπαλων, εναλλακτικών θεωριών. Εν ολίγοις, πρέπει να μάθουμε να αναγνωρίζουμε ότι η επιστήμη είναι ένα άναρχο εγχείρημα, που προχωρά με τον συνεχή πολλαπλασιασμό αντιμαχόμενων θεωριών. Τι μπορούμε να πούμε για την πρόο-

δο από μία τέτοια οπτική γωνία; Εάν η επιστήμη δεν είναι ορθολογικό εγχείρημα, δεν είναι ούτε και κανονιστικό. Η πρόοδος όμως είναι μια ισχυρά κανονιστική έννοια. Ποιο στοιχείο της τοποθέτησης του Φαγεράμπεντ είναι ικανό να τη συλλάβει; Σίγουρα όχι η ρητορική επιτυχία στο να καταστήσει κανείς μια θεωρία εύλογη σε άλλους (στο ίδιο, Κεφάλαιο 4). Για άλλη μία φορά, ο Φαγεράμπεντ θέλει να αναγάγει τον θεωρητικό πλουραλισμό σε έναν *κανόνα* για τη μέλλουσα επιστημονική πρακτική. Πρόκειται και εδώ για κανονιστική αρχή η οποία, στο βαθμό που αποδειχθεί επιτυχής, θέτει υποψηφιότητα για τη *θεσμοποίησή* της στα πλαίσια της επιστημονικής πρακτικής. Ο Φαγεράμπεντ δεν λέει σχεδόν τίποτα για τη θεσμοποίηση μιας τέτοιας πρακτικής, ούτε και για την προφανή συνεπαγωγή κατά την οποία, εάν «όλα επιτρέπονται», τότε ο πλουραλισμός θα μπορούσε να απαγορευθεί.

4.10 Η ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΩΣ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ: Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΚΟΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΑ

Εάν η μόνη αρχή που δεν αναστέλλει την επιστήμη είναι το «όλα επιτρέπονται», δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι ο Φαγεράμπεντ ασπάζεται τον αναρχισμό. Η σημασία του έργου του, ωστόσο, εκτιμάται διαφορετικά από όσους διάκεινται ευνοϊκά προς μία κοινωνική προσέγγιση της επιστήμης. Οι Κουν, Λάκατος και Λαουντάν απορρίπτουν την ιδέα μιας λογικής της επαλήθευσης, της διάψευσης ή της επικύρωσης, διά μέσου των οποίων μία θεωρία θα μπορούσε να αξιολογηθεί λογικά αυτοστιγμεί. Αντί να κάνουν λόγο για παραδοσιακές γνωσιακές έννοιες, όπως αλήθεια και αληθοφάνεια, μιλούν για την επιστημονική αλλαγή και την πρόοδο με όρους επίλυσης προβλημάτων, παραδειγμάτων και ερευνητικών προγραμμάτων. Αυτές οι έννοιες, όπως σωστά οι ίδιοι παραδέχονται, ανοίγουν το δρόμο στην κοινωνική και ιστορική θεώρηση της επιστημονικής εξέλιξης. Πράγματι, πολλοί υποστηρίζουν σήμερα ότι αυτές οι έννοιες δεν αντιπροσωπεύουν παρά κατασκευές της ίδιας της κοινωνικής δυναμικής. Αλλά ο Φαγεράμπεντ απορρίπτει και αυτές τις προσεγγίσεις, είτε είναι κοινωνικά αιτιολογήσιμες, είτε όχι. Εάν «όλα επιτρέπονται» στην ανάπτυξη της επιστημονικής έρευνας, δεν υπάρχει προνομιακή θεώρηση του πώς και του γιατί η επιστήμη προχωρά με τον τρόπο που προχωρά. Κατά συνέπεια, είναι τελείως αδιάφορο εάν η εξήγηση κάποιου επεισόδιου της επιστημονικής αλλαγής είναι κοινωνιολογικού, ανθρωπολογικού, ιστορικού, ψυχολογικού ή φιλοσοφικού χαρακτήρα.

Οι κοινωνιολόγοι και οι κοινωνικοί ιστορικοί της επιστήμης έχουν διατυπώσει διάφορες θεωρήσεις της επιστήμης οι οποίες, κατά τη γνώμη τους, υπάρχουν στο έργο των Κουν, Λάκατος και Λαουντάν, ενώ απέναντι στον αναρχισμό του Φαγεράμπεντ επαναβεβαιώνουν την πεποίθησή τους ότι η επιστήμη μπορεί να θεωρηθεί εξ ολοκλήρου ως ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο κοινωνικό φαινόμενο. Απορρίπτουν το μύθο του «αυτόνομου επιστημονικού υποκειμένου», τοποθε-

τημένου επέκεινα της ιστορίας και των κοινωνικών πραγματώσεών του, όπως επίσης και το όραμα της επιστημονικής γνώσης ως καθολικής και ανεξάρτητης από κάθε πλαίσιο, θεωρήσεις που ακόμα παραμένουν εν ισχύι στις «σφαιρικές» φιλοσοφίες της επιστήμης. Απεναντίας, οι οπαδοί της κοινωνικής θεωρίας υποστηρίζουν ότι η γνώση υπάρχει μόνο μέσα στις κοινωνικές και γλωσσικές πρακτικές διά των οποίων η ίδια αδιάκοπα προσαρμόζεται στο μεταβλητό κοινωνικό περιβάλλον της. Υποστηρίζουν επίσης ότι η γνώση είναι κανονιστική: Ποια είναι η καλύτερη μορφή γνώσης; Πώς μπορεί να επαυξηθεί; Και είναι η μόνη αξιόλογη μορφή; Σε αντίθεση με τους οπαδούς της σφαιρικής θεώρησης, ωστόσο, υποστηρίζουν με έμφαση ότι μόνο η κοινωνική οργάνωση της έρευνας μπορεί να δώσει απαντήσεις σ' αυτά τα ερωτήματα που υπερβαίνουν τους παραδοσιακούς διαχωρισμούς μεταξύ των θεωρητικών κλάδων.

4.11 Η ΕΠΙΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ Η ΕΠΙΤΕΛΕΣΜΕΝΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ: ΤΟ ΙΣΧΥΡΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΓΝΩΣΗΣ

Επί δύο δεκαετίες, η Μονάδα Σπουδών της Επιστήμης (Science Studies Unit) του Πανεπιστημίου του Εδιμβούργου έχει συνδέσει το όνομά της με μία προσέγγιση της κοινωνιολογίας της επιστήμης που γνώρισε σημαντική απήχηση. Οι κεντρικές αρχές αυτής της σχολής είναι οι εξής:

1. Η κοινωνική θεωρία περιγράφει επαρκώς τόσο την παραγωγή της επιστήμης, όσο και την επιστήμη ως προϊόν· πράγμα που σημαίνει ότι η κοινωνική θεωρία μπορεί κατά τον καλύτερο τρόπο να πραγματευθεί τόσο την ανθρώπινη δραστηριότητα της επιτέλεσης της επιστήμης, όσο και το ανθρώπινο επίτευγμα της επιτελεσμένης επιστήμης.
2. Υφίσταται μία σχέση εξάρτησης μεταξύ της γνωσιακής τάξης και της κοινωνικής τάξης. Μια κοινωνική θεωρία του νου είναι προτιμότερη κατασκευή, στο βαθμό που οι ανθρώπινες πεποιθήσεις είναι ενσωματωμένες στην κοινωνική δομή. Με άλλα λόγια, η ανθρώπινη πεποίθηση είναι κοινωνικά εντοπίσιμη, με την έννοια ότι μπορούν να εδραιωθούν αιτιακοί νόμοι οι οποίοι να δείχνουν τον τρόπο με τον οποίο δημιουργείται κοινωνικά κάθε πεποίθηση, επιστημονική ή μη.
3. Ο δυϊσμός φύσης και κοινωνίας είναι παραπλανητικός. Η αντίληψη σύμφωνα με την οποία η φύση είναι «εκεί έξω» μπορεί να κατανοηθεί εξ ολοκλήρου με αφετηρία την ιδέα ότι η κοινωνία είναι «εκεί έξω». Ως βάση, λοιπόν, για την ανάλυση προκρίνονται η κοινωνία και η κοινωνική θεωρία, έναντι της φύσης και της φιλοσοφίας της επιστήμης.
4. Τα γεγονότα συγκροτούνται κοινωνικά. Οι αλλαγές των πεποιθήσεών μας σχετικά με τα «γεγονότα» και η φύση των «γεγονότων» που κατασκευάζουμε

διέπονται από κοινωνικά συμφέροντα, από τη δυναμική των συλλογικών αναγκών και από την ισχύ των ίδιων των κοινωνικών δυνάμεων. Δεν είναι, λοιπόν, ο φυσικός κόσμος αυτός που επιβάλλει περιορισμούς επί των πεποιθήσεών μας σχετικά με τη φύση, αλλά τα κοινωνικής προέλευσης, αντιτιθέμενα συμφέροντα των ανταγωνιζόμενων ομάδων. Πράγματι, οι έννοιες «ανάγκη», «συμφέρον» και «κατασκευή» αποτελούν κεντρικές κατηγορίες του λόγου που αρθρώνει η Σχολή του Εδιμβούργου, και χρησιμοποιούνται με αφοπλιστική ευελιξία.

Σ' αυτήν την παράγραφο θα συζητηθούν οι απόψεις του Νταίηβιντ Μπλουρ (David Bloor) ως αντιπροσωπευτικές της γενικής τοποθέτησης της Σχολής του Εδιμβούργου. Θα συζητήσω τόσο τον πρώιμο μετα-μανχαϊμιανό προσανατολισμό του, όσο και τις ύστερες μετα-βιτγκενσταϊνικές προοπτικές του. Πολλά από αυτά που θα ειπωθούν χαρακτηρίζουν επίσης την τοποθέτηση του Μπάρυ Μπαρνς (Barry Barnes), ενός άλλου πολύ γνωστού μέλους της σχολής. Ας αρχίσουμε με την αρχική σύλληψη του «ισχυρού προγράμματος» από τον Μπλουρ. Ξεκινά πεπεισμένος ότι «η επιστήμη συνιστά ένα κοινωνικό φαινόμενο, άρα πρέπει να στραφούμε στην κοινωνιολογία της γνώσης» (1976, ix). Επιπλέον, βλέπει τον εαυτό τους ως αντίπαλο των Κουν, Πόππερ και Λάκατος. Κατά την άποψή του, είναι η κοινωνιολογία, και όχι η φιλοσοφία, αυτή που είναι σε θέση να κατανοήσει τη γέννηση και τη φύση της επιστημονικής γνώσης. Είναι καλό να συλλάβουμε συνολικά το χαρακτήρα του ισχυρισμού του Μπλουρ. Τον διατυπώνει ως εξής:

> Είναι σε θέση η κοινωνιολογία της γνώσης να διερευνήσει και να εξηγήσει το ίδιο το περιεχόμενο και τη φύση της επιστημονικής γνώσης; Πολλοί κοινωνιολόγοι δεν το πιστεύουν. Ισχυρίζονται ότι η γνώση ως τέτοια, ως διακριτή από τις περιστάσεις που περιβάλλουν την παραγωγή της, ξεπερνά την αρμοδιότητά τους. Περιστέλλουν έτσι οικειοθελώς την εμβέλεια των ερευνών τους. Θα υποστηρίξω ότι κατ' αυτόν τον τρόπο προδίδουν την προοπτική του κλάδου τους. (Στο ίδιο, 1)

Σύμφωνα με τον Μπλουρ, οι κοινωνιολογικές προσεγγίσεις της επιστημονικής γνώσης δεν πρέπει να περιορίζονται μόνο στο θεσμικό πλαίσιό της ή στους εξωτερικούς παράγοντες που επιδρούν στο ρυθμό ανάπτυξης ή την κατεύθυνσή της. Στο κάτω-κάτω, με τη βιωσιμότητα μιας τέτοιας προοπτικής θα συμφωνούσαν και οι Κουν, Λάκατος και Λαουντάν. Ο Μπλουρ είναι, απεναντίας, πεπεισμένος ότι η κοινωνιολογία είναι σε θέση να διατυπώσει μία αιτιακή εξήγηση της ίδιας της δημιουργίας της επιστημονικής γνώσης, κάνοντας χρήση αποκλειστικά των μέσων που παρέχει η κοινωνική θεωρία και, ως εκ τούτου, ανεξάρτητα από τη φιλοσοφία. Προς αυτήν την κατεύθυνση συνηγορεί υπέρ ενός «ισχυρού προγράμματος».

Το πρόγραμμα αντιμετωπίζει τη γνώση, συμπεριλαμβανομένης της επιστημονικής, ως ένα καθαρά φυσικό φαινόμενο. Αντί να προσδιορίζει τη γνώση φιλοσοφικά, ως δικαιολογημένη αληθή πεποίθηση, ο Μπλουρ αποδέχεται ως γνώση οτιδήποτε εκλαμβάνουν ως τέτοια οι διάφορες πληροφορημένες ομάδες ατόμων. Πρέπει, βεβαίως, αυτή να διακριθεί από την απλή γνώμη. Προτείνει, λοιπόν, προς τούτο, να αποκαλούμε γνώση όλα όσα προσυπογράφει συλλογικά ή συνομολογεί μία γνωσιακή κοινότητα διά του πραγματιστικού μηχανισμού της κοινωνικής συναίνεσης (στο ίδιο, 3).

Ισχυρίζεται, έτσι, ο Μπλουρ ότι μια κοινωνιολογική προσέγγιση της επιστημονικής γνώσης οφείλει να πληροί *τέσσερις* προϋποθέσεις: πρέπει να είναι αιτιακή, ουδέτερη ως προς την αλήθεια ή το ψεύδος, συμμετρική όσον αφορά τους εξηγητικούς τρόπους της και αναστοχαστική, που σημαίνει ότι το εξηγητικό πλαίσιό της πρέπει να εφαρμόζεται και στο σώμα γνώσης που η ίδια συνιστά (στο ίδιο, 4-5).

Με πρώτη ματιά, η πρώτη απαίτηση φαίνεται αρκετά εύλογη. Ισχυρίζεται ότι πρέπει να δίδεται μια αιτιακή εξήγηση των συνθηκών παραγωγής γνώσης, και μάλιστα όχι μια οποιαδήποτε αιτιακή εξήγηση, αλλά μία που να χρησιμοποιεί *κοινωνικές* παραμέτρους. Αξιώνει, άρα, την εξήγηση της προέλευσης της γνώσης και του χαρακτήρα των γνωσιακών καταστάσεων μέσω μιας θεωρίας που χρησιμοποιεί αποκλειστικά τις αρχές της κοινωνικής θεωρίας. Είναι σαφές ότι ο Μπλουρ εκλαμβάνει τον κοινωνικό αιτιακό καθορισμό ως έννοια απαλλαγμένη προβλημάτων. Αλλά δεν είναι. Ο Μπλουρ, στο πρώιμο έργο του, δεν καταφέρνει να ξεπεράσει με επιτυχία τα προβλήματα που θέτει αυτό το ζήτημα. Επιπλέον, δεν επιχειρεί να προσδιορίσει τα συνεπαγόμενα μιας θεωρίας περί κοινωνικού αιτιακού καθορισμού, ή να δώσει μία ιδέα των κριτηρίων που πρέπει αυτή να ικανοποιεί. Στην καλύτερη περίπτωση, η τοποθέτησή του κλίνει προς μια κανονικότητα χιουμιανού τύπου σύμφωνα με την οποία, παραδείγματος χάριν, αν κυριαρχούν αυτές και εκείνες οι κοινωνικές συνθήκες, τότε θα τείνουν να κυριαρχούν κάποιοι συγκεκριμένοι τύποι στάσεων. Αυτό από μόνο του δεν μπορεί να αποκλείσει άλλους τρόπους εξήγησης.

Η δεύτερη και η τρίτη απαίτηση είναι επίσης αμφιλεγόμενες. Ισχυρίζονται ότι οφείλουμε να εξηγούμε αιτιακά όχι μόνο αυτό που εκλαμβάνεται ως αληθές και ορθολογικό, αλλά και αυτό που είναι ψευδές ή ανορθολογικό. Οπότε, εάν δεχθούμε ότι η γνώση καθορίζεται κοινωνικά, έπεται ότι οι ψευδείς πεποιθήσεις δεν μπορούν παρά να προκύπτουν με τον ίδιο τρόπο που προκύπτουν και οι αληθείς και να εξηγούνται στη βάση του ίδιου αιτιακού πλαισίου. Ο ισχυρισμός αυτός έχει αμφισβητηθεί από τον Λάκατος και τον Λαουντάν και, στην πραγματικότητα, ακόμα νωρίτερα, από κοινωνιολόγους όπως ο Μανχάιμ (Mannheim, 1936). Όλοι αυτοί αντιπροτείνουν ότι η κοινωνιολογία είναι σε θέση να εξηγήσει μόνο τις περιπτώσεις όπου βρισκόμαστε σε κατάσταση ψευδούς πεποίθησης και σφάλματος (Laudan 1977, Κεφάλαιο 7). Και αυτό γιατί στη διαδικασία εγκαθίδρυσης ή εδραίωσης των γνώσεων είναι δυνατόν να πα-

ρεισφρέουν «εξωτερικοί» παράγοντες, όπως οι κοινωνικοί, οι θεσμικοί ή οι ψυχολογικοί. Δηλαδή υποστηρίζουν ότι μόνο στις περιπτώσεις όπου ο νους εκτροχιάζεται, ή παρεκκλίνει από τους κανόνες της έλλογης σκέψης, πρέπει να αναζητηθούν αιτίες εξωτερικές ως προς το νου. Σε κάθε άλλη περίπτωση, δηλαδή κατά την παραγωγή των αληθών πεποιθήσεων, ο νους είναι αυτόνομος και οι μέθοδοί του αυτο-δικαιολογούνται ενδογενώς δυνάμει της ίδιας της νοητικής δραστηριότητας. Η δεύτερη και η τρίτη απαίτηση του «ισχυρού προγράμματος» αντιπαρατίθενται στην άποψη που θέλει την πραγμάτευση της γνώσης ως αληθούς πεποίθησης να είναι ανεξάρτητη από αιτιακές εξηγήσεις. Διατείνονται, απεναντίας, ότι ο ίδιος τύπος εξήγησης που εξηγεί τις ψευδείς πεποιθήσεις –η κοινωνική αιτιότητα– πρέπει να είναι σε θέση να εξηγεί το ίδιο καλά και τις αληθείς.

Η τελευταία απαίτηση αξιώνει ότι κάθε κοινωνιολογική προσέγγιση της ανάπτυξης της επιστημονικής γνώσης οφείλει να είναι αναστοχαστική: δεδομένου ότι μία κοινωνιολογική θεωρία συνιστά η ίδια μια έκφανση γνώσης, οφείλει να εξηγεί τον εαυτό της εάν δεν θέλει να αυτοδιαψεύδεται. Το «ισχυρό πρόγραμμα» οφείλει, λοιπόν, να ικανοποιεί τις συνθήκες αιτιότητας, ουδετερότητας, συμμετρίας και αναστοχαστικότητας.

Όπως όμως έχουμε ήδη επισημάνει, δεν μπορούμε να αξιολογήσουμε ορθολογικά τα κριτήρια του Μπλουρ χωρίς προηγουμένως να έχουμε κατά κάποιο τρόπο προσδιορίσει τη φύση της κοινωνικής αιτιότητας. Με ποιο ακριβώς τρόπο οι κοινωνικές επιδράσεις παράγουν ή προξενούν ανθρώπινες πεποιθήσεις; Με ποιον τρόπο οι πεποιθήσεις σχετίζονται αιτιακά με θεσμοποιημένους τρόπους κοινωνικής συμπεριφοράς; Ένα βήμα προς την απάντηση αυτών των ερωτημάτων θα ήταν ενδεχομένως η διερεύνηση των τρόπων με τους οποίους οι διαφορετικές θέσεις στο εσωτερικό της κοινωνικής δομής φαίνεται να συσχετίζονται με διαφορετικές πεποιθήσεις. Ωστόσο, οι συσχετίσεις δεν είναι αιτίες, και ίσως ούτε καν υποδείξεις υποκείμενων αιτιακών μηχανισμών. Επιπλέον, όπως ο ίδιος ο Μπλουρ αναγνωρίζει, απαιτείται όχι μόνο μία ανάλυση του τρόπου με τον οποίο κοινωνικές αιτίες μορφοποιούν πεποιθήσεις, αλλά και μία πραγμάτευση της ανθρώπινης φύσης, του κατόχου των πεποιθήσεων, των οποίων το περιεχόμενο καθορίζεται από αυτές τις κοινωνικές αιτίες. Δυστυχώς, το πρώιμο έργο του Μπλουρ σε καμία περίπτωση δεν πραγματεύεται τη φύση των ανθρώπων ως φορέων πεποιθήσεων, ή τον τρόπο με τον οποίο κοινωνικές αιτίες καθορίζουν το περιεχόμενο των πεποιθήσεών τους (1976, 5-10).

Πράγματι, ο Μπλουρ πουθενά δεν υποδεικνύει το σημείο ως προς το οποίο οι κοινωνικές αιτίες διαφέρουν (αν διαφέρουν) από άλλες μορφές αιτιότητας. Επιπλέον, με ποιον ακριβώς τρόπο οι πεποιθήσεις πηγάζουν από την κοινωνική οργάνωση; Φαινομενικά δεν υφίσταται κάποια επαρκώς θεμελιωμένη προσέγγιση του υποτιθέμενου σύνδεσμου μεταξύ της κοινωνικής τάξης και της γνωσιακής τάξης, τέτοια ώστε η πρώτη να μπορεί να εξηγήσει τη δεύτερη. Μπορεί η δεύτερη να αναχθεί στην πρώτη; Ή μήπως η θεωρία της κοινωνικής αιτιότητας δεν

μπορεί να αποφύγει την πολυπλοκότητα ενός πολυεπίπεδου μοντέλου με πολλές μεταβλητές; Και πώς μπορούν να αποφευχθούν οι περιβόητες δυσκολίες που συναντά ο μαρξισμός όσον αφορά τη σχέση μεταξύ της οικονομικής υποδομής της κοινωνίας και της πολιτιστικής υπερδομής της; Ή μήπως αυτή η σχέση μπορεί να διασαφηνισθεί πειστικά; Μέχρι να επιλυθούν αυτά τα ερωτήματα δεν έχουμε κανένα πραγματικό λόγο να εγκαταλείψουμε τον τρόπο εξήγησης του σχηματισμού πεποιθήσεων που στηρίζεται στο λόγο, στην πρόθεση, στο κίνητρο και στο σκοπό.

Πρέπει να αναγνωρίσουμε στον Μπλουρ τη σταθερή προσπάθειά του να εντοπίσει κοινωνικά κάθε γνώση, πράγμα που γίνεται ιδιαίτερα σαφές στην εκ μέρους του απόρριψη της κατηγορίας των «ελεύθερα αιωρούμενων διανοουμένων» που εισήγαγε ο Μανχάιμ, καθώς και στον ισχυρισμό του ότι ούτε καν το εννοιολογικό περιεχόμενο των τυποκρατικών συστημάτων, όπως τα μαθηματικά, δεν τίθεται στο απυρόβλητο των μεθόδων της κοινωνιολογίας της γνώσης. Ο Μπλουρ όχι μόνο απορρίπτει ως ψευδή την αντίληψη που θέλει τους διανοούμενους εκτός κοινωνικών τάξεων, κοινωνικά μετέωρους και, ως εκ τούτου, θεματοφύλακες της γνώσης, αποδεσμευμένους από τις ιδεολογικές ορθολογικοποιήσεις των τάξεων ή των καθεστώτων, αλλά καταδεικνύει επίσης ότι αυτή η αντίληψη συνιστά συνέπεια της κοινωνικής και ιστορικής τοποθέτησης του Μανχάιμ. Πράγμα που εγείρει ένα ακόμη ερώτημα. Εάν, όπως δέχεται ο Μπλουρ, η επιστημονική γνώση εντοπίζεται πολιτιστικά και κοινωνικά, πώς μπορούμε να εξηγήσουμε τις ιδεολογικές παραμορφώσεις της, που οφείλονται στην ορθολογικοποίησή της μέσω των πρακτικών και των συμφερόντων των επιστημονικών κοινοτήτων;

4.12 ΓΛΩΣΣΙΚΑ ΠΑΙΓΝΙΔΙΑ, ΝΟΗΤΙΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΚΑΙ ΜΙΑ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΝΟΗΜΑΤΟΣ

Στο πιο πρόσφατο έργο του, ο Μπλουρ παρέχει μια προσέγγιση της ανθρώπινης δραστηριότητας η οποία αποφεύγει το πρόβλημα της κοινωνικής αιτιότητας. Όπως και στην πρωιμότερη εκδοχή του «ισχυρού προγράμματος», έτσι και εδώ ο ρόλος του ατομικού παράγοντα ελαχιστοποιείται, καθώς υπάγεται στη συλλογικότητα της κοινωνικής αλλαγής και δράσης, ενώ υπογραμμίζεται η πρωτοκαθεδρία της κοινωνίας επί του ατόμου. Το καινούριο στοιχείο είναι ότι παύει πλέον να βασίζεται στην ελλιπώς αναλυμένη έννοια της κοινωνικής αιτίας και υποστηρίζει ότι η γλώσσα, η πεποίθηση, η ανθρώπινη σκέψη και η ανθρώπινη πράξη συνιστούν φυσικά και κοινωνικά φαινόμενα τα οποία, ακριβώς επειδή προκύπτουν από τη στενά συνυφασμένη με υλικά, βιολογικά και πολιτισμικά πλαίσια αναφοράς ανθρώπινη συμπεριφορά, είναι ανοικτά στην εκ μέρους μας κατανόηση. Ο Μπλουρ αποσκοπεί πλέον στην περιγραφή, και όχι στην εξήγηση, ενώ το όποιο περιεχόμενο θεωρείται αποκλειστικά ζήτημα πλαισίου. Το

όλο εγχείρημα στοχεύει τώρα στη συγχώνευση του «τι» και του «πώς» (Bloor 1983).

Ο στόχος του Μπλουρ είναι να δείξει ότι η σκέψη του ύστερου Βιτγκενστάιν «περί της φυσικής ιστορίας των ανθρώπινων όντων» (1953, 415) μπορεί να ενσωματωθεί στην καθημερινή πρακτική της ιστορικής, ανθρωπολογικής και κοινωνιολογικής έρευνας. Παίρνει, λοιπόν, στα σοβαρά και κατά γράμμα τον ισχυρισμό του Βιτγκενστάιν ότι «το να διατάζεις, να ρωτάς, να διηγείσαι και να κουβεντιάζεις αποτελούν εξίσου μέρος της φυσικής μας ιστορίας με το να περπατάς, να τρως, να πίνεις και να παίζεις» (1953, 25). Σύμφωνα με αυτήν τη νατουραλιστική οπτική γωνία, το να μιλάς μία γλώσσα, καθώς και οι ίδιες οι γλώσσες που χρησιμοποιούμε, συνιστούν «μέρος μιας δραστηριότητας, ή μιας μορφής ζωής», με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που οι χημικές και φυσιολογικές διαδικασίες διέπουν τη βιολογική ζωή μας. Αυτές οι γλωσσικές μορφές ζωής, ή «γλωσσικά παιγνίδια», είναι αμέτρητα και πολυποίκιλα, αναδύονται και καταργούνται, εκφράζουν πολιτισμούς και υποπολιτισμούς, πρακτικές και θεσμούς, φανερώνουν πρότυπα διαπλεκόμενων χρήσεων και δραστηριοτήτων, ενέχουν γενικές κατευθύνσεις συμφερόντων και αναγκών ενσωματωμένες σε πλαίσια ανθρώπινης συμπεριφοράς, και συγκροτούν οτιδήποτε επί του οποίου μπορούμε να εκφέρουμε γνωσιακούς ισχυρισμούς.

Ο Μπλουρ θέλει να δείξει ότι η γεγονική πραγματικότητα των εν λόγω «μορφών ζωής» επιδέχεται εμπειρική διερεύνηση και, πιο συγκεκριμένα, ότι αυτές αναδύονται ως αποτέλεσμα κοινωνικών ενδιαφερόντων, θεσμικών πρακτικών και ανθρώπινων αναγκών. Έτσι, η γλώσσα διαθέτει προσίδιες δομές χρήσης και νοήματος μόνο στο μέτρο που εκφράζεται διά του περιεχομένου των τρεχουσών ανθρώπινων δραστηριοτήτων ή «μορφών ζωής». Από αυτήν τη βιτγκενσταϊνική φλέβα αντλεί ο Μπλουρ για να ξεκόψει οριστικά από την ουσιοκρατική θεώρηση του νοήματος (δηλαδή, την άποψη σύμφωνα με την οποία τα νοήματα εκφράζουν αποβλεπτικές καταστάσεις ή αναφέρονται αποκλειστικά σε οντότητες του κόσμου), προς όφελος της άποψης που βλέπει τη γλώσσα ως εργαλείο αλληλεπίδρασης μεταξύ κοινοτήτων ομιλούντων υποκειμένων, εργαλείο που διαρκώς μεταβάλλεται ακολουθώντας τη δυναμική των αλλαγών των κοινωνικών ενδιαφερόντων.

Ο επιστημονικός πολιτισμός και οι αλλαγές του αντιμετωπίζονται από τον Μπλουρ μέσα από αυτήν την οπτική. Και αυτός επίσης πρέπει να ενταχθεί στην κοινωνιολογία, να φυσικοποιηθεί και να αντιμετωπισθεί ως «μορφή ζωής». Έτσι, όπως και κάθε άλλη πολιτισμική μορφή, η επιστήμη αποτελεί μια φυσική και κοινωνική δραστηριότητα που δημιουργεί προσίδια γλωσσικά παιγνίδια, τα οποία διέπονται από γνωσιακούς στόχους και κοινωνικά συμφέροντα. Σύμφωνα με αυτήν την αντίληψη, οι επιστήμονες δεν συνιστούν αυτόνομα γνωσιακά υποκείμενα που προβάλλουν αποβλεπτικά νοήματα επί μίας επιδεκτικής προς τούτο πραγματικότητας, αλλά ερευνητές που ενοικούν σε ειδικές «μορφές ζωής», βασιζόμενες σε γλωσσικές χρήσεις, οι οποίες, μέσα στη συγκεκριμένη διαπλοκή

τους, εκφράζουν τη δυναμική των ενδιαφερόντων που συγκροτούν το συνολικό επιστημονικό πολιτισμό. Κατά τον Μπλουρ, όπως και κατά τον Βιτγκενστάιν, δεν υπάρχει κάποια εσωτερική γλώσσα η οποία να αναφέρεται σε κάποιο προνομιακό νοητικό περιεχόμενο, το οποίο, με τη σειρά του, θα συνιστούσε ιδεατή αναπαράσταση μιας εξωτερικής πραγματικότητας, όπως θα ήθελε ο Ράσσελ. Η επιστημονική αλλαγή είναι ζήτημα γλωσσικής επαναπεριγραφής και άρθρωσης νέων λόγων, οι οποίοι επιβάλλονται διά της αύξουσας διαπλοκής τους με φαινόμενα και υπαγορεύονται από αλλαγές των κοινωνικών συμφερόντων και των γνωσιακών αναγκών. Εκτός αυτού, η ασυμμετρότητα παύει να συνιστά πρόβλημα, στο βαθμό που –σύμφωνα με τον Μπλουρ– δεν έχουμε κανένα αντικειμενικό τρόπο να προτιμήσουμε κάποιο γλωσσικό παιγνίδι του επιστημονικού πολιτισμού έναντι ενός άλλου.

Η τοποθέτηση του Μπλουρ συνεπάγεται έναν ασυμβίβαστο σχετικισμό, πράγμα που πρόθυμα ο ίδιος ομολογεί. Θα ισχυρισθεί, πράγματι, ότι η αντικειμενικότητα και η ορθολογικότητα έχουν διαμορφωθεί από εμάς στην πορεία «συγκρότησης μιας μορφής συλλογικής ζωής» (1982, 3), ότι «ο Κοπέρνικος διαλύεται» (στο ίδιο) και «τα ανθρώπινα όντα επανέρχονται στο κέντρο της εικόνας» (στο ίδιο) ως το μέτρο όλων των πραγμάτων, ότι κάθε τι που εκλαμβάνουμε ως καθολικό είναι «μεταβλητό και σχετικό» (στο ίδιο) και ότι «εκεί που πριν θεωρούσαμε τους εαυτούς μας υπεύθυνους απέναντι *στα* πράγματα, είμαστε τώρα υπεύθυνοι *για* αυτά τα πράγματα» (στο ίδιο).

Έτσι, σε ομοφωνία με ένα μεγάλο μέρος του τρέχοντος μεταμοντερνισμού, απαρνείται την αντικειμενικότητα και την ορθολογικότητα της «αληθούς γνώσης», υποστηρίζοντας αντιθέτως ότι η γνώση, ή ακόμα και η ίδια η γλώσσα, συνιστούν αντανάκλαση σχέσεων εξουσίας στο εσωτερικό της κοινωνίας και αλλάζουν όταν αυτές οι σχέσεις αλλάζουν. Κατά συνέπεια, δεν υπάρχει κανένα μέτρο γνώσης το οποίο να υπερβαίνει την εξουσία και την επιθυμία για εξουσία, την αυθεντία και την επιθυμία για αυθεντία. Ο σχετικιστής Πρωταγόρας επιστρέφει για να καταδιώξει τους πλατωνικούς ρεαλιστές.

4.13 ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ

Για να καταστήσουμε τώρα ακόμα πιο εμφανείς τις δυσκολίες που σχετίζονται με την κοινωνική αιτιότητα, ας στραφούμε στο πολύ ενδιαφέρον και σημαντικό βιβλίο των Σάπιν (S. Shapin) και Σάφερ (S. Schaffer) *Ο Λεβιάθαν και η αντλία κενού (Leviathan and the Air-Pump*, 1985). Οι δύο ιστορικοί ασχολούνται σ' αυτό με μία συγκεκριμένη περίπτωση επιστημονικής αλλαγής, τις έρευνες του Ρόμπερτ Μπόυλ επί της μηχανικής των ρευστών (στις οποίες αυτός ενέταξε και τη χρήση αντλίας κενού), και τις διαμάχες με τον Τόμας Χομπς (Thomas Hobbes) στις οποίες αυτό το πειραματικό πρόγραμμα έδωσε λαβή. Σε στενή συνάφεια με τα

παραπάνω, οι ίδιοι ανίχνευσαν την κοινωνική διαμόρφωση της επιστημονικής αυθεντίας στην Αγγλία των μέσων του δέκατου έβδομου αιώνα, και διερεύνησαν το ζήτημα της κατοχύρωσης ενός κοινωνικού χώρου για τον πειραματικό τρόπο γνώσης. Οι ίδιοι εκλαμβάνουν την εργασία τους ως άσκηση στα πλαίσια της κοινωνικής θεωρίας και της εθνογραφίας της επιστήμης, και ο εξηγητικός προσανατολισμός τους έχει πολλά κοινά σημεία με την τοποθέτηση του Μπλουρ, όπως επίσης και με τις απόψεις μικρο-κοινωνιολόγων όπως ο Τ. Πιντς (T.J. Pinch), ο Μπρούνο Λατούρ (Bruno Latour) και ο Άντριου Πίκερινγκ (Andrew Pickering) (Shapin and Schaffer 1985, 14-16). Στην αφήγησή τους διαπλέκονται επίσης θέματα προερχόμενα από τον Φουκώ (Foucault) και τον Βιτγκενστάιν, πράγμα που γίνεται ιδιαίτερα εμφανές στην πραγμάτευση των σχέσεων μεταξύ γλώσσας, κοινωνίας και εξουσίας. Οι Σάπιν και Σάφερ προσεγγίζουν, λοιπόν, το επιστημονικό εγχείρημα ως ενοποιημένο *σχήμα δραστηριότητας*, ως μία «μορφή ζωής». Οι επιστημονικές διαμάχες συνιστούν διαφωνίες «ως προς διαφορετικούς τρόπους επιτέλεσης καθηκόντων και οργάνωσης ανθρώπων προς πρακτικούς στόχους» (στο ίδιο, 15). Επιπλέον, σύμφωνα με την άποψή τους, «οι λύσεις του προβλήματος της γνώσης είναι ενσωματωμένες σε πρακτικές λύσεις του προβλήματος της κοινωνικής οργάνωσης, ενώ οι διαφορετικές έμπρακτες λύσεις του προβλήματος της κοινωνικής οργάνωσης συμπυκνώνουν αντιθετικές έμπρακτες λύσεις του προβλήματος της γνώσης» (στο ίδιο).

Μπορούμε να διατυπώσουμε με απλό τρόπο την κεντρική θέση του *Ο Λεβιάθαν και η αντλία κενού*. Με ποιο τρόπο η επιστήμη και το κοινωνικό της πλαίσιο συγκροτούνται από κοινού στο έργο του Χομπς και του Μπόυλ; Όπως σωστά επισημαίνει ο Λατούρ, το ερώτημα που θέτουν οι Σάπιν και Σάφερ δεν αφορά το πώς ο Μπόυλ τοποθετεί στο κοινωνικό πλαίσιο της Αγγλίας εκείνης της εποχής την ιδεολογία του σχετικά με τη μαρτυρία «γεγονότων» που παράγονται πειραματικά στην αντλία του, αλλά μάλλον το πώς ο Χομπς και ο Μπόυλ κατασκευάζουν από κοινού «μία επιστήμη *και* ένα πλαίσιο *και* ένα διαχωρισμό μεταξύ αυτών των δύο» (Latour 1990, 147). Με άλλα λόγια, οι Σάπιν και Σάφερ επιχειρούν να δείξουν ότι ο Μπόυλ έχει μία επιστήμη *και* μία θρησκευτική πολιτική, και ότι ο Χομπς έχει μία πολιτική θεωρία *και* μία επιστήμη. Επιπλέον, ο Μπόυλ επινοεί ένα *τέχνημα*, το εργαστήριο, έναν ειδικό χώρο όπου μπορεί κανείς να γίνει μάρτυρας πειραματικών γεγονότων τα οποία παράγονται στο κενό της αντλίας του· ο Χομπς ομοίως επινοεί ένα *τέχνημα*, το Κράτος ή τον Λεβιάθαν, στα πλαίσια του οποίου οι πολίτες αντιπροσωπεύονται διά του κοινωνικού συμβολαίου. Κατά τους Σάπιν και Σάφερ, αυτές οι επινοήσεις αποτελούν τις δύο όψεις του ίδιου νομίσματος· επιστήμη και κοινωνικό πλαίσιο ταυτίζονται. Στην πραγματικότητα, πρόκειται για την επινόηση του σύγχρονου κόσμου. Πρέπει να γίνουμε σαφείς σχετικά με τις επιπτώσεις αυτών των ισχυρισμών. Οι Σάπιν και Σάφερ ισχυρίζονται, βεβαίως, ότι το να κάνεις επιστήμη αποτελεί κοινωνική δραστηριότητα που διαδραματίζεται στα πλαίσια ενός θεσμοθετημένου πλαισίου το οποίο διέπεται από κοινωνικούς γνώμονες και πρακτικές. Κανένα πρόβλημα μέ-

χρι εδώ. Πράγματι, από μόνος του αυτός ο ισχυρισμός είναι τετριμμένος. Ωστόσο, οι δύο συγγραφείς εκφέρουν και άλλους, πιο σημαντικούς και αμφιλεγόμενους ισχυρισμούς. Αυτοί καθίστανται περισσότερο προφανείς στο ακόλουθο απόσπασμα:

> Ούτε η επιστημονική γνώση μας, ούτε η συγκρότηση της κοινωνίας μας, ούτε οι παραδοσιακές αποφάνσεις σχετικά με τη διασύνδεση μεταξύ της κοινωνίας μας και της γνώσης μας εκλαμβάνονται πλέον ως δεδομένα. Όσο περισότερο αναγνωρίζουμε το συμβατικό και τεχνητό καθεστώς των μορφών διά των οποίων γνωρίζουμε, τόσο δημιουργούμε τις προϋποθέσεις για να συνειδητοποιήσουμε ότι εμείς, και όχι η πραγματικότητα, είμαστε υπεύθυνοι για ό,τι γνωρίζουμε. Η γνώση, όπως ακριβώς και το κράτος, συνιστά παράγωγο των ανθρώπινων πράξεων (1985, 344).

Το απόσπασμα αυτό φανερώνει την πεποίθηση των συγγραφέων για την άμεση σχέση που υφίσταται μεταξύ του τρόπου με τον οποίο παράγεται η γνώση και του κοινωνικοπολιτικού πλαισίου, στο εσωτερικό του οποίου αυτή παράγεται. Πράγματι, το πειραματικώς παραγόμενο γεγονός θεωρείται κοινωνική κατασκευή, «ένα τέχνημα της επικοινωνίας και όλων των κοινωνικών μορφών που θεωρούνται απαραίτητες για τη στήριξη και την ενίσχυση της επικοινωνίας» (στο ίδιο, 25). Παρ' όλα αυτά, ωστόσο, τα γεγονότα μπορούν να θεωρηθούν, ταυτοχρόνως, και ως γνωσιολογικά και ως κοινωνικά· γνωσιολογικά, αφού κατανοούμε καλύτερα ό,τι κατασκευάζουμε, και κοινωνικά, αφού παράγονται από εμάς κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Δεύτερον, δεδομένου ότι η επιστημονική γνώση συνιστά παράγωγο του πειραματικού τρόπου ζωής –ένα συνεργατικό αποτέλεσμα εμπρόθετης ανθρώπινης δραστηριότητας– αυτό που πρέπει να εξηγήσουμε είναι ο τρόπος με τον οποίο ενεργούμε και συμπεριφερόμαστε όταν ασχολούμαστε με τη δημιουργία γεγονότων.

Είναι, τώρα, άλλο πράγμα να υπογραμμίζουμε τις κοινωνικές, τεχνηματικές και συμβατικές όψεις που χαρακτηρίζουν την εμπρόθετη παραγωγή επιστημονικής γνώσης, και τελείως άλλο να ισχυριζόμαστε ότι οι επικυρωμένες επιστημονικές γνώσεις μας έχουν να κάνουν τελικά με εμάς, τα γνωρίζοντα υποκείμενα, και όχι με καταστάσεις πραγμάτων στη φύση. Ο ισχυρισμός, άρα, ότι ένα επιστημονικό γεγονός δεν είναι παρά μία κοινωνική κατασκευή, παράγωγο ειδικών μορφών ανθρώπινης δραστηριότητας, χρειάζεται περισσότερη επιχειρηματολόγηση από όση παρέχουν οι Σάπιν και Σάφερ. Ακριβέστερα, οι δύο συγγραφείς δεν οριοθετούν ποτέ με σαφήνεια τη διάκριση μεταξύ ενός πειραματικά δημιουργημένου *γεγονότος* και της υποκείμενης αιτιακής πραγματικότητας που ευθύνεται για την εμφάνιση αυτού του «γεγονικού συμβάντος» στα πλαίσια της πειραματικής διάταξης. Εκτός αυτού, η ανάλυσή τους δείχνει να στηρίζεται σε ένα περίεργο ολίσθημα επιχειρηματολογίας. Ενώ ξεκινούν από το απολύτως νόμιμο μεθοδολογικό ερώτημα του τρόπου λειτουργίας της επιστήμης *μέσα* στην κοινω-

νία, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η επιστήμη συνιστά λειτουργία *της* κοινωνίας, ότι η επιστημονική γνώση *είναι* απλώς μία κοινωνική κατασκευή που οφείλει να αποδοθεί στην κοινωνική δράση. Αλλά δεν έχουμε το δικαίωμα να περνάμε από μεθοδολογικές προκείμενες σε οντολογικά συμπεράσματα (δες Παράγραφο 4.14). Είναι σαν να ισχυριζόμαστε ότι οι ιδιότητες που για μεθοδολογικούς λόγους επιλέγουμε να εξετάσουμε (επειδή μόνο αυτές μπορούν να τύχουν ποσοτικής και γεωμετρικής πραγμάτευσης), είναι και οι μόνες πραγματικές ιδιότητες των φυσικών φαινομένων.

Ως μία επιπλέον ένδειξη του αναγωγικού χαρακτήρα της μεθοδολογίας των Σάπιν και Σάφερ μπορούμε να θεωρήσουμε την εκ μέρους τους σιωπηρή αποδοχή οντολογικών παραδοχών. Προϋποθέτουν ότι το να μιλά κανείς για την «κοινωνική πραγματικότητα» δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα, και ότι οι κοινωνικές εξηγήσεις δεν ενέχουν επερωτήσιμες παραδοχές όσον αφορά την κοινωνία. Προκρίνουν, με άλλα λόγια, την κοινωνία έναντι της φύσης: αυτό που βρίσκεται «εκεί έξω» είναι η κοινωνία και όχι η φύση. Αλλά η ανάλυση των προσώπων και των πράξεών τους εισάγει πρόσθετες κατηγορίες. Η θεώρηση των προσώπων υπό οποιαδήποτε συλλογικότητα προϋποθέτει κριτήρια που δεν ανάγονται στα ίδια τα πρόσωπα, θεωρούμενα ως άτομα. Γρήγορα εμφανίζονται όροι όπως κοινωνικές τάξεις, μορφές ζωής, ενδοκοινοτική αλληλεπίδραση κ.λπ., κάθε ένας από τους οποίους συνιστά κατασκευή ή τέχνημα της ανάλυσης, χωρίς κανένας να είναι αναγώγιμος στη βασική οντολογία προσώπων και πράξεων. Οι συγγραφείς έχουν επίγνωση του γεγονότος ότι έχουν να κάνουν με κατασκευές, αλλά τις θεωρούν εγγυημένες ακριβώς επειδή αναφέρονται σε πρόσωπα, ομάδες και αλληλεπιδράσεις ομάδων. Θα μπορούσε, ενδεχομένως, να υποστηρίξει κανείς ότι κάθε γνώση των εαυτών μας ως δρώντων κοινωνικών παραγόντων θεμελιώνεται στους κοινωνικούς και πολιτικούς χώρους που εμείς οι ίδιοι δημιουργούμε· είναι όμως άλλο πράγμα να ισχυρισθούμε ότι η επιστημονική γνώση δεν είναι τίποτε περισσότερο από μία κοινωνική κατασκευή που προσιδιάζει σε ειδικές μορφές και πρότυπα ανθρώπινης δραστηριότητας.

Δεν πρέπει να μας ξαφνιάζει, λοιπόν, το γεγονός ότι οι Σάπιν και Σάφερ ισχυρίζονται επιπλέον ότι οι σημαντικές επιστημονικές αλλαγές πρέπει να εξηγούνται αποκλειστικά με κοινωνικούς όρους, και ότι οι μόνες πραγματικά ιστορικές εξηγήσεις είναι αυτές που ανάγουν τα διάφορα συμβάντα στο κοινωνικοπολιτικό τους πλαίσιο. Υποστηρίζουν, έτσι, ότι η άνοδος της πρώιμης νεότερης επιστήμης και η άνοδος της νέας κοινωνικής οργάνωσης κατά τον δέκατο έβδομο αιώνα δεν είναι απομονώσιμα συμβάντα. Και τα δύο συνιστούν εκδήλωση της ίδιας διαδικασίας, συγκεκριμένα μία νέα λύση του προβλήματος της οργάνωσης: «Οι λύσεις του προβλήματος της γνώσης είναι λύσεις του προβλήματος της κοινωνικής οργάνωσης» (Shapin and Schaffer 1985, 332). Οι συγγραφείς εκλαμβάνουν ως αδιαμφισβήτητο το γεγονός ότι «[υφίσταται] μια βαθιά και σημαντική σχέση μεταξύ των μορφών ζωής της πειραματικής φυσικής επιστήμης και των πολιτικών μορφών των φιλελεύθερων και πλουραλιστικών κοινωνιών» (στο ίδιο,

343). Για άλλη μία φορά εμπνέονται εδώ από την αντίληψη του Βιτγκενστάιν, σύμφωνα με την οποία η γλώσσα αποτελεί *τη* δραστηριότητα που δομεί κάθε άλλη μορφή δραστηριότητας. Αλλά αυτή καθ' εαυτή η εν λόγω αντίληψη δεν μας επιτρέπει να ισχυρισθούμε ότι η επιλογή ενός επιστημονικού λόγου είναι, ταυτοχρόνως, και απάντηση στο πώς είναι ο κόσμος και απάντηση στο πώς πρέπει να μιλά η επιστημονική κοινότητα. Οι Σάπιν και Σάφερ, ωστόσο, το υπαινίσσονται σαφώς. Σίγουρα, οι λόγοι δημιουργούν «πραγματικότητες». Ωστόσο, παραμένει ανοικτό το ερώτημα εάν οι πρακτικές που παράγουν επιστημονική γνώση είναι εξ ολοκλήρου και κατά μη αναγώγιμο τρόπο κοινωνικές και γλωσσικές. Επιπλέον, οι γλωσσικές και κοινωνικές συνάφειες δεν συνιστούν εξηγήσεις, παρά μόνον από τη στιγμή που αυτές οι συνάφειες –αιτιακές ή άλλες– θα αναλυθούν επαρκώς.

Επιπροσθέτως, τα προβλήματα επικαθορισμού δεν πρέπει να υποεκτιμώνται στα πλαίσια των διάφορων εξηγητικών εγχειρημάτων. Οι δύο συγγραφείς δεν κατορθώνουν να πραγματευθούν με πληρότητα αυτά τα ζητήματα. Συχνά γράφουν ως εάν οι αλλαγές της κοινωνικής και της επιστημονικής τάξης να προέρχονται από μία κοινή αιτία, ποτέ όμως δεν απομονώνεται και δεν προσδιορίζεται η φύση αυτής της κοινής αιτίας. Άλλες φορές γράφουν ως εάν οι αλλαγές στην κοινωνική και την επιστημονική τάξη να παράγονται ταυτοχρόνως. Αυτή η εικόνα είναι συμβατή με το «ισχυρό πρόγραμμα» της κοινωνικής θεωρίας και κληρονομεί τις δυσκολίες του. Σε κάθε περίπτωση, δύσκολα αποσπά κανείς την άμεση συγκατάθεση υποστηρίζοντας ότι η εξήγηση τόσο της ανάδυσης της σύγχρονης επιστήμης, όσο και της ανόδου της νέας οργάνωσης του Δυτικού πολιτισμού, έγκειται στο σχηματισμό μιας νέας πολιτικής συγκρότησης στην Αγγλία της Παλινόρθωσης, όπως κάνουν οι δύο συγγραφείς. Σίγουρα, ο σχηματισμός του «πειραματικού τρόπου ζωής» ως της διεπόμενης από κανόνες πράξης της «*κοινωνικής* μαρτυρίας» γεγονότων που επιτελούνται στον κατασκευασμένο *κοινωνικό* χώρο του εργαστηρίου, προϋποθέτει ορισμένους τύπους θεσμών και πρακτικών που προσιδιάζουν στις κοινωνικές μορφές της Αγγλίας του δέκατου έβδομου αιώνα. Επ' αυτού οι Σάπιν και Σάφερ έχουν δίκιο. Το κατά πόσον όμως η ιστορική μέθοδός τους είναι καθολικά εφαρμόσιμη όσον αφορά την εξήγηση της παραγωγής γνώσεων στις ιδιαίτερες συνθήκες άλλων κοινωνικών και ιστορικών περιόδων είναι, στην καλύτερη περίπτωση, αμφιλεγόμενο.

4.14 ΠΡΟΣ ΜΙΑ ΑΝΘΡΩΠΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ: Η ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΙΟΚΡΑΤΙΑ

Ας στραφούμε τώρα στην κοινωνική κατασκευασιοκρατία ως μία ακόμα προοπτική επί της επιστημονικής αλλαγής. Έχουμε ήδη θίξει εμμέσως αυτόν τον προσανατολισμό, όταν συζητούσαμε τη Σχολή του Εδιμβούργου και το έργο των Σάπιν και Σάφερ. Θα ήταν καλό, όμως, να εξετάσουμε απευθείας την κατασκευ-

ασιοκρατία, και ειδικά τη μορφή που παίρνει στο ανθρωπολογικό πλαίσιο στο οποίο τον τοποθετεί η πρόσφατη βιβλιογραφία.

Στην ισχυρότερη διατύπωσή της η κατασκευασιοκρατία ισχυρίζεται ότι δεν υπάρχουν καθαρά και κοινωνικώς αμόλυντα επιστημονικά γεγονότα· υπάρχουν όμως κοινωνικά γεγονότα – γεγονότα σχετικά με την ύπαρξη των κατασκευών που ονομάζουμε «επιστημονικά γεγονότα». Ο ισχυρισμός αυτός επιδέχεται δύο ερμηνείες: (1) ότι οι επιστημονικές θεωρίες και οι ερμηνευτικές εφαρμογές τους επί εμπειρικών στοιχείων είναι κοινωνικά φορτισμένες, στο βαθμό που κάθε τέτοια εφαρμογή επιτελείται μέσα σε ένα κοινωνικά οργανωμένο πλαίσιο· ή (2) ότι οι επιστημονικές θεωρίες και τα επιστημονικά γεγονότα συγκροτούνται αποκλειστικά από κοινωνικές κατασκευές. Σύμφωνα με αυτήν την τελευταία άποψη, δεν υπάρχουν γεγονότα «εκεί έξω», ανεξάρτητα από τις κοινωνικές κατασκευές, γεγονότα στα οποία οι εν λόγω κατασκευές αναφέρονται. Η πρώτη ερμηνεία είναι καλοήθης, η δεύτερη όχι.

Στο βιβλίο τους *Η ζωή του εργαστηρίου (Laboratory Life*, 1986), οι Λατούρ και Γούλγκαρ (S. Woolgar) τείνουν να αμβλύνουν τη διάκριση μεταξύ αυτών των δύο ερμηνειών. Ξεκινούν με τη μεθοδολογική παραδοχή ότι τα γεγονότα παράγονται τοπικά και κοινωνικά, μέσω της ελεγχόμενης διαπλοκής των οργάνων του εργαστηρίου. Πρόκειται για μία αρκετά εύλογη ανθρωπολογική παραδοχή. Δυστυχώς, έχουν την τάση να παραβλέπουν τη διάκριση μεταξύ των γεγονότων που κατανοούνται, παράγονται και συντηρούνται κάτω από ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες, και των υποκείμενων αιτιακών πραγματικοτήτων που ευθύνονται για αυτά τα τοπικώς και εργαστηριακώς παραγόμενα γεγονότα. Προσφάτως, ωστόσο, ο Λατούρ αναγνώρισε τη σημασία που έχει η διατήρηση αυτής της διάκρισης (1990, 149).

Αξίζει να σταματήσουμε για λίγο εδώ και να πραγματευθούμε τη διάκριση μεταξύ αυτού που συγκροτείται *από* τις εργαστηριακές πρακτικές μας και αυτού στο οποίο μπορούμε να αναφερθούμε *διά* αυτών των πρακτικών. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η επιστήμη ενοικεί στις πρακτικές της και ότι ποτέ δεν μπορεί να υπερβεί το δίκτυο αυτών των πρακτικών. Σε τελευταία ανάλυση, αυτό που κατανοούμε ως αλήθεια και πραγματικότητα δεν μπορεί παρά να προκύπτει μέσα από τις πρακτικές μας και να καθίσταται κατανοητό και χρήσιμο σε μας μέσω των στόχων και των γνωμόνων που καθοδηγούν αυτές τις πρακτικές. Παρ' όλα αυτά, όμως, αυτό στο οποίο μπορούμε να αναφερθούμε κατά την επιστημονική μας δραστηριότητα *δεν εξαρτάται* από τις επιστημονικές πρακτικές μας, όσο κι αν η ικανότητα επιτέλεσης τέτοιων αναφορών *εξαρτάται* από αυτές. Με άλλα λόγια, από το γεγονός ότι δεν μπορούμε να έχουμε πρόσβαση στις διάφορες επιστημονικές οντότητες χωρίς τη μεσολάβηση των πρακτικών μας δεν συνάγεται το συμπέρασμα ότι αυτές οι οντότητες *συγκροτούνται* από τις εν λόγω πρακτικές. Πρόκειται για έναν πλανεμένο συμπερασμό, ο οποίος ωστόσο συχνά διαπράττεται εμμέσως στην κατασκευαστική φιλολογία (δες τους Σάπιν και Σάφερ στην Παράγραφο 4.13). Εν ολίγοις, η πραγματικότητα και η αλήθεια συνιστούν κατα-

σκευές οι οποίες εξαρτώνται από τις συμβάσεις και τους κανόνες ενός πολιτισμού, όπως ακριβώς οι κατηγορίες «θηλυκό» και «αρσενικό». Αλλά όπως ακριβώς είναι ανεξάρτητη από τις πρακτικές μας η πραγματικότητα ως προς την οποία η κατασκευή «αρσενικό» ορισμένες φορές είναι αληθής, δηλαδή το βιολογικό αρσενικό, έτσι και αυτό που είναι αληθές και πραγματικό είναι ανεξάρτητο από τις κατασκευές «αλήθεια» και «πραγματικότητα»· με άλλα λόγια, αυτό ως προς το οποίο η αλήθεια αληθεύει δεν εξαρτάται από τις πρακτικές μας. Για να το πούμε αλλιώς, οι τρόποι με τους οποίους κατανοούμε την αλήθεια (επί παραδείγματι, το ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξηγητικά) δεν πρέπει να συγχέονται με την ικανότητά μας να εκφέρουμε, και συχνά να δικαιολογούμε, ισχυρισμούς σχετικά με ό,τι *υπάρχει* τόσο στο πλαίσιο της καθημερινής εμπειρίας, όσο και σ' αυτό της επιστημονικής θεωρητικοποίησης (δες Horwich 1990). Σ' αυτό το σημείο, οι πραγματιστές μπορούν να συμφωνήσουν με τους μη πραγματιστές.

Μία εκλεπτυσμένη μορφή κατασκευασιοκρατίας βρίσκουμε στους Λατούρ και Γούλγκαρ (1986). Μ' έναν αρκετά πειστικό τρόπο, αυτοί επιχειρούν να αντιμετωπίσουν το επιστημονικό εργαστήριο σαν να ήταν ένας θεσμός στα πλαίσια ενός ξένου επιστημονικού πολιτισμού. Πιο συγκεκριμένα, θεωρούν ότι εξασκούν τη μεθοδολογία μιας «ανθρωπολογίας της επιστήμης», η οποία αποσκοπεί στην ανακάλυψη του τρόπου με τον οποίο οι «πραγματικότητες της επιστημονικής πρακτικής μπορεί να μετασχηματισθούν σε αποφάνσεις σχετικά με τον τρόπο που έχει επιτελεσθεί η επιστήμη» (στο ίδιο, 29). Δυστυχώς, κάνοντάς το, διαπράττουν το προπατορικό αμάρτημα της ανθρωπολογίας – τον πολιτιστικό ιμπεριαλισμό. Πράγματι, συνιστά ύβριν το να εισβάλλεις σε έναν ξένο πολιτισμό, για τον οποίο ισχυρίζεσαι ότι δεν γνωρίζεις τίποτα, να παίρνεις ένα μεμονωμένο συμβάν της πιο ταξινομητικής επιστήμης –της βιολογίας– και να προχωράς στη διάλυση ολόκληρου του επιστημονικού πολιτισμού, καταδεικνύοντας ότι αυτό στην πραγματικότητα δεν αποτελεί παρά ένα ψευδαισθητικό είδωλο του δικού σου γλωσσικού πολιτισμού. Είναι σαν να περιγράφεις τη μαγεία των ιθαγενών ως κακή επιστήμη, ή το ξέφωτο ανάμεσα στις αχυροκαλύβες τους σαν να πρόκειται για γηπέδα του Ήτον.

Οι Λατούρ και Γούλγκαρ ισχυρίζονται βεβαίως ότι η ανθρωπολογική προοπτική τους επί της επιστήμης «συνεπάγεται ένα βαθμό αναστοχασμού τον οποίο κατά κανόνα δεν εμφανίζουν οι περισσότερες μελέτες της "επιστήμης"» (στο ίδιο, 30). Υποστηρίζουν, με άλλα λόγια, ότι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν κατά τη μελέτη των εργαστηριακών πρακτικών είναι ανάλογες μ' αυτές που χρησιμοποιούν όσοι εξασκούν αυτές τις επιστημονικές πρακτικές. Στο πιο πρόσφατο έργο τους, τόσο ο Λατούρ, όσο και ο Γούλγκαρ, απορρίπτουν αυτήν την απλοϊκή αντίληψη του απλοϊκού ανθρωπολόγου-παρατηρητή ο οποίος, παρόλο που αγνοεί τη γλώσσα και τα ήθη τής υπό εξερεύνηση περιοχής, την υποτάσσει σε μία ξένη μεταγλώσσα (Latour 1987, Woolgar 1988).

Παρ' όλα αυτά, στα πλαίσια του ανειλημμένου ρόλου τους ως ανθρωπολόγων-παρατηρητών, οι Λατούρ και Γούλγκαρ (1986) αντιμετωπίζουν το εργαστήριο του

Σωλκ (Salk) ως ένα διευρυμένο «κείμενο» που εκδηλώνει ένα ευρύ φάσμα γλωσσικών πρακτικών και χρησιμοποιεί τεχνικές επινοήσεις ως «συσκευές εγγραφών». Ως «εγγραφές» εννοούνται εδώ όχι μόνο γλωσσικά ενεργήματα, όπως η γραφή, αλλά κάθε μορφής ίχνη, κηλίδες ή σημεία σε οθόνες ή κλίμακες, ιστογράμματα, καταγραμμένοι αριθμοί, φάσματα, κορυφές σε διαγράμματα κ.λπ. Μία «συσκευή εγγραφής» είναι ένας μηχανισμός που χρησιμοποιείται έτσι ώστε να παρέχει κάποιας μορφής συμβολική έξοδο. Έτσι, ένας μηχανισμός που «μετασχηματίζει υλικά αντικείμενα σε γραπτά ντοκουμέντα» (στο ίδιο, 51) αποτελεί μία «συσκευή εγγραφής». Άρα τέτοια συσκευή είναι «κάθε στοιχείο μηχανισμού, ή ειδικός σχηματισμός τέτοιων στοιχείων, που μπορεί να μετασχηματίσει μία υλική ουσία σε ένα σχέδιο ή διάγραμμα, άμεσα χρησιμοποιήσιμο από το προσωπικό του χώρου δουλειάς» (στο ίδιο). Έτσι, «συσκευή εγγραφής» μπορεί να είναι μία κλίμακα σε ένα μηχανισμό εάν αυτή παρέχει πληροφορίες για ένα νέο συστατικό, μία μηχανή εάν ζυγίζει κάτι, μία συσκευή ελέγχου εάν χρησιμοποιείται για να επαληθεύσει έναν χειρισμό. Εν ολίγοις, ένας μηχανισμός χρησιμοποιείται ως «συσκευή εγγραφής» όταν χρησιμοποιείται στα πλαίσια ενός επιχειρήματος, όπως αυτό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή ενός διαγράμματος βιοπροσδιορισμού.

Ακολουθώντας αυτήν την κατεύθυνση, οι Λατούρ και Γούλγκαρ αναπτύσσουν μια γλωσσολογικά εκλεπτυσμένη μορφή κατασκευασιοκρατίας. Αντιμετωπίζοντας το εργαστήριο ως τόπο μίας δραστηριότητας που συμπεριλαμβάνει επικοινωνία, πειθώ καθώς και τη χρήση μηχανισμών ως «συσκευές εγγραφής», επικεντρώνουν την ανθρωπολογική τους έρευνα στα κοινωνιολογικά και γλωσσικά χαρακτηριστικά των εργαστηριακών δραστηριοτήτων. Το εργαστήριο παρουσιάζεται ως ένα «σύστημα γλωσσικής εγγραφής, ένα από τα αποτελέσματα του οποίου είναι η διαδικασία με την οποία περιστασιακά πείθονται οι άλλοι ότι κάτι συνιστά γεγονός» (1986, 105). Ποιο όμως είναι το καθεστώς του γεγονότος περί του οποίου αυτοί πείθονται; Θα μπορούσε κανείς να σκεφθεί ότι ένα γεγονός είναι κάτι που καταγράφεται σε κάποιο επιστημονικό όργανο, κάτι που «ούτε έχει συγκροτηθεί κοινωνικά, ούτε διαθέτει μία προσίδια ιστορία συγκρότησης» (στο ίδιο).

Οι Λατούρ και Γούλγκαρ θεωρούν ότι αυτή η αντίληψη αστοχεί ως προς την προέλευση των γεγονότων, και προτίθενται να διερευνήσουν τον τρόπο με τον οποίο ο λόγος περί γεγονότων φαίνεται «να σβήνει τις κοινωνικές και ιστορικές περιστάσεις από τις οποίες εξαρτάται η συγκρότηση ενός γεγονότος» (στο ίδιο). Αυτό μοιάζει αρκετά αβλαβές. Οι δύο συγγραφείς, όμως, υπόκεινται σε περισσότερες δεσμεύσεις από τον προφανή ισχυρισμό ότι τα γεγονότα είναι κοινωνικά και γλωσσικά συγκροτημένα δυνάμει των κατευθυνόμενων δραστηριοτήτων της εργαστηριακής έρευνας. Ισχυρίζονται ότι τα γεγονότα *είναι* κοινωνικές κατασκευές. Αυτή η δέσμευση διατυπώνεται κατά μη αμφιλεγόμενο τρόπο στο ακόλουθο απόσπασμα:

> Σ' αυτό το εργαστήριο προσιδιάζουν οι εξειδικευμένοι σχηματισμοί μη-

> χανισμών που έχουμε ονομάσει συσκευές εγγραφής. Η βασική σημασία αυτής της υλικής διάταξης έγκειται στο γεγονός ότι κανένα από τα φαινόμενα «περί των οποίων» κάνουν λόγο όσοι συμμετέχουν στο εργαστήριο δεν θα μπορούσε να υπάρξει χωρίς αυτήν. Χωρίς έναν βιοπροσδιορισμό, επί παραδείγματι, δεν θα μπορούσαμε να πούμε ότι μία ουσία υπάρχει. Ο βιοπροσδιορισμός δεν είναι απλώς ένα μέσο πρόσβασης σε μία ανεξαρτήτως δεδομένη οντότητα· ο βιοπροσδιορισμός αποτελεί τη συγκρότηση της ουσίας. Δεν είναι ότι τα φαινόμενα απλώς *εξαρτώνται* από κάποια υλική διάταξη οργάνων· τα φαινόμενα είναι *εξ ολοκλήρου συγκροτημένα* από την υλική διάταξη του εργαστηρίου. Η τεχνητή πραγματικότητα, την οποια οι συμμετέχοντες σ' αυτό περιγράφουν με όρους αντικειμενικής ύπαρξης, στην πραγματικότητα είναι κατασκευασμένη διά της χρήσεως των συσκευών εγγραφής. (στο ίδιο, 64).

Κατά συνέπεια, τα φαινόμενα και τα αντίστοιχα γεγονότα δεν παραπέμπουν σε μια πραγματικότητα ανεξάρτητη από κάθε θεωρία, αλλά συστήνονται και συγκροτούνται από τις κοινωνικές και γλωσσικές διαδικασίες του εργαστηρίου. Πράγματι, οι διάφορες ουσίες δεν μπορούν να θεωρηθούν ότι υπάρχουν ανεξάρτητα από σύνθετους σχηματισμούς, όπως ένας βιοπροσδιορισμός, οι οποίοι επιγεννώνται (supervene) επί όσων παρουσιάζουν οι συσκευές εγγραφής. Τα γεγονότα, λοιπόν, κάθε άλλο παρά είναι αντικειμενικές πραγματικότητες που ανακαλύπτονται· αυτά συγκροτούνται από τις μεθοδολογίες των συσκευών εγγραφής. Παρ' όλα αυτά, οι Λατούρ και Γούλγκαρ προσπαθούν απεγνωσμένα να αρνηθούν ότι τα γεγονότα συνιστούν απλώς τεχνητά προϊόντα της κοινωνικής και γλωσσικής πρακτικής. Θέλουν να συμφιλιώσουν τις δύο όψεις της σημασίας του όρου «γεγονός», σύμφωνα με τις οποίες:

1. ο όρος «γεγονός» παραπέμπει σε κάτι που «έχει γίνει» ή έχει κατασκευασθεί· και
2. «ο όρος «γεγονός» αναφέρεται σε κάποια ανεξαρτήτως υπάρχουσα οντότητα η οποία, δυνάμει του ότι υπάρχει «εκεί έξω», δεν μπορεί να τροποποιηθεί κατά βούληση και δεν υπόκειται σε αλλαγή κάτω από κάθε περίσταση» (στο ίδιο, 175. Δες επίσης σ. 84 και 87).

Οι δύο συγγραφείς ισχυρίζονται κατ' επανάληψη ότι δεν είναι αντιρρεαλιστές, με την έννοια ότι αρνούνται την ύπαρξη των ουσιών και των φαινομένων που τους αντιστοιχούν· τους αποδίδουν, αντιθέτως, αντικειμενική ύπαρξη, αλλά μόνον *ως* κατασκευές. Πώς μπορεί να υποστηριχθεί μία τέτοια άποψη; Και πώς μπορεί, από τη μία μεριά, να ισχυρισθεί κανείς ότι τα γεγονότα δεν είναι ανεξάρτητα από τους τρόπους συγκρότησής τους, και, από την άλλη, να αρνείται ότι είναι απλώς τεχνητά;

Όπως οι ίδιοι γράφουν, «*δεν ισχυριζόμαστε απλώς ότι τα γεγονότα είναι κοινωνι-*

κά κατασκευασμένα. Θέλουμε να δείξουμε επίσης ότι η διαδικασία κατασκευής τους ενέχει τη χρησιμοποίηση ορισμένων συσκευών, διά των οποίων τα ίχνη της παραγωγής τους καθίστανται εξαιρετικά δύσκολα ανιχνεύσιμα» (στο ίδιο, 176· η υπογράμμιση είναι των συγγραφέων). Ισχυρίζονται, ειδικότερα, ότι μια σημαντική αντιστροφή μεταξύ των αποφάνσεων και των αντικειμένων τους λαμβάνει χώρα κάποια στιγμή στα πλαίσια της διαλεκτικής της επιστήμης. Στα πρώιμα στάδια αυτής της διαλεκτικής, υπάρχουν μόνον αποφάνσεις ή γλωσσικές ανταλλαγές μεταξύ επιστημόνων, δηλαδή συμφωνίες και διαφωνίες. Επιπλέον, οι συνθήκες συγκρότησης αυτών των αποφάνσεων είναι προδήλως ορατές, και μοιάζουν απαραίτητες για την πειθώ. Από τη στιγμή, ωστόσο, που θα διαδοθεί ευρέως η συμφωνία στα πλαίσια της κοινότητας, η συμπερίληψη αυτών των συνθηκών ως μέσων πειθούς δεν είναι πλέον απαραίτητη· στην πραγματικότητα, μοιάζει να απειλεί το καθεστώς αυτών των αποφάνσεων που μοιάζει με αυτό γεγονότων. Από τη στιγμή αυτή, το αντικείμενο μίας απόφανσης αποκτά δική του ζωή. Είναι σαν «η απόφανση να έχει προβάλει μια τεχνητή εικόνα του εαυτού της, έξω από την ίδια την απόφανση» (στο ίδιο). Όλο και περισσότερη πραγματικότητα αποδίδεται κατόπιν σ' αυτό στο οποίο αναφέρεται η απόφανση, και όλο και λιγότερη στην ίδια την απόφανση. «Ως αποτέλεσμα, συμβαίνει μια αντιστροφή: το αντικείμενο εμφανίζεται ως ο λογος για τον οποίο διατυπώθηκε αρχικά η απόφανση» (στο ίδιο). Εάν η λειτουργία της γλωσσικής εγγραφής είναι η εξασφάλιση πειθούς εκ μέρους των αναγνωστών, με τρόπο ώστε να πεισθούν αυτοί πληρέστερα όταν όλες οι μορφές πειθούς έχουν εξαφανισθεί, τότε «το προϊόν της συγκρότησης ενός γεγονότος εμφανίζεται ως μη συγκροτημένο από κανέναν· το ανεπίγνωστο αποτέλεσμα της ρητορικής διαδικασίας *πειθούς* είναι ότι όσοι μετέχουν σε αυτήν είναι πεπεισμένοι ότι η πεποίθησή τους δεν είναι αποτέλεσμα πειθούς» (στο ίδιο, 240). Σύμφωνα με αυτήν την άποψη, πράγματι, οι διάφορες κοινωνικές και γλωσσικές δραστηριότητες που υποβαστάζουν το επιχείρημα, και οι οποίες εκλαμβάνονται τελικά από τους συμμετέχοντες ως άσχετες προς τα «γεγονότα», ταυτίζονται με τις συνθήκες που συνιστούν και προξενούν τη «γεγονική» ποιότητα μίας δεδομένης απόφανσης.

Τα γεγονότα είναι, λοιπόν, επιφαινομενικές προβολές των κατασκευαστικών τεχνικών που τα δημιουργούν, και η «αντικειμενικότητά» τους είναι λειτουργία της διαλεκτικής αντιστροφής που χαρακτηρίζει την επιστημονική πρακτική. Σε ορισμένους, και ειδικά στους ενεργούς επιστήμονες, μπορεί τα πράγματα να φαίνονται διαφορετικά. Λησμονώντας την «κατασκευαστική» διαδικασία που συστήνει τη «γεγονικότητα», οι επιστήμονες και οι αναγνώστες τους συχνά επανακάμπτουν ασυνειδήτως στην αντίληψη που θέλει τα γεγονότα να υπάρχουν «εκεί έξω», και την ύπαρξή τους να αποκαλύπτεται μέσω των τεχνικών της επιστημονικής ανακάλυψης. Πρόκειται όμως για μια ψευδαίσθηση, επιμένουν οι Λατούρ και Γούλγκαρ, μια ψευδαίσθηση που οφείλεται στο γεγονός ότι οι αποφάνσεις τις οποίες η επιστημονική συναίνεση επικυρώνει ως «αποφάνσεις γεγονότων» διακινούνται από μόνες τους αφού έχουν καταστεί αόρατες από και-

ρό οι διαδικασίες που τις συγκρότησαν. Ο ισχυρισμός των δύο συγγραφέων συμβαδίζει με μία θέση, ευρέως διαδεδομένη στα πλαίσια της κοινωνιολογίας της γνώσης, σύμφωνα με την οποία η γνώση είναι και κοινωνικά συγκροτημένη και κοινωνικά εντοπισμένη. Πράγματι, η αφήγησή τους παραπέμπει στη διαδικασία αντικειμενοποίησης (την πραγμοποίηση, δηλαδή τη διαδικασία που «καθιστά πραγματικό» το αντικείμενο της συγκροτημένης γνώσης) και στη διαδικασία εσωτερικοποίησης (το ασυνείδητο υλικό υπόβαθρο της γνωσιολογικής άποψης την οποία παρέχει η αντικειμενοποιημένη γνώση). Έτσι, η δομή των γεγονότων που βρίσκονται «εκεί έξω», είτε σε τοπική κλίμακα, είτε σε συμπαντική, απηχεί τη δομή του νου μας ακριβώς επειδή εμείς τα έχουμε βάλει εκεί (Berger and Luckmann 1967). Αυτό από μόνο του αποτυγχάνει να εκτοπίσει την αντίληψη που θέλει τον ίδιο τον ανθρώπινο νου αναπόσπαστο μέρος και παράγωγο της φυσικής τάξης των πραγμάτων.

Είναι άλλο πράγμα να υπογραμμίζει κανείς τις κοινωνικές, τεχνηματικές και συμβατικές όψεις που χαρακτηρίζουν την εμπρόθετη παραγωγή επιστημονικής γνώσης, και άλλο να ισχυρίζεται ότι η έγκυρη επιστημονική γνώση και η αναφορά στη «γεγονική ποιότητα» των συναινετικών αποφάνσεων έχουν να κάνουν, σε τελευταία ανάλυση, με τις δραστηριότητες των υποκειμένων της επιστημονικής γνώσης και όχι με καταστάσεις πραγμάτων στη φύση. Η ταύτιση των δύο συνιστά παραπλανητικό ολίσθημα του συλλογισμού. Οι Λατούρ και Γούλγκαρ ξεκινούν με ένα απολύτως εύλογο μεθοδολογικό ερώτημα: με ποιο τρόπο παράγεται η επιστημονική γνώση *μέσα* στη γνωσιακή κοινότητα του εργαστηρίου; Καταλήγουν όμως στο συμπέρασμα ότι η εν λόγω γνώση δεν είναι *παρά* συνάρτηση των ειδικών γλωσσικών και κοινωνικών πρακτικών της κοινότητας, ότι τα επιστημονικά γεγονότα *είναι* κοινωνικές κατασκευές και πρέπει να αποδίδονται στην κοινωνική δραστηριότητα. Ξεκινώντας από μεθοδολογικές προκείμενες σχετικά με την ανθρώπινη συμπεριφορά, δεν μπορούμε να συναγάγουμε οντολογικά συμπεράσματα για το τι συμβαίνει στη φύση. Αυτό ισοδυναμεί με τη σύγχυση του *πώς* παράγεται η γνώση με *αυτό στο οποίο* αναφέρεται η γνώση. Με άλλα λόγια, πρόκειται για μία έκφανση της πλάνης που συζητήσαμε προηγουμένως: τη μετατόπιση από τη διαπίστωση της εξάρτησης της γνώσης από τις πρακτικές στον ισχυρισμό ότι τα αντικείμενα αυτής της γνώσης είναι συγκροτημένα από αυτές τις πρακτικές.

Αλλά για τους Λατούρ και Γούλγκαρ, το να μιλά κανείς για τη «γεγονική» ποιότητα των επιστημονικών αποφάνσεων ισοδυναμεί με το να μιλά *για* διαπλεκόμενα *νοήματα* στον κοινωνικό χώρο του επιστημονικού λόγου. Πράγμα που σημαίνει ότι η επιστημονική «γεγονικότητα» είναι μία κατασκευή που προκύπτει από την ερμηνευτική δραστηριότητα της διαπλοκής νοημάτων μέσω θεωρητικής ενοποίησης. Έτσι όμως συσκοτίζεται μία σημαντική διάκριση. Είναι σίγουρο ότι συγκροτούμε διαπλεκόμενα νοήματα όταν ενοποιούμε κατά ερμηνευτικό τρόπο τις εγγεγραμμένες οντότητες που εμφανίζονται σε εργαστηριακούς μηχανισμούς. Ωστόσο, οι διατάξεις των υπό ερμηνεία σημείων και κηλί-

δων δεν συνιστούν νοήματα αυτές καθ' εαυτές. Επιπλέον, αυτές οι διατάξεις σημείων δεν *οφείλονται* στην έμπρακτη διασύνδεση των νοημάτων. Οφείλονται στα υποκείμενα φαινόμενα, των οποίων οι ιδιότητες αντανακλώνται στις διατάξεις αυτές. Οι Λατούρ και Γούλγκαρ θέλουν να επαναδιατυπώσουν το «εννοιολογικό» καθεστώς αυτών των σχέσεων. Υποστηρίζουν, πράγματι, ότι μπορούμε να χειρισθούμε τα φυσικά αντικείμενα, στα οποία συμπεριλαμβάνονται και τα ζωντανά συστήματα, σαν να ήταν «ένυλα λεξικά» (1986, 48). Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να χειρισθούμε κάθε υλικό πράγμα που μπορεί να ονομασθεί, να κωδικοποιηθεί και να καταγραφεί, μέσω των γλωσσικών αναπαραστάσεών του. Ας πάρουμε, για παράδειγμα, ποντίκια στα οποία ενίεται με σύριγγα κάποιο υγρό. Σ' αυτήν την περίπτωση, «ένυλο λεξικό» είναι η καταγραφή της συμπεριφοράς τους μετά την ένεση. Με δεδομένο τον προσανατολισμό των Λατούρ και Γούλγκαρ, η αντιμετώπιση των πραγμάτων «*σαν* να ήταν ένυλα λεξικά» κινδυνεύει να ολισθήσει στον ισχυρισμό ότι «τα πράγματα *είναι* ένυλα λεξικά». Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι αναλογίες καθίστανται ταυτότητες και, γενικότερα, οι αιτίες τείνουν να συγχωνευθούν με τα συμπεριφορικά αποτελέσματά τους, ενώ τα πράγματα ταυτίζονται με τις ιδιότητές τους.

Το κρίσιμο σημείο είναι το εξής: δεν πρέπει να συγχέονται οι αιτίες, τα νοήματα και τα αποτελέσματα. Πράγμα που ισχύει ακόμα περισσότερο στην περίπτωση αποτελεσμάτων που προκύπτουν διά της χρήσεως εκλεπτυσμένων εργαστηριακών τεχνικών. Εδώ, αναμφισβήτητα, οι επιστήμονες κωδικοποιούν στο γλωσσικό και θεωρητικό επίπεδο σχέσεις μεταξύ οντοτήτων εγγεγραμμένων σε κάποια συσκευή· αλλά μέσω αυτών των κωδικοποιημένων μηνυμάτων οι επιστήμονες είναι επιπλέον σε θέση να παρεισφρέουν και να παρεμβαίνουν γνωσιακά και δημιουργικά στη φύση. Αυτό δεν σημαίνει ότι οι θεωρητικές οντότητες υπάρχουν εκεί έξω, περιμένοντας να τις ανακαλύψει κάποιος. Πολλά επιστημονικά αποτελέσματα δεν θα υπήρχαν χωρίς την παρέμβαση κάποιου τύπου εργαστηριακής συσκευής· ωστόσο αυτά υπάρχουν, και είναι πραγματικά, γιατί έχουν να κάνουν με τον κόσμο, έστω και μόνο με τον περιορισμένο κόσμο του εργαστηρίου, και όχι με τις γλωσσικές μας συμβάσεις. Πράγμα που σημαίνει ότι ορισμένες οντότητες είναι εν μέρει ανεξάρτητες από κάθε θεωρία, και ότι οι επιστημονικές θεωρίες λένε κάτι γι' αυτές. Αυτό, βέβαια, δεν σημαίνει ότι κάθε οντότητα που τίθεται ως ανεξάρτητη από τη θεωρία υπάρχει – όπως, επί παραδείγματι, το θερμογόνο. Σημαίνει, όμως, ότι πολλές οντότητες διατηρούνται και επιδέχονται πειραματικό χειρισμό πολύ καιρό μετά την απόρριψη των θεωριών που πρώτες τις εισήγαγαν και τις διαχειρίστηκαν. Συνεπώς, ο τοπικός ρεαλισμός όσον αφορά τις επιστημονικές οντότητες είναι εγγενώς εύλογος.

Η αναφορά σε αιτίες, πράγματα και ιδιότητες παραπέμπει στο θεμελιώδες ζήτημα που εγείρει το πρόγραμμα των Λατούρ και Γούλγκαρ. Οι δύο συγγραφείς υποστηρίζουν την ισχυρή θέση ότι μία αλλαγή στη κατασκευή *συνιστά* και αλλαγή στα ίδια τα φαινόμενα. Ας θυμηθούμε ότι το επιχείρημά τους μπορεί να συνοψιστεί διά του ισχυρισμού ότι δεν υπάρχουν επιστημονικά γεγονότα, υπάρχουν

όμως κοινωνικά γεγονότα – δηλαδή γεγονότα που αφορούν την ύπαρξη των κατασκευών που ονομάζουμε «επιστημονικά γεγονότα». Πράγμα που ισοδυναμεί με έναν οντολογικό ισχυρισμό, ανάλογο μ' αυτόν των κοινωνικών ρεαλιστών. Οι τελευταίοι εκλαμβάνουν ως κυριολεκτικώς αληθείς ορισμένες αποφάνσεις που αναφέρονται σε κοινωνικά γεγονότα, οντότητες ή ιδιότητες, και θεωρούν ότι αυτές ενέχουν αυθεντική οντολογική δέσμευση (δες Ruben 1985, Κεφάλαιο 2 και Papineau 1978, Κεφάλαιο 1). Παραδείγματος χάριν, ένας κοινωνικός ρεαλιστής θα υποστήριζε ότι η πεποίθηση «η Σκωτία ανήκει στο Ηνωμένο Βασίλειο» είναι κυριολεκτικώς αληθής και ότι δεν υπάρχουν υποψήφιες οντότητες, κοινωνικές ή μη, στις οποίες θα μπορούσαν να αναχθούν τα κοινωνικά επιμέρους «Σκωτία» και «Ηνωμένο Βασίλειο». Έτσι, οι κοινωνικοί ρεαλιστές επιχειρούν να δείξουν ότι ορισμένοι κοινωνικοί παράγοντες δεν είναι αναγώγιμοι, ότι δηλαδή δεν υπάρχουν υποψήφιες οντότητες με τις οποίες αυτοί θα μπορούσαν να ταυτοποιηθούν αναγωγικά. Παραδείγματα τέτοιων αναγωγικών ταυτοποιήσεων συνιστούν οι απόπειρες ταύτισης νοητικών καταστάσεων με καταστάσεις του εγκεφάλου ή με τύπους συμπεριφοράς, ηθικών ιδιοτήτων με φυσικές ιδιότητες, αριθμών με σύνολα συνόλων, της γνώσης με δικαιολογημένη αληθή πεποίθηση και των φυσικών αντικειμένων με δέσμες αισθητηριακών δεδομένων. Από τη στιγμή που οι Λατούρ και Γούλγκαρ υποστηρίζουν μία ισχυρή οντολογική θέση, συγκεκριμένα ότι τα επιστημονικά γεγονότα δεν είναι παρά αντικειμενικές κοινωνικές κατασκευές, οφείλουν να δικαιολογήσουν *οντολογικά* αυτήν τη θέση, ώστε να αποφύγουν το οντολογικό διφορούμενο που υπεισέρχεται στη ρητορική χρήση που επιφυλάσσεται στο «γεγονός». Οφείλουν, λοιπόν, να παραθέσουν μία μη κυκλική ανάλυση, η οποία να καταδεικνύει ότι κάθε φορά που κάνουμε λόγο για ένα «επιστημονικό γεγονός» *υπάρχει* ένα κατάλληλο «κοινωνικό γεγονός» το οποίο αποτελεί την αναγκαία και ικανή συνθήκη του πρώτου. Το «αναγκαία και ικανή συνθήκη» σημαίνει ότι το εν λόγω «επιστημονικό γεγονός» *δεν μπορεί να υπάρξει* χωρίς την ύπαρξη του κατάλληλου «κοινωνικού γεγονότος» και αντιστρόφως. Η απαιτούμενη τροπικότητα είναι ισχυρή. Είναι μεταφυσική (και όχι γνωσιολογική ή μεθοδολογική), στο βαθμό που ισχυρίζεται ότι δεν υπάρχει κανένα *δυνατό* «επιστημονικό γεγονός» το οποίο να μην μπορεί να ταυτοποιηθεί κατά αναγωγικό τρόπο με κάποιο «κοινωνικό γεγονός» (Ruben, 1985, 5-7). Αυτές οι απαιτήσεις πρέπει να αντιμετωπισθούν, αλλιώς η κοινωνική κατασκευασιοκρατία θα παραμείνει μία καλοήθης *μεθοδολογική* θέση (με οντολογική μεταμφίεση), η οποία θα ισχυρίζεται απλώς ότι *δεν μας χρειάζονται* τα «επιστημονικά γεγονότα» δεδομένου ότι οι γνωσιακές μας ικανότητες μπορούν να έχουν πρόσβαση μόνο σε κοινωνικά και γλωσσικά κατασκευασμένες οντότητες. Έτσι, ελλείψει ενός άμεσου οντολογικού επιχειρήματος, οι Λατούρ και Γούλγκαρ δεν μπορούν να στηρίξουν τον ισχυρισμό τους ότι «τα φαινόμενα είναι *εξ ολοκλήρου κατασκευασμένα* από την υλική διάταξη του εργαστηρίου», έτσι ώστε μία αλλαγή στην εν λόγω κατασκευή να συνεπιφέρει αλλαγές τόσο των αντίστοιχων φαινομένων, όσο και της γνώσης μας γι' αυτά.

4.15 Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΩΣ ΠΡΑΚΤΙΚΗ

Όλες οι προσεγγίσεις που συζητήθηκαν μέχρι στιγμής στρέφονται γύρω απο τις διάφορες συσχετίσεις των κατηγοριών «θεωρία», «μέθοδος» και «εμπειρικά τεκμήρια»: η αποδεκτή άποψη υπογραμμίζει τις ελαχιστοποιημένες παρατηρησιακές αποφάνσεις που συνυφαίνονται με εμπειρικά τεκμήρια και τις αισθήσεις· η νέα φιλοσοφία της επιστήμης επικεντρώνεται στα παραδείγματα και στις θεωρίες και τις μεθόδους που αυτά καθοδηγούν· η κοινωνική θεωρία τονίζει την κατασκευή των γεγονότων και τους τύπους κοινωνικής συναίνεσης που δικαιολογούν την αποδοχή τους. Η πιο πρόσφατη βιβλιογραφία, ωστόσο, φέρνει στο προσκήνιο άλλες κατηγορίες: επιστημονική πρακτική, ακροατήριο και πλαίσιο της επιστήμης, πειραματικά και τεχνολογικά δίκτυα καθώς και συντελεστές [actants] σε αντίθεση με παράγοντες [agents] (πρόκειται για την άποψη που ισχυρίζεται ότι η διάκριση μεταξύ ανθρώπων και πραγμάτων δεν έχει σχέση με το πλαίσιο επιτέλεσης της επιστήμης). Πέραν αυτών, πολλές από τις παραδοσιακές διακρίσεις που αντιπαρέβαλλαν εσωτερικές γνωσιακές καταστάσεις με εξωτερικά αντικείμενα της γνώσης καταρρίπτονται, συμπαρασύροντας τις φαινομενικά κομψές φιλοσοφικές διχοτομίες στις οποίες έδιναν λαβή.

4.16 ΟΙ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Η αντίληψη ότι η επιστήμη καθοδηγείται από την πρακτική, και όχι από τη θεωρία ή την παρατήρηση, έχει σημαντικές επιπτώσεις στη θεώρηση της επιστημονικής αλλαγής. Ο ισχυρισμός ότι η πρακτική είναι κομβική για την κατανόηση της επιστήμης βρίσκεται στα κείμενα των Χάιντεγκερ (Heidegger, [1927] 1962, Τμήμα 2, Μέρος 4), Μπασελάρ (1984) και Πολάνυϊ (Polanyi, 1974). Επίσης, ο Μπουρντιέ (Bourdieu, 1977) έχει προτείνει μία ανάλυση της εν γένει πρακτικής και των διάφορων επιμέρους πρακτικών που γνώρισε σημαντική απήχηση, ενώ ο Χάκινγκ (Hacking, 1983) έχει υποστηρίξει ότι ο πειραματισμός έχει δική του ζωή, ανεξάρτητη από τη θεωρία. Ωστόσο, μόνο κατά τα τελευταία χρόνια η πρακτική κατέλαβε κεντρική θέση στα κείμενα τόσο των φιλοσόφων όσο και των ιστορικών της επιστήμης. Πολλή δουλειά έχει γίνει πάνω στις δραστηριότητες των τεχνικών του εργαστηρίου, τις πρακτικές πειραματισμού, τις πρακτικές των θεωρητικών και τις πρακτικές που σχετίζονται με τις τεχνικές εφαρμογές της επιστήμης, για να αναφέρουμε λίγες μόνο από τις σχετικές περιοχές έρευνας. Οι συγγραφείς που ασχολούνται με αυτά τα θέματα δεν δέχονται ότι *κάθε* πρακτική είναι φορτισμένη με θεωρία ή ότι η πειραματική πρακτική είναι απλώς μεταμφιεσμένη θεωρία. Ως εκ τούτου, αρνούνται τόσο τις εμπειριστικές προσεγγίσεις της επιστήμης, οι οποίες θέτουν την καθαρή (αδιαμεσολάβητη από πειραματικές πρακτικές) παρατήρηση δεδομένων ως βάση για την επιλογή θεωριών,

όσο και τις προσεγγίσεις που αποδίδουν την πρωτοκαθεδρία στη θεωρία, ισχυριζόμενες ότι οι πειραματικές πρακτικές δομούνται ως επί το πλείστον μέσω της φόρτισης των παρατηρήσεων με θεωρία. Επιπλέον, τοποθετούν αποφασιστικά την επιτέλεση της επιστήμης και τα προϊόντα της στους πολιτισμικούς τόπους όπου αυτά τα φαινόμενα παράγονται, υποβαστάζονται και αναπτύσσονται. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο προσανατολισμός τους αποκλίνει από τις μικροκοινωνιολογικές έρευνες, σαν και αυτές των Λατούρ και Γούλγκαρ, στο μέτρο που υπερβαίνει το μεμονωμένο εργαστήριο για να συμπεριλάβει τα ποικίλα πολιτισμικά δίκτυα της μεταβαλλόμενης επιστημονικής πρακτικής. Πράγματι, δίνοντας σημασία στις πραγματικές διαδικασίες διά των οποίων παράγεται η επιστημονική γνώση (αντί να στηρίζονται στις διάφορες *εικόνες* της επιστήμης που προσφέρει η ειδικευμένη και η εκλαϊκευτική φιλολογία περί επιστήμης) επιχειρούν να ανασυγκροτήσουν τα περίπλοκα δίκτυα δεξιοτήτων, ικανοτήτων, διαπραγματεύσεων, πεποιθήσεων ή διανοητικών και υλικών αποθεμάτων από τα οποία αναδύονται οι σταθεροί σχηματισμοί της επιστημονικής πρακτικής.

Για όλους αυτούς που υπογραμμίζουν τη διαδραστική δυναμική της πρακτικής, η προτεραιότητα πρέπει να δοθεί στη συλλογική διάστασή της και όχι στην ατομική. Στο βαθμό που η επιστήμη βασίζεται στις δεξιότητες, τα δίκτυα και το εργαστήριο, όπως πιστεύουν, αυτή είναι εντοπίσιμη κάπου μεταξύ των ατόμων που την εξασκούν και των υλικών, πολιτισμικών και γνωσιακών δικτύων στα οποία τα άτομα αυτά ενοικούν. Επιπλέον, οι Πίκερινγκ (Pickering, 1984), Γκάλισον (Galison, 1987), Χολμς (Holmes, 1985) και Χαλ (1988) υπογραμμίζουν εκείνες τις μη γλωσσικές τεχνικές και τους διάφανους μηχανισμούς αντιγραφής που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες και οι οποίοι παίζουν κεντρικό ρόλο στη διαδικασία κατασκευής θεωριών. Σε ένα τέτοιο γενικό πλαίσιο, η επιστημονική κατανόηση συνιστά ένα «γνωρίζω-πώς» (know-how), μία υπόθεση «αίσθησης» του πώς πηγαίνουν τα πράγματα, πρακτικού συλλογισμού που αποβλέπει σε επιθυμητά αποτελέσματα, με δυο λόγια ορισμένων προδιαθέσεων τις οποίες αδυνατεί να συλλάβει η θεώρηση της κατανόησης ως «γνωρίζω-ότι» (know-that), το οποίο εκφράζεται αφηρημένα μέσω λεκτικών, αναπαραστατικών και προτασιακών σχέσεων. Οι εν λόγω συγγραφείς επισημαίνουν επίσης τη συγκρότηση κοινών ερευνητικών πολιτισμών και δικτύων που τυποποιούν βασικά γενικά σχήματα ικανοτήτων τα οποία υπερβαίνουν τα όρια των μεμονωμένων εργαστηρίων όπου έχουν κάνει την εμφάνισή τους.

Η κατάταξη όσων ασκούν την επιστήμη σε τρεις κατηγορίες, στους τεχνικούς, στους πειραματιστές και στους θεωρητικούς, διευκρινίζει ακόμα περισσότερο αυτόν τον προσανατολισμό. Γίνεται σήμερα όλο και περισσότερο σαφές ότι, εάν θέλουμε να κατανοήσουμε πληρέστερα τη φύση της επιστημονικής γνώσης και το χαρακτήρα της επιστημονικής πρακτικής, δεν μπορούμε πλέον να αντιμετωπίζουμε ως διαφανή την εργασία των τεχνικών και ως αόρατες τις δραστηριότητες και τους ρόλους τους. Η διαφάνεια όσων ασκούν τις διάφορες τεχνικές που ενέχονται στη συνολική επιστημονική διαδικασία οφείλεται σε

μεγάλο βαθμό στην καθιερωμένη συνήθεια να διακρίνουμε μεταξύ των θεματοφυλάκων της τεχνικής γνώσης μέσα στο εργαστήριο (τους οποίους έτσι αναγορεύουμε σε αυθεντίες) και όσων είναι καταρτισμένοι για απλούς χειρισμούς – τους τεχνικούς. Αυτός ο διαχωρισμός τείνει να συσκοτίζει τη συμβιωτική σχέση που υφίσταται μεταξύ επιστημόνων και τεχνικών, όπως επίσης και τους διάφορους τρόπους με τους οποίους οι οργανωτικές δομές των μεμονωμένων εργαστηρίων αξιολογούν και επιμερίζουν τη σημασία αυτών των δύο ομάδων κατά την επιτέλεση της εργαστηριακής γνώσης. Βέβαια, όσο αντιμετωπίζουμε τη σημασία του έργου των τεχνικών με μόνο γνώμονα τις δραστηριότητες όσων συγχρωτίζονται άμεσα με τη θεωρία και με τη θεωρητικά κατευθυνόμενη πρακτική, η σημασία αυτή σε ό,τι αφορά τη συνεχή διαδικασία συγκρότησης και ελέγχου της επιστημονικής γνώσης θα παραμένει εν πολλοίς άγνωστη. Ταυτόχρονα, θα περνά απαρατήρητο ένα σημαντικό στοιχείο συνέχειας κατά την επιστημονική αλλαγή. Το ίδιο απαρατήρητη θα περνά και η πλήρης σημασία της μετατόπισης, αντικατάστασης, ανακατανομής και αναδιοργάνωσης των δεξιοτήτων, καθώς και η συνεχής διαδικασία διά της οποίας η ανθρώπινη δεξιότητα αντικαθίσταται από αποτελεσματική τεχνολογία. Μία αποτίμηση αυτών των στοιχείων φωτίζει με διαφορετικό φως το ζήτημα της επιστημονικής αλλαγής.

Οι πειραματικές πρακτικές είναι επίσης σε θέση να διαφωτίσουν τη συνεχή δραστηριότητα της επιστήμης και της επιστημονικής αλλαγής. Οι περισσότερες προσεγγίσεις της πειραματικής πρακτικής επικεντρώνονται σε μεγάλο βαθμό στο συνολικό πλαίσιο και υπογραμμίζουν τη συμβίωση των πρακτικών, των τεχνικών, των αρθρωμένων λόγων και των εννοιών. Επιπλέον, τέτοιες προσεγγίσεις εκτείνονται από μικροκοινωνιολογικές σπουδές, όπως η *Ζωή του εργαστηρίου*, μέχρι ολοκληρωμένες απόπειρες περιγραφής των διάφορων επιστημονικών πολιτισμών, των αμοιβαίων επιδράσεών τους και των σχέσεών τους με τους ευρύτερους πολιτισμούς στο εσωτερικό των οποίων υπάρχουν. Εκτός αυτού, η σχετική βιβλιογραφία επιχειρεί να διασαφηνίσει τη συνεχή αλληλεπίδραση μεταξύ θεωρίας και πρακτικής, και ταυτόχρονα να στοχαστεί το γεγονός ότι κάθε μία διαθέτει τη σχετική αυτονομία της σε διαφορετικά επίπεδα εκφοράς λόγων.

Η αυτονομία της πρακτικής τεκμηριώνεται καλά στη μελέτη του Φρέντερικ Χολμς (1985) για τον Λαβουαζιέ [Lavoisier]. Εκεί αποδεικνύει ότι η συνεχής πειραματική πρακτική δεν καθοδηγείται υποχρεωτικά από την αναγκαιότητα ελέγχου ρητά διατυπωμένων θεωριών. Ένα μεγάλο μέρος της εργαστηριακής εργασίας του Λαβουαζιέ, αντί να έχει καθοδηγηθεί από τη θεωρία, εξελίχθηκε ως η εκδίπλωση μίας αφήγησης που διεπόταν περισσότερο από κανονιστικές παρά από λογικές αρχές. Μόνο μετά την επίλυση των προβλημάτων που έθεταν οι ερευνητικοί του στόχοι, εμφανίσθηκε η θεωρία ως η απαραίτητη επαληθευτική παρουσία που θα συνέδεε τις ποικίλες πειραματικές αφηγήσεις σε μία συνεκτική θεωρητική δομή. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο αναπτύσσεται η κατάλληλη ατμόσφαιρα για το διάλογο μεταξύ θεωρίας και πρακτικής.

Ας σημειωθεί πόσο η τοποθέτηση του Χολμς διαφέρει από τη δυναμική του

εργαστηρίου που περιγράφουν οι Λατούρ και Γούλγκαρ. Το μοντέλο των τελευταίων είναι αυτό του ανταγωνισμού: η προσωπικότητα, η ένταξη σε θεσμούς, η βαθμολογική κατάταξη του ερευνητή, η φύση της έρευνας, τα κεφάλαια για τη συνέχισή της κ.λπ., μετρούν τόσο όσο η ισχύς των επιχειρημάτων, η αποτελεσματικότητα των πειστηρίων και το ύφος της συλλογιστικής. Με άλλα λόγια, ο ριζικά συγκυριακός χαρακτήρας του παιγνιδιού εξουσίας και η συγκυριακή αποτελεσματικότητα της πειθούς θεωρούνται οι κύριοι παράγοντες της επιστημονικής αλλαγής (δες Latour 1987).

Ο Άντριου Πίκερινγκ υποστηρίζει (1984) ότι η συμβίωση πρακτικών και θεωριών καθοδηγείται από συμφέροντα που δομούνται στη βάση των ορατών ευκαιριών. Από μία άποψη, η εκ μέρους του έμφαση στα συμφέροντα θυμίζει τη σχολή του Εδιμβούργου. Ωστόσο, ο Πίκερινγκ εστιάζει την προσοχή του στις συμβιωτικές σχέσεις θεωρητικών και πειραματιστών. Σύμφωνα με την άποψή του, κάθε μία από αυτές τις πρακτικές αποβλέπει στην ενίσχυση της άλλης. Η εργασία της μίας ομάδας δικαιολογεί την εργασία της άλλης, και αντιστρόφως. Οι πειραματιστές εκλεπτύνουν διαρκώς τα διάφορα πειραματικώς παραχθέντα φαινόμενα, έχοντας κατά νου τα ενδιαφέροντα των θεωρητικών που θα αξιοποιήσουν τη δουλειά τους. Από την άλλη πλευρά, οι θεωρητικοί προσαρμόζουν τις δικές τους πρακτικές στα φαινόμενα που παράγουν οι πειραματιστές. Οι δύο ομάδες συνεισφέρουν αμοιβαίως στη σύγκλιση των παραδόσεων δημιουργώντας αυτάρκη και αυτοαναφορικά πλαίσια αναπτυσσόμενων πρακτικών. Κατά την άποψη του Πίκερινγκ, τις κατευθύνσεις της επιστημονικής πρακτικής δεν τις επιβάλλει κάποιος φυσικός κόσμος που προσλαμβάνεται κατά αντικειμενικό τρόπο, αλλά οι ευκαιρίες που οι δρώντες παράγοντες της επιστήμης διαβλέπουν σχετικά με την επέκταση των θεωρητικών και πειραματικών συμφερόντων τους. Ο Χαλ (1988) αποσαφήνισε πολλές από τις όψεις της επιστημονικής πρακτικής τις οποίες ανέλυσαν οι Πίκερινγκ, Γκάλισον και Χολμς. Συγκεκριμένα, ανέπτυξε ένα εξελικτικό μοντέλο για τη διαδικασία επιλογής που συνιστά η επιλογή θεωριών και η επιστημονική ανάπτυξη. Το μοντέλο του είναι επαρκώς γενικό ώστε να συλλαμβάνει τόσο την κοινωνική όσο και την εννοιολογική αλλαγή, ενώ παραμένει ευαίσθητο στα δεδομένα των δικών του ερευνών χωρίς να είναι κενό εμπειρικά. Ο Χαλ σε καμία περίπτωση δεν αντιτίθεται στην επιστημονική πεποίθηση σύμφωνα με την οποία οι πρακτικές της επιστήμης μπορούν να επιδράσουν αμοιβαίως, και πράγματι επιδρούν, με τις αιτιακές δυνάμεις του μη ανθρώπινου κόσμου.

Σημαντική είναι και η η αντίληψη του τι σημαίνει να ασκεί κανείς μία θεωρία. Δεν πρόκειται απλώς για το ζήτημα του πώς κατανοούμε την τυπική έκφραση μίας θεωρίας στα διάφορα εγχειρίδια, αλλά για τη διαδικασία μέσα από την οποία υιοθετούμε και μεταδίδουμε έμπρακτα τις νοητικές τεχνολογίες που επιζητούν οι εφαρμογές της θεωρίας σε συγκεκριμένα πλαίσια επίλυσης προβλημάτων. Αυτές οι νοητικές τεχνολογίες ενσωματώνονται σε γενικά σχήματα δεξιοτήτων που είναι παρόντα κατά την ίδια τη σύλληψη και την επίλυση των προ-

βλημάτων. Τέτοιου τύπου τεχνικές δεν εμπεριέχονται στη δημοσιευμένη βιβλιογραφία που αφορά τη θεωρία, αλλά μαθαίνονται, ασκούνται και μεταβιβάζονται κατά τον τρόπο των μαστόρων και των μαθητευόμενων μίας συντεχνίας.

Η αναφορά στις δραστηριότητες μίας συντεχνίας εγείρει το ζήτημα της σχέσης μεταξύ παράδοσης και καινοτομίας, μεταξύ της απλής άσκησης και της περαιτέρω ανάπτυξης των πρακτικών. Είναι προφανές ότι η άσκηση των επιστημονικών πρακτικών συνιστά εμπρόθετη δραστηριότητα που αποσκοπεί τόσο στην επέκταση της εμβέλειας των πρακτικών, όσο και στην περαιτέρω ενεργοποίηση των ενεχόμενων αξιών τους. Οι επιτυχείς πρακτικές διαθέτουν ιστορία και είναι φορείς των παραδόσεων που τις διαμορφώνουν. Έτσι, οι πρακτικές ενσωματώνουν τόσο τις παραδόσεις που τις καθοδηγούν, όσο και τις δημιουργικές τροποποιήσεις που οι τελευταίες επιδέχονται, καθώς ενεργοποιούνται όλο και περισότερες από τις ενεχόμενες αξίες τους. Είναι προφανές ότι δεν υφίσταται μία απλή συγκυριακή σχέση μεταξύ παράδοσης και καινοτομίας, αλλά μία σχέση που συνδέει εσωτερικά τις παραδόσεις με τις πρακτικές τους και με τις καινοτομίες που προκύπτουν από την άσκησή τους.

Σύμφωνα με αυτήν την οπτική γωνία, οι διαδρομές που ακολουθούν οι θεωρίες είναι αδιαχώριστα συνδεδεμένες με τις πειραματικές τεχνικές και τεχνολογίες. Προκύπτει έτσι μία εικόνα σύμφωνα με την οποία οι θεωρίες δεν λειτουργούν ως Πλατωνικά παραδείγματα, αλλά ως επινοήσεις που καθοδηγούν την πειραματική σκέψη και ενεργοποιούν την επιστημονική πείρα. Κάθε φορά που μία θεωρία ασκείται μέσα σε ένα πειραματικό περιβάλλον, αυτή αποκτά έκφραση μέσω των ανθρώπινων πρακτικών και των τεχνολογιών που τις υποστηρίζουν. Όπως ακριβώς οι γνώμονες που διέπουν τις διάφορες πρακτικές επιδιώξεις τροποποιούνται όταν προσαρμόζονται σε μεταβαλλόμενες καταστάσεις, έτσι και οι θεωρίες, όπως εκφράζονται μέσω των πειραματικών πρακτικών, τροποποιούνται διά της προσαρμογής τους στα συμβάντα που παράγονται και εντοπίζονται μέσα στο εργαστήριο. Η επιστημονική αλλαγή, λοιπόν, μέσα στο εργαστηριακό πλαίσιό της, έγκειται σε μία σταθερή αλληλεπίδραση μεταξύ του τόπου όπου παράγονται τα πειραματικά συμβάντα, των μέσων με τα οποία αυτά παράγονται και της σημασίας αυτού που παράγεται. Σύμφωνα με αυτήν την άποψη, τη σημασία των πειραματικών πρακτικών εγγυάται εν μέρει η θεωρία που συνεισφέρει στην καθοδήγησή τους. Η σημασία αυτή κοινοποιείται διά της αφηγηματικής έκθεσης όλων όσων συντελούν στην επιτέλεση ενός πειράματος, τον τόπο του πειραματισμού για παράδειγμα, το σχεδιασμό και την αξιοπιστία των οργάνων και τον τρόπο με τον οποίο επιτελέστηκε το πείραμα. Η αφήγηση, ωστόσο, δεν πρέπει να συγχέεται με το ίδιο το πείραμα. Στο πλαίσιο της πειραματικής πρακτικής, η επιστημονική αλλαγή και η παραγωγή επιστημονικής γνώσης εμφανίζονται υπό ένα πρίσμα που διαφέρει από αυτό που παρουσιάζει η καθιερωμένη βιβλιογραφία. Εδώ, διάφορες συγκυριακές δυνάμεις συνεργούν για να καταρρακώσουν κάθε κατάλοιπο της ψευδαίσθησης που αποδίδει αναγκαία στον άνθρωπο-ερευνητή μία γνωσιακώς αξιόπιστη πρόσβαση στην πραγματικότητα.

Η σύνθετη δομή της σύγχρονης έρευνας επιβάλλει πρωτοφανείς απαιτήσεις στην κατανόηση της επιστημονικής αλλαγής. Κατά την επιτέλεση της εργαστηριακής επιστήμης, μέσα στο εξαιρετικά τεχνοποιημένο και εργαλειοποιημένο πλαίσιό της, ο ανθρώπινος ρόλος πολύ δύσκολα μπορεί να διακριθεί μέσα στην επαγγελματική, τεχνική και θεσμική δομή στην οποία είναι εμφυτευμένος. Ο Λατούρ (1987) επινόησε τον όρο «συντελεστής» για να αναφερθεί σ' αυτό το χαρακτηριστικό της σύγχρονης επιστήμης όσον αφορά την επιτέλεσή της. Πρόκειται για μία έννοια που τέμνει τη διχοτομία μεταξύ του συλλογικού και του ατομικού και, κατ' αυτόν τον τρόπο, μοιάζει να αποφεύγει τις κοινωνιολογικές προκαταλήψεις που υφίστανται στην κοινωνικά προσανατολισμένη έρευνα της επιστήμης. Η έννοια αυτή, ωστόσο, έχει επιπτώσεις και στην ίδια την κατηγορία της «επιστημονικής αλλαγής» καθώς, εάν δεχθούμε ότι δεν υφίσταται κατ' αρχήν διάκριση μεταξύ του ανθρώπινου και του μη ανθρώπινου κατά την παραγωγή των επιστημονικών γνώσεων, έπεται ότι τα αξιολογικά κριτήρια αλλαγής, επιστημονικής ή άλλης, είναι κατά συστηματικό τρόπο ανοικτά σε νέες εννοιολογικές επεξεργασίες.

4.17 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Το πρόβλημα της εξήγησης της επιστημονικής αλλαγής έχει πολλά παρακλάδια. Οι προσεγγίσεις που εξετάσθηκαν εδώ κρύβουν δυσκολίες. Οι θεωρητικοί της «σφαιρικής» τοποθέτησης προωθούν κατηγορίες που υπερπροσδιορίζονται σε σχέση με τις λεπτομέρειες των πραγματικών περιπτώσεων επιστημονικής αλλαγής. Οι θεωρητικοί της κοινωνικής προσέγγισης, από την πλευρά τους, είναι προσηλωμένοι σε μεθοδολογίες που τείνουν να αναγάγουν την επιστημονική αλλαγή σε μία προτιμητέα βάση. Και αυτοί επίσης θέλουν να ξαπλώσουν την αλλαγή στο κρεβάτι κάποιου Προκρούστη. Όλοι έχουν κάτι κοινό: υποστασιοποιούν, δηλαδή προκρίνουν μία προοπτική εις βάρος κάθε άλλης. Επιπλέον, όπως μας υπενθυμίζει ο θετικισμός, έχουμε πάντα να αντιμετωπίσουμε την πρόκληση που αντιπροσωπεύει η διασταύρωση του διαχρονικού με το συγχρονικό.

Δύο παρατηρήσεις επιβάλλονται. Ποια είναι η φύση της ίδιας της επιστημονικής γνώσης; Είναι συγκροτητικά δεμένη με τα ανθρώπινα συμφέροντα, τη «θέληση για δύναμη», έτσι ώστε οι έννοιες της αλήθειας και της λογικής να συγκροτούνται αποκλειστικά σ' αυτήν τη βάση; Ή μήπως η επιστημονική γνώση «αναφέρεται» σε κάτι άλλο, πέρα από το κείμενο, τη γλώσσα και την κοινωνικά επικυρωμένη δράση; Δεύτερον, τι ρόλο παίζει η ιστορία για τις προσεγγίσεις που τοποθετούν την επιστημονική ανάπτυξη στο κοινωνικό της πλαίσιο; Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι παίζει έναν σημαντικό ρόλο, ειδικά όσον αφορά την εξιστόρηση της προέλευσης εκείνων των κρίσεων που συχνά προαναγγέλλουν την επιστημονική πρόοδο μέσα από την επιστημονική αλλαγή. Η ιστορία μίας επιστήμης, μίας θεωρίας, μίας πρακτικής ή ενός επιχειρήματος παρέχει ου-

σιώδη στοιχεία για την κατανόηση και την αξιολόγηση των διαπιστευτηρίων τους. Ετσι, μπορούμε να υποστηρίξουμε αποτελεσματικά την ανωτερότητα μιας θεωρίας καταδεικνύοντας αφηγηματικά το γεγονός ότι μέχρι στιγμής έχει ξεπεράσει τις ανταγωνίστριές της, αποφεύγοντας τις αδυναμίες τους και ενσωματώνοντας τις αρετές τους. Δεν υπάρχουν γενικοί γνώμονες που να υλοποιούνται κατά απαράλλακτο τρόπο· όπως επισήμανε ο Φαγεράμπεντ και άλλοι, αυτό που σήμερα είναι το καλύτερο, αύριο μπορεί να αποτύχει. Μπορούμε βέβαια διαρκώς να «συγκροτούμε», να «αποσυγκροτούμε», να «ρητορικοποιούμε», να «ιστορικοποιούμε», να «κοινωνικοποιούμε» και να «αναλύουμε». Επιχειρώντας όμως να αξιολογήσουμε και να κατανοήσουμε την επιστημονική αλλαγή, παραγνωρίζουμε τη διαχρονική διάσταση της ιστορίας, διατρέχοντας τους σχετικούς κινδύνους. Και αυτό γιατί είναι οι προοπτικές που ανήκουν στο υπόβαθρο της ιστορίας αυτές που θα κάνουν να αναδυθεί το παρελθόν των αλλαγών και οι κατευθύνσεις προς το μέλλον.

ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΣΥΖΗΤΗΣΙΝ

1. Από τις απόψεις που αντιμάχονται την «αποδεκτή άποψη» για την επιστημονική ανάπτυξη, διαλέξτε εκείνη που θεωρείτε περισσότερο πειστική. Με ποιο τρόπο θα μπορούσε η «αποδεκτή άποψη» να αμυνθεί απέναντί της;
2. Συζητήστε την έννοια της επιστημονικής «επανάστασης» υπό το φως των διαφορετικών προσεγγίσεων της επιστημονικής αλλαγής που παρουσιάσθηκαν.
3. Η επιστημονική κοινότητα εξακολουθεί να πιστεύει ότι οι πρακτικές της αλληλεπιδρούν με έναν μη ανθρώπινο κόσμο. Οι ρεαλιστές διατείνονται ότι μόνον η δική τους προοπτική επ' αυτής της πεποίθησης είναι σε θέση να επιληφθεί πλήρως της επιστημονικής προόδου. Σκιαγραφήστε και συζητήστε μία κατασκευαστική απάντηση στη ρεαλιστική άποψη.
4. Μπορεί να κατανοηθεί η επιστημονική καινοτομία ανεξάρτητα από τις διαχρονικές πραγματεύσεις του τρόπου με τον οποίο έχει αναπτυχθεί η επιστήμη;
5. Στο βιβλίο του *Επιστήμη και αξίες, (Science and Values*, 1984), ο Λαουντάν ισχυρίζεται ότι πρέπει να σχετικοποιήσουμε τις αξιολογήσεις της επιστημονικής προόδου ως προς τα κριτήρια και τους στόχους στους οποίους *τώρα* πιστεύουμε. Αυτό φαίνεται να αντιβαίνει στην προγενέστερη αντίληψή του, σύμφωνα με την οποία η επιστήμη προοδεύει εάν είναι αποτελεσματική στην επίλυση προβλημάτων που αντίκεινται στους στόχους και τα μέτρα της εποχής της και του πλαισίου της. Συζητήστε και αποτιμήστε αυτές τις δύο απόψεις. Είναι ασυμβίβαστες ή μήπως μπορούν να συμφιλιωθούν;
6. Διαλέξτε ένα συγκεκριμένο επιστημονικό απόσπασμα (π.χ. έναν νόμο, μία θεωρία) με το οποίο είστε εξοικειωμένοι και δείξτε εάν βελτιώνει τη θέση

του απέναντι στους ανταγωνιστές του στο ίδιο πεδίο ή απέναντι στις πεποιθήσεις που αφορούσαν τα σχετικά φαινόμενα πριν από την έλευση του. Κατά τη συζήτησή σας να λάβετε υπ' όψιν τις έννοιες του ελέγχου και της προβλεπτικής ισχύος επί της φύσης.

7. Διακρίνετε προσεκτικά την επιστημονική αλλαγή από την επιστημονική πρόοδο. Πώς σχετίζονται και σε τι διαφέρουν; Η πραγμάτευση της μίας μπορεί ταυτοχρόνως να αποτελεί πραγμάτευση και της άλλης;
8. Εξετάστε τις διαφορές ανάμεσα σε μία προσέγγιση της επιστημονικής αλλαγής που ανάγει την αλλαγή με το χρόνο στην έννοια της συνολικής και διαδοχικής *αντικατάστασης* ενός πλαισίου από ένα άλλο, από τη μία μεριά, και σε μία προσέγγιση που αντιλαμβάνεται την επιστημονική αλλαγή ως τον σταδιακό μετασχηματισμό παλαιότερων προοπτικών σε νέες προοπτικές, από την άλλη.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

FEYERABEND, PAUL (1978), *Against Method*. London: Verso Press. Προκλητική επίθεση στις αξιώσεις της επιστημονικής ορθολογικότητας και ένα αντίδοτο στην αντίληψη που θέλει την επιστημονική αλλαγή να καθοδηγείται μεθοδολογικά.

HACKING, IAN (ed.) (1981), *Scientific Revolutions*. Oxford: Oxford University Press. Συλλογή που περιέχει μία σειρά εξαιρετικών άρθρων επί διαφορετικών όψεων της επιστημονικής αλλαγής. Το εισαγωγικό δοκίμιο του Χάκιν αποτελεί περιεκτική συζήτηση των κεντρικών θεμάτων.

LATOUR, BRUNO και STEVE WOOLGAR (1986), *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. Princeton: Princeton University Press. Πρώιμη απόπειρα συγκρότησης μίας ανθρωπολογίας της επιστήμης η οποία αντιμετωπίζει την επιστημονική πρακτική και αλλαγή ως γλωσσικά φαινόμενα.

LAUDAN, LARRY (1977), *Progress and Its Problems: Toward a Theory of Scientific Growth*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press. Καλή πηγή όσον αφορά τη μετάβαση από τις παλιές στις νεότερες προσεγγίσεις της επιστημονικής αλλαγής.

Μέρος δεύτερο

Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ

Πέμπτο Κεφάλαιο

ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

John D. Norton

Η φιλοσοφία του χώρου και του χρόνου κατέχει εξέχουσα θέση στη φιλοσοφία της επιστήμης του εικοστού αιώνα. Ο Αϊνστάιν διατύπωσε τις δυο θεωρίες του για τη σχετικότητα, το 1905 την ειδική και το 1915 τη γενική, την ίδια περίπου εποχή όπου διαμορφωνόταν η νέα κίνηση στον φιλοσοφικό χώρο, ο λογικός θετικισμός και ο λογικός εμπειρισμός, που συνδεόταν με τις δραστηριότητες του Κύκλου της Βιέννης. Οι θεμελιωτές αυτού του φιλοσοφικού κινήματος –και ειδικά οι Κάρναπ, Ράιχενμπαχ και Σλικ (Schlick)– ενθουσιάστηκαν με τις εργασίες του Αϊνστάιν και αποδύθηκαν σε μια προσπάθεια να φέρουν στο φως τις φιλοσοφικές επιπτώσεις αυτών των εργασιών. Κατά συνέπεια, ορισμένες από τις πλέον σαφείς εφαρμογές των γενικότερων ιδεών τους μπορούν να βρεθούν στο πεδίο της φιλοσοφίας του χώρου και του χρόνου. Ορισμένα παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών αποτελούν αντικείμενο μελέτης του πρώτου μέρους του παρόντος κεφαλαίου. Τα παραδείγματα αυτά είναι τα εξής:

1. Η εφαρμογή του κριτηρίου της επαληθευσιμότητας στη θεωρία του Αϊνστάιν για την ειδική σχετικότητα. (Βλέπε «αρχή επαληθευσιμότητας», Κεφάλαιο 3.) Στόχος της εφαρμογής είναι η κατάσταση απολύτου ηρεμίας που περιγράφεται στη θεωρία του Νεύτωνα για το χώρο και το χρόνο (παράγραφος 5.1).
2. Ορισμένοι αντιρρεαλιστικοί ισχυρισμοί σχετικά με τη γεωμετρία του χώρου και την ταυτοχρονία απομακρυσμένων γεγονότων. (Βλέπε «ρεαλισμός», Κεφάλαιο 3.) Διατυπώνεται η άποψη ότι η γεωμετρία του χώρου επιλέγεται κατά σύμβασιν και άρα δεν αποτελεί ανακάλυψη που αφορά τη δομή τού πραγματικού κόσμου. Δηλαδή, ο ισχυρισμός είναι ότι σύμφωνα με την ειδική θεωρία της σχετικότητας το αν δυο συμβάντα που εκδηλώνονται σε διαφορετικά

σημεία του χώρου είναι ταυτόχρονα, δεν είναι δυνατό να καθοριστεί ως αντικειμενικό γεγονός αλλά αποτελεί αντικείμενο σύμβασης στο μέτρο που μεταξύ αυτών των γεγονότων δεν είναι δυνατό να εκδηλωθεί αιτιακή αλληλεπίδραση (παράγραφοι 5.2 και 5.3).

3. Η αναγωγή των χωροχρονικών σχέσεων σε σχέσεις αιτιακές σύμφωνα με την αιτιακή θεωρία του χρόνου. (Βλέπε «αναγωγή», Κεφάλαιο 8.) Διατυπώνεται η άποψη ότι όλα όσα λέμε χρησιμοποιώντας το «πριν» και το «μετά» μπορούν να αναχθούν σε μια γλώσσα που αναφέρει τι επιδρά αιτιακά πάνω σε τι (παράγραφος 5.3).

Στο δεύτερο μέρος εξετάζονται κάποια απαιτητικότερα ζητήματα. Γίνεται μια εισαγωγή στις χωροχρονικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται ευρέως αυτό τον καιρό στη φιλοσοφία του χώρου και του χρόνου. Αυτή είναι προσιτή στους αναγνώστες που δεν διαθέτουν ειδική παιδεία σε παρόμοια ζητήματα, με την έννοια ότι προϋποτίθεται πολύ λίγη προγενέστερη μαθηματική γνώση. Τα κυριότερα στοιχεία των θεωριών του χωρόχρονου παρουσιάζονται με τη βοήθεια γεωμετρικών απεικονίσεων και μεταφορών από το χώρο της φυσικής, έτσι ώστε αυτό που απαιτείται από πλευράς αναγνώστη είναι η εποπτική εξοικείωση με αυτές τις εικόνες και τις μεταφορές. Όπως θα δούμε, οι σύγχρονες αυτές μέθοδοι παρουσιάζουν από μόνες τους εξαιρετικό φιλοσοφικό ενδιαφέρον αφού περιέχουν μια μέθοδο αυτόματης διάκρισης των στοιχείων που μπορούν να επιλέγονται συμβατικά σε μια θεωρία για το χωρόχρονο από τα στοιχεία που καθορίζονται από την πραγματικότητα.

Στο τρίτο μέρος περιέχονται εφαρμογές αυτών των μεθόδων, οι οποίες χρησιμοποιούνται για να επιτευχθούν δύο αποτελέσματα. Το πρώτο οφείλεται στον Ντέιβιντ Μάλαμεντ (David Malament), και στηρίζει τον ισχυρισμό ότι αν κάποιος πιστεύει στην αιτιοκρατική θεωρία του χρόνου, τότε είναι αδύνατο να υποστηρίζει με λογική συνέπεια ότι η ταυτοχρονία στη γενική σχετικότητα είναι αποτέλεσμα συμβάσεως. Το δεύτερο είναι γνωστό ως «επιχείρημα περί οπής», η βασική ιδέα του οποίου προέρχεται από τις εργασίες του ίδιου του Αϊνστάιν. Αποσκοπεί στην κατάδειξη του ότι μια αυστηρή εκδοχή ρεαλισμού για το χωρόχρονο –μια «υποστασιοκρατική» θεώρηση– οδηγεί στην απροσδιοριστία (indeterminism) τις πλείστες των θεωριών για το χωρόχρονο.

> $E = mc^2$. Κείμενο που περικλείεται σε ορθογώνιο πλαίσιο, όπως εδώ, περιέχει μαθηματικό υλικό με επεξηγηματικό χαρακτήρα και μπορεί να παραβλέπεται από τον αναγνώστη που δεν ενδιαφέρεται για τις τεχνικές λεπτομέρειες.

ΜΕΡΟΣ Ι: ΒΑΣΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

5.1 Η ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

5.1.1 Ο Απόλυτος Χώρος του Νεύτωνα

Πριν από τον Αϊνστάιν, η κυρίαρχη άποψη περί χώρου και χρόνου είχε ως πηγή τη μηχανική του Νεύτωνα, την επιτυχέστερη από όλες τις επιστημονικές θεωρίες. Στη διατύπωση της μηχανικής του, στις *Μαθηματικές Αρχές Φυσικής Φιλοσοφίας* ([1687] 1962), ο Νεύτωνας διέκρινε μεταξύ απόλυτων και σχετικών χώρων. Σχετικοί είναι οι χώροι της καθημερινής εμπειρίας και ένας σχετικός χώρος συνδέεται με κάθε παρατηρητή. Ο σχετικός χώρος του αναγνώστη είναι ο χώρος του δωματίου όπου κάθεται καθώς και η επέκτασή του έξω από το δωμάτιο. Αν ο αναγνώστης ταξιδεύει μέσα σε κάποιο αεροπλάνο, ο σχετικός χώρος θα ταυτίζεται με το χώρο της καμπίνας και την επέκτασή του έξω από το αεροπλάνο. Μία και μόνη διαδικασία μπορεί να περιγραφεί ως προς πολλούς διαφορετικούς σχετικούς χώρους. Φανταστείτε, για παράδειγμα, κάποιον ευτυχή πατέρα που θαυμάζει υπερήφανος τον νεαρό βλαστό του να ιππεύει ένα από τα ξύλινα αλογάκια ενός μηχανικού περιστροφικού ιπποδρομίου σε κάποιο λούνα-παρκ. Με αναφορά τον σχετικό χώρο του πατέρα ο νεαρός ιππέας περιστρέφεται γύρω από τον κεντρικό άξονα του μηχανικού ιπποδρομίου. Με αναφορά, όμως, το ιπποδρόμιο ο ιππέας ακινητεί απολαμβάνοντας τον κόσμο να γυρίζει γύρω του.

Η αναφορά του Νεύτωνα σε σχετικούς χώρους δεν αποτελούσε απλώς και μόνο ένα ενδιαφέρον διάνθισμα των *Μαθηματικών Αρχών* αλλά μια θεμελιακή προϋπόθεση για την ανάπτυξη της μηχανικής του. Τον απασχολούσε η διατύπωση των νόμων που καθορίζουν τις κινήσεις όλων των σωμάτων. Οι νόμοι αυτοί είχαν τη μορφή γενικών περιγραφών της συμπεριφοράς των σωμάτων και θα έπρεπε να διατυπώνονται κατ' αναφοράν προς τον ένα ή τον άλλο σχετικό χώρο. Για παράδειγμα, ο πρώτος νόμος του παρείχε τη διαβεβαίωση ότι κάθε σώμα στο οποίο δεν ασκείται κάποια δύναμη θα παραμένει είτε σε ηρεμία είτε σε ευθύγραμμη ομαλή κίνηση, πράγμα που σημαίνει ότι θα κινείται αδρανειακά. Ωστόσο, ένα σώμα που ηρεμεί σε κάποιο σχετικό χώρο είναι δυνατό να κινείται μη ομαλά σε κάποιον άλλο. Αυτό ακριβώς συνέβαινε στο παράδειγμα που περιγράψαμε προηγουμένως με τον πατέρα και το γιο του που απολάμβανε τον μηχανικό καλπασμό στο περιστροφικό ιπποδρόμιο. Αναφορικά με ποιον σχετικό χώρο θα έπρεπε, λοιπόν, να διατυπώσει τους νόμους του ο Νεύτωνας; Αν αυτοί ίσχυαν στο χώρο των παρατηρήσεων του πατέρα, τότε δεν θα ήταν δυνατό να ισχύουν για τον σχετικό χώρο του περιστροφικού ιπποδρομίου και αντιστρόφως. Ιδεωδώς θα έπρεπε να επιλέξουμε έναν απόλυτο χώρο. Αλλά ποιος χώρος

θα μπορούσε να είναι αυτός; Δεν είναι ο χώρος του πατέρα που καθορίζεται κατ' αναφοράν προς τη Γη. Αν πιστέψουμε τον Κοπέρνικο, η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της και περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο. Αλλά και ο σχετικός χώρος του Ηλίου, με τη σειρά του, δεν αποτελεί ακίνητο χώρο. Ο Ήλιος είναι ένας αστέρας μεταξύ των πολυάριθμων άστρων του γαλαξία μας, και περιφέρεται γύρω από το γαλαξιακό κέντρο. Όσο προσπαθούμε να θεμελιώσουμε τους νόμους της μηχανικής κατ' αναφοράν προς τον σχετικό χώρο κάποιου συγκεκριμένου σώματος, όπως η Γη ή ο Ήλιος, διατρέχουμε τον κίνδυνο να κινείται το σώμα αυτό σε σχέση με κάποιο άλλο σώμα. Αλλά δεν μπορεί να υπάρξει εγγύηση ότι και αυτό το επόμενο σώμα δεν κινείται αναφορικά με κάποιο άλλο σώμα. Απειλούμεθα, λοιπόν, από μία επ' άπειρον αναδρομή.

Ο Νεύτωνας έλυσε το πρόβλημα αρνούμενος να εκλάβει την ακινησία του σχετικού χώρου οποιουδήποτε σώματος ως κάτι άλλο πέραν της απλής τυχαιότητας. Σε ένα σχόλιο του πρώτου βιβλίου των *Μαθηματικών Αρχών* ([1687] 1962) διακηρύσσει ότι από το σύνολο όλων των δυνατών χώρων υπάρχει ένας που παραμένει αιωνίως ακίνητος ανεξάρτητα από κάθε σώμα που θα μπορούσε να συνδεθεί μαζί του: ο «Απόλυτος Χώρος, που από τη φύση του, χωρίς σχέσεις με οτιδήποτε εξωτερικό, παραμένει πάντοτε ταυτόσημος και ακίνητος.» Προς αυτόν τον απόλυτο χώρο, τον έσχατο κριτή της κίνησης και της ηρεμίας έπρεπε να αναφέρονται οι νόμοι του.

5.1.2 Το Πρόβλημα της Επαλήθευσης

Η λύση του Νεύτωνα εγείρει αμέσως ένα πρόβλημα. Πώς μπορεί να διακριθεί αυτός ο απόλυτος χώρος από τους πολυάριθμους σχετικούς χώρους; Η προφανής απάντηση ήταν να αναζητηθεί η συνδρομή των ίδιων των νόμων της Νευτώνειας μηχανικής. Ο απόλυτος χώρος θα μπορούσε να ταυτιστεί με το χώρο όπου ισχύουν οι νόμοι του Νεύτωνα. Θεωρήστε μια περιοχή του σύμπαντος απομακρυσμένη από όλα τα σώματα που έχουν μάζα και ένα δοκιμαστικό σώμα επί του οποίου δεν ασκείται καμία δύναμη. Αν η κίνηση αυτού του σώματος αναφερόταν στον απόλυτο χώρο, τότε, σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα, είτε θα ηρεμούσε είτε θα κινούνταν ομοιόμορφα και ευθύγραμμα. Δυστυχώς όμως, αυτή η προφανής συνθήκη αποτυγχάνει να λειτουργήσει ως κριτήριο για την επιλογή ενός μοναδικού χώρου ως απόλυτου. Ένας σχετικός χώρος που ικανοποιεί τη συνθήκη είναι αυτός όπου το δοκίμιο ηρεμεί. Αλλά υπάρχουν και άλλοι. Θεωρήστε τον σχετικό χώρο ενός παρατηρητή που κινείται ομοιόμορφα και ευθύγραμμα σε σχέση με το δοκίμιο. Αυτός ο παρατηρητής θα βλέπει το δοκίμιο να κινείται ομοιόμορφα και ευθύγραμμα, οπότε ο σχετικός χώρος του παρατηρητή θα αποτελεί χώρο όπου ισχύει ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν άπειροι τέτοιοι χώροι αφού μπορούν να υπάρξουν άπειροι τέτοιοι παρατηρητές, όπου ο καθένας κινείται με διαφορετική ταχύτητα

σε σχέση με το δοκίμιο. Ακόμα και αν στραφούμε στους εναπομένοντες νόμους, αποδεικνύεται ότι η συνθήκη που θέλει για απόλυτο χώρο το χώρο όπου ισχύουν οι νόμοι του Νεύτωνα αποτυγχάνει να προσδιορίσει έναν μοναδικό χώρο ως τον απόλυτο χώρο. Η συνθήκη αυτή οριοθετεί ένα άπειρο σύνολο χώρων, τους αδρανειακούς χώρους, οι οποίοι είναι οι σχετικοί χώροι των παρατηρητών που κινούνται ομοιόμορφα μεταξύ τους με αδρανειακό τρόπο.

Δεν θα πρέπει να θεωρήσουμε αυτή την αποτυχία ως παραδρομή του Νεύτωνα η οποία θα μπορούσε να διορθωθεί με κάποιο μικρό συμπλήρωμα στους νόμους του. Στην πραγματικότητα, ήταν αποφασιστικής σημασίας για τη θεωρία του το να ισχύουν οι νόμοι του το ίδιο καλά σε κάθε αδρανειακό χώρο. Όταν διατύπωνε τη θεωρία του, είχε να συμβιβάσει δύο φαινομενικά αντιφατικές βεβαιώσεις. Η πρώτη ήταν η κοπερνίκεια υπόθεση ότι η Γη δεν ηρεμεί αλλά κινείται με μεγάλη ταχύτητα περιστρεφόμενη γύρω από τον άξονά της και γύρω από τον Ήλιο. Η δεύτερη ήταν το κοινό γεγονός της καθημερινής μας εμπειρίας ότι εμείς, ως επίγειοι παρατηρητές, δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε πάνω στην επιφάνεια της Γης κάποιο μηχανικό αποτέλεσμα που να μπορούμε να το αποδώσουμε σε αυτήν την υποτιθέμενη κίνηση. Στη Νευτώνεια θεωρία, αυτές οι δύο βεβαιώσεις συμβιβάζονται με την παρατήρηση ότι μολονότι η Γη κινείται με αυτούς τους δύο τρόπους, η κίνηση ενός επίγειου παρατηρητή προσεγγίζει πολύ την αδρανειακή. (Η κατάσταση δεν διαφέρει και πολύ από αυτήν όπου ένας αθλητής τρέχει στην περιφέρεια ενός πολύ μεγάλου κυκλικού σταδίου. Λόγω του μεγάλου μεγέθους του σταδίου, ένα μικρό τμήμα του διαδρόμου είναι σχεδόν ευθύγραμμο, οπότε σε κάθε μικρό χρονικό διάστημα ο αθλητής τρέχει σχεδόν ευθύγραμμα. Τούτο δεν θα συνέβαινε αν ο αθλητής έτρεχε σε έναν κυκλικό διάδρομο πολύ μικρότερης ακτίνας.) Ως εκ τούτου, οι νόμοι του Νεύτωνα ισχύουν κάθε στιγμή με πολύ μεγάλη προσέγγιση στον σχετικό χώρο ενός επίγειου παρατηρητή, και μέσα στα πλαίσια αυτής της προσέγγισης, ο παρατηρητής δεν θα παρατηρήσει καμιά κίνηση της Γης. Η προσέγγιση για την οποία μιλάμε είναι πολύ καλή. Απαιτούνται εξαιρετικά ευαίσθητες μετρήσεις για την ανίχνευση αποκλίσεων από την αδρανειακή κίνηση στην περίπτωση του επίγειου παρατηρητή. Το πείραμα με το εκκρεμές του Φουκώ (Foucault) αποτελεί το γνωστότερο σχετικό παράδειγμα τρόπου ανίχνευσης της ιδιοπεριστροφής της Γης και μπορεί κανείς να το δει εν λειτουργία σε πολλά επιστημονικά μουσεία. Αν οι νόμοι του Νεύτωνα ίσχυαν σε έναν μόνο αδρανειακό χώρο, τότε ένας τέτοιος εναρμονισμός θα κατέρρεε, αφού η κίνηση της Γης είναι μόνο κατά προσέγγιση αδρανειακή. Με την πάροδο του χρόνου, ο επίγειος παρατηρητής μεταναστεύει αργά από έναν αδρανειακό χώρο σε έναν άλλο καθώς η Γη συμπληρώνει την ημερήσια περιστροφή της και την ετήσια περιφορά της γύρω από τον Ήλιο. Αν για κάθε αδρανειακό χώρο ίσχυαν νόμοι κίνησης με αξιοσημείωτες διαφορές, τότε αυτές οι διαφορές θα αποκαλύπτονταν στον επίγειο παρατηρητή κατά αυτήν τη μετανάστευσή του δείχνοντας καθαρά την κίνησή του.

5.1.3 Η κατάργηση της Απόλυτης Ηρεμίας

Ο επισφαλής συμβιβασμός με την ιδέα ενός απόλυτου χώρου κυριάρχησε στη διάρκεια των δύο αιώνων που ακολούθησαν παρ' όλη τη δυσφορία πολλών επικριτών του Νεύτωνα. Αυτό που τελικά έθεσε το ζήτημα εκ νέου ήταν οι εξελίξεις γύρω από τις θεωρίες του 19ου αιώνα για το φως, τον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό. Αυτός ο αιώνας υπήρξε μάρτυρας της αναβίωσης της θεωρίας που περιέγραφε το φως ως κύμα, ενώ αυτό το κύμα αποδείχθηκε ότι συνίσταται στην ταλάντωση ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων. Ειδικότερα, μέσω του έργου φυσικών όπως οι Μάξγουελ, Χερτς (Hertz), και Λόρεντς (Lorentz), το φως και τα συνδεδεμένα με αυτό πεδία παραστάθηκαν ως κύματα εντός κάποιου μέσου, γνωστού με το όνομα φωτοφόρος αιθέρας. Αυτός ο αιθέρας θεωρήθηκε ότι καταλαμβάνει όλο το χώρο, παρέχοντας στη φυσική μια ακόμα προνομιακή κατάσταση ηρεμίας, ανάλογη με αυτήν του ακίνητου απόλυτου χώρου του Νεύτωνα.

Την περίοδο που ο Αϊνστάιν ανέπτυσσε τη θεωρία της ειδικής σχετικότητας, το 1905, ο ίδιος έφτασε στη διαπίστωση ότι το καθεστώς του φωτοφόρου αιθέρα ήταν πολύ όμοιο με αυτό του απόλυτου χώρου του Νεύτωνα. Οι νόμοι του Νεύτωνα οδηγούσαν στο συμπέρασμα ότι κανένα μηχανικό πείραμα δεν θα μπορούσε να διακρίνει την αδρανειακή κίνηση αναφορικά με τον απόλυτο χώρο από την ακινησία. Κατά αντίστοιχο τρόπο, ένας μεγάλος αριθμός πειραμάτων κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα είχαν αποτύχει να ανιχνεύσουν την κίνηση της Γης σε σχέση με τον αιθέρα. Μεταξύ αυτών, το πλέον ακριβές και περισσότερο γνωστό πείραμα υπήρξε το περίφημο πείραμα των Μάικελσον (Michelson) και Μόρλεϋ (Morley) το 1887. Επιπλέον, ο Αϊνστάιν είχε διεισδύσει στο βάθος της θεωρίας των Μάξγουελ-Χερτς-Λόρεντς και συμπέρανε ότι, σε ό,τι αφορά τα *παρατηρήσιμα* μεγέθη, η θεωρία αυτή συνεπάγεται ότι η αδρανειακή κίνηση είναι αδύνατο να διακριθεί από την ηρεμία. Το παράδειγμα που επιστράτευσε περιελάμβανε ένα μαγνήτη και έναν ηλεκτρικό αγωγό με τη μορφή δακτυλίου. Όταν ο μαγνήτης κινείται διερχόμενος από το εσωτερικό του αγώγιμου δακτυλίου, τότε αναπτύσσεται ηλεκτρικό ρεύμα στον αγωγό. Εναλλακτικά, αν μετακινήσουμε τον αγωγό πάνω από το μαγνήτη, τότε αναπτύσσεται και πάλι ρεύμα στον αγωγό. Δεν παίζει κανένα ρόλο το αν είναι ακίνητος ο μαγνήτης ή ο αγωγός. Το ίδιο *παρατηρήσιμο* γεγονός, η επαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, εμφανίζεται οποτεδήποτε υπάρχει *σχετική* κίνηση μεταξύ μαγνήτη και αγωγού, ενώ το μέγεθος αυτού του ρεύματος εξαρτάται μόνο από το μέγεθος της σχετικής κίνησης. Η απόλυτη ηρεμία δεν παίζει κανένα ρόλο σε ό,τι αφορά τα παρατηρήσιμα μεγέθη.

Αυτό το παράδειγμα αποτέλεσε την αφετηρία της περίφημης εργασίας του Αϊνστάιν με τίτλο «Σχετικά με την Ηλεκτροδυναμική των Κινούμενων Σωμάτων» ([1905] 1952b), όπου ανέπτυσσε την ειδική θεωρία της σχετικότητας. Αναφερόμενος σε αυτό το παράδειγμα έγραφε:

> Παραδείγματα αυτού του είδους, σε συνδυασμό με τις αποτυχημένες απόπειρες να ανακαλυφθεί η όποια κίνηση της γης αναφορικά με το «μέσο [διάδοσης] του φωτός», υπαινίσσονται ότι τα ηλεκτροδυναμικά φαινόμενα, όπως και τα μηχανικά δεν διαθέτουν ιδιότητες που να ανταποκρίνονται στην ιδέα περί απόλυτης ηρεμίας. Αντίθετα, όπως έχει ήδη αποδειχθεί κατά πρώτη προσέγγιση μικρών ποσοτήτων, υπαινίσσονται ότι οι ίδιοι νόμοι της ηλεκτροδυναμικής και της οπτικής ισχύουν για όλα τα συστήματα αναφοράς όπου ισχύουν οι εξισώσεις της μηχανικής [για όλους τους αδρανειακούς χώρους]. Θα αναβιβάσουμε αυτή την εικασία (το περιεχόμενο της οποίας θα ονομάζουμε στο εξής «Αρχή της Σχετικότητας») στο καθεστώς ενός αξιώματος... Η εισαγωγή ενός «φωτοφόρου αιθέρα» θα αποδειχτεί περιττή στο βαθμό που η άποψη που πρόκειται να αναπτυχθεί εδώ δεν απαιτεί έναν «απόλυτα στατικό χώρο» εφοδιασμένο με ειδικές ιδιότητες... (ό.π., 37-38).

Με αυτές τις λέξεις, ο Αϊνστάιν εισήγαγε την αρχή της σχετικότητας. Στην ουσία, η αρχή αυτή βεβαιώνει ότι οι νόμοι της μηχανικής, της ηλεκτροδυναμικής και της οπτικής ισχύουν εξίσου σε όλους τους αδρανειακούς χώρους. (Ο Αϊνστάιν επιλέγει τους αδρανειακούς χώρους έμμεσα ως εκείνους «όπου ισχύουν οι εξισώσεις της μηχανικής».) Η αναζήτηση του ενός πραγματικά ακίνητου χώρου, που επιχειρήθηκε από τον Νεύτωνα, οφείλει να εγκαταλειφθεί.

Φυσικά ο Αϊνστάιν δεν εφάρμοζε συνειδητά την αρχή της επαληθευσιμότητας (Κεφάλαιο 3) όταν έγραφε αυτές τις λέξεις. Το εν λόγω κριτήριο δεν διατυπώθηκε παρά είκοσι χρόνια αργότερα. Ωστόσο, αν έχουμε να διακρίνουμε όλες τις περιπτώσεις όπου δικαιολογείται η εφαρμογή αυτού του κριτηρίου, τότε η προηγούμενη πρέπει σίγουρα να συμπεριληφθεί. Οι καταστάσεις απόλυτης ηρεμίας στις οποίες αναφερόταν ο Αϊνστάιν –αυτές της μηχανικής και της ηλεκτροδυναμικής– αντιστάθηκαν σε όλες τις απόπειρες πειραματικού προσδιορισμού τους. Επιπλέον, οι ενεχόμενες φυσικές θεωρίες στην πραγματικότητα προέβλεπαν ότι οι καταστάσεις ηρεμίας δεν επέτρεπαν παρατηρησιακές συνέπειες που θα καθιστούσαν δυνατό τον προσδιορισμό τους. Αυτή είναι και η αντιπροσωπευτική περίπτωση την οποία αναζητούμε όταν εφαρμόζουμε το κριτήριο της επαληθευσιμότητας: την εισήγηση περί υπάρξεως μιας οντότητας ή μιας κατάστασης πραγμάτων που στερείται παρατηρησιακών συνεπειών, οι οποίες θα επέτρεπαν την επικύρωσή της. Τότε πιεζόμαστε να αποκηρύξουμε την οντότητα ή την κατάσταση πραγμάτων ως κενή μεταφυσική επινόηση και να την εξοβελίσουμε από το λόγο μας.

5.2 Ο ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

5.2.1 Η Άνοδος και η Πτώση της Ευκλείδειας Γεωμετρίας

Η γεωμετρία που αναπτύχθηκε από τους αρχαίους Έλληνες αποτελεί μια από τις μεγαλειώδεις ιστορίες επιστημονικής επιτυχίας. Εδώ βλέπουμε μια θεωρία του χώρου που έφτασε στην ωριμότητά της ήδη την εποχή της αρχαιότητας και επέζησε τόσο επιτυχώς με αυτήν τη μορφή ώστε ακόμα και κατά τα τελευταία 100 χρόνια η καθιερωμένη παρουσίασή της, τα *Στοιχεία* του Ευκλείδη, να χρησιμοποιείται ως διδακτικό εγχειρίδιο. Στη δεκαετία του 1910, μια σχολή με σημαντική επίδραση στα ζητήματα της φιλοσοφίας του χώρου και του χρόνου υιοθέτησε μια ιδιοφυή εξήγηση αυτής της επιτυχίας. Όσοι συμφωνούσαν με τον γερμανό φιλόσοφο του 18ου αιώνα Ιμάνουελ Κάντ υποστήριζαν ότι η Ευκλείδεια γεωμετρία *πρέπει* να ισχύει για ολόκληρο το πεδίο της εμπειρίας μας. Υποστήριζαν ότι η εν χώρω οργάνωση των εμπειριών μας δεν προέρχεται από την εξωτερική πραγματικότητα, από τα «πράγματα αυτά καθ' εαυτά», αλλά εισάγεται από το νου κατά τις διεργασίες που οργανώνουν αυτά που προσλαμβάνουν οι αισθήσεις σε κάτι εννοήσιμο. Αυτή η κατάσταση μπορεί να γίνει σαφέστερη με τη βοήθεια μιας παραβολής. Θεωρήστε κάποιον άνθρωπο υποχρεωμένο να φορά μονίμως ροζ χρωματιστά γυαλιά. Οτιδήποτε βλέπει θα έχει μια ροζ απόχρωση. Ωστόσο, η βεβαιότητά του δεν αντανακλά κάτι από την εξωτερική πραγματικότητα. Προκύπτει από ένα απαράκαμπτο συστατικό της σκευής που διεκπεραιώνει τη λειτουργία της αντίληψης. Έτσι, για τους Καντιανούς, η αλήθεια της Ευκλείδειας γεωμετρίας διασφαλιζόταν από το γεγονός ότι αυτή η γεωμετρία επιβαλλόταν από το νου μας στην εμπειρία κατά τρόπο αναγκαίο.

Μια απρόσμενη εξέλιξη στη μαθηματική σκέψη του 19ου αιώνα κατέστησε αυτή την αναγκαιότητα λιγότερο προφανή. Ανακαλύφθηκε ότι ήταν δυνατό να διαθέτουμε συνεπείς γεωμετρίες βασισμένες σε αξιώματα που διαφωνούσαν με αυτά του Ευκλείδη. Οπότε, ακόμα και αν η γεωμετρία επιβαλλόταν όντως από το νου μας επί της εμπειρίας, έπαψε να είναι σαφές αν αυτή η γεωμετρία πρέπει να είναι αναγκαστικά Ευκλείδεια και όχι κάποια από τις «μη Ευκλείδειες» γεωμετρίες. Η αρχική έκπληξη μεταβλήθηκε σύντομα σε σοβαρή αμηχανία όταν ο Αϊνστάιν ολοκλήρωσε τη γενική θεωρία της σχετικότητας το 1915. Αυτή η θεωρία οδηγούσε στο συμπέρασμα ότι η πραγματική γεωμετρία του χώρου μας ήταν μη Ευκλείδεια, μολονότι οι παρατηρήσιμες αποκλίσεις από την Ευκλείδεια γεωμετρία στο γειτονικό μας περιβάλλον ήταν πολύ μικρές.

Οι νέες φιλοσοφίες της επιστήμης που εμφανίστηκαν εκείνο τον καιρό διατήρησαν τη βασική ιδέα που εφαρμοζόταν ευρέως από τους Καντιανούς: ορισμένα μέρη μιας θεωρίας αποτελούν αντανακλάσεις της πραγματικότητας και ορισμένα άλλα παρέχονται από τις οργανωτικές λειτουργίες του νου. Στα πλαίσια της νέας άποψης, όμως, εκείνο το μέρος της θεωρίας το οποίο συνεισέφερε ο

νους δεν είχε πλέον το χαρακτήρα του σταθερού ή του αναγκαίου. Ήταν ελεύθερο να παραλλάσσει και μπορούσε να επιλέγεται κατά βούλησιν ή κατόπιν συμβάσεως. Μπορούμε να συνεχίσουμε την προηγούμενη παραβολή λέγοντας ότι ο άνθρωπος εκείνος υποχρεούται να φοράει γυαλιά, μόνο που τώρα έχει την ελευθερία επιλογής του χρώματος. Κατ' αυτόν τον τρόπο, μια νέα θεματική εμφανίστηκε στις φιλοσοφικές αναλύσεις των επιστημονικών θεωριών, αυτή που διακρίνει τα συμβατικά στοιχεία μιας θεωρίας από εκείνα που αντανακλούν την πραγματικότητα. Η αντιπαράθεση αναφορικά με το πού πρέπει να τεθεί η διαχωριστική γραμμή επιζεί εν μέρει ώς τις μέρες μας υπό τη μορφή των αντιπαραθέσεων μεταξύ ρεαλιστών και αντιρρεαλιστών.

Η γεωμετρία προσέλκυσε ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Τόσο ο γάλλος φυσικός και μαθηματικός Ανρί Πουανκαρέ όσο και, ακόμη εντονότερα, ο γερμανός φιλόσοφος Χανς Ράιχενμπαχ υποστήριζαν ότι η επιλογή της γεωμετρίας αποτελεί ζήτημα σύμβασης, αφού στη φύση δεν υπάρχει ανεξάρτητα μια αληθής γεωμετρία. Είναι προφανές ότι, όπου οι περιστάσεις το επιτρέπουν, προτιμάται η Ευκλείδεια γεωμετρία, αφού είναι και απλή και οικεία. Αλλά, όπως ισχυρίζονται οι συμβατιστές, αυτή η επιλογή δεν πρέπει να εκλαμβάνεται ως ανακάλυψη της αληθούς γεωμετρίας, αφού κάτι τέτοιο δεν υπάρχει.

5.2.2 Ένα επιχείρημα υπέρ της Συμβασιοκρατίας

Πώς είναι δυνατό να εδραιωθεί ο συμβατικός χαρακτήρας της γεωμετρίας; Ο Αϊνστάιν ([1921] 1954a, 235-236) διατύπωσε την απλούστερη αλλά και, τη μέχρι σήμερα, γνωστότερη εκδοχή του επιχειρήματος υπέρ του συμβατικού χαρακτήρα της Ευκλείδειας γεωμετρίας αποδίδοντας τη βασική ιδέα στον Πουανκαρέ. Μια γεωμετρία Γ από μόνη της, ισχυρίζεται το επιχείρημα, δεν μας λέει τίποτα το παρατηρήσιμο για το χώρο. Μας λέει ορισμένα πράγματα για κάποιες ιδεατές δομές, όπως οι στερεές ράβδοι, οι οποίες δεν υπάρχουν στην πραγματικότητα. Για να μπορέσουμε να συναγάγουμε παρατηρήσιμες συνέπειες που αφορούν πραγματικά σώματα, πρέπει να καταφύγουμε σε φυσικές θεωρίες Φ που ασχολούνται με θέματα όπως η ελαστικότητα και η διάδοση της θερμότητας προκειμένου να παρεμβαίνουμε διορθωτικά επί των αποκλίσεων που παρουσιάζουν τα πραγματικά σώματα από «την ιδεατή συμπεριφορά».

Υποθέστε, για παράδειγμα, ότι θέλουμε να ελέγξουμε το Πυθαγόρειο θεώρημα στην περίπτωση ενός μεγάλου ορθογώνιου τριγώνου του οποίου οι κάθετες πλευρές έχουν μήκη 30 και 40 μέτρα αντίστοιχα. Σύμφωνα με το θεώρημα, το μήκος της υποτείνουσας προβλέπεται να είναι 50 μέτρα, και για να ελέγξουμε αυτό το αναμενόμενο αποτέλεσμα κατασκευάζουμε το τρίγωνο χρησιμοποιώντας μεταλλική ταινία που την τανύουμε γύρω από τρία σημεία. Η παγίδα που κρύβεται εδώ είναι ότι δεν μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα τέτοιο τρίγωνο τανύοντας απλώς την ταινία ώστε να σχηματιστούν τρία τμήματα με μήκη 30, 40

και 50 μέτρων αντίστοιχα. Η μεταλλική ταινία, όσο λεπτή και αν είναι, θα έχει πάντοτε ένα κάποιο πάχος ανεξάρτητα από το πόσο σφιχτά την έχουμε τραβήξει, και τούτο σημαίνει ότι πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ταινία συνολικού μήκους ελαφρά μεγαλύτερου από το άθροισμα των 30+40+50 μέτρων. Μπορούμε πάντοτε να ελαττώνουμε το μέγεθος αυτής της ανοχής τραβώντας πιο δυνατά, αλλά αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα μια μικρή επιμήκυνση της ταινίας λόγω της ελαστικότητας του μετάλλου. Ως εκ τούτου, ένας *πολύ* ακριβής έλεγχος του Πυθαγόρειου θεωρήματος με τη βοήθεια μεταλλικών ταινιών μπορεί να γίνει μόνον ως διαδικασία που περιλαμβάνει μια σειρά περίπλοκων διορθώσεων που αφορούν τη μηχανική συμπεριφορά της ταινίας, ώστε να λαμβάνονται υπ' όψιν οι αποκλίσεις από τη συμπεριφορά των ιδεατών στερεών ράβδων. Αυτές οι διορθωτικές επεμβάσεις εκμεταλλεύονται φυσικές θεωρίες για τη βαρύτητα και τις ελαστικές παραμορφώσεις των σωμάτων.

Συγκεφαλαιώνοντας, μπορούμε να πούμε ότι παρατηρησιακές συνέπειες είναι δυνατό να συναχθούν μόνον επί τη βάσει της σύζευξης $\Gamma+\Phi$, της γεωμετρίας Γ και των φυσικών θεωριών Φ. Πράγμα που σημαίνει ότι είμαστε ελεύθεροι να προβαίνουμε σε συμβατικές τροποποιήσεις της γεωμετρίας Γ στο μέτρο που τροποποιούμε αντίστοιχα τις φυσικές θεωρίες Φ, έτσι ώστε οι παρατηρησιακές συνέπειες να παραμένουν αμετάβλητες. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το μοναδικό σύνολο των παρατηρησιακών συνεπειών μπορεί να εξηγηθεί εξίσου με τη βοήθεια ενός μεγάλου αριθμού γεωμετριών που έχουν επιλεγεί κατά σύμβασιν.

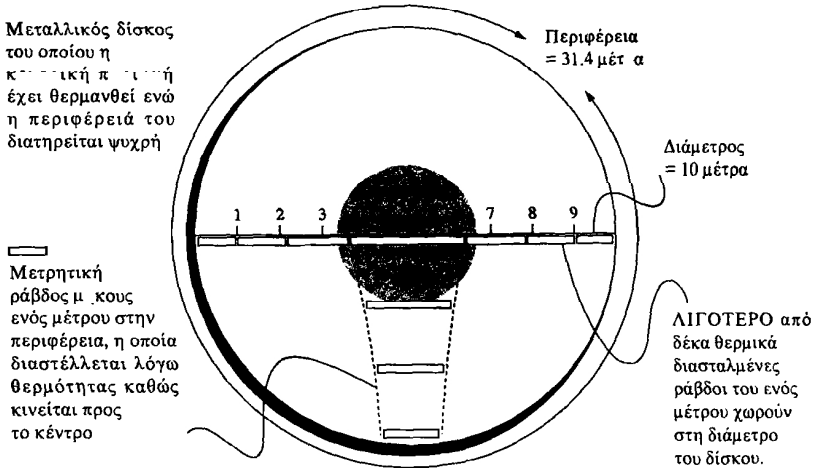
5.2.3 Παγκόσμιες δυνάμεις, Προσαρμοστικοί ορισμοί και η Θερμαινόμενη Μεταλλική Πλάκα

Είναι κάπως δύσκολο να αποκτήσουμε εξ αρχής μια εποπτική εικόνα για τη μορφή που θα παρουσίαζαν αυτά τα συμβατικά στοιχεία, ή για τη μορφή που θα παρουσίαζε μια μη-Ευκλείδεια γεωμετρία. Το παρακάτω εποπτικό παράδειγμα θα μπορούσε να μας βοηθήσει. Χρησιμοποιήθηκε με διάφορες μορφές από τον Πουανκαρέ, τον Ράιχενμπαχ και άλλους, ενώ εδώ τροποποιήθηκε για λόγους συντομίας. Ας φανταστούμε έναν μεγάλο μεταλλικό δίσκο με διάμετρο 10 μέτρα εντός του Ευκλείδειου χώρου. Αφού ένα θεώρημα για τους κύκλους στην Ευκλείδεια γεωμετρία λέει ότι:

$$\text{Περιφέρεια}/\text{Διάμετρος} = \pi$$

έπεται ότι η περίμετρος του δίσκου θα είναι περίπου 31.4 μέτρα (βλέπε Σχήμα 5.1).

Αυτά τα αποτελέσματα ανταποκρίνονται στις ακόλουθες διαδικασίες: Μπορούμε να επιθέσουμε έναν στερεό κανόνα του ενός μέτρου δέκα φορές σε διαδοχικές θέσεις κατά μήκος της διαμέτρου, και 31 φορές κατά προσέγγιση πάνω



Σχήμα 5.1 Η γεωμετρία μιας θερμαινόμενης μεταλλικής πλάκας.

στην περιφέρεια. Αν η γεωμετρία του χώρου δεν ήταν Ευκλείδεια, τότε γενικά δεν θα προέκυπτε ο αριθμός π ως λόγος της περιφέρειας του δίσκου προς τη διάμετρό του, αλλά κάποιος άλλος λόγος, μικρότερος ή μεγαλύτερος από τον π.

Φανταστείτε τώρα ότι ανακαλύπτουμε πως ο δίσκος θερμαίνεται στην κεντρική του περιοχή, αλλά παραμένει ψυχρός στην περιφέρειά του και, επιπλέον, ότι πραγματοποιούμε τις μετρήσεις με μια ράβδο η οποία δεν είναι στερεή αλλά διαστέλλεται όταν θερμαίνεται, όπως συμβαίνει και στις πραγματικές ράβδους. (Για λόγους απλότητας, θεωρούμε ότι η ράβδος θερμαίνεται κάθε φορά στην ίδια θερμοκρασία στην οποία έχει θερμανθεί και το τμήμα του δίσκου πάνω στο οποίο την επιθέτουμε, έτσι ώστε να διαστέλλεται σύμφωνα με αυτήν τη θερμοκρασία.) Κατά συνέπεια, αν μπορούμε να επιθέσουμε τη ράβδο 31 φορές κατά μήκος της περιφέρειας, είναι αδύνατο να τεθεί αυτή 10 φορές κατά μήκος της διαμέτρου λόγω της θερμικής διαστολής της ράβδου στην κεντρική περιοχή του δίσκου.

Αυτές οι μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δικαιολογήσουν δύο διαφορετικές γεωμετρίες που αφορούν το δίσκο. Πρώτα, αν παρέμβουμε διορθωτικά στις μετρήσεις λαμβάνοντας υπ' όψιν τη θερμική διαστολή της μετρητικής ράβδου με τη βοήθεια του κατάλληλου φυσικού νόμου, φθάνουμε σε

μια Ευκλείδεια γεωμετρία. Δεύτερον, φτάνουμε σε μια διαφορετική γεωμετρία αν ακολουθήσουμε την εναλλακτική φυσική υπόθεση ότι δεν χρειάζεται καμιά διορθωτική επέμβαση που να λαμβάνει υπ' όψιν τη θερμική συμπεριφορά, και ότι η ράβδος μετρά πάντοτε πραγματικές αποστάσεις ανεξάρτητα από το πώς διακυμαίνεται η θερμοκρασία. Έτσι, στη θέση του αρχικού Ευκλείδειου αποτελέσματος έχουμε ένα νέο αποτέλεσμα:

$$\text{Περιφέρεια/Διάμετρος} > \pi ,$$

αφού τώρα χρειάζονται λιγότερα από δέκα μήκη ράβδων για να καλυφθεί η διάμετρος του δίσκου. Η επιλογή γεωμετρίας ανάγεται εν προκειμένω στην απόφασή μας σχετικά με το ποιες είναι οι στερεές ράβδοι, αυτές που υπόκεινται στην διορθωτική παρέμβαση ή αυτές που δεν υπόκεινται. Σημειώστε ότι *δεν μπορούμε* να αποφασίσουμε ποια είναι η στερεά ράβδος ελέγχοντας ποια διατηρεί σταθερό μήκος κατά τη μετακίνηση. Και τούτο επειδή το τι διατηρεί σταθερό μήκος είναι κάτι που μπορούμε να γνωρίζουμε μόνον αν γνωρίζουμε για ποια γεωμετρία πρόκειται. Κινούμαστε, λοιπόν, σε έναν φαύλο κύκλο. Ο Ράιχενμπαχ στο σπουδαίο έργο του με τον τίτλο *Φιλοσοφία του Χώρου και του Χρόνου* ([1928] 1957) διατείνεται ότι μπορούμε να απελευθερωθούμε από αυτόν τον φαύλο κύκλο αν συνειδητοποιήσουμε ότι η εκλογή της στερεάς ράβδου είναι ζήτημα ορισμού. Πρόκειται για έναν ορισμό που προσαρμόζει τις όψεις της φυσικής πραγματικότητας στα ιδεατά συστατικά μιας αφηρημένης θεωρίας, και για τούτο και ο Ράιχενμπαχ τον ονομάζει «προσαρμοστικό ορισμό». Ακριβώς όμως επειδή η επιλογή της στερεάς ράβδου είναι ζήτημα ορισμού, δεν υπάρχει ορθή επιλογή που να βασίζεται σε γεγονότα, παρά μόνο προτιμήσεις που βασίζονται σε συμβάσεις. Κατά συνέπεια, αφού κάθε επιλογή στερεάς ράβδου παράγει και τη δική της γεωμετρία, δεν είναι δυνατό να υπάρξει ορθή γεωμετρία παρά μόνο συμβατικές επιλογές.

Φαίνεται λιγότερο πιθανό να επιλέξουμε ως πρότυπο σταθερότητας (ή, για να το πούμε καλύτερα, της ισότητας των διαστημάτων) τη ράβδο που δεν έχει υποστεί τη διορθωτική επέμβαση, επειδή γνωρίζουμε ότι τα διάφορα υλικά διαστέλλονται σε διαφορετικούς βαθμούς όταν θερμανθούν στην ίδια θερμοκρασία. Δεν θα θέλαμε ίσως να εξαρτάται ο ορισμός της ισότητας από το είδος του υλικού της μετρητικής ράβδου και τούτο ειδικά εφόσον η διαφορική θερμική διαστολή των διαφόρων υλικών θα μας έδινε τη δυνατότητα να απεικονίσουμε τις θερμοκρασιακές διαφορές κατά μήκος μιας διαμέτρου του δίσκου, διαφορές τις οποίες θα είχαμε την τάση να ερμηνεύσουμε ως αιτία της παραμόρφωσης των μηκών. Στη θέση των θερμικών παραμορφωτικών δυνάμεων, ο Ράιχενμπαχ εισάγει την έννοια των «καθολικών δυνάμεων», τις οποίες ορίζει ως δυνάμεις που προκαλούν ισόποσες παραμορφώσεις σε όλα τα υλικά και για τις οποίες δεν είναι δυνατό να υπάρξει μόνωση. Η κατάσταση που δημιουργείται παραμένει ουσιαστικά ίδια με αυτήν της θερμαινόμενης μεταλλικής πλάκας. Μια καθολική

δύναμη παραμορφώνει τις μετρητικές μας ράβδους, οπότε η απόφασή μας να επέμβουμε διορθωτικά ισοδυναμεί με συμβατική επιλογή της γεωμετρίας. Συγκεκριμένα, η συνήθης παραδοχή ότι δεν υπάρχουν καθολικές δυνάμεις συγιστά έναν ορισμό που οδηγεί στη συμβατική επιλογή μιας γεωμετρίας, όπως ακριβώς συμβαίνει και με την απόφαση να μην επέμβουμε διορθωτικά στις θερμικές παραμορφώσεις στην περίπτωση της θερμαινόμενης μεταλλικής πλάκας.

Η ιδέα περί καθολικών δυνάμεων επιτρέπει στον Ράιχενμπαχ να μιμηθεί τον σχηματικό τύπο «*Γ*+*Φ*» του Αϊνστάιν με έναν συγκεκριμένο τρόπο. Όταν χρησιμοποιούμε μια φυσική ράβδο για να μετρήσουμε κάποια απόσταση, τότε το παρατηρούμενο μήκος της σχετίζεται με το πραγματικό της μήκος σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\begin{pmatrix}\text{Παρατηρηθέν}\\ \text{μήκος}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\text{Πραγματικό μήκος}\\ \text{σύμφωνα με τη}\\ \text{γεωμετρία } \Gamma\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}\text{Διόρθωση που απαιτείται}\\ \text{από την ύπαρξη των καθολικών}\\ \text{δυνάμεων και η οποία βασίζεται}\\ \text{στη φυσική θεωρία } \Phi\end{pmatrix} \qquad (1)$$

Αυτή η εξίσωση μας βοηθά να προσαρμόζουμε σχεδόν κάθε συμβατικά επιλεγμένη γεωμετρία *Γ* σε ένα συγκεκριμένο σύνολο μηκών που παρατηρήθηκαν. Δεν έχουμε παρά να επιλέξουμε μια καθολική δύναμη, οπότε οι διορθώσεις που βασίζονται σε αυτήν θα κάνουν την εξίσωση (1) να ισχύει.

Η βασική ιδέα που τονίζουν οι συμβατιστές είναι ότι μια τέτοια επιλογή συνθήκης για την ισότητα των διαστημάτων πρέπει να γίνει με τη μορφή ορισμού ώστε να σπάσει ο φαύλος κύκλος. Είναι αδύνατο να γνωρίζουμε ποια είναι η καθολική δύναμη που καθορίζει τα πράγματα πριν γνωρίσουμε ποια γεωμετρία εφαρμόζεται. Όμως, δεν μπορούμε να γνωρίζουμε με ποια γεωμετρία έχουμε να κάνουμε πριν γνωρίσουμε την καθολική δύναμη που επενεργεί.

Στην πραγματικότητα, ο Ράιχενμπαχ παρέχει μια ακριβέστερη εκδοχή της εξίσωσης (1), όπου χρησιμοποιούνται οι μαθηματικές τεχνικές που εκθέτουμε στην Παράγραφο 5.5. Αν συμβολίσουμε με γ τη μετρική ενός χώρου στον οποίο θεωρούμε ότι δεν δρουν καθολικές δυνάμεις, τότε μπορούμε να επιλέξουμε οποιαδήποτε άλλη μετρική γ' ως μετρική του χώρου αυτού από τη στιγμή που υπάρχει κάποιο αντικείμενο A που ικανοποιεί την σχέση

$$\gamma = \gamma' + A \qquad (1')$$

Θεωρούμε ότι το A αποτελεί το δυναμικό ενός πεδίου καθολικών δυνάμεων και επιλέγουμε το κριτήριο της ισότητας των διαστημάτων ώστε αυτό να λειτουργεί διορθωτικά στις παραμορφώσεις που εισάγει το A. Αυτή η επιλογή μάς οδηγεί να συμπεράνουμε ότι η μετρική του χώρου είναι η γ'.

5.2.4 Είναι Όλα Συμβατικά;

Είναι δυνατό τα επιχειρήματα που χρησιμοποιήθηκαν για να εδραιώσουν τον συμβατικό χαρακτήρα της γεωμετρίας να χρησιμοποιηθούν για να εδραιώσουν ανάλογα τη συμβατικότητα άλλων νόμων ή δομών; Φαίνεται ότι είναι. Το μόνο που χρειάζεται για την αποκάλυψη του συμβατικού χαρακτήρα κάθε νόμου με επιχειρήματα του τύπου που ήδη χρησιμοποιήθηκαν είναι να μην έπονται παρατηρησιακές συνέπειες από αυτόν το νόμο μόνο. Θα πρέπει η συναγωγή τέτοιων συνεπειών να εμπλέκει και κάποιον άλλο φυσικό νόμο. Σε μια τέτοια περίπτωση, μπορούμε να πραγματοποιούμε συμβατικές αλλαγές στον πρώτο νόμο στο μέτρο που προσαρμόζουμε τον δεύτερο κατά τρόπο ώστε να διατηρούνται παρατηρησιακές συνέπειες.

Ως παράδειγμα, θεωρήστε το νόμο της ηλεκτροστατικής του Κουλόμπ (Coulomb) που περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο ένα ηλεκτρικό φορτίο ασκεί δύναμη σε ένα άλλο φορτίο. Υπό την πεδιακή του μορφή, αυτός ο νόμος βεβαιώνει ότι κάθε ηλεκτρικό φορτίο δημιουργεί ένα ηλεκτροστατικό πεδίο δυναμικού φ στον γύρω χώρο και ότι η ένταση αυτού του πεδίου μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα προς την απόσταση r από το φορτίο αυτό, δηλαδή σύμφωνα με τη σχέση $1/r$. Υπό αυτήν την πεδιακή μορφή ο νόμος του Κουλόμπ δεν συνεπάγεται *από μόνος του* καμιά παρατηρησιακή συνέπεια. Για να συναγάγουμε συμπεράσματα αναφορικά με παρατηρήσιμες κινήσεις φορτίων, χρειαζόμαστε το νόμο για τη δύναμη που περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο το πεδίο δυναμικού φ επιδρά επί ενός άλλου φορτίου. Ο δεύτερος αυτός νόμος βεβαιώνει ότι η δύναμη που ασκείται πάνω σε ένα δοκίμιο μοναδιαίου φορτίου είναι ευθέως ανάλογη της ποσότητας «gradφ», η οποία μετρά το ρυθμό μεταβολής του πεδίου κατά τη μετακίνηση από σημείο σε σημείο μέσα στο χώρο που ορίζει το πεδίο. Πώς όμως γνωρίζουμε ότι ο νόμος της δύναμης είναι σωστός; Για να το εξετάσουμε ανεξάρτητα, χρειάζεται να γνωρίζουμε ήδη ποιο είναι το πεδίο δυναμικού φ. Όμως αυτό δεν το ξέρουμε παρά μόνο όταν έχουμε ένα νόμο σαν αυτόν του Κουλόμπ, ο οποίος μας λέει ποια είναι τα πεδία που παράγουν δεδομένα φορτία. Βρισκόμαστε πάλι στον γνωστό φαύλο κύκλο. Μπορούμε να ξεφύγουμε με τη βοήθεια ενός προσαρμοστικού ορισμού. Ορίζουμε ότι το πεδίο φ είναι τέτοιο ώστε η δύναμη επί ενός δοκιμίου μοναδιαίου φορτίου να είναι -gradφ. Η συμβατότητα με τις παρατηρησιακές συνέπειες οδηγεί πλέον στο νόμο του Κουλόμπ: Το πεδίο φ εξασθενεί σύμφωνα με το λόγο $1/r$ καθώς απομακρυνόμαστε από την πηγή του. Καίριο σημείο είναι ότι είμαστε ελεύθεροι να επιλέξουμε έναν εναλλακτικό προσαρμοστικό ορισμό.

Τέτοιου είδους παραδείγματα δημιουργούν τα παρακάτω ερωτήματα. Είναι η άποψη περί συμβατικότητας της γεωμετρίας αποκλειστικό γνώρισμα τής γεωμετρίας και κάποιων άλλων ακόμη παρόμοιων κλάδων; Ή αποτελεί μέρος ενός γενικότερου αντιρρεαλισμού, σύμφωνα με τον οποίο κάθε νόμος κρίνεται συμβατι-

Για παράδειγμα, μπορούμε να αντικαταστήσουμε κατά σύμβασιν το νόμο του Κουλόμπ με έναν άλλο κατά τον οποίο το δυναμικό φ εξασθενεί σύμφωνα με το λόγο $1/r^3$, όπου r είναι η απόσταση από την πηγή του. Για να διατηρήσουμε τις αρχικές παρατηρησιακές συνέπειες, τροποποιούμε το νόμο που περιγράφει τη δύναμη επί ενός δοκιμίου μοναδιαίου φορτίου ως $-\text{grad}(\sqrt[3]{\varphi})$. Εναλλακτικά, μπορούμε να μιμηθούμε την εισαγωγή καθολικών δυνάμεων στη γεωμετρία σύμφωνα με τη σχέση (1), ορίζοντας ένα δεύτερο πεδίο f το οποίο παρεμβαίνει στην αλληλεπίδραση των φορτίων με τον ίδιο τρόπο που παρεμβαίνει και το ηλεκτροστατικό πεδίο φ. Αν με φ συμβολίσουμε το ηλεκτροστατικό δυναμικό στην περίπτωση που δεν υπάρχει το f, μπορούμε να επιλέξουμε κατά σύμβασιν μια οποιαδήποτε άλλη μορφή φ' έτσι ώστε να ισχύει

$$\varphi = \varphi' + f.$$

Οι παρατηρησιακές συνέπειες διατηρούνται αμετάβλητες εφόσον υιοθετήσουμε έναν νέο νόμο δύναμης, τον $-\text{grad}(\varphi' + f)$. Όπως ακριβώς και στην περίπτωση των καθολικών δυνάμεων στη γεωμετρία, δεν έχουμε τη δυνατότητα ανεξάρτητης πρόσβασης στο πεδίο f, οπότε αποτελεί ζήτημα σύμβασης το κατά πόσον θα το θεωρήσουμε ίσο με μηδέν ή όχι.

κός εάν δεν συνεπάγεται παρατηρησιακές συνέπειες χωρίς τη συνδρομή άλλων συμπληρωματικών νόμων; Η τελευταία άποψη εμφανίζεται ως μια εκδοχή της θέσης Ντυέμ-Κουάιν (βλέπε Κεφάλαιο 3). Σύμφωνα με αυτήν τη θέση, είναι αδύνατο να ελέγξουμε, σε σχέση με την εμπειρία, ένα νόμο από *μόνο* του. Μπορούμε να ελέγξουμε μόνο *ολόκληρη* τη θεωρία. Κάθε απόπειρα για τον έλεγχο ενός μόνο νόμου θα αποτύχει, αφού μπορούμε πάντοτε να προστατεύουμε κάθε νόμο από τη διάψευσή του τροποποιώντας κατάλληλα τους άλλους νόμους με τους οποίους συνδέεται κατά τη συναγωγή παρατηρησιακών συνεπειών.

Μια αντίδραση από το στρατόπεδο των συμβατιστών είναι ο ισχυρισμός ότι αυτός ο γενικός αντιρρεαλισμός διαφέρει από τις πραγματικές περιπτώσεις συμβατικότητας στη γεωμετρία και σε άλλες ανάλογες περιπτώσεις, όπως η συμβατικότητα της ταυτοχρονίας, που θα εξεταστεί στην επόμενη παράγραφο. Αυτό που κάνει τις τελευταίες να διαφέρουν είναι ότι η συμβατικότητα εξαρτάται από έναν πολύ μικρό φαύλο κύκλο ο οποίος πρέπει να διαρραγεί με τη βοήθεια ενός ορισμού, αφού κανένας ανεξάρτητος έλεγχος μέσω γεγονότων δεν είναι δυνατός για τα επιμέρους τμήματα του κύκλου. Η θέση Ντυέμ-Κουάιν δεν επιβάλλει κανέναν περιορισμό στον τρόπο που θα ακολουθήσουμε για να προστατεύσουμε το νόμο από διαψεύσεις. Μπορεί να πρέπει να το κάνουμε με τη βοήθεια ενός συ-

νόλου πολυσύνθετων και τεχνητών τροποποιήσεων που να εκτείνεται σε ολόκληρο το δίκτυο της θεωρίας. Ορισμένα από τα τροποποιημένα μέρη μπορεί να υπόκεινται σε ανεξάρτητο έλεγχο, οπότε να μην επιδέχονται συμβατική μεταχείριση.

Ο Γκρυνμπάουμ (Grünbaum) (1973, πρώτο Μέρος) παρέχει μια εναλλακτική οδό διαφυγής από το να εκλάβουμε τη θέση των συμβατιστών ως μορφή ακραιφνούς αντιρρεαλισμού. Αυτός βασίζει τη συμβασιοκρατική του θέση σε έναν ισχυρισμό που αφορά το χώρο. Υποστηρίζει ότι ο χώρος δεν διαθέτει «εγγενείς» μετρικές ιδιότητες, τις ιδιότητες που καθορίζουν αποστάσεις μεταξύ σημείων, οπότε αυτές οι μετρικές ιδιότητες πρέπει να παρέχονται από εμάς κατά σύμβασιν μέσω του ορισμού της ισότητας των διαστημάτων.

5.3 Η ΑΙΤΙΑΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΚΑΙ Ο ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ ΤΗΣ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΙΔΙΚΗ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑ

5.3.1 Η Κατασκευαστική Αξιωματικοποίηση της Θεωρίας της Σχετικότητας από τον Ράιχενμπαχ

Η γεωμετρία του χώρου αποτελεί μία μόνο πτυχή των θεωριών για το χώρο και το χρόνο που, όπως υποστηρίχθηκε, μπορεί να επιλέγεται μέσω σύμβασης. Θα μπορούσε να τεθεί το εύλογο ερώτημα ποια μορφή μπορεί να έχει μια θεωρία για το χώρο και το χρόνο στην περίπτωση που οικοδομείται έτσι ώστε να λαμβάνονται πλήρως υπ' όψιν όλες αυτές τις ποικίλες συμβάσεις. Μια από τις πρώτες και σπουδαιότερες απαντήσεις δόθηκε από τον Ράιχενμπαχ ([1924] 1969), με την αξιωματικοποίηση που πρότεινε για την ειδική και τη γενική θεωρία της σχετικότητας. Στις αξιωματικοποιήσεις γίνεται συνήθως η προσπάθεια να συμπυκνωθεί το φυσικό περιεχόμενο μιας θεωρίας σε όσο το δυνατό λιγότερα αξιώματα με τη μεγαλύτερη δυνατή ευρύτητα. Αφού τέτοια αξιώματα χρησιμοποιούν αναπόφευκτα θεωρητικές δομές του υψηλότερου δυνατού επιπέδου στις οποίες συμμείγνυνται στοιχεία τόσο από την πραγματικότητα όσο και καθαρώς συμβατικά, οι αξιωματικοποιήσεις αυτές δεν βοηθούν τον υποστηρικτή της συμβασιοκρατίας να διαχωρίσει τα δύο. Για την επίτευξη ενός τέτοιου σκοπού ο Ράιχενμπαχ πρότεινε την «κατασκευαστική αξιωματικοποίηση». Τα συναφή αξιώματα είναι προτάσεις που βρίσκονται όσο το δυνατόν εγγύτερα στην άμεση αισθητηριακή εμπειρία συνιστώντας έτσι το βασικό, πραγματικό περιεχόμενο της θεωρίας. Φυσικά, η πλήρως αφιλτράριστη αισθητηριακή εμπειρία θα οδηγούσε σε μια εντελώς ανοικονόμητη αξιωματικοποίηση. Για το λόγο αυτό, ο Ράιχενμπαχ χρησιμοποίησε αξιώματα που βασίζονται αποκλειστικά σε χαμηλότερου επιπέδου προ-σχετικιστικές θεωρίες και τα οποία παραμένουν όσο γίνεται εγγύτερα σε εμπειρικές προτάσεις. Τα αξιώματα είναι διατυπωμένα με πρωταρχικούς όρους όπως «γεγονός», «πραγματικό σημείο», «σήμα», «ράβδος»

και «ρολόι». Η θεωρία οικοδομείται από αξιώματα όπως το ακόλουθο (προέρχεται από το Reichenbach 1924, 29):

> Αξίωμα 1,1. Δεν υπάρχει ακολουθία σημάτων τέτοιων που η εκπομπή τους να συμπίπτει με τη λήψη τους σε ένα [πραγματικό σημείο] P.

Κατά την πορεία ανάπτυξης της πλήρους θεωρητικής δομής της θεωρίας της σχετικότητας, ο Ράιχενμπαχ βρήκε τον εαυτό του υποχρεωμένο να συμπληρώσει τα αξιώματα που περιείχαν το εμπειρικό περιεχόμενο της θεωρίας, με «προσαρμοστικούς ορισμούς» σαν αυτούς που παρουσιάστηκαν παραπάνω στην παράγραφο 5.2.3. Οι ορισμοί αυτοί αποδίδουν το συμβατικό περιεχόμενο της θεωρίας και αντανακλούν συνθετικά τη διαπλοκή μεταξύ των συμβατικών και των πραγματικών στοιχείων στη θεωρία της σχετικότητας.

5.3.2 Η αιτιακή θεωρία του χρόνου: Η αναγωγή του χρόνου στην αιτιότητα

Μια ιδέα που παρεπιδημεί υπόρρητα στην αξιωματικοποίηση της σχετικότητας από τον Ράιχενμπαχ ήταν αυτό που αργότερα ο ίδιος αποκάλεσε (1965) «αιτιακή θεωρία του χρόνου». Η θεωρία αυτή βεβαιώνει ότι η χρονική τάξη των συμβάντων είναι αναγώγιμη σε αιτιακές σχέσεις μεταξύ αυτών των συμβάντων. Με άλλα λόγια, όταν προβαίνουμε σε δηλώσεις που αφορούν τη χρονική τάξη δύο συμβάντων, αυτό που πραγματικά κάνουμε είναι να δηλώνουμε κάτι για τη δυνατότητα αιτιακής επίδρασης του ενός επί του άλλου. Έτσι ο Ράιχενμπαχ ([1928] 1957) διατύπωσε τον ακόλουθο «τοπολογικό προσαρμοστικό ορισμό» για τη χρονική τάξη: «Αν το Σ_2 αποτελεί το αποτέλεσμα του Σ_1, τότε το Σ_2 ονομάζεται ακόλουθο του Σ_1» (ό.π.). Γενικότερα το Σ_2 είναι ακόλουθο του Σ_1, αν το Σ_1 μπορεί να επιδράσει αιτιακά επί του Σ_2. Ο Ράιχενμπαχ υπέθεσε ότι αν το Σ_1 και το Σ_2 συνδέονται αιτιακά, τότε μπορούμε να διαχωρίσουμε την αιτία από το αποτέλεσμα και να αναπτύξουμε τη λεγόμενη «σηματική θεωρία» (mark theory) ως τρόπο υποστήριξης αυτής της άποψης. Μετέπειτα ερευνητές όπως ο Γκρυνμπάουμ (1973, Κεφάλαιο 7) έδειξαν ότι οι εν λόγω απόπειρες του Ράιχενμπαχ οδηγούσαν σε αποτυχία και ανασυγκρότησαν την αιτιακή θεωρία επί τη βάσει μιας συμμετρικής σχέσης αιτιακής συνδεσιμότητας, η οποία δεν λαμβάνει υπ' όψιν τη διάκριση μεταξύ αιτίας και αποτελέσματος.

Το εντυπωσιακότερο στοιχείο της αιτιακής θεωρίας του χρόνου είναι η δυνατότητα αξιωματικοποίησης της ειδικής σχετικότητας με τη βοήθεια αιτιακών σχέσεων και μόνο, έτσι που θα μπορούσαμε να πούμε ότι όλο το εύρος του χώρου και του χρόνου στην ειδική σχετικότητα είναι αναγώγιμο σε αιτιακές σχέσεις. Η πρώτη αξιωματικοποίηση αυτού του τύπου οφείλεται στον Ρομπ (Robb, 1914, 1921) στη δεκαετία του 1910 και μια από τις σχετικά πρόσφατες στον Γουίνυ (Winnie, 1977).

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα αυτής της θεωρίας σχετίζεται με τη δυνατότητα επέκτασής της στη γενική σχετικότητα. Όπως θα δούμε στην Παράγραφο 5.8, οι αιτιακές σχέσεις στη θεωρία της σχετικότητας βασίζονται αποκλειστικά στη δομή που ονομάζεται κώνος φωτός. Ήταν ήδη γνωστό από τις θεωρίες των Κρέτσμαν (Kretschmann) και Βάιλ (Weyl), στις αρχές της δεκαετίας του 1910, ότι ο ορισμός της δομής του κώνου φωτός στη γενική σχετικότητα δεν αρκεί για τον πλήρη καθορισμό της μετρικής δομής του χωρόχρονου. Το τμήμα της μετρικής δομής που παραμένει απροσδιόριστο φαινόταν να μην μπορεί να αναχθεί σε αιτιακές σχέσεις. Μια διέξοδος για τους συμβατιστές είναι να αναπαραστήσουν την αιτιακή δομή του χωρόχρονου με τη βοήθεια του κώνου φωτός και της αφινικής δομής ταυτόχρονα.

5.3.3 Ο Συμβατικός Χαρακτήρας της Ταυτοχρονίας

Ένας από τους συμβατικούς ορισμούς που περιλαμβάνεται στην αξιωματικοποίηση της ειδικής σχετικότητας από τον Ράιχενμπαχ αποτέλεσε αντικείμενο ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για τη φιλοσοφία του χώρου και του χρόνου. Αυτός προϋποθέτει ότι στην ειδική σχετικότητα διαθέτουμε μια αξιοσημείωτη ελευθερία, από πλευράς επιλογής συμβάσεων, ως προς το ποια συμβάντα είναι ταυτόχρονα αναφορικά με έναν δεδομένο αδρανειακό χώρο. (Η συμβατικότητα αυτού του τύπου δεν πρέπει να συγχέεται με τη «σχετικότητα της ταυτοχρονίας» στην ειδική σχετικότητα, η οποία αναλύεται στην Παράγραφο 5.8 και αφορά μιαν αλλαγή στις σχέσεις ταυτοχρονίας όταν αλλάζει ο αδρανειακός χώρος.)

Το βασικό πρόβλημα είναι το ακόλουθο. Επιλέγουμε δύο σημεία σε έναν αδρανειακό χώρο της ειδικής σχετικότητας. Με ποιον τρόπο μπορούμε να κρίνουμε ποια από τα συμβάντα που εκδηλώνονται στο πρώτο σημείο είναι ταυτόχρονα με κάποια από τα συμβάντα που εκδηλώνονται στο δεύτερο; Το πρόβλημα δεν μας είναι εντελώς ξένο. Φανταστείτε ότι γιορτάζουμε μια επέτειο γενεθλίων σε δυο διαφορετικές πόλεις *A* και *B* που απέχουν μεγάλη απόσταση και ότι θέλουμε να ανάψουμε τα κεριά στις δυο τούρτες την ίδια στιγμή. Θα μπορούσαμε να συγχρονίσουμε τα συμβάντα με τη βοήθεια ενός υπεραστικού τηλεφωνήματος, από τη μια γιορτή στην άλλη τη στιγμή που ανάβονται τα κεριά. Ωστόσο, μπορεί να προτιμήσουμε έναν έμμεσο τρόπο. Εξασφαλίζουμε ότι υπάρχουν πανομοιότυπα ρολόγια σε κάθε γιορτή, τα οποία έχουν συγχρονιστεί από τα πριν με τη βοήθεια ενός υπεραστικού τηλεφωνήματος. Από τη στιγμή που τα ρολόγια έχουν συγχρονιστεί, μπορούμε να τα χρησιμοποιούμε για να προσδιορίσουμε ποια επόμενα συμβάντα είναι ταυτόχρονα και στους δύο χώρους.

Αν αναλύσουμε την προηγούμενη διαδικασία στα απλούστερα στοιχεία της, θα βρεθούμε μπροστά στην κλασική διαδικασία που εισήγαγε ο Αϊνστάιν στην εργασία του για την ειδική σχετικότητα το 1905, με τίτλο «Αναφορικά με την Ηλεκτροδυναμική των Κινουμένων Σωμάτων», διαδικασία που απέβλεπε στο να διασφαλίσει την ταυτοχρονία απομακρυσμένων συμβάντων. Διαθέτουμε πανομοιότυπα ρολόγια σε δυο τόπους *A* και *B* ενός αδρανειακού χώρου. Τα συγχρονίζουμε με τη βοήθεια ενός σήματος. Στέλνουμε ένα σήμα από το ρολόι *A* που αντανακλάται στιγμιαία στο ρολόι *B* και επιστρέφει στο ρολόι *A* (βλέπε Σχήμα 5.2) Αν υπήρχαν σήματα που να διαδίδονται με άπειρη ταχύτητα, θα είχαμε τη δυνατότητα να συγχρονίσουμε τα ρολόγια πολύ εύκολα. Η εκπομπή, η ανάκλαση και η επιστροφή του σήματος θα εκδηλώνονταν ακαριαία. Έτσι, αν η εκπομπή γίνει όταν η ένδειξη του ρολογιού *A* είναι 12 το μεσημέρι, θα ρυθμίσουμε το ρολόι *B* ώστε, τη στιγμή άφιξης του σήματος, να δείχνει επίσης 12 το μεσημέρι. Ωστόσο, στην ειδική σχετικότητα δεχόμαστε ότι κανένα σήμα δεν είναι δυνατό να ταξιδεύει ταχύτερα από το φως. Άλλωστε, ούτε οι τηλεφωνικές συνομιλίες διαδίδονται με άπειρη ταχύτητα, αλλά με την ταχύτητα του φωτός. Έτσι, ακόμα και αν χρησιμοποιήσουμε τα ταχύτερα διαθέσιμα σήματα –τα φωτεινά σήματα– θα μεσολαβήσει μια καθυστέρηση μεταξύ της εκπομπής του σήματος στο *A* και της επιστροφής του εκεί. Κατά τη διαδικασία ρύθμισης των ρολογιών, πρέπει να αποφασίσουμε ποιο συμβάν μεταξύ εκπομπής και επιστροφής του σήματος στην περιοχή του ρολογιού *A* είναι ταυτόχρονο με το συμβάν της ανάκλασης του σήματος στην περιοχή του ρολογιού *B*. Η κατάσταση αποτυπώνεται στο Σχήμα 5.3, όπου τα διάφορα συμβάντα στις περιοχές των ρολογιών *A* και *B* εκτείνονται στους κάθετους άξονες.

Αν με $T_{A\text{-εκπομπή}}$ συμβολίσουμε το χρόνο της εκπομπής του σήματος από το ρολόι *A* και με $T_{A\text{-επιστροφή}}$ το χρόνο της επιστροφής του, τότε σύμφωνα με τον *ορισμό* που διατύπωσε ο Αϊνστάιν το ακριβώς ενδιάμεσο συμβάν είναι το ταυτόχρονο με την ανάκλαση του σήματος στο ρολόι *B*. Η συντεταγμένη χρόνου αυτού του συμβάντος κατά το ρολόι *A* δίνεται από τον τύπο:

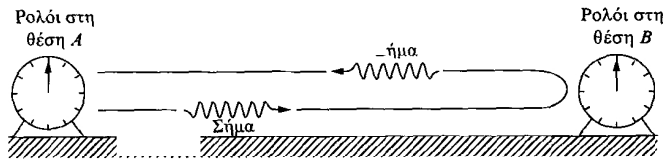
$$T_{1/2} = T_{A\text{-εκπομπή}} + 1/2(T_{A\text{-επιστροφή}} - T_{A\text{-εκπομπή}}) \qquad (2)$$

Τι άλλου είδους επιλογή μπορούσε να έχει ο Αϊνστάιν; Η αιτιακή θεωρία του χρόνου αποκλείει κάθε συμβάν στο *A* πρότερο του χρόνου $T_{A\text{-εκπομπή}}$. Ένα τέτοιο συμβάν θα μπορούσε να συνίσταται στην εκπομπή ενός άλλου σήματος που οδεύει με ταχύτητα μικρότερη από αυτήν του φωτός και φτάνει στο *B* τη στιγμή της ανάκλασης του πρώτου σήματος, οπότε θα κρινόταν πρότερο αυτής της ανάκλασης. Παρομοίως, κάθε συμβάν στο *A* μετά το χρόνο επιστροφής $T_{A\text{-επιστροφή}}$ θα κρινόταν μεταγενέστερο της ανάκλασης. Αφού η ταχύτητα του φωτός αποτελεί το ανώτατο όριο στην ταχύτητα διάδοσης σημάτων, κανένα συμβάν στο *A* που εκδηλώνεται μεταξύ των χρονικών στιγμών $T_{A\text{-επιστροφή}}$ και $T_{A\text{-εκπομπή}}$ δεν μπορεί να επιδράσει αιτιακά με την ανάκλαση στο *B*. Ως εκ τούτου, οποιοδήποτε από αυτά

τα συμβάντα θα μπορούσε να επιλεγεί ως ταυτόχρονο της ανάκλασης στο *B* και τα ρολόγια να συγχρονισθούν αναλόγως. Ο χρόνος που θα αναγραφόταν στο ρολόι *A* για ένα τέτοιο συμβάν δίνεται από τη σχέση

$$T_{\varepsilon} = T_{\text{A-εκπομπή}} + \varepsilon\,(T_{\text{A-επιστροφή}} - T_{\text{A-εκπομπή}}) \qquad (2')$$

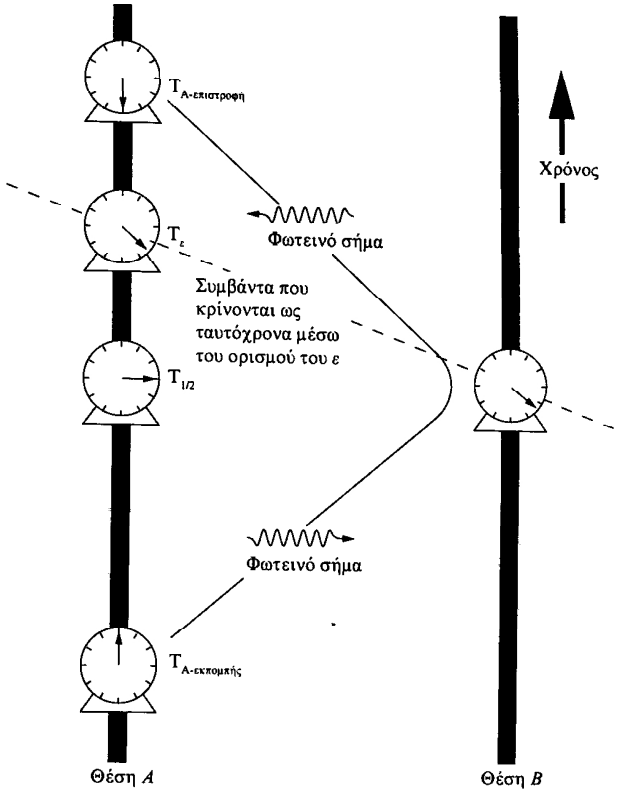
όπου το ε πρέπει να επιλεγεί έτσι ώστε $0 < \varepsilon < 1$. Ο συμβατικός χαρακτήρας της ταυτοχρονίας βασίζεται στην ελευθερία επιλογής της τιμής του ε μέσα στο διάστημα (0,1).



Σχήμα 5.2 Συγχρονισμός ρολογιών με τη βοήθεια της ανάκλασης ενός σήματος

Το επιχείρημα αυτό μπορεί να ισχυροποιηθεί και να καταστεί ώς κάποιο βαθμό ανεξάρτητο από την αιτιακή θεωρία του χρόνου αν πάρει τη μορφή του γνωστού μας φαύλου κύκλου. Θα μπορούσαμε να γνωρίζουμε ότι το συμβάν στο *A* τη χρονική στιγμή $T_{1/2}$ είναι πραγματικά ταυτόχρονο με την ανάκλαση στο *B* στην περίπτωση που γνωρίζαμε ότι το φως διαδίδεται ισότροπα, δηλαδή, με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις διευθύνσεις, γιατί τότε το φως χρειάζεται τον ίδιο χρόνο για να διανύσει την απόσταση από το *A* στο *B* και την απόσταση από το *B* στο *A*. Για να γνωρίζουμε όμως το χρόνο που απαιτείται για να διανύσει το φως μιαν απόσταση από ένα σημείο σε ένα άλλο πρέπει να διαθέτουμε συγχρονισμένα ρολόγια και στην αφετηρία αλλά και στην άφιξη του φωτεινού σήματος. Έτσι μόνο μπορούμε να μετρήσουμε το χρόνο διάδοσης του φωτεινού σήματος και ακολούθως να υπολογίσουμε την ταχύτητά του. Από την άλλη όμως, *συγχρονισμένα* ρολόγια μπορούμε να έχουμε στη διάθεσή μας μόνον εφόσον γνωρίζουμε εκ των προτέρων ποια απομακρυσμένα συμβάντα στο χώρο είναι ταυτόχρονα – και έτσι κλείνει ο φαύλος κύκλος. Μπορούμε να διαρρήξουμε τον φαύλο κύκλο διαλέγοντας κατά βούληση μια τιμή για το ε. Η τιμή $\varepsilon = 1/2$ που αντιστοιχεί στην «πρότυπη» ταυτοχρονία ισοδυναμεί με τη θεώρηση ότι το φως ταξιδεύει με την ίδια ταχύτητα και προς τις δυο κατευθύνσεις όδευσης του σήματος.

Αν η μέθοδος συγχρονισμού μέσω αποστολής φωτεινών σημάτων αποτυγχάνει να προσδιορίσει μια πραγματική σχέση ταυτοχρονίας στο πλαίσιο της ειδικής σχετικότητας, δεν θα μπορούσε, άραγε, να τα καταφέρει κάποια άλλη μέθοδος; Ένα μεγάλο μέρος της βιβλιογραφίας που αναφέρεται στο θέμα του συμβα-



Σχήμα 5.3 Το αποτέλεσμα της ύπαρξης ανώτατου ορίου στην ταχύτητα διάδοσης των σημάτων στη διαδικασία συγχρονισμού ρολογιών.

τικού χαρακτήρα της ταυτοχρονίας αφιερώνεται στην έρευνα τέτοιου τύπου εναλλακτικών μεθόδων συγχρονισμού απομακρυσμένων ρολογιών και στην αναζήτηση ορισμών που να ισοδυναμούν με την απόδοση μιας τιμής για το ε. Για να αποκτήσετε μια σαφή εικόνα τού γιατί φαίνεται αδύνατο να βρεθεί μια τέτοια μέθοδος απαλλαγμένη από συμβασιοκρατικές εξαρτήσεις, ανατρέξτε στο Salmon (1977). Ας σημειωθεί ότι στην εν λόγω βιβλιογραφία τονίζεται η συμβατικότητα που ενέχεται μόνο στην ταχύτητα «μετάβασης» του φωτός από το ένα σημείο στο άλλο. Η ταχύτητα με την οποία το φωτεινό σήμα επιστρέφει δεν θεωρείται ότι είναι συμβατική, αφού για τον προσδιορισμό της απαιτείται ένα μόνο ρολόι, το κοινό ρολόι αφετηρίας και τελικής άφιξης.

Στην Παράγραφο 5.11 θα επιστρέψουμε στο θέμα της συμβατικότητας της ταυτοχρονίας για να γίνουμε μάρτυρες μιας από τις πλέον δραματικές ανατροπές συσχετισμών στη φιλοσοφική διένεξη πάνω στο ζήτημα του χώρου και του χρόνου. Ο Ντέιβιντ Μάλαμεντ συνήγαγε πρόσφατα ένα θεώρημα από την ειδική θεωρία της σχετικότητας το οποίο, όπως ο ίδιος τονίζει, αποδεικνύει ότι η σχέση της ταυτοχρονίας *δεν* υποκαθορίζεται από τις αιτιακές σχέσεις της ειδικής σχετικότητας και άρα αυτή δεν μπορεί να αντιμετωπισθεί συμβατικά στο πλαίσιο της αιτιακής θεωρίας του χρόνου. Το ίδιο θεώρημα αποδεικνύει ότι η μόνη μη τετριμμένη σχέση ταυτοχρονίας που είναι δυνατό να διατυπωθεί στο πλαίσιο των αιτιακών σχέσεων της ειδικής σχετικότητας είναι η οικεία πρότυπη ταυτοχρονία όπου το $\varepsilon = 1/2$.

ΜΕΡΟΣ ΙΙ: ΘΕΩΡΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Σε αυτό το μέρος θα εισαγάγουμε τον αναγνώστη στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται σήμερα σχεδόν αποκλειστικά στο χώρο της φιλοσοφίας του χώρου και του χρόνου. Αυτές οι μέθοδοι διαφέρουν από εκείνες που χρησιμοποιήσαμε στο πρώτο μέρος κατά διάφορους σημαντικούς τρόπους.

1. Δίνεται μικρότερη έμφαση στην άποψη ότι θεωρίες για το χώρο και το χρόνο αποτελούν ένα σύνολο νομοειδών (law-like) προτάσεων. Στη νέα οπτική οι θεωρίες προσεγγίζονται σημασιολογικά (βλέπε Κεφάλαιο 3). Έτσι, η δραστηριότητα του θεωρητικού εξομοιώνεται με αυτή ενός μοντελιστή που προσπαθεί να αναπαραστήσει ένα πραγματικό ιστιοφόρο κατασκευάζοντας ένα μοντέλο όπου αποτυπώνει όσον το δυνατό περισσότερες από τις ιδιότητες του πραγματικού ιστιοφόρου. Αυτός που διατυπώνει θεωρίες για το χώρο και το χρόνο οικοδομεί μοντέλα στα οποία προσπαθεί να αντικατοπτρίσει τις χωροχρονικές ιδιότητες της πραγματικότητας. Όμως, τα μοντέλα του θεωρητικού δεν είναι κατασκευασμένα από κουφοξυλιά, κόλλα και σπάγκους, αλλά από αφηρημένες μαθηματικές οντότητες όπως οι αριθμοί.
2. Οι θεωρίες για το χώρο και το χρόνο –της θεωρίας του Νεύτωνα συμπεριλαμβανομένης– είναι διατυπωμένες με χωροχρονικούς όρους. Κατ' αυτόν τον τρόπο, όταν συγκρίνεται η θεωρία του Νεύτωνα με τις αντίπαλες σχετικιστικές θεωρίες, η ταυτότητα των όρων που χρησιμοποιούνται διασφαλίζει το ότι οι διαφορές που θα παρατηρηθούν είναι πραγματικές και δεν αποτελούν συμπτώσεις που οφείλονται στη διαφορά διατύπωσης.
3. Ένα από τα κεντρικά θέματα του πρώτου Μέρους ήταν ο διαχωρισμός των συμβατικών ή αυθαίρετων στοιχείων μιας θεωρίας από αυτά που είναι πραγματικά ή, όπως τώρα λέμε, από τα στοιχεία με «φυσική σημασία». Ένα μέσο για την αποτελεσματική πραγμάτωση αυτού του διαχωρισμού κυοφορείται

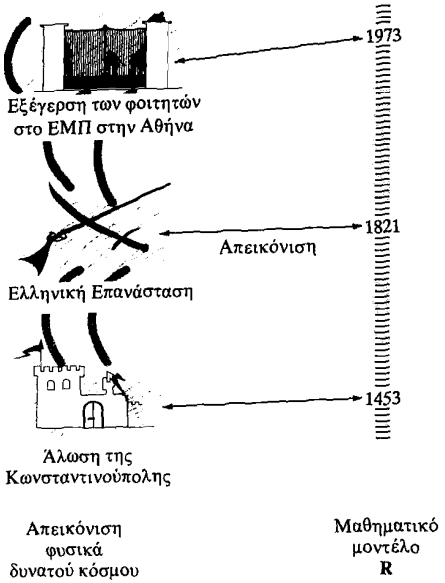
στις έννοιες του «συναλλοίωτου» και του «αναλλοίωτου», που θα αναλυθούν στο δεύτερο Μέρος.

5.4 ΜΙΑ ΑΠΛΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Ας αρχίσουμε με την ανάπτυξη μιας πολύ απλής θεωρίας του χρόνου, κύριος σκοπός της οποίας είναι η επεξήγηση της χρήσης των μοντέλων και των εννοιών του συναλλοίωτου και του αναλλοίωτου σε ένα πλαίσιο κατά πολύ απλούστερο από τις χωροχρονικές θεωρίες προς τις οποίες θα στραφούμε σύντομα. Το βασικό χρονικό χαρακτηριστικό ενός δυνατού, από φυσική άποψη, κόσμου είναι ότι αποτελείται από απειράριθμες στιγμές που εκτείνονται απεριόριστα προς το παρελθόν και προς το μέλλον. Το σύνολο αυτών των στιγμών είναι ομογενές: κάθε στιγμή είναι πανομοιότυπη με οποιαδήποτε άλλη. Το σύνολο αυτό εκλαμβάνεται επίσης ως ισοτροπικό: Οι κατευθύνσεις προς το παρελθόν και προς το μέλλον είναι επίσης πανομοιότυπες. Για να προσδιορίσουμε καλύτερα αυτές τις χαλαρά διατυπωμένες έννοιες και για να τις καταστήσουμε ακριβείς, ας αναπτύξουμε την ακόλουθη σειρά χρονικών θεωριών.

5.4.1 Η Διατύπωση κατά μία Συντεταγμένη

Ας επιλέξουμε ως μοντέλο για τη θεωρία μας την πολλαπλότητα (manifold) των πραγματικών αριθμών **R**. Κάθε πραγματικός αριθμός του **R** παριστάνει μια χρονική στιγμή (βλέπε Σχήμα 5.4). Αυτή η σχέση αναπαράστασης αποτελεί έναν τρόπο *απεικόνισης* (coordination) των διαδοχικών χρονικών στιγμών ενός φυσικώς δυνατού κόσμου επί της μαθηματικής δομής **R**· αυτή η σχέση απεικόνισης έχει επικρατήσει να αποκαλείται *σύστημα συντεταγμένων*. Από την εν λόγω απεικόνιση μπορούμε να συναγάγουμε πολλές από τις χρονικές ιδιότητες ενός τέτοιου φυσικώς δυνατού κόσμου. Για παράδειγμα, το γεγονός ότι δεν υπάρχει μέγιστος πραγματικός αριθμός αναπαριστά το γεγονός ότι δεν υπάρχει μια έσχατη χρονική στιγμή, πράγμα που σημαίνει ότι ο κόσμος θα εξακολουθεί να υφίσταται στο μέλλον για απροσδιόριστα μεγάλο αριθμό χρονικών στιγμών. Κατά παρόμοιο τρόπο, η συμπάγεια της δομής **R**, δηλαδή, το γεγονός ότι μεταξύ δύο οποιωνδήποτε πραγματικών αριθμών υπάρχει πάντοτε κάποιος άλλος πραγματικός αριθμός, αναπαριστά τη συμπάγεια του χρόνου. Η ιδέα αυτή απεικονίζει το γεγονός ότι κάθε χρονικό διάστημα μπορεί να υποδιαιρείται, έτσι ώστε να αποκλείεται η ύπαρξη αδιαίρετων χρονικών «ατόμων».



Σχήμα 5.4 Σύστημα συντεταγμένων για τη γραμμική θεωρία του χρόνου

5.4.2 Η Πρότυπη Διατύπωση

Δυστυχώς δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι κάθε ιδιότητα του **R** αναπαριστά μια ιδιότητα του φυσικώς δυνατού κόσμου. Για παράδειγμα, η δομή **R** είναι ανισότροπη, η κατεύθυνση κατά την οποία αυξάνουν οι πραγματικοί αριθμοί διακρίνεται από αυτή κατά την οποία ελαττώνονται. Θέσαμε όμως ότι οι φυσικές στιγμές απαρτίζουν ένα ισοτροπικό συνεχές. Κατά παρόμοιο τρόπο, η δομή **R** είναι ανομοιογενής. Για παράδειγμα, ο πραγματικός αριθμός 1 διακρίνεται από κάθε άλλο αριθμό. Ωστόσο, δεχθήκαμε ότι οι φυσικές στιγμές απαρτίζουν ένα ομογενές συνεχές.

Μια απλή ιδέα μας δίνει τη δυνατότητα να διαχωρίζουμε με συστηματικό τρόπο ποιες από τις ιδιότητες αυτού του μοντέλου διαθέτουν φυσικό νόημα. Για να αποστερήσουμε την ανισοτροπία της δομής **R** από φυσική σημασία, διευρύνουμε τις αποδεκτές απεικονίσεις του φυσικώς δυνατού κόσμου πάνω στο **R** που επιτρέπει η θεωρία. Έτσι κατασκευάζουμε ένα νέο σύστημα συντεταγμένων συμμετρικό περί το σημείο 0 (όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.5). Οι χρονικές στιγμές που στο αρχικό σύστημα αντιστοιχούσαν στα σημεία 0, 500, 1000, 1500

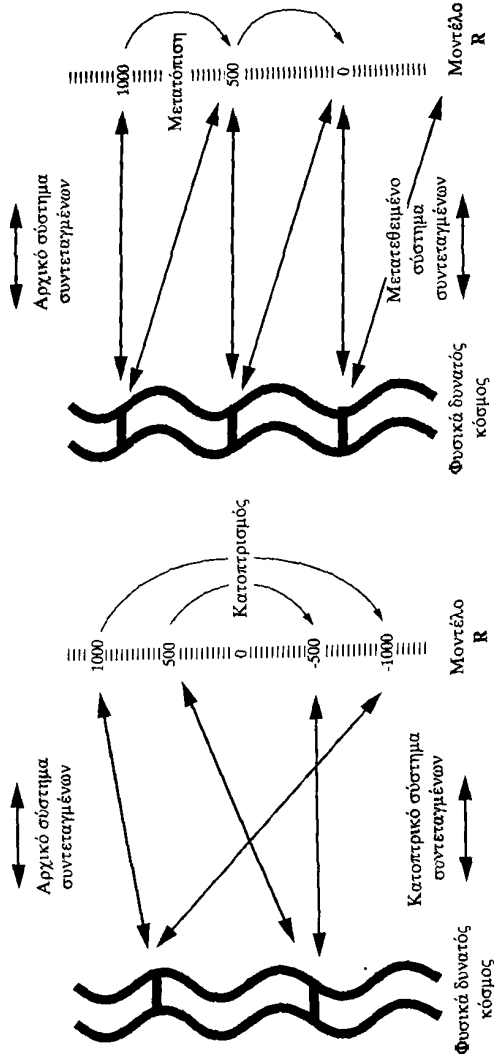
κ.ο.κ., αντιστοιχίζονται τώρα στα σημεία 0, -500, -1000, -1500 κ.ο.κ., του νέου συστήματος. Το μετασχηματισμό που μας επιτρέπει να μεταβαίνουμε από το ένα σύστημα συντεταγμένων στο άλλο τον ονομάζουμε κατοπτρισμό ως προς το σημείο 0. Αν δεχθούμε ότι τόσο το αρχικό σύστημα όσο και το κατοπτρικό του αναπαριστούν εξίσου το συνεχές των φυσικών στιγμών, τότε η ανισοτροπία της δομής **R** δεν μας επιτρέπει πλέον να επιλέξουμε μια προτιμητέα κατεύθυνση στο συνεχές των φυσικών στιγμών. Η κατεύθυνση που επελέγη με την αύξηση των πραγματικών αριθμών στο ένα σύστημα συντεταγμένων είναι αντίθετη από αυτήν που επιλέγεται στο κατοπτρικό σύστημα.

Κατά παρόμοιο τρόπο αρνούμαστε φυσική σημασία στην ανομοιογένεια του **R** επιτρέποντας την ύπαρξη όλων των συστημάτων συντεταγμένων που προκύπτουν από τη μετατόπιση του αρχικού. Για παράδειγμα, στο αρχικό σύστημα η χρονική στιγμή που αντιστοιχεί στο σημείο 0 ξεχωρίζει συγκρινόμενη με αυτήν που αντιστοιχεί στο 500. Το νέο σύστημα συντεταγμένων παράγεται αν μετατεθεί το παλιό κατά 500. Σχηματικά, αυτό αντιστοιχεί σε μια ολίσθηση όλων των τιμών του αρχικού συστήματος κατά 500. Βλέπε Σχήμα 5.5. Εξασφαλίζουμε ότι η ανομοιογένεια της δομής **R** δεν αποδίδει ένα ορισμένο ειδικό καθεστώς σε κάποια φυσική στιγμή επιτρέποντας την ύπαρξη όλων των συστημάτων συντεταγμένων που παράγονται από μια μετατόπιση του αρχικού κατά *οποιαδήποτε* πραγματική τιμή. Έτσι, για οποιαδήποτε χρονική στιγμή μπορούμε πάντοτε να βρούμε ένα σύστημα συντεταγμένων στο οποίο η τιμή 0 αποδίδεται σε αυτήν τη στιγμή, ή, τελικά, και οποιαδήποτε άλλη τιμή επιθυμούμε.

5.4.3 Συναλλοίωτο και Αναλλοίωτο

Συγκεφαλαιώνοντας, μπορούμε να πούμε ότι η πρότυπη διατύπωση της θεωρίας περιλαμβάνει τόσο το αρχικό σύστημα συντεταγμένων όσο και όλα εκείνα που παράγονται από τους μετασχηματισμούς του κατοπτρισμού και της μετατόπισης. Ας ονομάσουμε αυτά τα συστήματα *πρότυπα* συστήματα συντεταγμένων της θεωρίας. Το σύνολο των κατοπτρισμών και των μεταθέσεων σχηματίζουν μια ομάδα μετασχηματισμών (βλέπε το πλαίσιο που ακολουθεί), πράγμα που ουσιαστικά σημαίνει ότι δεν εγκαταλείπουμε το σύνολο των μετασχηματισμών αν τους αντιστρέψουμε ή τους συνδυάσουμε μεταξύ τους. Αυτή η ομάδα ονομάζεται *συναλλοίωτη ομάδα* της θεωρίας. Εναλλακτικά, μπορούμε να λέμε ότι η θεωρία είναι συναλλοίωτη υπό τους μετασχηματισμούς κατοπτρισμού και μετατόπισης.

Το πλεονέκτημα της πρότυπης διατύπωσης έναντι της διατύπωσης που λαμβάνει υπ' όψιν της ένα μόνο σύστημα συντεταγμένων είναι ότι η πρώτη μάς επιτρέπει να διακρίνουμε τις ιδιότητες του μοντέλου που έχουν φυσική σημασία ή αντιστοιχούν σε γεγονότα, από αυτές που είναι αυθαίρετες. Οι πρώτες είναι ακριβώς οι ιδιότητες που παραμένουν ταυτόσημες σε όλα τα συστήματα συντεταγμένων της θεωρίας. Τούτο το σημαντικό συμπέρασμα μπορούμε να το διατυ-



Σχήμα 5.5 Μετασχηματισμοί συντεταγμένων για την πρότυπη διατύπωση της γραμμικής θεωρίας του χρόνου.

πώσουμε και διαφορετικά. Με τον όρο *αναλλοίωτο* ενός μετασχηματισμού εννοούμε κάτι που παραμένει αμετάβλητο μετά την εφαρμογή του μετασχηματισμού. Έτσι φτάνουμε σε μια αρχή εξόχου σπουδαιότητας για όλες τις θεωρίες του χώρου και του χρόνου:

> Αντίκρυσμα στην πραγματικότητα, ή φυσική σημασία, έχουν εκείνα τα μεγέθη μιας θεωρίας χώρου ή χρόνου που παραμένουν αναλλοίωτα κατά τη συναλλοίωτη ομάδα μετασχηματισμών της θεωρίας αυτής.

Όλα τα άλλα μεγέθη είναι δυνατό να επιλέγονται αυθαίρετα ή συμβατικά. Για παράδειγμα, το γεγονός ότι σε ένα σύστημα συντεταγμένων αποδίδεται η πραγματική τιμή 27 σε κάποια χρονική στιγμή δεν αποτελεί αναλλοίωτο και ως εκ τούτου δεν διαθέτει φυσική σημασία. Ένα διαφορετικό σύστημα συντεταγμένων γενικά θα της αποδώσει διαφορετική τιμή. Η επιλογή, λοιπόν, του συστήματος συντεταγμένων αποτελεί μια αυθαίρετη ή συμβατική διαδικασία. Ωστόσο, αν η διαφορά τιμών των συντεταγμένων δύο χρονικών στιγμών είναι 100, τότε σε όλα τα πρότυπα συστήματα συντεταγμένων θα είναι ± 100. Έτσι, συμπεραίνουμε ότι η απόλυτη τιμή της διαφοράς (δηλαδή, η διαφορά ως θετικός αριθμός) των συ-

Αν στο αρχικό σύστημα συντεταγμένων αποδίδεται η τιμή T σε κάποια φυσική χρονική στιγμή σ, τότε σε ένα σύστημα συντεταγμένων που παράγεται με κατοπτρισμό περί το 0 θα αποδοθεί στη σ μια νέα τιμή T' όπου

$$T' = -T$$

ενώ μια μετάθεση κατά K θα της αποδώσει την τιμή T'' όπου

$$T'' = T - K.$$

Συνδυάζοντας τα δύο μπορούμε να παραστήσουμε τη συναλλοίωτη ομάδα της πρότυπης διατύπωσης ως το σύνολο όλων των μετασχηματισμών που περιγράφονται από τη σχέση

$$T^* = At - K$$

όπου το A μπορεί να παίρνει τις τιμές +1 ή –1, και το K οποιαδήποτε πραγματική τιμή. Τυπικά, αυτό το σύνολο μετασχηματισμών αποτελεί ομάδα αφού ικανοποιεί τις ακόλουθες τρεις συνθήκες:

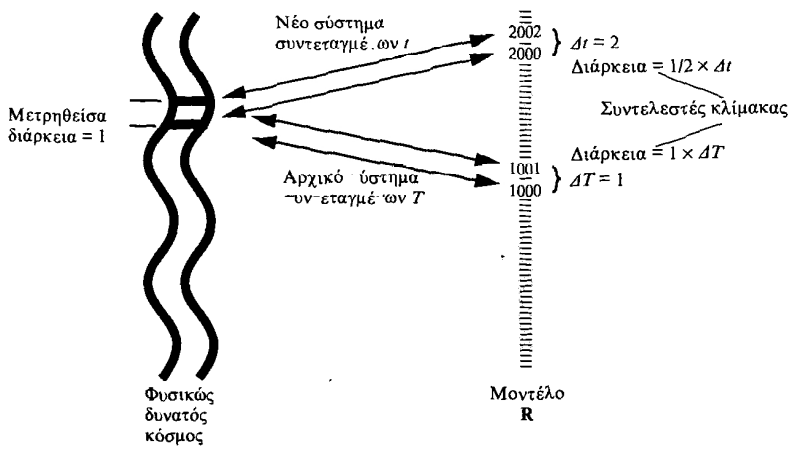
1. Το σύνολο περιλαμβάνει τον μοναδιαίο μετασχηματισμό.
2. Ο αντίστροφος κάθε μετασχηματισμού ανήκει στο σύνολο.
3. Κάθε συνδυασμός δύο μετασχηματισμών του συνόλου ανήκει στο σύνολο.

ντεταγμένων σε διαφορετικά πρότυπα συστήματα είναι αναλλοίωτη και άρα διαθέτει φυσική σημασία. Αυτές οι διαφορές ερμηνεύονται ως διάρκεια ή ως ο φυσικός χρόνος που πέρασε, όπως θα αναγνωσθεί σε ένα συνηθισμένο ρολόι.

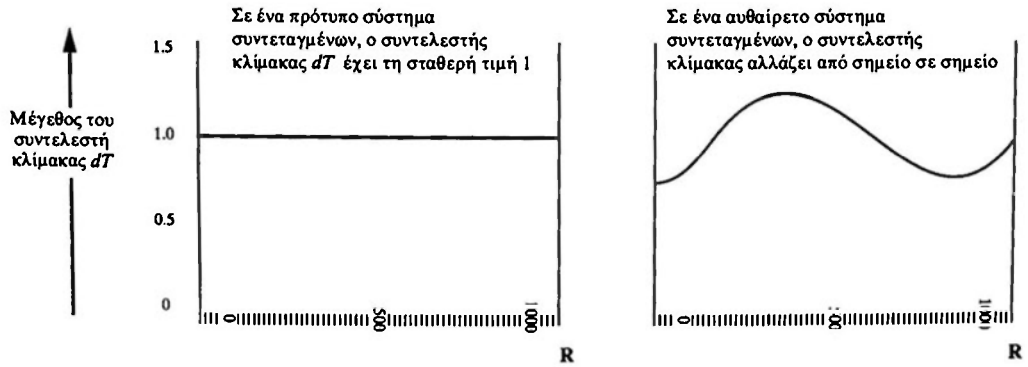
Η στρατηγική που οδήγησε στο χαρακτηρισμό της γεωμετρικής δομής ως το αναλλοίωτο μιας ομάδων μετασχηματισμών έχει σεβαστή ιστορία. Χρονολογείται από την εποχή του «Erlangen Program» του Φέλιξ Κλάιν (Felix Klein), που διατυπώθηκε γύρω στο 1870 και στο οποίο ο Κλάιν ανέπτυξε μια στρατηγική για να ενοποιήσει την αντιμετώπιση των διαφόρων γεωμετριών που ανακαλύφθηκαν τον 19ο αιώνα.

5.4.4 Η Γενικώς Συναλλοίωτη Διατύπωση

Η υιοθέτηση μιας γενικώς συναλλοίωτης διατύπωσης μιας θεωρίας συνιστά ένα δρόμο που καθιστά σαφέστερο το ποια μεγέθη της θεωρίας έχουν φυσική σημασία. Για να φτάσουμε σε αυτήν τη διατύπωση, επεκτείνουμε τα επιτρεπτά συστήματα συντεταγμένων έτσι ώστε να συμπεριλάβουμε και όλα εκείνα που μπορούν να μετασχηματιστούν στο αρχικό με την εφαρμογή ομαλών αντιστρεπτών μετασχηματισμών στο **R**. Σχηματικά αυτό σημαίνει ότι οι επιτρεπόμενοι μετασχηματισμοί της θεωρίας περιλαμβάνουν όχι μόνο κατοπτρισμούς και «ολισθήσεις» (μεταθέσεις) του συστήματος συντεταγμένων αλλά και κάθε «τάνυσμα ή συμπίεση», που διατηρεί την ομαλότητα του συστήματος και την ταυτότητα όλων των χρονικών στιγμών. Ωστόσο, δεν μπορούμε να αφήσουμε τη θεωρία σε



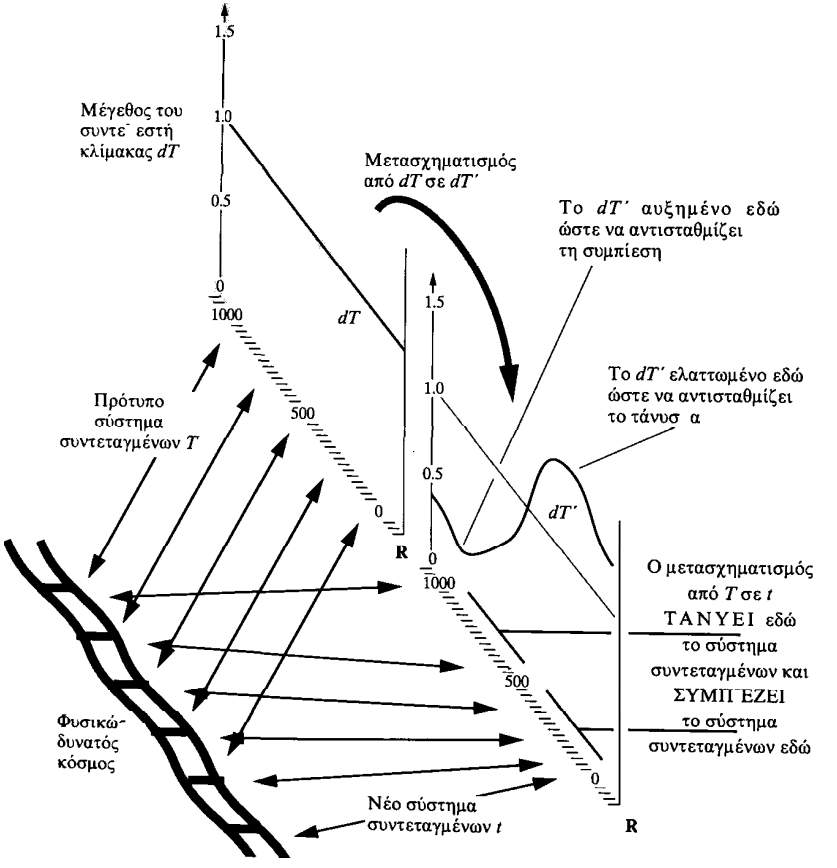
Σχήμα 5.6 Μετρική του χρόνου για τη γραμμική θεωρία του χρόνου.



Σχήμα 5.7 Ο συντελεστής κλίμακας *dT* σε διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων.

αυτήν την κατάσταση, γιατί δεν μπορούμε πλέον να αναπαραστήσουμε τη διάρκεια μέσω της διαφοράς των συντεταγμένων. Οι διαφορές συντεταγμένων σίγουρα δεν παραμένουν αναλλοίωτες υπό τους αυθαίρετους μετασχηματισμούς που τώρα επιτρέπονται. Για να ανακτήσουμε τη δυνατότητα αναπαράστασης της διάρκειας κατά τρόπο αναλλοίωτο, πρέπει να εισαγάγουμε ρητά στη θεωρία μια νέα μαθηματική δομή.

Θεωρήστε μια πολύ μικρή χρονική διάρκεια μεταξύ δύο χρονικών στιγμών με συντεταγμένες 1000 και 1001 σε ένα πρότυπο σύστημα συντεταγμένων (βλέπε Σχήμα 5.6). Η διαφορά συντεταγμένων –ας τη συμβολίσουμε με «ΔT»– είναι ίση με 1 και αντιπροσωπεύει τη διάρκεια που μεσολαβεί μεταξύ των δύο χρονικών



Σχήμα 5.8 Μετασχηματισμός του συντελεστή κλίμακας dT.

στιγμών. Εισάγουμε τώρα ένα νέο σύστημα συντεταγμένων που έχει τανυστεί γραμμικά έτσι ώστε να αποκτήσει έκταση διπλάσια αυτής του αρχικού. Σε αυτό το νέο σύστημα, οι χρονικές στιγμές που αντιστοιχούσαν στις τιμές 0, 500, 1000, 1001, κ.ο.κ., του αρχικού, τώρα αντιστοιχούν στις τιμές 0, 1000, 2000, 2002 κ.ο.κ.. Η διαφορά συντεταγμένων, μεταξύ των ίδιων χρονικών στιγμών στο νέο σύστημα –ας τη συμβολίσουμε με «Δt » – είναι τώρα ίση με 2.

Για να ανακτήσουμε την αρχική διάρκεια, πρέπει να πολλαπλασιάσουμε τη νέα διαφορά συντεταγμένων με έναν συντελεστή κλίμακας που εν προκειμένω ισούται με 1/2. Αυτός ο συντελεστής κλίμακας συνιστά την πρόσθετη γεωμετρική δομή που χρειαζόμαστε. Κάθε σύστημα συντεταγμένων της γενικά συναλλοίωτης διατύπωσης πρέπει να εφοδιάζεται με αυτόν το συντελεστή κλίμακας ώστε να επιτρέπονται οι βεβαιωτικές δηλώσεις αναφορικά με τη διάρκεια. Γενικά, για *μικρές* διάρκειες μεταξύ χρονικών στιγμών των οποίων οι συντεταγμένες διαφέρουν κατά Δt σε κάποιο σύστημα συντεταγμένων ισχύει το εξής αναλλοίωτο αποτέλεσμα:

$$\text{Αναλλοίωτη διάρκεια} = \text{Συντελεστής κλίμακας} \times |\Delta t|$$

Ο συντελεστής κλίμακας σε ένα πρότυπο σύστημα συντεταγμένων ισούται με τη μονάδα. Για το τανυσμένο σύστημα που περιγράφηκε λίγο νωρίτερα είναι ίσος με 1/2. Για κάποιο τυχαίο σύστημα συντεταγμένων, ο συντελεστής κλίμακας έχει τιμή που ποικίλλει από στιγμή σε στιγμή, ανάλογα με το πόσο έχει τανυστεί ή συμπιεσθεί το εκάστοτε σύστημα σε σχέση με το πρότυπο (βλέπε Σχήμα 5.7). Υπάρχει ένας απλός κανόνας –βλέπε εξίσωση (3) στο πλαίσιο που ακολουθεί– για τον υπολογισμό της μεταβολής του συντελεστή κλίμακας υπό κάποιον αυθαίρετο μετασχηματισμό συντεταγμένων. Η ύπαρξη ενός τέτοιου κανόνα σημαίνει ότι ο συντελεστής κλίμακας αποτελεί *συναλλοίωτο μέγεθος:* Από τη στιγμή που γνωρίζουμε την τιμή του σε ένα σύστημα, εφαρμόζουμε τον χαρακτηριστικό νόμο μετασχηματισμού του για να υπολογίσουμε την τιμή του σε οποιοδήποτε άλλο σύστημα συντεταγμένων. Εναλλακτικά, τέτοιου είδους μεγέθη είναι γνωστά ως *γεωμετρικά αντικείμενα.* Για μια σχηματική αναπαράσταση αυτού του νόμου μετασχηματισμού βλέπε στο Σχήμα 5.8.

Για να παραμένουμε πιστοί στον καθιερωμένο συμβολισμό, ας συμβολίσουμε το συντελεστή κλίμακας με «dT». Ο συντελεστής κλίμακας dT (μαζί με τα αποτελέσματα όλων των μετασχηματισμών του) είναι γνωστός και ως «συναλλοίωτο διάνυσμα» (covector) ή «διαφορική μορφή πρώτης τάξης» («one-form») και αναφορικά με τη λειτουργία του στα πλαίσια της θεωρίας, μπορεί επίσης να ονομαστεί «χρονική μετρική», αφού ευθύνεται για την απόδοση μετρήσιμων χρονικών διαρκειών στα διαστήματα μεταξύ των στιγμών. (Για λόγους πληρότητας σημειώνουμε μια τεχνική επιπλοκή. Ένα συναλλοίωτο διάνυσμα dT αντιστοιχίζει θετικά ή αρνητικά μέτρα σε διαστήματα μεταξύ στιγμών ανάλογα με την κατεύθυνση προς την οποία κινούμαστε. Αφού δεν επιθυμούμε να υπάρχει

Έστω ότι με T συμβολίζουμε ένα πρότυπο σύστημα συντεταγμένων και με ΔT τη διαφορά συντεταγμένων μεταξύ δύο γειτονικών στιγμών έτσι ώστε το ΔT να αντιπροσωπεύει και τη διάρκεια που μεσολαβεί μεταξύ αυτών των δύο στιγμών. Πραγματοποιούμε τώρα έναν μετασχηματισμό σε ένα νέο σύστημα συντεταγμένων t, το οποίο μπορεί να μην είναι πρότυπο. Έχουμε αμέσως

$$\text{Διάρκεια του διαστήματος} = \Delta T = (dT/dt)\,\Delta t$$

και μπορούμε να ταυτίσουμε το κλάσμα dT/dt με το συντελεστή κλίμακας dT του συστήματος συντεταγμένων t.
Αν, για παράδειγμα, $t = T^3$, τότε ο συντελεστής κλίμακας υπολογίζεται από τη σχέση $dT/dt = 1/(3T^2) = 1/(3t^{2/3})$. Αν ακολούθως θεωρήσουμε ένα άλλο σύστημα συντεταγμένων t' όπου dT' είναι ίσο με dT/dt', τότε από γνωστό κανόνα της διαφόρισης $dT/dt' = (dt/dt')\,(dT/dt)$ μπορούμε να συναγάγουμε τον γενικό κανόνα μετασχηματισμού για το dT:

$$dT' = (dt/dt')\ dT\,. \qquad (3)$$

Η σχέση (3) αποτελεί τον χαρακτηριστικό νόμο μετασχηματισμών για τα συναλλοίωτα διανύσματα ή τις διαφορικές μορφές πρώτης τάξης.

ανισοτροπία στο συνεχές των στιγμών, φυσική σημασία έχουν μόνο οι απόλυτες τιμές των μέτρων που αποδίδονται.)

Η γενικά συναλλοίωτη διατύπωση της θεωρίας έχει μοντέλα του τύπου $<\mathbf{R}, dT>$ όπου οι αγκύλες «< , >» συμβολίζουν ένα διατεταγμένο ζεύγος. Κάθε φορά που αλλάζουμε σύστημα συντεταγμένων δημιουργούμε έναν νέο συντελεστή κλίμακας dT. Έτσι το σύνολο των μοντέλων της θεωρίας περιέχει άπειρα τέτοια μοντέλα

$$<\mathbf{R}, dT>, <\mathbf{R}, dT'>, <\mathbf{R}, dT''>, \ldots,$$

όπου οι dT, dT', dT'', ... μπορούν να μετασχηματίζονται ο ένας στον άλλον αντιπροσωπεύοντας έτσι ένα συναλλοίωτο μέγεθος ή γεωμετρικό αντικείμενο. Υπάρχει μια φυσιολογική διάκριση εργασίας μεταξύ των δύο δομών που σχηματίζουν το ζεύγος του κάθε μοντέλου. Το γεγονός ότι ο φυσικός κόσμος μπορεί να απεικονισθεί στο $\mathbf{R}$ μάς προδίδει τις τοπολογικές του ιδιότητες: Συνοπτικά, οι στιγμές του απαρτίζουν ένα γραμμικό συνεχές χωρίς έσχατα σημεία και προς τις δύο κατευθύνσεις. Αντίθετα από ό,τι συμβαίνει στην πρότυπη διατύπωση, η αναπαράσταση με βάση το $\mathbf{R}$ δεν μας παρέχει καμιά πληροφορία για τις φυσικώς

μετρήσιμες διάρκειες ανάμεσα στις στιγμές. Αυτή η πληροφορία μάς παρέχεται μέσω της χρονικής μετρικής dT, του δεύτερου μέλους του ζεύγους.

Το μοντέλο <**R**, dT > αποτελεί τυπικό παράδειγμα των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στις θεωρίες του χώρου, του χρόνου και του χωρόχρονου. Τα μοντέλα των θεωριών προς τις οποίες θα στραφούμε σε όσα ακολουθούν έχουν τη γενική μορφή

<πολλαπλότητα, γεωμετρικό αντικείμενο, γεωμετρικό αντικείμενο, ... >

Το πρώτο μέλος του μοντέλου, η πολλαπλότητα, αντιπροσωπεύει την τοπολογία του εν λόγω χρόνου, χώρου ή χωρόχρονου. Μας λέει πόσες διαστάσεις έχει ο χώρος και μας παρέχει πληροφορίες για την όλη τοπολογία του.

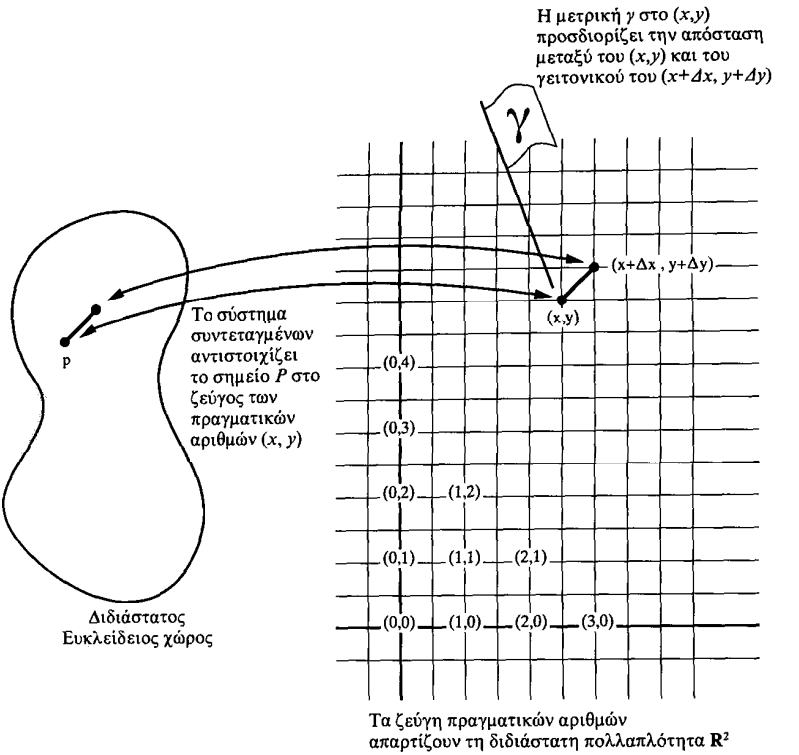
Στην απλή γραμμική θεωρία, ο χρόνος είχε τη συνολική μορφή μιας ευθείας που εκτείνεται χωρίς περιορισμό προς το μέλλον και προς το παρελθόν. Θα μπορούσαμε, ωστόσο, να θέλουμε να αναπαραστήσουμε ένα χρόνο κυκλικό, στον οποίο το παρελθόν και το μέλλον συναντώνται. Σε αυτήν την περίπτωση, ως πολλαπλότητα δεν θα χρησιμοποιούσαμε το **R**, αλλά κάποια άλλη μονοδιάστατη πολλαπλότητα που είναι κλειστή, όπως η περιφέρεια του κύκλου. Υπάρχουν πολλές πολλαπλότητες συνθετότερες από την **R**, που μπορεί να επιλέξει κάποιος θεωρητικός για να οικοδομήσει μοντέλα. Τα υπόλοιπα μέλη του μοντέλου είναι τα γεωμετρικά αντικείμενα, όπως το dT, που έχουν «σχεδιασθεί» πάνω στον καμβά της πολλαπλότητας. Αυτά παρέχουν τις μη τοπολογικές ιδιότητες του χώρου. Έτσι, αν επιθυμούμε να γνωρίζουμε το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ των στιγμών ανατρέχουμε σε μια μετρική του χρόνου. Σε μια θεωρία του χώρου, ανατρέχουμε σε μια μετρική του χώρου για να πληροφορηθούμε την απόσταση μεταξύ δύο σημείων κατά μήκος κάποιας καμπύλης. Μια τέτοια θεωρία θα μας απασχολήσει στην επόμενη παράγραφο.

5.5 Ο ΕΥΚΛΕΙΔΕΙΟΣ ΧΩΡΟΣ

Η θεωρία για τον Ευκλείδειο χώρο παρουσιάζει μια δομή κατά πολύ όμοια με αυτήν της γραμμικής θεωρίας του χρόνου. Ας θεωρήσουμε την περίπτωση ενός διδιάστατου Ευκλείδειου χώρου. Η γενίκευση για την περίπτωση του τριδιάστατου χώρου επιτυγχάνεται πολύ εύκολα.

Τα μοντέλα της θεωρίας οικοδομούνται με βάση τη διδιάστατη πολλαπλότητα $\mathbf{R}^2$, όπου με $\mathbf{R}^2$ συμβολίζουμε την πολλαπλότητα τα σημεία της οποίας αποτελούνται από ζεύγη πραγματικών αριθμών.

Διαισθητικά, η πολλαπλότητα $\mathbf{R}^2$ παριστάνεται ως το σύνολο όλων των ζευγών που σχηματίζονται από πραγματικούς αριθμούς που απλώνονται σε έναν πίνακα δύο διαστάσεων άπειρο και χωρίς οπές. Το ότι αυτή η πολλαπλότητα μπορεί να αντιστοιχιστεί στο γνωστό Ευκλείδειο επίπεδο αντανακλά το γεγονός ότι



Σχήμα 5.9 Μοντέλο ενός διδιάστατου Ευκλείδειου χώρου.

το επίπεδο διαθέτει όλες τις τοπολογικές ιδιότητες της πολλαπλότητας (βλέπε Σχήμα 5.9). Η θεωρία οφείλει να είναι γενικά συναλλοίωτη. Κατά συνέπεια, επιτρέπεται κάθε αντιστοίχιση που προκύπτει μέσω κάποιου ομαλού μετασχηματισμού του αρχικού συστήματος. Οι μετασχηματισμοί αυτοί μπορεί να περιλαμβάνουν αναγωγές, κάθε είδους μεταθέσεις, στροφές, κατοπτρισμούς, «τανυσμούς», και «συμπιέσεις», που διατηρούν την ομαλότητα του συστήματος συντεταγμένων καθώς και τη μοναδικότητα της ονομασίας του σημείου.

Η θεωρία μας δεν μπορεί ακόμα να προσδιορίσει τις αποστάσεις μεταξύ των σημείων του χώρου. Αυτή η πληροφορία παρέχεται από το γεωμετρικό αντικείμενο γ, που αποτελεί τον μετρικό τανυστή του χώρου. Το αντικείμενο αυτό ορίζεται σε κάθε σημείο του $\mathbf{R}^2$ και κωδικοποιεί την απόσταση ενός σημείου από τα γειτονικά του.

Ο μετρικός τανυστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του μή-

κους μιας καμπύλης σε έναν Ευκλείδειο χώρο μέσω της κατάτμησης της καμπύλης σε μιαν ακολουθία μικρών τμημάτων, τον υπολογισμό του μήκους καθενός και τέλος την άθροιση όλων.

Συγκεφαλαιώνοντας, τα μοντέλα της θεωρίας είναι ζεύγη της μορφής

$$<\mathbf{R}^2, \gamma>.$$

Αφού η θεωρία είναι γενικά συναλλοίωτη, επιτρέπονται άπειρες αντιστοιχίσεις μεταξύ του φυσικού χώρου και της πολλαπλότητας $\mathbf{R}^2$. Όπως ακριβώς με τη γραμμική θεωρία του χρόνου, όταν γίνεται μετασχηματισμός από ένα σύστημα συντεταγμένων σε ένα άλλο μπορεί να χρειάζεται να τροποποιήσουμε τους συντελεστές κλίμακας που αποτελούν τον γ ώστε να διατηρείται το αναλλοίωτο του μήκους που μας αποδίδεται από τους υπολογισμούς. Έτσι, το σύνολο των μοντέλων της θεωρίας γίνεται άπειρα μεγάλο:

Η απόσταση Δl μεταξύ ενός σημείου με συντεταγμένες (x,y) και ενός άλλου γειτονικού του με συντεταγμένες $(x+\Delta x, y+\Delta y)$ δίνεται από την τετραγωνική μορφή

$$\Delta l^2 = \gamma_{11}\Delta x^2 + \gamma_{12}\Delta x\Delta y + \gamma_{21}\Delta x\Delta y + \gamma_{22}\Delta y^2 \quad (4)$$

όπου οι συντελεστές γ_{12} και γ_{21} είναι ίσοι. Ο πίνακας των τιμών των τεσσάρων συντελεστών

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{bmatrix}$$

αντιπροσωπεύει την ποσότητα γ στο συναφές σύστημα συντεταγμένων. Σε ορισμένα ειδικά συστήματα συντεταγμένων –τα Καρτεσιανά– οι συντελεστές παίρνουν μια πολύ απλή μορφή ($\gamma_{11} = \gamma_{22} = 1$, $\gamma_{12} = \gamma_{21} = 0$), οπότε η (4) γίνεται

$$\Delta l^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 \quad (4')$$

που αποτελεί μια εκδοχή του Πυθαγόρειου θεωρήματος. Μια διατύπωση της θεωρίας του Ευκλείδειου χώρου που χρησιμοποιεί μόνο Καρτεσιανές συντεταγμένες αποτελεί πρότυπη διατύπωση της εν λόγω θεωρίας.

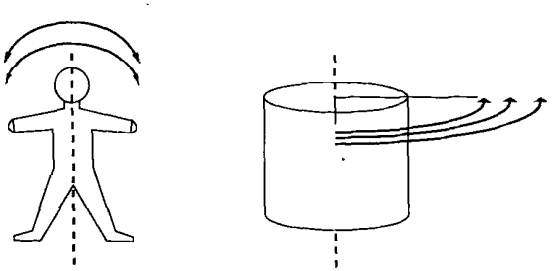
$$<\mathbf{R}^2, \gamma>, <\mathbf{R}^2, \gamma'>, <\mathbf{R}^2, \gamma''>, \ldots$$

Οι ποσότητες γ, γ', γ'',... μετασχηματίζονται η μία στην άλλη όταν μεταβαίνουμε από το ένα σύστημα συντεταγμένων στο άλλο, αποτελώντας από κοινού ένα γεωμετρικό αντικείμενο.

5.6 ΟΙ ΑΡΧΕΣ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ

Οι αρχές συμμετρίας μάς προσφέρουν έναν ακριβή τρόπο για να εκφράσουμε μαθηματικά σημαντικές φυσικές ιδιότητες του χώρου και του χρόνου. Στις θεωρίες του γραμμικού χρόνου και του Ευκλείδειου χώρου στις Παραγράφους 5.4 - 5.5, οι αρχές συμμετρίας εκφράζουν το ομογενές και το ισότροπο του χρόνου και του χώρου. Στις θεωρίες για το χωρόχρονο που ακολουθούν, αρχές συμμετρίας εκφράζουν και πάλι τις αρχές σχετικότητας αυτών των θεωριών.

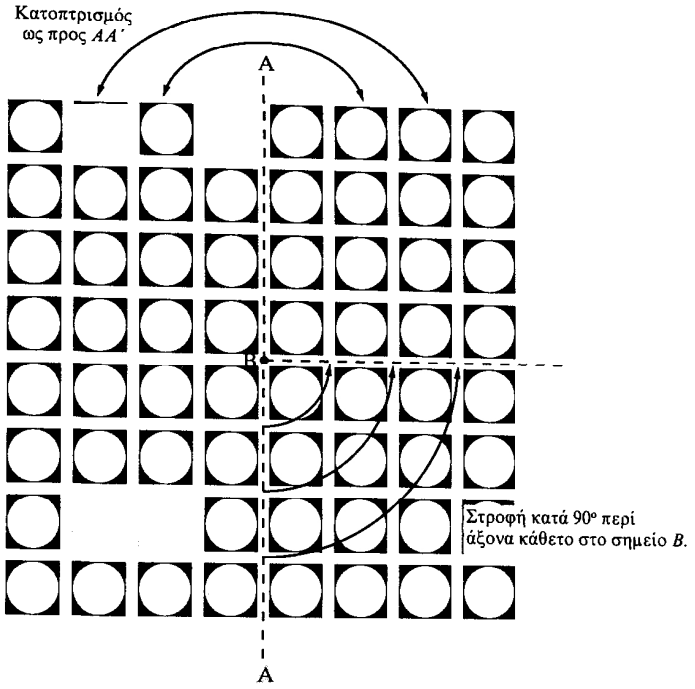
Η ιδέα περί συμμετρίας που εφαρμόσθηκε στην ανάλυση αυτών των θεωριών δεν διαφέρει ουσιαστικά από την ιδέα περί συμμετρίας που έχουμε από την καθημερινή μας επαφή με τα αντικείμενα γύρω μας. Μια οικεία μορφή συμμετρίας είναι η αμφίπλευρη (bilateral) συμμετρία που παρουσιάζει (κατά προσέγγιση) η μορφή του ανθρώπινου σώματος. Για να γίνει καλύτερα αντιληπτό αυτό το είδος συμμετρίας, θεωρήστε ένα μετασχηματισμό κατά τον οποίο εναλλάσσονται το αριστερό μισό του σώματος με το δεξί, έτσι ώστε το αριστερό χέρι να παίρνει τη θέση του δεξιού και αντίστροφα, το δεξί πόδι να παίρνει τη θέση του αριστερού και αντίστροφα, κ.ο.κ. Αυτός ο μετασχηματισμός, που αποτελεί κατοπτρισμό ως προς το κεντρικό επίπεδο, εκφράζει τη συμμετρία της μορφής του ανθρώπινου σώματος, αφού αυτή η μορφή δεν μεταβάλλεται από το μετασχηματισμό. Ένας άλλος τύπος συμμετρίας είναι η εκ περιστροφής συμμετρία, την οποία παρουσιάζει, για παράδειγμα, ο κύλινδρος. Αν περιστρέψουμε έναν κύλινδρο κατά την οποιαδήποτε γωνία γύρω από τον κεντρικό του άξονα, τότε το εκ περιστροφής σχήμα θα συμπίπτει απόλυτα με το αρχικό (βλέπε Σχήμα 5.10).



Η αμφίπλευρη συμμετρία της μορφής του ανθρώπινου σώματος

Η εκ περιστροφής συμμετρία που παρουσιάζει ο κύλινδρος

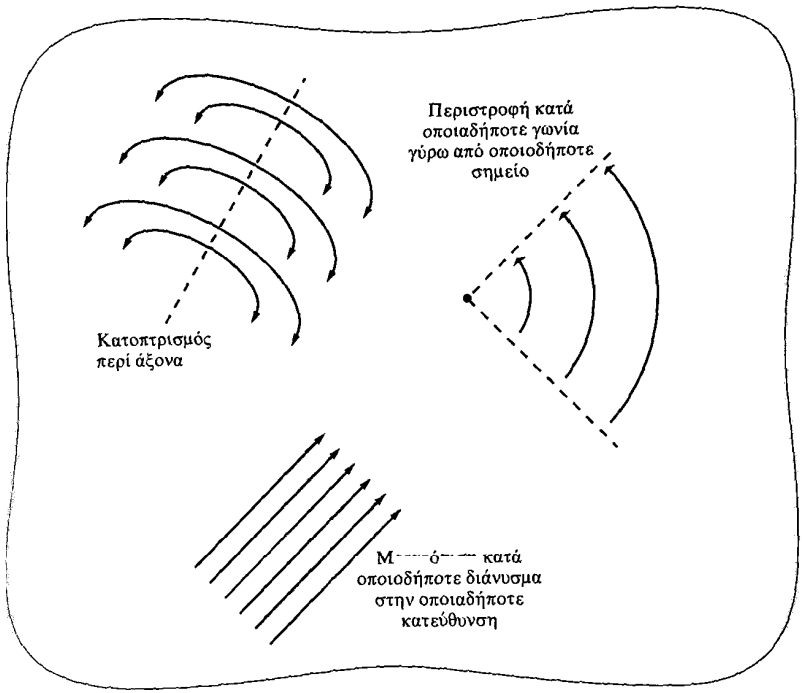
Σχήμα 5.10 Συμμετρίες κοινών αντικειμένων.



Σχήμα 5.11 Συμμετρίες διακοσμητικών παραστάσεων

Αυτά τα παραδείγματα καθιστούν φανερά δύο ουσιώδη στοιχεία της συμμετρίας. Πρώτον, πρόκειται περί ενός μετασχηματισμού, όπως ο κατοπτρισμός ή η περιστροφή. Δεύτερον, ο εκάστοτε μετασχηματισμός αφήνει κάτι αμετάβλητο. Ο μετασχηματισμός αυτός ονομάζεται *μετασχηματισμός συμμετρίας* ή, πιο συνοπτικά, η *συμμετρία* αυτού του πράγματος.

Οι ίδιες βασικές ιδέες μπορούν να εφαρμοστούν και στην περίπτωση του Ευκλείδειου χώρου. Ως ενδιάμεσο σκαλοπάτι για μια τέτοια εφαρμογή, θεωρήστε μία από τις παραστάσεις που εμφανίζονται στις ταπετσαρίες. Αυτές οι παραστάσεις μπορούν να εμφανίσουν συμμετρίες. Η παράσταση που φαίνεται στο Σχήμα 5.11 παρουσιάζει κατοπτρική συμμετρία, αφού ένας μετασχηματισμός ως προς τον άξονα AA' αφήνει την αρχική παράσταση αμετάβλητη. Ομοίως, η παράσταση εμφανίζει μια συμμετρία περιστροφής. Αυτή παραμένει αμετάβλητη αν στραφεί κατά γωνία 90° γύρω από το σημείο B. Σε έναν Ευκλείδειο χώρο $<\mathbf{R}^2, \gamma>$, η πολλαπλότητα $\mathbf{R}^2$ συμπεριφέρεται σαν την επιφάνεια του χαρτιού της ταπε-



Σχήμα 5.12 Οι συμμετρίες ενός διδιάστατου Ευκλείδειου χώρου.

τσαρίας και η μετρική γ σαν τη διακοσμητική παράσταση. Ένας μετασχηματισμός αυτού του χώρου που τον αφήνει αμετάβλητο αποτελεί μετασχηματισμό συμμετρίας (ή απλώς συμμετρία) του χώρου. Ο εν λόγω χώρος παρουσιάζει τρεις μετασχηματισμούς συμμετρίας όπως φαίνονται στο Σχήμα 5.12: κατοπτρισμό περί τον οποιονδήποτε άξονα, περιστροφή γύρω από οποιοδήποτε σημείο και κατά οποιαδήποτε γωνία, και μετατόπιση κατά το οποιοδήποτε διάστημα σε οποιαδήποτε κατεύθυνση.

Αυτές οι συμμετρίες του Ευκλείδειου χώρου εκφράζουν το ότι αυτός είναι ομογενής και ισότροπος. Το ότι κάποιος χώρος είναι ομογενής σημαίνει πως το κάθε σημείο του με τη γεωμετρία του είναι ίδια με κάθε άλλο σημείο και τη δική του γεωμετρία. Οπότε, αν ένας παρατηρητής εξετάσει τη γεωμετρία στην περιοχή ενός σημείου και μεταφέρει κατόπιν τα αποτελέσματα σε κάποιο άλλο σημείο, τότε η γεωμετρία θα παραμείνει αμετάβλητη.

Όμως αυτό σημαίνει απλώς ότι κάθε μετατόπιση του χώρου αφήνει το χώρο αμετάβλητο. Δηλαδή, κάθε μετατόπιση αποτελεί συμμετρία του χώρου. Αντί-

Αν η συναλλοίωτη ομάδα μιας διατύπωσης της θεωρίας του χώρου, του χρόνου, ή του χωρόχρονου συμπίπτει με την ομάδα των μετασχηματισμών συμμετρίας, τότε η εν λόγω διατύπωση αποτελεί *πρότυπη διατύπωση* της θεωρίας. Η διατύπωση της θεωρίας του Ευκλείδειου χώρου μόνο με Καρτεσιανά συστήματα συντεταγμένων αποτελεί πρότυπη διατύπωση. Οι πρότυπες διατυπώσεις τείνουν να είναι απλούστερες από μαθηματική σκοπιά. Είναι, όμως, δυνατόν να λειτουργήσουν παραπλανητικά, αφού η ρητή αναφορά των γεωμετρικών δομών που ενυπάρχουν τείνει να εξαφανιστεί από τις εξισώσεις της διατύπωσης. Έτσι, η Ευκλείδεια μετρική γ σπανίως αναφέρεται κατά την πρότυπη διατύπωση της θεωρίας του Ευκλείδειου χώρου.

στοιχα, το ότι κάποιος χώρος είναι ισότροπος σημαίνει ότι κάθε κατεύθυνση σε αυτόν το χώρο είναι ταυτόσημη με οποιαδήποτε άλλη.

Έτσι, αν κάποιος παρατηρητής εξετάσει τη γεωμετρία του χώρου κατά μία κατεύθυνση, και ύστερα στρέψει την οπτική του γωνία κατά οποιαδήποτε γωνία, η γεωμετρία που θα παρατηρηθεί κατά αυτήν τη νέα κατεύθυνση πρέπει να είναι ταυτόσημη με την αρχική. Αυτό σημαίνει και πάλι ότι η οποιαδήποτε στροφή γύρω από οποιοδήποτε σημείο του χώρου αφήνει το χώρο αμετάβλητο, οπότε όλες αυτές οι περιστροφές αποτελούν συμμετρία του χώρου.

5.7 Ο ΝΕΥΤΩΝΕΙΟΣ ΧΩΡΟΧΡΟΝΟΣ

5.7.1 Μετάβαση σε μία Χωροχρονική Διατύπωση

Σε αυτή την παράγραφο, ας αναπτύξουμε μια γενικά συναλλοίωτη διατύπωση της Νευτώνειας θεωρίας για το χώρο και το χρόνο, τροποποιημένη έτσι ώστε να περιλαμβάνει την αρχή της σχετικότητας. Το να διαθέτουμε μια τέτοια διατύπωση της Νευτώνειας θεωρίας στο πλαίσιο της φιλοσοφίας της επιστήμης είναι πολύ σημαντικό, μολονότι η νέα διατύπωση είναι περισσότερο πολύπλοκη από την παραδοσιακή. Υπάρχει μεγάλο φιλοσοφικό ενδιαφέρον για τη σύγκριση της Νευτώνειας θεωρίας με τις θεωρίες της ειδικής και της γενικής σχετικότητας. Οι σχετικιστικές θεωρίες παρουσιάζονται με μεγαλύτερη σαφήνεια υπό τη μορφή των γενικά συναλλοίωτων διατυπώσεών τους – αυτό ισχύει κατά μείζονα λόγο για τη γενική σχετικότητα, αφού για αυτήν δεν υπάρχει καμία άλλη γνωστή διατύπωση. Για να είναι οι συγκρίσεις μας αξιόπιστες, οφείλουν να διενεργηθούν επί θεωριών που είναι διατυπωμένες με τον ίδιο τρόπο. Αλλιώς τα συμπεράσματά μας μπορεί να μην ανταποκρίνονται σε πραγματικές διαφορές μεταξύ των θεωριών παρά μόνον σε διαφορές των τρόπων διατύπωσης. Στην Παράγραφο 5.10 εξετάζονται ορισμένες καταστροφικές συνέπειες που οφείλονται στην

απουσία μιας κοινής διατύπωσης όταν προβαίνουμε σε τέτοιου είδους συγκρίσεις.

5.7.2 Ο Τρόπος Συγκρότησής της

Η Νευτώνεια χωροχρονική θεωρία παράγεται ως συνδυασμός της θεωρίας του γραμμικού χρόνου με την Ευκλείδεια γεωμετρία και κάποια επιπλέον στοιχεία δομής. Ξεκινάμε από ένα Νευτώνειο σύμπαν και αποτυπώνουμε στιγμιότυπα των περιεχομένων του σε κάθε χρονική στιγμή. Αυτά τα στιγμιότυπα δεν είναι παρά τριδιάστατοι Ευκλείδειοι χώροι (παρόλο που εδώ για λόγους απλότητας εξακολουθούμε να αγνοούμε την τρίτη διάσταση στα σχήματά μας αναπαριστώντας το χώρο ως διδιάστατο Ευκλείδειο χώρο). Αφού κάθε στιγμιότυπο λαμβάνεται σε διαφορετική στιγμή, το καθένα από αυτά μπορεί να περιλαμβάνει μία στιγμή της γραμμικής θεωρίας του χρόνου. Κατασκευάζουμε τον Νευτώνειο τετραδιάστατο χωρόχρονο παίρνοντας όλους τους τριδιάστατους χώρους και στοιβάζοντάς τους υπό τη μορφή ενός γραμμικού συνεχούς (βλέπε Σχήμα 5.13). Αν αναπαραστήσουμε το χωρόχρονο σαν μια στοίβα από τραπουλόχαρτα, τότε η γεωμετρία κάθε τραπουλόχαρτου (του κάθε στιγμιότυπου) δίδεται από την Ευκλείδεια μετρική γ. Η χρονική δομή καθώς διανύουμε τη στοίβα από τραπουλόχαρτο σε τραπουλόχαρτο (από στιγμή σε στιγμή) δίδεται από τη χρονική μετρική dT.

Ως εικόνα, η στοίβα με τα τραπουλόχαρτα μας βοηθά να αντιληφθούμε σε ποιο βαθμό είναι ακόμα ατελής η θεωρία μας. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για τη δημιουργία μιας στοίβας από τραπουλόχαρτα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.13. Ποιος από όλους είναι ο σωστός; Αν τα σημεία A, B, Γ, ... ακινητούν στο χώρο, τότε ένας αποδεκτός τρόπος τακτοποίησης της στοίβας είναι αυτός που θέτει κάθε στιγμή τα σημεία A, B, Γ, ... το ένα ακριβώς πάνω από το άλλο, έτσι ώστε τα ακίνητα σημεία να μπορούν να παρασταθούν ως ευθείες γραμμές που διαπερνούν κάθετα τη στοίβα. Τα κινούμενα σημεία παριστάνονται τότε ως ευθείες που διατρέχουν πλάγια τα επίπεδα της στοίβας. (Για να γίνει αυτό εποπτικότερα κατανοητό, θεωρήστε ένα σημείο που κινείται από το A στο B και από εκεί στο Γ καθώς ο χρόνος παίρνει τις διαδοχικές τιμές 0, 1, 2. Η κίνηση αυτή θα παριστάνεται από μια γραμμή η οποία στο επίπεδο (στιγμιότυπο) που αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή 0 τέμνει αυτό το επίπεδο στο A, στο στιγμιότυπο που αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή 1 τέμνει το επίπεδο στο B και στο στιγμιότυπο που αντιστοιχεί στη στιγμή 2 το τέμνει στο Γ.) Ειδικότερα, θα αναπαριστούμε σημεία που κινούνται ευθύγραμμα και ομαλά –δηλαδή αδρανειακά– ως *ευθείες* που τέμνουν πλάγια τα διαδοχικά επίπεδα της στοίβας.

Η στοίβα των στιγμιοτύπων απαρτίζει τετραδιάστατη πολλαπλότητα, κάθε σημείο της οποίας αντιπροσωπεύει ένα συμβάν, ένα σημείο στο χώρο σε μια χρονική στιγμή. Κάθε στιγμή αποτελεί μια τριδιάστατη επιφάνεια σε αυτήν την πολλαπλότητα που, τεχνικά, ονομάζεται «υπερεπιφάνεια». Αυτές οι υπερεπιφά-

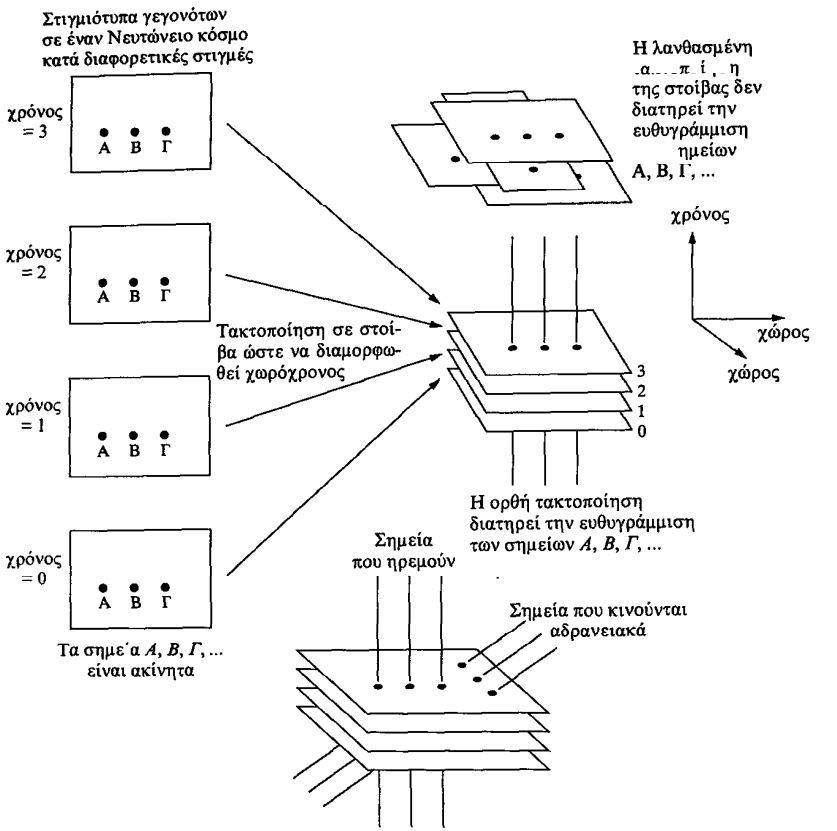
νειες αποτελούν σύνολα ταυτόχρονων συμβάντων, οπότε και ονομάζονται «*υπερεπιφάνειες ταυτοχρονίας*». Οι γραμμές που αναπαριστούν τα κινούμενα ή τα ακίνητα σημεία είναι οι *κοσμικές γραμμές* τους. Αυτές κωδικοποιούν ολόκληρη την ιστορία της κίνησης κάθε σημείου.

5.7.3 Η Αρχή της Σχετικότητας

Η θεωρία του χωρόχρονου στη μορφή που έχει περιγραφεί ώς τώρα εμπεριέχει την απόλυτη ηρεμία. Έχοντας προϋποθέσει ότι υπάρχει ένας μόνο σωστός τρόπος για την τακτοποίηση των στιγμιοτύπων στην στοίβα, θεωρήσαμε ότι τα σημεία *A*, *B*, *Γ* του Σχήματος 5.13 βρίσκονται σε κατάσταση απόλυτης ηρεμίας. Στην παράγραφο 5.1, εξετάσαμε την αρχή της σχετικότητας μέσω της διαπλοκής του απόλυτου και του σχετικού χώρου. Στο πλαίσιο του χωρόχρονου τέτοιοι χώροι αναπαρίστανται από *συστήματα αναφοράς*. Θεωρήστε τα σημεία ενός σχετικού χώρου. Κάθε σημείο του αποτελεί μια κοσμική γραμμή που διαπερνά τη στοίβα των στιγμιοτύπων. Άρα, το σύνολο των σημείων αυτού του χώρου θα αναπαρίσταται από μια πυκνή δέσμη κοσμικών γραμμών που διαπερνά τη στοίβα. Αν ο εν λόγω χώρος είναι αδρανειακός, τότε η αντίστοιχη δέσμη είναι δέσμη παραλλήλων ευθειών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.14, και ονομάζεται *αδρανειακό σύστημα αναφοράς*.

Στην πραγματικότητα, ο Νεύτωνας θεωρούσε ότι ένα από αυτά τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς ξεχώριζε και αντιστοιχούσε στην κατάσταση απόλυτης ηρεμίας. Έτσι για αυτόν ο μόνος ορθός τρόπος τακτοποίησης της στοίβας των επιφανειών ταυτοχρονίας είναι εκείνος που ευθυγραμμίζει τα σημεία αυτού του απολύτου συστήματος αναφοράς. Η αρχή της σχετικότητας απαιτεί την ισοδυναμία όλων των αδρανειακών συστημάτων αναφοράς έτσι ώστε να είναι ισοδύναμες και όλες οι αδρανειακές κινητικές καταστάσεις. Γεωμετρικά, αυτό σημαίνει ότι όλες οι κατευθύνσεις του χωρόχρονου που επιλέγονται από τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς είναι ισοδύναμες. Κατά συνέπεια, αν εξετάσουμε δυο αδρανειακά συστήματα, όπως αυτά που φαίνονται στο Σχήμα 5.14, δεν πρέπει να θεωρούμε ότι το ένα έχει διαφορετικές ιδιότητες από το άλλο. Δυστυχώς, εξαιτίας των περιορισμών που υφίστανται, ως προς τις δυνατότητες σχηματικής αναπαράστασης των αδρανειακών συστημάτων, το ένα σύστημα έχει σχεδιασθεί έτσι ώστε να διαπερνά τη στοίβα κάθετα και το άλλο πλάγια. Αυτή η διαφορά όμως δεν αφορά την πραγματική γεωμετρική δομή του Νευτώνειου χωρόχρονου.

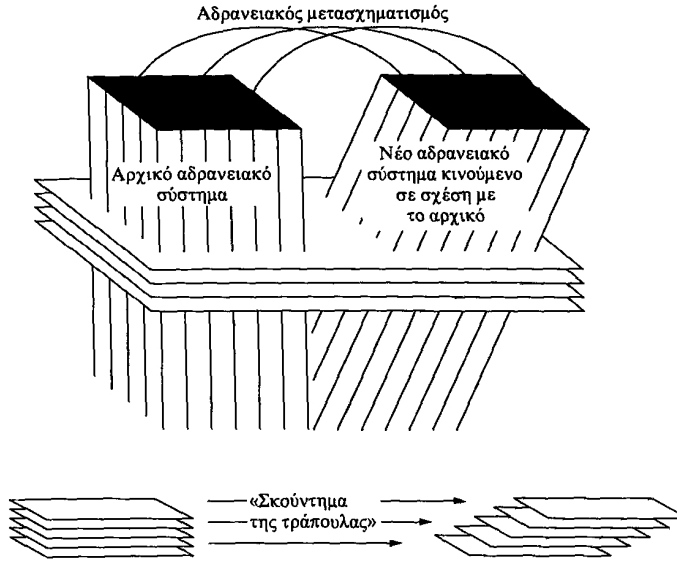
Η όλη κατάσταση παρουσιάζει αρκετές αναλογίες με την ισοτροπία του Ευκλείδειου χώρου. Σε έναν τέτοιο χώρο όλες οι κατευθύνσεις είναι ισοδύναμες. Ωστόσο, αν θελήσουμε να απεικονίσουμε σχηματικά αυτές τις κατευθύνσεις, όπως στο Σχήμα 5.15, τότε η μία κατευθύνεται προς το επάνω μέρος της σελίδας (κατεύθυνση 0°) και κάποια άλλη σε κατεύθυνση κάθετη προς την προηγούμενη (κατεύθυνση 90°). Αφού ο Ευκλείδειος χώρος επιδέχεται την περιστροφή ως



Σχήμα 5.13 Ο τρόπος σχηματισμού του Νευτώνειου χωρόχρονου.

συμμετρία του, μπορούμε να εξαφανίσουμε κάθε υποψία ότι κάποια κατεύθυνση είναι προνομιακή στρέφοντας το χώρο έτσι ώστε αυτή να βρεθεί στην κατεύθυνση 0° και σημειώνοντας ότι ο χώρος έμεινε αμετάβλητος.

Αντίστοιχα, οι κανόνες για την τακτοποίηση της στοίβας των υπερεπιφανειών ταυτοχρονίας πρέπει να μας επιτρέπουν την επανατακτοποίηση της τράπουλας έτσι ώστε αυτή να ευθυγραμμίζεται σύμφωνα με το οποιοδήποτε αδρανειακό σύστημα αναφοράς. Αυτό σημαίνει ότι κάθε σύστημα μπορεί να μετασχηματίζεται στην κατάσταση μηδενικής ταχύτητας. Ας ονομάσουμε «*αδρανειακό μετασχηματισμό*» κάθε μετασχηματισμό που απεικονίζει αδρανειακά συστήματα σε άλλα αδρανειακά συστήματα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.14. Σχηματικά, αυτό αντα-



Σχήμα 5.14 Αδρανειακός μετασχηματισμός σε Νευτώνειο χωρόχρονο.

ποκρίνεται σε μια νέα ευθυγράμμιση των υπερεπιφανειών ταυτοχρονίας κατά έναν τρόπο που μοιάζει με το «σκούντημα» της τράπουλας. Αυτό που συμπεράναμε είναι ότι ένας αδρανειακός μετασχηματισμός δεν μπορεί να μεταβάλλει το χωρόχρονο, όπως και μια περιστροφή δεν μπορεί να μεταβάλλει τον Ευκλείδειο χώρο· οπότε η επιλογή ενός αδρανειακού συστήματος ως του μοναδικού εν ηρεμία αποτελεί καθαρά αυθαίρετη επιλογή. Η αρχή της σχετικότητας, λοιπόν, είναι μια αρχή συμμετρίας:

Η αρχή της σχετικότητας σε Νευτώνειο χωρόχρονο: Ο αδρανειακός μετασχηματισμός συνιστά συμμετρία του Νευτώνειου χωρόχρονου, δηλαδή αφήνει αυτόν το χωρόχρονο αμετάβλητο.

5.7.4 Μοντέλα του Νευτώνειου χωρόχρονου

Συνοψίζοντας, τα μοντέλα του Νευτώνειου χωρόχρονου αποτελούν τετράδες της μορφής

Σχήμα 5.15 Συμμετρίες του Ευκλείδειου χώρου και του Νευτώνειου χωρόχρονου.

$$<M, dT, h, \nabla>,$$

όπου το M συμβολίζει μια τετραδιάστατη πολλαπλότητα κάθε σημείο της οποίας αναπαριστά ένα συμβάν. Αυτή η πολλαπλότητα τεμαχίζεται σε φέτες που αποτελούν τις διαφορετικές στιγμές, δηλαδή τις υπερεπιφάνειες ταυτόχρονων γεγονότων. Ο μετρήσιμος χρόνος που μεσολαβεί καθώς μετατοπιζόμαστε από στιγμή σε στιγμή δίδεται από τη χρονική μετρική dT. Κάθε μία από τις υπερεπιφάνειες ταυτοχρονίας συνιστά έναν Ευκλείδειο χώρο με τη δική του Ευκλείδεια μετρική γ· η δομή h συνδυάζει όλες αυτές τις Ευκλείδειες μετρικές σε ένα μοναδικό γεωμετρικό αντικείμενο. Τέλος, χρειαζόμαστε μια δομή που να υπαγορεύει τους επιτρεπόμενους τρόπους στοιβάγματος των στιγμών. Η *αφινική δομή* ∇ αποτελεί αυτήν τη δομή. Η αφινική δομή προσδιορίζει ποιες από όλες τις καμπύλες της τετραδιάστατης πολλαπλότητας M είναι οι ευθείες. (Παρατηρήστε ότι καμιά από τις δομές στις οποίες αναφερθήκαμε ώς τώρα –ούτε η Ευκλείδεια μετρική κάθε υπερεπιφάνειας ταυτοχρονίας, ούτε η χρονική μετρική– δεν μας παρέχει έναν τρόπο προσδιορισμού του ποιες είναι οι ευθείες γραμμές που διέρχονται μέσα από τις υπερεπιφάνειες.) Απαιτούμε από τις στιγμές να στοιβάζονται με έναν τρόπο τέτοιο ώστε οι τροχιές των αδρανειακά κινούμενων σημείων να συμπίπτουν με τις ευθείες γραμμές της αφινικής δομής της τετραδιάστατης πολλαπλότητας. Αυτός ο κανόνας θα είναι συμβατός με την αρχή της σχετικότητας όταν απαιτήσουμε τόσο από την αφινική δομή ∇ όσο και από τη χρονική και τη χωρική μετρική, dT και h, να δέχονται τους αδρανειακούς μετασχηματισμούς ως μετασχηματισμούς συμμετρίας.

Ανακτούμε μια πρότυπη διατύπωση για τον Νευτώνειο χωρόχρονο υιοθετώντας τις πρότυπες συντεταγμένες T από τη θεωρία του γραμμικού χρόνου και τις X, Y και Z από αυτήν του Ευκλείδειου χώρου, τις οποίες συνδυάζουμε έτσι ώστε να κατασκευάσουμε μιαν αντιστοίχιση μεταξύ του Νευτώνειου χωρόχρονου και του $\mathbf{R}^4$. Οι ευθείες γραμμές της αφινικής δομής ∇ είναι οι αναμενόμενες: το σύνολο όλων των γραμμών που δίδονται από τις γραμμικές σχέσεις μεταξύ των συντεταγμένων συμπεριλαμβανομένων των $T = aX = bY = cZ$, για κάθε πραγματική τιμή των a, b, c. Ένα τυπικό αδρανειακό σύστημα αναφοράς δίδεται από το σύνολο όλων των εν λόγω ευθειών που είναι παράλληλες στον άξονα των T. Ένας αδρανειακός μετασχηματισμός που μετασχηματίζει αυτό το σύστημα σε ένα άλλο που κινείται με ταχύτητα V κατά την κατεύθυνση X δίδεται από τις σχέσεις

$$T' = T, \qquad X' = X - VT, \qquad Y' = Y, \qquad Z' = Z.$$

5.8 ΕΙΔΙΚΗ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑ

5.8.1 Η Σχετικότητα της Ταυτοχρονίας

Ο Αϊνστάιν ανέπτυξε αξιωματικά την ειδική θεωρία της σχετικότητας το 1905 ως συνέπεια δύο αιτημάτων: της αρχής της σχετικότητας και αυτού που σήμερα είναι γνωστό ως *αίτημα για την ταχύτητα του φωτός* (light postulate). Αυτό βεβαιώνει ότι η ταχύτητα του φωτός έχει την ίδια σταθερή ταχύτητα (c = 300.000 km/sec) σε όλους τους αδρανειακούς χώρους. Εκ πρώτης όψεως, φαίνεται ότι είναι αδύνατο να διατυπωθεί μια θεωρία που να μην βασίζεται σε αυτά τα αιτήματα και να μην πάσχει από λογικές αντιφάσεις. Πώς είναι δυνατό να παραμένει ίδια η τιμή της ταχύτητας του φωτός σε όλους τους αδρανειακούς χώρους; Σίγουρα αν προβαίνουμε σε μετασχηματισμούς αδρανειακών χώρων που κινούνται όλο και ταχύτερα κατά την κατεύθυνση μιας ακτίνας φωτός, τότε η ταχύτητα του φωτός πρέπει προοδευτικά να ελαττώνεται ενόσω την προσεγγίζουμε έως ότου φτάσει στην ακινησία. Το αίτημα για την ταχύτητα του φωτός βεβαιώνει όμως ότι είναι αδύνατο να προφτάσουμε την ακτίνα του φωτός. Ανεξάρτητα από το πόσο γρήγορα την καταδιώκουμε, αυτή απομακρύνεται πάντοτε από εμάς με την ίδια ταχύτητα των 300.000 km/sec. Ο Αϊνστάιν συνειδητοποίησε ότι μια τέτοια κατάσταση πραγμάτων είναι δυνατή αν είμαστε έτοιμοι να εγκαταλείψουμε ορισμένες κοινά αποδεκτές ιδιότητες του χώρου και του χρόνου. Μία από τις σημαντικότερες αφορά την ταυτοχρονία. Στο πλαίσιο της Νευτώνειας θεωρίας, δεχόμαστε ότι δύο συμβάντα είτε είναι ταυτόχρονα είτε δεν είναι. Στην ειδική σχετικότητα τα πράγματα παύουν να είναι τόσο απλά.

Θεωρήστε την πρότυπη σχέση ταυτοχρονίας του Αϊνστάιν, όπως ορίστηκε στην Παράγραφο 5.3. Υποθέστε ότι τα ρολόγια *A* και *B* των Σχημάτων 5.2 και 5.3 έχουν συγχρονιστεί με τη διαδικασία της ανταλλαγής φωτεινών σημάτων που πρότεινε ο Αϊνστάιν, έτσι ώστε τελικά να βρίσκονται σε καθεστώς πρότυπης ταυτοχρονίας (τουλάχιστον αναφορικά με έναν παρατηρητή που ακινητεί ως προς αυτά). Αν τώρα μετασχηματίσουμε τη σκοπιά μας σε αυτήν ενός αδρανειακού χώρου στον οποίο τα ρολόγια *A* και *B* κινούνται μαζί κατά την κατεύθυνση που ενώνει το *A* με το *B*, τότε δεν συμφωνούμε πλέον ότι τα ρολόγια αυτά βρίσκονται σε καθεστώς πρότυπης ταυτοχρονίας. Στον νέο αδρανειακό χώρο, το φωτεινό σήμα πρέπει να διατρέξει μεγαλύτερη απόσταση κατά τη φάση αποστολής του από ό,τι κατά την επιστροφή του. Γιατί κατά τη φάση αποστολής αυτό πρέπει να προλάβει το ρολόι *B* που του φεύγει, ενώ κατά τη φάση επιστροφής το ρολόι *A* τρέχει να το συναντήσει. Αν το αίτημα για την ταχύτητα του φωτός αληθεύει, δηλαδή αν η ταχύτητα του φωτός έχει την ίδια σταθερή τιμή στον νέο αδρανειακό χώρο και κατά τις δύο κατευθύνσεις, τότε η φάση αποστολής πρέπει να διαρκεί περισσότερο από τη φάση επιστροφής, κι έτσι τελικά το συμβάν της ανάκλασης του σήματος επί του *B* είναι αδύνατο να εκδηλωθεί στα μισά του

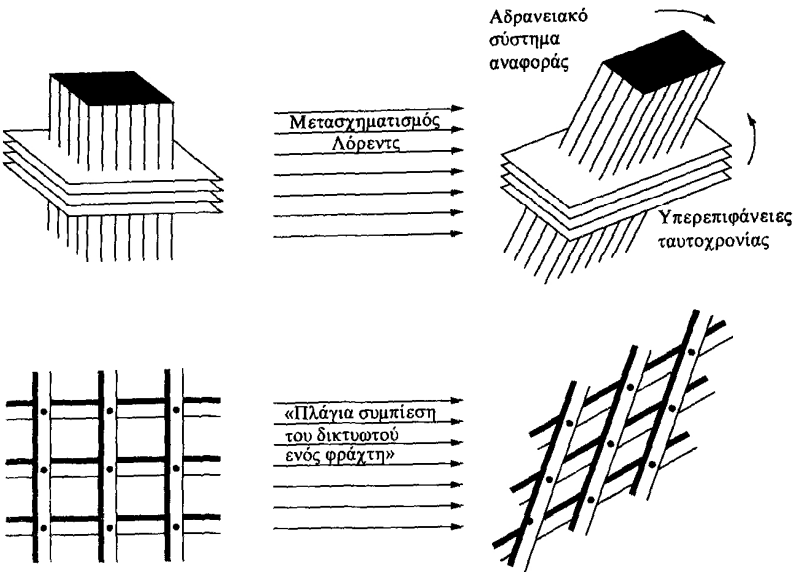
χρόνου μεταξύ εκπομπής και επιστροφής στο Α – τουλάχιστον αναφορικά με έναν παρατηρητή που βρίσκεται στον νέο αδρανειακό χώρο. Αυτό σημαίνει ότι τα εν λόγω ρολόγια είναι αδύνατο να βρίσκονται σε καθεστώς πρότυπης ταυτοχρονίας στον νέο αδρανειακό χώρο.

Έτσι, στην ειδική σχετικότητα οι κρίσεις που αφορούν το αν δύο ρολόγια βρίσκονται σε καθεστώς πρότυπης ταυτοχρονίας και, ως εκ τούτου, το αν δύο γεγονότα είναι ταυτόχρονα, εξαρτώνται από την επιλογή του αδρανειακού χώρου στον οποίο αναφέρονται οι κρίσεις μας. Αυτό το αποτέλεσμα είναι γνωστό ως *σχετικότητα της ταυτοχρονίας*. Δεν πρέπει να συγχέεται με τη *συμβατικότητα* της ταυτοχρονίας που εξετάζεται στην Παράγραφο 5.3. Η σχετικότητα της ταυτοχρονίας εξακολουθεί να υφίσταται ακόμη και μετά την επιλογή ενός συγκεκριμένου ορισμού της ταυτοχρονίας, όπως ο πρότυπος για ε = 1/2, και ανακύπτει όταν αλλάζουμε αδρανειακούς χώρους. Η συμβατικότητα της ταυτοχρονίας ανακύπτει στο εσωτερικό ενός μοναδικού αδρανειακού χώρου.

5.8.2 Οι Χωρόχρονοι Μινκόβσκι και ο Μετασχηματισμός Λόρεντς

Η διατύπωση της ειδικής σχετικότητας υπό τη μορφή ενός τετραδιάστατου χωρόχρονου ανακαλύφθηκε από τον Χέρμαν Μινκόβσκι (Hermann Minkowski) το 1907. Οι εν λόγω χωρόχρονοι ονομάζονται προς τιμήν του χωρόχρονοι Μινκόβσκι. Ένας χωρόχρονος Μινκόβσκι μοιάζει κατά πολύ με έναν Νευτώνειο χωρόχρονο. Και οι δύο βασίζονται σε τετραδιάστατες πολλαπλότητες συμβάντων. Τα κινούμενα σημεία παριστάνονται και στους δύο ως καμπύλες, ενώ τα σημεία που κινούνται αδρανειακά ως ευθείες, οπότε τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς εξακολουθούν να είναι δέσμες παραλλήλων ευθειών. Ωστόσο, το κυριότερο γνώρισμα ενός Νευτώνειου χωρόχρονου, ο μονοσήμαντος τρόπος με τον οποίο υποδιαιρείται σε υπερεπιφάνειες ταυτοχρονίας, δεν παρουσιάζεται στο χωρόχρονο Μινκόβσκι και τούτο επειδή από τη σχετικότητα της ταυτοχρονίας απορρέει ότι κάθε αδρανειακό σύστημα προσδιορίζει μια διαφορετική διαμέριση του χωρόχρονου σε υπερεπιφάνειες ταυτόχρονων συμβάντων. Μια υπερεπιφάνεια ταυτοχρονίας ενός δεδομένου αδρανειακού συστήματος αναφοράς λέγεται ότι είναι κάθετη προς τις καμπύλες αυτού του συστήματος.

Ο μετασχηματισμός μεταξύ αδρανειακών συστημάτων αναφοράς στην ειδική σχετικότητα ονομάζεται *μετασχηματισμός Λόρεντς*. Η σχετικότητα της ταυτοχρονίας καθιστά αυτόν το μετασχηματισμό περισσότερο περίπλοκο από αυτόν του Νευτώνειου χωρόχρονου που απεικονίζεται στο Σχήμα 5.14. Και τούτο γιατί στο μετασχηματισμό Λόρεντς, η διαμέριση του χωρόχρονου σε υπερεπιφάνειες ταυτοχρονίας πρέπει να ρυθμισθεί σε σχέση με το νέο σύστημα αναφοράς, με τρόπο ώστε οι υπερεπιφάνειες που προκύπτουν από αυτήν τη διαμέριση να παραμένουν ορθογώνιες προς αυτό το σύστημα. Ο μετασχηματισμός απεικονίζεται στο Σχήμα 5.16. Ενώ ο αδρανειακός μετασχηματισμός ενός Νευτώνειου χωρό-



Σχήμα 5.16 Ο μετασχηματισμός Λόρεντς.

χρονου ισοδυναμεί, από μηχανική άποψη, με το «σκούντημα μιας στοίβας τραπουλόχαρτων», ο μετασχηματισμός Λόρεντς ισοδυναμεί από μηχανική άποψη με την «πλάγια συμπίεση του δικτυωτού ενός φράχτη».

Επισημαίνουμε, τέλος, το γεγονός ότι ο μετασχηματισμός Λόρεντς αποτελεί συμμετρία του χωρόχρονου Μινκόβσκι, οπότε η αρχή της σχετικότητας ισχύει όπως και στην περίπτωση του Νευτώνειου χωρόχρονου που εξετάσαμε στην προηγούμενη παράγραφο.

Σε μια καθιερωμένη διατύπωση της ειδικής σχετικότητας, οι πρότυπες συντεταγμένες X, Y, Z και T αντιστοιχούν σε μετρήσεις χώρου και χρόνου που διεκπεραιώνονται από όργανα που βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας στο σύστημα του οποίου οι κοσμικές γραμμές ταυτίζονται με τις καμπύλες T. Ο μετασχηματισμός Λόρεντς που μετασχηματίζει αυτό το σύστημα σε ένα άλλο που κινείται με ταχύτητα V στην κατεύθυνση X δίδεται από τις σχέσεις

$$T' = \beta(T - VX/c^2) \qquad X' = \beta(X - VT) \qquad Y' = Y \qquad Z' = Z$$

όπου

$$\beta = 1/\sqrt{1 - V^2/c^2}$$

5.8.3 Ο Κώνος Φωτός και οι Αιτιακές Δομές σε ένα Χωρόχρονο Μινκόβσκι

Από κάθε δεδομένο συμβάν ενός χωρόχρονου Μινκόβσκι περνά άπειρος αριθμός καμπυλών. Η δομή κώνου φωτός που έχει ο χωρόχρονος Μινκόβσκι σε αυτό το συμβάν συνιστά απλώς την υποδιαίρεση των καμπυλών που διέρχονται *από εκεί* σε τρεις κατηγορίες: αυτές που αναπαριστούν

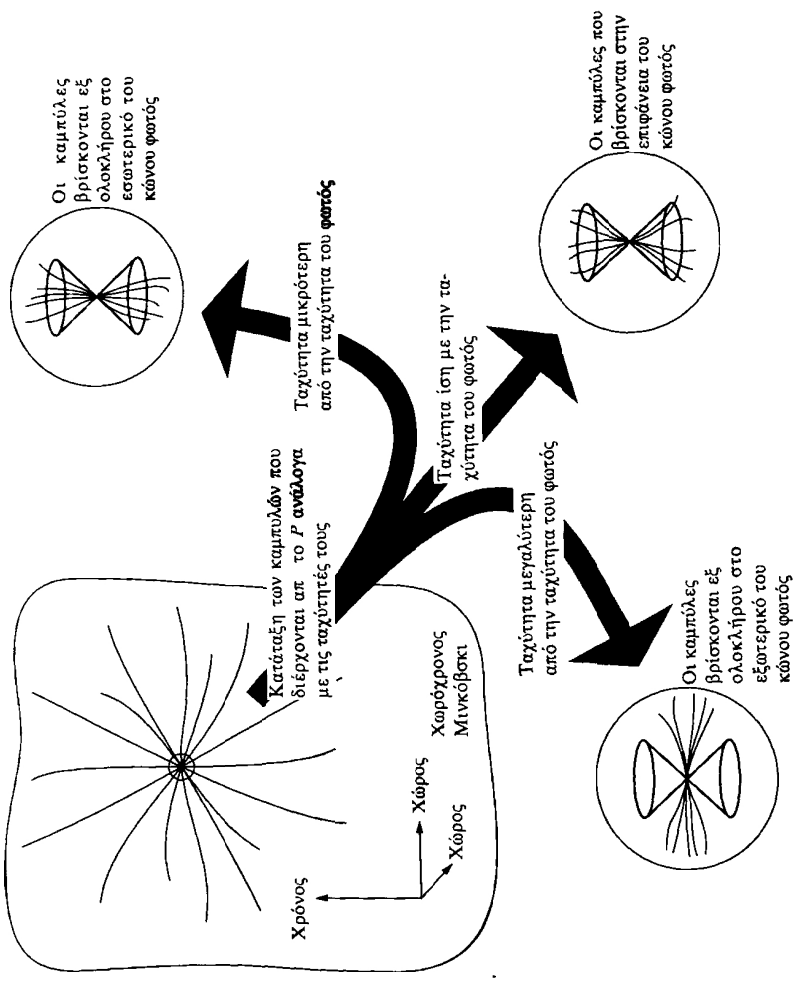
1. σημεία που κινούνται με ταχύτητα c, την ταχύτητα του φωτός («τύπου φωτός»),
2. σημεία που κινούνται με ταχύτητες μικρότερες του c («τύπου χρόνου»),
3. σημεία που κινούνται με ταχύτητες μεγαλύτερες του c («τύπου χώρου»).

Η ονομασία «κώνος φωτός» προέρχεται από το γεγονός ότι οι καμπύλες τύπου φωτός σχηματίζουν έναν διπλό κώνο του οποίου η κορυφή είναι το εν λόγω συμβάν, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.17. Οι καμπύλες τύπου χρόνου βρίσκονται όλες εντός του κώνου και οι καμπύλες τύπου χώρου εκτός του κώνου. Η δομή κώνου φωτός ολόκληρου του χωρόχρονου Μινκόβσκι συνιστά τη συγκεκριμενοποίηση της τριμερούς υποδιαίρεσης για *κάθε συγκεκριμένο συμβάν*.

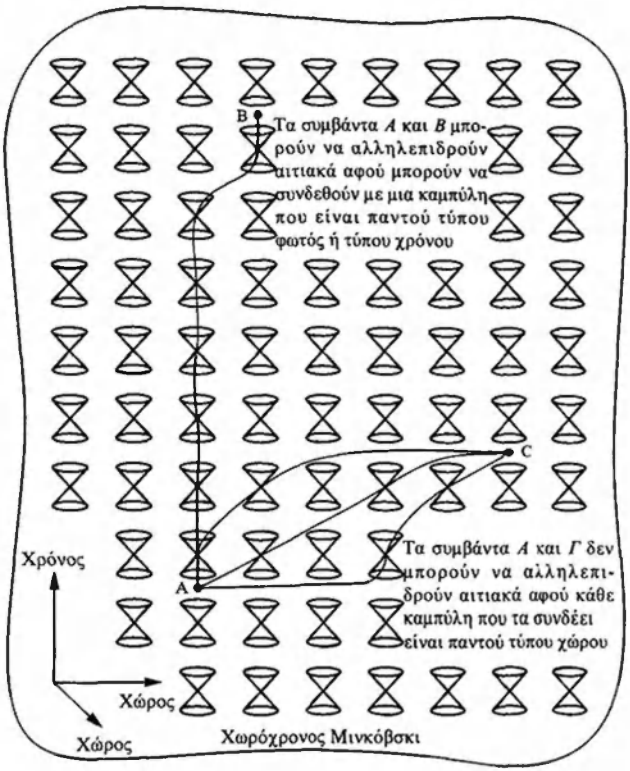
Οι καμπύλες τύπου χρόνου μπορούν να αποτελούν κοσμικές γραμμές υλικών σωματιδίων. Οι καμπύλες τύπου φωτός μπορούν να αποτελούν τις κοσμικές γραμμές φωτεινών σημάτων. Η συνήθης παραδοχή στην ειδική σχετικότητα είναι ότι καμιά αιτιοκρατούμενη διαδικασία, όπως η κίνηση σωματιδίων ή η διάδοση φωτεινών σημάτων, δεν είναι δυνατό να πραγματοποιείται με ταχύτητα μεγαλύτερη του φωτός, οπότε οι καμπύλες τύπου χώρου είναι *αδύνατο* να αποτελούν κοσμικές γραμμές κάποιου σωματιδίου ή κάποιου σήματος. Με αυτήν την παραδοχή, η δομή κώνου φωτός αποκτά ιδιαίτερη σημασία για τη φιλοσοφία του χώρου και του χρόνου, αφού ισοδυναμεί με την αιτιακή δομή του χωρόχρονου. Ακριβέστερα, αν γνωρίζουμε τη δομή κώνου φωτός ενός χωρόχρονου, μπορούμε να σχηματίσουμε έναν εξαντλητικό κατάλογο όλων των ζευγών συμβάντων που μπορούν να αλληλεπιδρούν αιτιακά μεταξύ τους εντός αυτού του χωρόχρονου. Αυτό το κάνουμε βρίσκοντας όλα τα ζεύγη συμβάντων που μπορούν να συνδέονται μέσω της τροχιάς ενός σωματιδίου ή ενός σήματος, δηλαδή μέσω μιας καμπύλης που είναι παντού τύπου χρόνου ή τύπου φωτός (βλέπε Σχήμα 5.18). Ο κατάλογος που προκύπτει με αυτόν τον τρόπο συνιστά την αιτιακή δομή του χωρόχρονου. Αντίστροφα, αν γνωρίζουμε αυτόν τον κατάλογο, είμαστε σε θέση να ανασυγκροτήσουμε τη δομή κώνου φωτός.

5.8.4 Η Μετρική του Μινκόβσκι

Ως χωροχρονική θεωρία η Νευτώνεια θεωρία είναι αρκετά περίπλοκη. Απαιτεί τον καθορισμό τριών ξεχωριστών δομών: του dT, του h και του ∇. Ως χωρο-



Σχήμα 5.17 Δομή κώνου φωτός σε ένα συμβάν του χωρόχρονου Μινκόβσκι



Σχήμα 5.18 Η δομή κώνου φωτός καθορίζει την αιτιακή δομή.

χρονική θεωρία η ειδική θεωρία της σχετικότητας είναι κατά πολύ απλούστερη. Οι λειτουργίες των τριών δομών της Νευτώνειας θεωρίας διεκπεραιώνονται από μία και μόνη δομή: από τη μετρική του Μινκόβσκι η. Έτσι, τα μοντέλα της ειδικής σχετικότητας είναι της μορφής

$$<M, \eta>$$

όπου M είναι μία τετραδιάστατη πολλαπλότητα και η η μετρική του Μινκόβσκι. Οι ιδιότητες της η είναι κατά πολύ όμοιες με αυτές της Ευκλείδειας μετρικής γ (βλέπε το πλαίσιο που ακολουθεί), αφού η η αποδίδει και πάλι μήκη –τα οποία ονομάζουμε «διαστήματα»– σε καμπύλες. Η μετρική η επιλέγει το ποιες καμπύ-

Σε ένα πρότυπο σύστημα συντεταγμένων X, Y, Z, T της ειδικής σχετικότητας, η μετρική του Μινκόβσκι συνδέεται με την ακόλουθη διαφορική μορφή

$$\Delta s^2 = \Delta T^2 - \Delta X^2 - \Delta Y^2 - \Delta Z^2 \qquad (5')$$

εντελώς ανάλογα με τη διαφορική μορφή (4′) της Ευκλείδειας θεωρίας. Οι διαφορές μεταξύ των μετρικών στις δύο θεωρίες απορρέουν ακριβώς από διαφορές σημείου μεταξύ των μορφών (4′) και (5′). Η μετάβαση στη γενικά συναλλοίωτη διατύπωση εισάγει τέσσερις αυθαίρετες χωροχρονικές συντεταγμένες, τις x^0, x^1, x^2, x^3, οπότε η σχέση (5′) παίρνει τη γενική μορφή

$$\Delta s^2 = \eta_{00}(\Delta x^0)^2 + \eta_{01}\Delta x^0\Delta x^1 + \ldots + \eta_{23}\Delta x^2\Delta x^3 + \eta_{33}(\Delta x^3)^2 \qquad (5)$$

που είναι ανάλογη με την (4). Η ρητή αναπαράσταση της μετρικής η είναι ο συμμετρικός πίνακας των συντελεστών η_{ik}, όπου i, k = 0, 1, 2, 3.

λες είναι τύπου χρόνου, τύπου χώρου και τύπου φωτός μέσω των διαστημάτων που τους αποδίδει. Στις καμπύλες τύπου φωτός αποδίδει μηδενικά διαστήματα. Στις καμπύλες τύπου χρόνου αποδίδει θετικά διαστήματα. Αυτό το διάστημα αντιπροσωπεύει το χρόνο που πέρασε, όπως μετρείται από ένα ρολόι που κινείται με το σωματίδιο που αντιπροσωπεύει η καμπύλη. Στις καμπύλες τύπου χώρου, όμως, η μετρική του Μινκόβσκι αποδίδει φανταστικά διαστήματα. Το μέτρο ενός τέτοιου διαστήματος παριστάνει το χωρικό μήκος της καμπύλης αν αυτή βρισκόταν εξ ολοκλήρου μέσα σε μια υπερεπιφάνεια ταυτοχρονίας.

5.9 ΓΕΝΙΚΗ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑ

5.9.1 Τα Φυσικά Θεμέλια

Η γενική σχετικότητα συνιστά τη σχετικιστική θεωρία βαρύτητας του Αϊνστάιν και αποτελεί τροποποίηση της ειδικής σχετικότητας που ενσωματώνει τη βαρύτητα. Ο ίδιος την ολοκλήρωσε το 1915 και ενδεχομένως αποτελεί τη μεγαλύτερη συνεισφορά του στη Φυσική. Το νέο σε αυτήν τη θεωρία είναι ο τρόπος με τον οποίο πραγματεύεται τη βαρύτητα. Πριν από τη γενική σχετικότητα, το βαρυτικό πεδίο ήταν συνηθισμένο να αντιμετωπίζεται ως μια οντότητα με ξεχωριστή υπόσταση που μπορούσε να επιπροστίθεται σε ένα χωρόχρονο. Υπ' αυτή την έννοια, ήταν δυνατή η ύπαρξη χώρων απαλλαγμένων από τη βαρύτητα. Στη γενική σχετικότητα το βαρυτικό πεδίο συνυφαίνεται με τη δομή που καθορίζει

τα μήκη και τις χρονικές διάρκειες έτσι ώστε να είναι πλέον αδύνατος ένας χωρόχρονος απαλλαγμένος από βαρύτητα.

Η αλυσίδα των ιδεών που οδήγησαν τον Αϊνστάιν στη γενική σχετικότητα ξεκινά το 1907, όταν εντυπωσιάσθηκε από μια αξιοσημείωτη ιδιότητα της βαρύτητας που ήταν γνωστή ήδη από την εποχή του Γαλιλαίου. Όταν ένα βαρυτικό πεδίο εκτρέπει ένα σώμα από την αρχική του πορεία, το μέγεθος της εκτροπής είναι ανεξάρτητο από τη φύση του σώματος και, ειδικότερα, από τη μάζα του. Αυτή η ιδιότητα συνιστά ένα πολύ ειδικό γνώρισμα των πεδίων βαρύτητας και δεν ισχύει σε άλλες περιπτώσεις πεδίων, όπως, για παράδειγμα, το ηλεκτρικό. Αν ένα κινούμενο φορτισμένο σωματίδιο εκτραπεί υπό την επίδραση κάποιου ηλεκτρικού πεδίου τότε, όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο του σωματιδίου, τόσο μεγαλύτερη είναι και η εκτροπή από την αρχική του πορεία. Ήταν σαν να επρόκειτο για μια κατάσταση όπου οι τροχιές που διαγράφουν τα σώματα πέφτοντας μέσα σε ένα βαρυτικό πεδίο ήταν ήδη προδιαγεγραμμένες από το χωρόχρονο και κάθε σώμα έπρεπε να τις ακολουθήσει ανεξάρτητα από τη μάζα του. Συμβαίνει δε οι χωρόχρονοι Μινκόβσκι να διαθέτουν τροχιές με αυτήν ακριβώς την ιδιότητα. Πρόκειται για τις τροχιές των αδρανειακά κινούμενων σωματιδίων, δηλαδή για τις ευθείες κοσμικές γραμμές τύπου χρόνου που ορίζονται από τη μετρική του Μινκόβσκι. Κάθε σώμα που κινείται αδρανειακά μέσα σε ένα χωρόχρονο Μινκόβσκι ακολουθεί αυτές τις τροχιές με τρόπο που είναι ανεξάρτητος από τη μάζα του. Αφού αυτές οι τροχιές έχουν αυτήν ακριβώς τη μοναδική χαρακτηριστική ιδιότητα της βαρύτητας, ο Αϊνστάιν οδηγήθηκε στην υπόθεση ότι ένας χωρόχρονος Μινκόβσκι αποτελούσε ήδη μια ειδική περίπτωση χωρόχρονου συνυφασμένου με κάποιο βαρυτικό πεδίο, και ότι χωρόχρονοι συνυφασμένοι με βαρυτικά πεδία γενικότερης μορφής θα μπορούσαν να δημιουργηθούν όχι με την προσθήκη περισσότερων δομών στο χωρόχρονο αλλά με την τροποποίηση του ήδη υπάρχοντος.

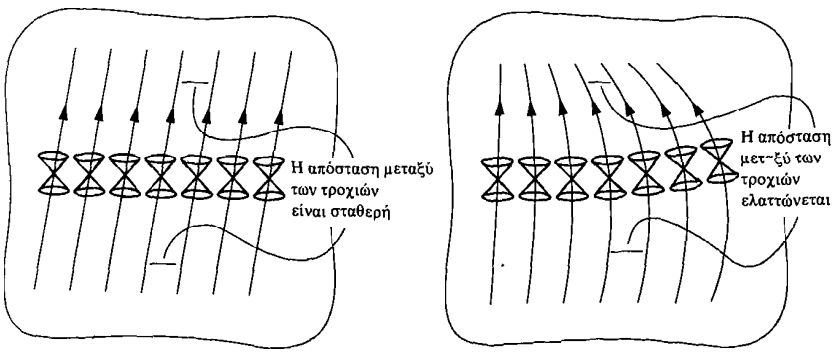
5.9.2 Η Αρχή της Ισοδυναμίας

Αυτή η υπόθεση διατυπώθηκε και δικαιώθηκε με ολοζώντανο τρόπο μέσω ενός νοητικού πειράματος. Ο Αϊνστάιν φαντάστηκε έναν φυσικό κλεισμένο σε ένα θάλαμο μέσα στον απαλλαγμένο, υποτίθεται, από βαρύτητα χώρο της ειδικής σχετικότητας. Κατόπιν θεώρησε ότι ο θάλαμος επιταχύνεται ομοιόμορφα προς κάποια κατεύθυνση. Όλα τα ελεύθερα αντικείμενα του θαλάμου θα πέσουν προς τη μια μεριά με την ίδια επιτάχυνση. Ο φυσικός που παρατηρεί το φαινόμενο, συνέχισε ο Αϊνστάιν, μπορεί να το εξηγήσει με δύο εξίσου καλούς τρόπους. Αφ' ενός, μπορεί να ισχυριστεί ότι ο θάλαμος επιταχύνθηκε. Αφ' ετέρου, λαμβάνοντας υπ' όψιν το ειδικό χαρακτηριστικό της βαρύτητας, μπορεί να ισχυριστεί ότι ο θάλαμος δεν επιταχύνθηκε αλλά ότι ένα ομογενές βαρυτικό πεδίο επιδρά πλέον στο θάλαμο. Η «αρχή της ισοδυναμίας» του Αϊνστάιν μάς διαβε-

βαιώνει ότι οι δύο αυτές καταστάσεις –η ομαλή επιτάχυνση μέσα σε ένα χωρόχρονο απαλλαγμένο από βαρύτητα και ένα ομογενές βαρυτικό πεδίο– είναι πλήρως ισοδύναμες, ή, με τα δικά μας λόγια, είναι ένα και το αυτό. Στην πλέον σύντομη εκδοχή του αυτό το νοητικό πείραμα δείχνει ότι η απαλλαγμένη από βαρύτητα ειδική σχετικότητα που υποθέταμε ενσωματώνει εξαρχής τη βαρύτητα. Για να αντιληφθείτε ότι η βαρύτητα είναι ήδη εκεί, μετασχηματίστε τα δεδομένα έτσι ώστε να προκύψει ένας ομαλά επιταχυνόμενος χώρος, και ένα ομογενές βαρυτικό πεδίο θα κάνει την εμφάνισή του.

5.9.3 Γενικεύοντας την Ειδική Σχετικότητα

Αυτό που χαρακτηρίζει τα βαρυτικά πεδία της ειδικής σχετικότητας είναι η ακόλουθη ιδιότητα: Αν δύο δοκίμια έχουν ταυτόσημες αρχικές ταχύτητες, θα εξακολουθήσουν να κινούνται διατηρώντας σταθερή τη μεταξύ τους απόσταση (βλέπε Σχήμα 5.19). Ενδιαφερόμαστε για βαρυτικά πεδία γενικότερης μορφής, όπως αυτό της Γης. Σε αυτές τις γενικότερες περιπτώσεις, οι αποστάσεις μεταξύ των εν λόγω σωμάτων δεν θα παραμένουν σταθερές αλλά θα συγκλίνουν ή θα αποκλίνουν κατά την πτώση τους. Για να συγκροτήσει τη γενική σχετικότητα, ο Αϊνστάιν αντικατέστησε τη μετρική η του Μινκόβσκι που αφορούσε την ειδική σχετικότητα με την περισσότερο γενική μετρική g, η οποία μπορεί να επιτρέψει αυτήν τη σύγκλιση ή την απόκλιση. Σύμφωνα με τη νέα θεωρία, τα ελεύθερα σωματίδια συνεχίζουν να ακολουθούν τις ευθείες καμπύλες τύπου χρόνου του



Σχήμα 5.19 Αδρανειακές τροχιές στην ειδική και στη γενική θεωρία της σχετικότητας.

χωρόχρονου, όπως ακριβώς συνέβαινε και στο χωρόχρονο Μινκόβσκι. Ωστόσο, οι «ευθείες» γραμμές που καθορίζονται από την περισσότερο γενική μετρική g δεν συμπεριφέρονται πλέον όπως θα περιμέναμε να συμπεριφέρονται οι ευθείες γραμμές. Για παράδειγμα, δύο «ευθείες» γραμμές που είναι αρχικά παράλληλες δεν είναι απαραίτητο να διατηρούν σταθερή απόσταση μεταξύ τους καθώς κινούμαστε κατά μήκος τους (βλέπε Σχήμα 5.19). Τέτοια αποτελέσματα είναι τυπικά στο πλαίσιο της γεωμετρίας των καμπύλων επιφανειών, όπως η επιφάνεια της σφαίρας, και οι μαθηματικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στη γενική σχετικότητα αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της μελέτης των καμπύλων επιφανειών. Κατά συνέπεια, η αναφορά του όρου «καμπυλότητα» είναι κοινή και η διάκριση μεταξύ του «επίπεδου» χωρόχρονου της ειδικής σχετικότητας και των «καμπύλων» χωρόχρονων της γενικής σχετικότητας είναι κοινότοπη.

Συγκεφαλαιώνοντας, τα μοντέλα της γενικής σχετικότητας έχουν τελικά τη μορφή

$$<M, g>$$

όπου M είναι μια τετραδιάστατη πολλαπλότητα και g μια γενίκευση της μετρικής η του Μινκόβσκι. Αφού κάθε συγκεκριμένη κατανομή μαζών στο σύμπαν παράγει ένα συγκεκριμένο βαρυτικό πεδίο, υπάρχουν πάρα πολλά διαφορετικά μοντέλα της θεωρίας. Ειδικότερα, μια ανομοιόμορφη κατανομή μαζών θα παράγει ένα ανομοιόμορφο βαρυτικό πεδίο. Έτσι τα μοντέλα της γενικής σχετικότητας θα διαθέτουν γενικώς μη τετριμμένες συμμετρίες με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η διατύπωση αρχών σχετικότητας του τύπου εκείνου που συναντήσαμε στην περίπτωση του επίπεδου χωρόχρονου της Νευτώνειας θεωρίας και της ειδικής σχετικότητας.

ΜΕΡΟΣ ΙΙΙ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

5.10 ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΣΥΝΑΛΛΟΙΩΤΟ

Οι παρανοήσεις γύρω από τη σημασία της συναλλοίωτης ομάδας μιας θεωρίας ευθύνονται για ένα σχετικά μεγάλο σύνολο συγχύσεων στη φιλοσοφία του χώρου και του χρόνου. Ας εξετάσουμε δύο σημαντικές περιπτώσεις.

5.10.1 Η Γενίκευση της Αρχής της Σχετικότητας

Ένας από τους γνωστότερους ισχυρισμούς του Αϊνστάιν αναφορικά με τη γενική θεωρία της σχετικότητας είναι ότι αυτή αποτελεί επέκταση της αρχής της

σχετικότητας και στις περιπτώσεις επιταχυνόμενης κίνησης. Στην προηγούμενη παράγραφο παρατηρήσαμε ότι οι χωρόχρονοι της γενικής σχετικότητας γενικά δεν επιδέχονται μη τετριμμένες συμμετρίες, έτσι που τελικά να είναι αδύνατη η διατύπωση μιας αρχής σχετικότητας του είδους που μπορεί να διατυπωθεί στη Νευτώνεια θεωρία ή στην ειδική σχετικότητα. Έτσι η υπεράσπιση του ισχυρισμού του Αϊνστάιν αποδείχθηκε πολύ δύσκολη, απαιτώντας την υιοθέτηση όλο και πιο πολύπλοκων επιχειρηματολογικών στρατηγημάτων. (Τα επιχειρήματα του Φρίντμαν (Friedman 1983) ενάντια σε αυτόν τον ισχυρισμό είναι ιδιαίτερα σαφή.) Το απλούστερο και συνηθέστερο επιχείρημα υπέρ του ισχυρισμού δεν στηρίζεται σε στέρεες βάσεις. Το μόνο που λέει είναι ότι η γενική σχετικότητα αποτελεί μια γενικά συναλλοίωτη θεωρία. Ωστόσο, αυτή η ίδια η ιδιότητα από μόνη της είναι αδύνατο να φέρει όλο το βάρος που συνεπάγεται η αξιούμενη γενίκευση της αρχής της σχετικότητας, αφού κάθε χωροχρονική θεωρία που εξετάσαμε σε αυτό το κεφάλαιο διατυπώθηκε ως γενικά συναλλοίωτη. Είναι αδύνατο όμως να ικανοποιούν όλες αυτές οι θεωρίες μια γενικευμένη αρχή σχετικότητας!

Η ψευδαίσθηση ότι το να είναι μια θεωρία γενικά συναλλοίωτη είναι συνώνυμο με την επέκταση της αρχής της σχετικότητας, οφείλεται συνήθως στο απλό λάθος που συνίσταται στην ανεπιφύλακτη σύγκριση δύο θεωριών που είναι διατυπωμένες με διαφορετικό τρόπο: της γενικής σχετικότητας, κατά τη γενικά συναλλοίωτη διατύπωσή της, και της ειδικής σχετικότητας, κατά την πρότυπη (όχι γενικά συναλλοίωτη) διατύπωσή της. Κατά την πρότυπη διατύπωσή της η ομάδα Λόρεντς αποτελεί τόσο τη συναλλοίωτη ομάδα της θεωρίας όσο και την ομάδα συμμετρίας της, δηλαδή την ομάδα των μετασχηματισμών συμμετρίας της. Όπως είδαμε, η αρχή της σχετικότητας συνδέεται με την ομάδα συμμετρίας, οπότε μια θεωρία που επεκτείνει αυτήν την αρχή οφείλει να επεκτείνει και αυτήν την ομάδα συμμετρίας. Κατά τη μετάβαση στη γενική σχετικότητα όντως επεκτείνουμε το συναλλοίωτο της θεωρίας από το συναλλοίωτο κατά Λόρεντς στο γενικά συναλλοίωτο, αλλά αφού η γεωμετρική δομή της γενικής σχετικότητας επιδέχεται εν γένει μη τετριμμένες συμμετρίες, στην πραγματικότητα ελλαττώνουμε τις συμμετρίες που επιδέχεται η θεωρία. Όσοι δεν αντιλαμβάνονται με σαφήνεια την εννοιολογική διάκριση μεταξύ ομάδας συμμετρίας και συναλλοίωτης ομάδας στο πλαίσιο της ειδικής σχετικότητας δεν αντιλαμβάνονται και τη σημασία αυτής της ελλάτωσης και πέφτουν στην παγίδα να πιστέψουν ότι κάπως επέκτειναν αυτόματα και την αρχή της σχετικότητας. Αν οι δύο θεωρίες είχαν συγκριθεί εξαρχής, κατά τη γενικά συναλλοίωτη διατύπωσή τους, αυτό το πρόβλημα δεν θα είχε ανακύψει.

5.10.2 Ο Συμβατικός Χαρακτήρας της Ταυτοχρονίας

Ο Γουίνυ (Winnie, 1970) απέδειξε ότι μπορούμε να γενικεύσουμε ένα πρότυ-

πο σύστημα συντεταγμένων της ειδικής σχετικότητας κατασκευάζοντας ένα νέο σύστημα με μια συντεταγμένη t_ε για το χρόνο, με τρόπο ώστε συμβάντα που χαρακτηρίζονται από το ίδιο t_ε να κρίνονται ως ταυτόχρονα μέσω κάποιου κριτηρίου ε. Έχει θεωρηθεί κατά καιρούς ότι *αυτό και μόνο* το γεγονός αρκεί για να δικαιολογήσει τους ισχυρισμούς περί συμβατικότητας. Τούτο όμως είναι καταφανώς ψευδές αφού το μόνο που αποδεικνύεται εδώ είναι ότι μπορούμε να επεκτείνουμε το συναλλοίωτο μιας θεωρίας με τρόπο που να επιτρέπει τη χρήση συστημάτων συντεταγμένων που περιέχουν την t_ε. Είδαμε ότι είναι δυνατό να επεκτείνουμε το συναλλοίωτο μιας θεωρίας μέχρι το γενικά συναλλοίωτο, πράγμα που επιτρέπει την εισαγωγή αυθαίρετων συστημάτων συντεταγμένων. Στην πραγματικότητα, είδαμε ότι μπορούμε να διατυπώσουμε κάθε χωροχρονική θεωρία που εξετάσαμε ώς τώρα ως γενικά συναλλοίωτη. Αν μπορούσαμε να θεωρήσουμε αυτόματα την εκάστοτε t συντεταγμένη καθεμιάς από αυτές τις διατυπώσεις ικανή να παράσχει ένα κριτήριο ταυτοχρονίας, τότε θα μπορούσαμε να δικαιολογήσουμε τις πιο παράδοξες σχέσεις ταυτοχρονίας, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται και σχέσεις ταυτοχρονίας που δεν είναι πρότυπες ούτε καν στην περίπτωση των Νευτώνειων χωρόχρονων. Αυτό που απαιτείται είναι κάποιος ανεξάρτητος τρόπος που να επιτρέπει τον ισχυρισμό ότι η συντεταγμένη t κάποιας διατύπωσης, όντως αντιπροσωπεύει μια δυνατή σχέση ταυτοχρονίας, σαν αυτή που η αιτιακή θεωρία του χρόνου θέλει να παρέχει για την t_ε.

5.11 ΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΟΥ ΜΑΛΑΜΕΝΤ

Μία από τις πλέον δραματικές καμπές στην αντιπαράθεση αναφορικά με τη συμβατικότητα της ταυτοχρονίας οφείλεται στον Μάλαμεντ (1977a). Προδίδοντας τις προσδοκίες των περισσοτέρων, κατόρθωσε να αποδείξει ότι ο κεντρικότερος ισχυρισμός των υποστηρικτών της αιτιακής θεωρίας του χρόνου για την ταυτοχρονία ήταν ψευδής. Έδειξε ότι η πρότυπη σχέση ταυτοχρονίας αποτελεί τη μοναδική μη τετριμμένη σχέση ταυτοχρονίας που μπορεί να διατυπωθεί σύμφωνα με την αιτιακή δομή του χωρόχρονου Μινκόβσκι της ειδικής σχετικότητας.

Ας παρουσιάσουμε μιαν ακριβέστερη εκδοχή του αποτελέσματος του Μάλαμεντ για να σκιαγραφήσουμε την ιδιοφυή μέθοδο που ακολούθησε για να το εδραιώσει. Θυμόμαστε κατ' αρχάς ότι, όπως είδαμε στην Παράγραφο 5.8, η αιτιακή δομή ενός χωρόχρονου Μινκόβσκι είναι ισοδύναμη με την αντίστοιχη δομή του κώνου φωτός. Θυμόμαστε, επίσης, ότι η πρότυπη σχέση ταυτοχρονίας εξαρτάται από το εκάστοτε αδρανειακό σύστημα αναφοράς, οπότε αν δεν προσδιορίσουμε ένα τέτοιο σύστημα, δεν πρέπει να αναμένουμε ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Ο Μάλαμεντ επιλέγει ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς ορίζοντας μία από τις κοσμικές του γραμμές Π ως την κοσμική γραμμή του Παρατηρητή αναφορικά προς τον οποίο οφείλει να ορισθεί η σχέση ταυτοχρονίας. Το βασικό ερώτημα που ανακύπτει έτσι είναι το εξής:

Ποιες σχέσεις ταυτοχρονίας μπορούν να οριστούν μέσω της δομής κώνου φωτός ενός χωρόχρονου Μινκόβσκι και της κοσμικής γραμμής Π ενός παρατηρητή που κινείται αδρανειακά;

Ο Μάλαμεντ έδειξε πρώτα ότι

Η σχέση της πρότυπης ταυτοχρονίας μπορεί να οριστεί επί τη βάσει της κοσμικής γραμμής Π και της δομής κώνου φωτός.

Για την απόδειξη λαμβάνεται υπ' όψιν η κατασκευή που φαίνεται στο Σχήμα 5.20. Επιλέγουμε το τυχαίο συμβάν e πάνω στην Π και αναζητούμε την υπερεπιφάνεια των συμβάντων s που είναι ταυτόχρονα με το e στο αδρανειακό σύστημα αναφοράς της Π σύμφωνα με το πρότυπο κριτήριο. Η υπερεπιφάνεια μπορεί να προσδιοριστεί αν ικανοποιείται το ακόλουθο κριτήριο. Έστω ότι a είναι κάποιο συμβάν πάνω στην Π πρότερο του e. Το σύνολο όλων των δυνατών φωτεινών σημάτων που εκπέμπονται από το a πρέπει να τέμνουν την s και, αφού ανακλαστούν πίσω προς την Π κατά την εν λόγω τομή, να συναντούν όλα την Π στο ίδιο γεγονός b. Η υπερεπιφάνεια s είναι, φυσικά, κάθετη στην Π.

Το βασικό αποτέλεσμα του Μάλαμεντ είναι ότι

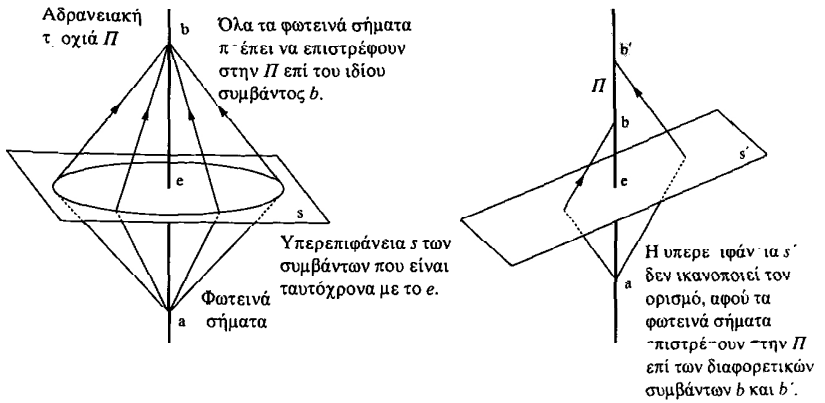
Η σχέση της πρότυπης ταυτοχρονίας είναι η μόνη δυαδική σχέση που μπορεί να οριστεί με τη βοήθεια της δομής κώνου φωτός και της κοσμικής γραμμής Π, υπό τον όρο ότι

(i) η σχέση αυτή αποκλείεται να είναι τετριμμένη αφού συνδέει κάθε συμβάν με κάθε άλλο συμβάν, ή αδυνατεί να συσχετίσει συμβάντα επί της Π με συμβάντα που δεν βρίσκονται επί της Π, και

(ii) η σχέση αυτή αποτελεί σχέση ισοδυναμίας.

Η συνθήκη (ii) είναι απαραίτητη για να μπορεί η σχέση να διανέμει τα συμβάντα σε διακριτά σύνολα αμοιβαίως ταυτόχρονων συμβάντων, όπως, για παράδειγμα, είναι οι υπερεπιφάνειες ταυτοχρονίας στην πρότυπη περίπτωση.

Η απόδειξη του αποτελέσματος εξαρτάται από το γεγονός ότι η κοσμική γραμμή Π και η δομή κώνου φωτός επιδέχονται ορισμένες συμμετρίες. Για παράδειγμα, στο σύστημα ηρεμίας του Π αυτές οι δομές δεν ξεχωρίζουν κάποια προνομιακή κατεύθυνση στο χώρο και ως εκ τούτου παραμένουν αναλλοίωτες όταν υποβληθούν σε περιστροφή γύρω από τον άξονα Π. Έτσι κάθε σχέση που ορίζεται αποκλειστικά επί τη βάσει της Π και της δομής κώνου φωτός αποκλείεται να επιλέξει μια προνομιακή κατεύθυνση και, ως εκ τούτου, πρέπει να επιδέχεται την ίδια εκ περιστροφής συμμετρία. Κατά συνέπεια, αν τα συμβάντα p και q σχετίζονται μέσω της σχέσης ταυτοχρονίας, και αν f είναι μια οποιαδήποτε πε-



Σχήμα 5.20 Αιτιακός ορισμός της πρότυπης ταυτοχρονίας σε ένα χωρόχρονο Μινκόβσκι

ριστροφή περί την κοσμική γραμμή Π, τότε τα εκ περιστροφής γεγονότα $f(p)$ και $f(q)$ πρέπει να είναι επίσης ταυτόχρονα (βλέπε Σχήμα 5.21). Μπορούμε τώρα να επαναλάβουμε το επιχείρημα για όλες τις εναπομένουσες συμμετρίες αναφορικά με την Π και τη δομή κώνου φωτός. Η βασική ιδέα είναι ότι κάθε συμμετρία αναφορικά με την Π και τη δομή κώνου φωτός πρέπει να είναι επίσης συμμετρία και για κάθε σχέση ταυτοχρονίας που ορίζει η Π. Αυτές οι συμμετρίες είναι οι μετατοπίσεις, οι μετασχηματισμοί κλίμακας (ομογενείς μεγεθύνσεις ή σμικρύνσεις) και οι κατοπτρισμοί ως προς μια υπερεπιφάνεια κάθετη στην Π. Όλες αυτές πρέπει να απεικονίζουν την Π στον εαυτό της και παριστάνονται στο Σχήμα 5.22. Ο Μάλαμεντ έδειξε κατόπιν ότι η πρότυπη σχέση ταυτοχρονίας αποτελεί τη μόνη δυαδική σχέση που ικανοποιεί τα κριτήρια (i) και (ii) και παραμένει αναλλοίωτη κάτω από αυτές τις συμμετρίες. Χωρίς να υπεισέλθουμε στις λεπτομέρειες της απόδειξης, μπορούμε εύκολα να ικανοποιηθούμε για το ότι το αποτέλεσμα είναι εύλογο. Υποθέστε ότι η σχέση ταυτοχρονίας είναι τέτοια ώστε να κατατέμνει το χωρόχρονο σε υπερεπιφάνειες αμοιβαίως ταυτόχρονων συμβάντων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.22. Τότε, είναι διαισθητικά προφανές ότι *μόνο μία* κατάτμηση μέσω υπερεπιφανειών κάθετων στην κοσμική γραμμή θα παραμένει αναλλοίωτη κάτω από τις συμμετρίες που προαναφέρθηκαν.

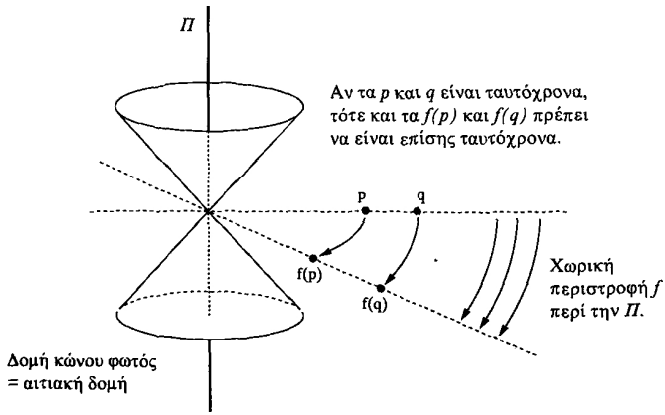
Η μεγαλύτερη αδυναμία της ανάλυσης του Μάλαμεντ έγκειται στην ευαισθησία που παρουσιάζει το βασικό του αποτέλεσμα ακόμα και σε μικρές μεταβολές

των συνθηκών που προϋποθέσαμε. Η ανάλυση αυτή βασίζεται στην παραδοχή ότι η σχέση ταυτοχρονίας ορίζεται μέσω του ακόλουθου καταλόγου δομών:

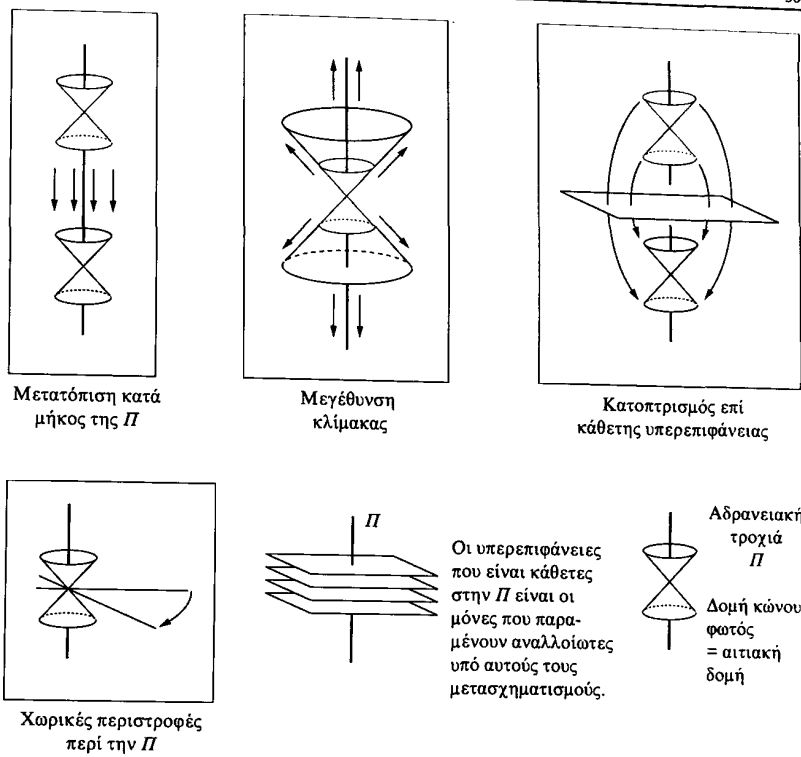
δομή κώνου φωτός, αδρανειακή κοσμική γραμμή Π.

Η σημασία της διατήρησης αυτού του καταλόγου είναι καίρια, αφού και η παραμικρότερη αλλαγή εκεί φαίνεται αρκετή να υποσκάψει το βασικό αποτέλεσμα του Μάλαμεντ. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να προκύψει το ερώτημα ποια σχέση ταυτοχρονίας μπορεί να οριστεί αν προσθέταμε στα μέλη του καταλόγου μία ακόμα αδρανειακή κοσμική γραμμή Π' που να αντιστοιχούσε σε μια ταχύτητα διαφορετική από αυτήν που αντιστοιχεί στην Π. Από αυτά που παριστάνονται στο Σχήμα 5.20, φαίνεται ότι μπορούμε να ορίσουμε τουλάχιστον την πρότυπη σχέση ταυτοχρονίας για την Π και την πρότυπη σχέση ταυτοχρονίας για την Π'. Η τελευταία, όμως, δεν είναι πρότυπη για την Π. Γενικότερα, ο Πήτερ Σπάιρτς (Peter Spirtes 1981, Κεφάλαιο 6), απέδειξε ότι η απλή προσθήκη ενός χρονικού προσανατολισμού στον εν λόγω κατάλογο –δηλαδή, η δυνατότητα να διακρίνεται το παρελθόν από το μέλλον– αρκεί για να προκύψουν άπειρες το πλήθος μη πρότυπες σχέσεις ταυτοχρονίας. Ωστόσο, πριν τροποποιήσουμε τη φυσιογνωμία του ορισμού της αιτιότητας προσθέτοντας ή αφαιρώντας μέλη στον κατάλογο, πρέπει να έχουμε πολύ καλούς λόγους για να το κάνουμε.

Ο Άντολφ Γκρυνμπάουμ (μέσω προσωπικής επικοινωνίας μαζί μου) επεσήμανε ότι η ανάγκη να εισαχθεί αξιωματικά το κριτήριο (ii), δηλαδή ότι η σχέση ταυτοχρονίας είναι σχέση ισοδυναμίας, και όχι να αποδειχθεί, αποτελεί μια



Σχήμα 5.21 Η ταυτοχρονία διατηρείται κατά την περιστροφή



Σχήμα 5.22 Συμμετρίες της δομής κώνου φωτός ενός χωρόχρονου Μινκόβσκι και μιας αδρανειακής τροχιάς *Π*.

ακόμα αδυναμία της ένστασης του Μάλαμεντ ενάντια στους υπέρμαχους της αιτιοκρατίας. Είναι σαν να αποκλείεται βάσει διατάγματος κάθε σχέση ταυτοχρονίας που δεν διαμερίζει το χωρόχρονο σε μη αλληλεπικαλυπτόμενα σύνολα αμοιβαίως ταυτόχρονων συμβάντων. Παράδειγμα μιας τέτοιας σχέσης είναι η σχέση «δεν είναι αιτιακά συνδέσιμα», η οποία ονομάστηκε στη βιβλιογραφία «τοπολογική ταυτοχρονία» (Grünbaum 1973, 203). Η τελευταία σχέση δεν είναι μεταβατική: Καθένα από τα συμβάντα *A* και *B* μπορεί να μην είναι δυνατό να συνδεθεί αιτιακά με ένα τρίτο συμβάν, ενώ μεταξύ τους μπορεί να συνδέονται μέσω μιας κοσμικής γραμμής τύπου χρόνου. Κατά συνέπεια, αυτή η σχέση δεν είναι σε θέση να διαμερίσει το χωρόχρονο σε μη αλληλεπικαλυπτόμενα σύνολα αμοιβαίως ταυτόχρονων γεγονότων.

5. 12 ΤΟ ΖΗΤΗΜΑ ΤΟΥ ΡΕΑΛΙΣΜΟΥ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ

5.12.1 Η Υποστασιοκρατία Αναφορικά με το Χωρόχρονο και το Επιχείρημα Περί «Οπής»

Ο Ισαάκ Νεύτων θεωρείται συνήθως ως ο κατ' εξοχήν ρεαλιστής σε ό,τι αφορά τις θεωρίες του χώρου και του χρόνου και τούτο ειδικότερα για τον τρόπο με τον οποίο πραγματεύτηκε το απόλυτο του απόλυτου χώρου και του απόλυτου χρόνου που εισηγήθηκε. Το εν λόγω απόλυτο ανακύπτει κατά ποικίλες έννοιες, οι οποίες αναλύθηκαν έξοχα από τον Ήρμαν (Earman 1988). Το απόλυτο θα μας απασχολήσει εδώ υπό την ειδική έννοια της ανεξαρτησίας. Όπως είδαμε στην Παράγραφο 5.1, για τον απόλυτο χώρο και τον απόλυτο χρόνο διεκδικήθηκε μια ύπαρξη εντελώς ανεξάρτητη από τα πράγματα που περιέχουν. Αυτή η θεώρηση αποτελεί τη λεγόμενη άποψη περί «υποστάσεως» ή αλλιώς «υποστασιοκρατία» (substantivalism). Το κάπως ατυχές αυτό όνομα οφείλεται στην άποψη ότι η υπόσταση είναι αυτό που μπορεί να υπάρχει με τρόπο ανεξάρτητο. Μια καλύτερη ονομασία με λιγότερες ενοχλητικές συμπαραδηλώσεις μπορούσε να είναι η άποψη περί «ανεξαρτησίας». Προφανώς, η υποστασιοκρατική θέση μπορεί να διατυπωθεί με ανάλογο τρόπο και αναφορικά με το χωρόχρονο.

Αυτή η άποψη αποτελεί μια μορφή ακραίου ρεαλισμού ως προς το χωρόχρονο. Ανακύπτει δε πολύ φυσιολογικά στους ρεαλιστές που επιθυμούν να εκλάβουν τις θεωρίες για το χωρόχρονο όσο το δυνατό κυριολεκτικότερα. Μια τέτοια θεώρηση βλέπει αυτόματα τις διακρίσεις ανάμεσα στις διαφορετικές δομές ως εάν να αντικατοπτρίζουν φυσικές διακρίσεις ανάμεσα στις πραγματικές δομές του φυσικού κόσμου. Η υποστασιοκρατία αναδεικνύει τη σημασία μιας από τις πλέον σημαντικές διακρίσεις στο πλαίσιο των φυσικών θεωριών, αυτής μεταξύ του χωρόχρονου και της ύλης που περιέχει. Αυτή η θέση έχει γίνει περισσότερο ελκυστική καθώς ο ρεαλισμός στη φιλοσοφία της επιστήμης αναβίωσε εν όψει των προβλημάτων που αντιμετώπιζαν τα μη ρεαλιστικά προγράμματα και της συμβασιοκρατίας (conventionalism) και της σχεσιοκρατίας (relationalism) σε ό,τι αφορά τις θεωρίες για το χωρόχρονο.

Το επιχείρημα περί «οπής» (Earman και Norton 1987) βασίζεται σε ορισμένες ιδέες που ανέπτυξε ο Αϊνστάιν κατά τα έτη 1914, 1915 και 1916 και αποσκοπεί στην εδραίωση της άποψης ότι η αποδοχή της υποστασιοκρατικής προσέγγισης για μια ευρύτατη κατηγορία χωροχρονικών θεωριών οδηγεί αναγκαστικά σε μια πολύ ανεπιθύμητη μορφή απροσδιοριστίας. (Για μιαν ανάλυση του προβλήματος του ντετερμινισμού, βλέπε Κεφάλαιο 6.) Με απλά λόγια το επιχείρημα αυτό θεμελιώνει την άποψη ότι η υποστασιοκρατία μάς υποχρεώνει να δεχθούμε ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ ορισμένων φυσικώς δυνατών κόσμων, μολονότι όχι μόνον η παρατήρηση, αλλά ούτε καν οι ίδιοι οι φυσικοί νόμοι δεν είναι σε θέση να επιλέξουν ανάμεσά τους.

5.12.2 Οι Προϋποθέσεις του Επιχειρήματος

Για να καταστήσουμε το επιχείρημα ακριβέστερο, πρέπει να αποσαφηνίσουμε ορισμένα ερωτήματα που έχουν παραμείνει ασαφή. Ο όρος «χωρόχρονος» είναι διφορούμενος στο μέτρο που είναι ασαφές σε ποια συγκεκριμένη οντότητα αναφέρεται. Ας δεχθούμε ότι με τον όρο «χωρόχρονος» εννοείται η πολλαπλότητα M των μοντέλων μας, οπότε ο υπέρμαχος της υποστασιοκρατίας αποδίδει τις υποστασιακές ιδιότητες στο M ή σε αυτό που το M αντιπροσωπεύει για το σύνολο των φυσικώς δυνατών κόσμων. (Υπάρχουν και άλλες εναλλακτικές δυνατότητες εδώ, αλλά, όπως απέδειξε ο Νόρτον (Norton 1989), το επιχείρημα περί οπής μπορεί να εφαρμόζεται σε πολλές τέτοιες περιπτώσεις.) Η «ευρύτατη κατηγορία χωροχρονικών θεωριών» που αναφέρθηκε αποτελείται από αυτές που συνήθως ονομάζονται «τοπικές (local) χωροχρονικές θεωρίες». Πρόκειται για γενικά συναλλοίωτες χωροχρονικές θεωρίες του είδους που εξετάσαμε στο παρόν κεφάλαιο και στις οποίες συγκαταλέγονται εκδοχές της Νευτώνειας θεωρίας για το χωρόχρονο, όπως και της ειδικής και της γενικής σχετικότητας. Η σημαντικότερη περίπτωση θεωρίας όπου βρίσκει εφαρμογή το επιχείρημα, είναι η γενική σχετικότητα, η καλύτερη χωροχρονική θεωρία που διαθέτουμε σήμερα και η οποία διατυπώνεται μόνο τοπικά. Θα εξετάσουμε το επιχείρημα περί οπής όπως εφαρμόζεται στη γενική σχετικότητα.

Τέλος, χρειαζόμαστε μιαν ακριβέστερη διατύπωση της υποστασιοκρατικής θεώρησης. Η φράση «ανεξάρτητη ύπαρξη» όντως κάνει να αναπηδούν στη φαντασία μας διάφορες εικόνες, αλλά χωρίς σαφέστερη επαναδιατύπωση δεν μπορεί αυτή να αναλυθεί με τη βοήθεια όσων είπαμε στο παρόν κεφάλαιο. Δυστυχώς όμως, φαίνεται πως είναι αδύνατο να δοθεί μια ακριβής και ικανοποιητική διατύπωση αυτής της θεώρησης. Ο ισχυρισμός ότι ο χωρόχρονος, όπως αναπαρίσταται από μια πολλαπλότητα M, μπορεί να υπάρξει ανεξάρτητα από τα δυνατά περιεχόμενά του μεταφράζεται φυσιολογικά στον ισχυρισμό ότι υπάρχει ένας δυνατός κόσμος ο οποίος μπορεί να παρασταθεί από τη γυμνή δομή M. Ωστόσο, αυτός ο ισχυρισμός καταρρίπτεται κατά τρόπο τετριμμένο από όλες τις χωροχρονικές θεωρίες που συναντήσαμε ώς τώρα. Χωρίς καμιά εξαίρεση, αυτές απαιτούν τη συμπλήρωση της δομής M με πρόσθετες δομές ώστε να καταστεί ικανή να παράγει μοντέλα φυσικώς δυνατών κόσμων. Ευτυχώς, για τη συμπλήρωση του επιχειρήματος δεν απαιτείται μια ακριβέστερη διατύπωση του σε τι συνίσταται η υποστασιοκρατία ως προς το χωρόχρονο. Το μόνο που απαιτείται είναι μια συγκεκριμένη δέσμευση από πλευράς των υποστηρικτών της.

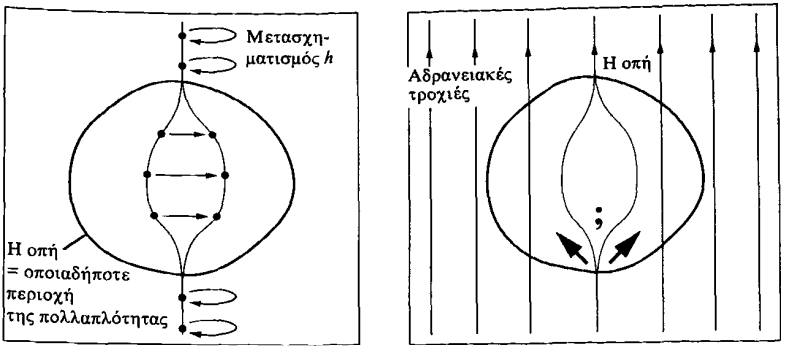
Η δέσμευση αυτή ανέκυψε κατά την περίφημη διένεξη μεταξύ του Λάιμπνιτς και του Σάμιουελ Κλαρκ (Samuel Clarke), ο οποίος εκπροσωπούσε την άποψη του Νεύτωνα. Στην αλληλογραφία που αντάλλαξαν, ο Λάιμπνιτς έθεσε το ερώτημα αν θα άλλαζε κάτι στον κόσμο στην περίπτωση που ο Θεός τοποθετούσε όλα τα σώματα στο χώρο έτσι ώστε να εναλλάσσονταν η Ανατολή με τη Δύση, χωρίς όμως να αλλάξει τίποτα άλλο στις υπόλοιπες σχέσεις μεταξύ των σωμά-

των. Ο Λάιμπνιτς θεώρησε ότι δεν θα προέκυπτε καμιά διακρίσιμη διαφορά και συμπέρανε ότι καμιά τέτοια αλλαγή δεν θα ήταν πραγματική. Ωστόσο, ο ίδιος αντιλαμβανόταν πως ο υπέρμαχος μιας Νευτώνειας υποστασιοκρατίας θα έπρεπε να συμπεράνει ότι ο κόσμος που θα προέκυπτε θα ήταν διαφορετικός, αφού τα σώματα που θα τον αποτελούσαν θα ήταν τοποθετημένα σε διαφορετικές θέσεις στο χώρο.

Στις χωροχρονικές θεωρίες, το ανάλογο της χωρικής ανακατανομής κατά Λάιμπνιτς που διατηρεί όλες τις άλλες σχέσεις είναι ένας μετασχηματισμός της πολλαπλότητας M και ο συνδεδεμένος μετασχηματισμός των γεωμετρικών δομών που ορίζονται επί του M. Αν το ζεύγος $<M, g>$ αποτελεί μοντέλο της γενικής σχετικότητας, και h είναι ένας μετασχηματισμός της M, τότε ο h μετασχηματίζει την g σε μια νέα μετρική $g' = h(g)$. Από το γενικά συναλλοίωτο της γενικής σχετικότητας, γνωρίζουμε ότι το ζεύγος $<M, g'>$ αποτελεί επίσης μοντέλο της θεωρίας. Οι δύο μετρικές g και g' θα αποδίδουν διαφορετικές, γενικά, μετρικές ιδιότητες στο ίδιο συμβάν εντός του M. Οι υποστηρικτές της υποστασιοκρατίας ως προς το χωρόχρονο πρέπει να λάβουν σοβαρά υπ' όψιν αυτήν την αναδιάρθρωση ιδιοτήτων εντός της χωροχρονικής πολλαπλότητας M, και οφείλουν να υποστηρίξουν ότι τα δύο μοντέλα $<M, g>$ και $<M, g'>$ παριστάνουν διαφορετικούς δυνατούς κόσμους, πράγμα που σημαίνει ότι ο υποστηρικτής της υποστασιοκρατίας πρέπει να *απαρνηθεί* το εξής:

> *Ισοδυναμία κατά Λάιμπνιτς*: Δύο αμοιβαίως μετασχηματιζόμενα μοντέλα μιας χωροχρονικής θεωρίας, όπως είναι τα μοντέλα $<M, g>$ και $<M, g'>$, παριστάνουν τον ίδιο δυνατό κόσμο.

Αυτή η άρνηση είναι δυσάρεστη για τον υποστηρικτή της υποστασιοκρατίας. Αφού οι μετρικές g και g' είναι αμοιβαία μετασχηματιζόμενες, η μια αποτελεί παράγωγο της άλλης, γιατί, συμβουλευόμενοι το μετασχηματισμό h, για κάθε ιδιότητα της g μπορούμε να βρούμε μιαν αντίστοιχη στην g'. Αυτές οι αντιστοιχούσες ιδιότητες περιλαμβάνουν όλες τις παρατηρήσιμες ιδιότητες, έτσι ώστε η g και η g' να συμφωνούν ως προς όλα τα παρατηρήσιμα μεγέθη. (Οι δύο μετρικές g και g' διαφέρουν μόνον όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται αυτές οι ιδιότητες εντός της πολλαπλότητας M. Όμως, οι διαφορές αυτές δεν μπορούν να μεταφραστούν σε όρους παρατήρησης.). Κατά συνέπεια, ο υπέρμαχος της υποστασιοκρατίας πρέπει να δεχθεί ότι τα μοντέλα $<M, g>$ και $<M, g'>$ αντιπροσωπεύουν δύο διακεκριμένους κόσμους, μολονότι είναι κόσμοι των οποίων οι διαφορές δεν μπορούν να διακριθούν από παρατήρηση. Στις μέρες δόξας του Λογικού Θετικισμού και του κριτηρίου της επαληθευσιμότητας, αυτό και μόνο το συμπέρασμα θα αρκούσε για την απόρριψη της υποστασιοκρατικής άποψης. Όμως, το επιχείρημα περί οπής φέρνει τον υποστηρικτή της υποστασιοκρατίας σε ακόμα δυσκολότερη θέση.



Η Θεωρία αδυνατεί να καθορίσει με ποιο τρόπο θα διασχίσει την Οπή ένα σώμα που εκτελεί ελεύθερη πτώση

Σχήμα 5.23 Το Επιχείρημα περί Οπής

5.12.3 Το Επιχείρημα

Για να φτάσουμε στην απεχθή μορφή απροσδιοριστίας που υποσχεθήκαμε νωρίτερα, επιλέγουμε μια οποιαδήποτε περιοχή της πολλαπλότητας M την οποία ονομάζουμε «οπή», για ιστορικούς λόγους που σχετίζονται με την πρώτη χρήση του όρου από τον Αϊνστάιν σε μια πρώιμη διατύπωση του επιχειρήματος. Επιλέγουμε έναν μετασχηματισμό h επί του M ο οποίος ισοδυναμεί με την ταυτότητα εκτός της οπής, αλλά μεταβάλλεται ομαλά ώστε να διαφέρει από την ταυτότητα στο εσωτερικό της οπής (βλέπε Σχήμα 5.23). Τότε η g και η $g' = h(g)$ θα είναι ίδιες παντού εκτός της οπής, αλλά θα διαφέρουν κατά τρόπο ομαλό στο εσωτερικό της. Έπεται τότε ότι, ακόμα και αν ο χωρόχρονος είναι πλήρως καθορισμένος εκτός της οπής, η θεωρία αδυνατεί να μας πληροφορήσει για τον τρόπο με τον οποίο είναι διαμορφωμένος ο χωρόχρονος εντός της οπής. Γιατί, αν το μοντέλο του χωρόχρονου αποδίδει τη μετρική g στην πολλαπλότητα εκτός της οπής, η θεωρία επιτρέπει στη μετρική να εξελιχθεί είτε ως g είτε ως g' στο εσωτερικό της οπής, χωρίς να μπορεί να αποφασίσει ποια είναι η ορθή εξέλιξη.

Αν θυμηθούμε ότι η μετρική καθορίζει τις αδρανειακές τροχιές του χωρόχρονου, μπορούμε εύκολα να αντιληφθούμε τον καταστροφικό χαρακτήρα αυτού του αποτελέσματος. Ακόμα και αν διαθέτουμε τον πληρέστερο δυνατό προσδιορισμό του χωρόχρονου εκτός της οπής, η θεωρία αδυνατεί να καθορίσει την τροχιά κατά μήκος της οποίας θα κινηθεί ένα σώμα που εκτελεί ελεύθερη πτώ-

ση για να διασχίσει την οπή, μολονότι η τροχιά του σώματος πριν και μετά την οπή είναι γνωστή με απόλυτη ακρίβεια. Όπως εξηγείται στο Κεφάλαιο 6, η εν λόγω περίπτωση αποτελεί μια εξαιρετικά δυσάρεστη μορφή απροσδιοριστίας, γιατί η οπή μπορεί να είναι πολύ μικρού χωρικού μεγέθους και χρονικής διάρκειας. Ακόμα και αν δοθεί μια πλήρης περιγραφή της μορφής των πεδίων, για το μέλλον για το παρελθόν, και για παντού αλλού στο χώρο εκτός της οπής, η θεωρία εξακολουθεί να μην μπορεί να προσδιορίσει τι συμβαίνει στο εσωτερικό της οπής.

Ο υποστηρικτής της υποστασιοκρατίας οδηγείται σε αυτήν την απροσδιοριστία από την υποχρέωσή του να αρνηθεί την αρχή της ισοδυναμίας κατά Λάιμπνιτς. Αν εγκαταλείπαμε την υποστασιοκρατία, η αρχή της ισοδυναμίας κατά Λάιμπνιτς θα μπορούσε να γίνει αποδεκτή. Σε αυτή την περίπτωση, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι τόσο το αρχικό μοντέλο όσο και το αμφιδιαφορίσιμο αντίγραφό του αντιπροσωπεύουν τον ίδιο φυσικώς δυνατό κόσμο, ενώ η απροσδιοριστία ως προς τον τρόπο που εξελίσσεται το πεδίο στο εσωτερικό της οπής θα αποτελούσε ένα μαθηματικό αξιοπερίεργο χωρίς φυσική σημασία. Διαφορετικά, ο υποστηρικτής της υποστασιοκρατίας πρέπει να παραμείνει προσκολλημένος στην ιδέα ότι οι δύο καταστάσεις πραγμάτων αποτελούν διακριτές περιπτώσεις των οποίων η διαφορά παραμένει σκοτεινή τόσο απέναντι στην παρατήρηση όσο και απέναντι στους νόμους της συναφούς θεωρίας.

ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΣΥΖΗΤΗΣΙΝ

1. Συγκρίνετε την εφαρμογή του κριτηρίου επαληθευσιμότητας, όπως περιγράφεται στην Παράγραφο 5.1 για το πλαίσιο της αρχής της σχετικότητας, με κάποιες άλλες εφαρμογές του.
2. Πώς πρέπει να αντιμετωπίσουμε δύο θεωρίες για το χώρο ή/και το χρόνο που έχουν τις ίδιες παρατηρησιακές συνέπειες; Εξετάστε αν είναι δυνατό να επιλέξουμε κατά σύμβασιν μεταξύ τους. (Ίσως βοηθηθείτε αν εξετάσετε αφ' ενός το παράδειγμα της Νευτώνειας θεωρίας για το χώρο και το χρόνο *με* αναφορά και *χωρίς* αναφορά στην απόλυτη ηρεμία, και αφ' ετέρου την Ευκλείδεια γεωμετρία *με* καθολικές δυνάμεις και *χωρίς* αυτές.)
3. Σκιαγραφήστε ορισμένα από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της αναγωγής της χρονικής ή της χωροχρονικής δομής στην αιτιακή δομή, την οποία παρέχει η αιτιακή θεωρία του χρόνου.
4. Κρίνετε τη διαμάχη μεταξύ συμβασιοκρατών και ρεαλιστών αναφορικά με τη γεωμετρία του χώρου ή τη σχέση ταυτοχρονίας στην ειδική σχετικότητα.
5. Συγκρίνετε την αξιωματική μέθοδο διατύπωσης θεωριών για το χώρο και το χρόνο (όπως αυτή που χρησιμοποίησε ο Ευκλείδης και πολλοί άλλοι) με την μοντελο-θεωρητική ή «σημασιολογική» μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το κεφάλαιο.

6. Ο Αϊνστάιν παραδέχθηκε συχνά ότι η ανακάλυψη των θεωριών της σχετικότητας οφείλει ένα μεγάλο χρέος στην ανάγνωση διαφόρων φιλοσόφων και ιδιαίτερα του Χιουμ και του Μαχ. Διαβάστε τις εισαγωγικές παραγράφους των Einstein ([1905] 1952b) και Einstein ([1916] 1952a) (διαβάζονται πολύ εύκολα!) και προσπαθήστε να αναγνωρίσετε εκείνα τα μέρη που εξαρτώνται ρητά από φιλοσοφικές θεωρήσεις και, αν μπορείτε, επισημάνετε την πηγή τους.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

EARMAN, JOHN (1989), *World Enough and Space-Time: Absolute versus Relational Theories of Space and Time*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press. Για προχωρημένους.

EINSTEIN, ALBERT ([1917] 1954), *Relativity: The Special and the General Theory*. 15η έκδ. Μεταφρασμένο από τον Robert W. Lawson. New York: Crown. Εκλαϊκευμένη ανάλυση της σχετικότητας από τον ίδιο τον Αϊνστάιν.

— ([1922] 1956), *The Meaning of Relativity*. 5η έκδ. Μεταφρασμένο από τους Edwin Plimpton Adams, Ernst G. Straus και Sonja Bergmann. Princeton: Princeton University Press. Το κείμενο του ιδίου του Αϊνστάιν για τη θεωρία της σχετικότητας.

FRIEDMAN, MICHAEL (1983), *Foundations of Space-Time Theories: Relativistic Physics and Pholosophy of Science*. Princeton: Princeton University Press. Για προχωρημένους. Αυτοτελής παρουσίαση των χωροχρονικών θεωριών.

GEROCH, ROBERT (1978), *General Relativity from A to B*. Chicago: University of Chicago Press. Σύγχρονη εκλαΐκευση της γενικής σχετικότητας.

GRÜNBAUM, ADOLF (1973), *Philosophical Problems of Space and Time*. 2η έκδ. Dordrecht: Reidel. Κλασικό έργο αναφοράς, με ευρεία στόχευση.

HORWICH, PAUL (1987), *Assymetries in Time: Problems in the Philosophy of Science*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press. Καλή εισαγωγή στο πρόβλημα της κατεύθυνσης του χρόνου.

PAULI, WOLFGANG ([1921] 1958), *Theory of Relativity*. Μεταφρασμένο από τον G. Field. New York: Pergamon Press. Κλασικό έργο για τη θεωρία της σχετικότητας στο παλαιότερο στυλ.

REICHENBACH, HANS (1956), *The Direction of Time*. Επιμέλεια της Maria Reichenbach. Berkeley και Los Angeles: University of California Press. Κλασικό έργο αναφοράς για το πρόβλημα της κατεύθυνσης του χρόνου.

— ([1928] 1957), *The Philosophy of Space and Time*. Μεταφρασμένο από τη Maria Reichenbach και τον John Freund. New York: Dover. Κλασικό έργο αναφοράς, ειδικά για τη συμβασιοκρατική προσέγγιση.

SALMON, WESLEY C. (1980), *Space, Time and Motion: A Philosophical*

Introduction. 2η έκδ. Minneapolis: University of Minnesota Press. Καλή γενική εισαγωγή.

SKLAR, LAWRENCE (1974), *Space, Time and Spacetime.* Berkeley και Los Angeles: University of California Press. Καλή γενική εισαγωγή.

TAYLOR, EDWIN F. και JOHN ARCHIBALD WHEELER (1963), *Spacetime Physics.* San Francisco: Freedman. Σύγχρονο εγχειρίδιο για την ειδική σχετικότητα.

WALD, ROBERT M. (1984), *General Relativity.* Chicago: University of Chicago Press. Σύγχρονο εγχειρίδιο για τη γενική σχετικότητα.

Έκτο Κεφάλαιο

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ

John Earman

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζουμε το δόγμα του ντετερμινισμού τόσο για το εγγενές ενδιαφέρον που παρουσιάζει, όσο και επειδή αποτελεί όχημα για τη μετάβαση σε έναν αρκετά μεγάλο αριθμό προβλημάτων θεμελίωσης που ανακύπτουν στην κλασική, στη σχετικιστική και στην κβαντική φυσική. Όσοι ενδιαφέρονται πρωτίστως για το πρόβλημα της σχέσης ντετερμινισμού και ελευθερίας της βουλήσεως μπορούν να διαβάσουν τις παραγράφους 6.1-6.5 και αμέσως μετά να περάσουν στην Παράγραφο 6.17, όπου αναλύεται ειδικά το πρόβλημα της ελευθερίας της βουλήσεως.

6.1 ΕΝΑ ΝΟΗΤΙΚΟ ΠΕΙΡΑΜΑ

Προκειμένου να αποκτήσετε μια προκαταρκτική εξοικείωση με το πρόβλημα του ντετερμινισμού και των όσων συνεπάγεται, καθώς και με τους λόγους για τους οποίους προσέλκυσε τόσο έντονο ενδιαφέρον, καλείστε να διενεργήσετε το ακόλουθο νοητικό πείραμα. Περιγράψτε την κατάσταση s_1 στην οποία βρίσκεται αυτή τη στιγμή το δωμάτιό σας καθώς διαβάζετε τούτο το βιβλίο, δηλαδή καταγράψτε τη διαρρύθμιση των επίπλων, τις συνθήκες φωτισμού, την κατανομή της θερμοκρασίας, και τα συναφή. Ακολούθως, περιμένετε να περάσουν είκοσι τέσσερις ώρες και καταγράψτε από την αρχή τη νέα κατάσταση s_2. Θεωρήστε, τώρα, ότι κάποια στιγμή στο μέλλον ανακαλύπτετε ότι η περιγραφή s_3 βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με την περιγραφή s_1. Περιμένετε να περάσουν κι άλλες είκοσι τέσσερις ώρες και πραγματοποιήστε την περιγραφή s_4. Θα αναμένατε τότε την πλήρη συμφωνία μεταξύ των περιγραφών s_2 και s_4;

Όχι απαραίτητα. Φυσιολογικά, όμως, θα περιμένατε ότι η οποιαδήποτε δια-

φορά μεταξύ των περιγραφών s_2 και s_4 οφείλεται σε μία από τις τρεις ακόλουθες αιτίες. Πρώτον, οι περιγραφές των καταστάσεων s_1 και s_3 ίσως να μην διατυπώθηκαν με πολλές λεπτομέρειες. Για παράδειγμα, μπορεί η μακροσκοπική κατανομή θερμοκρασίας να είναι η ίδια και στις δυο μέρες για τις οποίες μιλάμε, αλλά οι ταχύτητες κάποιων από τα μόρια του αέρα να είναι διαφορετικές και αυτές οι διαφορές να προκαλούν, στη διάρκεια των επόμενων ημερών, παρατηρήσιμες μακροσκοπικές διαφορές. Αφού πρόκειται για ένα νοητικό πείραμα, είμαστε ελεύθεροι να θεωρήσουμε ότι οι περιγραφές των καταστάσεων είναι τόσο λεπτομερείς ώστε η ταυτότητα των περιγραφών να εγγυάται και την ταυτότητα των φυσικών καταστάσεων. Δεύτερον, το υπό περιγραφήν σύστημα περιέχει ένα «ελεύθερο υποκείμενο» –εσάς εν προκειμένω– και ίσως εσείς, θέτοντας σε εφαρμογή την ελευθερία της βουλήσεώς σας, τη μια φορά αποφασίζετε να σηκωθείτε και να περιφερθείτε εντός του δωματίου ενώ την άλλη αποφασίσατε να παραδοθείτε στη θαλπωρή της αναπαυτικής πολυθρόνας σας. Αυτή η υπόθεση αποτελεί ήδη λήψη ενός βασικού ζητουμένου της θεματικής για τη σχέση ντετερμινισμού και ελευθερίας της βουλήσεως, αφού για ένα μεγάλο τμήμα της φιλοσοφικής παράδοσης, ο ντετερμινισμός δεν συμβιβάζεται με την ιδέα περί ελευθερίας της βουλήσεως. Σε αυτό το πρόβλημα θα επανέλθουμε στην Παράγραφο 6.17. Αφού σε αυτό το σημείο έχουμε αποδυθεί σε μια προσπάθεια να κατανοήσουμε τι σημαίνει ντετερμινισμός, είναι εύλογο να αγνοήσουμε προσωρινά το πρόβλημα περί ελευθερίας της βουλήσεως και να θεωρήσουμε ότι στο σύστημα που εξετάζουμε περιέχονται μόνο άψυχα αντικείμενα. Τρίτον, η διαφορά μεταξύ των καταστάσεων s_2 και s_4 μπορεί να αναχθεί στο γεγονός ότι το σύστημα βρίσκεται υπό την επίδραση εξωτερικών επιδράσεων. Το κλείδωμα κάθε πόρτας του δωματίου, το κλείσιμο των παραθύρων και η μόνωση των τοίχων μπορεί να βοηθήσει στον αποκλεισμό κάποιων εξωτερικών επιδράσεων αλλά όχι όλων. Ασχέτως από τον τρόπο κατασκευής του δωματίου, το εσωτερικό του είναι αδύνατο να προστατευθεί από βαρυτικές δυνάμεις, αφού, σύμφωνα με τη θεωρία του Νεύτωνα για τη βαρύτητα, κάθε υλικό σωματίδιο εντός του σύμπαντος ασκεί βαρυτική δύναμη σε κάθε άλλο σωματίδιο. Ο μόνος τρόπος για να αντιμετωπιστεί αυτή η δυσκολία είναι να καταφύγουμε στη διενέργεια νοητικών πειραμάτων και να φανταστούμε είτε ότι δεν υπάρχουν εξωτερικές επιδράσεις, είτε ότι το δωμάτιο έχει επεκταθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε όλες αυτές οι επιδράσεις να έχουν ενσωματωθεί σε αυτό.

Έχοντας εξασφαλισθεί απέναντι σε τρία ενδεχόμενα, είναι εύλογο να περιμένουμε ότι η ταυτότητα των καταστάσεων s_1 και s_3 οδηγεί στην ταυτότητα των καταστάσεων s_2 και s_4. Μια τέτοια προσδοκία έχει αρθεί στο επίπεδο μεταφυσικής αρχής, όπως της Αρχής του Αποχρώντος Λόγου που διατύπωσε ο Γκότφριντ Βίλχελμ Λάιμπνιτς (G. W. Leibniz), σύμφωνα με την οποία δεν συμβαίνει τίποτα χωρίς έναν επαρκή λόγο αναφορικά με το γιατί πρέπει να γίνει αυτό και όχι κάτι άλλο. Μολονότι ο Λάιμπνιτς μερικές φορές τόνισε τη θεολογική ερμηνεία του Αποχρώντος Λόγου –σύμφωνα με την οποία η θεϊκή επιλογή του ποιος από τους

άπειρους δυνατούς κόσμους πραγματοποιείται βασίζεται στην επιθυμία του Θεού να πραγματοποιήσει τον καλύτερο δυνατό κόσμο– ο ίδιος την εννοούσε και ως αρχή αιτιότητας, όπως όταν τη διατύπωσε με τον ακόλουθο τρόπο: «*Δεν υπάρχει τίποτα χωρίς λόγο, και κανένα αποτέλεσμα χωρίς κάποια αιτία*» (Leibniz 1970, 268). Όταν έχουμε αποκλείσει τα τρία ενδεχόμενα που αναφέραμε προηγουμένως, μια διαφορά μεταξύ των καταστάσεων s_2 και s_4 που δεν αντιστοιχεί σε μια διαφορά μεταξύ των καταστάσεων s_1 και s_3 θα ισοδυναμούσε με την εμφάνιση ενός αποτελέσματος χωρίς αιτία. Κατά συνέπεια, ο Ιμμάνουελ Καντ θα διαπίστωνε την παραβίαση του Νόμου της Καθολικής Αιτιότητας που ο ίδιος διατύπωσε, σύμφωνα με τον οποίο οτιδήποτε συμβαίνει προϋποθέτει κάτι άλλο από το οποίο απορρέει σύμφωνα με κάποιο κανόνα.

Μπορεί να εγερθεί η αντίρρηση ότι αγνοήσαμε έναν ακόμα δυνατό παράγοντα επιδράσεως επί του συστήματος: ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ των στιγμών κατά τις οποίες καταγράφουμε τις δύο καταστάσεις s_1 και s_3 θα μπορούσε να ευθύνεται για τον τρόπο εξέλιξης του συστήματος. Ο Λάιμπνιτς δεν θα έδειχνε την παραμικρή συμπάθεια σε αυτήν την ιδέα. Για τον Λάιμπνιτς, ο ίδιος ο χρόνος δεν είναι δυνατό να αποτελεί αίτιο, αφού, σύμφωνα με τη σχεσιακή άποψή του γι' αυτόν, ο χρόνος δεν αποτελεί τίποτα παραπάνω από την τάξη της διαδοχής των καταστάσεων του κόσμου. Στον εικοστό αιώνα, παρόμοια συναισθήματα φαίνεται να μοιράζεται και ο Χέρμπερτ Φέιγκλ εκφράζοντάς τα με την ακόλουθη διατύπωση:

> Η πρόταση «ταυτόσημα αίτια ευθύνονται για ταυτόσημα αποτελέσματα» έχει νόημα μόνο στην περίπτωση που υπάρχει ένα ουδέτερο μέσο όπως ο χωρόχρονος, ο οποίος δεν αποτελεί τίποτα παραπάνω από *principium individuationis*. Οι διαφορές μεταξύ αποτελεσμάτων πρέπει πάντα να αναλύονται επί τη βάσει διαφορών στις [εκάστοτε επικρατούσες] *συνθήκες*, και όχι επί τη βάσει καθαρά χωροχρονικών θέσεων. (1953, 412)

Αυτή η άποψη αποτελεί ένα μόνο παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο το ζήτημα του ντετερμινισμού συνδέεται με τα γενικότερα προβλήματα της φιλοσοφίας του χώρου και του χρόνου. Στη συνέχεια θα δούμε και άλλα τέτοια παραδείγματα.

Ας αφήσουμε τώρα τη μεταφυσική χάριν της μεθοδολογίας. Έχει υποστηριχθεί η άποψη ότι η γόνιμη επιστημονική έρευνα προάγεται αν ληφθεί ως δεδομένο ότι ο ντετερμινισμός εκφράζει κάτι αληθές. Έτσι, ο Μαξ Πλανκ (Max Planck) έγραψε ότι ο νόμος της αιτιότητας αποτελεί μια «ευρετική αρχή, έναν οδοδείκτη και μάλιστα, κατά τη γνώμη μου, τον πολυτιμότερο οδοδείκτη που διαθέτουμε για να μας οδηγήσει, μέσα από την πλέον ετερόκλητη πληθώρα συμβάντων, στην κατεύθυνση που η επιστημονική έρευνα πρέπει να προχωρήσει για να επιτύχει γόνιμα αποτελέσματα.» (1932, σελ. 26) Είναι εύκολο να διαγνώσουμε την «τετράγωνη λογική» του επιστημονικού πνεύματος του Πλανκ που

εκφράζεται σε αυτή την επισήμανση. Το να ξεκινήσει η επιστημονική έρευνα με βάση την αντίθετη άποψη –ότι, δηλαδή, οι διαφορές στη μεταγενέστερη εξέλιξη ενός συστήματος δεν χρειάζεται να οφείλονται σε διαφορές της προγενέστερης ιστορίας τους– θα αποτελούσε κίνηση επιστημονικής απελπισίας, παραδοχή του ότι ο κόσμος ισοδυναμεί με ένα ετερόκλητο συνονθύλευμα γεγονότων και όχι με ένα σύνολο τακτικών και προβλέψιμων διαδικασιών. Η προσκόλληση της επιστημονικής έρευνας στην έννοια της τάξης –στα «γόνιμα αποτελέσματα» για τα οποία έκανε λόγο ο Πλανκ– οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ανακάλυψη των νόμων της φύσης στους οποίους υπακούει η χρονική εξέλιξη των συστημάτων που κάθε φορά εξετάζονται. Αν οι νόμοι που ανακαλύφθηκαν ώς τώρα δεν είναι σε θέση να εγγυηθούν την ντετερμινιστική εξέλιξη των συστημάτων, τότε λέει ο Πλανκ, αυτό πρέπει να θεωρηθεί ως ένδειξη για το ότι απομένουν κι άλλοι νόμοι να ανακαλυφθούν.

Το πρόβλημα των νόμων της φύσης εθίγη στο πρώτο Κεφάλαιο. Στο παρόν κεφάλαιο δεν θα ειπωθεί τίποτα που να συμβάλει στην επίλυση αυτού του προβλήματος, εκτός από το ότι μια ενδιαφέρουσα έννοια ντετερμινισμού στηρίζει δύο βασικά χαρακτηριστικά της επίλυσής του. Πρώτον, ο ντετερμινισμός, όπως εννοείται εδώ, προϋποθέτει μια διάκριση μεταξύ νόμου και αρχικών συνθηκών, και στο μέτρο που η ορθή ανάλυση του προβλήματος των νόμων μάς οδηγεί στη διαπίστωση ότι υπάρχει κάποια ασάφεια σε αυτήν τη διάκριση, τότε η ίδια ασάφεια περιβάλλει και την έννοια του ντετερμινισμού. Δεύτερον, αν δεν υφίσταται κάποια διάκριση μεταξύ νομοειδών και ενδεχομενικών γενικεύσεων, οπότε νόμος θεωρείται κάθε αληθής εμπειρική γενίκευση, τότε ο ισχυρισμός ότι ο κόσμος είναι ντετερμινιστικός υποβαθμίζεται και καθίσταται τετριμμένος.

Υποθέτοντας ότι γνωρίζουμε τι ακριβώς είναι ένας φυσικός νόμος, αυτό που μας απομένει είναι να πούμε με κάπως μεγαλύτερη ακρίβεια τι σημαίνει να είναι ένας νόμος ντετερμινιστικός ή όχι. Στην παράγραφο που ακολουθεί, αυτό θα το κάνουμε με τη βοήθεια ενός συγκεκριμένου παραδείγματος.

6.2 Η ΝΕΥΤΩΝΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Θεωρήστε έναν κόσμο του οποίου το φυσικό περιεχόμενο συνίσταται εξ ολοκλήρου από υλικά σωματίδια θεωρημένα, ιδεατά, ως σημειακές μάζες. Η μάζα κάθε σωματιδίου δίδεται από έναν θετικό αριθμό, ο οποίος, σύμφωνα με τους νόμους της φυσικής, παραμένει σταθερός στο χρόνο. Ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα για την κίνηση βεβαιώνει ότι ανά πάσα χρονική στιγμή το γινόμενο της μάζας του σωματιδίου επί τη στιγμιαία επιτάχυνσή του ισοδυναμεί με τη συνολική δύναμη που ασκείται πάνω του. (Η ταχύτητα ορίζεται ως ρυθμός μεταβολής της θέσης, και η επιτάχυνση ως ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας.) Ο νόμος σε αυτήν τη μορφή παραμένει κενός αν δε συμπληρωθεί από έναν άλλο νόμο που να καθορίζει τη φύση της δύναμης. Για την περίπτωση των βαρυτικών αλληλε-

πιδράσεων, ο νόμος του Νεύτωνα λέει ότι η συνολική δύναμη που ασκείται σε ένα σωματίδιο *i* ισούται με το άθροισμα των δυνάμεων που ασκούν σε αυτό όλα τα άλλα σωματίδια και ότι η βαρυτική δύναμη που ασκείται στο σωματίδιο *i* από το σωματίδιο *j* είναι δύναμη ελκτική που δρα κατά μήκος της ευθείας που ενώνει το *i* με το *j* και είναι ανάλογη του γινομένου των μαζών τους m_i και m_j και αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης. Αυτά εξαντλούν τη φυσική της νευτώνειας θεωρίας για τη βαρύτητα σε ό,τι αφορά τις σημειακές μάζες. Η απόδειξη του ντετερμινιστικού χαρακτήρα της θεωρίας ανήκει στα καθαρά μαθηματικά. Με τον όρο *κατάσταση* ενός (πεπερασμένου) συστήματος τη χρονική στιγμή *t* ας εννοήσουμε τον καθορισμό της θέσης και της ορμής (= μάζα × ταχύτητα) κάθε σωματιδίου τη χρονική στιγμή *t*. Ως *ιστορία* του συστήματος για ένα χρονικό διάστημα ας εννοήσουμε τον προσδιορισμό της κατάστασής του ανά πάσα χρονική στιγμή εντός αυτού του διαστήματος. Μια τέτοια ιστορία ορίζεται ως *φυσικώς* δυνατή αναφορικά με κάποια σύνολα νόμων στην περίπτωση ακριβώς που ικανοποιεί αυτούς τους νόμους. Στην παρούσα περίπτωση, ελέγχουμε τη φυσική δυνατότητα υπολογίζοντας την επιτάχυνση $a_i(t)$ του κάθε σωματιδίου *i* σε κάθε χρονική στιγμή, εντός του χρονικού διαστήματος, πιστοποιώντας κατόπιν ότι το γινόμενο $m_i a_i(t)$ ισοδυναμεί με τη βαρυτική δύναμη που ασκείται επί του *i* τη χρονική στιγμή *t*. Το σύστημα ορίζεται ως *ντετερμινιστικό κατά Λαπλάς* (εντός ενός χρονικού διαστήματος) όταν για κάθε ζεύγος φυσικώς δυνατών ιστοριών (εντός του ιδίου διαστήματος) η ταυτότητα των καταστάσεων σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή εντός αυτού του διαστήματος συνεπάγεται και την ταυτότητα καταστάσεων σε όλες τις πρότερες και όλες τις ύστερες στιγμές του ιδίου διαστήματος. Η μαθηματική θεωρία των συνήθων διαφορικών εξισώσεων εγγυάται δύο πράγματα: Πρώτον, την ύπαρξη μιας πληθώρας φυσικώς δυνατών καταστάσεων: για κάθε δεδομένη κατάσταση (με μη συμπίπτουσες θέσεις σωματιδίων) υπάρχει μια φυσικώς δυνατή Νευτώνεια ιστορία που περιγράφει το παρελθόν αλλά και το μέλλον του συστήματος. Και, δεύτερον, εγγυάται τη μοναδικότητα συγκρότησης αυτής της ιστορίας: για κάθε δεδομένη κατάσταση υπάρχει μόνο μία τέτοια συγκρότηση. (Στην πραγματικότητα, αυτά τα θεωρήματα ισχύουν μόνο τοπικά στο χρόνο και εγγυώνται την εν λόγω ύπαρξη και μοναδικότητα στο εσωτερικό ενός πεπερασμένου διαστήματος. Οι επιπτώσεις αυτής της επισήμανσης θα αναλυθούν παρακάτω στην Παράγραφο 6.7.)

Θα μπορούσε να τεθεί εύλογα το ερώτημα γιατί η «κατάσταση» ορίστηκε με αυτόν τον τρόπο. Η απάντηση, βεβαίως, είναι ότι αυτός ο ορισμός προσφέρεται για την ανάδειξη του ντετερμινιστικού χαρακτήρα της Νευτώνειας μηχανικής. Όμως αυτό δεν σημαίνει ότι συνιστά λήψη του ζητουμένου σε ό,τι αφορά τον ντετερμινισμό, αφού μπορούμε να θέσουμε το σχετικό ερώτημα και σε σχέση με άλλα διαφορετικά σύνολα δυνατών καταστασιακών μεταβλητών. Αυτό που πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα είναι ότι ο ορισμός της κατάστασης οφείλει απαραιτήτως να γίνεται στη βάση γνησίως στιγμιαίων τιμών: αν επιτρεπόταν η κωδικοποίηση πληροφοριών από το παρελθόν ή το μέλλον του συστήματος μέσω μετα-

βλητών «βγαλμένων απ' το καπέλο», τότε το ερώτημα περί ντετερμινισμού θα γινόταν προφανώς τετριμμένο.

Ο προσδιορισμός «κατά Λαπλάς» επισυνάφθηκε στον ανωτέρω ορισμό τόσο ως τιμητική μνεία του Πιέρ-Σιμόν Λαπλάς, ενός πρώιμου υποστηρικτή αυτής της μορφής ντετερμινισμού (βλέπε Παράγραφο 6.5), όσο και για να καταστεί σαφές ότι υπάρχουν και άλλες εκδοχές ντετερμινισμού. Για παράδειγμα, μπορεί οι φυσικοί νόμοι να είναι τέτοιοι ώστε, ενώ η στιγμιαία κατάσταση ενός συστήματος δεν αρκεί για να καθορίσει την ιστορία του, ένα πεπερασμένο τμήμα αυτής της ιστορίας αρκεί. Για τους σκοπούς του παρόντος κεφαλαίου, εστιάζουμε το ενδιαφέρον μας στη Λαπλασιανή εκδοχή του ντετερμινισμού· όμως ταυτόχρονα, ο αναγνώστης καλείται να σκεφτεί αναφορικά με τη δυνατότητα και άλλων μορφών. Ας σημειώσουμε ακόμη ότι ο παραπάνω ορισμός απαιτεί μια μοναδική προέκταση του συστήματος και ως προς το παρελθόν και ως προς το μέλλον. Αν θέλαμε να είμαστε περισσότερο λεπτομερείς και σχολαστικοί, θα μπορούσαμε να διακρίνουμε μεταξύ *μελλοντικού* και *παρελθοντικού Λαπλασιανού ντετερμινισμού*, όπου η ταυτότητα καταστάσεων την οποιαδήποτε χρονική στιγμή συνεπάγεται την ταυτότητα σε κάθε μεταγενέστερη (ή, αντίστοιχα, προγενέστερη) στιγμή. Αυτή η διάκριση συνιστά καθαρό σχολαστικισμό όταν συμβαίνει οι νόμοι της φύσης να επιδεικνύουν μια ιδιότητα συμμετρίας που ονομάζεται *αναλλοίωτο υπό αντιστροφές χρονικού προσανατολισμού* (ή, απλούστερα, κάτω από αντιστροφές χρόνου). Από όσα γνωρίζουμε μέχρι σήμερα, οι μόνοι θεμελιώδεις νόμοι της φυσικής που δεν παρουσιάζουν αυτήν τη συμμετρία έχουν να κάνουν με τις εξωτικές ασθενείς αλληλεπιδράσεις μεταξύ στοιχειωδών σωματιδίων.

6.3 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΣ, ΥΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΙΣΜΟΣ

Όπως δείχνει η Νευτώνεια θεωρία για τη βαρύτητα, η νεότερη ντετερμινιστική θεώρηση διαμορφώθηκε μέσω της εξέτασης συστημάτων που είναι ταυτόχρονα και υλικά (υπό την έννοια ότι αποτελούνται από συσσωρεύσεις ύλης) και μηχανιστικά (υπό την έννοια ότι οι νόμοι λειτουργίας τους είναι νόμοι σχετικοί με δυνάμεις και αποτελούν τμήμα της κλασικής μηχανικής). Ωστόσο, τα ντετερμινιστικά συστήματα δεν είναι απαραιτήτως και υλιστικά, ενώ ο προσδιορισμός «μηχανιστικός» ενδέχεται να υπάρχει μόνον επειδή τα συστήματα είναι ντετερμινιστικά, χωρίς να χρειάζεται να είναι τέτοια για κάποιους βαθύτερους λόγους.

Ως παράδειγμα θεωρήστε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο χωρίς πηγές. Σύμφωνα με τη σύγχρονη άποψη περί πεδίων, δεν υπάρχει εδώ υλικό υπόστρωμα παρά μόνο το ηλεκτρικό πεδίο **E** και το μαγνητικό πεδίο **B**, που εκλαμβάνονται ως αυτοτελείς οντότητες και όχι ως καταστάσεις ενός υποκείμενου μέσου. Η μη υλικότητα αυτών των πεδίων τονίζεται από το γεγονός ότι, αντίθετα από τα υλικά σωματίδια, διαφορετικά ηλεκτρικά πεδία **E** (ή μαγνητικά **B**) δεν αποκλείουν το

ένα το άλλο αλλά μπορούν να υπερτίθενται ελεύθερα. Οι νόμοι για τα πεδία, όπως αυτοί κωδικοποιήθηκαν από τον Τζέημς Κλερκ Μάξγουελ (James Clerk Maxwell), δηλώνουν ότι

$$\nabla \times \mathbf{E} = \partial \mathbf{B}/\partial t \qquad \nabla \cdot \mathbf{E} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = -\partial \mathbf{E}/\partial t \qquad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

Σε αντιδιαστολή με τη Νευτώνεια μηχανική, τα αρχικά δεδομένα για το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είναι λιγότερα. Σύμφωνα με τους Νευτώνειους νόμους της κίνησης, η ταχύτητα ή ο ρυθμός μεταβολής της θέσης ενός σωματιδίου μπορεί να καθορίζεται ανεξάρτητα από τη θέση. Όμως, οι χρονικοί ρυθμοί μεταβολής του **E** ή του **B** δεν είναι δυνατό να επιλέγονται ελεύθερα αφού το αριστερό ζεύγος των εξισώσεων του Μάξγουελ (παραπάνω) καθορίζει αυτές τις ποσότητες από τη στιγμή που τα **E** και **B** έχουν οριστεί. Επιπλέον, ενώ οι νόμοι του Νεύτωνα δεν περιορίζουν τις δυνατές αρχικές θέσεις και ταχύτητες των σωματιδίων, από το δεξί ζεύγος εξισώσεων του Μάξγουελ, παραπάνω, απαιτείται τα αρχικώς ορισμένα πεδία **E** και **B** να μην έχουν απόκλιση. Ωστόσο, και στην περίπτωση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων ισχύει μια ανάλογη μορφή ντετερμινισμού. Έστω ότι τα **E** και **B** έχουν ορισθεί σε όλο το χώρο για μια ορισμένη αρχική χρονική στιγμή με μόνο τον περιορισμό ότι σε αυτήν τη χρονική στιγμή $\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$ και $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μια μοναδική λύση των εξισώσεων Μάξγουελ που ικανοποιεί τα αρχικά δεδομένα, ενώ ικανοποιούνται επίσης και οι οριακές συνθήκες για κάθε προηγούμενη ή επόμενη χρονική στιγμή. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό το αποτέλεσμα έχει καθαρώς μαθηματικό χαρακτήρα και δεν εξαρτάται από τη φυσική ερμηνεία των **E** και **B**. Αυτά μπορούσαν εξίσου καλά να παριστούν εντάσεις δραστηριότητας μιας Καρτεσιανής μη υλικής νοητικής ουσίας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο ντετερμινισμός μπορεί να εφαρμόζεται το ίδιο καλά τόσο στην υλική όσο και στη μη υλική σφαίρα, στον νοητικό όσο και στον φυσικό κόσμο.

6.4 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΣ, ΤΥΧΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΧΑΟΣ

Η θεωρία των πιθανοτήτων προέκυψε εν μέρει ως απόπειρα ποσοτικοποίησης του απρόβλεπτου που ενέχεται στα τυχερά παιχνίδια. Ως εκ τούτου, το ότι μία από τις πλέον εύγλωττες εκφράσεις περί ντετερμινισμού εμφανίζεται στην πρωτοπόρα εργασία *Φιλοσοφική Πραγματεία περί Πιθανοτήτων* του Λαπλάς ([1814] 1951) αποτελεί μαρτυρία υπέρ της ισχυρότητας του ντετερμινιστικού οράματος για τον κόσμο:

> Όλα τα συμβάντα, ακόμα και αυτά που λόγω της ασημαντότητάς τους δεν

> φαίνεται να ακολουθούν τους μεγάλους νόμους της φύσεως, συνιστούν αποτελέσματά του [του ντετερμινισμού] και μάλιστα με τρόπο τόσο αναγκαίο όσο και η περιφορά του Ηλίου. Λόγω της αγνοίας μας περί των δεσμών που συντάσσουν τέτοιου είδους συμβάντα στο σύνολο σύστημα του σύμπαντος, αυτά αντιμετωπίσθηκαν σαν να εξαρτώνται από τελικά αίτια ή από την τύχη, ανάλογα με το αν εκδηλώνονται και επαναλαμβάνονται με κανονικότητα, ή αν εκδηλώνονται χωρίς καμιά τάξη. Αλλά αυτές οι φανταστικές αιτίες υποχωρούν προοδευτικά προ των διευρυνόμενων ορίων της γνώσης και εξαφανίζονται ολοκληρωτικά μπροστά στην ορθή φιλοσοφία που βλέπει σε αυτά μόνο την έκφραση της αγνοίας μας περί των αληθών αιτίων. (σελ. 3)

Ακόμα και αν δεχθούμε ότι ο Λαπλάς είχε δίκιο και ότι η φαινόμενη τυχαιότητα που συνδέεται με τα τυχερά παιχνίδια –ζάρια, ρουλέτα και τα συναφή– οφείλεται στην άγνοιά μας περί των αληθών αιτίων, εξακολουθεί να υφίσταται η ανάγκη να προσδιορίσουμε το πού οφείλεται η διαφορά ανάμεσα σε συστήματα που συμπεριφέρονται με κανονικό τρόπο και σε συστήματα που φαίνεται να συμπεριφέρονται με τρόπο τυχαίο.

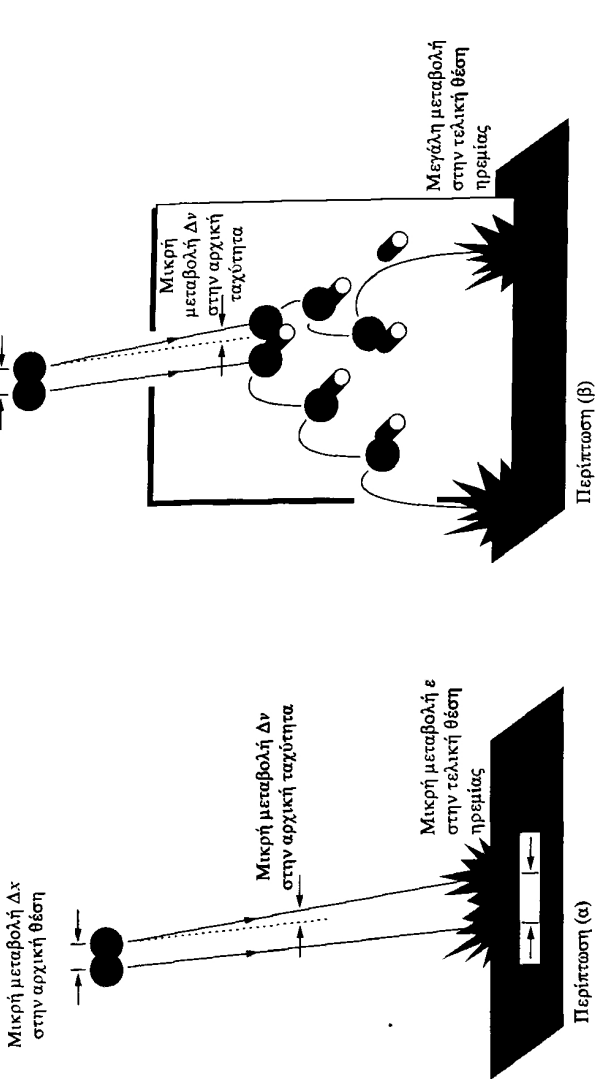
Μια ισχυρή ένδειξη βρίσκεται στην εμμονή του Μάξγουελ να διακρίνει μεταξύ δύο αρχών: (1) οι ίδιες αιτίες προκαλούν πάντοτε τα ίδια αποτελέσματα, και (2) παρόμοιες αιτίες προκαλούν παρόμοια αποτελέσματα. Η πρώτη αρχή αποτελεί έκφραση του ντετερμινισμού. Η δεύτερη, συνεπάγεται μεν την πρώτη, αλλά συνεπάγεται και κάτι ακόμα: ότι, όπως το λέει ο Μάξγουελ, «μικρές αποκλίσεις από τις αρχικές συνθήκες προκαλούν μικρές μόνον αποκλίσεις στην τελική κατάσταση του συστήματος.» Και προσθέτει:

> Σε μια πληθώρα φυσικών φαινομένων, η εν λόγω συνθήκη <δηλαδή, η (2)> ικανοποιείται. Υπάρχουν, όμως, και άλλες περιπτώσεις όπου μια μικρή αρχική απόκλιση μπορεί να προκαλέσει απόκλιση μεγάλου εύρους στην τελική κατάσταση του συστήματος, όπως στην περίπτωση κατά την οποία η μετάθεση των «επαφών» στις ράγες ενός σιδηροδρόμου προκαλεί τον εκτροχιασμό ενός συρμού αντί να επιτρέπει την ομαλή πορεία. (1952, 13-14)

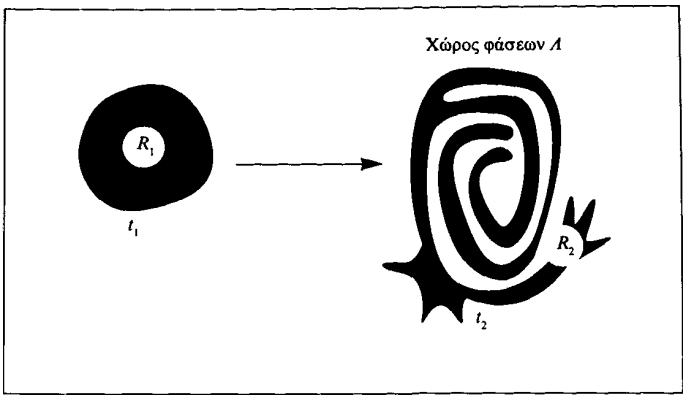
Αυτό που εννοείται εδώ είναι ότι τα συστήματα που φαινομενικά συμπεριφέρονται κατά τυχαίο τρόπο είναι αυτά που υπακούουν στην αρχή (1) αλλά όχι και στη (2). Αυτό σημαίνει ότι είναι ντετερμινιστικά συστήματα των οποίων όμως η χρονική εξέλιξη είναι ασταθής επειδή επιδεικνύουν ισχυρή εξάρτηση από τις αρχικές συνθήκες. Το σημείο αυτό μπορεί να γίνει σαφέστερο με τη χρήση ενός χονδροειδούς παραδείγματος που αναφέρεται σε δύο διαφορετικούς τρόπους ρίψης οβίδων από ένα κανόνι (βλέπε Σχήμα 6.1). Στην περίπτωση (α), μια οβίδα ελευθερώνεται από ένα ορισμένο ύψος και αφήνεται να πέσει στο έδαφος

υπό την επίδραση της βαρύτητας της Γης (η τριβή λόγω του αέρα παραλείπεται). Υποθέστε ότι θέλουμε να μετρήσουμε με κάποια πεπερασμένη ακρίβεια $\varepsilon > 0$ την τελική θέση ηρεμίας της οβίδας στο έδαφος. Τότε, για κάθε αρχική κατάσταση x (θέσης) και v (ταχύτητας) της οβίδας (του κέντρου μάζας της), θα υπάρχει ένα πεπερασμένο διάστημα Δx και ένα πεπερασμένο διάστημα Δv τέτοια ώστε για κάθε αρχική κατάσταση εντός της περιοχής $x + \Delta x$ και $v + \Delta v$, η οβίδα να καταλήγει σε μια τελική θέση η οποία θα είναι η ίδια, με προσέγγιση ε, με την τελική θέση ηρεμίας στην οποία κατέληγε όταν αρχικές συνθήκες ήταν οι x, v. Υπ' αυτήν την έννοια, παρόμοιες αρχικές συνθήκες οδηγούν σε παρόμοιες τελικές θέσεις. Στην περίπτωση (b) έχει προστεθεί ένας αριθμός σταθερών κέντρων διασποράς ώστε η όλη κατάσταση να μοιάζει με το γνωστό φλίπερ. Σε αυτήν την περίπτωση, για ορισμένη εκλογή αρχικής κατάστασης x, v και για μια επιθυμούμενη ακρίβεια ε, δεν υπάρχουν κάποια πεπερασμένα πλάτη Δx και Δv, οσοδήποτε μικρά, τέτοια που για κάθε αρχική κατάσταση ορισμένη εντός αυτών των πλατών να καταλήγουμε σε τελικές θέσεις ηρεμίας που να μη διαφέρουν περισσότερο από ε. Υπ' αυτήν την έννοια, παρόμοια αίτια δεν παράγουν παρόμοια αποτελέσματα, και η παραμικρότερη άγνοια αναφορικά με την ακριβή αρχική κατάσταση έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζεται το τελικό αποτέλεσμα εντελώς τυχαίο ως προς το ε.

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει πολύ της μόδας η μελέτη ντετερμινιστικών αλλά «χαοτικών» συστημάτων, και όπως συνήθως συμβαίνει με τις διάφορες μόδες, υπάρχουν και εδώ έκδηλες υπερβολές. Διάφοροι ισχυρίζονται ότι η μελέτη του χάους προκάλεσε μια νέα επανάσταση στην επιστημονική σκέψη. (Μια καλή εκλαϊκευτική παρουσίαση της θεματικής του χάους, αν και κάπως εξημμένη είναι αυτή του Γκλάικ (Gleick) 1987). Στην πραγματικότητα, οι βασικές ιδέες δεν είναι καινούργιες· πολλές από αυτές απασχολούν τους επιστήμονες εδώ και περισσότερο από έναν αιώνα. Το πραγματικά νέο στοιχείο είναι η πρόοδος που έχει συντελεστεί στην απόδειξη δύσκολων μαθηματικών θεωρημάτων σχετικά με τα χαοτικά συστήματα και, κάτι που είναι ίσως εξίσου σημαντικό, το γεγονός ότι οι επιστήμονες έχουν πλέον στη διάθεσή τους πανίσχυρους υπολογιστές ικανούς να προσομοιώσουν μοντέλα εξαιρετικά πολύπλοκων συστημάτων. Οι εξελίξεις σε αυτόν τον τομέα παρουσιάζουν μεγάλες τεχνικές δυσκολίες που δεν μπορούν να εκτεθούν εδώ. Ωστόσο, κάποιες από τις συναφείς ιδέες μπορούν να εισαχθούν με τη βοήθεια του μαθηματικού εργαλείου που είναι γνωστό ως *χώρος φάσεων* Λ ενός συστήματος. Πρόκειται για έναν φανταστικό χώρο ο οποίος είναι έτσι δομημένος ώστε τα σημεία του να αντιστοιχούν ένα-προς-ένα προς τις επιτρεπτές καταστάσεις του συστήματος που μας ενδιαφέρει. Στην περίπτωση που το σύστημα αποτελείται από N Νευτώνειες σημειακές μάζες, ο χώρος Λ πρέπει να διαθέτει $6N$ διαστάσεις, $3N$ που αντιπροσωπεύουν τις δυνατές θέσεις στο χώρο και $3N$ για την απεικόνιση των δυνατών ταχυτήτων. Με αυτόν τον τρόπο, η ιστορία ενός συστήματος δίδεται από μια καμπύλη $\gamma(t)$ εντός του χώρου Λ. Ντετερμινισμός σημαίνει τότε ότι: για κάθε $\gamma \in \Lambda$ μία και



Σχήμα 6.1 Εξαιρετικά μεγάλη ευαισθησία της τελικής κατάστασης σε σχέση με μικρές μεταβολές των αρχικών συνθηκών.



Σχήμα 6.2 Ντετερμινιστική εξέλιξη στο χώρο των φάσεων

μόνο μία τέτοια ιστορία ικανοποιεί τους νόμους στους οποίους υπακούει το σύστημα.

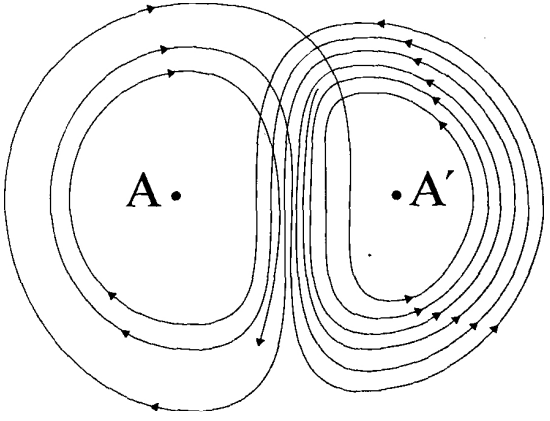
Αυτός ο μαθηματικός φορμαλισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγκρότηση μοντέλων συμπεριφοράς για συστήματα δύο ειδών, τα *συντηρητικά* (ή διατηρητικά) και τα *διασκορπιστικά*. Για να γίνει κατανοητή αυτή η διαφορά, θεωρήστε μια μικρή περιοχή R_1 τού Λ (βλέπε Σχήμα 6.2). Θεωρήστε ότι κάθε σημείο της R_1 μπορεί να παριστά μια δυνατή αρχική κατάσταση του συστήματος τη χρονική στιγμή t_1. Τότε, σύμφωνα με το νόημα του ντετερμινισμού, η R_1, σε μια κατοπινότερη χρονική στιγμή t_2, θα έχει μετασχηματιστεί σε μια άλλη συγκεκριμένη περιοχή R_2. Το σχήμα της R_2 θα είναι εν γένει διαφορετικό από αυτό της R_1. Όμως, ενώ στην περίπτωση των συντηρητικών συστημάτων ο όγκος R_2 παραμένει ίσος με αυτόν της R_1, στην περίπτωση των διασκορπιστικών συστημάτων εμφανίζεται, εν γένει, μια απώλεια όγκου.[1]

Στα γνωστότερα παραδείγματα διασκορπιστικών συστημάτων ο μηχανισμός διασκορπισμού –για παράδειγμα, η τριβή που εμφανίζεται κατά την κύλιση ενός μαρμάρινου σφαιριδίου στο εσωτερικό μιας σφαιρικής κοιλότητας– υποχρεώνει ένα εκτεταμένο εύρος αρχικών καταστάσεων να τείνουν προς μία τελική κατάσταση ισορροπίας – το μαρμάρινο σφαιρίδιο καταλήγει στον πάτο της κοιλότητας. Στα χαοτικά συστήματα, όμως, οι απλές καταστάσεις ισορροπίας αντικαθί-

[1] Η απόδειξη της διατήρησης του όγκου για κλασικά Χαμιλτονιανά συστήματα είναι γνωστή ως θεώρημα του Λιουβίλ (Liouville). Για το όλο εγχείρημα απαιτείται, βεβαίως, ένας ακριβής ορισμός μέτρου για περιοχές του χώρου των φάσεων. Η ανάπτυξη ενός τέτοιου θέματος υπερβαίνει τους σκοπούς του παρόνος κεφαλαίου λόγω των τεχνικών δυσκολιών που παρουσιάζει.

στανται από τους *παράξενους ελκυστές*. Στο σύστημα του Λόρεντς, που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλων για την πρόβλεψη του καιρού, ο χώρος φάσεων έχει τη μορφή του γνωστού τριδιάστατου Ευκλείδειου χώρου. Μια τροχιά που ξεκινά από κάποιο σημείο κοντά στην αρχική θέση εκτυλίσσεται προς τα αριστερά πραγματοποιώντας ορισμένες ανακυκλώσεις περί τον αριστερό ελκυστή A, ακολούθως μεταστρέφεται προς τα δεξιά για να πραγματοποιήσει ορισμένες ανακυκλώσεις περί τον δεξιό ελκυστή $A\_$, κατόπιν μεταστρέφεται εκ νέου προς τα αριστερά κ.ο.κ. Αυτή η εξέλιξη έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός φαινομενικά τυχαίου σχήματος, το οποίο παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στην εξάρτησή του από την αρχική κατάσταση (βλέπε Σχήμα 6.3, όπου παριστάνεται η προβολή πάνω στο επίπεδο Y = Z). Αν αυτός είναι ο τρόπος λειτουργίας των καιρικών συνθηκών, τότε το πέταγμα μιας πεταλούδας στο Πεκίνο μπορεί, μακροπρόθεσμα, να έχει αποφασιστικής σημασίας επιπτώσεις στον καιρό της Νέας Υόρκης.

Στα συντηρητικά συστήματα η αστάθεια εκδηλώνεται με την ταχεία εξάπλωση των σημείων που παριστάνουν την κατάσταση του συστήματος στο χώρο των φάσεων. Στην πλέον ακραία περίπτωση, μετά την παρέλευση χρόνου τ –που είναι μικρός συγκρινόμενος με τις μακροσκοπικές κλίμακες χρόνου– τα σημεία που αρχικά βρίσκονται στην περιοχή ενός μικρού όγκου του χώρου των φάσεων θα έχουν εξαπλωθεί ομοιόμορφα σε όλη την έκταση του Λ. Αν διαμερισθεί ο χώρος Λ σε μικρούς θύλακες C_1, C_2, ... , C_N έτσι ώστε αυτοί να αντιστοιχούν σε καταστάσεις που είναι δυνατόν να εξακριβωθούν μακροσκοπικά με τη βοήθεια ενός πειράματος που διενεργείται στα πλαίσια μιας χρονικής κλίμακας εύρους τ,



Σχήμα 6.3 Οι ελκυστές του Λόρεντς

τότε η εξάπλωση για την οποία κάναμε λόγο σημαίνει ότι η γνώση του ποιον θύλακα C_i καταλαμβάνει το φασικό σημείο σε κάποιον παρελθόντα χρόνο δεν μας προσφέρει καμιά βοήθεια στο να καθορίσουμε ποιον θύλακα θα βρεθεί να καταλαμβάνει το φασικό σημείο στην επόμενη διενέργεια του ίδιου πειράματος. Στο μακροσκοπικό επίπεδο το σύστημα φαίνεται να συμπεριφέρεται εντελώς τυχαία, γιατί μεταπηδά απρόβλεπτα από τη μια μακροσκοπική κατάσταση στην άλλη.

Το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι ορισμένα κλασικά συστήματα επιδεικνύουν μιαν αρμονική συνύπαρξη μεταξύ ντετερμινιστικού και χαοτικού τρόπου συμπεριφοράς – ο ντετερμινισμός στο μικροσκοπικό επίπεδο δεν είναι απλώς και μόνον συμβιβαστός με το χάος στο μακροσκοπικό επίπεδο αλλά στην πραγματικότητα είναι και αυτός που το προκαλεί. Αυτή η εκτόνωση της έντασης χρωματίζει και τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται την απροσδιοριστία (indeterminism) της κβαντικής φυσικής αυτοί που είναι εκπαιδευμένοι με τα πρότυπα της κλασικής φυσικής (βλέπε Παραγράφους 6.12-6.16).

6.5 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ

Η διατύπωση του ντετερμινιστικού δόγματος που αναφέρεται πιο συχνά δεν είναι αυτή που παραθέσαμε στην προηγούμενη παράγραφο αλλά μια άλλη που προέρχεται από το έργο του Λαπλάς *Αναλυτική Θεωρία των Πιθανοτήτων:*

> Αν υπήρχε μια διάνοια που να διαθέτει τη γνώση του συνόλου των δυνάμεων που κυβερνούν τη φύση, καθώς και της αντίστοιχης κατάστασης των όντων που την απαρτίζουν –μια διάνοια τέτοιου μεγέθους που να είναι σε θέση να υποβάλλει όλα αυτά τα δεδομένα σε ανάλυση– τότε θα μπορούσε να συμπεριλάβει μέσα στον ίδιο μαθηματικό τύπο τόσο την κίνηση των μεγαλυτέρων σωμάτων του σύμπαντος όσο και αυτή των μικρότατων ατόμων. Για μια τέτοια διάνοια τίποτα δεν θα ήταν αβέβαιο· το μέλλον, αλλά και το παρελθόν, θα ξανοιγόταν ολοκάθαρα μπροστά στα μάτια της. ([1814] 1951, 4)

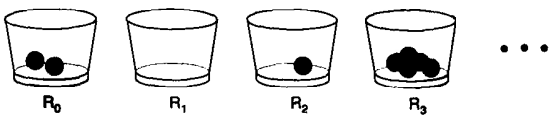
Αυτή η διάνοια, ή δαίμονας του Λαπλάς όπως συχνά αποκαλείται, αποτελεί μια από τις ζωηρότερες εικόνες που αναδύθηκε μέσα από το σύνολο της βιβλιογραφίας για τον ντετερμινισμό. Ήταν, όμως, και από τις πιο βλαβερές γιατί ορισμένοι φιλόσοφοι δεν αρκέστηκαν στο να χρησιμοποιήσουν τον δαίμονα του Λαπλάς ως επεξηγηματικό μέσο που προσδίδει απλώς ένα ήδη ορισμένο δόγμα περί ντετερμινισμού, αλλά ήθελαν να εννοήσουν το ίδιο το νόημα του ντετερμινισμού μέσω των προβλέψεων που μπορεί ή δεν μπορεί να φέρει σε πέρας ένας τέτοιος δαίμονας. Το πιο πιεστικό αίτημα που προβάλλει μια τέτοια προσέγγιση είναι ο καθορισμός των δυνατοτήτων που επιτρέπεται να έχει ο δαίμονας. Είναι σαφές ότι ο ντετερμινισμός σχετίζεται με τη δυνατότητα επιστημονικής πρό-

βλεψης και όχι με προφητικές δυνάμεις, με μαντεία ή με θεϊκή πρόνοια και τα παρόμοια· κατά συνέπεια, ο δαίμονας δεν πρέπει να θεωρείται προικισμένος με τέτοιου είδους δυνάμεις. Τι ακριβώς συγκαλύπτεται όμως με τη φράση «και τα παρόμοια»; Θα προσεγγίσουμε το ζητούμενο αν απαντήσουμε ότι ο δαίμονας πρέπει να διαθέτει την απαιτούμενη μαθηματική ικανότητα, δηλαδή την ικανότητα να επιλύει τις διαφορικές εξισώσεις που συνιστούν τους σχετικούς νόμους. Όμως, αυτό δεν σημαίνει ότι ήδη θέσαμε χείρας επί τον τύπον των ήλων. Ο ντετερμινισμός αποτελεί απλώς και μόνον ισχυρισμό περί υπάρξεως λύσεων και περί μοναδικότητας των λύσεων αυτών. Η οποιαδήποτε γνώση με την οποία είναι προικισμένος ο δαίμονας, η οποιαδήποτε ικανότητά του να διαβλέπει την αλήθεια σχετικά με τη μοναδικότητα και την ύπαρξη τέτοιων λύσεων παρουσιάζει επικουρικό και μόνο ενδιαφέρον.

Όταν γίνονται απόπειρες να προσδοθεί στο δαίμονα ανθρώπινο πρόσωπο, η δαιμονολογία γίνεται πραγματικά επιβλαβής. Έτσι, ο Καρλ Πόππερ προτείνει να εκληφθεί ο δαίμονας του Λαπλάς ως ένας «υπερεπιστήμονας» (1982, 34). Αυτό σημαίνει, μεταξύ άλλων, ότι «όπως ακριβώς και ένας επιστήμονας, ο δαίμονας, *δεν* πρέπει να θεωρείται ότι έχει τη δυνατότητα *εξακρίβωσης των αρχικών συνθηκών με απόλυτη μαθηματική ακρίβεια*· όπως ακριβώς και ο επιστήμονας, πρέπει να ικανοποιείται με έναν πεπερασμένο βαθμό ακρίβειας» (ό.π.). Από τούτο συνεπάγεται ότι, για ασταθή συστήματα, ο δαίμονας του Πόππερ δεν είναι σε θέση να διεκπεραιώσει προβλέψεις και, κατά συνέπεια, σύμφωνα με την ποππεριανή αντίληψη περί «επιστημονικού ντετερμινισμού», αυτά τα συστήματα είναι μη ντετερμινιστικά. Εν προκειμένω, το προτιμότερο συμπέρασμα είναι ότι μια τέτοια αδυναμία αποτελεί αδυναμία του εξανθρωπισμένου δαίμονα και όχι αποτυχία αυτού του ίδιου του ντετερμινισμού. Ξεκινήσαμε με ένα λεξιλόγιο που περιείχε τους όρους «ντετερμινισμός», «αστάθεια» και «προβλεψιμότητα», όπου ο καθένας είχε ένα σχετικά σαφές και διακριτό νόημα· το ανακάτωμα του νοήματός τους μόνο βλάβη μπορεί να επιφέρει.

Σε αυτό το σημείο ο Πόππερ θα μπορούσε να καταφύγει στην αυθεντία του Τζόζεφ Λάρμορ (Joseph Larmor), ο οποίος πρόσθεσε μια υποσημείωση στις δύο ρήσεις του Μάξγουελ που εξετάσαμε στην προηγούμενη παράγραφο, δηλώνοντας ότι «μόνον εφόσον η σταθερότητα διατηρείται, μπορούν να διατυπώνονται αρχές που εκφράζουν φυσικούς νόμους. Η σταθερότητα ίσως θέτει έτσι έναν περιορισμό σε κάθε αίτημα περί καθολικού φυσικού ντετερμινισμού, όπως αυτό που αποδίδεται στον Λαπλάς (Maxwell 1952, 13)». Όμως, είναι δύσκολο να πιστέψουμε ότι ο ίδιος ο Μάξγουελ θα προσυπέγραφε μια τέτοια άποψη, αφού σίγουρα γνώριζε ότι έχουν ήδη διατυπωθεί ακριβείς φυσικές αρχές μολονότι δεν συμμορφώνονται με την απαίτηση του Λάρμορ. Εν πάση περιπτώσει, οι πρόσφατες εργασίες πάνω στη θεωρία του χάους αντικρούουν ευθέως την άποψη του Λάρμορ.

Στις παραγράφους που ακολουθούν θα συναντήσουμε και άλλες περιπτώσεις διαχωρισμού του ντετερμινισμού από την προβλεψιμότητα.



Σχήμα 6.4 Μια καταχωρητική μηχανή

6.6 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΙΜΟΤΗΤΑ

Οι σύγχρονοι ψηφιακοί υπολογιστές αποτελούν ένα πολύ ειδικό και περιορισμένο είδος ντετερμινιστικού συστήματος που διαθέτει ένα διακεκριμένο σύνολο καταστάσεων. Η σχηματική δομή του ψηφιακού υπολογισμού επεξηγείται συνήθως με τη βοήθεια μιας συσκευής που ονομάζεται μηχανή Τιούρινγκ, προς τιμήν του Άλαν Τιούρινγκ (Alan Turing), ο οποίος υπήρξε πατέρας της θεωρίας περί αποτελεσματικής υπολογισιμότητας (effective computability). Εδώ όμως θα εξετάσουμε μιαν άλλη συσκευή, που ονομάζεται καταχωρητική μηχανή. Από πλευράς υπολογιστικής ικανότητας, αυτή είναι ισοδύναμη με τη μηχανή Τιούρινγκ, ενώ προσαρμόζεται καλύτερα στην ανάλυση της όλης ιδέας περί αποτελεσματικά υπολογίσιμης συνάρτησης φυσικών αριθμών N.[2]

Το υλισμικό μιας καταχωρητικής μηχανής αποτελείται από έναν απεριόριστο αριθμό καταχωρητών R_0, R_1, R_2, ... Χάριν εποπτικότητας, θα θεωρήσουμε ότι οι καταχωρητές είναι κύπελλα καθένα από τα οποία περιέχει έναν πεπερασμένο αριθμό σφαιριδίων (βλέπε Σχήμα 6.4). Ο καταχωρητής R_0 μπορεί να περιέχει έναν ακέραιο αριθμό από 1 έως $M > 0$, ενώ οι άλλοι καταχωρητές μπορεί να περιέχουν οποιονδήποτε μη αρνητικό ακέραιο. (Στη γλώσσα των υπολογιστών ο καταχωρητής R_0 αναφέρεται στην εσωτερική κατάσταση της μηχανής, ενώ οι άλλοι καταχωρητές χρησιμοποιούνται ως αποθηκευτική μνήμη.) Κατάσταση $\{n_i\}$, $i = 1, 2, ...$, της μηχανής ονομάζεται ένας κατάλογος όπου καταγράφεται ο αριθμός των σφαιριδίων που περιέχεται σε καθέναν από τους καταχωρητές. Η αλλαγή κατάστασης υπακούει σε έναν ντετερμινιστικό νόμο μετάβασης, ο οποίος καθορίζεται από ένα «πρόγραμμα» που συνίσταται σε έναν πεπερασμένο κατάλογο εντολών I_1, ..., I_M. Ο τελευταίος υπόκειται στον γενικό κανόνα ότι όταν στον καταχωρητή R_0 περιέχονται n σφαιρίδια, τότε ανακαλείται η εντολή I_n. Η εντολή I_M είναι εντολή διακοπής και ειδοποιεί ότι η κατάσταση παραμένει η ίδια. Οι εναπομένουσες εντολές I_1, ..., I_{M-1}, μπορεί να είναι μιας από τις ακόλουθες τέσσερις μορφές. Μια μηδενική εντολή ειδοποιεί ότι πρέπει να αφαιρε-

---

[2] Για περισσότερες λεπτομέρειες βλέπε στο Cutland (1980). Στον συνήθη ορισμό της καταχωρητικής μηχανής δεν περιλαμβάνεται αναφορά στον καταχωρητή R_0, που εδώ χρησιμοποιείται για την απεικόνιση της εσωτερικής κατάστασης της μηχανής. Οι καταχωρητικές μηχανές, οι μηχανές Τιούρινγκ καθώς και άλλοι τύποι υπολογιστών εξετάζονται στο Κεφάλαιο 11.

θούν όλα τα σφαιρίδια από κάποιο συγκεκριμένο κύπελλο R_n, $n > 0$, και ακολούθως να προστεθεί ένα σφαιρίδιο στον καταχωρητή R_0, χωρίς να γίνει καμία επέμβαση σε όλους τους άλλους καταχωρητές. Μια εντολή διαδοχής ειδοποιεί ότι πρέπει να προστεθεί ένα σφαιρίδιο σε κάποιο συγκεκριμένο καταχωρητή R_n, $n > 0$, και ένα σφαιρίδιο στον R_0, χωρίς να γίνει καμία επέμβαση σε όλους τους άλλους καταχωρητές. Μια εντολή μετάθεσης ειδοποιεί ότι πρέπει να γίνει μετάθεση των περιεχομένων κάποιων συγκεκριμένων καταχωρητών R_n και R_m, $n, m > 0$, και να προστεθεί ένα σφαιρίδιο στον R_0. Μια εντολή άλματος, τελικά, ειδοποιεί ότι πρέπει να γίνει σύγκριση των περιεχομένων κάποιων συγκεκριμένων καταχωρητών R_n και R_m, $n, m > 0$, και να προστεθεί είτε 1 είτε $p > 1$ σφαιρίδια στον R_0 ανάλογα με το αν οι καταχωρητές R_n, R_m περιέχουν τον ίδιο αριθμό σφαιριδίων ή όχι. (Αν το αποτέλεσμα της πρόσθεσης p σφαιριδίων στον R_0 είναι μεγαλύτερο από M, τότε εννοείται ότι πρέπει να προστεθούν σε αυτόν M σφαιρίδια.) Μια τέτοια μηχανή λέμε ότι υπολογίζει μια συνάρτηση $f\, N \to N$ όταν για κάθε x: $x \in N$ στο πεδίο ορισμού της f, αν η μηχανή που ξεκίνησε από την κατάσταση $<1, x, 0, ..., 0>$ καταλήγει να διακόψει τη λειτουργία της στην κατάσταση $<M, f(x), ... >$, ενώ για κάθε άλλο $x \in N$, που δεν ανήκει στο πεδίο ορισμού της f, η μηχανή δεν διακόπτει τη λειτουργία της αν ξεκίνησε από την ίδια με πριν κατάσταση. Για να αποκτήσει ο αναγνώστης μια αίσθηση του τρόπου λειτουργίας αυτών των μηχανών, καλείται να γράψει ένα πρόγραμμα χειρισμού των σφαιριδίων έτσι ώστε να υπολογιστεί η συνάρτηση $f(x) = x^2$ σύμφωνα με τους παραπάνω κανόνες.

Θα λέμε ότι μια συνάρτηση ακεραίων είναι *αποτελεσματικά υπολογίσιμη* όταν και μόνον όταν υπάρχει μια καταχωρητική μηχανή που την υπολογίζει. Διαισθητικά μιλώντας, είναι προφανές ότι ο ορισμός αυτός είναι κατά το ήμισυ δικαιολογημένος: αν μια συνάρτηση μπορεί να υπολογιστεί με μια καταχωρητική μηχανή, τότε δικαιολογημένα μπορεί να ονομάζεται αποτελεσματικά ή μηχανικά υπολογίσιμη. Το άλλο μισό της διατύπωσης, ότι κάθε συνάρτηση φυσικών αριθμών που είναι αποτελεσματικά ή μηχανικά υπολογίσιμη πρέπει να είναι υπολογίσιμη από μια καταχωρητική μηχανή ονομάζεται *θέση του Τσερτς* (Church's thesis). Δεν πρόκειται να εξετάσουμε τα τεκμήρια υπέρ αυτής της θέσης, θα πούμε μόνο ότι είναι εντυπωσιακά: συγκεκριμένα, πολλές άλλες εύλογες εναλλακτικές εκδοχές της καταχωρητικής μηχανής, ή της μηχανής Τιούρινγκ, παρέχουν εκτασιακά ισοδύναμους ορισμούς των αποτελεσματικά υπολογίσιμων συναρτήσεων.

Είναι εύλογο να αναρωτηθούμε τι είδους συναρτήσεις είναι δυνατό να υπολογιστούν σε μια μηχανή ανάλογη της καταχωρητικής η οποία όμως θα λειτουργεί μη ντετερμινιστικά, φέρ' ειπείν με την εισαγωγή ενός στοιχείου τυχαιότητας. Η απάντηση είναι ότι το να μετριάσουμε τις απαιτήσεις του ντετερμινισμού δεν μας επιτρέπει να υπολογίσουμε επιπλέον συναρτήσεις. Όμως, οι μη ντετερμινιστικές μηχανές ίσως είναι δυνατό να μειώνουν τον απαιτούμενο αριθμό βημάτων μέχρι την επίτευξη του αποτελέσματος.

Το ίδιο εύλογο είναι να τεθεί το ερώτημα πώς συμβιβάζεται η όλη ιδέα περί υπολογισιμότητας που αναπτύχθηκε εδώ με το είδος του ντετερμινισμού που εξετάστηκε, ας πούμε, στο πλαίσιο της Νευτώνειας σωματιδιακής μηχανικής. Υποθέστε, για παράδειγμα, ότι με $x(t)$ παριστάνουμε τη συνάρτηση θέσης ενός σωματιδίου σε κάποια λύση των νόμων του Νεύτωνα για τη βαρύτητα. Είναι άραγε η $x(t)$ αποτελεσματικά υπολογίσιμη συνάρτηση του t; Μέχρι στιγμής δεν διαθέτουμε τα μέσα για να απαντήσουμε σε αυτό το ερώτημα, αφού η έννοια της υπολογισιμότητας ορίστηκε μόνο για συναρτήσεις φυσικών αριθμών. Υπάρχει όμως ένας καθιερωμένος δρόμος για να περάσουμε από τους φυσικούς στους ρητούς αριθμούς και από εκεί στους πραγματικούς, και οι έννοιες που απαιτούνται για αυτήν τη μετάβαση μπορούν να οριστούν με τρόπο τέτοιο ώστε να επεκτείνεται η όλη ιδέα περί υπολογισιμότητας μέσω καταχωρητικών μηχανών και στην περίπτωση των συναρτήσεων με πραγματικούς αριθμούς. Τότε, χρησιμοποιώντας μόνον επιχειρήματα περί του συναφούς πληθάριθμου, η $x(t)$ μπορεί και να μην είναι αποτελεσματικά υπολογίσιμη αφού υπάρχουν περισσότερες λύσεις για τους νόμους του Νεύτωνα από το σύνολο των συναρτήσεων που είναι υπολογίσιμες. (Το πλήθος των συναρτήσεων που αποτελούν λύσεις είναι μη αριθμήσιμο, ενώ το πλήθος των αποτελεσματικά υπολογίσιμων συναρτήσεων είναι αριθμήσιμο.) Αν οι αρχικές θέσεις και ταχύτητες είναι αποτελεσματικά υπολογίσιμοι πραγματικοί αριθμοί, τότε η $x(t)$ θα αποτελεί αποτελεσματικά υπολογίσιμη συνάρτηση. Όταν οι νόμοι της χρονικής εξέλιξης συνίστανται σε μερικές διαφορικές εξισώσεις, όπως συμβαίνει στη θεωρία πεδίων, τότε η κατάσταση παρουσιάζει μια ενδιαφέρουσα διαφορά, γιατί η αποτελεσματική υπολογισιμότητα για τα αρχικά δεδομένα δεν διατηρείται αναγκαστικά κατά μια ντετερμινιστική εξέλιξη του συναφούς συστήματος.

Μπορεί τελικά να τεθεί και το ερώτημα σχετικά με την αναλογική έναντι της ψηφιακής υπολογισιμότητας. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί ένα ντετερμινιστικό σύστημα να θεωρηθεί ως αναλογικός υπολογιστής που «υπολογίζει» τις συναρτήσεις που αποτελούν τη λύση του; Τέτοιου είδους ερωτήματα είναι αδύνατο να απαντηθούν χωρίς τη βοήθεια μιας θεωρίας αναλογικής υπολογισιμότητας, η οποία επί του παρόντος απουσιάζει.

6.7 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΟΙΧΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Το εύλογο συμπέρασμα που απορρέει από όσα εκθέσαμε μέχρι τώρα είναι ότι ο ντετερμινισμός αποτελεί μέρος του πυρήνα αυτού που αποτελεί τόσο τη μεθοδολογία όσο και το περιεχόμενο της κλασικής φυσικής: οι θεμελιώδεις νόμοι που ανακαλύφθηκαν στο πλαίσιο της κλασικής φυσικής είναι ντετερμινιστικοί, και θα λέγαμε ότι η διαδικασία της επιστημονικής έρευνας διενεργείται πιο αποτελεσματικά όταν στηρίζεται πάνω στην παραδοχή ότι ο ντετερμινισμός είναι αληθής. Και γενικότερα, η έννοια του ντετερμινισμού είναι τόσο διεισδυτική ώστε

να διαποτίζει περιοχές τόσο απομακρυσμένες όπως η ανάλυση του χάους και η αποτελεσματική υπολογισιμότητα. Είναι καιρός όμως να θέσουμε ένα φραγμό σε αυτή την ευφρόσυνη αίσθηση, διότι, κατά μία έννοια, ο ντετερμινισμός στην κλασική φυσική στηρίζεται σε θεμέλια που κάθε άλλο παρά γερά είναι.

Θυμηθείτε ότι, όπως ειπώθηκε στην Παράγραφο 6.2, τα θεωρήματα περί υπάρξεως και μοναδικότητας σε ό,τι αφορά το πρόβλημα των αρχικών τιμών στη Νευτώνεια θεωρία περί βαρύτητας ήταν μετριοπαθή, αφού δεν αξίωναν να ισχύουν για όλες τις χρονικές στιγμές του παρελθόντος και του μέλλοντος. Ο λόγος για αυτήν τη μετριοπάθεια είναι το γεγονός ότι, όταν συγκρούονται σωματίδια, η βαρυτική δύναμη του Νεύτωνα απειρίζεται. Η δυσκολία αυτή μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε με το να την αγνοήσουμε εντελώς, στη βάση του ότι οι συγκρούσεις είναι σχετικά σπάνιες μέσα στο σύνολο των λύσεων που επιτρέπονται από τους νόμους του Νεύτωνα (υπάρχουν κάποια ακριβή αποτελέσματα προς αυτήν την κατεύθυνση), είτε με το να βρούμε μια μέθοδο επέκτασης της λύσης που να περιλαμβάνει τη σχετική ιδιομορφία (singularity) (για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο των ελαστικών αναπηδήσεων για να περιγραφούν κρούσεις σε μία διάσταση). Ωστόσο, υπάρχει και ένας άλλος, περισσότερο πολύπλοκος, λόγος που οδηγεί σε αυτήν τη μετριοπάθεια: πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για τη δυνατότητα εμφάνισης ιδιομορφιών που δεν οφείλονται σε συγκρούσεις και στις οποίες δεν υπάρχει λύση μετά από κάποιο πεπερασμένο χρονικό διάστημα λόγω της εξαφάνισης όλων των σωματιδίων. Τα σωματίδια δεν εξαφανίζονται επειδή διαλύονται και χάνονται, αλλά επειδή επιταχύνονται τόσο πολύ ώστε να διαφεύγουν στο άπειρο. Πριν όμως ανησυχήσουμε για τη φυσική δυνατότητα ενός τέτοιου συμβάντος, πρέπει πρώτα να την κατανοήσουμε στο εννοιολογικό επίπεδο.

Όλοι οι νόμοι της Νευτώνειας φυσικής υπακούουν σε μια πολύ σημαντική συμμετρία ή αρχή αναλλοίωτου: παραμένουν ταυτόσημοι σε κάθε αδρανειακό σύστημα αναφοράς. Ο μετασχηματισμός συντεταγμένων χώρου μεταξύ δύο τέτοιων αδρανειακών συστημάτων αναφοράς που κινούνται ευθύγραμμα και ομαλά το ένα σε σχέση με το άλλο δίδεται από τον τύπο $\mathbf{x}' = \mathbf{x} + \mathbf{v}t$, όπου με $\mathbf{v}$ συμβολίζεται η σχετική ταχύτητα μεταξύ των δύο συστημάτων. Με αυτό οδηγούμαστε στον Γαλιλαϊκό νόμο της προσθέσεως των ταχυτήτων: αν $\mathbf{u}$ και $\mathbf{u}'$ είναι οι ταχύτητες ενός σωματιδίου σε σχέση με το ακίνητο και το κινούμενο σύστημα αναφοράς αντίστοιχα, τότε ισχύει η σχέση $\mathbf{u}' = \mathbf{u} + \mathbf{v}$. Αφού δεν υπάρχει κανένα ανώτερο όριο για την $\mathbf{v}$, έπεται ότι η $\mathbf{u}'$ μπορεί να πάρει οσοδήποτε μεγάλες τιμές επιθυμούμε, και κατά συνέπεια οι νόμοι του Νεύτωνα αδυνατούν να επιβάλλουν ένα πεπερασμένο ανώτατο όριο στην ταχύτητα με την οποία είναι δυνατό να κινείται ένα σωματίδιο. Αυτό που απομένει να επισημάνουμε είναι ότι, προ της απουσίας ενός τέτοιου ορίου, ένα σωματίδιο μπορεί να διαφύγει στο άπειρο με την πάροδο ενός πεπερασμένου χρονικού διαστήματος ακόμα και αν δεν αποκτήσει ποτέ άπειρη ταχύτητα. (Ας χαράξει ο αναγνώστης τη χωροχρονική κοσμική γραμμή ενός τέτοιου σωματιδίου.)

Για μεγάλο διάστημα, οι φυσικοί αναρωτιόνταν αν αυτή η εννοιολογική δυνατότητα θα μπορούσε να εμφανιστεί στην περίπτωση ενός συστήματος σημειακών υλικών σωματιδίων που κινούνται υπό την αμοιβαία επίδραση των Νευτώνειων βαρυτικών δυνάμεων. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, πείσθηκαν ότι μια ιδιομορφία που δεν οφείλεται σε συγκρούσεις είναι δυνατή στην περίπτωση ενός συστήματος που αποτελείται από πέντε σωματίδια – παρόλο που δεν συγκρούονται ποτέ, οι αμοιβαίες αλληλεπιδράσεις τους μπορούν να διαρρυθμιστούν έτσι ώστε τα σωματίδια να εξαφανίζονται στο άπειρο μετά την παρέλευση πεπερασμένου χρονικού διαστήματος (για λεπτομέρειες, βλέπε Gerver 1984). Αφού οι νόμοι του Νεύτωνα είναι αμετάβλητοι υπό μετασχηματισμούς χρονικής αντιστροφής, το χρονικά κατοπτρικό είδωλο αυτής της διαδικασίας, όπου τα πέντε σωματίδια ξεπροβάλλουν προερχόμενα από το άπειρο, είναι εξίσου δυνατό από φυσικής πλευράς.

Ας επιστρέψουμε όμως στο νοητικό πείραμα της Παραγράφου 6.1 για να αντιληφθούμε τη σχέση του με το ζήτημα του ντετερμινισμού που εξετάζουμε εδώ. Η όλη ιδέα λειτουργεί ως μια γεννήτρια εποπτειών για το τι πρέπει να προσδοκούμε από τον ντετερμινισμό. Όμως, μια τέτοια γεννήτρια μπορεί να ανταποκριθεί στις προδιαγραφές της μόνον αν κλείσουν τα διάφορα κενά, όπως το ότι το σύστημα μπορεί να είναι ανοιχτό σε εξωτερικές επιδράσεις. Όταν πρόκειται για σωματίδια που αλληλεπιδρούν από απόσταση, ο μόνος τρόπος να εξασφαλίσουμε ότι το σύστημα είναι κλειστό είναι να το επεκτείνουμε τόσο ώστε να συμπεριληφθούν σε αυτό όλα τα σωματίδια που υπάρχουν. Αντιλαμβανόμαστε, όμως, ότι η κλειστότητα δεν εξασφαλίζεται απόλυτα αφού, ακόμη κι αν το σύστημα περιλαμβάνει ολόκληρο φυσικό σύμπαν, μπορεί να παραμένει ανοιχτό σε ιδιάζουσες εξωτερικές επιδράσεις.

Οι ντετερμινιστές μπορεί να απογοητευτούν από τη διαπίστωση ότι αυτό που υποτίθεται ότι αποτελεί το κατ' εξοχήν παράδειγμα κλασικού ντετερμινισμού αποδεικνύεται ικανό να υποσκάψει την εμπιστοσύνη στην ντετερμινιστική εικόνα του κόσμου. Μπορεί όμως να αγνοήσουν αυτή την απογοήτευση παρατηρώντας ότι το συγκεκριμένο παράδειγμα κάνει λόγο για ιδεατά σημειακά σωματίδια και ότι, ειδικότερα, χρησιμοποιεί το φρέαρ άπειρου δυναμικού αυτών των σωματιδίων ως ενεργειακή πηγή που τροφοδοτεί τη διαφυγή τους στο άπειρο. Ωστόσο, αυτή η αίσθηση απογοήτευσης επιστρέφει ενισχυμένη όταν γίνει αντιληπτό ότι η ανοικτότητα του σύμπαντος δεν αποτελεί ιδιομορφία του παραδείγματος, αλλά γενικό χαρακτηριστικό της κλασικής φυσικής. Κατά τη μετάβαση από τη σωματιδιακή μηχανική στους νόμους της κλασικής θεωρίας πεδίου, στους οποίους υπακούει η χρονική εξέλιξη των συνεχών πεδιακών μεγεθών, βρίσκουμε να υφέρπει η ίδια ανοικτότητα. Η αντιπροσωπευτικότερη περίπτωση ενός τέτοιου πεδιακού νόμου είναι η εξίσωση διάδοσης της θερμότητας του Φουριέ (Fourier), σύμφωνα με την οποία τα κύματα θερμότητας διαδίδονται με άπειρη ταχύτητα. Η αιφνίδια εμφάνιση κάποιου θερμικού αποτελέσματος από το άπειρο, ή η ολοσχερής εξαφάνισή του εκεί, καθίσταται έτσι φυσιολογική.

Στη μαθηματική γλώσσα αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μια λύση ϕ_s (με s συμβολίζουμε την έκπληξη) τέτοια ώστε $\phi_s(x,t) = 0$ για κάθε $t \leq 0$ και $\phi_s(x,t) > 0$ για $t > 0$. Όπως οι εξισώσεις του Μάξγουελ, έτσι και η εξίσωση του Φουριέ είναι γραμμική, και τούτο σημαίνει ότι, αν οι ϕ_1 και ϕ_2 αποτελούν λύσεις, τότε το ίδιο θα συμβαίνει και για τη $\phi_1+\phi_2$. Με την πρόσθεση μιας ϕ_s στην τυχούσα λύση ϕ, ο ντετερμινισμός καταστρέφεται ολοκληρωτικά. Ο ντετερμινισμός μπορεί να περισωθεί με την εισαγωγή διαφόρων οριακών συνθηκών στο άπειρο· μια τέτοια κίνηση όμως απλώς υπογραμμίζει το δίδαγμα ότι το οικοδόμημα της κλασικής φυσικής δεν βασίζεται στα δικά του θεμέλια, αλλά χρειάζεται βοήθεια από διάφορα δεκανίκια.

6.8 Ο ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ Η ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Τα όσα εξετάσθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο μπορούν να λειτουργήσουν υποβοηθητικά για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η τύχη του ντετερμινισμού συνδέεται με τα ερωτήματα περί της δομής του χώρου και του χρόνου. Αυτό το θέμα θα εξεταστεί λεπτομερέστερα στην παρούσα παράγραφο καθώς και στις παραγράφους που θα ακολουθήσουν, όπου αντιπαραβάλλονται οι εικόνες του χωρόχρονου που προκύπτουν από τη σχετικιστική και από την κλασική προσέγγιση. Στην παρούσα παράγραφο θα καταδειχθεί επίσης η διασύνδεση μεταξύ του ντετερμινισμού και του οντολογικού καθεστώτος του χώρου και του χρόνου.

Με βάση μια συσχετική θεώρηση της κίνησης, μια πρόταση που περιγράφει κινήσεις έχει νόημα μόνον αν μεταφράζεται σε προτάσεις που αφορούν σχετικές κινήσεις φυσικών σωμάτων. Ειδικότερα, μια πρόταση στην οποία δηλώνεται ότι ένα σώμα A επιταχύνεται είναι, σύμφωνα με τη συσχετική θεώρηση, η ελλειπτική εκδοχή της πρότασης που θα δήλωνε ότι το σώμα A επιταχύνεται σε σχέση με κάποιο άλλο σύστημα σωμάτων. Η άποψη αυτή όμως είναι ασυνεπής με το χωροχρονικό πλαίσιο που υποθέσαμε στην προηγούμενη παράγραφο, αφού, με βάση τα όσα ισχύουν για τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς, η επιτάχυνση αποτελεί ένα απόλυτο μέγεθος (στο πλαίσιο των Γαλιλαϊκών μετασχηματισμών που συσχετίζουν δύο αδρανειακά συστήματα αναφοράς, η επιτάχυνση αποτελεί αμετάβλητο μέγεθος, $\mathbf{a}' = \mathbf{a}$). Σύμφωνα με αυτό το χωροχρονικό πλαίσιο έχει νόημα να γίνεται λόγος περί επιταχύνσεως του A ανεξάρτητα από την οποιαδήποτε συσχέτιση του A με άλλα σώματα. Αν εξαλειφθούν τα αδρανειακά συστήματα έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα χωροχρονικό περιβάλλον συνεπές με τη συσχετική θεώρηση της κίνησης, τότε οι Γαλιλαϊκοί μετασχηματισμοί αντικαθίστανται από ένα ευρύτερο σύνολο μετασχηματισμών που θα μπορούσαμε να το ονομάσουμε σύνολο συσχετικών μετασχηματισμών. Όπως ακριβώς οι νόμοι του Νεύτωνα παραμένουν αμετάβλητοι στους Γαλιλαϊκούς μετασχηματι-

σμούς, έτσι και όποιοι νόμοι της κίνησης προταθούν από μια συσχετική θεώρηση της κίνησης πρέπει να παραμένουν αμετάβλητοι στους συσχετικούς μετασχηματισμούς. Αυτοί οι τελευταίοι, όμως, απαρτίζουν ένα τόσο ευρύ σύνολο, ώστε να αποκλείουν πρακτικά κάθε ενδιαφέρουσα εκδοχή Λαπλασιανού ντετερμινισμού. Και τούτο γιατί μεταξύ τέτοιων μετασχηματισμών περιλαμβάνονται και αυτοί που ισοδυναμούν με την ταυτοτική απεικόνιση για κάθε $t \leq 0$ αλλά δεν είναι οι τετριμμένοι για $t > 0$· ως αποτέλεσμα οδηγούν στο ότι για τις συσχετικές εξισώσεις κίνησης υπάρχουν λύσεις που συμπίπτουν για όλες τις χρονικές στιγμές του παρελθόντος και αποκλίνουν για μελλοντικές χρονικές στιγμές. (Για μια λεπτομερή εξέταση αυτών αλλά και άλλων προβληματικών χαρακτηριστικών του κλασικού ντετερμινισμού, βλέπε Earman 1986.)

Αυτοί που υποστηρίζουν τη συσχετική θεώρηση της κίνησης συνήθως υποστηρίζουν και τη συσχετική θεώρηση του χώρου και του χρόνου, και όσοι ανήκουν σε αυτήν την τελευταία κατηγορία υποστηρίζουν ότι η διάσπαση των φυσικώς δυνατών ιστοριών, η οποία υποτίθεται ότι παραβιάζει τον Λαπλασιανό ντετερμινισμό, δεν είναι παρά μια αυταπάτη. Γιατί το να υποστηρίζει κανείς τη συσχετική θεώρηση του χώρου και του χρόνου συνεπάγεται ότι απορρίπτει την ιδέα ότι ο χώρος αποτελεί απλώς και μόνο ένα δοχείο σωμάτων και ο χωρόχρονος ένα δοχείο φυσικών συμβάντων, ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζουν ότι ο απόλυτος χώρος και χωρόχρονος αποτελούν κατασκευές που απλώς βοηθούν την παράσταση των αμοιβαίων σχέσεων μεταξύ φυσικών σωμάτων και φυσικών συμβάντων. Σύμφωνα με αυτούς, η διάσπαση των ιστοριών, στην οποία αναφερθήκαμε, αντιμετωπίζεται απλώς ως δυνατότητα διαφορετικών τρόπων παράστασης της ίδιας φυσικής κατάστασης, έτσι που να μην ενέχεται εδώ περισσότερη απροσδιοριστία από αυτήν που θα ενεχόταν στην περιγραφή της ιστορίας της πτώσης της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας τη μια στα λατινικά και την άλλη στα ελληνικά.

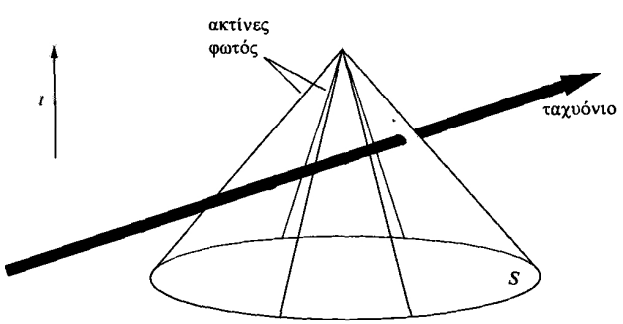
Εδώ δεν πρόκειται να πάρουμε θέση στη διαμάχη μεταξύ των υποστηρικτών της απόλυτης θεώρησης και εκείνων της συσχετικής (για λεπτομέρειες αναφορικά με αυτήν τη διαμάχη, βλέπε Earman 1989). Ας επισημανθεί, όμως, ότι για να βρεθεί ο κλασικός ντετερμινισμός σε ασφαλή ύδατα απαιτείται είτε να αποτελεί ο χωρόχρονος μια επαρκώς πλούσια δομή, είτε να υιοθετηθεί η συσχετική θεώρησή του.

6.9 Ο ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ Η ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Οι εξισώσεις του Μάξγουελ που αναφέρονται σε πεδίο χωρίς πηγές, όπως εισήχθησαν στην Παράγραφο 6.3, συμπεριφέρονται ντετερμινιστικά κατά Λαπλάς χωρίς να είναι απαραίτητη η καταφυγή στη βοήθεια οριακών συνθηκών στο άπειρο για την απώθηση ηλεκτρομαγνητικών εισβολέων από τις εσχατιές του απείρου. Τουλάχιστον αυτό συμβαίνει στην περίπτωση που οι εξισώσεις αυτές

τεθούν στο κατάλληλο πλαίσιο, δηλαδή στο χωρόχρονο Μινκόβσκι (βλέπε Κεφάλαιο 5)· και τούτο γιατί με αυτό τον τρόπο μπορεί να καταδειχθεί ότι από τις εξισώσεις του Μάξγουελ συνεπάγεται ότι τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα διαδίδονται ακριβώς με την ταχύτητα c του φωτός.

Γενικότερα, η δομή του κώνου φωτός που έχει ο χωρόχρονος Μινκόβσκι φαίνεται να λειτουργεί ως ένας αόρατος φραγμός σε εισβολείς από το άπειρο καθιστώντας τη θεωρία της σχετικότητας περιοχή ασφαλούς εφαρμογής του Λαπλασιανού ντετερμινισμού. Δυστυχώς όμως, η ζωή δεν είναι τόσο απλή. Θα πρέπει να συμβιβαστούμε με την ιδέα ότι μπορεί να υπάρχουν *ταχυόνια*, δηλαδή, ταχύτατα σωματίδια τα οποία, βέβαια, δεν πραγματοποιούν το αδύνατο σπάζοντας το φράγμα του φωτός, αλλά, ωστόσο, αναβιώνουν το φάσμα της εμφάνισης εισβολέων από το άπειρο αφού οι κοσμικές τους γραμμές παριστάνονται από καμπύλες τύπου-χώρου. Το φάσμα της απειλής αυτής μπορεί να εξορκιστεί αν, αφ' ενός, δεν είναι δυνατό να υπάρξουν ελεύθερα ταχυόνια και αν, αφ' ετέρου, όλες οι κοσμικές γραμμές απέληγαν σε βραδυονικές κοσμικές γραμμές οι οποίες παραμένουν περιορισμένες στο εσωτερικό των κώνων φωτός. Ο Φρανκ Αρντσένιους (Frank Arntzenius 1990) έδειξε τον τρόπο κατασκευής μιας θεωρίας, αναλλοίωτης σε μετασχηματισμούς Λόρεντς, στην οποία δύο βραδυόνια αντιδρούν ανταλλάσσοντας ταχυόνια. Η εν λόγω θεωρία είναι καθολικά ντετερμινιστική κατά Λαπλάς υπό την έννοια ότι η κατάσταση που αντιστοιχεί σε μια κατάλληλα επιλεγμένη καθολική τομή χρόνου στο χωρόχρονο Μινκόβσκι αρκεί για τον προσδιορισμό του παρελθόντος και του μέλλοντος. Δεν είναι βέβαια τοπικά ντετερμινιστική αφού, για παράδειγμα, η κατάσταση που αντιστοιχεί σε μια τοπική τομή χρόνου S, όπως στο Σχήμα 6.5, δεν αρκεί για τον προσδιορισμό της κατάστασης στο εσωτερικό του κώνου που υπερτείνεται της S και αφορά το μέλλον: ένα ταχυόνιο που δεν αφήνει το ίχνος του επί της S μπορεί να εισέλθει στον κώνο του μέλλοντος εντελώς απρόβλεπτα. Εν πάση περιπτώσει, αυτή η θεωρία εί-



Σχήμα 6.5 Τα ταχυόνια καταρρίπτουν τον τοπικό ντετερμινισμό

ναι υπερβολικά τεχνητή και η διαμάχη σχετικά με το κατά πόσο είναι δυνατή η κατασκευή φυσικώς εύλογων θεωριών περί ταχυονίων που να είναι ταυτόχρονα συμβατές με τις προδιαγραφές της θεωρίας της σχετικότητας συνεχίζεται ακόμα. Μέχρι να προκύψει ένα θετικό αποτέλεσμα, το πεπρωμένο του σχετικιστικού ντετερμινισμού παραμένει αξεκαθάριστο.

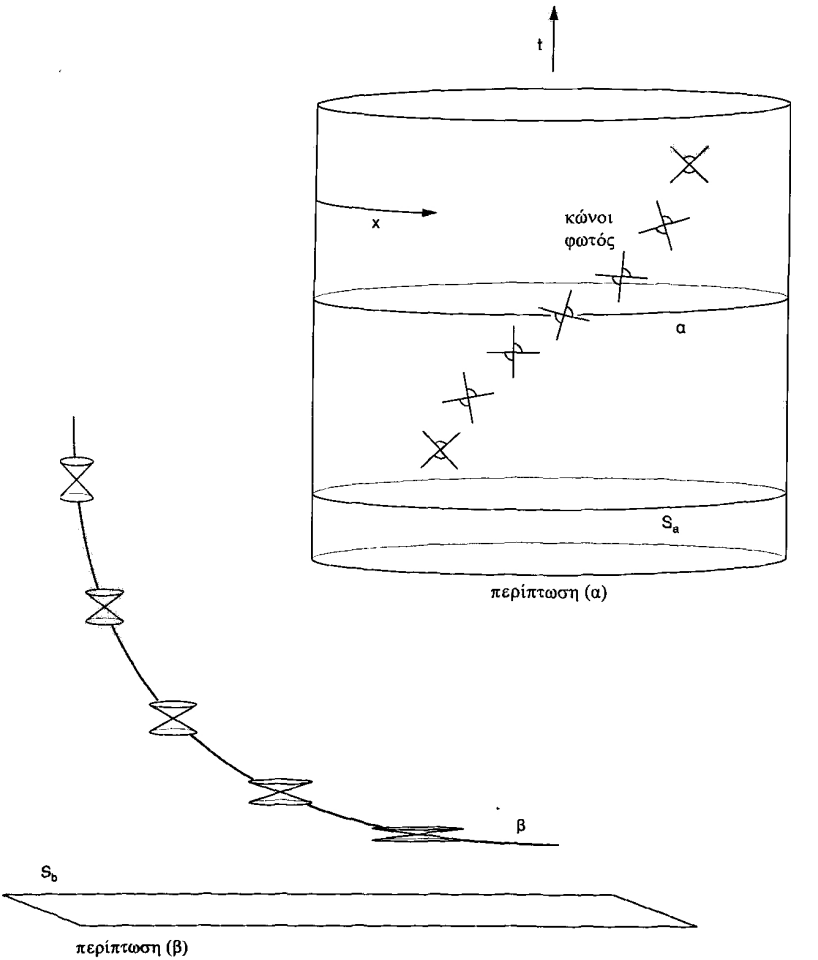
Αν ο σχετικιστικός ντετερμινισμός δεν χρειαστεί να αντιμετωπίσει την πρόκληση των σωματιδίων που κινούνται ταχύτερα από το φως, τότε ένα άλλο ρήγμα διανοίγεται μεταξύ ντετερμινισμού και πρόβλεψης. Ο ίδιος ο κώνος φωτός που λειτουργεί ως ασπίδα προστασίας ενάντια στην εμφάνιση εισβολέων από το άπειρο αποκλείει, σε κάποιο πεπερασμένο παρατηρητή, τη λήψη επαρκών πληροφοριών σχετικά με τις αρχικές συνθήκες που θα τον βοηθούσαν να προσδιορίσει ένα μελλοντικό συμβάν πριν αυτό συμβεί (για μια παραπέρα εξέταση αυτού του σημείου βλέπε στα Θέματα προς Συζήτησιν).

6.10 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΥ ΣΤΗ ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

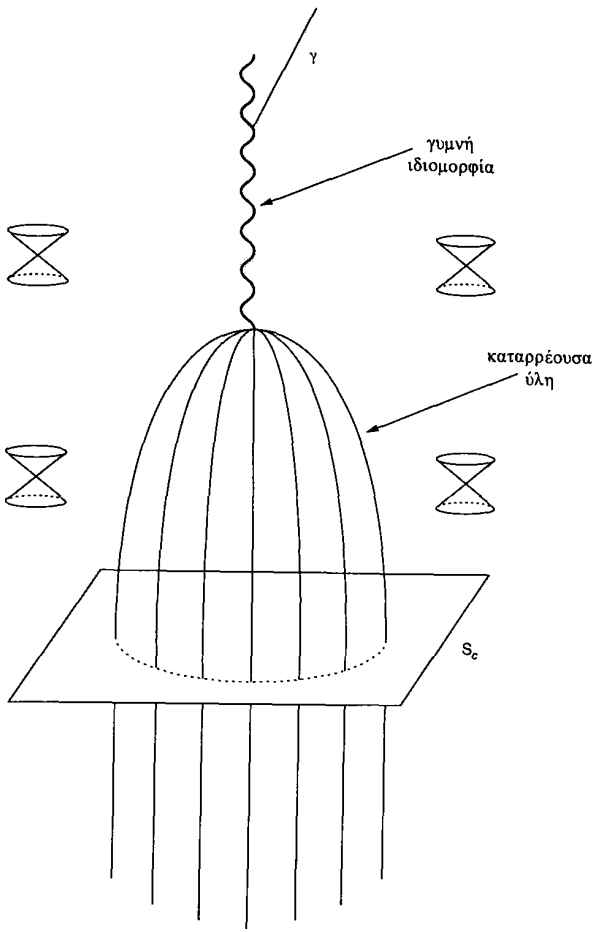
Η Θεωρία του Αϊνστάιν για τη Γενική Σχετικότητα (ΓΘΣ) εγείρει δύο ειδών δυσκολίες για τον ντετερμινισμό: η πρώτη έχει να κάνει με την αιτιακή δομή του χωρόχρονου και η δεύτερη με το οντολογικό καθεστώς του.

Για να θέσουμε το πρώτο πρόβλημα, ας ορίσουμε ως *αιτιακή καμπύλη* εκείνη τη λεία χωροχρονική καμπύλη της οποίας η εφαπτομένη σε κάθε σημείο δεν είναι τύπου-χώρου. Μια τέτοια καμπύλη αναπαριστά την κοσμική γραμμή μιας ιδεατής αιτιακής διαδικασίας που διαδίδεται με ταχύτητα $\leq c$. (Αγνοούμε εδώ τη δυνατότητα ύπαρξης ταχυονίων.) Μια υπερεπιφάνεια S τύπου-χώρου ονομάζεται *επιφάνεια Κωσύ* (*Cauchy surface*) όταν η S συναντά κάθε αιτιακή καμπύλη χωρίς σημείο απόληξης ακριβώς μία φορά. Μια τέτοια επιφάνεια αποτελεί κατάλληλο σύνολο αρχικών τιμών για να εξετάσουμε την υπόθεση του καθολικού ντετερμινισμού κατά Λαπλάς, αφού κάθε αιτιακή διαδικασία πρέπει να αφήνει το αποτύπωμά της επί της S. Έτσι αποκαθίσταται η ελπίδα προσδιορισμού της μελλοντικής και της παρελθοντικής συμπεριφοράς μιας διαδικασίας με βάση τη συμπεριφορά της είτε επί της S είτε κοντά στην S. Αντίστροφα, η ελπίδα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα αρχικά δεδομένα που αφορούν μια τομή χρόνου S, για τον προσδιορισμό της μελλοντικής και της παρελθοντικής συμπεριφοράς μιας διαδικασίας, είναι μάταιη αν αυτή η διαδικασία δεν αφήνει το αποτύπωμά της στην S. Το πρόβλημα με τον σχετικιστικό ντετερμινισμό είναι ότι τα διάφορα κοσμολογικά μοντέλα που ικανοποιούν τους βασικούς νόμους της ΓΘΣ, δηλαδή τις εξισώσεις πεδίου του Αϊνστάιν, δεν διαθέτουν επιφάνειες Κωσύ. Στα επόμενα σχήματα αναπαρίστανται τρεις τρόποι κατά τους οποίους μπορεί να μην υπάρχει η ιδιότητα Κωσύ. Στο Σχήμα 6.6(α) η επιφάνεια S_a δεν διαθέτει την ιδιότητα

Κωσύ επειδή η αιτιακή καμπύλη a είναι κλειστή χωρίς να συναντά την S_a. Στο Σχήμα 6.6(β), η S_b δεν αποτελεί καμπύλη Κωσύ, επειδή η καμπύλη β, η οποία συνιστά το ανάλογο του κλασικού εισβολέα από το άπειρο, πηγαίνει προς το άπειρο χωρίς να συναντά την S_b. Στο Σχήμα 6.6(γ), η καταρρέουσα ύλη παράγει



Σχήμα 6.6α, β Χωρόχρονοι της γενικής σχετικότητας για τους οποίους δεν υπάρχει επιφάνεια Κωσύ.



Σχήμα 6.6γ Χωρόχρονος της γενικής σχετικότητας για τον οποίο δεν υπάρχει επιφάνεια Κωσύ

μια γυμνή ιδιομορφία (naked singularity). Η τομή χρόνου S_c δεν αποτελεί επιφάνεια Κωσύ επειδή η αιτιακή καμπύλη γ ξεπηδά απρόβλεπτα από την ιδιομορφία (η οποία, αν ιδωθεί αυστηρά, δεν αποτελεί μέρος του χωρόχρονου).

Η απάντηση ενός ντετερμινιστή θα μπορούσε να είναι ότι οι εξισώσεις πεδίου του Αϊνστάιν δεν επαρκούν για την ανάδειξη των πραγματικών φυσικών δυνατοτήτων και ότι για τούτο χρειάζονται πρόσθετοι περιορισμοί και, πιο συγκε-

κριμένα, περιορισμοί που να αποκλείουν καταστάσεις όπως αυτές που παριστάνονται στο Σχήμα 6.6. Μια τέτοια αντίδραση δεν αποτελεί υποχρεωτικά λήψη του ζητούμενου, αφού υπάρχουν ανεξάρτητοι λόγοι που μας κάνουν να αμφιβάλλουμε ότι τέτοιες καταστάσεις είναι φυσικά δυνατές. Οι κλειστές αιτιακές καμπύλες, όπως αυτές του Σχήματος 6.6(α), επιτρέπουν την εμφάνιση παραδόξων σχετικά με ταξίδια στο χρόνο (π.χ. παρατηρητές θα μπορούσαν να ταξιδεύουν στο παρελθόν και να δολοφονούν τους μελλοντικούς εαυτούς τους). Η συμπεριφορά που παριστάνεται στο Σχήμα 6.6(β) χαρακτηρίζεται συχνά από μια αφύσικη αστάθεια, για παράδειγμα η εισαγωγή μιας μικρής ποσότητας ύλης στην S_b οδηγεί σε μια ιδιόμορφη συμπεριφορά σε κάποια μεταγενέστερη χρονική στιγμή. Και η ιδιομορφία που παριστάνεται στο Σχήμα 6.6(γ) παραβιάζει την υπόθεση της κοσμικής λογοκρισίας, σύμφωνα με την οποία οι ιδιομορφίες που προκύπτουν υπό φυσικώς εύλογες περιστάσεις βαρυτικών καταρρεύσεων βρίσκονται κρυμμένες στο εσωτερικό «μελανών οπών», το εξωτερικό των οποίων επιδέχεται επιφάνεια Κωσύ. Αυτή η υπόθεση βρίσκεται πρόσφατα στο επίκεντρο ζωηρών αντιπαραθέσεων μεταξύ των θεωρητικών φυσικών. Όποια και αν είναι η τελική απόφαση επί των ζητημάτων που τέθηκαν με αναφορά τα μοντέλα του Σχήματος 6.6, είναι προφανές ότι η μοίρα του ντετερμινισμού στη γενική θεωρία της σχετικότητας είναι άρρηκτα δεμένη με τα πλέον ακανθώδη προβλήματα θεμελίωσης στη ΓΘΣ.

Η δεύτερη απειλή για τον ντετερμινισμό στη γενική θεωρία της σχετικότητας ανακύπτει ακόμα και αν υποθέσουμε ότι η πρώτη απειλή αντιμετωπίζεται αποτελεσματικά και ότι το ενδιαφέρον μας επικεντρώνεται αποκλειστικά στα κοσμολογικά μοντέλα που επιδέχονται επιφάνειες Κωσύ. Αυτή η απειλή έχει ήδη εξεταστεί στο Κεφάλαιο 5 υπό τον γενικό τίτλο «επιχείρημα περί οπής» και δεν πρόκειται να συζητηθεί εδώ ξανά.

6.11 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

Όταν ακούμε για πρώτη φορά ότι η μη σχετικιστική κβαντική μηχανική (ΚΜ) αποτελεί μια μη ντετερμινιστική στοχαστική θεωρία, περιμένουμε πως οι ντετερμινιστικοί νόμοι της κλασικής μηχανικής για τη χρονική εξέλιξη των φαινομένων αντικαθίστανται από έναν μη ντετερμινιστικό νόμο βάσει του οποίου η εκάστοτε παρούσα κατάσταση δεν είναι ικανή να προδιαγράψει μια άλλη μελλοντική, αλλά μόνον, ας πούμε, μια κατανομή πιθανοτήτων σχετικά με τις μελλοντικές καταστάσεις. Ωστόσο, δεν είναι αυτό που συναντάμε με την πρώτη ματιά στην ΚΜ. Πραγματικά, η βασική εξίσωση για τη χρονική εξέλιξη ενός κβαντικού συστήματος –δηλαδή, η εξίσωση του Σρέντινγκερ (Schroedinger)– είναι από πολλές απόψεις περισσότερο ντετερμινιστική από το κλασικό της ανάλογο. Θυμηθείτε και πάλι την περίπτωση των σημειακών μαζών που αλληλεπιδρούν με μια δύναμη της μορφής $1/r^2$. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος,

στο πλαίσιο της κλασικής μηχανικής, έπρεπε να εξετάσουμε την περίπτωση να υπεισέρχονται ιδιομορφίες οφειλόμενες τόσο σε συγκρούσεις όσο και σε άλλους παράγοντες ανεξάρτητους των συγκρούσεων. Ωστόσο, στο πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής δεν υπεισέρχονται τέτοια προβλήματα, αφού πιθανότατα υπάρχει λύση για κάθε χρονική στιγμή. (Από μαθηματικής απόψεως το νόημα της τελευταίας πρότασης είναι ότι ο Χαμιλτονιανός τελεστής για αυτήν τη διαδικασία είναι αυτοσυζυγής, πράγμα που σημαίνει ότι ο τελεστής χρονικής εξέλιξης είναι μοναδιαίος και κατά συνέπεια ορίζεται για κάθε χρονική στιγμή. (Βλέπε σχετικά και τα όσα ακολουθούν.) Επιπλέον, η χρονική εξέλιξη ενός κβαντικού συστήματος δεν έχει να επιδείξει το είδος κρίσιμης εξάρτησης από τις αρχικές συνθήκες που οδηγεί στο κλασικό χάος.[3] Σε τι συνίσταται λοιπόν η κβαντική απροσδιοριστία (quantum indeterminism); Για να δοθεί μια απάντηση σε αυτό το ερώτημα, χρειάζεται να εξετάσουμε κάποια χαρακτηριστικά του μαθηματικού φορμαλισμού της ΚΜ.

6.12 ΚΒΑΝΤΙΚΟΣ ΦΟΡΜΑΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΑ

Η ΚΜ αντικαθιστά την κλασική έννοια της καταστάσεως με ένα διάνυσμα[4] Ψ σε έναν ιδιαίτερο διανυσματικό χώρο που ονομάζεται *χώρος Χίλμπερτ*. Πριν μπούμε σε λεπτομέρειες, ίσως φανεί χρήσιμο να θυμηθούμε κάποια πράγματα που αφορούν τον Ευκλείδειο διανυσματικό χώρο με τον οποίο είμαστε περισσότερο εξοικειωμένοι. Για παράδειγμα, η ταχύτητα ενός σωματιδίου στην κλασική μηχανική μπορεί να παρασταθεί με ένα διάνυσμα στον τριδιάστατο Ευκλείδειο χώρο. Κάθε τέτοιο διάνυσμα ταχύτητας **v** μπορεί να γραφεί ως άθροισμα τριών αυθαίρετα επιλεγμένων αλλά γραμμικά ανεξάρτητων διανυσμάτων βάσης $\mathbf{u}_1$, $\mathbf{u}_2$, $\mathbf{u}_3$ στη μορφή $\mathbf{v} = a_1\mathbf{u}_1 + a_2\mathbf{u}_2 + a_3\mathbf{u}_3$, όπου οι συντελεστές κλίμακας a_i είναι πραγματικοί αριθμοί. Εξαιτίας της Ευκλείδειας δομής του, ο διανυσματικός χώρος επιτρέπει έναν φυσιολογικό ορισμό του εσωτερικού γινομένου που να συνδέει έναν πραγματικό αριθμό $(\mathbf{u}, \mathbf{v})$ με κάθε ζεύγος διανυσμάτων, και ορίζει τόσο το μήκος ενός διανύσματος σύμφωνα με τη σχέση $\| \mathbf{v} \| \equiv (\mathbf{v}, \mathbf{v})^{1/2}$ όσο και τη σχέση ορθογωνιότητας $\mathbf{u} \perp \mathbf{v} \equiv (\mathbf{u}, \mathbf{v}) = 0$. Τα διανύσματα βάσης $\mathbf{u}_i$ μπορεί να επιλεγούν

---

[3] Τουλάχιστον αυτό συμβαίνει όταν η εγγύτητα των καταστάσεων δίδεται από το σύνηθες μέτρο, δηλαδή $\|\psi\| = (\psi, \psi)1/2$, όπου με (,) συμβολίζεται το εσωτερικό γινόμενο στο χώρο Χίλμπερτ, βλέπε σχετικά και Παράγραφο 12. Αφού η χρονική εξέλιξη κατά Σρέντινγκερ διατηρεί το μέτρο, όταν δύο καταστάσεις βρίσκονται αρχικά πολύ κοντά, θα εξακολουθήσουν να βρίσκονται κοντά και στο μέλλον. Το ζήτημα ορισμού του κβαντικού χάους έχει αποτελέσει προσφάτως αντικείμενο έντονης διαμάχης.

[4] Ακριβέστερα, η κβαντική κατάσταση δίδεται από έναν μονοδιάστατο υποχώρο που ορίζεται από το διάνυσμα. Τόσο η $\psi' = \exp(ir)\,\psi$, όπου r είναι πραγματικός αριθμός, όσο και η ψ περιγράφουν την ίδια κατάσταση, αφού, όπως θα φανεί αργότερα στην Παράγραφο 12, παρέχουν τις ίδιες ακριβώς πιθανότητες για τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

έτσι ώστε να είναι ανά δύο ορθογώνια μεταξύ τους και να έχουν μοναδιαίο μήκος, οπότε οι συντελεστές a_i δίνουν το μήκος του **v** στην κατεύθυνση *i*. Τέλος, μπορούμε να ορίσουμε γραμμικούς τελεστές ως τερατάκια που καταβροχθίζουν διανύσματα και φτύνουν διανύσματα με τρόπο που να σέβεται τη γραμμική δομή του χώρου. Αυτό σημαίνει ότι ο τελεστής **T** υπακούει στον κανόνα $\mathbf{T}(\alpha\mathbf{u} + \beta\mathbf{v}) = \alpha\mathbf{T}(\mathbf{u}) + \beta\mathbf{T}(\mathbf{v})$ για κάθε πραγματικό αριθμό α και β. Ένα απλό παράδειγμα τέτοιου τελεστή είναι η προβολή που μας μεταφέρει από ένα διάνυσμα σε μία από τις συνιστώσες του σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Όλα αυτά μπορούν να εφαρμοστούν και στην περίπτωση των χώρων Χίλμπερτ, αφού πρώτα υποστούν μικρές αλλά πολύ σημαντικές αλλαγές. Πρώτα απ' όλα, οι πραγματικοί αριθμοί αντικαθίστανται από τους μιγαδικούς αριθμούς: οι Ευκλείδειοι διανυσματικοί χώροι είναι κλειστοί ως προς τους γραμμικούς συνδυασμούς που επιτυγχάνονται με τον πολλαπλασιασμό των διανυσμάτων με πραγματικούς αριθμούς και με την πρόσθεση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Οι χώροι Χίλμπερτ είναι κλειστοί ως προς τους γραμμικούς συνδυασμούς που επιτυγχάνονται με τον πολλαπλασιασμό των διανυσμάτων με μιγαδικούς αριθμούς και με την πρόσθεση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Επιπλέον, σε ορισμένες φυσικές εφαρμογές οι χώροι Χίλμπερτ πρέπει να είναι απειροδιάστατοι. Αυτό το δεύτερο χαρακτηριστικό θα παραβλεφθεί επί του παρόντος, αφού πολλά από τα βασικά προβλήματα θεμελίωσης είναι δυνατό να αναδειχθούν και στους χώρους Χίλμπερτ πεπερασμένων διαστάσεων.

Τα φυσικά μεγέθη στην ΚΜ (ή αλλιώς «παρατηρήσιμες» (observables) όπως συνήθως λέγονται) παριστάνονται από μια ειδική τάξη γραμμικών τελεστών που ονομάζονται *αυτοσυζυγείς* τελεστές.[5] Όπως και στην περίπτωση των Ευκλείδειων διανυσματικών χώρων, ένας τελεστής **A** στο χώρο Χίλμπερτ μπορεί να παρομοιασθεί με ένα τερατάκι που καταβροχθίζει διανύσματα και φτύνει άλλα διανύσματα. Ένα διάνυσμα φ ονομάζεται *ιδιοδιάνυσμα* του **A**, όταν ο **A** καταβροχθίζει το φ και φτύνει το αφ, όπου ο αριθμός *a* ονομάζεται *ιδιοτιμή* του **A**. Αν ο **A** είναι αυτοσυζυγής, τότε η ιδιοτιμή *a* είναι πραγματικός αριθμός. Αυτό το τελευταίο αποτελεί σημαντικό αποτέλεσμα, αφού ένα από τα βασικά αιτήματα της ΚΜ είναι ότι τα δυνατά αποτελέσματα μιας μέτρησης της παρατηρήσιμης *A* δίδονται από τις ιδιοτιμές που αντιστοιχούν στον τελεστή **A**.

Ένας από τους τρόπους από τους οποίους ανακύπτει η απροσδιοριστία στην ΚΜ έχει σχέση με την πρόβλεψη αποτελεσμάτων των μετρήσεων. Υποθέστε ότι μετράμε την παρατηρήσιμη *A*, και ότι εκφράζουμε το διάνυσμα κατάστασης Ψ ως γραμμικό συνδυασμό των ιδιοδιανυσμάτων φ_i του **A**: $\Psi = \Sigma\, a_i\, \varphi_i$, με $\mathbf{A}_i = a_i\varphi_i$. (Για έναν αυτοσυζυγή τελεστή **A**, αυτό μπορεί να γίνεται πάντοτε με μονοσήμαντο τρόπο.) Τότε, ένα άλλο βασικό αίτημα της ΚΜ είναι ότι κατά τη μέ-

---

[5] Για φραγμένους τελεστές η ιδιότητα της αυτοσυζυγίας σημαίνει ότι $\mathbf{A}^+ = \mathbf{A}$, όπου ο συζυγής $\mathbf{A}^+$ του **A** ορίζεται από τη σχέση $(\mathbf{A}^+\varphi, \chi) = (\varphi, \mathbf{A}\chi)$ για κάθε φ, χ.

τρηση του A η πιθανότητα επίτευξης του αποτελέσματος a_k είναι $|\alpha_k|^2$. Οι τιμές $|\alpha_k|^2$ βρίσκονται, εν γένει, πάντοτε μεταξύ των οριακών τιμών 0 και 1 που απαιτούνται από την ντετερμινιστική αντιμετώπιση.

Ένας άλλος δρόμος μέσω του οποίου ανακύπτει η απροσδιοριστία στην ΚΜ σχετίζεται με τη χρονική εξέλιξη της κατάστασης Ψ. Στην Παράγραφο 6.11 διατυπώθηκε η πρόταση ότι αυτή η εξέλιξη υπακούει στην ντετερμινιστική εξίσωση του Σρέντινγκερ. Όμως αυτό είναι μόνο κατά το ήμισυ αληθές, τουλάχιστον όπως προκύπτει από τη διατύπωση της ΚΜ που οφείλεται στον φον Νόυμαν (von Neumann). Σύμφωνα με την περιγραφή του φον Νόυμαν, η κβαντική κατάσταση Ψ μεταβάλλεται συνεχώς και ντετερμινιστικά μέχρις ότου πραγματοποιηθεί μια μέτρηση. Τότε η κατάσταση μεταπηδά ασυνεχώς και με τρόπο απροσδιόριστο (nondeterministically) στην ιδιοκατάσταση φ_i, που αντιστοιχεί στην ιδιοτιμή a_i, η οποία αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα μέτρησης της παρατηρήσιμης A – πρόκειται για αυτό που ονομάζεται κατάρρευση της υπέρθεσης.

Αυτό που είναι ενοχλητικό με το δεύτερο χαρακτηριστικό δεν είναι τόσο η απροσδιοριστία καθ' εαυτή όσο ο γρίφος με τον οποίο φαίνεται να συνδέεται. Και τούτο γιατί η πράξη της μέτρησης αποτελεί, κατά τα φαινόμενα, μια φυσική αλληλεπίδραση μεταξύ ενός φυσικού συστήματος και μιας μετρητικής συσκευής. Ως τέτοια θα έπρεπε να είναι περιγράψιμη με τρόπο ίδιο με αυτόν που εφαρμόζεται στην περιγραφή άλλων αλληλεπιδράσεων και, ως εκ τούτου, η χρονική εξέλιξη του ενιαίου συστήματος αντικείμενο-και-συσκευή θα έπρεπε να υπακούει στην εξίσωση του Σρέντινγκερ. Δυστυχώς όμως, υπάρχουν πειστικές αποδείξεις ότι η εξέλιξη κατά Σρέντινγκερ δεν συμβιβάζεται με την κατάρρευση της υπέρθεσης. Αφήνοντας κατά μέρος τις τεχνικές λεπτομέρειες, η ουσία του προβλήματος είναι ότι, εξαιτίας της γραμμικότητάς της, η εξίσωση Σρέντινγκερ προβλέπει ότι μετά την αλληλεπίδραση το σύστημα αντικείμενο-και-συσκευή δεν βρίσκεται σε μια σαφώς καθορισμένη κατάσταση, αλλά σε μια κατάσταση υπέρθεσης που περιγράφεται ως άθροισμα καταστάσεων που ανταποκρίνονται στο σύνθετο σύστημα αντικείμενο-συσκευή. Αυτός ο γρίφος, που συνήθως αναφέρεται ως το πρόβλημα μέτρησης στην ΚΜ, αποτέλεσε το έναυσμα για μια σειρά απεγνωσμένων προσπαθειών για την επίλυσή του, εκ των οποίων εδώ θα αναφερθούν μόνο δύο. Πρώτον, έχει προταθεί ότι η αλληλεπίδραση που συνιστά η πράξη της μέτρησης δεν είναι αμιγώς φυσική και ότι η εν λόγω κατάρρευση οφείλεται στην επίδραση της συνείδησης του παρατηρητή. Όμως, μια τέτοια αναβίωση του Καρτεσιανού δυϊσμού είναι μάλλον δύσκολο να χωνευτεί. Δεύτερον, έχει προταθεί η άποψη ότι στην πραγματικότητα δεν συμβαίνει καμιά κατάρρευση αλλά ότι ο κόσμος διαχωρίζεται σε μια σειρά αντιτύπων, σε ένα από τα οποία εκδηλώνεται η τιμή a_1, σε κάποιο άλλο η τιμή a_2, και ούτω καθ' εξής. Όμως, είναι εξίσου δύσκολο να χωνευτεί και ετούτος ο οντολογικός πληθωρισμός. (Για μια συλλογή εργασιών σχετικών με το πρόβλημα της μέτρησης στην ΚΜ βλέπε Wheeler και Zurek 1983. Σχετικά με την ερμηνεία των «πολλαπλών κόσμων» βλέπε De Witt και Graham 1973.)

Η πρώτη μορφή κβαντικής απροσδιοριστίας οδηγεί κάποιον που έχει κλασικές προσλαμβάνουσες παραστάσεις να σκεφθεί ότι η ΚΜ δεν είναι πλήρης και ότι οι κβαντικές πιθανότητες αποτελούν έκφραση της άγνοιάς μας για την ακριβή κατάσταση της φύσης. Η δεύτερη μορφή απροσδιοριστίας και το πρόβλημα της μέτρησης στο οποίο οδηγεί δημιουργεί την αίσθηση πως κάτι σάπιο υπάρχει στο βασίλειο της ΚΜ. Ίσως η υποτιθέμενη μη πληρότητα της ΚΜ να ευθύνεται *και* για τούτο το ελάττωμα. Πριν όμως αποδυθούμε στην εξερεύνηση της όλης ιδέας, θα εκθέσουμε ένα επιχείρημα που σχεδιάστηκε για να αποδειχθεί η υποψία περί μη πληρότητας της ΚΜ.

6.13 ΤΟ ΠΑΡΑΔΟΞΟ EPR

Μία από τις πλέον συχνά παρατιθέμενες εργασίες γύρω από το πρόβλημα θεμελίωσης της ΚΜ δημοσιεύτηκε το 1935 στο περιοδικό *Physical Review* κάτω από τον μάλλον αμήχανο τίτλο «Μπορεί η Κβαντομηχανική Περιγραφή της Πραγματικότητας να Θεωρηθεί Πλήρης;» Έφερε δε τα ονόματα τριών συγγραφέων, του Αλβέρτου Αϊνστάιν, του Μπόρις Ποντόλσκυ (Boris Podolsky) και του Νέιθαν Ρόουζεν (Nathan Rosen), κατά συνέπεια αναφέρεται συνήθως ως EPR. (Η εργασία, στην πραγματικότητα, ήταν γραμμένη κυρίως από τον Ποντόλσκυ· βλέπε σχετικά Fine 1981.) Το μέγεθος της επίδρασης που άσκησε αυτή η εργασία είναι δυσανάλογο προς την περιορισμένη έκταση των μόλις τεσσάρων σελίδων της. Μολονότι περιέχει ορισμένους τεχνικούς όρους που ίσως σας είναι άγνωστοι, θα πρέπει να είστε σε θέση να ανασυγκροτείτε τη δομή του επιχειρήματος EPR. Για τούτο, πριν συνεχίσετε την ανάγνωση του κειμένου που έχετε μπροστά σας, γυρίστε στο Παράρτημα του παρόντος Κεφαλαίου που περιέχει τη μετάφραση της εργασίας και προσπαθήστε να εντοπίσετε το συμπέρασμα του επιχειρήματος, τις προκείμενές του καθώς και τα βήματα που οδηγούν από τις προκείμενες στο συμπέρασμα.

Στην παράγραφο 3, οι συγγραφείς δηλώνουν τι θεωρούν ως απαραίτητη συνθήκη για την *πληρότητα* μιας φυσικής θεωρίας: «*Κάθε στοιχείο της φυσικής πραγματικότητας πρέπει να έχει το αντίστοιχό του στη φυσική θεωρία.*» Όμως, ενώ οι συγγραφείς αρνούνται να ορίσουν τη «φυσική πραγματικότητα», στην παράγραφο 4 προσφέρουν μια ικανή συνθήκη ή ένα Κριτήριο Πραγματικότητας:

> Αν, χωρίς να διαταραχθεί καθ' οιονδήποτε τρόπο ένα σύστημα, μπορούμε να προβλέψουμε με βεβαιότητα (δηλαδή, με πιθανότητα ίση με τη μονάδα) την τιμή ενός φυσικού μεγέθους, τότε υπάρχει ένα στοιχείο φυσικής πραγματικότητας που αντιστοιχεί σε αυτό το μέγεθος.

Το επιχείρημα φαίνεται να είχε ως αρχικό σκοπό την εδραίωση της άποψης ότι η ΚΜ είναι μία μη πλήρης θεωρία (incomplete: I). Για να κατανοήσουμε το σκε-

πτικό τους, θυμηθείτε ότι δύο τελεστές **A** και **B** ονομάζονται *αντιμεταθετοί* όταν **[A, B] = AB - BA = 0**, δηλαδή όταν για κάθε διάνυσμα το αποτέλεσμα της επενέργειας πάνω του πρώτα του τελεστή **A** και ακολούθως του τελεστή **B** είναι ταυτόσημο με το αποτέλεσμα που προκύπτει από την επενέργεια σε αυτό πρώτα του τελεστή **B** και ακολούθως του τελεστή **A**. (Στην περίπτωση των μη φραγμένων τελεστών, που ορίζονται το πολύ για μια πυκνή περιοχή του χώρου Χίλμπερτ, πρέπει να είμαστε προσεκτικότεροι σχετικά με τα πεδία ορισμού.) Αν εισάγουμε τη συντομογραφία (NSV) για να υποδηλώνουμε την πρόταση ότι οποτεδήποτε δύο τελεστές που αντιστοιχούν σε δύο φυσικά μεγέθη δεν αντιμετατίθενται, τα δύο φυσικά μεγέθη είναι αδύνατο να λαμβάνουν ταυτόχρονα σαφείς τιμές (ή, όπως λένε οι EPR, ταυτόχρονη πραγματικότητα), τότε μπορούμε να ανασυγκροτήσουμε το επιχείρημα EPR ως ακολούθως:

είτε (I) είτε (NSV)
Αν όχι-(I) τότε όχι-(NSV)
$\therefore$ (I)

(Εδώ ακολουθήθηκε η ανασυγκρότηση που προτείνεται στο Fine 1981.) Η μορφή του επιχειρήματος είναι προφανώς έγκυρη, οπότε η αποτίμηση του επιχειρήματος εξαρτάται τελικά από την αποδοχή των προκειμένων του.

Οι EPR προσπαθούν να δικαιολογήσουν την πρώτη προκείμενη υποστηρίζοντας ότι, αν δεν ισχύει η (NSV), τότε η ΚΜ δεν είναι πλήρης. Αν δεν ισχύει η (NSV), τότε τα εν λόγω φυσικά μεγέθη θα ήταν ταυτοχρόνως πραγματικά (θα είχαν ταυτόχρονα καθορισμένες τιμές), και λόγω της συνθήκης πληρότητας αυτές οι τιμές πρέπει να αποτελούν μέρος μιας πλήρους περιγραφής. Οι EPR συμπεραίνουν ότι

> *είτε (1) η κβαντομηχανική περιγραφή της πραγματικότητας που παρέχεται από την κυματοσυνάρτηση δεν είναι πλήρης, είτε (2) όταν δεν αντιμετατίθενται οι τελεστές που αντιστοιχούν σε δύο φυσικά μεγέθη, τότε αυτά τα φυσικά μεγέθη δεν μπορούν να είναι ταυτοχρόνως πραγματικά.*

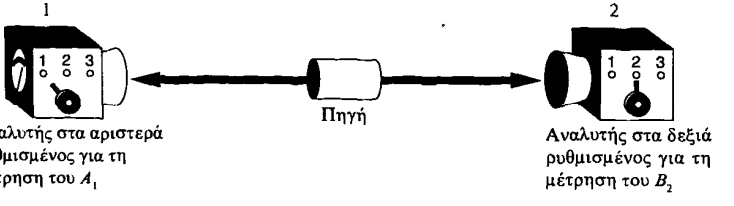
Η πρώτη πρόταση δείχνει ότι οι συγγραφείς ερμηνεύουν τη συνθήκη πληρότητας ως εάν να εσήμαινε ότι το αντίστοιχο του φυσικού μεγέθους στη θεωρία πρέπει να αφήνει τη δυνατότητα πρόβλεψης της τιμής του με πιθανότητα ίση με τη μονάδα. Σύμφωνα με αυτήν την ανάγνωση, η δεύτερη πρόταση είναι αληθής αφού για καμία κατάσταση η ΚΜ δεν αποδίδει πιθανότητα ίση με τη μονάδα σε σαφώς καθορισμένες τιμές των παρατηρήσιμων που αντιστοιχούν σε μη αντιμεταθετούς τελεστές.

Για να εδραιώσουν τη δεύτερη προκείμενη, οι συγγραφείς καταφεύγουν στην κατάστρωση ενός νοητικού πειράματος στο οποίο υπεισέρχονται δύο συζευγμένα (correlated) σωματίδια. Η εκδοχή αυτού του πειράματος που θα εξετάσουμε

εδώ παραμένει πιστή στο πνεύμα του πρωτοτύπου έχοντας όμως το διπλό πλεονέκτημα να μπορεί να εκτελεσθεί σε πραγματικές εργαστηρικές συνθήκες και να σχετίζεται άμεσα με το θεώρημα του Μπελ (Bell), το οποίο θα εξεταστεί στη συνέχεια. Στη διάταξη που εικονίζεται στο Σχήμα 6.7 ένα ζεύγος σωματιδίων ξεκινούν από μια πηγή και κατευθύνονται προς αντίθετες κατευθύνσεις στο χώρο μέχρις ότου συναντήσουν αναλυτές, καθένας από τους οποίους περιέχει διατάξεις που αντιστοιχούν σε μετρήσεις διαφόρων παρατηρήσιμων A_1, A_2, ... που σχετίζονται με το σωματίδιο στα αριστερά, και διαφόρων παρατηρήσιμων B_1, B_2, ... που σχετίζονται με το σωματίδιο στα δεξιά. Έχει κανονιστεί εκ των προτέρων να ισχύει η σχέση $[\mathbf{A}_i, \mathbf{B}_j] = 0$ για κάθε i, j, ενώ οι τελεστές $\mathbf{A}_i$, $\mathbf{B}_j$ δεν είναι ανά ζεύγη αντιμεταθετοί μεταξύ τους. Παρόλο που δεν χρειάζεται παρά μόνο αργότερα, είναι βολικό να υποθέσουμε ότι οι εν λόγω παρατηρήσιμες είναι δίτιμες και ότι παίρνουν τις τιμές, φέρ' ειπείν, ± 1. Τελικά, προσφεύγουμε στις αρχές της ΚΜ για να διασφαλίσουμε την ύπαρξη καταστάσεων για τις οποίες οι παρατηρήσιμες δεξιά και αριστερά είναι αντισυζευγμένες, με την έννοια ότι το αποτέλεσμα της μέτρησης του A_i στα αριστερά είναι ίσο με ± 1 με πιθανότητα ίση με τη μονάδα όταν το αποτέλεσμα της μέτρησης του B_i στα δεξιά είναι ∓ 1.

Επί του παρόντος, αρκεί να επικεντρώσουμε το ενδιαφέρον μας σε δύο ζεύγη παρατηρήσιμων: τα A_1, B_1 και τα A_2, B_2. Υποθέστε τώρα ότι επιλέγουμε μια συγκεκριμένη θέση για τον μεταγωγέα του αναλυτή στα αριστερά. Αναλόγως με το αν επιλέξαμε να μετρήσουμε το A_1, ή το A_2, μπορούμε, με βάση το αποτέλεσμα της μέτρησης, να προβλέψουμε με βεβαιότητα την τιμή για το B_1 ή το B_2. Εφαρμόζοντας το Κριτήριο Πραγματικότητας καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι τιμές των μεγεθών B_1 ή B_2 αποτελούν ταυτόχρονα στοιχεία πραγματικότητας και ότι, ως εκ τούτου, η ΚΜ δεν είναι πλήρης.

Το συμπέρασμα φαίνεται μάλλον βιαστικό αν το εξετάσουμε περισσότερο. Πώς από το γεγονός των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές και αφορούσαν το σωματίδιο στα αριστερά, μας επιτρέπεται να αποδώσουμε σαφώς καθορισμένες τιμές στα B_1, B_2, και μάλιστα υπό την έννοια ότι αυτά τα μεγέθη είναι ταυτόχρονα πραγματικά; Αυτό το πρόβλημα τί-



Σχήμα 6.7 Ένα πείραμα EPR-Bell

θεται από τους συγγραφείς μόλις μια παράγραφο πριν από το τέλος της εργασίας τους:

> Αν κάποιος επιμείνει στην άποψη ότι δύο ή περισσότερα φυσικά μεγέθη μπορούν να θεωρηθούν ταυτόχρονα ως στοιχεία πραγματικότητας *μόνο όταν μπορούν να μετρηθούν και να προβλεφθούν ταυτόχρονα*, δεν θα καταλήξει στο ίδιο συμπέρασμα.

Από αυτή την άποψη, αφού η μόνη δυνατότητα που παρουσιάζεται εδώ είναι να προβλεφθεί είτε το ένα είτε το άλλο, όχι όμως και τα δύο φυσικά μεγέθη, $P[B_1]$ και $Q[B_2]$, ταυτόχρονα, [αυτό σημαίνει ότι] δεν μπορούν να θεωρηθούν ταυτοχρόνως πραγματικά. Αυτό καθιστά την πραγματικότητα του $P[B_1]$ και του $Q[B_2]$ εξαρτώμενη από τη διαδικασία μέτρησης που διενεργείται στο πρώτο <αριστερό> σύστημα, το οποίο δεν διαταράσσει το δεύτερο <δεξιό> σύστημα κατά κανέναν τρόπο. Όμως, κανένας εύλογος ορισμός της πραγματικότητας δεν αναμένεται να επιτρέπει κάτι τέτοιο.

Αυτό που θα πρέπει να έχει γίνει σαφές έως τώρα είναι ότι το πραγματικό συμπέρασμα των EPR δεν είναι ότι η ΚΜ δεν είναι πλήρης (Ι), αλλά ότι δεν είναι πλήρης υπό την προϋπόθεση ότι ισχύει η τοπικότητα (Loc), δηλαδή υπό την προϋπόθεση πως ό,τι συμβαίνει στην αριστερή πτέρυγα του πειράματος δεν επηρεάζει τα τεκταινόμενα στην άλλη πτέρυγα. (Το ότι αυτό ακριβώς εννοούσε ο Αϊνστάιν έγινε σαφές σε μια μεταγενέστερη εργασία του (Einstein [1948] 1971).) Αυτό που θα εξεταστεί στη συνέχεια είναι το τι ακριβώς σημαίνει η προϋπόθεση της τοπικότητας, αλλά πριν στραφούμε σε αυτό το ζήτημα, αξίζει τον κόπο να επισημάνουμε ορισμένα επιπλέον προβληματικά χαρακτηριστικά του επιχειρήματος EPR.

Το πρώτο αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό είναι ότι η δεύτερη προκείμενη προβάλλεται λανθασμένα αφού η ηγούμενή της, δηλαδή η «όχι-(Ι)», δεν παίζει κανένα ρόλο στο νοητικό πείραμα. Η εν λόγω προκείμενη θα ήταν ορθότερα διατυπωμένη αν είχε τη μορφή: Αν (Loc) τότε όχι-(NSV), και το τελικό συμπέρασμα του επιχειρήματος δεν ήταν η μη πληρότητα της ΚΜ, αλλά ότι η ΚΜ είναι είτε μη πλήρης είτε θεωρία στην οποία δεν ισχύει η τοπικότητα.

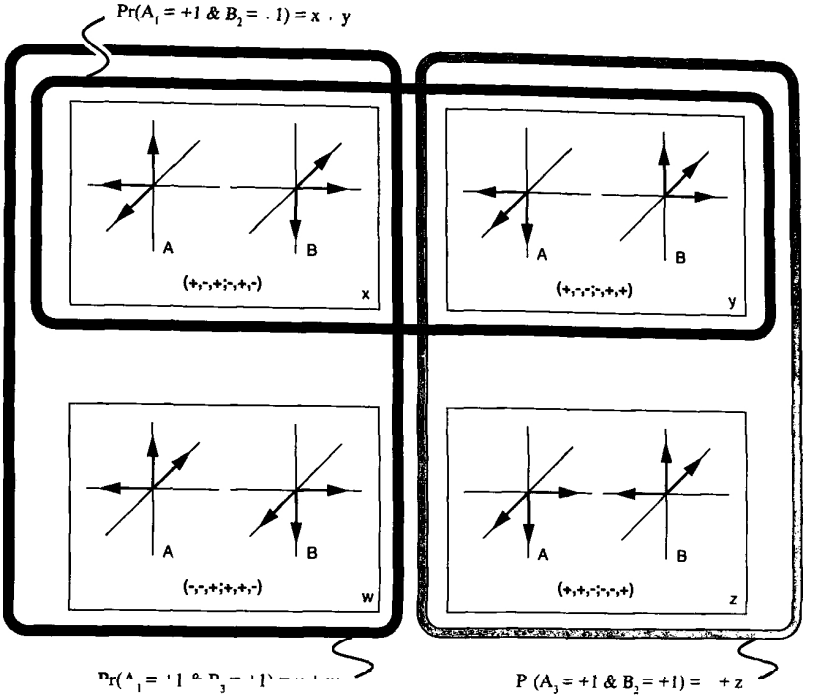
Το δεύτερο χαρακτηριστικό είναι το αίνιγμα του γιατί είναι αναγκαίο να θεωρήσουμε παρατηρήσιμες που αντιστοιχούν σε μη αντιμεταθετούς τελεστές. Μετράται, φέρ' ειπείν, το A_1 στα αριστερά και προκύπτει έστω η τιμή +1. Συνάγεται τότε με βεβαιότητα ότι το B_1 έχει την τιμή -1. Έτσι, από το Κριτήριο Πραγματικότητας, μετά τη μέτρηση το σωματίδιο στα αριστερά έχει για το B_1 την τιμή -1. Όμως, σύμφωνα με την (Loc), η μέτρηση στα αριστερά δεν μπορεί να «δημιουργήσει» την τιμή που αντιστοιχεί στο B_1 στα δεξιά. Αυτή η τιμή πρέπει, λοιπόν, να προϋπήρχε της στιγμής κατά την οποία έγινε η μέτρηση στα δεξιά, και αφού η ΚΜ δεν προβλέπει αυτή την τιμή με βεβαιότητα, η θεωρία δεν είναι πλήρης. Μια εύλογη λύση του αινίγματος θα μνημόνευε την ισχυρή ψυχο-

λογική πίεση να αναφερθούμε σε αυτό που θεωρήθηκε ένα από τα πλέον χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ΚΜ – η ύπαρξη μη αντιμεταθετών παρατηρήσιμων. Η επίκληση από πλευράς των EPR έχει την ακόλουθη μορφή: να γίνει μέτρηση του A_1 στα αριστερά με αποτέλεσμα (έστω) +1, από αυτό να συναχθεί με βεβαιότητα ότι το σωματίδιο στα αριστερά βρίσκεται στην ιδιοκατάσταση χ_1 του B_1 με ιδιοτιμή -1. Να γίνει μέτρηση του A_2 στα αριστερά με αποτέλεσμα την τιμή (έστω) -1 και να συναχθεί με βεβαιότητα ότι το σωματίδιο στα αριστερά βρίσκεται στην ιδιοκατάσταση χ_2 του B_2 με ιδιοτιμή την +1. Όμως, σύμφωνα με την (Loc), δεν μπορεί να επέλθει καμιά αλλαγή στη δεξιά πτέρυγα ως συνέπεια αυτού που συνέβη στην αριστερή πτέρυγα. Ως εκ τούτου, συμπεραίνουν οι EPR, είναι δυνατό να αποδώσουμε δύο διαφορετικά καταστατικά διανύσματα στην ίδια πραγματικότητα. Αφού όμως κάτι τέτοιο είναι ασυνεπές, αν αυτά τα δύο διανύσματα αναπαριστούν διαφορετικές πραγματικές καταστάσεις, η ΚΜ δεν είναι πλήρης. Αυτό το σχήμα επιχειρήματος που επαναλήφθηκε στην εργασία του Αϊνστάιν ([1948], 1971) αψηφά τη δομή σύμφωνα με την οποία αναλύθηκε λίγο ενωρίτερα το επιχείρημα EPR.

Τελικά, αν αφήσουμε κατά μέρος το ζήτημα της πληρότητας, μπορούμε να διερωτηθούμε γιατί δεν παραβιάζεται η (Loc) στο νοητικό πείραμα. Ασχέτως από το αν η ΚΜ περιγραφή της κατάστασης είναι ή δεν είναι πλήρης, περιγράφει όντως αντικειμενικά φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος, για παράδειγμα τις μακροπρόθεσμες σχετικές συχνότητες των αποτελεσμάτων, και έτσι αντικειμενικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη δεξιά πτέρυγα επηρεάζονται από ενέργειες που λαμβάνουν χώρα στην αριστερή πτέρυγα. Κατά πάσα πιθανότητα, η απάντηση του Αϊνστάιν θα ήταν ότι δεν ενέχεται καμιά παραβίαση της (Loc) αν στην πιθανότητα αποδοθεί μια ερμηνεία συλλογής (ensemble interpretation) όπου η μέτρηση θεωρείται ότι αποτελεί διαδικασία επιλογής μιας υπο-συλλογής συστημάτων που χαρακτηρίζονται από τις τιμές που επιτεύχθηκαν στη μέτρηση. Κατά ειρωνικό τρόπο, αν γίνει μια λεπτομερέστερη ανάλυση, τα πειράματα EPR αμφισβητούν αυτήν ακριβώς την ερμηνεία.

6.14 Η ΜΗ ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΟΙ ΑΝΙΣΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΜΠΕΛ

Το συμπέρασμα του Αϊνστάιν ότι η ΚΜ είναι είτε μη πλήρης είτε μη τοπική εκλήφθηκε ως απαξιωτικό, αφού ο ίδιος θεωρούσε ως στόχο του επιστημονικού στοχασμού τη δημιουργία μιας θεωρίας που θα ήταν ταυτόχρονα και πλήρης και τοπική. Ωστόσο, τα πειράματα EPR μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αμφισβητήσουν αυτήν την προκατάληψη ότι η ίδια η πραγματικότητα είναι τοπική και πλήρης στο κβαντικό επίπεδο. Για τους EPR, η ΚΜ δεν είναι πλήρης, επειδή δεν περιέχει το αντίστοιχο κάθε στοιχείου πραγματικότητας: τα A_i και B_j υποτίθεται ότι έχουν ταυτόχρονα σαφώς καθορισμένες τιμές, παρόλο που δεν υπάρχουν τα αντίστοιχα αυτών των τιμών στη θεωρία. Ωστόσο, όπως αποδεικνύεται,



Συμπέρασμα

$$\Pr(A_1 = +1 \,\&\, B_2 = +1) \leq \underset{x+y}{\Pr(A_1 = +1 \,\&\, B_3 = +1)} + \underset{x+w}{\Pr(A_3 = +1 \,\&\, B_2 = +1)} + \underset{y+z}{}$$

Σχήμα 6.8 Μια μορφή των ανισοτήτων Μπελ.

η υπόθεση περί οντολογικής πληρότητας –ότι οι τιμές των παρατηρήσιμων είναι σαφώς καθορισμένες– έρχεται σε σύγκρουση με τις ελέγξιμες στατιστικές προβλέψεις της θεωρίας.

Ας υποθέσουμε ότι η περιγραφή της ΚΜ έχει «βελτιωθεί» έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στα συναισθήματα των EPR, δηλαδή έτσι που η θεωρία να προσφέρει τελικά μια πλήρη περιγραφή υπό την έννοια ότι για κάθε σημείο λ στον νέο χώρο καταστάσεων Λ η θεωρία αποδίδει πλέον σαφώς καθορισμένες τιμές στα A_1, A_2, A_3 καθώς επίσης και στα B_1, B_2 και B_3. Θα υιοθετήσουμε το συμβολισμό (±, ±, ± ; ±, ±, ±) για να υποδηλώσουμε την περιοχή του Λ όπου οι παρατηρήσιμες έχουν τις τιμές που τους αποδόθηκαν. Για παράδειγμα, (+, -, +; -, -, +)

είναι η περιοχή όπου $A_1 = +1$, $A_2 = -1$, $A_3 = +1$ και $B_1 = -1$, $B_2 = -1$ και $B_3 = +1$. Επίσης, παραμένοντας συντεταγμένοι προς τους σκοπούς των EPR, οι κβαντομηχανικές πιθανότητες που αποδίδονται σε συμβατά ζεύγη παρατηρήσιμων ερμηνεύονται ως μέτρο της άγνοιάς μας αναφορικά με τη θέση της κατάστασης λ στο χώρο Λ. Με βάση τη συνθήκη αντισυσχέτισης, η $Pr((A_1 = +1)\ \&\ (B_2 = +1))$ αποτελεί το άθροισμα των μέτρων χ και y που αποδίδεται αντίστοιχα στις περιοχές (+, -, +; -, +, -) και (+, -, -; -, +, +) (βλέπε Σχήμα 6.8). Παρομοίως, η $Pr((A_1 = +1)\ \&\ (B_3 = +1))$ αποτελεί το άθροισμα των μέτρων y και z που αποδίδεται αντίστοιχα στις περιοχές (+, -, -; -, +, +) και (+, +, -; -, -, +). Και, τελικά, η $Pr((A_3 = +1)\ \&\ (B_2 = +1))$ αποτελεί το άθροισμα των μέτρων x και w που αποδίδεται αντίστοιχα στις περιοχές (+, -, +; -, +, -) και (-, -, +; +, +, -). Έτσι, αφού το άθροισμα $x + y$ πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο με το άθροισμα $y + z + x + w$, θα ισχύει η

$$\text{(B)}\ Pr((A_1 = +1)\ \&\ (B_2 = +1)) \leq Pr((A_1 = +1)\ \&\ (B_3 = +1)) + Pr((A_3 = +1)\ \&\ (B_2 = +1))$$

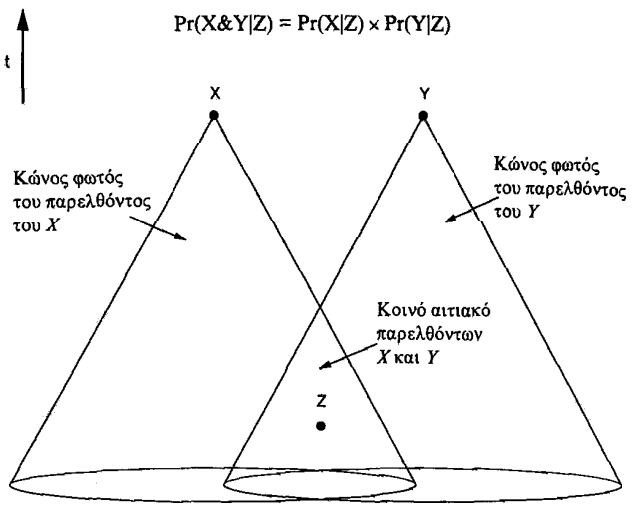
Η ανισότητα (B) αποτελεί μέλος μιας οικογένειας ανισοτήτων γνωστών με το όνομα *ανισότητες Μπελ*. (Για τη συναγωγή της εδώ ακολουθήσαμε τον Βίγκνερ (Wigner 1970)).

Για να γίνει αντιληπτή η σχέση της (B) με τα ζητήματα που έχουν τεθεί ως εδώ, το μόνο που χρειάζεται είναι να προστεθεί ένα δίδαγμα, το οποίο αποτελείται από δύο μέρη. Πρώτον, υπάρχουν ΚΜ καταστάσεις που αποδεδειγμένα παραβιάζουν την (B). Έτσι, σε ό,τι αφορά τις στατιστικές προβλέψεις της ΚΜ, η ΚΜ δεν προσφέρεται προς επέκτασίν της σε μια «πλήρη» θεωρία του είδους που θέλησαν οι EPR. Φυσικά, αυτό μπορεί να λειτουργήσει και ως πρόσθετο επιχείρημα υπέρ της άποψης ότι κάτι σάπιο υπάρχει στον ίδιο τον πυρήνα της ΚΜ. Ας περάσουμε όμως στο δεύτερο μέρος του διδάγματος: όταν διενεργηθούν τα σχετικά πειράματα, τα αποτελέσματά τους επιβεβαιώνουν τις προβλέψεις της ΚΜ και παραβιάζουν την (B). Ως εκ τούτου, η μη πληρότητα της ΚΜ δεν αποτελεί ελάττωμα της θεωρίας αλλά μάλλον αντανάκλαση του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί η Φύση στο κβαντικό επίπεδο.

6.15 ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΟΤΗΤΑ

Ας περάσουμε όμως τώρα από το αγκάθι της μη πληρότητας του διλήμματος EPR στο αγκάθι της μη τοπικότητας. Τα νέα είναι και ευχάριστα και δυσάρεστα. Για να τα κατανοήσουμε πρέπει να διακρίνουμε μεταξύ δύο εννοιών τοπικότητας, δηλαδή μεταξύ *ανεξαρτησίας διατάξεως* (setting independence) και *ανεξαρτησίας αποτελέσματος* (outcome independence) (βλέπε Jarrett 1984, του οποίου η ορολογία είναι ελαφρά διαφορετική από αυτήν που χρησιμοποιείται εδώ).

Η ανεξαρτησία διατάξεως απαιτεί η πιθανότητα ενός αποτελέσματος στη μια



Σχήμα 6.9 Η αρχή του κοινού αιτίου του Ράιχενμπαχ

πτέρυγα της πειραματικής διάταξης να είναι ανεξάρτητη από την επιλογή του μεγέθους που θα μετρηθεί στην άλλη πτέρυγα, ή ισοδύναμα, από τη συγκεκριμένη διάταξη της μετρητικής συσκευής στην άλλη πτέρυγα. Η ΚΜ βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με αυτή την απαίτηση, πράγμα που σημαίνει ότι οι ΚΜ συσχετίσεις μεταξύ των δύο σωματιδίων δεν επιτρέπουν τη διάδοση σημάτων από τη μία πτέρυγα στην άλλη μέσω της επέμβασης στη μία πτέρυγα της διάταξης και της παρατήρησης αλλαγών στα αποτελέσματα των στατιστικών υπολογισμών που αφορούν την άλλη πτέρυγα.

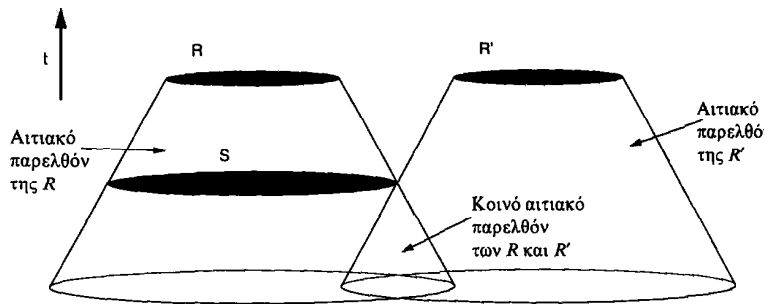
Η ανεξαρτησία αποτελέσματος απαιτεί το συγκεκριμένο αποτέλεσμα της μέτρησης στη μία πτέρυγα να μην επηρεάζει την πιθανότητα του αποτελέσματος που αφορά την άλλη πτέρυγα, δηλαδή, $Pr(A_i = a/B_j = b) = Pr(A_i = a)$ ή, ισοδύναμα, $Pr(A_i = a)\&(B_j = b)) = Pr(A_i = a) \times Pr(B_j = b)$. Αυτή η συνθήκη μπορεί να παραβιαστεί από τις κβαντομηχανικές πιθανότητες αφού, για παράδειγμα, στην αντισυσχετισμένη κατάσταση, η ΚΜ προβλέπει ότι $Pr(A_1 = +1/B_1 = +1) = 0 \neq Pr(A_1 = +1)$. Όμως αυτό από μόνο του δεν αποτελεί το άσχημο νέο. Σε τελευταία ανάλυση, οι συσχετίσεις μεταξύ απομακρυσμένων γεγονότων αποτελεί κοινό τόπο στην καθημερινή ζωή. Τα άσχημα νέα συνίστανται μάλλον στο ότι αυτές οι συσχετίσεις δεν μπορούν να εξηγηθούν σε συμφωνία με αυτό που ο Ράιχενμπαχ ονόμασε *αρχή του κοινού αιτίου* (principle of common cause (PCC)). Θεωρήστε τα συμβάντα X και Y που εκδηλώνονται, το ένα ως προς το άλλο, σε περιοχές τύπου-χώρου. Αν τα X και Y είναι από άποψη πιθανοτήτων ανεξάρτητα, δηλαδή αν

$Pr(X\&Y) \neq Pr(X) \times Pr(Y)$, τότε από την PCC απαιτείται να υπάρχει ένα συμβάν Z στο κοινό αιτιακό παρελθόν των X και Y (βλέπε Σχήμα 6.9) το οποίο να επιφέρει ανεξαρτησία στις υπό συνθήκη πιθανότητες, δηλαδή $Pr(X\&Y/Z) = Pr(X/Z) \times Pr(Y/Z)$· ισοδύναμα, το συμβάν Z αποκρύπτει από άποψη πιθανοτήτων τα X και Y μεταξύ τους, δηλαδή $Pr(X/Y\&Z) = Pr(X/Z)$ και $Pr(Y/X\&Z) = Pr(Y/Z)$. Αν εφαρμόσουμε αυτή την ιδέα στην παρούσα περίσταση, τα X και Y θα ήταν τα αποτελέσματα των μετρήσεων που διενεργούνται στις δύο πτέρυγες του πειράματος EPR κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα συμβάντα των μετρήσεων να είναι τύπου χώρου το ένα ως προς το άλλο, ενώ το Z θα ήταν κάποια συνθήκη λ που θα επικρατούσε στις πηγές των ζευγών των αντισυσχετισμένων σωματιδίων. Όμως, στην περίπτωση μιας τέλειας αντισυσχέτισης, η απαίτηση να ισχύει η σχέση $Pr((A_i = a)\&(B_j = b)/\lambda) = Pr(A_i = a/\lambda) \times Pr(B_j = b/\lambda)$ συνεπάγεται ότι τόσο η $Pr(A_i = a/\lambda)$ όσο και η $Pr(B_j = b/\lambda)$ είναι είτε 0 είτε 1. Ως εκ τούτου, η PCC μας οδηγεί αναγκαστικά στην κατάσταση που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Ακόμα και αν εγκαταλειφθεί η απαίτηση για τέλεια αντισυσχέτιση, μπορεί να αποδειχθεί ότι η PCC οδηγεί σε μια δεύτερη οικογένεια ανισοτήτων Μπελ, καθεμιά από τις οποίες είναι συνθετότερη από την (B) αλλά στο σύνολό τους παραβιάζονται επίσης από την κβαντομηχανική στατιστική. Έτσι, όπως η φύση αποφαίνεται αρνητικά ως προς τη δυνατότητα επέκτασης της ΚΜ σε μια «πλήρη» θεωρία, αποφαίνεται αρνητικά και για τη δυνατότητα επέκτασής σε μια θεωρία που να ικανοποιεί την PCC.

Όμως, πόσο άσχημα είναι τούτα τα άσχημα νέα; Ίσως όχι και τόσο άσχημα. Θυμηθείτε την κατάσταση που αντιμετωπίσαμε στον ντετερμινισμό. Στο πλαίσιο της θεωρίας πεδίου μπορεί ενδεχομένως να ενσωματωθεί ο ντετερμινισμός τοπικά, μέσω αυτού που ονομάστηκε *τοπικότητα Αϊνστάιν*. Αυτό σημαίνει ότι η κατάσταση σε μια περιοχή R πρέπει να καθορίζεται από την κατάσταση που αντιστοιχεί σε μια τομή S που περιέχεται στον κώνο φωτός του παρελθόντος της R. Κατά τη γενίκευση από την ντετερμινιστική συμπεριφορά στη στοχαστική περίπτωση η πλέον φυσική γενίκευση της αιτιότητας κατά Αϊνστάιν δεν συνίσταται στην απαίτηση να προστατεύονται οι πιθανότητες που αφορούν αποτελέσματα στην περιοχή R από τα αποτελέσματα της περιοχής R', η οποία είναι τύπου-χώρου σε σχέση με το R (βλέπε Σχήμα 6.10), μέσω συμβάντων του κοινού αιτιακού παρελθόντος τους. Αλλά αυτό που απαιτείται είναι οι πιθανότητες των αποτελεσμάτων στην περιοχή R να καθορίζονται από την κατάσταση της S. Αυτή η τελευταία απαίτηση αναμένεται να ικανοποιείται από μια σχετικιστική κβαντική θεωρία πεδίου (βλέπε Hellman 1982a).

6.16 ΚΜ ΚΑΙ ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΣ

Ίσως να έχει δημιουργηθεί η εντύπωση ότι αυτά που έχουν ήδη ειπωθεί είναι αρκετά για να υποσκάψουμε τον ντετερμινισμό στο πεδίο της κβαντικής μηχανι-



Σχήμα 6.10 Τοπικότητα κατά Αϊνστάιν

κής. Και αυτό γιατί μέσω των ανισοτήτων του Μπελ αποδείχθηκε ότι η απόπειρα να επιβάλουμε την υπόθεση ότι οι τιμές μπορούν να καθοριστούν ακριβώς στην ΚΜ και να εκλάβουμε τις ΚΜ πιθανότητες ως έκφραση της άγνοιάς μας για τις τιμές αυτές δεν συμβιβάζεται με τα πειραματικώς ελέγξιμα δεδομένα της κβαντικής στατιστικής. Κατά συνέπεια, ο ντετερμινισμός που συνεπάγεται τη δυνατότητα καθορισμού των τιμών δεν συμβιβάζεται επίσης με τα αποτελέσματα των πειραμάτων EPR και Μπελ.

Αυτό το τελευταίο βήμα, όμως, είναι μάλλον βιαστικό. Για να γίνει αντιληπτό το γιατί, θυμηθείτε τον κλασικό χώρο φάσεων που αναφέρθηκε στην Παράγραφο 6.4 και θεωρήστε τις κβαντικές παρατηρήσιμες ως ανάλογα των κλασικών παρατηρήσιμων μεγεθών που εκφράζονται, για παράδειγμα, με προτάσεις του τύπου «η μπίλια της ρουλέτας έπεσε στο 10 κόκκινο.» Ντετερμινισμός σημαίνει ότι για κάθε αρχική κατάσταση $\lambda_0 = \lambda(t_0)$, η κατάσταση $\lambda(t)$ σε οποιαδήποτε ύστερη χρονική στιγμή t είναι προσδιορισμένη με τρόπο μοναδικό· και βάσει της πληρότητας των καταστάσεων αν το πείραμα με τη ρουλέτα διενεργηθεί τη χρονική στιγμή t, η $\lambda(t)$ προσδιορίζει μια συγκεκριμένη τιμή για την εν λόγω παρατηρήσιμη – φέρ' ειπείν, +1 αν η μπίλια πέφτει πραγματικά στο 10 κόκκινο, και -1 διαφορετικά. Όμως, το είδος προσδιορισιμότητας που απαιτείται για την απόδειξη των ανισοτήτων του Μπελ είναι πολύ διαφορετικό· σε αυτή την περίπτωση, απαιτείται να αποδίδεται μια συγκεκριμένη τιμή στις παρατηρήσιμες για κάθε $\lambda \in \Lambda$, πράγμα που δεν γίνεται με άμεσο τρόπο στο κλασικό ανάλογο αφού, για κάποια ή ίσως και για όλα τα σημεία που βρίσκονται πάνω στη μοναδικά προσδιορισμένη τροχιά μέσω του λ_0, το πείραμα με τη ρουλέτα μπορεί και να μην πραγματοποιηθεί. Ωστόσο, μπορεί να υποτεθεί ότι είναι δυνατή μια έμμεση απόδοση τιμών αφού ο ντετερμινισμός μπορεί να υποδηλώνει το αληθές (ή το ψευδές ανάλογα με την περίπτωση) της πρότασης «Αν πραγματοποιηθεί το πείραμα με τη ρουλέτα τη χρονική στιγμή t, τότε το αποτέλεσμα θα είναι 10

κόκκινο.» Το να υποθέσουμε, όμως, σε αντίθεση με αυτό που πραγματικά συμβαίνει, ότι ο δίσκος της ρουλέτας περιστρέφεται τη χρονική στιγμή t είναι ισοδύναμο με το να υποθέσουμε ότι απομακρυνόμαστε από τη μοναδικά προσδιορισμένη τροχιά μέσω του λ_0 και πηγαίνουμε σε μια γειτονική τροχιά που ανταποκρίνεται στην πραγματοποίηση της αντιγεγονικής περιστροφής της ρουλέτας. Μπορεί όμως να υπάρχουν πολλές τέτοιες τροχιές που να αντιστοιχούν στην πραγματοποίηση της εν λόγω περιστροφής οι οποίες να βρίσκονται το ίδιο πλησίον της αρχικής, και σε κάποιες από αυτές να εμφανίζεται το αποτέλεσμα 10 κόκκινο ενώ σε άλλες όχι. Πραγματικά, η αστάθεια των κλασικών συστημάτων, της οποίας αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση τυχαιότητας και χάους στο μακροσκοπικό επίπεδο, φαίνεται να μη μας επιτρέπει να αποφύγουμε όλες αυτές τις επιπλοκές που συνδέονται με το αποτέλεσμα 10 κόκκινο. Στην αντιγεγονική λογική δεν υπάρχει καμία εγγύηση για το αληθές είτε της προτάσεως «Αν περιστραφεί ο τροχός της ρουλέτας, τότε το αποτέλεσμα θα είναι 10 κόκκινο», είτε της «Αν περιστραφεί ο τροχός της ρουλέτας, τότε το αποτέλεσμα δεν θα είναι 10 κόκκινο.» Το ίδιο μπορεί να ισχύει και για τις παρατηρήσιμες της κβαντομηχανικής ακόμα και αν υποτεθεί ότι υπάρχει κάποιος υποκείμενος ντετερμινιστικός μηχανισμός.

Υπάρχει ένας ακόμα, και μάλιστα περισσότερο εύλογος, τρόπος χρησιμοποίησης των αντιγεγονικών προτάσεων που επιφέρει την ήττα του ντετερμινισμού στον κβαντικό κόσμο. Υποθέστε ότι πραγματοποιείται ένα τεράστιο πλήθος επαναλήψεων του πειράματος EPR-Μπελ και ότι κατά τη διενέργεια της υπ' αριθμόν n επανάληψης η αριστερή συσκευή έχει ρυθμιστεί για τη μέτρηση, φέρ' ειπείν, του A_2, ενώ η συσκευή στα δεξιά για τη μέτρηση του B_1, και υποθέστε ότι σε αυτήν τη μέτρηση βρίσκεται ότι $A_2 = +1$. Η υπόθεση περί *αντιγεγονικής προσδιορισιμότητας* (counterfactual definiteness) υποστηρίζει ότι, αν η συσκευή στα δεξιά είχε ρυθμιστεί διαφορετικά (για τη μέτρηση, έστω, του B_2), τότε το αποτέλεσμα στα αριστερά θα ήταν και πάλι +1. Υπ' αυτήν την προϋπόθεση, μπορούμε να συναγάγουμε μια ακόμα μορφή ανισοτήτων Μπελ που εξακολουθούν να είναι αποδείξιμα ασυμβίβαστες με την κβαντομηχανική στατιστική. Από την άλλη, η υπόθεση περί αντιγεγονικής προσδιορισιμότητας δεν είναι καθόλου εύλογη αν ο κόσμος είναι στη βάση του στοχαστικός αφού, σε μια τέτοια περίπτωση, ακόμα και αν το πείραμα επαναλαμβανόταν κάτω από ταυτόσημες συνθήκες, δεν υπάρχει λόγος να αναμένουμε ότι τα αποτελέσματα θα είναι ταυτόσημα. Αλλά αν ο κόσμος είναι ντετερμινιστικός και, πιο συγκεκριμένα, αν ισχύει η αιτιότητα κατά Αϊνστάιν, έτσι ώστε το αποτέλεσμα στα αριστερά να καθορίζεται από τοπικές συνθήκες στα αριστερά, τότε η αντιγεγονική προσδιορισιμότητα φαίνεται περισσότερο εύλογη (Βλέπε Hellman 1982b). Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι ανισότητες Μπελ μπορούν να συνδυαστούν με την παρατήρηση πειραματικών παραβιάσεών τους για να διαμορφωθεί ένα ισχυρό επιχείρημα ενάντια στον ντετερμινισμό στον κβαντικό κόσμο.

6.17 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΣ, ΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΑ, ΚΑΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΤΗΣ ΒΟΥΛΗΣΕΩΣ

Ο τρόπος με τον οποίο συλλαμβάνεται η ιδέα περί ελευθερίας της βουλήσεως από τον κοινό νου εκφράζεται πολύ καθαρά στη ρήση του δόκτορος Τζόνσον, «Κύριε, *γνωρίζουμε* ότι η βούλησή μας είναι ελεύθερη, κι ότι ένα τέλος *υπάρχει* γι' αυτήν.» Ζητώντας, όμως, ταπεινά συγγνώμη από τον καλοσυνάτο δόκτορα, διαπιστώνουμε ότι δεν γνωρίζουμε τίποτα παρόμοιο. Αυτό που γνωρίζουμε είναι ότι σε κανονικές περιστάσεις οι ενέργειές μας συνοδεύονται από μια αίσθηση ελευθερίας – αισθανόμαστε ότι ελέγχουμε την κατάσταση, αισθανόμαστε ότι είμαστε κύριοι των πράξεών μας. Ωστόσο, πρέπει να αντιμετωπίσουμε το ενδεχόμενο της πλάνης. Η ανησυχία δε που συνδέεται με ένα τέτοιο ενδεχόμενο δεν είναι καθαρά ακαδημαϊκή, αφού η εφαρμογή ηθικών και νομικών κυρώσεων σε επιλήψιμες πράξεις συναρτάται, κατά γενική ομολογία, με το αν το υποκείμενο έδρασε ελεύθερα.

Η απόπειρα να ιδωθούν τα ηθικά υποκείμενα ως ρεύμα συμβάντων προσκρούει σε δυσκολίες σχετικές με το κατά πόσον αυτά τα ρεύματα κινούνται ντετερμινιστικά ή όχι. Μια μακρά παράδοση στη φιλοσοφία που έχει ονομαστεί *ασυμβιβαστότητα* (incopatibilism), ή *ισχυρός ντετερμινισμός*, υποστηρίζει ότι αν ισχύει πραγματικά ο ντετερμινισμός, τότε δεν υπάρχει ελευθερία βουλήσεως. Μια άλλη σεβαστή παράδοση που θα μπορούσε να ονομαστεί *υπερσυμβιβαστότητα* (supercombatibilism), ή *ισχυρή απροσδιοριστία*[6] υποστηρίζει όχι μόνο ότι ο ντετερμινισμός είναι συμβιβαστός με την ελευθερία της βουλήσεως, αλλά και ότι στην ουσία αποτελεί προαπαιτούμενο για την ελευθερία της βουλήσεως. Ή αλλιώς, για να διατηρήσουμε μια παραλληλία στη διατύπωση, αν ισχύει η απροσδιοριστία, τότε δεν υπάρχει ελευθερία βουλήσεως. Εφόσον όμως πρέπει να ισχύει είτε ο ντετερμινισμός είτε η απροσδιοριστία, η μόνη λύση που συμβιβάζεται και με τα δύο είναι η ανυπαρξία ελεύθερης βουλήσεως.

Οι υποστηρικτές της ασυμβιβαστότητας θεωρούν ότι αν κάποιο υποκείμενο δρούσε ελεύθερα, τότε πρέπει να είχε στη διάθεσή του γνήσιες εναλλακτικές λύσεις. Ο έλεγχος που συνήθως εφαρμόζεται για τη διαπίστωση του αν όντως υπήρχαν γνήσιες εναλλακτικές λύσεις είναι το «κατά πόσον θα μπορούσε να είχε πράξει διαφορετικά». Με τη συγκρότηση ενός αναδρομικού επιχειρήματος, οι υποστηρικτές της ασυμβιβαστότητας υποστηρίζουν ότι, αν επικρατεί γενικώς ο ντετερμινισμός, τότε το υποκείμενο δεν θα μπορούσε να είχε πράξει διαφορετικά. Για να αντιληφθούμε το επιχείρημα, ας υποθέσουμε ότι μετατοπίζουμε τις αιτιακές προκείμενες της εν λόγω πράξης σε κάποια χρονική στιγμή πριν από

---

[6] Η συνηθέστερη ορολογία ομιλεί για συμβιβαστότητα ή ασθενή ντετερμινισμό. Η άποψη που εδώ φέρει το όνομα ισχυρή ασυμβιβαστότητα υποστηρίζεται από τον Χόμπαρτ (Hobart 1966). Βλέπε και παρακάτω.

τη γέννηση του υποκειμένου. Η φυσική κατάσταση του σύμπαντος που αντιστοιχεί σε αυτήν τη χρονική στιγμή σε συνδυασμό με τους σχετικούς νόμους της φυσικής καθορίζουν τότε με μοναδικό τρόπο τη συγκεκριμένη πράξη (τουλάχιστον στο βαθμό που αυτή είναι προσδιορίσιμη με όρους της φυσικής). Όμως, εκείνη η προγενέστερη κατάσταση είναι βεβαίως πέραν της δυνατότητας ελέγχου του συγκεκριμένου υποκειμένου. Στα Θέματα προς Συζήτησιν, ο αναγνώστης καλείται να κατασκευάσει μια λεπτομερή εκδοχή ενός τέτοιου αναδρομικού επιχειρήματος. Επί του παρόντος, αρκεί να καταφύγουμε σε έναν χονδροειδή αλλά αρκετά αποτελεσματικό τρόπο για να καταστήσουμε σαφέστερη την άποψη περί ασυμβιβαστότητας. Ξεκινάμε από την ιδέα πως αυτό που παίζει τον σπουδαιότερο ρόλο στην ελευθερία είναι η δυνατότητα να πράξει κανείς διαφορετικά *υπό τις ίδιες περιστάσεις*. (Αν φοράω ζουρλομανδύα και άρα είμαι ανίκανος να παίξω τένις, τότε πολύ λίγο με παρηγορεί το να μου πουν ότι υπό άλλες περιστάσεις, δηλαδή αν δεν φορούσα ζουρλομανδύα, θα είχα τη δυνατότητα να παίξω τένις.) Συνεχίζουμε με την ιδέα ότι αν είχα τη δυνατότητα να πράξω το *X*, τότε πρέπει να υπάρχουν δυνατές περιστάσεις υπό τις οποίες όντως πράττω το *X*. Αν όμως στις περιστάσεις αυτές περιλαμβάνονται και οι φυσικές συνθήκες που προηγούνται της εν λόγω πράξης, τότε ο ντετερμινισμός συνεπάγεται ότι δεν υπάρχει καμιά φυσικώς δυνατή περίπτωση να είχα πράξει διαφορετικά από ό,τι πραγματικά έπραξα υπό εκείνες τις περιστάσεις και, ως εκ τούτου, υπό εκείνες τις περιστάσεις δεν μπορούσα να είχα πράξει διαφορετικά.

Από την άλλη πλευρά, οι οπαδοί της υπερσυμβιβαστότητας υποστηρίζουν ότι ο λόγος περί απροσδιορίστων (undetermined) πράξεων συνιστά απλώς λάθος διατύπωση – πρόκειται για κάτι που συμβαίνει στα υποκείμενα της δράσης, άρα για κάτι που αυτά κάνουν. Στην εκδοχή του Χόμπαρτ (Hobart 1966) διατυπώνεται ο ισχυρισμός ότι αν η συμπεριφορά του υποκειμένου δεν ήταν απροσδιόριστη, τότε «θα ήταν σαν να μπορούσαν τα πόδια του να στυλωθούν ξαφνικά και να τον πάνε εκεί όπου αυτός δεν ήθελε να πάει» (σελ. 70). Ίσως τούτο να μην ακούγεται ορθό, αφού φαίνεται ότι δεν έχουμε δυσκολία να διακρίνουμε περιπτώσεις όπου η δράση των υποκειμένων βρίσκεται σε συμφωνία με τις επιθυμίες τους από περιπτώσεις όπου ένα απότομο τίναγμα ή μια σύσπαση προκαλεί μια συμπεριφορά που δεν συμφωνεί με τις επιθυμίες τους. Ωστόσο, η θέση του Χόμπαρτ μας προκαλεί να συγκροτήσουμε μια περιγραφή της δράσης σε ένα πλαίσιο όπου κυβερνά η απροσδιοριστία. Κατ' αρχάς, δεν μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η Μαρία υπήρξε κυρία της πράξης της με την ισχυρή έννοια, ότι δηλαδή η επιλογή της ή η επιθυμία της σε συνδυασμό με τις επικρατούσες φυσικές συνθήκες καθόρισαν την πράξη της *A*. Γιατί, ό,τι ακριβώς κι αν σημαίνει αυτή η φράση, είναι μάλλον ασυμβίβαστη με το συμπέρασμα ότι, λόγω απροσδιοριστίας, υπό τις ίδιες ακριβώς περιστάσεις –της επιλογής και της επιθυμίας της συμπεριλαμβανομένων– η συμπεριφορά της μπορεί να μην περιλάμβανε την πράξη *A*. Εξακολουθεί να παραμένει ανοιχτή η δυνατότητα να προκλήθηκε η πράξη *A* από τις επιλογές και τις επιθυμίες της Μαρίας κατά τρόπο απροσδιόρι-

στο. Εδώ μπορούμε να προσφύγουμε σε δύο ιδέες: Πρώτον, ότι η απροσδιοριστία, όπως συμβαίνει και στην ΚΜ, δεν οδηγεί σε πλήρη εγκατάλειψη κάθε ιδέας περί νόμου, αλλά μπορεί να εκφραστεί μέσω πιθανοκρατικών νόμων· και δεύτερον, ότι οι επιλογές και οι επιθυμίες της Μαρίας αποτελούν μια πιθανοκρατικού τύπου αιτία της πράξης *Α* με την έννοια ότι αυτές αυξάνουν την πιθανότητα να εκδηλωθεί η πράξη *Α* σε συμφωνία με τους ισχύοντες πιθανοκρατικούς νόμους. Είναι, βέβαια, αμφίβολο κατά πόσο μια τέτοια πιθανοκρατική σύνδεση είναι αρκετά ισχυρή για να υποβαστάξει μια επαρκώς πλούσια έννοια δράσης. Αν οι πιθανοκρατικοί νόμοι που εμπλέκονται είναι της ίδιας υφής με αυτούς της ΚΜ, τότε, δεδομένων όλων των λεπτομερειών που υπεισέρχονται σε μια συγκεκριμένη περίσταση –των επιλογών και των επιθυμιών της Μαρίας συμπεριλαμβανομένων– εξακολουθεί να αποτελεί ζήτημα τύχης το ότι στη συμπεριφορά της συμπεριλήφθηκε και η πράξη *Α*. Οι επιλογές της και οι επιθυμίες της δεν αποτελούν αίτια της πράξης *Α* με την έννοια που θα μπορούσε να βαρύνει σε κάποιο δικαστήριο ώστε να καταλογιστεί η σχετική ευθύνη: δηλαδή, με την έννοια ότι αν δεν υπήρχαν οι επιθυμίες της και οι επιλογές της, δεν θα είχε λάβει χώρα η πράξη της *Α*. (Αυτό επισημάνθηκε από τον Άρθουρ Φάιν (σε εργασία του που πρόκειται να δημοσιευθεί). Βλέπε επίσης Nozick 1981 για μιαν απόπειρα περιγραφής επιλογών που στηρίζεται στην απροσδιοριστία.)

Σε μιαν απελπισμένη προσπάθεια να διασώσει τη δράση από τα χέρια των οπαδών της ασυμβιβαστότητας, ο Τσίσολμ (Chisholm 1982) προτείνει να απομακρύνουμε το υποκείμενο από τον ρου των γεγονότων του φυσικού κόσμου. Οι υποστηρικτές της υπερσυμβιβαστότητας υπερφαλαγγίζονται επίσης με αυτή την κίνηση διότι, σύμφωνα με τον Τσίσολμ, το υποκείμενο καθορίζει ή επιφέρει μια δράση με τρόπο αδύνατο να μεταφραστεί με όρους συμβάντων που καθορίζουν ή επιδρούν αιτιακά πάνω σε άλλα συμβάντα.[7] Το τίμημα αυτής της διάσωσης είναι η απομάκρυνση της ελεύθερης δράσης των ανθρώπων από την αρμοδιότητα της επιστήμης, αφού η επιστήμη κωδικοποιεί τα αποτελέσματά της με τη μορφή νόμων, ντετερμινιστικών ή όχι, οι οποίοι διατυπώνονται με βάση διασυνδέσεις μεταξύ συμβάντων που εκδηλώνονται σε συγκεκριμένο τόπο και χρόνο.

Φαίνεται, λοιπόν, ότι η απόπειρα να τοποθετήσουμε το ανθρώπινο υποκείμενο μέσα στη φύση είτε αποτυγχάνει με έναν τρόπο που αντανακλά έναν περιορισμό ως προς αυτά που μπορεί να μας πει η επιστήμη για τους εαυτούς μας, είτε επιτυγχάνει με κόστος την υπονόμευση της αγαπημένης μας ιδέας ότι είμαστε ελεύθεροι και αυτόνομοι άνθρωποι.

---

[7] Το πνεύμα της προσπάθειας του Τσίσολμ (Chisholm 1982) αποτυπώνεται στη ρήση του Αριστοτέλη ότι «Ένα ραβδί κινεί μια πέτρα, κινούμενο από ένα χέρι που κινείται από έναν άνθρωπο.»

ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΣΥΖΗΤΗΣΙΝ

1. Σε αυτό το κεφάλαιο δεν έχει δοθεί κανένας τελικός ορισμός του ντετερμινισμού, ούτε σχετικά με τις θεωρίες, ούτε σχετικά με φυσικά συστήματα. Αποκαταστήστε αυτό το ελάττωμα δίδοντας μόνοι σας έναν ορισμό που θα τον θεωρούσατε πιο γόνιμο.
2. Υποθέστε ότι κάθε αληθής και ενδεχομενική καθολική γενίκευση που δεν αναφέρεται σε επιμέρους ατομικότητες ή σε συγκεκριμένες χωροχρονικές θέσεις μπορεί να θεωρηθεί νόμος της φύσης. Σε μια τέτοια περίπτωση το δόγμα του ντετερμινισμού γίνεται τετριμμένο. Αναπτύξτε τις απόψεις σας σχετικά.
3. Θεωρήστε μια περίπτωση κατά την οποία Νευτώνεια σωματίδια διαφεύγουν στο άπειρο εντός πεπερασμένου χρόνου. (Σχεδιάστε τη χωροχρονική ιστορία ενός σωματιδίου που διαφεύγει με αυτόν τον τρόπο. Πώς μπορεί να φτάσει στο άπειρο χωρίς ποτέ να αποκτά άπειρη ταχύτητα;) Φαίνεται ότι σε μια τέτοια περίπτωση η μάζα και το πλήθος των σωματιδίων δεν διατηρούνται. Υπάρχει περίπτωση αυτή η παραβίαση των αρχών διατήρησης να δείχνει ότι αυτό το σενάριο δεν αποτελεί φυσικώς πραγματοποιήσιμη δυνατότητα;
4. Είναι δυνατή μια ντετερμινιστική πρόβλεψη στο χωρόχρονο Μινκόβκσι, δηλαδή στο πλαίσιο της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας; (α) Ορίστε το *πεδίο ντετερμινιστικής πρόβλεψης* ΝΠ(R) για μια περιοχή R του χωρόχρονου Μινκόβσκι που συνίσταται από όλα εκείνα τα σημεία τα οποία (i) δεν βρίσκονται εντός του $C^-(R)$ αλλά που (ii) βρίσκονται εντός του $D^+(C^-(R))$. Εδώ η περιοχή $C^-(R)$ (το αιτιακό παρελθόν του R) συνίσταται από όλα εκείνα τα σημεία εντός του κώνου φωτός της R που παριστάνει το παρελθόν, και η περιοχή $D^+(X)$ (το *μελλοντικό πεδίο εξάρτησης* του X) συνίσταται από όλα εκείνα τα σημεία p που είναι τέτοια ώστε κάθε αιτιακή καμπύλη που περνά από κάποιο από αυτά να μπορεί να επεκτείνεται και προς την κατεύθυνση του παρελθόντος έως ότου συναντήσει το X. Δείξτε ότι για τυπικές περιοχές R του χωρόχρονου Μινκόβσκι η ΝΠ(R) είναι κενή. (β) Δικαιολογήστε τον ορισμό που δόθηκε στην (α). (γ) Δείχνουν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα (α) και (β) ότι η ντετερμινιστική πρόβλεψη είναι αδύνατη στη θεωρία της σχετικότητας;
5. (Εναλλακτική συναγωγή των ανισοτήτων Μπελ.) Έστω ότι

$$\mathcal{A}_i^+ \equiv \{\lambda \in \Lambda: A_i = +1\}$$

κλπ.

$$\mathcal{B}_i^+ \equiv \{\lambda \in \Lambda: B_i = +1\}$$

Σε αυτόν το συμβολισμό, η συνθήκη αντισυσχέτισης λέει ότι

$$\mathcal{A}_i^- \cap \mathcal{B}_i^- = \varnothing = \mathcal{A}_i^+ \cap \mathcal{B}_i^+$$

Δείξτε ότι

$$\mathcal{A}_i^- \cup \mathcal{B}_i^- = \Lambda = \mathcal{A}_i^+ \cup \mathcal{B}_i^+$$

και ότι

$$\mathcal{A}_1^+ \cap \mathcal{B}_2^+ = (\mathcal{A}_1^+ \cap \mathcal{B}_2^+ \cap \mathcal{A}_3^+) \cup (\mathcal{A}_1^+ \cap \mathcal{B}_2^+ \cap \mathcal{B}_3^+).$$

Χρησιμοποιήστε αυτά τα αποτελέσματα για να αποδείξετε τη σχέση

$$\Pr((A_1 = +1)\&(B_2 = +1)) \leq \Pr((A_3 = +1)\&(B_2 = +1)) + \Pr((A_1 = +1)\&(B_3 = +1)).$$

6. Εκτιμήστε την ακόλουθη απόπειρα κατάδειξης ότι ο ντετερμινισμός είναι ασυμβίβαστος με την ελευθερία της βουλήσεως: μια αναγκαία συνθήκη για να μπορούμε να πούμε ότι ένα υποκείμενο έδρασε ελεύθερα είναι το να μπορούσε να έχει πράξει διαφορετικά· το νόημα του ντετερμινισμού όμως είναι ότι κανένας δεν θα μπορούσε να είχε πράξει διαφορετικά από ό,τι τελικά έπραξε στην πραγματικότητα. Για την εδραίωση αυτού του δεύτερου ισχυρισμού, θεωρήστε το ακόλουθο επιχείρημα που οφείλεται στον Πήτερ φαν Ινβάγκεν (Peter van Inwagen, 1983). Συμβολίστε με L όλους τους νόμους της φυσικής και με P_0 και P_1 τις προτάσεις που εκφράζουν την κατάσταση του σύμπαντος κατά τις χρονικές στιγμές t_0 και t_1 αντίστοιχα. Επιλέξτε τη χρονική στιγμή t_0 να αντιστοιχεί σε μια χρονική στιγμή πριν γεννηθεί η Άννα. Αν η Άννα όντως δεν ύψωσε το χέρι της τη χρονική στιγμή t_1, τότε, αν ισχύει ο ντετερμινισμός, η Άννα αποκλείεται να ήταν σε θέση να υψώσει το χέρι της τη χρονική στιγμή t_1 επειδή:
   α. Ντετερμινισμός σημαίνει ότι από $P_0\&L$ συνεπάγεται P_1.
   β. Αν η Άννα είχε υψώσει το χέρι της τη χρονική στιγμή t_1, αυτό θα σήμαινε ότι η P_1 θα ήταν ψευδής.
   γ. Αν η (β) είναι αληθής, τότε αν η Άννα μπορούσε να υψώσει το χέρι της τη χρονική στιγμή t_1, η Άννα θα μπορούσε να καταστήσει την P_1 ψευδή.
   δ. Αν η Άννα μπορούσε να καταστήσει ψευδή την P_1, και αν η $P_0\&L$ συνεπάγεται την P_1, τότε η Άννα μπορούσε να καταστήσει ψευδή την $P_0\&L$.
   ε. Αν η Άννα μπορούσε να καταστήσει ψευδή την $P_0\&L$, τότε είτε η Άννα μπορούσε να καταστήσει ψευδή την P_0 είτε η Άννα μπορούσε να καταστήσει ψευδή την L.
   στ. Όμως, τη χρονική στιγμή t_1 η Άννα ήταν αδύνατο να καταστήσει ψευδή την P_0, αφού η κατάσταση του σύμπαντος πριν γεννηθεί η Άννα είναι πέραν κάθε δυνατότητας ελέγχου από μέρους της.
   ζ. Κατά συνέπεια, η Άννα δεν μπορούσε να έχει υψώσει το χέρι της τη χρονική στιγμή t_1.
7. Στο θεώρημα του Μπελ γίνεται χρήση πιθανοτικών ανισοτήτων για να καταδειχθεί ότι οι προϋποθέσεις που έθεσαν οι EPR είναι ασυμβίβαστες με την ΚΜ. Μια νέα απόδειξη στην οποία δεν εμφανίζονται αυτές οι ανισότητες έχει δοθεί από το D.M. Greengberger et al. «Bell's theorem without in-

equalities» *American Journal of Physics* 58 (1990): 1131-1142. Περιγράψτε εν περιλήψει τα βασικά στάδια της απόδειξης.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

EARMAN, JOHN (1986), *A Primer on Determinism*. Dordrecht: Reidel. Ανατρέξτε σε αυτό το κείμενο για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τον ντετερμινισμό στην κλασική και τη σχετικιστική φυσική.

HUGHES, R. I. G. (1989), *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics*. Cambidge, MA: Harvard University Press. Ευκολοδιάβαστη εισαγωγή στη κβαντομηχανική και τα προβλήματα θεμελίωσης.

CUSHING, JAMES T. και ERWIN McMILLAN (επιμ.) (1989), *Philosophical Consequences of Quantum Theory: Reflections on Bell's Theorem*. Notre Dame: University of Notre Dame Press. Εξετάζονται οι ανισότητες του Μπελ και οι συνέπειές τους.

BEROFSKY, BERNARD (επιμ.) (1966), *Free Will and Determinism*. New York: Harper & Row.

WATSON, GARY (επιμ.) (1982), *Free Will*. Oxford: Oxford University Press.
Δυο έξοχες συλλογές άρθρων πάνω στο πρόβλημα της σχέσης ντετερμινισμού και ελευθερίας της βουλήσεως.

Παράρτημα: Μπορεί να Θεωρηθεί Πλήρης η Κβαντομηχανική Περιγραφή της Πραγματικότητας;*

Αλβέρτος Αϊνστάιν, Μπόρις Ποντόλσκυ και Νέιθαν Ρόουζεν

Σε μια πλήρη θεωρία υπάρχει ένα στοιχείο που αντιστοιχεί σε κάθε στοιχείο της πραγματικότητας. Ικανή συνθήκη για την πραγματικότητα ενός φυσικού μεγέθους αποτελεί η δυνατότητα πρόβλεψής του με απόλυτη βεβαιότητα χωρίς να διαταραχθεί το σύστημα. Όταν στην κβαντική μηχανική δύο φυσικά μεγέθη περιγράφονται από δύο μη αντιμεταθετούς τελεστές, η γνώση του ενός αποκλείει τη γνώση του άλλου. Τότε, είτε (1) η περιγραφή της πραγματικότητας που παρέχεται από την κυματοσυνάρτηση στο πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής δεν είναι πλήρης, είτε (2) αυτά τα δύο φυσικά μεγέθη δεν απολαμβάνουν ταυτόχρονης

* Για πρώτη φορά εκδόθηκε στο περιοδικό *Physical Review*, 47, 777-80 (1935). Τα εκδοτικά δικαιώματα ανήκουν στην American Physical Society. Η άδεια για την παρούσα ανατύπωση παραχωρήθηκε από τους ακόλουθους φορείς: The Albert Einstein Archives, The Hebrew University of Jerusalem, τους εκδότες του *Physical Review*, και τους εκδότες των επιστημονικών εργασιών του Αϊνστάιν από το Boston University.

πραγματικότητας. Η θεώρηση του προβλήματος της πραγματοποίησης προβλέψεων που αφορούν ένα σύστημα, και βασίζονται σε μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί επί ενός άλλου συστήματος που είχε αλληλεπιδράσει προηγουμένως με το πρώτο, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι αν η πρόταση (1) είναι ψευδής, τότε και η (2) θα είναι επίσης ψευδής. Οδηγούμαστε έτσι στο συμπέρασμα ότι η περιγραφή της πραγματικότητας, όπως αυτή παρέχεται από την κυματοσυνάρτηση, δεν είναι πλήρης.

1.

Οποιαδήποτε σοβαρή θεώρηση μιας φυσικής θεωρίας πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν της τη διάκριση μεταξύ αντικειμενικής πραγματικότητας, που είναι ανεξάρτητη από οποιαδήποτε θεωρία, και των εννοιών της φυσικής με βάση τις οποίες δουλεύει η θεωρία. Αυτές οι έννοιες αποβλέπουν σε μιαν αντιστοίχιση προς την αντικειμενική πραγματικότητα, και με βάση αυτές ακριβώς τις έννοιες παριστάνουμε στους εαυτούς μας την πραγματικότητα.

Σε μια προσπάθεια να κρίνουμε την επιτυχία μιας φυσικής θεωρίας, μπορούμε να θέσουμε στους εαυτούς μας τα εξής δύο ερωτήματα: (1) «Είναι η θεωρία ορθή;», και (2) «Είναι πλήρης η περιγραφή που μας παρέχει η θεωρία;» Μόνον όταν οι απαντήσεις είναι θετικές και στα δύο ερωτήματα που θέσαμε, μπορούμε να θεωρήσουμε ικανοποιητικές τις έννοιες της θεωρίας. Η ορθότητα της θεωρίας κρίνεται στη βάση του βαθμού συμφωνίας μεταξύ των συμπερασμάτων της θεωρίας και της ανθρώπινης εμπειρίας. Αυτή η εμπειρία, η οποία μας επιτρέπει να συναγάγουμε συμπεράσματα για την πραγματικότητα, στη φυσική παίρνει τη μορφή του πειράματος και της μέτρησης. Εδώ επιθυμούμε να διερευνήσουμε το δεύτερο ερώτημα όπως αυτό εφαρμόζεται στην περίπτωση της κβαντικής μηχανικής.

Οποιοδήποτε και αν είναι το νόημα που μπορεί να αποδοθεί στον όρο *πλήρης*, η ακόλουθη απαίτηση για να είναι μια θεωρία πλήρης φαίνεται να είναι αναγκαία: *κάθε στοιχείο της φυσικής πραγματικότητας πρέπει να έχει το αντίστοιχό του στη φυσική θεωρία.* Θα ονομάσουμε αυτή την απαίτηση συνθήκη πληρότητας. Το δεύτερο ερώτημα μπορεί να απαντηθεί εύκολα από τη στιγμή που θα είμαστε σε θέση να αποφασίσουμε ποια είναι τα στοιχεία της φυσικής πραγματικότητας.

Τα στοιχεία της φυσικής πραγματικότητας δεν είναι δυνατό να καθοριστούν με *a priori* φιλοσοφικούς στοχασμούς, αλλά πρέπει να βρεθούν με προσφυγή στα αποτελέσματα πειραμάτων και μετρήσεων. Ωστόσο, για τους παρόντες σκοπούς μας δεν είναι απαραίτητο να δοθεί ένας περιεκτικός ορισμός της πραγματικότητας. Μπορούμε να ικανοποιηθούμε με το ακόλουθο κριτήριο, το οποίο και θεωρούμε εύλογο. Αν, χωρίς να διαταραχθεί καθ' οιονδήποτε τρόπο ένα σύστημα, μπορούμε να προβλέψουμε με απόλυτη βεβαιότητα (δηλαδή, με πιθανότητα ίση με τη μονάδα) την τιμή ενός φυσικού μεγέθους, τότε υπάρχει ένα στοιχείο φυσικής πραγματικότητας που αντιστοιχεί σε αυτό το φυσικό μέγεθος. Θεωρούμε ότι αυτό το κριτήριο, αν και απέχει πολύ από το να εξαντλεί όλους τους δυνατούς

τρόπους αναγνώρισης της φυσικής πραγματικότητας, μας παρέχει τουλάχιστον έναν τέτοιο τρόπο όποτε συμβαίνει να πληρούνται οι συνθήκες που θέσαμε. Θεωρημένο όχι ως αναγκαία, αλλά απλώς ως ικανή συνθήκη πραγματικότητας, αυτό το κριτήριο βρίσκεται σε συμφωνία τόσο με τις κλασικές όσο και με τις κβαντομηχανικές ιδέες περί πραγματικότητας.

Για να επεξηγήσουμε τις ιδέες στις οποίες αναφερθήκαμε, ας θεωρήσουμε την κβαντομηχανική περιγραφή της συμπεριφοράς ενός σωματιδίου που έχει ένα βαθμό ελευθερίας. Η θεμελιακή έννοια της θεωρίας είναι η έννοια της *κατάστασης*, η οποία υποτίθεται ότι προσδιορίζεται πλήρως από την κυματοσυνάρτηση ψ, που αποτελεί συνάρτηση των μεταβλητών που επελέγησαν για την περιγραφή της συμπεριφοράς του σωματιδίου. Σε κάθε φυσικώς παρατηρήσιμο μέγεθος A αντιστοιχεί ένας τελεστής που μπορεί να συμβολιστεί με το ίδιο γράμμα.

Αν η συνάρτηση ψ αποτελεί ιδιοσυνάρτηση του τελεστή **A**, δηλαδή, αν

$$\psi' = A\psi = a\psi, \tag{1}$$

όπου a είναι ένας αριθμός, τότε το φυσικό μέγεθος A έχει με βεβαιότητα την τιμή a οποτεδήποτε το σωματίδιο βρίσκεται στην κατάσταση που περιγράφεται από την ψ. Σύμφωνα με το κριτήριο πραγματικότητας που θέσαμε, για ένα σωματίδιο που βρίσκεται στην κατάσταση που περιγράφεται από την ψ για την οποία ισχύει η εξίσωση (1), υπάρχει ένα στοιχείο πραγματικότητας που αντιστοιχεί στο φυσικό μέγεθος A. Έστω, για παράδειγμα, ότι

$$\psi = e^{(2\pi i/h)p_0 x}, \tag{2}$$

όπου με h συμβολίζεται η σταθερά του Πλανκ, με p_0 κάποιος σταθερός αριθμός και με x η ανεξάρτητη μεταβλητή. Αφού ο τελεστής που αντιστοιχεί στην ορμή δίδεται από τη σχέση

$$p = (h/2\pi i)\partial/\partial x, \tag{3}$$

φτάνουμε στη σχέση

$$\psi' = p\psi = (h/2\pi i)\partial\psi/\partial x = p_0\psi. \tag{4}$$

Έτσι, στην κατάσταση που περιγράφεται από την εξίσωση (2), η ορμή έχει με βεβαιότητα την τιμή p_0. Ως εκ τούτου, έχει νόημα να πούμε ότι η ορμή του σωματιδίου στην κατάσταση που περιγράφεται από την εξίσωση (2) είναι πραγματική.

Από την άλλη πλευρά, αν η εξίσωση (1) δεν ισχύει, τότε δεν μπορούμε να μιλάμε για το φυσικό μέγεθος A ως εάν αυτό να είχε μια συγκεκριμένη τιμή. Για παράδειγμα, αυτό συμβαίνει με τη συντεταγμένη θέσης του σωματιδίου. Ο τελεστής που αντιστοιχεί σε αυτήν, έστω q, είναι ο τελεστής του πολλαπλασιασμού με την ανεξάρτητη μεταβλητή. Έτσι

$$q\psi = x\psi \neq a\psi. \qquad (5)$$

Σύμφωνα με την κβαντική μηχανική, το μόνο που μπορούμε να πούμε είναι ότι η σχετική πιθανότητα να βρεθεί το αποτέλεσμα μιας μέτρησης της θέσης του σωματιδίου μεταξύ a και b είναι

$$P(a, b) = \int_a^b \bar{\psi}\psi dx = \int_a^b dx = b - a \qquad (6)$$

Αφού αυτή η πιθανότητα είναι ανεξάρτητη από το a και εξαρτάται μόνο από τη διαφορά b - a, διαπιστώνουμε ότι όλες οι τιμές των συντεταγμένων θέσης είναι εξίσου πιθανές.

Ως εκ τούτου, είναι αδύνατη η πρόβλεψη μιας σαφώς καθορισμένης τιμής για τη συντεταγμένη θέσης ενός σωματιδίου που βρίσκεται στην κατάσταση που περιγράφεται από την εξίσωση (2), αλλά μια τέτοια τιμή μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσω μιας άμεσης μέτρησης. Μια τέτοια μέτρηση όμως διαταράσσει το σωματίδιο μεταβάλλοντας έτσι την κατάστασή του. Μετά τον προσδιορισμό της συντεταγμένης, το σωματίδιο δεν θα βρίσκεται πλέον στην κατάσταση που περιγράφεται από την εξίσωση (2). Το συμπέρασμα που συνάγεται συνήθως από αυτό το γεγονός στο πλαίσιο της κβαντικής μηχανικής είναι ότι, *όταν η ορμή ενός σωματιδίου είναι γνωστή, τότε η θέση του δεν απολαμβάνει φυσικής πραγματικότητας.*

Γενικότερα, στην κβαντική μηχανική αποδεικνύεται ότι αν δεν αντιμετατίθενται οι τελεστές που αντιστοιχούν σε δύο φυσικά μεγέθη A και B, δηλαδή αν $AB \neq BA$, τότε η ακριβής γνώση του ενός εξ αυτών αποκλείει την ακριβή γνώση του άλλου. Επιπλέον, κάθε απόπειρα για τον σαφή προσδιορισμό του δεύτερου, μέσω πειράματος, θα έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της κατάστασης του συστήματος κατά τρόπον ώστε να καταστρέφεται η γνώση που διαθέταμε για το πρώτο.

Από αυτό έπεται ότι είτε (1) *η κβαντομηχανική περιγραφή της πραγματικότητας που παρέχεται από την κυματοσυνάρτηση δεν είναι πλήρης, είτε* (2) *όταν δεν αντιμετατίθενται οι τελεστές που αντιστοιχούν σε δύο φυσικά μεγέθη, τότε αυτά τα μεγέθη δεν μπορούν να είναι ταυτοχρόνως πραγματικά.* Γιατί αν ήταν και τα δυο ταυτοχρόνως πραγματικά –και, ως εκ τούτου, με σαφώς προσδιορισμένες τιμές– τότε, σύμφωνα με τη συνθήκη πληρότητας, αυτές οι τιμές θα εισέρχονταν στην πλήρη περιγραφή. Αν, λοιπόν, η κυματοσυνάρτηση παρείχε μια τέτοια πλήρη περιγραφή της πραγματικότητας, τότε θα περιείχε αυτές τις τιμές οι οποίες θα ήταν έτσι προβλέψιμες. Αφού δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο, αυτό που μας απομένει είναι οι εναλλακτικές λύσεις που διατυπώθηκαν παραπάνω.

Στην κβαντική μηχανική θεωρείται συνήθως δεδομένο ότι η κυματοσυνάρτηση παρέχει όντως μια πλήρη περιγραφή της φυσικής πραγματικότητας του συστήματος που βρίσκεται στην κατάσταση που αντιστοιχεί στην κυματοσυνάρτηση. Εκ πρώτης όψεως, η εν λόγω θεώρηση φαίνεται απολύτως εύλογη αφού η πληροφορία που παρέχεται από μια κυματοσυνάρτηση φαίνεται να αντιστοιχεί επακριβώς σε ό,τι είναι δυνατό να μετρηθεί χωρίς να διαταραχθεί η κατάσταση

του συστήματος. Ωστόσο, θα δείξουμε ότι αυτή η θεώρηση, σε συνδυασμό με το κριτήριο πραγματικότητας που παρατέθηκε, οδηγεί σε αντίφαση.

2.

Για το σκοπό αυτό, ας υποθέσουμε ότι διαθέτουμε δύο συστήματα I και II, τα οποία αφήνουμε να αλληλεπιδράσουν από τη χρονική στιγμή $t = 0$ έως τη χρονική στιγμή $t = T$, μετά την οποία υποθέτουμε ότι δεν υπάρχει πλέον αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο μερών. Υποθέτουμε, επιπλέον, ότι οι καταστάσεις των δύο συστημάτων πριν από τη χρονική στιγμή $t = 0$ είναι γνωστές. Μπορούμε τότε, με τη βοήθεια της εξίσωσης Σρέντινγκερ, να υπολογίσουμε την κατάσταση του συνδυασμένου συστήματος I+II σε οποιαδήποτε μεταγενέστερη στιγμή, και πιο συγκεκριμένα, για κάθε $t > T$. Ας ονομάσουμε ψ την αντίστοιχη κυματοσυνάρτηση. Είναι αδύνατο, ωστόσο, να υπολογίσουμε την κατάσταση στην οποία περιέρχεται το καθένα σύστημα χωριστά μετά την αλληλεπίδραση. Αυτό, σύμφωνα με την κβαντική μηχανική, μπορεί να γίνει μόνο με τη βοήθεια περαιτέρω μετρήσεων, δηλαδή μέσω μιας διαδικασίας που είναι γνωστή με το όνομα *αναγωγή της κυματοδέσμης*. Ας ασχοληθούμε με τα βασικά στοιχεία αυτής της διαδικασίας.

Έστω ότι οι a_1, a_2, a_3, ... αποτελούν τις ιδιοτιμές κάποιου φυσικού μεγέθους A που προσιδιάζει στο σύστημα I, και οι $u_1(x_1)$, $u_2(x_1)$, $u_3(x_1)$, ... τις αντίστοιχες ιδιοσυναρτήσεις, όπου με x_1 συμβολίζονται οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του πρώτου συστήματος. Τότε η ψ, θεωρημένη ως συνάρτηση των x_1, μπορεί να εκφραστεί με τη μορφή

$$\Psi(x_1, x_2) = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(x_2) u_n(x_1), \qquad (7)$$

όπου με x_2 συμβολίζονται οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του δεύτερου συστήματος. Η παράσταση $\psi_n(x_2)$ πρέπει να εκληφθεί απλώς ως συντομογραφία των συντελεστών που προκύπτουν από το ανάπτυγμα της ψ στη σειρά των ορθογωνίων συναρτήσεων $u_n(x_1)$. Υποθέστε τώρα ότι το μέγεθος A μετράται και βρίσκεται ότι έχει την τιμή a_k. Συνάγεται έτσι το συμπέρασμα ότι, μετά τη μέτρηση, το πρώτο σύστημα αφήνεται σε μια κατάσταση που περιγράφεται από την κυματοσυνάρτηση $u_k(x_1)$, και ότι το δεύτερο σύστημα αφήνεται σε μια κατάσταση που περιγράφεται από την κυματοσυνάρτηση $\psi_k(x_2)$. Αυτή είναι η διαδικασία αναγωγής της κυματοδέσμης. Η κυματοδέσμη που αποτελείτο από την άπειρη σειρά (7) ανήχθη στον μοναδικό όρο $\psi_k(x_2)u_k(x_1)$.

Το σύνολο των συναρτήσεων $u_n(x_1)$ καθορίζεται από την επιλογή του φυσικού μεγέθους A. Αν, αντί γι' αυτό, είχαμε επιλέξει το μέγεθος B, στο οποίο θα αντιστοιχούσαν οι ιδιοτιμές b_1, b_2, b_3, ... και οι ιδιοσυναρτήσεις $v_1(x_1)$, $v_2(x_1)$, $v_3(x_1)$, ..., τότε, αντί για την εξίσωση (7), θα είχαμε την εξίσωση

$$\Psi(x_1, x_2) = \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_s(x_2) \nu_s(x_1), \tag{8}$$

στην οποία συντελεστές θα ήταν τα φ_s. Σε αυτή την περίπτωση, αν είχε μετρηθεί το μέγεθος B και είχε βρεθεί να έχει την τιμή b_r, θα βγάζαμε το συμπέρασμα ότι μετά τη μέτρηση το πρώτο σύστημα θα είχε αφεθεί στην κατάσταση που θα περιγραφόταν από την παράσταση $\nu_r(x_1)$ και ότι το δεύτερο σύστημα θα είχε αφεθεί στην κατάσταση που θα δινόταν από την παράσταση $\varphi_r(x_2)$.

Διαπιστώνουμε, άρα, ότι ως συνέπεια δύο διαφορετικών μετρήσεων που διενεργούνται επί του πρώτου συστήματος, το δεύτερο σύστημα μπορεί να βρεθεί σε καταστάσεις που περιγράφονται από δύο διαφορετικές κυματοσυναρτήσεις. Από την άλλη πλευρά, αφού τη στιγμή της μέτρησης τα δύο συστήματα δεν αλληλεπιδρούν πλέον, είναι αδύνατο να επέλθει στο δεύτερο σύστημα κάποια πραγματική μεταβολή ως συνέπεια της οποιασδήποτε ενέργειας που μπορεί να επιτελεσθεί στο πρώτο σύστημα. Φυσικά, αυτό αποτελεί απλώς έκφραση του τι εννοείται όταν γίνεται λόγος περί απουσίας αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο συστημάτων. Κατά συνέπεια, *είναι δυνατό να αποδοθούν δύο διαφορετικές κυματοσυναρτήσεις* (στο παράδειγμά μας πρόκειται για τις ψ_k και φ_r) *στην ίδια πραγματικότητα* (στο δεύτερο σύστημα μετά την αλληλεπίδρασή του με το πρώτο).

Υπάρχει, τώρα, περίπτωση να είναι οι δύο κυματοσυναρτήσεις ψ_k και φ_r ιδιοσυναρτήσεις δύο μη αντιμεταθετών τελεστών που αντιστοιχούν σε δύο φυσικά μεγέθη P και Q. Το ότι κάτι τέτοιο μπορεί κάλλιστα να συμβεί γίνεται καλύτερα αντιληπτό με ένα παράδειγμα. Ας υποθέσουμε ότι τα δύο συστήματα είναι δύο σωματίδια, και ότι

$$\Psi(x_1, x_2) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{(2\pi i/h)(x_1 - x_2 + x_0)p} \, \mathrm{d}p, \tag{9}$$

όπου x_0 είναι κάποια σταθερά. Έστω ότι με A συμβολίζεται η ορμή του πρώτου σωματιδίου· τότε, όπως διαπιστώσαμε στην εξίσωση (4), οι ιδοσυναρτήσεις του θα δίνονται από τη σχέση

$$u_p(x_1) = e^{(2\pi i/h)px_1} \tag{10}$$

που αντιστοιχούν στην ιδιοτιμή p. Εφόσον σε τούτη την περίπτωση πρόκειται περί συνεχούς φάσματος, η εξίσωση (7) γράφεται τώρα με τη μορφή

$$\Psi(x_1, x_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_p(x_2) u_p(x_1) dp, \tag{11}$$

όπου

$$\psi_p(x_2) = e^{-(2\pi i/h)(x_2 - x_0)p}. \tag{12}$$

Αυτή η ψ_p, ωστόσο, αποτελεί ιδιοσυνάρτηση του τελεστή

$$P = (h/2\pi i)\partial/\partial x_2, \tag{13}$$

που αντιστοιχεί στην ιδιοτιμή -p της ορμής του δεύτερου σωματιδίου. Από την άλλη πλευρά, αν B είναι η συντεταγμένη θέσης του πρώτου σωματιδίου, έχει ως ιδιοσυναρτήσεις τις

$$\nu_x(x_1) = \delta(x_1 - x), \tag{14}$$

που αντιστοιχούν στην ιδιοτιμή x, όπου $\delta(x_1 - x)$ είναι η πολύ γνωστή συνάρτηση δέλτα του Ντιράκ. Η εξίσωση (8) σε αυτή την περίπτωση μετασχηματίζεται στην

$$\Psi(x_1, x_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_x(x_2)\nu_x(x_1)dx\,, \tag{15}$$

όπου

$$\varphi_x(x_2) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{(2\pi i/h)(x - x_2 + x_0)p}\, dp = h\delta(x - x_2 + x_0). \tag{16}$$

Αυτή η φ_x αποτελεί, ωστόσο, την ιδιοσυνάρτηση του τελεστή

$$Q = x_2 \tag{17}$$

που αντιστοιχεί στην ιδιοτιμή $x + x_0$ της συντεταγμένης του δεύτερου σωματιδίου. Αφού δε

$$PQ - QP = h/2\pi\, i\,, \tag{18}$$

αποδείξαμε ότι είναι εν γένει δυνατό να αποτελούν οι ψ_k και φ_r ιδιοσυναρτήσεις δύο μη αντιμεταθετών τελεστών που αντιστοιχούν σε φυσικά μεγέθη.

Επιστρέφοντας τώρα στη γενική περίπτωση που αντιμετωπίστηκε στις εξισώσεις (7) και (8), υποθέτουμε ότι οι ψ_k και φ_r αποτελούν όντως ιδιοσυναρτήσεις κάποιων μη αντιμεταθετών τελεστών P και Q που αντιστοιχούν στις ιδιοτιμές p_k και q_r αντιστοίχως. Έτσι, μετρώντας είτε το A είτε το B είμαστε σε θέση να προβλέψουμε με βεβαιότητα και χωρίς κατά κανέναν τρόπο να διαταράξουμε το δεύτερο σύστημα, είτε την τιμή του μεγέθους P (δηλαδή την p_k), είτε την τιμή του μεγέθους Q (δηλαδή την q_r). Σύμφωνα με το κριτήριο της πραγματικότητας που έχουμε διατυπώσει, στην πρώτη περίπτωση πρέπει να θεωρήσουμε ως στοιχείο πραγματικότητας το μέγεθος P, ενώ στη δεύτερη περίπτωση ως στοιχείο πραγματικότητας πρέπει να θεωρήσουμε το μέγεθος Q. Όπως διαπιστώσαμε, όμως, τόσο η συνάρτηση ψ_k, όσο και η συνάρτηση φ_r ανήκουν στην ίδια πραγματικότητα.

Αρχικά αποδείξαμε ότι είτε (1) η κβαντομηχανική περιγραφή που παρέχεται από την κυματοσυνάρτηση δεν είναι πλήρης, είτε (2), όταν οι τελεστές που αντιστοιχούν σε δύο φυσικά μεγέθη δεν αντιμετατίθενται, τότε δεν μπορούν να απολαμβάνουν ταυτόχρονης πραγματικότητας. Κατόπιν, έχοντας ξεκινήσει από την υπόθεση ότι η κυματοσυνάρτηση παρέχει όντως την πλήρη περιγραφή της φυσικής πραγματικότητας, φτάσαμε στο συμπέρασμα ότι τα δύο φυσικά μεγέθη στα οποία αντιστοιχούν δύο μη αντιμεταθετοί τελεστές είναι δυνατό να απολαμβάνουν ταυτόχρονης πραγματικότητας. Ως εκ τούτου, η άρνηση της (1) οδηγεί στην άρνηση της μόνης άλλης εναλλακτικής πρότασης (2). Έτσι, είμαστε αναγκασμένοι να συμπεράνουμε ότι η κβαντομηχανική περιγραφή της φυσικής πραγματικότητας που μας παρέχεται από την κυματοσυνάρτηση δεν είναι πλήρης.

Μπορεί να εγερθεί μια αντίρρηση σε αυτό το συμπέρασμα βάσει του ότι το κριτήριο πραγματικότητας δεν είναι επαρκώς περιοριστικό. Αν κάποιος επιμείνει στην άποψη ότι δύο ή περισσότερα φυσικά μεγέθη μπορούν να θεωρηθούν ταυτόχρονα ως στοιχεία πραγματικότητας *μόνο όταν μπορούν να μετρηθούν και να προβλεφθούν ταυτόχρονα*, δεν θα κατέληγε στο ίδιο συμπέρασμα. Από αυτή την άποψη, αφού η μόνη δυνατότητα που παρουσιάζεται εδώ είναι να προβλεφθεί είτε το ένα είτε το άλλο, όχι όμως και τα δύο φυσικά μεγέθη, P και Q ταυτόχρονα, αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούν να θεωρηθούν ταυτοχρόνως πραγματικά. Αυτό καθιστά την πραγματικότητα του P και του Q εξαρτώμενη από τη διαδικασία μέτρησης που διενεργείται στο πρώτο σύστημα, το οποίο δεν διαταράσσει το δεύτερο σύστημα κατά κανέναν τρόπο. Όμως, κανένας εύλογος ορισμός της πραγματικότητας δεν αναμένεται να επιτρέπει κάτι τέτοιο.

Έτσι, ενώ δείξαμε ότι η κυματοσυνάρτηση δεν παρέχει μια πλήρη περιγραφή της φυσικής πραγματικότητας, αφήσαμε ανοιχτό το ερώτημα σχετικά με το αν μια τέτοια περιγραφή υπάρχει ή όχι. Ωστόσο, έχουμε την πεποίθηση ότι μια τέτοια θεωρία είναι δυνατή.

Μέρος τρίτο

Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

Έβδομο Κεφάλαιο

ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

James G. Lennox

Υπάρχει άραγε κάποια θεμελιώδης διαφορά μεταξύ των εννοιών, των εξηγητικών σχημάτων, των θεωριών και των ερευνητικών μεθόδων που αναπτύσσει η βιολογία και των αντίστοιχων που συναντάμε στις φυσικές επιστήμες; Και εάν ναι, υπάρχει κάποιος λόγος αρχής γι' αυτό, ή μήπως η βιολογία είναι καταδικασμένη να απορροφηθεί σταδιακά από τη χημεία και την ατομική φυσική ως υποκλάδος τους; Ή, για να θέσουμε το ζήτημα από τη σκοπιά των αντικειμένων της βιολογικής έρευνας, ποια είναι, αν υπάρχει, η ιδιαιτερότητα των ζωντανών όντων; Αυτές είναι οι βασικές ερωτήσεις που ως επί το πλείστον παρακινούν σήμερα τη φιλοσοφία της βιολογίας.

Στην πράξη, η βιολογία συνίσταται από ένα χαλαρά συνεκτικό σύνολο επιστημονικών κλάδων που ξεκινούν από αυτούς που μελετούν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ μεγάλων ομάδων οργανισμών, διάσπαρτων στο χώρο και στο χρόνο, όπως η οικολογία, η βιογεωγραφία, η παλαιοντολογία κ.λπ., και φτάνουν μέχρι εκείνους που επικεντρώνονται σε βιοχημικές διαδικασίες στο μοριακό και υπομοριακό επίπεδο. Τα θεωρητικά επιτεύγματα του αιώνα μας που σε κάποιο βαθμό κατόρθωσαν να ενοποιήσουν αυτούς τους κλάδους είναι η δαρβινική εξελικτική θεωρία και η γενετική· δεν πρέπει, λοιπόν, να μας εκπλήσσει το γεγονός ότι κυρίως αυτοί οι δύο θεωρητικοί κλάδοι βρίσκονται στο επίκεντρο της φιλοσοφικής προσοχής (βλ. τα εισαγωγικά κείμενα των Χαλ [Hull, 1973] και Ρόζενμπεργκ [Rosenberg, 1985]). Σ' αυτό το κεφάλαιο θα επιχειρήσουμε τη διερεύνηση ορισμένων φιλοσοφικών ερωτημάτων που αφορούν την κύρια συνιστώσα της Εξελικτικής Βιολογίας, τη θεωρία της φυσικής επιλογής. Στο επόμενο, ο δρ. Κένεθ Σάφνερ θα εστιάσει την προσοχή του στις βιοϊατρικές επιστήμες, στις οποίες οι έννοιες και οι μέθοδοι της βιοχημείας και της μοριακής γενετικής παίζουν κεντρικό ρόλο.

Οι επιστημονικές εξηγήσεις που παρέχει η εξελικτική βιολογία διατυπώνονται με τη βοήθεια εννοιών όπως «περικλείουσα αρμοστικότητα» (inclusive fitness), «προσαρμογή» (adaptation), «σχέδιο» (design), «θώκος» (niche) και «γενετική παρέκκλιση» (genetic drift), και συχνά έχουν εμφανώς ιστορικό και/ή τελεολογικό χαρακτήρα. Στο παρόν κεφάλαιο, λοιπόν, θα επιχειρήσουμε να κατανοήσουμε αυτές τις έννοιες και τους συναφείς τύπους εξήγησης, πράγμα που θα μας βοηθήσει να καταλάβουμε γιατί η εξελικτική θεωρία αποτελεί την κεντρική και ενοποιό θεωρία στα πλαίσια της βιολογίας. Αυτή η διερεύνηση αποκτά ακόμη μεγαλύτερη σημασία αν ληφθεί υπ'όψιν η πρόσφατη αναζωπύρωση των ισχυρισμών του χριστιανικού φονταμενταλισμού που θέλουν τη βιβλική εκδοχή της ιστορίας της ζωής, όπως αυτή εκτίθεται στο βιβλίο της *Γενέσεως*, εξίσου επιστημονική με την εξελικτική βιολογία. Φτάνοντας στο τέλος αυτού του κεφαλαίου θα είμαστε σε θέση να αξιολογήσουμε αυτούς τους ισχυρισμούς. Μ' έναν τρόπο ανάλογο μ' αυτόν του Κεφαλαίου 5, το παρόν κεφάλαιο θα προσεγγίσει τα φιλοσοφικά ερωτήματα που ανακινεί η τρέχουσα εξελικτική θεωρία ακολουθώντας την ιστορία της ανάδυσης αυτών των ερωτημάτων κατά την ανάπτυξη της εν λόγω θεωρίας. Και όπως πολλά από τα φιλοσοφικά ζητήματα που σχετίζονται με τη σύγχρονη φυσική μπορούν να ανιχνευθούν στον Αϊνστάιν, έτσι και στην περίπτωση της βιολογίας οι περισσότεροι, αν όχι όλοι, οι δρόμοι οδηγούν στον Κάρολο Δαρβίνο (Charles Darwin).

7.1. Η ΔΑΡΒΙΝΙΚΗ ΚΑΤΑΓΩΓΗ

Οι επιστημονικές θεωρίες δεν εμφανίζονται στο προσκήνιο πλήρως ανεπτυγμένες, με ολόκληρο το εύρος τους αποκατεστημένο και τα εμπειρικά διαπιστευτήριά τους ανά χείρας. Πολλές φορές κάνουν την εμφάνισή τους ως προτροπές για να διατυπωθούν νέου τύπου απαντήσεις σε παραδοσιακά ερωτήματα ή προκύπτουν από την αναγνώριση της ύπαρξης καινούργιων ερωτημάτων που επιζητούν απαντήσεις. Η ιστορία της ανάπτυξής τους συχνά ακολουθεί δρόμους που δεν θα μπορούσαν να τους φανταστούν οι ιδρυτές τους. Στην πορεία αυτής της ανάπτυξης, ξεπροβάλλουν ερωτήματα που έχουν να κάνουν με τον πλέον εύστοχο ορισμό των βασικών εννοιών τους, τη φύση της εμπειρικής υποστήριξης που δέχονται, τον καλύτερο τρόπο διατύπωσης και ερμηνείας των εξηγήσεων που παρέχουν, τη σχέση των εννοιών και των αρχών τους με άλλες θεωρίες στα πλαίσια άλλων επιστημονικών κλάδων – ενώ, όχι σπάνια, η μορφή που παίρνουν οι απαντήσεις αυτών των ερωτημάτων συντελεί στη διαμόρφωση της περαιτέρω ανάπτυξης των ίδιων των θεωριών αυτών. Για την κατανόηση και αξιολόγηση των απαντήσεων σε αυτά τα φιλοσοφικά ερωτήματα, είναι χρήσιμο να έχουμε κάποια αίσθηση της ιστορίας κάθε συγκεκριμένης θεωρίας. Θα βοηθούσε, λοιπόν, αν ξεκινούσαμε με μία σύνοψη της δαρβινικής εξελικτικής θεωρίας, γραμμένη από το χέρι του ίδιου του ιδρυτή της, του Κάρολου Δαρβίνου:

> Εάν στο διάβα των αιώνων και κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες ζωής, τα οργανικά όντα μετασχηματίζονται έστω και λίγο όσον αφορά τα διάφορα μέρη της οργάνωσής τους, πράγμα που πιστεύω δεν μπορεί να αμφισβητηθεί· και αν, κατά τη διάρκεια κάποιας χρονικής περιόδου, εποχής ή έτους, διεξάγεται ένας σκληρός αγώνας για τη ζωή, οφειλόμενος στη γεωμετρική αύξηση κάθε είδους, πράγμα που είναι σίγουρα αναμφισβήτητο· τότε, λαμβάνοντας υπ' όψιν την άπειρη πολυπλοκότητα των σχέσεων όλων των οργανικών όντων τόσο μεταξύ τους όσο και με τις συνθήκες ύπαρξής τους, πολυπλοκότητα η οποία προξενεί μία απέραντη ποικιλία από δομές, συστατικά και συνήθειες, ποικιλία που αποβαίνει πλεονεκτική γι' αυτά τα όντα, πιστεύω ότι θα ήταν πολύ παράξενο αν δεν προέκυπτε κάποτε για κάθε είδος μία παραλλαγή ωφέλιμη για την ευημερία του, όπως ακριβώς έχουν προκύψει τόσες και τόσες παραλλαγές ωφέλιμες για τον άνθρωπο. Αλλά αν πράγματι προκύπτουν ωφέλιμες παραλλαγές για κάθε οργανικό είδος, χωρίς αμφιβολία τα άτομα που χαρακτηρίζονται από αυτές θα έχουν περισσότερες πιθανότητες να συντηρηθούν στον αγώνα της ζωής· στη βάση δε της ισχυρής αρχής της κληρονομικότητας, τα άτομα αυτά θα έχουν την τάση να παράγουν απογόνους που χαρακτηρίζονται από τις ίδιες παραλλαγές. Αυτήν την αρχή συντήρησης ονόμασα, χάριν συντομίας, Φυσική Επιλογή. (Δαρβίνος [1859] 1964, 126 - 127)

Μία πρώτη μορφή αυτού του μοντέλου εξέλιξης μέσω φυσικής επιλογής σκιαγραφήθηκε για πρώτη φορά από τον Κάρολο Δαρβίνο (1809-1882) σε ένα προσχέδιο γραμμένο είκοσι χρόνια περίπου πριν από τη δημοσίευση της σύνοψης που μόλις παραθέσαμε, η οποία προέρχεται από το «*Περί της καταγωγής των ειδών*» (*On the Origin of Species*). Μας παρέχει ένα *εξηγητικό σχήμα* στο οποίο προσδιορίζεται αφηρημένα ο τύπος των διαδικασιών και των συνθηκών που προκαλούν μετασχηματισμούς των ειδών μέσω φυσικής επιλογής. Χαρακτηρίζοντας αυτό το απόσπασμα ως εξηγητικό σχήμα, εννοώ ότι, παρόλο που δεν συνιστά καθ' εαυτό μία εξήγηση, ωστόσο είναι σε θέση να πληροφορήσει τον αναγνώστη για τα είδη των οντοτήτων και των διαδικασιών που πρέπει να ενέχονται σε μία ιδανική εξελικτική εξήγηση (Kitcher 1985a, 132-139· Brandon 1990, 159-183). Το δαρβινικό μοντέλο εξέλιξης μέσω φυσικής επιλογής ξεκινά από τον προσδιορισμό πέντε θεμελιωδών χαρακτηριστικών της οργανικής ζωής:

1. οι πληθυσμοί των οργανικών όντων εντάσσονται σε μία *ιστορία προγόνων και απογόνων*·
2. τα μέλη αυτών των πληθυσμών *κληρονομούν* χαρακτηριστικά γνωρίσματα από τους προγόνους τους και *τα μεταβιβάζουν* στους απογόνους τους·
3. παρουσιάζουν επιπλέον *ποικιλομορφία* όσον αφορά αυτά τα χαρακτηριστικά·
4. εξαιτίας της τάσης των πληθυσμών να αυξάνουν κατά γεωμετρικό τρόπο, τα μέλη τους *ανταγωνίζονται* μεταξύ τους για τα περιορισμένα αποθέματα·

5. το περιβάλλον στο οποίο ζουν χαρακτηρίζεται από άπειρη πολυπλοκότητα και από αδιάκοπη αλλαγή.

Μ' αυτά ως δεδομένα, ο Δαρβίνος ισχυρίζεται ότι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα (α) κάποιες από τις παραλλαγές που αναφέρονται στην πρόταση (3) να θέτουν τους κατόχους τους σε πλεονεκτική θέση στα πλαίσια του ανταγωνισμού τους με άλλα άτομα, (β) οι οργανισμοί που διαθέτουν αυτές τις *πλεονεκτικές* παραλλαγές να έχουν περισσότερες πιθανότητες επιβίωσης και, ως εκ τούτου, (γ) να τείνουν να αφήσουν, στην επόμενη και στις κατοπινές γενιές, έναν δυσανάλογα μεγάλο αριθμό απογόνων που διαθέτουν αυτές τις παραλλαγές.

Ο Δαρβίνος αφιέρωσε τα τέσσερα πρώτα κεφάλαια της *Καταγωγής* –τις σελίδες που καταλήγουν στη σύνοψη που μόλις παραθέσαμε– στη σθεναρή υπεράσπιση της αλήθειας των προτάσεων (1)-(5). Τα τελευταία χρόνια γίνεται μία πολύ επίπονη προσπάθεια για να εξακριβωθεί εάν η εξελικτική αλλαγή συνιστά το αυστηρό λογικό συμπέρασμα κάποιας ανασυγκρότησης αυτής της σύνοψης. Ωστόσο, αυτός ο προβληματισμός είναι παραπλανητικός. Ο Δαρβίνος εκθέτει σ' αυτές τις σελίδες ένα *αιτιακό μοντέλο* και όχι μία λογική απόδειξη, και το κύριο μέλημα του αποσπάσματος που παραθέσαμε είναι ο αφηρημένος προσδιορισμός ενός συνόλου διαδικασιών τέτοιων ώστε, αν αλληλοεπιδρούσαν κατά συγκεκριμένο τρόπο και για μεγάλες χρονικές περιόδους, θα οδηγούσαν «μηχανικά» σε ορισμένους τύπους αλλαγών.

Στον πυρήνα, λοιπόν, της δαρβινικής εξελικτικής θεωρίας βρίσκεται ένα σύνολο αφηρημένων προτάσεων που προσδιορίζουν την αιτιακή βάση της φυσικής επιλογής. Παρόλο που σήμερα γνωρίζουμε ότι στα πλαίσια ορισμένων πληθυσμών είναι δυνατό να συμβεί εξελικτική αλλαγή και χωρίς την παρέμβαση της φυσικής επιλογής, η αρχή της φυσικής επιλογής παραμένει ο ουσιώδης πυρήνας της εξελικτικής εξήγησης.

Με δεδομένο τον κεντρικό ρόλο που αποδίδεται στα πλαίσια αυτού του μοντέλου στις διαδικασίες διαφοροποίησης, κληρονομικότητας και επιλογής, προκαλεί εντύπωση η ειλικρινής παραδοχή από τον ίδιο το Δαρβίνο της άγνοιάς του σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας αυτών των τριών διαδικασιών. Ξεκινώντας την πραγμάτευση των νόμων της διαφοροποίησης, διευκρινίζει ότι η περιγραφή τους ως προϊόντων της τύχης «εξυπηρετεί τη ρητή αναγνώριση της άγνοιάς μας σχετικά με την αιτία κάθε συγκεκριμένης παραλλαγής» (Δαρβίνος [1859] 1964, 131). Στην αρχή του πρώτου κεφαλαίου, σημειώνει ότι «οι νόμοι που διέπουν την κληρονομικότητα μάς είναι παντελώς άγνωστοι» (Στο ίδιο, 13). Και τέλος, αμέσως μετά τη σύνοψη που παραθέσαμε προηγουμένως, ο Δαρβίνος προσπαθεί να αφοπλίσει τους επικριτές του με την ακόλουθη δήλωση αποποίησης:

Το εάν πράγματι η φυσική επιλογή έχει δράσει κατ' αυτόν τον τρόπο στη φύση, μετασχηματίζοντας και προσαρμόζοντας τις διάφορες μορφές ζωής

στις ποικίλες συνθήκες και καταστάσεις, μένει να κριθεί από τη γενική ροπή και το στάθμισμα των τεκμηρίων που θα προσκομισθούν στα ακόλουθα κεφάλαια. (Στο ίδιο, 127)

Το νόημα αυτής της παρατήρησης έγκειται στο γεγονός ότι την εποχή του Δαρβίνου κανείς δεν είχε μελετήσει τη δράση της επιλογής σε πληθυσμούς στη φύση, του ίδιου του Δαρβίνου μη εξαιρουμένου (παρόλο που είχε εξετάσει προσεκτικά τους τρόπους με τους οποίους οι εκτροφείς εξημερωμένων ζώων και φυτών παρήγαγαν διακριτές ποικιλίες). Κατά τη γνώμη του Δαρβίνου, η καλύτερη τεκμηρίωση της αλήθειας της θεωρίας του ήταν η ικανότητά της να εξηγεί, επικαλούμενη το αιτιακό μοντέλο για το οποίο μιλήσαμε, έναν μεγάλο αριθμό φαινομενικά ασύνδετων βιολογικών γενικεύσεων – κανονικότητες που συναντώνται σε απολιθώματα, στην σημερινή διασπορά των ζώων και φυτών ανά τον κόσμο, στην ανάπτυξή τους, την ανατομία τους και την ταξινόμησή τους. Την εποχή του Δαρβίνου αυτός ο τύπος υποστήριξης ήταν γνωστός ως «σύγκλιση των επαγωγών» (consilience of inductions)[1], και ο ίδιος επισήμανε με μεγάλη απογοήτευση το γεγονός ότι οι κριτικοί που σχολίασαν την *Καταγωγή* προτίμησαν να αγνοήσουν αυτό το σημείο του επιχειρήματός του.

Παρ' όλα αυτά, η άγνοια όσον αφορά τους μηχανισμούς της κληρονομικότητας, της διαφοροποίησης και της φυσικής επιλογής επέτρεψε στους επικριτές του να εγείρουν εύλογες αντιρρήσεις απέναντι στη θεωρία που διατυπωνόταν στην *Καταγωγή*. Όπως αρκετοί απ' όσους άσκησαν κριτική στο βιβλίο δεν άργησαν να παρατηρήσουν, η φυσική επιλογή *δεν* συνιστά αναπόφευκτη συνέπεια *οποιουδήποτε* μηχανισμού κληρονομικότητας, σε συνδυασμό με *οποιονδήποτε* βαθμό και τύπο ποικιλότητας και κάτω από *οποιεσδήποτε* συνθήκες ανταγωνισμού. Όλα εξαρτώνται από τη φύση της κληρονομικότητας, από το βαθμό, την προέλευση και το εύρος της ποικιλομορφίας, καθώς και από τη δυναμική των πληθυσμών. Επιπλέον, ακόμα και αν ο Δαρβίνος είχε εδραιώσει πλήρως το ρόλο της φυσικής επιλογής όσον αφορά την προέλευση των ειδών, αυτό δεν θα σήμαινε ότι η εν λόγω διαδικασία αποτελεί και τον μοναδικό τρόπο ανάδυσης νέων ειδών. Ο Δαρβίνος άφησε πολλή δουλειά στους επιγόνους του.

Και πολλή από αυτήν τη δουλειά πράγματι *έγινε*, ανάμεσα στο 1860 και το 1950, από μία ολόκληρη στρατιά βιολόγων, τους περισσότερους από τους οποίους ελάχιστα απασχολούσε η συσχέτιση του έργου τους με εκείνο του Δαρβίνου. Ο Γκρέγκορ Μέντελ (Gregor Mendel), ένας μοναχός με σοβαρή επιστημο-

[1] Αυτή η έννοια, που θεωρείται σαφώς ότι πηγάζει από τους Κανόνες του Φιλοσοφείν του σερ Ισαάκ Νεύτωνα (Isaac Newton [1687] 1962), διαδόθηκε ευρέως κατά τον δέκατο ένατο αιώνα από τους Γιούελ (Whewell 1837) και Χέρσελ (Herschel [1830] 1987). Σύμφωνα με τα λόγια του Γιούελ, «... τα τεκμήρια που υποστηρίζουν την επαγωγή μας είναι εντονότερα και ισχυρότερα όταν μας επιτρέπουν να εξηγήσουμε και να προσδιορίσουμε περιπτώσεις διαφορετικού τύπου από αυτές με τις οποίες βρισκόμασταν αντιμέτωποι όταν σχηματίζαμε την υπόθεσή μας». Σύγκρινε με Herschel, Κεφάλαιο 6, Παράγραφοι 181-182.

νική παιδεία, στην προσπάθειά του να επεξεργαστεί τους νόμους που διέπουν το σχηματισμό φυτικών υβριδίων, εξήγαγε μία σειρά βασικών θεωρημάτων σχετικά με τη διαδικασία της κληρονομικότητας. Ο Μέντελ εντόπισε κάποιους «παράγοντες» ή «στοιχεία» (για τα οποία ο Γιόχανσεν (W. Johannsen) επινόησε τον όρο «γονίδια» [genes] το 1909) στα αναπαραγωγικά κύτταρα καί των δύο γονικών φυτών, τα οποία συνδυάζονται για να καθορίσουν το χαρακτήρα κάθε γνωρίσματος των απογόνων, και τα οποία συνεχίζουν να υπάρχουν στα κύτταρα των απογόνων, ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, ενώ διανέμονται στην επόμενη γενιά σύμφωνα με τους νόμους της τυχαιότητας. (Τα πειράματα του Μέντελ θα συζητηθούν με περισσότερες λεπτομέρειες στη συνέχεια.)

Παρόλο που τα αποτελέσματα της έρευνας του Μέντελ δημοσιεύτηκαν το 1865, δεν ενσωματώθηκαν στη μελέτη της κληρονομικότητας και της διαφοροποίησης παρά μόνο μετά το 1910, όταν τρεις διαφορετικοί ερευνητές, ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, ανέφεραν ότι στηρίχτηκαν στον Μέντελ, και ο Βρετανός γενετιστής Γουίλιαμ Μπέιτσον (William Bateson) υπεραμύνθηκε της σημασίας του έργου του. Στο μεταξύ, η μελέτη των διαδικασιών που ενέχονται στην παραγωγή των αναπαραγωγικών κυττάρων (γαμετών) και στη γονιμοποίηση γινόταν ολοένα και πιο εκλεπτυσμένη στο πειραματικό επίπεδο, ενώ στις αρχές του εικοστού αιώνα εμφανίστηκαν οι πρώτες ενδείξεις ότι τα *χρωμοσώματα* (chromosomes), κάτι μικροσκοπικά ορατές δομές του κυτταρικού πυρήνα που απαντώνται απ' άκρου εις άκρο τόσο στο ζωικό όσο και στο φυτικό βασίλειο, σε αριθμούς που ποικίλλουν από είδος σε είδος αλλά παραμένουν σταθεροί σε άτομα του ίδιου είδους, είναι δυνατόν να «φέρουν», κατά κάποιο τρόπο, τους «γονικούς παράγοντες» (τα *γονίδια*) του Μέντελ. Το ενδεχόμενο αυτό βασίσθηκε κατ' αρχάς στην εντυπωσιακή αναλογία που παρατηρήθηκε μεταξύ της συμπεριφοράς των χρωμοσωμάτων, από τη μία μεριά –τόσο κατά τη διαδικασία παραγωγής των αρσενικών και θηλυκών αναπαραγωγικών κυττάρων (διαδικασία που ονομάζεται *μείωση* [meiosis]), όσο και κατά την ενδεχόμενη ένωσή τους (*γονιμοποίηση* [fertilization])– και της συμπεριφοράς των μεντελικών παραγόντων, από την άλλη. Τόσο στη μία όσο και στην άλλη περίπτωση, έχουμε στην αρχή έναν υποδιπλασιασμό του αριθμού των ενεχόμενων παραγόντων και, στη συνέχεια, έναν κατά ζεύγη ανασυνδυασμό που αποκαθιστά τον αρχικό αριθμό.

Μία σειρά κομψών πειραμάτων επί πληθυσμών δροσόφιλας, τα οποία ξεκίνησαν το 1910 στο εργαστήριο του Τ. Μόργκαν (T.H. Morgan) στο Πανεπιστήμιο Κολάμπια, εδραίωσαν πέρα από κάθε εύλογη αμφιβολία το συσχετισμό των μεντελικών παραγόντων, ή γονιδίων, με τα χρωμοσώματα. Το έργο του Μόργκαν καί πολλών άλλων έδωσε λαβή σε ένα πλήθος ερευνών σχετικά με τα φυσικά χαρακτηριστικά αυτών των γονιδίων. Επινοήθηκαν καλά επεξεργασμένες μέθοδοι για τον εντοπισμό της θέσης τους πάνω στο χρωμόσωμα και για τον προσδιορισμό τόσο των γενικών τρόπων μετάδοσής τους όσο και του επακριβούς χαρακτήρα των διαδικασιών κυτταρικής διαίρεσης και γονιμοποίησης.

Κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου, πολλοί ερευνητές άρχισαν να εξετά-

ζουν τις αιτίες των *γενετικών μεταλλάξεων* [mutations] (φαινομενικά τυχαίων αλλαγών στα γονίδια) και να μετρούν το ρυθμό μετάλλαξης σε πειραματικούς πληθυσμούς. Εξειδικευμένα ερωτήματα που αφορούσαν το ρόλο του περιβάλλοντος στη γονιδιακή έκφραση οδήγησαν στη σημαντική διάκριση ανάμεσα στον *γενότυπο* (genotype) και τον *φαινότυπο* (phenotype), δηλαδή ανάμεσα στην *κληρονομούμενη πηγή* ενός χαρακτηριστικού και την *παρατηρήσιμη έκφρασή* της. Σε μία πρώτη φάση, η έρευνα που απέβλεπε στον έλεγχο, την τροποποίηση και την επέκταση του μεντελικού μοντέλου κληρονομικότητας εστιάστηκε σε περιπτώσεις ασυνεχούς διαφοροποίησης που οφειλόταν σε «μεταλλάξεις», δηλαδή σε περιπτώσεις στις οποίες οι παραλλαγές ενός γνωρίσματος είναι λίγες και διακριτές, χωρίς ενδιάμεσες μορφές – παραδείγματος χάριν, πληθυσμούς λευκών και κόκκινων λουλουδιών, χωρίς ενδιάμεσα χρώματα. Ορισμένοι ερευνητές, όπως ο ντε Βρις (Hugo De Vries) και ο Μόργκαν, έφτασαν στο σημείο να προτείνουν τη μετάλλαξη ως την κομβική διαδικασία για τη δημιουργία νέων ειδών, περιορίζοντας την επιλογή στον λιγότερο «δημιουργικό» ρόλο του εκκαθαριστή των μη προσαρμοσμένων στο περιβάλλον μεταλλαγμένων μορφών.

Ο Δαρβίνος, από την άλλη μεριά, επέμενε ότι είναι οι μικρές και συνεχείς παραλλαγές αυτές που αποτελούν το υλικό επί του οποίου δρα η επιλογή, ενώ η ίδια δημιουργεί τα είδη μέσω μίας αργής διαδικασίας «επιπρόσθεσης» αυτών των μικρών διαφορών προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις. Ορισμένοι οπαδοί του Δαρβίνου που επιδίδονταν σε προσεκτικές μετρήσεις αλλαγών στα πλαίσια διαδικασιών συνεχούς διαφοροποίησης, θεώρησαν τους εαυτούς τους θεματοφύλακες του ορθόδοξου δαρβινισμού, υπερασπιστές του δαρβινικού εμβλήματος, «*Natura non facit saltum*» (η Φύση δεν κάνει άλματα). Οι προσεκτικές μαθηματικές αναλύσεις τους έφεραν στο φως γενικούς τρόπους μετάδοσης χαρακτηριστικών από γονικούς σε θυγατρικούς πληθυσμούς, οι οποίοι δεν θα μπορούσαν να εξηγηθούν βάσει απλών μεντελικών σχημάτων. Έτσι, κατά την περίοδο από το 1900 ώς το 1915, σημειώθηκε μία διαμάχη ανάμεσα στις «μεταλλακτικές» και τις «επιλεκτικές» θεωρίες της εξέλιξης. Ωστόσο, οι ερευνητές μπόρεσαν να αποδείξουν εν τέλει ότι τέτοιοι γενικοί τρόποι μπορεί να οφείλονται σε αλληλεπιδράσεις περισσότερων του ενός ζευγαριών γονιδίων (*πολυγονιδιακή* [polygenic] κληρονομικότητα) ή σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ του *γενότυπου* και του περιβάλλοντος. Από τότε, η εμμονή του Δαρβίνου στα ελαφρώς και κατά συνεχή τρόπο διαφοροποιούμενα χαρακτηριστικά ως την «πρώτη ύλη» επί της οποίας επενεργεί η φυσική επιλογή, άρχισε σταδιακά να θεωρείται συμβατή με έναν τροποποιημένο μεντελικό μηχανισμό κληρονομικότητας.

Ο μεντελισμός βοήθησε επιπλέον τον δαρβινισμό να επιλύσει ένα από τα πιο επίμονα προβλήματά του. Παρόλο που παραδεχόταν την άγνοιά του σχετικά με τους νόμους που διέπουν την κληρονομικότητα, ο Δαρβίνος συχνά φανταζόταν ότι τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των γονέων *αναμειγνύονται* στους απογόνους τους, έτσι ώστε να προκύπτουν *ενδιάμεσα* χαρακτηριστικά σε σχέση με τα αντίστοιχα των γονέων. Παραδείγματος χάριν, από το ζευγάρωμα ανάμεσα σε έναν

μακρυπόδαρο και έναν κοντοπόδαρο λύκο θα προέκυπταν νεογνά με πόδια ενδιάμεσου μήκους σε σχέση με τους γονείς τους. Ένας πανέξυπνος σχολιαστής της *Καταγωγής*, ο Φλήμινγκ Τζένκιν (Fleeming Jenkin), παρατήρησε ότι αν συνδυαστεί αυτή η θεωρία κληρονομικότητας με την επιμονή του Δαρβίνου ότι οι λεπτές ατομικές διαφορές είναι που συνιστούν το αντικείμενο της επιλογής, προκύπτει ότι ακόμα και ένα χαρακτηριστικό με εξαιρετικά μεγάλο επιλεκτικό πλεονέκτημα θα είχε πολύ μικρό εξελικτικό αντίκτυπο (Jenkin [1867] 1983, 312-320). Ο Δαρβίνος αναγνώρισε την ισχύ του επιχειρήματος του Τζένκιν και τροποποίησε συστηματικά τις κατοπινές εκδόσεις της *Καταγωγής* έτσι ώστε να δώσει έμφαση σε ένα υπόδειγμα σύμφωνα με το οποίο η επιλογή δρα προς όφελος, όχι πλέον των λίγων ατόμων που χαρακτηρίζονται από λεπτές διαφορές, αλλά όλων των οργανισμών που διαθέτουν παραλλαγές οι οποίες τείνουν προς μία πλεονεκτική κατεύθυνση. Στο επόμενο απόσπασμα, παραδείγματος χάριν, αφού παρατηρήσει ότι ακόμα και στην περίπτωση που ένα έντονα γαμψό ράμφος θα παρείχε ισχυρό πλεονέκτημα σε ένα συγκεκριμένο πουλί, η ανάμειξη θα εμπόδιζε την επιλογή να μετασχηματίσει το είδος προς αυτήν την κατεύθυνση, συμπεραίνει:

> Ωστόσο, δύσκολα θα μπορούσε κανείς να αμφιβάλλει ... ότι αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να προκύψει από την επιβίωση, κατά τη διάρκεια πολλών γενεών, ενός μεγάλου αριθμού ατόμων με λίγο ώς πολύ έντονα γαμψό ράμφος και από την εξαφάνιση ενός ακόμα μεγαλύτερου αριθμού ατόμων με πιο ίσια ράμφη. ([1872] 1962, 101)

Εδώ ο Δαρβίνος επιχειρεί να λύσει το πρόβλημα που προκύπτει εάν υποτεθεί ότι οι μονάδες κληρονομικότητας αναμειγνύονται κατά το ζευγάρωμα. Αλλά τα μεντελικά γονίδια δεν αναμειγνύονται κατά το συνδυασμό τους – κάθε γενιά γίνεται μάρτυρας μιας ανακατανομής αυτών των σταθερών και ανεξάρτητων μονάδων κληρονομικότητας, στην οποία παρεμβαίνουν μόνο τυχαίες μεταλλάξεις και μεταναστεύσεις νέων γονιδίων στο εσωτερικό του πληθυσμού. Αυτή η εικόνα κληρονομικότητας έβαλε τέλος στις ανησυχίες σύμφωνα με τις οποίες οι ανεπαίσθητες παραλλαγές, στο βαθμό που αναμειγνύονται με την αντίστοιχη σταθερά του πληθυσμού, δεν αφήνουν περιθώρια στην επιλογή να συμβάλει σε μια σοβαρή εξελικτική αλλαγή. Πράγματι, ένας από τους πρώτους θριάμβους του νεοδαρβινισμού ήταν η απόδειξη της δυνατότητας μίας και μόνο μετάλλαξης, με πολύ μικρό αναπαραγωγικό πλεονέκτημα για τον κάτοχό της, να διαδίδεται αρκετά γρήγορα στα πλαίσια ενός μεγάλου, ενδοαναπαραγόμενου πληθυσμού. Στη διάρκεια της δεκαετίας του 1930, η αρχική αντίσταση στον μεντελικό μηχανισμό κληρονομικότητας έδωσε τη θέση της στην ολόθερμη αποδοχή. (Για μια πιο λεπτομερή και λιγότερο αναχρονιστική αφήγηση της ιστορίας, δες Provine 1971.)

Ένα αποφασιστικό βήμα που ήρθε να ισχυροποιήσει την ενοποίηση της με-

ντελικής γενετικής με τη δαρβινική εξελικτική θεωρία υπήρξε η γενίκευση των αποτελεσμάτων του Μέντελ, η ισχύς των οποίων επεκτάθηκε από την ειδική περίπτωση των αυτογονιμοποιητικών υβριδικών διασταυρώσεων στις περιπτώσεις που πραγματικά συναντάμε στη φύση, δηλαδή σε τυχαία ενδοαναπαραγόμενους φυσικούς πληθυσμούς. Το βήμα αυτό ήταν τόσο μικρό ώστε η σημασία του αναγνωρίστηκε μόνο εκ των υστέρων. Απαντώντας σε ένα ευκαιριακό ερώτημα που του έθεσε ο πειραματικός βιολόγος Ρ. Πάνετ (R.C. Punnett) κατά τη διάρκεια μίας παρτίδας κρίκετ, ο μαθηματικός Τζ. Χάρντυ (G.H. Hardy) παρατήρησε ότι οι νόμοι του Μέντελ, οι οποίοι είχαν προκύψει από διασταυρώσεις μεταξύ αμιγών σειρών τις οποίες ακολουθούσαν συνεχόμενες αυτογονιμοποιήσεις των προκυπτόντων υβριδίων, μπορούσαν να γενικευθούν και να εφαρμοσθούν σε μεγάλους, τυχαία αναπαραγόμενους πληθυσμούς.[2] Ούτε ο Πάνετ ούτε ο Χάρντυ ήταν σε θέση να αντιληφθούν τη σημασία που είχε η συζήτησή τους για την εξελικτική θεωρία : χωρίς να το συνειδητοποιούν, είχαν ήδη ιδρύσει τη γενετική πληθυσμών.

Η γενετική πληθυσμών είναι η στατιστική μελέτη των γενικών τρόπων κληρονομικότητας και διαφοροποίησης στα πλαίσια πληθυσμών εμβίων όντων. Ας θυμηθούμε ότι ο Μέντελ πειραματίστηκε με πληθυσμούς μπιζελιών που διέφεραν ασυνεχώς μεταξύ τους όσον αφορά επτά διαφορετικά γνωρίσματα. Ο Μέντελ προσπάθησε κατ' αρχήν να ανακαλύψει τι θα προέκυπτε από το συστηματικό ζευγάρωμα φυτών με τέτοιες διακριτές παραλλαγές ενός και μόνο γνωρίσματος. Παραδείγματος χάριν, σε μία περίπτωση (βλ. Πίνακα 7.1) ο Μέντελ γονιμοποίησε ωάρια από φυτά μπιζελιών με Ψηλό στέλεχος, χρησιμοποιώντας γύρη από φυτά με Κοντό στέλεχος. Τα άτομα της πρώτης θυγατρικής γενιάς (Θ1) ήταν όλα Ψηλά. Στη συνέχεια φρόντισε επιμελώς ώστε όλα τα φυτά της Θ1 να *αυτογονιμοποιηθούν* (δηλαδή, γύρη από ένα συγκεκριμένο φυτό να γονιμοποιήσει τα ωάρια του ίδιου φυτού). Ως αποτέλεσμα αυτών των αυτογονιμοποιήσεων, το χαρακτηριστικό που είχε εμφανιστεί σε *όλα* τα φυτά της Θ1 γενιάς (Ψηλό) εμφανίστηκε κατά προσέγγιση στα 3/4 των φυτών της δεύτερης θυγατρικής γενιάς (Θ2), ενώ το εναλλακτικό γονικό χαρακτηριστικό (Κοντό) εμφανίστηκε στο 1/4 περίπου του συνολικού αριθμού των φυτών της Θ2. Αυτή η αναλογία 3:1 των Ψηλών φυτών σε σχέση με τα Κοντά που παρατήρησε ο Μέντελ στη Θ2 γενιά μπορούσε να αναμένεται βάσει των εξής τριών παραδοχών : (1) ότι τα στοιχεία που συνεισφέρουν οι δύο γονείς στους κοινούς απογόνους τους παραμένουν *διακριτά* στη Θ1 γενιά – ούτε αναμειγνύονται μεταξύ τους, ούτε και καταστρέφει το ένα το άλλο· (2) ότι τα στοιχεία αυτά έχουν την τάση, κατά τη διάρκεια της αυτογονιμοποίησης, να συνδυάζονται ακολουθώντας τους νόμους της τυχαιότητας· και

---

[2] Το σχετικό ντοκουμέντο είναι μία σύντομη σημείωση, γραμμένη από έναν μαθηματικό, που αποσκοπούσε στη διόρθωση του λάθους ενός βιολόγου όσον αφορά τις συνέπειες του νόμου του Μέντελ σε «μικτούς» πληθυσμούς. Βλ. Hardy ([1908] 1959).

(3) ότι το ένα γονικό χαρακτηριστικό είναι *κυρίαρχο*, πράγμα που σημαίνει ότι όταν ένας σπόρος εμπεριέχει δύο *διαφορετικά* γονικά χαρακτηριστικά το θυγατρικό φυτό που προκύπτει εμφανίζεται πάντα όμοιο με τον έναν από τους δύο γονείς, στην περίπτωσή μας όμοιο με τον Ψηλό γονέα. (Ας θυμηθούμε ότι μία κοινή παραδοχή εκείνη την εποχή, την οποία συχνά έδειχνε να συμμερίζεται και ο ίδιος ο Δαρβίνος, ήταν ότι ο απόγονος θα είχε ένα χαρακτηριστικό ενδιάμεσο ως προς τα αντίστοιχα των γονέων του. Τα αποτελέσματα του Μέντελ συγκρούονται ευθέως μ' αυτήν την παραδοχή.)

Αν αυτές οι παραδοχές ήταν αληθείς, τότε τα Ψηλά φυτά της Θ2, παρόλο που *έδειχναν* όμοια μεταξύ τους, θα έπρεπε να συνιστούν άθροισμα δύο διαφορετικών τύπων φυτών· κάποια από αυτά θα έπρεπε να είναι αμιγώς Ψηλά και κάποια άλλα υβρίδια Ψηλών και Κοντών, με το Ψηλό χαρακτηριστικό να κυριαρχεί. Από την άλλη μεριά, τα Κοντά φυτά θα έπρεπε να είναι αμιγώς Κοντά, γιατί, αν ήταν υβρίδια, το Ψηλό χαρακτηριστικό θα κυριαρχούσε και δεν θα εμφανίζονταν κοντά.

Η αυτογονιμοποίηση των φυτών της Θ2 συνιστούσε, λοιπόν, έναν άμεσο *έλεγχο* αυτών των παραδοχών. Αν αυτές οι παραδοχές ήταν αληθείς, τότε όλα τα Κοντά φυτά θα έπρεπε να δίδουν αποκλειστικά Κοντούς απογόνους· από την άλλη πλευρά, μόνο το ένα τρίτο των Ψηλών φυτών θα έπρεπε να παράγει αποκλειστικά Ψηλούς απογόνους, ενώ τα άλλα δύο τρίτα θα έπρεπε να παράγουν ανάμικτα Ψηλά και Κοντά φυτά σε μία αναλογία 3:1. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων του Μέντελ αναπαρίστανται στους ακόλουθους πίνακες. Όπως μπορεί κανείς να διαπιστώσει, τα αποτελέσματα της Θ3 γενιάς επιβεβαιώνουν με έμφαση την υπόθεση που συγκροτούν, από κοινού, αυτές οι τρεις παραδοχές.

Η μορφή αυτών των πειραμάτων, καθώς και μία σειρά αποφάσεων ως προς τη διεξαγωγή τους, υπαινίσσονται ότι ο Μέντελ κατέστρωσε αυτά τα πειράματα έχοντας εξ αρχής στο μυαλό του την εν λόγω υπόθεση. Ο Μέντελ ξεκινά παρατηρώντας ότι ο χαρακτήρας που φαινομενικά εξαφανίζεται στα υβρίδια της Θ1 επανεμφανίζεται με έναν στατιστικά κανονικό τρόπο στη Θ2 γενιά, και μάλιστα

Πίνακας 7.1

Καθαροί γονικοί τύποι	Ψ (Ψηλό)		κ (κοντό)
Διασταύρωση	**Ψ** ·	x	**κ**
Πρώτη θυγατρική γενιά (Θ1)		Όλα **Ψ**	
Αυτογονιμοποίηση			
Δεύτερη θυγατρική γενιά (Θ2)		3**Ψ**:1**κ**	
Αυτογονιμοποίηση			
Τρίτη θυγατρική γενιά (Θ3)			
	Γονείς	Απόγονοι	
	1/3 των **Ψ**	Όλα **Ψ**	
	2/3 των **Ψ**	3**Ψ**:1**κ**	
	Όλα τα **κ**	Όλα **κ**	

ακριβώς με τη μορφή με την οποία εμφανιζόταν στους γονείς. (Οι πραγματικές αναλογίες ποτέ δεν ήταν ακριβώς αυτές που παρατίθενται πιο πάνω· τα αποτελέσματα του Μέντελ απλώς *προσέγγιζαν* αυτές τις αναλογίες, και οι προσεγγίσεις ήταν τόσο ακριβέστερες όσο μεγαλύτερο ήταν το δείγμα. Οι αναλογίες αυτές είναι εκείνες που προβλέπονται σε περιπτώσεις τυχαίου διαχωρισμού, τυχαίου ανασυνδυασμού και κυριαρχίας του ενός χαρακτηριστικού επί του άλλου, δηλαδή των τριών παραδοχών που προαναφέραμε. Στο πείραμα που παρατίθεται πιο πάνω, παραδείγματος χάριν, οι πραγματικοί αριθμοί ήταν 787 Ψηλά και 277 Κοντά φυτά, που συνιστούν μία αναλογία περίπου 2,84:1. (Mendel [1865] 1966, 13)

Στη συνέχεια, ο Μέντελ εκτέλεσε μία σειρά περίπλοκων πειραμάτων επαναδιασταύρωσης (back cross), δηλαδή διασταύρωσης των καθαρών τύπων γονικών φυτών και των δύο φύλων με τους δύο τύπους υβριδίων, έτσι ώστε να επιβεβαιώσει την *αιτιακή θεωρία* που είχε συγκροτήσει για την εξήγηση των αλλαγών που προαναφέραμε στην κατανομή των γονικών χαρακτηριστικών σε επόμενες γενιές. Πρόκειται για τη θεωρία κατά την οποία τα κύτταρα της γύρης και τα ωάρια των φυτών διαθέτουν ανεξάρτητους «παράγοντες» –γονίδια, σύμφωνα με τη σημερινή ορολογία– για κάθε γνώρισμα. Κάθε πράξη γονιμοποίησης επιφέρει το συνδυασμό δύο τέτοιων παραγόντων, υπακούοντας αποκλειστικά και μόνο στους νόμους της τυχαιότητας. Οι διαφορετικοί παράγοντες ενός γνωρίσματος συνδυάζονται ανά δύο ανεξάρτητα από τους αντίστοιχους συνδυασμούς άλλων γνωρισμάτων, όπως ανακάλυψε ο Μέντελ πειραματιζόμενος ταυτοχρόνως με περισσότερα του ενός γνωρίσματα. Όταν δύο διαφορετικά γονίδια που αφορούν το ίδιο επιμέρους γνώρισμα συνδυάζονται σε ένα ζυγωτό, το ένα «κυριαρχεί», κατά κάποιο τρόπο, επί του άλλου (μια συνθήκη που τώρα ονομάζεται *ετεροζυγωτική* [heterozygous]). Αυτοί οι μη παρατηρήσιμοι παράγοντες στο εσωτερικό του ζυγωτού «καθορίζουν» την ανάπτυξη των παρατηρήσιμων χαρακτηριστικών των οργανισμών κάθε γενιάς. Μπορούμε να παραστήσουμε αυτή τη θεωρία όπως στον πίνακα 7.2, ως την παραγωγή διαφορετικών γονιδιακών συνδυασμών (ή *γενότυπων*, σύμφωνα με τη σημερινή ορολογία) σε κάθε γενιά.

Πίνακας 7.2

Αρσενικό

Θηλυκό		A	A
	a	Aa	Aa
	a	Aa	Aa

Θ1 Γενότυποι

Θ1 Αρσενικό

Θ1 Θηλυκό		A	a
	A	AA	Aa
	a	Aa	aa

Θ2 Γενότυποι

[A=κυρίαρχο γονίδιο· a=υποτελές γονίδιο]

(Αυτός ο τρόπος έκθεσης των αποτελεσμάτων είναι γνωστός ως το *τετράγωνο του Πάνετ* [Panett Square] προς τιμήν του Ρ. Πάνετ, τον οποίο συναντήσαμε νωρίτερα σ' αυτήν την παράγραφο.)

Η εικόνα που τόσο διορατικά σχημάτισε ο Μέντελ σχετικά με τους «νόμους

που διέπουν τις κατανομές των χαρακτηριστικών», μπορεί να μετασχηματιστεί σε έναν μαθηματικό τύπο που αναπαριστά την *αναλογία* των διαφορετικών γενετικών σχηματισμών (που ονομάζονται, όπως είπαμε, *γενότυποι*) σε έναν πληθυσμό που διαμορφώνεται μέσω τυχαίας διασταύρωσης ατόμων, κάθε ένα από τα οποία διαθέτει δύο διαφορετικές εναλλακτικές μορφές του ίδιου γονιδίου (*ετεροζυγώτης*). Εάν αναπαραστήσουμε τις δύο διαφορετικές γονιδιακές μορφές του ίδιου γενετικού τόπου (γνωστές ως διαφορετικά *αλληλόμορφα* [alleles]) με τα γράμματα **A** και **a** αντίστοιχα, αυτός ο τύπος είναι ως εξής:

AA:2Aa:aa

Οι *συχνότητες* των διαφορετικών γενότυπων μπορούν να αναπαρασταθούν ως εξής:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

όπου p = η συχνότητα του **A**, q = η συχνότητα του **a** και p + q = 1. (Θα παρατηρήσατε ίσως ότι η Αρχή των Χάρντυ και Βάινμπεργκ [Hardy-Weinberg Principle] προκύπτει από τη συχνότητα καθενός από τα αλληλόμορφα **A** και **a** , αν εφαρμόσουμε τα δύο αξιώματα της θεωρίας των πιθανοτήτων που μάθατε στο Κεφάλαιο 2, και συγκεκριμένα τον Κανόνα 3 [ειδική προσθήκη] και τον Κανόνα 4 [ειδικός πολλαπλασιασμός]. Δες Κεφάλαιο 2, Παράγραφος 2.7.)

Αυτός ο τύπος (η ισχύς του οποίου μπορεί να επεκταθεί σε γνωρίσματα με περισσότερες των δύο παραλλαγών και σε χαρακτηριστικά που διέπονται από τη δράση πολλών γονιδίων) εκφράζει την ιδέα σύμφωνα με την οποία, υπό συνθήκες τυχαίου ζευγαρώματος, οι γενοτυπικές συχνότητες ενός αόριστα μεγάλου πληθυσμού παραμένουν σταθερές από τη μία γενιά στην επόμενη. Ένας τέτοιος πληθυσμός βρίσκεται σε μια κατάσταση την οποία οι βιολόγοι αναφέρουν ως *ισοζύγιο Χάρντυ-Βάινμπεργκ* (Hardy-Weinberg equilibrium, στο εξής HWE). (Ήταν ο Βάινμπεργκ αυτός που σε μία διάλεξη, στη Στουτγάρδη τον Ιανουάριο του 1908, παρουσίασε τον τύπο που επεξεργάσθηκε ο Χάρντυ κατά τη διάρκεια της παρτίδας κρίκετ που λέγαμε). Ο ανασυνδυασμός των γονιδίων κατά τη διάρκεια του ζευγαρώματος στα πλαίσια ενός πληθυσμού σε κατάσταση HWE είναι «απροκατάληπτος» – το μόνο που χρειάζεται να γνωρίζουμε εξαρχής είναι οι αρχικές συχνότητες των αλληλομόρφων· οι νόμοι της τυχαιότητας θα καθορίσουν τις συχνότητές τους στις επόμενες γενιές.

Ο νόμος των Χάρντυ και Βάινμπεργκ μας παρέχει, λοιπόν, ένα «βασικό επίπεδο» ως προς το οποίο μπορούμε να συγκρίνουμε τις πραγματικές *αλλαγές* συχνοτήτων αλληλομόρφων που συμβαίνουν από γενιά σε γενιά στα πλαίσια αναπαραγωγικών κοινοτήτων. Τυχόν αποκλίσεις από αυτό το βασικό επίπεδο υποδεικνύουν διατάραξη του ισοζυγίου γενοτυπικών συχνοτήτων από τη μία γενιά στην άλλη. Πολλοί είναι οι παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν σε τέτοιες διαταράξεις : διάφοροι τρόποι αλλοίωσης του γενετικού υλικού (*μετάλλαξη*), με-

Μια άτυπη «απόδειξη» του HWE : Ας υποθέσουμε ότι οι συχνότητες των γονικών γενοτύπων είναι αυτές που δίδονται από το HWE, δηλ. p^2**AA** +2pq**Aa** +q^2**aa**. Σ' αυτήν την περίπτωση, οι γαμέτες που θα παραχθούν από τον γονικό πληθυσμό θα είναι p^2**A** + pq**A** + pq**a** + q^2**a** (μ' άλλα λόγια, όλοι οι γαμέτες των **AA** γονέων θα είναι **A**, το 1/2 των γαμετών των **Aa** γονέων θα είναι **A** και το άλλο 1/2 θα είναι **a** και όλοι οι γαμέτες των **aa** γονέων θα είναι **a**). Έτσι, η συχνότητα του **A** αλληλόμορφου είναι p και του **a** αλληλόμορφου q, όπως πολύ εύκολα μπορούμε να διαπιστώσουμε.

Συχνότητα του **A**= p^2 + pq = p(p+q)· αλλά p+q=1· άρα, η συχνότητα του **A**=p.
Συχνότητα του **a**= q^2 + pq = q(p+q)· αλλά p+q=1· άρα, η συχνότητα του **a**=q.
Αν υποθέσουμε ότι δεν υπάρχουν παρεμβολές στην τυχαιότητα του ζευγαρώματος, αυτές οι συχνότητες γαμετών θα παραγάγουν τις ίδιες ακριβώς γενοτυπικές συχνότητες που υπήρχαν στον γονικό πληθυσμό.

τανάστευση νέων γονιδίων στο εσωτερικό του πληθυσμού (που έχει ως συνέπεια την αλλαγή των αρχικών συχνοτήτων), τυχαίες αλλαγές συχνοτήτων που οφείλονται σε δειγματοληπτικό σφάλμα (γνωστό ως *γενετική παρέκλιση* [genetic drift]) και *επιλογή*, η οποία ευνοεί κάποιο γενότυπο σε βάρος κάποιου άλλου. Η γενετική πληθυσμών, υποθέτοντας ότι όλες οι διαταρακτικές δυνάμεις πλην της επιλογής είτε εξισορροπούνται είτε δεν υφίστανται, επιχειρεί να ενσωματώσει στα μοντέλα της την αντίληψη που θέλει κάθε *αλλαγή συχνότητας ενός συγκεκριμένου γενοτύπου να δίδει το μέτρο της σχετικής του αρμοστικότητας (fitness)*.

Ας εξετάσουμε ένα υποθετικό παράδειγμα για να δούμε πώς λειτουργεί αυτό το υπόδειγμα. Ας υποθέσουμε ότι μελετάμε έναν πληθυσμό χερσαίων σαλιγκαριών των οποίων τα κελύφη έχουν δύο χρώματα (Φαιό και Κίτρινο)· τα δύο αυτά χαρακτηριστικά, όπως έχουμε διαπιστώσει στο εργαστήριο, οφείλονται σε ένα και μόνο ζευγάρι αλληλομόρφων (με το **Φ** να κυριαρχεί ατελώς επί του **Κ**). Κάνοντας μιαν απογραφή βρίσκουμε ότι οι αρχικές γενοτυπικές συχνότητες έχουν ως εξής:

Γ1 **ΦΦ**=2000 **ΦΚ**=4000 **ΚΚ**=1600

Στην επόμενη γενιά κάνουμε ξανά απογραφή και βρίσκουμε

Γ2 **ΦΦ**=1600 **ΦΚ**=2800 **ΚΚ**=800

Τώρα μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε το βαθμό επιβίωσης για κάθε έναν από τους τρεις γενότυπους.

Βαθμός επιβίωσης (λ):

ΦΦ=1600/2000=0,8, **ΦΚ**=2800/4000=0,7, **ΚΚ**=800/1600=0,5.

Κατόπιν υπολογίζουμε τη σχετική αρμοστικότητα του καθενός, αποδίδοντας στην αρμοστικότητα του γενότυπου με τον υψηλότερο βαθμό επιβίωσης την τιμή 1 και καθορίζοντας τους άλλους σε σχέση μ' αυτόν.
Αρμοστικότητα (W):

ΦΦ=Ο,8/Ο,8=1, **ΦΚ**=0,7/0,8=0,875, **ΚΚ**=00,5/0,8=0,625

Στη συνέχεια, μπορούμε να υπολογίσουμε το συντελεστή επιλογής (s), που αντιπροσωπεύει την *αναγωγή* ως προς την αρμοστικότητα ενός γενοτύπου, αφαιρώντας την τιμή αρμοστικότητας από τη μονάδα (1-W).

Συντελεστής Επιλογής (s) **ΦΦ**=10, **ΦΚ**=0,125, **ΚΚ**=0,375

Συνοψίζοντας : αυτός ο πληθυσμός σαλιγκαριών δεν βρίσκεται σε HWE. Από τη Γ1 στη Γ2 σημειώνεται σημαντική μετατόπιση των συχνοτήτων των εν λόγω γενοτύπων, με τα ομοζυγωτικά Φαιά σαλιγκάρια να αυξάνουν τη συχνότητά τους. χονδρικά, από το 0,357 του συνόλου της Γ1 στο 0,444 της Γ2, τα ετεροζυγωτικά να αυξάνουν τη συχνότητά τους με αργότερο ρυθμό και τον πληθυσμό των ομοζυγωτικών Κίτρινων να μειώνει τη συχνότητά του σημαντικά.

Σ' αυτό το παράδειγμα, οι τιμές των W και s καθορίσθηκαν αποκλειστικά στη βάση των σχετικών συχνοτήτων επιβίωσης. Αυτό μπορεί να φανεί κάπως παράδοξο. Αν μη τι άλλο, ο Δαρβίνος είχε θεωρήσει τις διαφορές αρμοστικότητας ή το επιλεκτικό πλεονέκτημα ως τις *αιτίες*, υπό κάποιες συνθήκες, των διαφορετικών συχνοτήτων επιβίωσης. Μήπως η γενετική πληθυσμών εκλαμβάνει τις μετρήσεις των *αποτελεσμάτων* των διαφορών αρμοστικότητας ως αυτές να αντιπροσώπευαν την *ιδιότητα* της ίδιας της αρμοστικότητας; Είναι μια πολύ καλή ερώτηση και γι' αυτό ας την κρατήσουμε στο μυαλό μας. Οι έννοιες της αρμοστικότητας και της επιλογής στα πλαίσια του θεωρητικού συστήματος της γενετικής πληθυσμών παρουσιάζουν προβλήματα που θα μας απασχολήσουν ιδιαίτερα στην παράγραφο 7.3.

Αφήνοντας προς το παρόν κατά μέρος αυτήν την ερώτηση, μπορούμε να υπολογίσουμε τις συχνότητες κάθε γενότυπου στις διαδοχικές γενιές πολλαπλασιάζοντας την τιμή αρμοστικότητας κάθε γενότυπου επί την αρχική του συχνότητα. Έτσι, αν μπορούμε να προσδιορίσουμε τις συχνότητες και τις τιμές αρμοστικότητας των εναλλακτικών γενοτύπων στα πλαίσια ενός πληθυσμού, είμαστε επίσης σε θέση να προσδιορίσουμε με ακρίβεια την αλλαγή της συχνότητας ενός συγκεκριμένου αλληλόμορφου από γενιά σε γενιά, στο μέτρο που αυτή οφείλεται σε διαφορές αρμοστικότητας.

Αυτή η θεώρηση της αρμοστικότητας τροποποίησε τον τρόπο με τον οποίο οι βιολόγοι αντιλαμβάνονται την εξελικτική διαδικασία. Η εξελικτική αλλαγή κατέληξε να θεωρείται, τουλάχιστον από τους γενετιστές πληθυσμών, ως μία σειρά βαθμιαίων αλλαγών στις συχνότητες των αλληλομόρφων ενός δεδομένου γενετικού τόπου – ή αλλαγών στη γονιδιακή δεξαμενή, όπως την αποκαλούν. Στο βαθμό που η εξελικτική αλλαγή ανάγεται στην αλλαγή της γενετικής σύνθεσης ενός πληθυσμού με το χρόνο, έχουμε στη διάθεσή μας έναν ακριβή μαθηματικό τρόπο για να προσδιορίσουμε την εξελικτική αλλαγή, στηριζόμενοι στα τρία βασικά συστατικά του δαρβινικού μοντέλου – υπαρκτή ποικιλομορφία, κληρονομικότητα και αρμοστικότητα. Ταυτοχρόνως, όμως, η έννοια της αρμοστικότητας ταυτίζεται όλο και περισσότερο με τις μετρήσεις που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια αυτών των μοντέλων (πραγματική αναπαραγωγική αναλογία), και όλο και λιγότερο με τις σύνθετες προσαρμοστικές αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον, τις οποίες ο Κάρολος Δαρβίνος θεωρούσε ως την ουσία της φυσικής επιλογής.

Γι' αυτό, όσο κομψό και αν φαίνεται αυτό το Γενετικό Μοντέλο Φυσικής Επιλογής, οι μεταβλητές W και s που αντιπροσωπεύουν τη σχετική αρμοστικότητα και το συντελεστή επιλογής, αποκρύπτουν κάτι περισσότερο από ένα απλό τέχνασμα. Όσο και αν η συγχώνευση της θεωρίας της φυσικής επιλογής και της γενετικής πληθυσμών αποτελεί ένα από τα βασικά επιτεύγματα της λεγόμενης νεοδαρβινικής θεωρίας της εξέλιξης, αυτή έχει εντούτοις προκαλέσει σύγχυση όσον αφορά τις έννοιες της αρμοστικότητας, της προσαρμογής και της φυσικής επιλογής και, κατά συνέπεια, όσον αφορά τη φύση των δαρβινικών εξηγήσεων. Αφού ρίξουμε μια ματιά σε κάποια απλά, πλην όμως πραγματικά, παραδείγματα εξήγησης στα πλαίσια της εξελικτικής βιολογίας, θα επιχειρήσουμε στη συνέχεια να ξεδιαλύνουμε κάποιες από αυτές τις συγχύσεις.

7.2. ΚΑΠΟΙΕΣ ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΕΣ ΕΞΗΓΗΣΕΙΣ

Σε τι είδους ερωτήσεις περιμένουν οι βιολόγοι να απαντήσει η εξελικτική θεωρία, και τι είδους απαντήσεις παίρνουν από αυτήν; Είναι τόσο πολλές που θα δυσκολευόμασταν να δώσουμε εδώ ακόμα και ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα. Μπορούμε, ωστόσο, να πάρουμε μια πρώτη ιδέα σχετικά με την εμβέλεια της εξελικτικής θεωρίας εξετάζοντας επί τροχάδην τέσσερα παραδείγματα εξελικτικής εξήγησης τα οποία, παρόλο που διαφέρουν αξιοσημείωτα μεταξύ τους όσον αφορά τόσο τον τύπο των προς εξήγηση γεγονότων όσο και τα στοιχεία που υποστηρίζουν τις προκείμενες κάθε εξήγησης, χαρακτηρίζονται όλα από τον σημαντικό ρόλο που παίζουν στο εσωτερικό τους οι έννοιες της φυσικής επιλογής, της αρμοστικότητας και της προσαρμογής. Αυτό θα μας επιτρέψει να κρατήσουμε τη φιλοσοφική πραγμάτευση αυτών των εννοιών σε επαφή με την πραγματικότητα.

7.2.1 Πρώτη περίπτωση. Η εξέλιξη του αλόγου

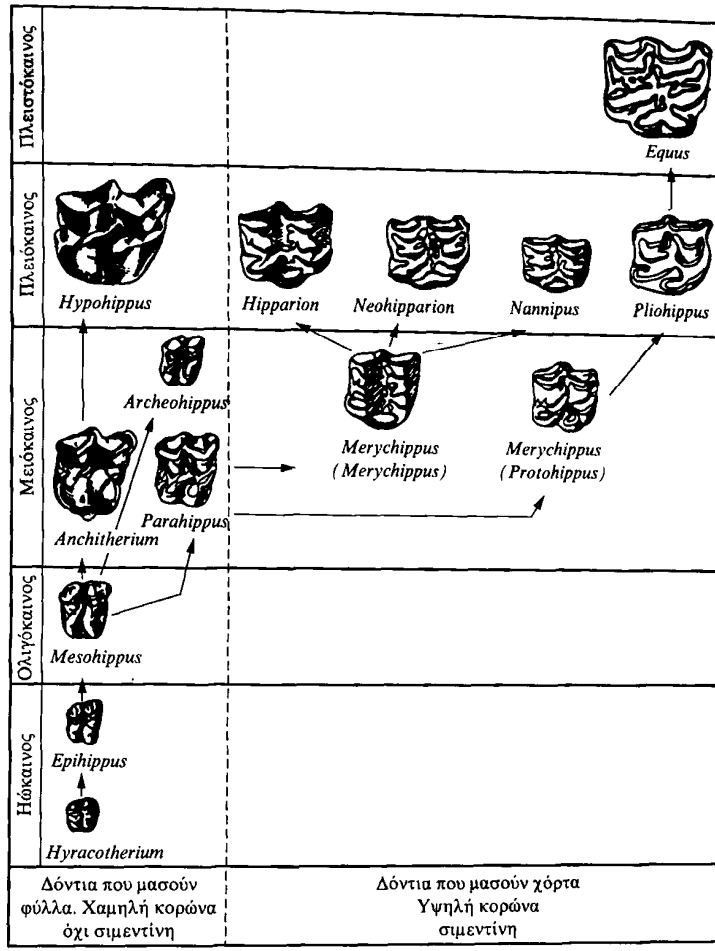
Παρόλο που κάτι τέτοιο συνιστά μάλλον την εξαίρεση παρά τον κανόνα, ένας διαρκώς αυξανόμενος αριθμός εξελικτικών ιστοριών βρίσκει υποστήριξη σε πλούσιες συλλογές απολιθωμάτων. Η γενεαλογία που καταλήγει στο σημερινό γένος *Equus*, είδος του οποίου είναι το άλογο, συνιστά μια τέτοια ακολουθία. Μετά, μάλιστα, το συνδυασμό των πλούσιων δεδομένων που βρέθηκαν σε παλαιοντολογικά κοιτάσματα της Νότιας Αμερικής με παλαιότερα δεδομένα προερχόμενα από την Ευρώπη, έγινε δυνατή η διάκριση ορισμένων γενικών τύπων αυτών των απολιθωμάτων. Αφού αυτοί οι τύποι εδραιώθηκαν, έδωσαν λαβή σε πολλές ερωτήσεις.

Ένας τέτοιος τύπος προέκυψε από τη μελέτη των δοντιών στα πλαίσια αυτής της γενεαλογίας, η οποία αναπαριστάνεται στο σχήμα 7.1. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς, από τη μία μεριά η αναλογία του ύψους του γομφίου σε σχέση με το μήκος του αυξάνεται με το χρόνο ενώ, από την άλλη, υπάρχει μια *επιτάχυνση* του ρυθμού αυτής της αλλαγής. Γιατί οι γομφίοι, στα πλαίσια αυτής της γενεαλογίας, καθίστανται διαρκώς ψηλότεροι σε σχέση με το (οριζόντιο) μήκος τους, και γιατί αυτή η αλλαγή επιταχύνεται με το χρόνο; Ιδού τι τύπου εξήγηση παρέχει η εξελικτική βιολογία γι' αυτήν την αλλαγή:

> Είναι σχεδόν σίγουρο ότι προέκυψε επειδή τα άτομα του *Merychippus* και οι απόγονοί τους εγκατέλειψαν τη βόσκηση φύλλων, που αποτελούσε κοινή συμπεριφορά όλων των παλαιότερων αλόγων, και στράφηκαν στα προσφάτως αναπτυχθέντα χόρτα ως κύρια τροφή τους. Άλλες γενεαλογίες αλόγων, οι οποίες, παρόλο που έχουν πλέον εκλείψει, επιβίωσαν για πολλά εκατομμύρια χρόνια παράλληλα με τα άλογα που βοσκούσαν χορτάρι, συνέχισαν να τρέφονται με φύλλα και δεν παρουσίασαν αύξηση στο ρυθμό εξέλιξης του σχήματος του δοντιού. (Maynard Smith 1972, 254)

Πρέπει να αναφέρουμε το στοιχείο, που εδώ προϋποτίθεται χωρίς να εκτίθεται ρητά, πάνω στο οποίο στηρίζεται μία από τις προκείμενες αυτής της εξήγησης: την εποχή που διαδραματιζόταν αυτή η εξελικτική αλλαγή, αναπτυσσόταν μια καινούργια πηγή τροφής, τα χόρτα· και υπάρχουν παλαιοοικολογικά στοιχεία που συνδέουν, από τη μία μεριά την αλλαγή του ύψους του γομφίου με ένα περιβάλλον που επιτρέπει τη βόσκηση χόρτων και, από την άλλη, τη σχετική σταθερότητα του ύψους αυτού του δοντιού σε περιβάλλοντα που ευνοούν τη βόσκηση φυλλωμάτων. Αυτή η συσχέτιση ενθαρρύνει τον εξελικτικό βιολόγο να προχωρήσει σ' αυτό που έχει ονομαστεί *προσαρμοστική παραδοχή* (adaptationist assumption): η αλλαγή του σχετικού ύψους του δοντιού προέκυψε ως προσαρμογή σε μια αλλαγή του περιβάλλοντος – στην περίπτωσή μας, σε μια αλλαγή των διαθέσιμων πηγών τροφής.

Ωστόσο, υπάρχει και μία άλλου τύπου παραδοχή που παίζει κομβικό ρόλο σ'



Σχήμα 7.1 Εξέλιξη των δοντιών των αλόγων. Προέρχεται από το βιβλίο *Horses: The Story of the Horse Family in the Modern World and Through Sixty Million Years of History* του G.G. Simpson. Copyright 1951 Oxford University Press, Inc. Αναδημοσίευση κατόπιν αδείας.

αυτό το επιχείρημα, και η οποία δεν αναφέρεται εδώ, παρόλο που συχνά βρίσκεται στις παρουσιάσεις αυτού του παραδείγματος στα διάφορα εγχειρίδια. Μπορούμε να εντοπίσουμε αυτήν την παραδοχή εάν ρωτήσουμε : «Γιατί η μετάβαση σε ένα περιβάλλον πλούσιο σε χόρτα πρέπει να συσχετισθεί με την αύξηση του

σχετικού ύψους των δοντιών;» Η απάντηση βρίσκεται στην υψηλή περιεκτικότητα των χόρτων σε πυρίτιο, πράγμα που έχει ως συνέπεια μία μεγαλύτερη φθορά των δοντιών ανά μονάδα καταναλωθείσας τροφής. Βρίσκουμε εδώ μία *μηχανική παραδοχή* σύμφωνα με την οποία τα σχετικά υψηλότερα δόντια διαρκούν περισότερο και, ως εκ τούτου, διευκολύνουν τη χρησιμοποίηση αυτής της καινούργιας πηγής ενέργειας.

Υπάρχει, τέλος, και μια παραδοχή που θέλει την εν λόγω αλλαγή να οφείλεται σε κληρονομήσιμους παράγοντες, παραδοχή που φαίνεται εύλογη αν κρίνουμε με βάση όσα γνωρίζουμε για τη γενετική των σύγχρονων μελών αυτής της οικογένειας. Υπάρχει λοιπόν μία, όχι άμεσα ελέγξιμη, παραδοχή σχετικά με την *κληρονομικότητα* του εν λόγω χαρακτηριστικού. Το παράδειγμά μας προτείνει, σε γενικές γραμμές, την ακόλουθη εξήγηση:

1. Όπως κάθε ζωικός πληθυσμός, έτσι και οι πληθυσμοί του *Mesohippus* χαρακτηρίζονταν από αξιόλογη κληρονομική διαφοροποίηση, στην οποία ενέχεται ένας ρυθμός μετάλλαξης γύρω στο 10^{-6} από τη μία γενιά στην άλλη και για κάθε γνώρισμα.
2. Καθώς το περιβάλλον ανέπτυξε μια καινούργια πηγή τροφής, τα μέλη αυτών των πληθυσμών που διέθεταν το χαρακτηριστικό που τους επέτρεπε να εκμεταλλευτούν αυτήν την υπο-εκμεταλλευόμενη πηγή ενέργειας είχαν ελαφρό πλεονέκτημα έναντι των άλλων μελών αυτών των πληθυσμών.
3. Ένας σχετικά υψηλότερος γομφίος συνιστά ένα τέτοιο πλεονέκτημα.
4. Έπεται ότι οι γονείς που διέθεταν αυτήν την κληρονομούμενη παραλλαγή (και αν όλοι οι άλλοι παράγοντες παρέμεναν σταθεροί) άφησαν μεγαλύτερο αριθμό απογόνων σε σχέση με τα άλλα άτομα του ίδιου πληθυσμού.
5. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η συχνότητα του εν λόγω χαρακτηριστικού (και του γονιδίου ή των γονιδίων που το κωδικοποιούν), σε σχέση με τα εναλλακτικά ως προς αυτό χαρακτηριστικά ή γονίδια, αυξήθηκε στις επόμενες γενιές.
6. Αυτό το χαρακτηριστικό διαδόθηκε στα πλαίσια του πληθυσμού με αποτέλεσμα η συνολική φυσιογνωμία του πληθυσμού ως προς αυτό το γνώρισμα να παρεκκλίνει σε σχέση με τους προγονικούς πληθυσμούς.

Κατά αφαιρετικό τρόπο, μπορούμε να εξαγάγουμε από όσα προηγήθηκαν τον *νεο-δαρβινικό τύπο εξήγησης*:

I. Υπάρχει *κληρονομήσιμη ποικιλομορφία*, με μεντελικούς όρους, ως προς ένα γνώρισμα **x**.
II. Το περιβάλλον παρέχει μία *προσαρμοστική ευκαιρία*.
III. Υπάρχει *διαφορική προσαρμογή* μεταξύ των παραλλαγών.
IV. Αυτό προκαλεί *διαφορική μεταβίβαση* χαρακτηριστικών.
V. Πράγμα που, με το χρόνο, έχει ως αποτέλεσμα την *προσαρμοστική αλλαγή του γνωρίσματος* στα πλαίσια του πληθυσμού.

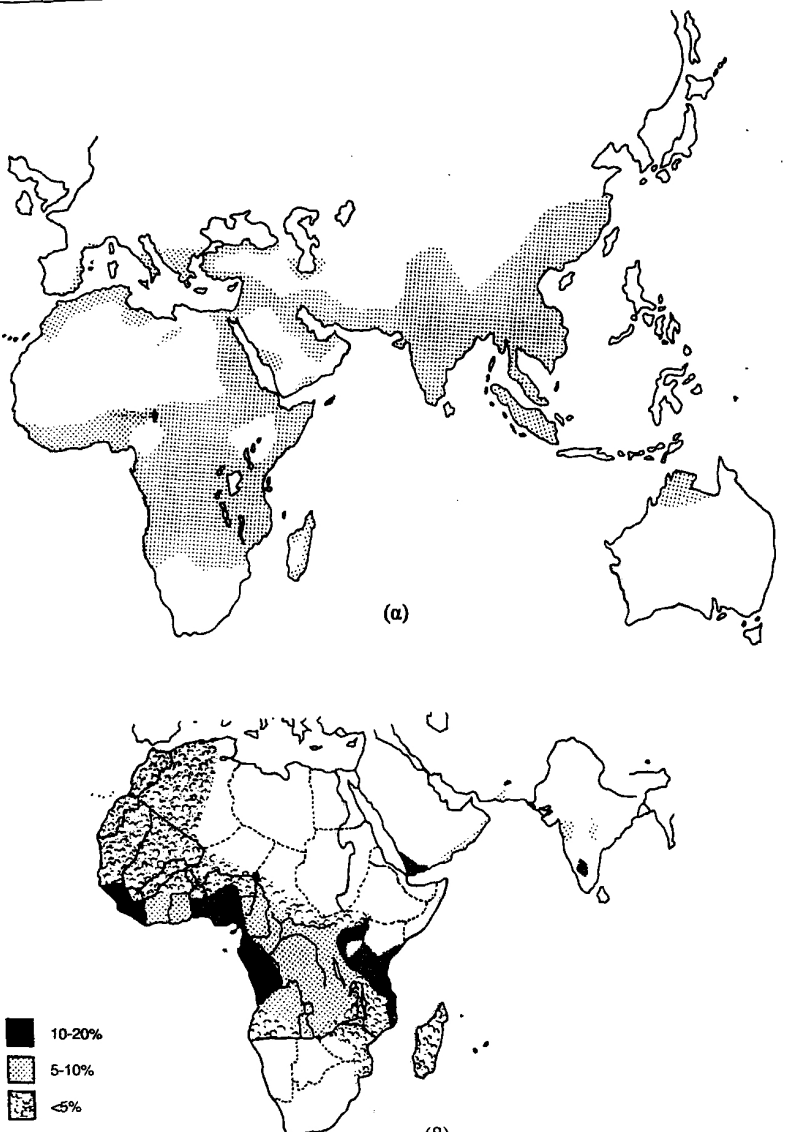
7.2.2 Δεύτερη περίπτωση. Δρεπανοκυτταρική αναιμία και ελονοσία

Η αιμοσφαιρίνη, το μέσο μεταφοράς οξυγόνου στα ανθρώπινα ερυθρά αιμοσφαίρια, έχει βρεθεί σε τρεις διακριτές μορφές σε ορισμένους πληθυσμούς της Ανατολικής Αφρικής. Οι διαφορές μεταξύ αυτών των μορφών οφείλονται στην αντικατάσταση ενός αμινοξέος, η οποία, με τη σειρά της, ελέγχεται από ένα και μόνο γονίδιο. Μπορούμε να αναφερόμαστε στους διαφορετικούς τύπους αιμοσφαιρίνης με τα γράμματα **A**, **AS** και **S**, καθώς και στους αντίστοιχους διαφορετικούς γενότυπους με τα γράμματα **aa**, **as** και **ss**. Το αλληλόμορφο **a** κυριαρχεί ατελώς επί του **s**, γεγονός στο οποίο οφείλεται η ύπαρξη τριών δυνατών φαινοτυπικών εκφράσεων. Ο γενότυπος **aa** παράγει αιμοσφαιρίνη (**A**) με τη μεγαλύτερη δυνατή ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου, ο **as** έχει ως αποτέλεσμα ερυθρά αιμοσφαίρια με ένα συνδυασμό αιμοσφαιρινών (**AS**) που είναι λιγότερο ικανός από αυτήν την άποψη, ενώ ο **ss** καταλήγει σε αιμοσφαιρίνη (**S**) που προκαλεί μία παραμόρφωση των αιμοσφαιρίων, που είναι γνωστή ως «δρεπάνωση». Η παραμόρφωση αυτή έχει μια σειρά από σοβαρά παθο-φυσιολογικά αποτελέσματα που συχνά είναι μοιραία.

Αυτό που απαιτεί εξήγηση είναι το παράδοξο γεγονός, που πιστοποιείται από οικολογικές γενετικές μελέτες, της αυξημένης συχνότητας του αλληλόμορφου **s** σ' αυτούς τους πληθυσμούς, η οποία φτάνει το 23%, ενώ με βάση τη θεωρία της φυσικής επιλογής (και ειδικά αν ληφθεί υπ' όψιν η απουσία κυριαρχίας) θα έπρεπε ουσιαστικά να απουσιάζει.

Η εξήγηση αυτής της περίπτωσης επικαλείται την έννοια του *ετεροζυγωτικού* πλεονεκτήματος (που είναι επίσης γνωστή και ως *ετέρωση* [heterosis] ή *υπερκυριαρχία* [overdominance]). (Για μια γενικότερη πραγμάτευση αυτού του παραδείγματος, καθώς και για ένα γενικό μαθηματικό μοντέλο γενετικής πληθυσμών για τέτοιες περιπτώσεις, βλ. Ayala 1982, 106-111. Για μια καλή ανασκόπηση των τρεχουσών γνώσεων στο μοριακό επίπεδο σε ό,τι αφορά τις αιμοσφαιρίνες, στην οποία συμπεριλαμβάνεται και μια πραγμάτευση των μοριακών μηχανισμών που ενέχονται στη δρεπανοκυτταρική αναιμία, βλ. Rosenberg 1985, 73-83.) Κατ' αρχάς, εντοπίστηκε ένας συσχετισμός μεταξύ των πληθυσμών στους οποίους το **s** αλληλόμορφο συναντάται σε υψηλές συχνότητες και της παρουσίας του κουνουπιού που φέρει το παράσιτο *Plasmodium falciparum*, το οποίο είναι υπεύθυνο για την ελονοσία. Επιδημιολογικές μελέτες απεκάλυψαν στη συνέχεια ότι η κατοχή της **AS** αιμοσφαιρίνης παρέχει ικανότητα αντίστασης στην ελονοσία. Έτσι, σε περιβάλλοντα στα οποία η πιθανότητα προσβολής από ελονοσία είναι μεγάλη, τα άτομα του **as** γενότυπου πλεονεκτούν, τόσο σε σχέση με τους **aa** όσο και με τους **ss** ομοζυγώτες. Συγκρίνετε τους δύο χάρτες του σχήματος 7.2 που απεικονίζουν την κατανομή της **AS** αιμοσφαιρίνης και του *Plasmodium falciparum* αντίστοιχα.

Μια σειρά στοιχείων, που, όπως θα δούμε, σχετίζονται με αυτά που θα συζητήσουμε παρακάτω, διαφοροποιούν αυτό το παράδειγμα από την Περίπτωση 1.



Σχήμα 7.2 Χάρτες (α) της εμφάνισης της ελονοσίας που οφείλεται στο *Plasmodium falciparum* και (β) της συχνότητας του Hb αλληλομόρφου που προκαλεί τη δρεπανοκυτταρική αναιμία στον Παλαιό Κόσμο. Από το βιβλίο των Ayala και Kiger *Modern Genetics*, δεύτερη έκδοση (Menlo Park, CA: Benjamin/Cummings Publishing Company, 1984). Αναδημοσιεύεται κατόπιν αδείας.

Πρώτον, ασχολείται με ένα ερώτημα διαφορετικού τύπου. Το ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί εδώ αφορά τη γενετική και φαινοτυπική σύνθεση ενός παροντικού πληθυσμού και όχι κάποια αλλαγή που έλαβε χώρα στα πλαίσια ενός πληθυσμού κατά τη διάρκεια ενός χρόνου γεωλογικής τάξης. Δεύτερον, το εν λόγω ερώτημα απετέλεσε μία *δοκιμασία* για την εξελικτική θεωρία. Πώς είναι δυνατόν η φυσική επιλογή, η οποία ευνοεί χαρακτηριστικά που συνιστούν πλεονεκτήματα, να εξηγήσει την παρουσία, σε τόσο υψηλά επίπεδα, ενός γονιδίου που ευθύνεται για ένα θανατηφόρο χαρακτηριστικό; Με τη βοήθεια των μοντέλων της γενετικής πληθυσμών, αποδείχθηκε ότι μία τέτοια κατάσταση είναι, πράγματι, θεωρητικώς δυνατή κάτω από συνθήκες που είναι γνωστές ως ετεροζυγωτική υπεροχή. Η περίπτωση αυτή έδωσε τη δυνατότητα σ' αυτά τα μοντέλα να αναπτυχθούν, και στην εν λόγω θεωρία να ελέγξει το κατά πόσο ήταν πράγματι σε θέση να αντεπεξέλθει σε αυτήν τη δοκιμασία.

Η εξήγηση αυτή διαφέρει επίσης από την Περίπτωση 1 κατά το ότι στηρίζεται πολύ λιγότερο σε μη ελέγξιμες παραδοχές όσον αφορά τη γενετική του εν λόγω πληθυσμού. Οι γενετικές διαδικασίες –και μάλιστα, στο μοριακό επίπεδο– που ευθύνονται για τις φαινοτυπικές διαφορές για τις οποίες κάνουμε λόγο (διαφορές στον τύπο αιμοσφαιρίνης) είναι επαρκώς κατανοητές. Επιπλέον, τα πληθυσμιακά δεδομένα που απαιτούνται ώστε να τεθούν σε λειτουργία οι μηχανισμοί της γενετικής πληθυσμών είναι άμεσα διαθέσιμα. Πρόκειται, από κάθε άποψη, για μια κλασική περίπτωση επιτυχίας της γενετικής πληθυσμών.

Εξίσου αξιοσημείωτο, ωστόσο, είναι το γεγονός ότι η επιτυχία αυτής της εξήγησης εξαρτάται καθοριστικά, όπως και στην Περίπτωση 1, από την ύπαρξη στοιχείων που να συνηγορούν υπέρ του προασαρμοστικού πλεονεκτήματος του ετεροζυγωτικού *φαινοτύπου* **AS** επί των άλλων φαινοτύπων, σε ένα εξειδικευμένο, κοινό περιβάλλον. Το σχετικό προσαρμοστικό πλεονέκτημα αυτού του φαινότυπου σε ένα περιβάλλον όπου ενδημεί η ελονοσία συνιστά το καθοριστικό στοιχείο της εξήγησης των αναπάντεχων γενοτυπικών συχνοτήτων. Είναι επίσης σημαντικό να δούμε ότι, ενώ η Περίπτωση 1 ασχολείται με μία μακράς διάρκειας εξελικτική ακολουθία που περιλαμβάνει τη δημιουργία και την εξαφάνιση αρκετών ειδών και, ως εκ τούτου, αντλεί ένα μεγάλο μέρος των στοιχείων στα οποία στηρίζεται από την παλαιοντολογία και την παλαιοοικολογία, η κατανόηση που μας παρέχει η Περίπτωση 2 είναι πολύ λίγο, ή δεν είναι καθόλου, αυτού του τύπου.

7.2.3 Περίπτωση 3. Οι οπλές των αλόγων

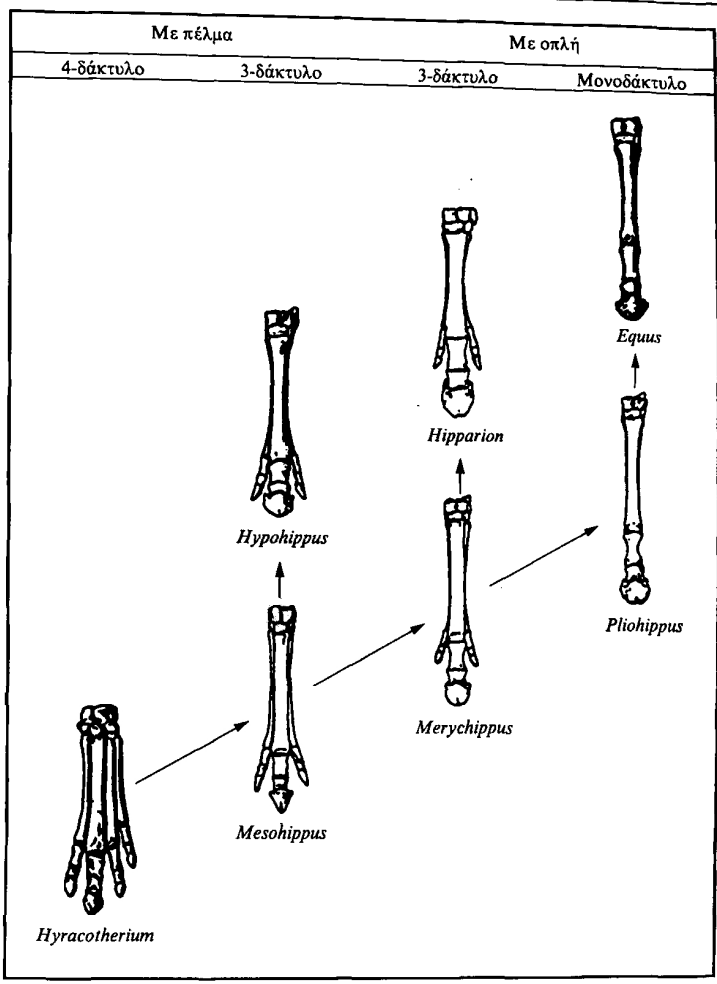
Ας επιστρέψουμε στα άλογα για ένα τρίτο παράδειγμα, συγκεκριμένα για ένα παράδειγμα χρήσης των λεγόμενων «μοντέλων βελτιστοποίησης» στα πλαίσια μιας εξελικτικής εξήγησης. Σε τέτοιου είδους εξηγήσεις, και για την επίλυση συγκεκριμένων προσαρμοστικών προβλημάτων, χρησιμοποιούνται μοντέλα που

προέρχονται από τη μηχανική ή την οικονομία, με βάση τα οποία προβλέπεται ο καλύτερος σχεδιασμός για μια δομή ή η καλύτερη συμπεριφορική στρατηγική. Αυτές οι προβλέψεις συγκρίνονται κατόπιν με τις υπάρχουσες δομές ή συμπεριφορές. Εάν έχουμε λόγους να θεωρήσουμε ότι ταιριάζουν, το γεγονός εκλαμβάνεται ως ένδειξη ότι η υπάρχουσα δομή ή συμπεριφορά έχει «σχεδιασθεί» (στην περίπτωση της βιολογίας, από τη φυσική επιλογή) ως λύση του προσαρμοστικού προβλήματος.

Τα σχετικά απολιθώματα καταγράφουν μια σειρά αμοιβαίως συσχετιζόμενων αλλαγών στην εξέλιξη του σύγχρονου αλόγου. Μία από αυτές, συνυφασμένη με τις αλλαγές της οδοντοφυΐας τις οποίες συζητήσαμε στην Περίπτωση 1, είναι η εμφάνιση ενός είδους προικισμένου με οπλές που προέρχεται από ένα προγονικό είδος με νύχια (βλ. σχήμα 7.3). Ακολουθεί μια σύντομη σύνοψη της εξήγησης που έχει δοθεί για την ανάπτυξη της οπλής του *Equus*, γραμμένη από έναν από τους προτεργάτες της. Το ερώτημα στο οποίο η ακόλουθη εξήγηση συνιστά απάντηση είναι το εξής: γιατί το *Equus* ανέπτυξε ένα, μοναδικό και επιμηκυσμένο δάκτυλο (δηλαδή, μία οπλή), ενώ οι μύες που ελέγχουν την κίνησή του βρίσκονται ψηλά στο ισχύο και συνδέονται μ' αυτό το «δάκτυλο» μέσω επιμηκυσμένων τενόντων;

> Κατά τον καλπασμό, το άλογο πρέπει να επιταχύνει και να επιβραδύνει τα πόδια του σε κάθε διασκελισμό, πράγμα που απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Η σπατάλη ενέργειας μπορεί να μειωθεί αν γίνει όσο το δυνατόν πιο ελαφρύ το κάτω μέρους του ποδιού, δεδομένου ότι αυτό το μέρος είναι που πρέπει να κινηθεί γρηγορότερα. Με τη συγκέντρωση των μυών στο επάνω μέρος του ποδιού, το κάτω μέρος γίνεται πιο ελαφρύ και η κατανάλωση ενέργειας κατά τον καλπασμό περιορίζεται. Ο λόγος της παρουσίας ενός, μοναδικού δακτύλου είναι λιγότερο προφανής. Η επιφάνεια της διατομής των οστών του ποδιού πρέπει να είναι σε θέση να αντέξει τη συμπίεση και τις καμπτικές τάσεις στις οποίες υποβάλλεται κατά τον καλπασμό. Ένα μόνο «καλάμι» (δηλαδή το μεσαίο οστούν του μεταταρσίου του αλόγου) παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση στις στρεβλώσεις απ' όση τέσσερα ή πέντε κόκαλα της ίδιας συνολικής επιφάνειας διατομής. Επίσης, τα οστά του ποδιού ενός πενταδάκτυλου αλόγου θα ήταν, στο σύνολό τους, βαρύτερα από ό,τι ενός μονοδάκτυλου αλόγου. Έτσι, το μοναδικό δάκτυλο, όπως και η συγκέντρωση των μυών στο ισχύο, περιορίζει το βάρος του ποδιού και κατά συνέπεια την ενέργεια που απαιτείται για το τρέξιμο. (Maynard Smith 1972, 16)

Αυτά τα «σχεδιασμένα» δομικά χαρακτηριστικά του ποδιού του αλόγου θεωρούνται προσαρμογές σε σχέση με τον καλπασμό. Η παραδοχή την οποία προϋποθέτουν αυτού του τύπου οι εξηγήσεις έγκειται στο ότι τέτοια σύνθετα χαρακτηριστικά συνιστούν προϊόν μιας μακράς ιστορίας επιλογής υπέρ εκείνων των



Σχήμα 7.3. Εξέλιξη του ποδιού του αλόγου. Από το βιβλίο *Horses : The Story of the Horse Family in the Modern World and Through Sixty Million Years of History* του G.G. Simpson. Copyright 1951 Oxford University Press, Inc. Αναδημοσίευση κατόπιν αδείας.

κληρονομούμενων παραλλαγών που συνεπάγονται μεγαλύτερο πλεονέκτημα στους κατόχους τους – πρόκειται για την προσαρμοστική παραδοχή. Κατ' αυτόν τον τρόπο, «η φύση βελτιστοποιεί» τις ανά πάσα στιγμή διαθέσιμες εναλλακτικές παραλλαγές για να παραγάγει τις θαυμάσιες προσαρμογές που βλέπουμε γύ-

ρω μας. Τέτοιες εξηγήσεις, σύμφωνα τόσο με τους επικριτές τους όσο και με τους υποστηρικτές τους, περιλαμβάνουν παραδοχές σχετικά με τα εξής τρία πράγματα:

1. το εύρος των δυνατών φαινοτύπων·
2. το γνώρισμα που βελτιστοποιείται·
3. την κληρονομικότητα των σχετικών χαρακτηριστικών.

Για παράδειγμα, στην ανάλυση του τρόπου βαδίσματος των ζώων, από την οποία έχει ληφθεί και η προηγούμενη περίπτωση, προϋποτίθεται (και στην περίπτωση του αλόγου έχουμε απολιθωματικά στοιχεία προς υποστήριξη αυτής της παραδοχής) ότι οι εναλλακτικές δομές που αναφέρονται υπήρχαν πράγματι μεταξύ των παραλλαγών που είχε στη διάθεσή της η επιλογή· προϋποτίθεται ακόμα ότι το γνώρισμα που βελτιστοποιήθηκε ήταν η αποδοτικότητα όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας σε μια δεδομένη ταχύτητα. Αυτό οδήγησε τους συγγραφείς να προβλέψουν ότι ο χρόνος κατά τον οποίο το ζώο δεν πατά καθόλου στο έδαφος αυξάνεται ανάλογα με την ταχύτητα, αλλά μειώνεται ανάλογα με το μέγεθος, μία πρόβλεψη που επιβεβαιώθηκε στην προκειμένη περίπτωση.

Αυτού του τύπου οι εξηγήσεις συχνά ξεκινούν από μαθηματικά υποδείγματα προερχόμενα από τη μηχανική, την οικονομία και τη θεωρία παιγνίων. Τέτοιες εξηγήσεις μερικές φορές δίδονται σε αντιστάθμισμα της έλλειψης εμπειρικής υποστήριξης όσον αφορά τις παραδοχές (1) και (3), και επιλέγουν το γνώρισμα της παραδοχής (2) χρησιμοποιώντας κατά βάση την κοινή λογική. Οι πιο ακραίοι επικριτές αυτού του τύπου εξήγησης υποστηρίζουν ότι το όλο πρόγραμμα που τις συνέχει είναι παραπλανητικό, ισχυριζόμενοι ότι πάντοτε θα υπάρχουν ιδιοφυείς χειριστές του «προσαρμοστικού προγράμματος» που θα είναι σε θέση να μαστορεύουν φαινομενικά αυστηρούς ελέγχους, χρησιμοποιώντας παραδοχές οι οποίες, ενώ μοιάζουν επαρκείς για αυτόν το σκοπό, στην πραγματικότητα δεν είναι ανεξάρτητα ελέγξιμες. Αυτού του τύπου η κριτική θα συζητηθεί στο τέλος του κεφαλαίου.

7.2.4 Οι σπίνοι του Δαρβίνου

Οι σπίνοι των νησιών Γκαλαπάγκος, στα ανοικτά της ακτής της Νότιας Αμερικής που βλέπει στον Ειρηνικό Ωκεανό, υπήρξαν μεταξύ των ειδών που έκαναν τον Δαρβίνο να αρχίσει να σκέφτεται το εξελικτικό σχήμα. Ακόμα και μέχρι σήμερα συνεχίζουν να αποτελούν γόνιμη βάση για τον έλεγχο της εξελικτικής θεωρίας. Για παράδειγμα, το 1981 το περιοδικό *Science* δημοσίευσε τη φροντισμένη αναφορά (Boag και Grant [1981] 1982) μίας έρευνας επί του *Geospiza fortis*, του εδαφιαίου σπίνου του νησιού Μεγάλη Δάφνη. Η μελέτη στόχευε στην εξήγηση των αλλαγών που προκύπτουν σ' αυτόν τον πληθυσμό πουλιών ως απο-

τέλεσμα εντατικής επιλογής προς όφελος πουλιών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Όπως συχνά συμβαίνει με τέτοιου τύπου μελέτες, η συγκεκριμένη εξήγηση ήθελε να συνεισφέρει στην καταξίωση της εγκυρότητας ενός γενικού προτύπου εξελικτικής εξήγησης.

Τα γεγονότα που έπρεπε να εξηγηθούν ήταν τα εξής: Μέσα σε δύο χρόνια, κατά τη διάρκεια των οποίων έλαβε χώρα μια περίοδος μεγάλης ξηρασίας, το μέγεθος του υπό έρευνα πληθυσμού εδαφιαίων σπίνων συρρικνώθηκε, από περίπου 640 άτομα σε 85. Μελετήθηκε μια σειρά χαρακτηριστικών που σχετίζονται με το συνολικό μέγεθος του σώματος και τις διαστάσεις του ράμφους. Ο μέσος όρος του πληθυσμού που επιβίωσε, όσον αφορά τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, μετατοπίστηκε προς μεγαλύτερα μεγέθη σώματος και ράμφους. Δύο ερωτήματα απασχόλησαν τους ερευνητές:

1. Οι αλλαγές που παρατηρήθηκαν στον πληθυσμό οφείλονταν στη φυσική επιλογή;
2. Ποιος ήταν ο ακριβής μηχανισμός της διαδικασίας επιλογής;

Κατά τη διάρκεια της γρήγορης μείωσης του πληθυσμού, η ξηρασία είχε επίσης ως αποτέλεσμα μια γενική μείωση της επάρκειας των σπόρων που αποτελούν την τροφή των σπίνων, όπου όμως οι μικρότεροι σπόροι λιγόστευαν πιο γρήγορα από τους μεγαλύτερους (η σύγκριση των σπόρων γινόταν με τη βοήθεια ενός πίνακα «μέγεθος σε χιλιοστόμετρα/σκληρότητα σε Nt»). Λεπτομερής μελέτη έδειξε ότι μεταξύ του 1976 και του 1977 οι μεσαίοι και μεγάλοι σπόροι αύξησαν το ποσοστό τους στη δίαιτα του δείγματος πληθυσμού από 17 τοις εκατό σε 49 τοις εκατό. Επιπλέον, «τα μεγάλα πουλιά έτρωγαν μεγαλύτερους σπόρους από τα μικρότερα, πράγμα που υποδεικνύει ότι τα μικρά πουλιά εξαφανίστηκαν *επειδή* δεν μπορούσαν να βρουν αρκετή τροφή» (Boag και Grant [1981] 1982, 176, η υπογράμμιση έχει προστεθεί). Επιπροσθέτως, τα μικρά πουλιά άρχισαν να τρέφονται με έναν μικρό σπόρο, που υπό κανονικές συνθήκες θα περιφρονούσαν, επειδή ήταν ο μοναδικός διαθέσιμος μικρός σπόρος στο αποκορύφωμα της ξηρασίας. Ο σπόρος αυτός ήταν πλούσιος σε γαλακτώδη χυμό, πράγμα που είχε ως αποτέλεσμα τη φθορά του φτερώματος των μικρών πουλιών και τελικά την απώλειά του. Πολλά μικρά πουλιά βρέθηκαν νεκρά σ' αυτήν την κατάσταση κατά την πιο ξηρή εποχή εκείνης της χρονιάς. Τα μεγαλύτερα πουλιά στράφηκαν προς μια πηγή τροφής που επίσης θα περιφρονούσαν υπό κανονικές συνθήκες, έναν εξαιρετικά μεγάλο σπόρο που τα μικρότερα πουλιά ήταν ανίκανα να φάνε. Οι Μπόαγκ και Γκραντ καταλήγουν:

> Είναι εύλογο να συμπεράνει κανείς τη δράση της φυσικής επιλογής από το μεγαλύτερο ποσοστό επιβίωσης των μεγάλων πουλιών, δεδομένου ότι το 76 τοις εκατό περίπου της ποικιλομορφίας στις εφτά μορφολογικές μετρήσεις και στα αποτελέσματα της κύριας συνιστώσας 1 [αποτελέσματα

που βασίστηκαν σε συνδυασμό μετρήσεων] είναι κληρονομήσιμο (στο ίδιο, 178).

Η εξήγηση που προκύπτει από αυτήν τη μελέτη είναι σαφής:

1. Μια σοβαρή αλλαγή στο αβιοτικό περιβάλλον (ξηρασία) είχε διαφορικά αποτελέσματα στα κανονικά αποθέματα τροφής του υπό εξέταση δείγματος πληθυσμού·
2. ορισμένες παραλλαγές στα πλαίσια του πληθυσμού, ειδικά όσον αφορά το μέγεθος του ράμφους, επέτρεψαν σε ορισμένα μέλη του να επιβιώσουν καλύτερα από άλλα κατά τη διάρκεια αυτής της αλλαγής – συγκεκριμένα, η αλλαγή στα αποθέματα τροφής επηρέασε επιλεκτικά το ποσοστό θνησιμότητας των μικρότερων πουλιών.
3. παρεμπιπτόντως ως προς αυτό, αλλά με εν δυνάμει σημαντικές εξελικτικές επιπτώσεις, η αναλογία των φύλων αλλοιώθηκε κατά την περίοδο της έρευνας, από 1 αρσενικό προς 1 θηλυκό σε 6 αρσενικά προς 1 θηλυκό, πράγμα που οφειλόταν στο γεγονός ότι τα θηλυκά είναι αξιοσημείωτα μικρότερα από τα αρσενικά.

Η μελέτη αυτή αποκτά επιπλέον σημασία από το γεγονός ότι αποτελεί παράδειγμα ενός «εξελικτικού μποτιλιαρίσματος» (evolutionary bottleneck), μιας κατάστασης όπου ένας πληθυσμός υφίσταται εντατική επιλογή, κατά την οποία μόνο ένα μικρό, μονόπλευρα προσανατολισμένο δείγμα του πληθυσμού επιβιώνει για να συνεισφέρει γενετικά στις κατοπινές γενιές. Για πολλούς εξελικτικούς βιολόγους αποτελεί αξίωμα ότι τέτοια περιστατικά παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εξελικτική διαδικασία. Εάν πράγματι η εξελικτική διαδικασία ήταν ως επί το πλείστον αυτού του τύπου, θα μπορούσε να εξηγηθεί ένα γενικό σχήμα που παρουσιάζουν οι καταγραφές απολιθωμάτων, όπου μακρές περίοδοι σχετικής σταθερότητας εμφανίζονται «διάστικτες» από ταχείες περιόδους δημιουργίας ειδών. Οι Μπόαγκ και Γκραντ καταλήγουν:

> Δεδομένου ότι οι πληθυσμοί των σπίνων του Δαρβίνου είναι πολύ μικροί σε μέγεθος, απομονωμένοι, σχετικά εδραίοι και παρουσιάζουν μορφολογική ποικιλομορφία, σε συνδυασμό με την υψηλή χωρική και χρονική διαφοροποίηση των νησιών Γκαλαπάγκος, περιστατικά αυτού του τύπου συνιστούν ένα μηχανισμό γρήγορης μορφολογικής εξέλιξης. Η συγκυριακή ισχυρή επιλογή επί κληρονομήσιμων χαρακτηριστικών, σε ένα έντονα διαφοροποιημένο περιβάλλον, μπορεί να είναι ένα από τα κλειδιά για την εξήγηση της φαινομενικά γρήγορης προσαρμοστικής διασποράς των *Geospizinae* στα Γκαλαπάγκος (στο ίδιο, 180).

Αυτές οι τέσσερις εξηγήσεις διαφέρουν από πολλές απόψεις: ως προς τον τύπο ερωτημάτων που απευθύνουν, τη φύση της εμπειρικής υποστήριξης των προ-

κείμενών τους, το κατά πόσο είναι ιστορικού χαρακτήρα και ούτω καθ' εξής. Ωστόσο, όλες επικαλούνται, κατά καθοριστικό τρόπο, την ύπαρξη τυχαίων, κληρονομήσιμων παραλλαγών, τη φυσική επιλογή, την αρμοστικότητα και την προσαρμογή. Έχοντας κατά νου αυτές τις περιπτώσεις, ας διερευνήσουμε τώρα κάποια φιλοσοφικά προβλήματα που σχετίζονται με τη θέση που καταλαμβάνουν αυτές οι έννοιες στον πυρήνα της εξελικτικής θεωρίας.

7.3 ΕΞΗΓΗΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ

Η δαρβινική θεωρία της εξέλιξης στηρίζεται σε δύο θεμελιώδεις αρχές :

1. η κύρια αιτία της εξελικτικής αλλαγής είναι η φυσική επιλογή·
2. οι παραλλαγές επί των οποίων δρα η επιλογή προκύπτουν κατά τυχαίο τρόπο σε σχέση με τις προσαρμοστικές απαιτήσεις των οργανισμών.

Το υπόλοιπο της συζήτησής μας θα αφιερωθεί στις φιλοσοφικές δυσκολίες που αναφύονται όταν προσπαθούμε να κατανοήσουμε αυτές τις δύο αρχές· θα συζητήσουμε, ειδικότερα, το νόημα των εννοιών «αρμοστικότητα», «προσαρμογή», «επιλογή» και «τυχαιότητα» στα πλαίσια της εξελικτικής θεωρίας. Η τρέχουσα παράγραφος θα πραγματευθεί τις πρώτες τρεις· η παράγραφος 7.4 θα ασχοληθεί με το κατά πόσο μία θεωρία βασισμένη στην προσαρμογή και την επιλογή είναι μία τελεολογική θεωρία· τέλος, η παράγραφος 7.5 θα πραγματευθεί την έννοια της τυχαιότητας.

7.3.1 Το νόημα και ο ορισμός της αρμοστικότητας

Ξεκινήσαμε από τον Δαρβίνο. Είδαμε ότι ο ίδιος προσδιόριζε τη θεωρία του διακρίνοντας ανάμεσα σε τρία πράγματα : (1) τις διαφορετικές προσαρμοστικές αξίες των διαφορετικών παραλλαγών· (2) τη διαφορική επιβίωση των οργανισμών που διαθέτουν αυτές τις παραλλαγές· και (3) τις διαφορικές αναπαραγωγικές αναλογίες αυτών των οργανισμών. Όπως και σε πολλές άλλες περιπτώσεις, ο Δαρβίνος είχε την προνοητικότητα να κάνει αυτές τις διακρίσεις, ενώ πολλές από τις εννοιολογικές συγχύσεις που διέπουν τις σύγχρονες εξελικτικές διαφωνίες μπορούν να αποδοθούν στην παραγνώρισή τους, ή τουλάχιστον στην αποτυχία σαφούς χάραξής τους. Ιστορικά, αυτές οι συγχύσεις ανάγονται στη βιασύνη με την οποία επιχειρήθηκε να καταστεί «λειτουργική» η έννοια της αρμοστικότητας, δηλαδή να ορισθεί ως εάν να αναφερόταν στις τιμές που προκύπτουν όταν προσπαθούμε να τη μετρήσουμε. Παραδείγματος χάριν, δεν είναι καθόλου ασυνήθιστη μια διατύπωση της γενικής θεωρίας της φυσικής επιλογής σαν την ακόλουθη:

> Ως επί το πλείστον είμαστε σήμερα εξοικειωμένοι με τη βασική θεωρία της φυσικής επιλογής. Οι οργανισμοί ποικίλλουν κατά κληρονομήσιμο τρόπο. Κάποιες από αυτές τις ποικιλίες αφήνουν περισσότερους απογόνους από άλλες· κατά συνέπεια, τα χαρακτηριστικά τους θα αντιπροσωπεύονται με μεγαλύτερη συχνότητα στην επόμενη γενιά. (Wilson 1984, 273)

Ας σημειωθεί ότι σ' αυτήν την περιγραφή της θεωρίας της φυσικής επιλογής, η μοναδική εξήγηση της αυξημένης συχνότητας ορισμένων χαρακτηριστικών στον θυγατρικό πληθυσμό σε σχέση με τον γονικό, έγκειται στο ότι οι γονείς που διαθέτουν τα εν λόγω χαρακτηριστικά αφήνουν περισσότερους απογόνους. Η δαρβινική αρμοστικότητα συχνά αντιμετωπίζεται με παρόμοιο τρόπο. Ας πάρουμε, για παράδειγμα, το λήμμα «αρμοστικότητα», από το γλωσσάρι ενός βιβλίου γραμμένου από έναν καταξιωμένο πρωτεργάτη της γενετικής πληθυσμών:

> **Αρμοστικότητα** Η αναπαραγωγική συνεισφορά ενός οργανισμού ή ενός γενότυπου στις επόμενες γενιές. (Ayala 1982, 240)

Τέτοιες διατυπώσεις δίνουν συχνά λαβή σε μια σειρά ενστάσεων οι οποίες, σε περίπτωση που αποδεικνύονταν έγκυρες, θα ήταν μοιραίες για την εξελικτική θεωρία. Από την άλλη μεριά, όπως είδαμε στην Παράγραφο 7.1, αυτές οι διατυπώσεις πηγάζουν αυθορμήτως από το γεγονός ότι οι τιμές που αποδίδονται στη μεταβλητή W, για την οποία επιφυλάχθηκε ο όρος «σχετική αρμοστικότητα», δεν είναι τίποτε άλλο από μετρήσεις της σχετικής αναπαραγωγικής συνεισφοράς των διαφορετικών γενοτύπων.

7.3.2 Η αρμοστικότητα ως ταυτολογία

Πολλοί βιολόγοι και φιλόσοφοι έχουν κατά καιρούς ισχυριστεί ότι η θεωρία της εξέλιξης μέσω φυσικής επιλογής «στηρίζεται σε μία ταυτολογία», ή ότι η αρχή της αρμοστικότητας ή της φυσικής επιλογής είναι μία ταυτολογία. Συχνά οι οπαδοί του «επιστημονικού δημιουργισμού» (scientific creationism), στην προσπάθειά τους να βρούν a priori στηρίγματα για την απόρριψη της εξελικτικής βιολογίας, αναμασούν αυτήν την ένσταση. Για την κατ' αρχήν κατανόησή της είναι απαραίτητο πριν απ' όλα να ξέρουμε τι εννοούμε όταν χαρακτηρίζουμε μία απόφανση ως ταυτολογία. (Μια καλή πραγμάτευση του ζητήματος βρίσκεται στο Sober 1984b, κεφάλαιο 2.)

Το νόημα του όρου «ταυτολογία» που συμπίπτει περισσότερο με τη χρήση που του επιφυλάσσεται στα πλαίσια τέτοιων ενστάσεων προς την εξελικτική θεωρία, είναι το εξής: ταυτολογία είναι *μια πρόταση στα πλαίσια της οποίας αυτό που αποδίδεται, ως κατηγόρημα, στον όρο που επέχει θέση υποκειμένου, υπάρχει ήδη στο νόημα του εν λόγω όρου*. Εν προκειμένω, η διατύπωση

«Ο περισσότερο αρμοσμένος (fitter) από τους τρεις γενότυπους αυξάνει την αντιπροσώπευσή του στην επόμενη γενιά» (Τ)

φαίνεται να αποδίδει στον εν λόγω γενότυπο κάτι που δεν υπάρχει ήδη στον χαρακτηρισμό του ως «ο περισσότερο αρμοσμένος». Όπως έχουμε δει, ωστόσο, μερικές φορές οι ειδικοί της γενετικής πληθυσμών μιλούν εν προκειμένω (όπως στο λήμμα «αρμοστικότητα», που παραθέσαμε λίγο πιο πάνω) με τρόπο ώστε «περισσότερο αρμοσμένος» να *σημαίνει αυτολεξεί* «αυξάνει την αντιπροσώπευσή του στην επόμενη γενιά». Έτσι, για όσους προσυπογράφουν τον προαναφερθέντα ορισμό της αρμοστικότητας, η πρόταση Τ είναι ισοδύναμη με την ακόλουθη:

«Μεταξύ τριών γενοτύπων, εκείνος που αυξάνει την αντιπροσώπευσή του στην επόμενη γενιά αυξάνει την αντιπροσώπευσή του στην επόμενη γενιά» (Τ΄)

Με δεδομένο το νόημα του όρου «ταυτολογία» που παραθέσαμε πιο πάνω, όλοι οι ορισμοί είναι ταυτολογίες. Οι ορισμοί παίζουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο στα πλαίσια των επιστημονικών θεωριών, καθιστώντας ρητό κάτι που περιέχεται υπόρρητα στο νόημα των βασικών εννοιών μιας θεωρίας. Το γεγονός και μόνον ότι η πρόταση Τ είναι μια ταυτολογία, δεν είναι λόγος ικανός για να την απορρίψουμε. Το πρόβλημα βρίσκεται μάλλον στο γεγονός ότι η Τ εκλαμβάνεται συχνά ως συμπύκνωση μιας εύλογης *εξήγησης* του γεγονότος ότι ένας συγκεκριμένος γενότυπος αυξάνει τη συχνότητά του. Αλλά εάν η Τ είναι ταυτόσημη με την Τ΄ και τίποτε περισσότερο, παραθέτοντας απλώς τον ισχυρισμό ότι ένας οργανισμός είναι περισσότερο αρμοσμένος από κάποιον άλλο, δεν *εξηγούμε* την εξελικτική αλλαγή αλλά απλώς την *περιγράφουμε*.

7.3.3 Η αρμοστικότητα ως κοινοτυπία

Αυτό που είναι, λοιπόν, πραγματικά ενοχλητικό σε σχέση με αυτές τις διατυπώσεις της θεωρίας της φυσικής επιλογής δεν είναι το γεγονός ότι η πρόταση Τ είναι μία ταυτολογία, αλλά το γεγονός ότι *παρουσιάζεται* ως εξήγηση. Περιμένουμε από την πρόταση Τ να συνιστά έναν προβλεπτικό ή εξηγητικό ισχυρισμό που στηρίζεται σε κάποιον καθιερωμένο ορισμό της αρμοστικότητας, και αποδεικνύεται ότι δεν είναι ούτε το ένα ούτε το άλλο. Απεναντίας, η Τ είναι απλώς ένα τετριμμένο πόρισμα του ορισμού της αρμοστικότητας (βλ. Brandon 1990, 11-12, για μια πληρέστερη πραγμάτευση του θέματος). Ωστόσο, η θεωρία που διατύπωσε αρχικά ο Κάρολος Δαρβίνος ήταν μια *αιτιακή* θεωρία, σύμφωνα με την οποία οι διαφορές αρμοστικότητας των διαφορετικών γονικών οργανισμών *προκαλούν* τις τυχόν αλλαγές στις συχνότητες των γονιδίων σε μεταγενέστερες γε-

νιές. Αυτές οι αλλαγές των συχνοτήτων, για να μην μιλήσουμε για τις αλλαγές των παρατηρήσιμων χαρακτηριστικών των οργανισμών, πρέπει να *εξηγούνται* από μια θεωρία φυσικής επιλογής και όχι απλώς να περιγράφονται από αυτήν. Αν κρίνουμε από την περιγραφή της θεωρίας της φυσικής επιλογής και τον ορισμό της έννοιας της αρμοστικότητας που δίδονται στις προηγούμενες παραπομπές, πρέπει να συμπεράνουμε ότι η εξελικτική βιολογία δεν συνιστά σε καμία περίπτωση *πραγματική επιστήμη*, αλλά απλή λογιστική. Αυτή η εικόνα εξελικτικής θεωρίας φαντάζει σαν φτωχός και μακρινός συγγενής του δαρβινισμού.

7.3.4 Η αρμοστικότητα ως τάση

Μπορούμε να αναζωογονήσουμε έναν υγιή δαρβινισμό χωρίς να παραιτηθούμε από τα ωφέλη της γενετικής πληθυσμών; Ως πρώτο βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση, ας φανταστούμε την ακόλουθη κατάσταση. Δύο γενετικά πανομοιότυπες ζέβρες που ζουν στο ίδιο περιβάλλον, στέκονται η μία δίπλα στην άλλη. Η μία βρίσκεται μέσα σε μια ξερή κοίτη ποταμού, ενώ η άλλη έξω από αυτήν. Μια ξαφνική πλημμύρα παρασύρει τη μία ζέβρα και αφήνει πίσω της την άλλη. Αυτή που μένει αναπαράγεται επιτυχώς δέκα φορές πριν πεθάνει. Στη βάση των ορισμών που παρατέθηκαν προηγουμένως, σύμφωνα με τους οποίους η αρμοστικότητα ορίζεται απλώς διά της πραγματικής αναπαραγωγικής επιτυχίας, προκύπτει ότι η ζέβρα που απέφυγε την πλημμύρα και δημιούργησε δέκα φορές απογόνους είναι σαφώς περισσότερο αρμοσμένη από την άλλη. Από την άλλη μεριά όμως, όπως αυτός ο ίδιος ορισμός υπονοεί, οι τιμές αρμοστικότητας πρέπει να αποδίδονται σε γενότυπους, πράγμα που μας παρακινεί να χαρακτηρίσουμε και τις δύο ζέβρες με την ίδια τιμή αρμοστικότητας. Ορίζοντας με τον τρόπο που είδαμε την αρμοστικότητα, οδηγούμαστε μοιραία σε τέτοια παράδοξα, στο βαθμό που δεν είμαστε σε θέση να διακρίνουμε τις αλλαγές στη γονιδιακή συχνότητα που οφείλονται σε διαφορική προσαρμογή από αντίστοιχες αλλαγές που οφείλονται σε άλλες αιτίες.

Προς αποφυγήν ενός τέτοιου διλήμματος, η έννοια της αρμοστικότητας πρέπει να αναφέρεται σε κάτι πέραν της *πραγματικής* αναπαραγωγικής επιτυχίας. Έχει προταθεί από αρκετούς φιλοσόφους ότι, στα πλαίσια της εξελικτικής θεωρίας, ο όρος «αρμοστικότητα» αναφέρεται στην *τάση* που έχουν ορισμένοι γενότυποι ή αλληλόμορφα να αυξάνουν τη συχνότητά τους σε μεταγενέστερες γενιές. (Ο Brandon 1990, 14-24, προτιμά τώρα να αναφέρεται στην ερμηνεία της προσαρμοστικότητας (adaptedness) –και όχι της αρμοστικότητας– ως τάσης. Αυτή η ερμηνεία της αρμοστικότητας υποστηρίζεται στα Brandon 1978, Mills και Beatty 1979, Burian 1983, και Sober 1984.) Μπορούμε πλέον να πραγματευθούμε το παράδειγμα των δύο ζεβρών ισχυριζόμενοι ότι είχαν την ίδια *αναμενόμενη* αρμοστικότητα, την ίδια *τάση* να αναπαραχθούν επιτυχώς σε σχέση με άλλους γενοτύπους, αλλά παρενέβη η μοίρα και εμπόδισε τη μία από αυτές να *πραγματο-*

ποιήσει το αναπαραγωγικό της δυναμικό. Οι διαφορετικοί βαθμοί αναπαραγωγικής επιτυχίας των διαφορετικών γενοτύπων πρέπει, λοιπόν, να θεωρούνται ότι μόνο δυνάμει, και όχι κατ' αναγκαιότητα, οφείλονται σε διαφορές αρμοστικότητας.

Ωστόσο, ούτε και αυτή η προτεινόμενη ερμηνεία είναι άμοιρη προβλημάτων, όσο και αν συνιστά βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση. Μας παρακινεί να θεωρήσουμε την αρμοστικότητα ως μία «προδιαθετική ιδιότητα» (dispositional property) των οργανισμών για τους οποίους γίνεται λόγος: όπως ακριβώς τα διάφορα υλικά εμφανίζουν διαφορές ως προς την ελαστικότητά τους, έτσι και τα διαφορετικά μέλη ενός πληθυσμού διαφέρουν όσον αφορά την ικανότητά τους να αφήνουν απογόνους. Ακολουθώντας αυτήν την αντίληψη στις λογικές συνεπαγωγές της, θα έπρεπε να περιμένουμε να βρούμε θεμελιώδεις φυσικές διαφορές που να εξηγούν αυτές τις διαφορετικές αναπαραγωγικές ικανότητες, όπως ακριβώς οι δομικές ιδιότητες των διαφόρων υλικών εξηγούν τις διαφορές της ελαστικότητάς τους. Ωστόσο οι διαφορές αρμοστικότητας (δηλαδή, οι διαφορές της αναπαραγωγικής ικανότητας) δεν βασίζονται σε φυσικές διαφορές με αυτόν τον τρόπο. Οι διαφορές αρμοστικότητας, όπως ασταμάτητα υπογράμμιζε ο Δαρβίνος, εξαρτώνται από ένα πολύπλοκο και μεταβλητό πλέγμα *δομικών σχέσεων* ανάμεσα στον οργανισμό και το περιβάλλον του. Η εν λόγω ερμηνεία της αρμοστικότητας δυσκολεύεται, λοιπόν, να γίνει τόσο αφηρημένη ώστε να καλύπτει όλες αυτές τις ετερογενείς σχέσεις που συνιστούν την προσαρμογή και βρίσκονται στη βάση του αναπαραγωγικού δυναμικού.

Πολλές φορές, οι υποστηρικτές της «ερμηνείας της αρμοστικότητας ως τάσης» αντιδρούν απέναντι σ' αυτήν τη δυσκολία με το να την αποδέχονται. Παραδείγματος χάριν, δύο υποστηρικτές της ερμηνείας ως τάσης απαντούν σ' αυτό το πρόβλημα ως εξής:

> Όσο θα υπάρχουν τεκμήρια για διαφορές αρμοστικότητας ανεξάρτητα από τις διαφορές ως προς την αναπαραγωγική επιτυχία τις οποίες καλούνται να εξηγήσουν, οι εξηγήσεις είναι δυνάμει αποδεκτές. Δεν υπάρχει κανένας λόγος τα επιπλέον τεκμήρια να είναι του ίδιου τύπου σε κάθε περίπτωση. (Brandon και Beatty 1984, 345)

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δύο από τις περιπτώσεις που πήραμε ως παραδείγματα εξελικτικών εξηγήσεων για να καταλάβουμε τι εννοούν οι δύο συγγραφείς. Στην Περίπτωση 4, το μεγαλύτερο ράμφος *σε σχέση με* μία αλλαγή στο μέγεθος των διαθέσιμων σπόρων, κατέστησε κάποιους σπίνους περισσότερο αρμοσμένους από άλλους ενώ, στην Περίπτωση 1, γομφίοι με υψηλότερες κορόνες και περισσότερο σμάλτο *σε έναν υπό δημιουργία θώκο βόσκησης χόρτων* κατέστησαν ορισμένα αρχέγονα άλογα περισσότερο αρμοσμένα από άλλα. Και στις δύο περιπτώσεις, διαθέτουμε αρκετά τεκμήρια ώστε να αποδώσουμε τιμές αρμοστικότητας ανεξάρτητα από την πραγματική αναπαραγωγική επιτυχία, μο-

λονότι η φυσική βάση των διαφορετικών αναπαραγωγικών τάσεων μπορεί να διαφέρει από είδος σε είδος και από το ένα περιβάλλον στο άλλο.

Αλλά και αυτή η απάντηση παρουσιάζει δυσκολίες που εύκολα μπορούν να γίνουν αντιληπτές εάν σκεφθούμε τον συνήθη τρόπο με τον οποίο αποδίδουμε εμπειρικό περιεχόμενο σε όρους που υποδηλώνουν προδιαθετικές ιδιότητες. Η πρόταση «το καουτσούκ είναι ελαστικό» μπορεί να κατανοηθεί αρχικώς ως βασιζόμενη σε έναν απλό αντιγεγονικό ισχυρισμό: «Εάν σε ένα αντικείμενο από καουτσούκ εφαρμοσθούν ορισμένες δυνάμεις και αυτό κατόπιν αφεθεί ελεύθερο, θα επανέλθει στο αρχικό του μέγεθος και σχήμα». Αλλά στα πλαίσια μιας επιστημονικής θεωρίας που αφορά το εν λόγω υλικό, μια τέτοια υπόθεση στηρίζεται κατά τυπικό τρόπο στη γνώση των δομικών ιδιοτήτων του. Για να πραγματευθούμε την τάση του καουτσούκ να «επανέρχεται», αναζητούμε μία μοριακή-μηχανική θεώρηση της μικροδομής του, στη βάση της οποίας να μπορούμε να εξηγήσουμε ότι είναι ευέλικτο και όχι άκαμπτο. Επιπλέον, προσδοκούμε ότι κάποια κατάλληλη *αφηρημένη* θεωρία θα είναι σε θέση να επιληφθεί *αυτής καθ' εαυτήν* της ιδιότητας της ελαστικότητας, ανεξαρτήτως του υλικού για το οποίο γίνεται λόγος. Στο βαθμό που η προδιαθετική ιδιότητα είναι παντού η ίδια, πρέπει και η φυσική βάση της να είναι μία και μοναδική. Πρέπει να είμαστε προσεκτικοί, λοιπόν, και να μην απαιτούμε πραγμάτευση της αρμοστικότητας των *οργανισμών* εξίσου συγκεκριμένη με την πραγμάτευση της ελαστικότητας του *καουτσούκ*. Μια ιδεώδης φυσική θεωρία οφείλει να παρέχει μια *γενική* θεώρηση της ελαστικότητας, η οποία να ξεκινά από το φυσικό υπόβαθρό της και να είναι αληθής για *όλα* τα ελαστικά στερεά. Μια τέτοια θεωρία πρέπει να είναι αρκετά αφηρημένη ώστε οι διαφορές της χημικής σύστασης, τόσο του εκάστοτε υλικού όσο και των φυσικών συνθηκών που το περιβάλλουν –όπως θερμοκρασία, πίεση, πεδίο βαρύτητας κ.λπ.– να μην απαιτούν κάποια διαφορετική θεωρία.

Με την ίδια λογική, μια ιδεώδης εξελικτική θεωρία θα έπρεπε να παρέχει μια γενική θεώρηση της αρμοστικότητας. Στο βαθμό που η αρμοστικότητα αποτελεί προδιαθετική ιδιότητα των οργανισμών, πρέπει να υπάρχει μία αφηρημένη θεώρηση αυτής καθ' εαυτήν της βάσης πάνω στην οποία στηρίζεται η αρμοστικότητα, ανεξαρτήτως του τύπου του οργανισμού για τον οποίο συζητάμε. Το γεγονός ότι καμία τέτοια θεώρηση δεν φαίνεται να αποτελεί μέρος της τρέχουσας εξελικτικής θεωρίας παρακίνησε ορισμένους φιλοσόφους να περιγράψουν την αρμοστικότητα ως *επιγενόμενη* (supervenient) ιδιότητα των οργανισμών στους οποίους αποδίδεται (Sober 1984b, 48-50· Rosenberg 1985, 154-168).

7.3.5 Η αρμοστικότητα ως επιγενόμενη ιδιότητα

Η *επιγένεση* (supervenience), όπως χρησιμοποιείται εδώ, μπορεί να ορισθεί ως:

Μια σχέση μεταξύ μίας μη-φυσικής ιδιότητας και ενός αντικειμένου, στα πλαίσια της οποίας (α) τα αντικείμενα που διαθέτουν αυτήν την ιδιότητα είναι δυνατόν να διαφέρουν όσον αφορά τα φυσικά χαρακτηριστικά που συνιστούν τη βάση της εν λόγω ιδιότητας και, παρ' όλα αυτά, (β) κάθε αντικείμενο που διαθέτει αυτά τα φυσικά χαρακτηριστικά να διαθέτει αναγκαστικά και την εν λόγω μη-φυσική ιδιότητα.

Πάρτε για παράδειγμα την ιδιότητα ενός αντικειμένου να είναι ρολόι (Rosenberg 1985, 73). Δεν υπάρχει ένα και μόνο σύνολο φυσικών μηχανισμών που να προσδιορίζει όλα τα αντικείμενα που λειτουργούν ως ρολόγια. (Αρκεί να σκεφθούμε, παραδείγματος χάριν, πόσο διαφορετικός είναι ο εσωτερικός μηχανισμός ενός ψηφιακού και ενός αναλογικού ρολογιού.) Ωστόσο, κάθε αντικείμενο που θα διαθέτει έναν από αυτούς τους κατάλληλους αλλά τόσο διαφορετικούς φυσικούς μηχανισμούς, θα λειτουργεί αναγκαστικά ως ρολόι. Η ιδιότητα κάποιου πράγματος να συνιστά ρολόι είναι, ως εκ τούτου, επιγενόμενη ως προς κάθε μία από αυτές τις κατάλληλες φυσικές δομές.

Η έννοια αυτή έχει παίξει κεντρικό ρόλο στις προσπάθειες να κατανοήσουμε τη σχέση ανάμεσα στις διάφορες καταστάσεις του νου και της φυσικής βάσης τους με λειτουργικούς όρους. Σε αυτό το πλαίσιο, η συγκρότηση της έννοιας της επιγενόμενης ιδιότητας στόχευε, εν πολλοίς, στην περιγραφή της γνωσιακής δραστηριότητάς μας χωρίς την επίκληση κάποιας μη φυσικής οντότητας (νους) αλλά και αποφεύγοντας, από την άλλη μεριά, την *ταύτιση* των διάφορων καταστάσεων του νου με συγκεκριμένες φυσικές καταστάσεις. Έχουμε ένα ακριβώς ανάλογο κίνητρο για να θεωρήσουμε την αρμοστικότητα ως επιγενόμενη ιδιότητα : προσδιορίζοντας την αρμοστικότητα ως επιγενόμενη ιδιότητα, οι φιλόσοφοι ισχυρίζονται ότι κάθε διαφορά στην αρμοστικότητα στηρίζεται πάντοτε σε *κάποια* φυσική βάση, χωρίς ωστόσο να είμαστε σε θέση, βασιζόμενοι στο γεγονός ότι ένας οργανισμός είναι περισσότερο αρμοσμένος από κάποιον άλλο, να εξαγάγουμε κατά άμεσο τρόπο συμπεράσματα σχετικά με τις *πραγματικές* φυσικές διαφορές που υποβαστάζουν αυτήν τη διαφορά. Πράγματι, με δεδομένο τον κομβικό ρόλο των αλληλεπιδράσεων μεταξύ οργανισμού και περιβάλλοντος στη δημιουργία διαφορών αρμοστικότητας, θα έπρεπε να θεωρήσουμε με τη μεγαλύτερη δυνατή ευρύτητα αυτές τις «φυσικές διαφορές που βρίσκονται στη βάση» των διαφορών αρμοστικότητας ώστε να μπορούν να συμπεριλάβουν τέτοιες αλληλεπιδράσεις. Ας πάρουμε για παράδειγμα την Περίπτωση 2: ένας ετεροζυγώτης ως προς το γονίδιο της δρεπανοκυτταρικής αναιμίας χαρακτηρίζεται από μία τιμή αρμοστικότητας στην Ανατολική Αφρική, αλλά από μία πολύ διαφορετική στη Δυτική Πενσυλβάνια. Αυτό δεν συμβαίνει επειδή άλλαξε η φυσική σύνθεση του εν λόγω προσώπου, αλλά επειδή άλλαξε κάποιο σχετικό στοιχείο του περιβάλλοντος.

Η περιγραφή της αρμοστικότητας ως επιγενόμενης ιδιότητας είναι χρήσιμη για δύο λόγους. Πρώτον, γιατί συνιστά δέσμευση απέναντι στη φυσιοκρατία,

απέναντι στην αντίληψη που θέλει την αρμοστικότητα, όσο δύσκολη και αν είναι η αφηρημένη σύλληψή της, να συνιστά ιδιότητα φυσικών αντικειμένων. Και δεύτερον, γιατί μας αναγκάζει να εστιάσουμε την προσοχή μας στο πρόβλημα της άμεσης συσχέτισης της αρμοστικότητας με κάποιο πραγματικό φυσικό χαρακτηριστικό του οργανισμού, όσο και αν αυτό προσδιορίζεται με πολύ αφηρημένους όρους. Ωστόσο, δεν φαίνεται να μας πηγαίνει πολύ μακριά όσον αφορά την αναζήτηση μιας *θετικής* πραγμάτευσης της αρμοστικότητας. Εξετάζοντας δύο από τα παραδείγματά μας, μπορούμε τουλάχιστον να στρέψουμε αυτήν την αναζήτηση σε μια γόνιμη κατεύθυνση.

7.3.6 Αρμοστικότητα και προσαρμογή: μία πρόταση

Τόσο στο παράδειγμα της δρεπανοκυτταρικής αναιμίας όσο και στο παράδειγμα της οπλής των αλόγων, οι σχετικές εξελικτικές εξηγήσεις βασίστηκαν σε τεκμήρια που συνηγορούσαν υπέρ της αιτιακής σχέσης μεταξύ της σχετικής επιτυχίας στα πλαίσια ενός ανταγωνισμού ή μιας βελτιστοποιημένης λειτουργίας σε κάποιο περιβάλλον, από τη μία μεριά, και της διαφορικής αναπαραγωγικής συνεισφοράς, από την άλλη. Αν θέλουμε να μεταφράσουμε, λοιπόν, (i) την επιτυχία στον ανταγωνισμό ή (ii) τη βελτιστοποιημένη λειτουργία με όρους μιας εξελικτικής εξήγησης, πρέπει τα χαρακτηριστικά που βρίσκονται στη βάση αυτών των ιδιοτήτων (α) να είναι κληρονομήσιμα και (β) να οδηγούν σε αναπαραγωγικά πλεονεκτήματα. Κανένα από τα (α) και (β) δεν προκύπτει κατά αναγκαστικό τρόπο από το (i) ή το (ii). Πράγμα που σημαίνει ότι για να χρησιμοποιήσουμε τις διαφορές προσαρμογής μεταξύ οργανισμών σε μια εξελικτική εξήγηση, πρέπει να κάνουμε ένα από τα ακόλουθα δύο πράγματα. Πρέπει, είτε να κάνουμε εύλογες παραδοχές σχετικά με την κληρονομικότητα αυτών των προσαρμοστικών διαφορών στον υπό μελέτη πληθυσμό (παραδοχές που, στο μέτρο του δυνατού, πρέπει σε κάποιο σημείο να αξιολογούνται) είτε, όπου είναι δυνατό, να εντάξουμε στην εξήγησή μας τα αποτελέσματα οικολογικών και γενετικών μελετών. (Για τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες μεθόδους, δες Endler 1986, κεφάλαιο 6· Sheppard 1975, κεφάλαιο 12.) Αλλά η μελέτη των τεσσάρων περιπτώσεών μας έδειξε ότι *ακριβώς* τέτοιου τύπου είναι οι προκείμενες που επικαλούνται *στην πράξη* οι εξελικτικοί βιολόγοι όταν παρέχουν μια εξήγηση εξελικτικών αλλαγών που βασίζεται στην επιλογή. Μπορούμε να βρούμε ένα κομψό παράδειγμα τέτοιας επίκλησης στην Περίπτωση 2, στις έρευνες που απέδειξαν το συσχετισμό ανάμεσα σε υψηλά ποσοστά ενός θανατογόνου υποτελούς γονιδίου και στην ενδημική παρουσία ελονοσίας, καθόρισαν τη γενετική βάση της δρεπανοκυτταρικής αναιμίας και χρησιμοποίησαν υποδείγματα ετέρωσης από τη γενετική πληθυσμών για να εξηγήσουν τις συχνότητες του s-αλληλομόρφου σε περιβάλλοντα όπου ενδημεί η ελονοσία.

Πράγματι, η αναγνώριση της συγκυριακής φύσης της σχέσης ανάμεσα στις

προσαρμοστικές και τις αναπαραγωγικές διαφορές είναι καθοριστική για μία πειστική θεώρηση της σύγχρονης εξελικτικής θεωρίας. Ορισμένα μεγάλα βήματα της εξέλιξης μπορεί να οφείλονται σε διαδικασίες ξένες προς τη φυσική επιλογή. Τέτοιες διαδικασίες μπορεί να προκαλούν αλλαγές στη γενετική σύνθεση ενός πληθυσμού που *δεν* οφείλονται σε φυσική επιλογή ή σε προσαρμογή. Έτσι, οποιαδήποτε ερμηνεία της θεωρίας της φυσικής επιλογής που ταυτίζει απλουστευτικά τις πληθυσμιακές αλλαγές που οφείλονται σε διαφορετική αναπαραγωγική επιτυχία με τις αλλαγές που οφείλονται σε επιλογή, όπως αυτή του Γουίλσον που συζητήθηκε προηγουμένως, αδυνατεί να διακρίνει δύο τελείως διαφορετικές πηγές εξελικτικής αλλαγής.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν περιπτώσεις όπου ανακαλύπτεται ότι η φυσική επιλογή δρα έτσι ώστε να *διατηρεί* σε δεδομένα επίπεδα τις γονιδιακές συχνότητες, πράγμα που σημαίνει ότι η σταθερότητα των γονιδιακών συχνοτήτων δεν συνεπάγεται αναγκαστικά απουσία φυσικής επιλογής. Αλλά για άλλη μία φορά, σύμφωνα με την περιγραφή της εξελικτικής θεωρίας από τον Γουίλσον, η απουσία αλλαγών στις γονιδιακές συχνότητες *θα σήμαινε* την απουσία φυσικής επιλογής. Σε τελευταία ανάλυση, λοιπόν, η έννοια της αρμοστικότητας εξαρτάται από την πιο θεμελιώδη έννοια της *προσαρμογής*.

Ας κάνουμε ακόμα ένα βήμα προς την ίδια κατεύθυνση. Τα επιχειρήματα που μόλις παραθέσαμε μας ωθούν να σκεφθούμε ότι η φυσική ιδιότητα που πολλές φορές βρίσκεται στη βάση των διαφορών της αναμενόμενης αναπαραγωγικής επιτυχίας είναι η *διαφορική προσαρμοστικότητα* (δες Brandon 1978, κεφάλαιο 6· Burian 1983, κεφάλαιο 11· Brandon 1990). Πράγμα που μας οδηγεί σε μία ακόμα σκέψη: όπως η διατύπωση της θεωρίας από τον ίδιο τον Δαρβίνο το 1859 άφηνε να διαφανεί, πρέπει να υπάρχει μία *αρχή διαφορικής προσαρμογής* στην καρδιά της θεωρίας της εξέλιξης μέσω φυσικής επιλογής.

Έτσι, το ανάλογο μιας βασικής φυσικής θεωρίας για τη θεωρία της εξέλιξης είναι μια *αφηρημένη θεωρία προσαρμογής*. Και μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όταν οι διαφορές στην προσαρμοστική αξία των φαινοτύπων παράγουν διαφορές στην αναπαραγωγική τάση, μπορούν οι πραγματικές αναπαραγωγικές διαφορές να εκληφθούν ως μετρήσεις αρμοστικότητας. Μπορεί η συγκρότηση μιας τέτοιας θεωρίας να συνιστά σοβαρό πρόβλημα, ωστόσο κατ' αυτόν τον τρόπο αποφεύγουμε εξ αρχής μια φαινομενικά άλυτη δυσκολία : δεν χρειάζεται να υποθέσουμε πως υπάρχει κάποια κρυμμένη φυσική ιδιότητα, κοινή σε όλους τους οργανισμούς, η οποία καθορίζει την ενδιάθετη αρμοστικότητά τους.

> *Αρχή της διαφορικής προσαρμογής*: Όταν προσαρμοστικές διαφορές βρίσκονται στη βάση, και συνιστούν εξηγήσεις, διαφορών όσον αφορά την αναπαραγωγική επιτυχία, μπορούμε να αναφερθούμε σ' αυτές τις διαφορές αναπαραγωγικού δυναμικού ως διαφορές αρμοστικότητας.

Η εξελικτική θεωρία απαιτεί, λοιπόν, μία έννοια που να προσδιορίζει αφηρημένα εκείνες τις συγκεκριμένες ιδιότητες που οι βιολόγοι ορίζουν ως προσαρμοστικές διαφορές. Τι τύπου ιδιότητες μπορεί να είναι αυτές; Αξίζει τον κόπο να ξανασκεφτούμε για άλλη μία φορά τις τέσσερις περιπτώσεις μας. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, οι συγκεκριμένες ιδιότητες των οργανισμών που αφορούν την *επιλογή* δεν είναι χαρακτηριστικά όπως μήκος δοντιού, τύπος αίματος, μήκος οστού ή μέγεθος ράμφους. Οι *σημαντικές, από τη σκοπιά της επιλογής, ιδιότητες* είναι μάλλον κάποιες *λειτουργικές* ιδιότητες όπως ικανότητα μάσησης χόρτων, βέλτιστη σχέση μεταξύ της αντίστασης στην ελονοσία και της ικανότητας μεταφοράς οξυγόνου, ικανότητα μεγιστοποίησης της ταχύτητας ανά μονάδα ενέργειας, ικανότητα σύλληψης διαθέσιμων σπόρων. Η εξελικτική θεωρία βρίσκεται ακόμα στο διερευνητικό της στάδιο απέναντι σε αυτό το ζήτημα, ωστόσο τα υποδείγματα της μηχανικής και της θεωρίας παιγνίων που χρησιμοποιούν οι ερευνητές της προσαρμογής στα πλαίσια της πληθυσμιακής οικολογίας και της βιοενεργητικής –δηλαδή της μελέτης της βιολογικής δραστηριότητας από τη σκοπιά της ενεργειακής αποδοτικότητας– μπορούν να συνεισφέρουν προς μια τέτοια αφηρημένη θεώρηση της προσαρμογής. Απόπειρες ενσωμάτωσης τέτοιων υποδειγμάτων αλληλεπίδρασης οργανισμού και περιβάλλοντος σε μία γενική «μη αντιστρεπτή θερμοδυναμική» της εξελικτικής διαδικασίας, παρόλο που είναι ακόμη ανώριμες, είναι εξαιρετικά ενδιαφέρουσες. (Για τη συνεισφορά της μηχανικής και της θεωρίας των παιγνίων, δες Williams 1966, Wainwright et. al. 1976, Maynard Smith 1978· της βιοενεργητικής, Lehninger 1971· της οικολογίας πληθυσμών, Levins 1966, Pianka 1974· και της μη αντιστρεπτής θερμοδυναμικής, τα άρθρα των Brooks και Wiley (1986) στο Weber, Depew και Smith [επιμ.] 1988.)

Η ιδιότητα του να είναι κανείς προσαρμοσμένος είναι μία *σχεσιακή* ιδιότητα: αντιμετωπίζοντας ένα χαρακτηριστικό ως προσαρμογή, προσδιορίζουμε δομικές διαφορές που *μπορεί* να επιφέρουν λειτουργικά πλεονεκτήματα μέσα σε δεδομένα περιβάλλοντα. Στο βαθμό που τέτοιου τύπου λειτουργικές διαφορές πρέπει πάντοτε να εξειδικεύονται σε σχέση με ένα κοινό περιβάλλον, καμία θεώρηση που απλώς αναφέρεται σε ένα φυσικό χαρακτηριστικό, παραδείγματος χάριν «αιμοσφαιρίνη τύπου Α», δεν είναι επαρκής. Ένα χαρακτηριστικό συνιστά προσαρμογή μόνο σε περιβάλλοντα στα οποία αυτό αποφέρει κάποιο πλεονέκτημα στον κάτοχό του όσον αφορά τη λειτουργικότητα του οργανισμού.

Το επιχείρημα που παραθέσαμε στόχευε στη διάκριση ανάμεσα στην *προσαρμοστικότητα* και την *αρμοστικότητα*· προς τούτο, μπορούμε να θεωρήσουμε την τελευταία ως μία προδιαθετική ιδιότητα που σχετίζεται με την αναπαραγωγική επιτυχία. Από τη σκοπιά μιας αντίληψης για την εξελικτική βιολογία που ήδη άρχισε να διαγράφεται μέσα από τη συζήτησή μας, οι υπολογισμοί των αλλαγών των γενοτυπικών συχνοτήτων συνιστούν μετρήσεις αλλαγών αρμοστικότητας μόνον υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Ειδικότερα, τέτοιες αλλαγές υποδεικνύουν διαφορές αρμοστικότητας μόνον αν έχουμε ανεξάρτητα στοιχεία ότι αυ-

τές οι αλλαγές οφείλονται σε προσαρμοστικές αλλαγές, δηλαδή σε λειτουργικές διαφορές στα πλαίσια ενός κοινού περιβάλλοντος.

7.3.7 Αρμοστικότητα των μονάδων αντιγραφής (replicators) και προσαρμοστικότητα των μονάδων αλληλεπίδρασης (interactors)

Τα οργανικά συστήματα επιτελούν δύο θεμελιώδεις για την εξελικτική διαδικασία λειτουργίες – *αντιγράφουν* τους εαυτούς τους και *αλληλεπιδρούν* με το περιβάλλον τους. Μπορούμε να διατυπώσουμε τα συμπεράσματα της προηγούμενης παραγράφου λέγοντας ότι οι διαφορές στην προσαρμογή πρέπει να κατανοούνται ως διαφορές μεταξύ μονάδων αλληλεπίδρασης στα πλαίσια ενός κοινού περιβάλλοντος. Όταν αυτές οι διαφορές είναι κληρονομήσιμες και σχετίζονται με την αναπαραγωγική επιτυχία, οδηγούν σε διαφορετικούς ρυθμούς αντιγραφής μεταξύ μονάδων αντιγραφής (δες Brandon 1985, Dawkins 1982, Hull 1981β, Mitchell 1987). Μόνον όταν λαμβάνουν χώρα διαφορές αυτού του τελευταίου τύπου, συμβαίνει εξελικτική αλλαγή. Αλλά διαφορετικοί ρυθμοί αντιγραφής μπορεί να προκύψουν από αιτίες διαφορετικές από τη διαφορική προσαρμογή.

7.3.8 Μερικές πραγματικές αρετές της γενετικής πληθυσμών

Σε αυτό το κεφάλαιο ασκήσαμε έντονη κριτική στην εμφανή εξηγητική στειρότητα του τρόπου με τον οποίο αντιλαμβάνεται η γενετική πληθυσμών την αρμοστικότητα. Ας το ολοκληρώσουμε, λοιπόν, υποδεικνύοντας τα σημεία ως προς τα οποία η γενετική πληθυσμών διατηρεί ειδική αξία. Πρώτον, στο θεωρητικό επίπεδο, τα υποδείγματα των διάφορων θεωρητικώς δυνατών αποτελεσμάτων της πολυεπίπεδης επιλογής επί διαφορετικών φαινοτύπων συνιστούν ισχυρή κινητήρια δύναμη για την επέκταση του νεοδαρβινισμού. Ας εξετάσουμε την ακόλουθη ερώτηση: «Ας υποθέσουμε ότι έχουμε έναν μεγάλο πληθυσμό οργανισμών που ζευγαρώνουν τυχαία. Και ας υποθέσουμε ότι σε αυτόν τον πληθυσμό εμφανίζεται μία γενετική μετάλλαξη (είτε κυρίαρχη, είτε υποτελής). Πόσο σημαντικό επιλεκτικό πλεονέκτημα πρέπει να αποφέρει στον κάτοχό της αυτή η μετάλλαξη ώστε να σταθεροποιηθεί στα πλαίσια του εν λόγω πληθυσμού μετά από *n* γενιές; (ή, εναλλακτικά, πόσες γενιές θα χρειαστούν ώστε ένα γνώρισμα με συντελεστή επιλογής *s* να εκλείψει από τον πληθυσμό;)» Αυτά και, κυριολεκτικά, εκατοντάδες άλλα δομικώς παρόμοια ερωτήματα επιδέχονται διερεύνηση ανεξάρτητα από τις συγκεκριμένες κάθε φορά πληροφορίες σχετικά με τις πραγματικές πηγές επιλεκτικού πλεονεκτήματος (χωρίς επιβεβαιωμένους *νόμους προέλευσης* (source laws), για να χρησιμοποιήσουμε την ορολογία του Σόμπερ (Sober 1984b, 55 -59)). Κατά παρόμοιο τρόπο, τέτοιου τύπου υποδείγματα της γενετικής πληθυσμών αποδείχθηκαν κομβικής σημασίας όσον αφορά φαινό-

μενα που έμοιαζαν να διαφεύγουν από τις βασικές δαρβινικές προκείμενες. Τα υποδείγματα συγγενικής επιλογής, διά των οποίων μπόρεσε να προσεγγισθεί η λεγόμενη *«αλτρουιστική» συμπεριφορά* [«altrouistic» behavior] (συμπεριφορά που φαίνεται να επιφέρει κάποιο ελαφρό μειονέκτημα σε αυτόν που την επιτελεί και πλεονεκτήματα σε άλλα μέλη του είδους του), συνιστούν καλά παραδείγματα εν προκειμένω. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι μια τέτοια συμπεριφορά διαψεύδει τον νεοδαρβινισμό, δεδομένου ότι η επιλογή θα έπρεπε να είχε εξαλείψει τα ζώα που συμπεριφέρονται κατ' αυτόν τον τρόπο. Ωστόσο, τα υποδείγματα συγγενικής επιλογής απέδειξαν ότι τα γονίδια της αλτρουιστικής συμπεριφοράς μπορούν να διατηρηθούν απέναντι στην επιλογή, υπό την προϋπόθεση ότι ο κίνδυνος που προέρχεται από την εν λόγω συμπεριφορά είναι μικρός και οι οργανισμοί που επωφελούνται από αυτήν είναι οι στενότεροι συγγενείς του ζώου που συμπεριφέρεται αλτρουιστικά. Κι αυτό γιατί έτσι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα αυτοί οι «συγγενείς» να διαθέτουν τα εν λόγω γονίδια. Η χρήση υποδειγμάτων της γενετικής πληθυσμών απέδειξε, λοιπόν, ότι το φαινόμενο είναι εξηγήσιμο στα πλαίσια της δαρβινικής θεωρίας. Χρειάζεται, βεβαίως, να *ελεγχθεί* αυτή η λύση σε ένα ποικίλο φάσμα πληθυσμών. Αλλά και μόνο η απόδειξη ότι μία εμφανής ανωμαλία μπορεί να λυθεί, συνιστά πολύτιμη συνεισφορά της θεωρίας και καθιστά δυνατή την έρευνα προς την προτεινόμενη λύση. Από τις περιπτώσεις μας, οι Περιπτώσεις 2 και 4 παρείχαν καθοριστική στήριξη σε ιδέες που έκαναν την εμφάνισή τους ως επεξεργασίες θεωρητικών δυνατοτήτων βασισμένων σε μαθηματικές τεχνικές της γενετικής πληθυσμών. Τα υποδείγματα αυτά, λοιπόν, έχουν να παίξουν σημαντικό ρόλο *τόσο* στα πλαίσια αιτιακών εξηγήσεων της εξελικτικής βιολογίας, *όσο και* ως μέσα διερεύνησης των εξηγητικών δυνατοτήτων που ανοίγονται στο δαρβινισμό. Πρόκειται, πράγματι, για πολύτιμα εργαλεία.

7.4 ΦΥΣΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΤΕΛΕΟΛΟΓΙΑ

Στη συζήτηση που προηγήθηκε υποστηρίχθηκε ότι, για να αποκτήσει εξηγητική ισχύ η εξελικτική θεωρία, οφείλουμε να διακρίνουμε, όπως ακριβώς έκανε ο Δαρβίνος, τα ερωτήματα που σχετίζονται με την προσαρμογή από τα ερωτήματα σχετικά με την εξελικτική αλλαγή που οφείλεται στην προσαρμογή. Η θεωρία της φυσικής επιλογής δεν μπορεί να εξακολουθεί να εκλαμβάνεται ως μία αιτιακή θεωρία της εξελικτικής αλλαγής εάν το μόνο που λέει είναι ότι ορισμένα χαρακτηριστικά αυξάνουν τη συχνότητά τους μέσα σε έναν πληθυσμό επειδή οι γονείς που διαθέτουν αυτά τα γνωρίσματα αφήνουν περισσότερους απογόνους. Και αυτό γιατί ο ισχυρισμός αυτός, παρόλο που είναι αληθής, δεν είναι σε θέση να ξεχωρίσει την εξέλιξη μέσω επιλογής από την εξέλιξη μέσω παρέκκλισης, και αδυνατεί να παράσχει μία εξήγηση του *γιατί* οι εν λόγω γονείς αφήνουν περισσότερους απογόνους. Μόνον οι ισχυρισμοί που μιλούν για *καλύτερα προσαρ-*

μοσμένους οργανισμούς που έχουν την τάση να αφήσουν περισσότερους απογόνους είναι σε θέση, από τη μία μεριά, να υποβάλουν σε δοκιμασία την αντίστοιχη θεωρία και, από την άλλη, να της αποδώσουν εξηγητική ισχύ.

Κατόπιν αυτού, θα μπορούσε κανείς να πει ότι δεν τίθεται απλώς ζήτημα να υποβάλουμε τη θεωρία μας μόνο σε *επιστημονική* δοκιμασία. Εξαιτίας της μορφής που παίρνουν οι εξηγήσεις που της προσιδιάζουν, υποβάλλουμε τη θεωρία της εξέλιξης και σε *φιλοσοφική* δοκιμασία. Και αυτό γιατί οι εν λόγω εξηγήσεις μοιάζουν *τελεολογικές*, δηλαδή φαίνεται να εξηγούν τα πράγματα σε σχέση με τους σκοπούς που αυτά εκπληρώνουν. Οι προσαρμοστικές εξηγήσεις παίρνουν τη μορφή ισχυρισμών σύμφωνα με τους οποίους ένας οργανισμός διαθέτει ένα κάποιο γνώρισμα *έτσι ώστε να* διαφεύγει από τους διώκτες του ή *προς το σκοπό της* παραλλαγής. Χρειάζεται εδώ να διερευνήσουμε εάν πράγματι τέτοιες εξηγήσεις είναι τελεολογικές και, εάν ναι, τι επιπτώσεις έχει αυτό στην εξελικτική θεωρία.

Το ερώτημα γιατί ορισμένες κατηγορίες οργανισμών έχουν τα γνωρίσματα που έχουν απαντάται συχνά διά του προσδιορισμού των λειτουργικών πλεονεκτημάτων που τα εν λόγω γνωρίσματα επιφέρουν στα άτομα των ταξινομικών κατηγοριών που χαρακτηρίζονται από αυτά. Με άλλα λόγια, τα ερωτήματα που περιστρέφονται γύρω από αυτού του τύπου το «γιατί» απαντώνται διά του εντοπισμού τού *«προς τι» υπάρχει αυτό το γνώρισμα* ή *ποια είναι η αξία που έχει για τον κάτοχό του*. Πρόκειται για έναν τύπο απάντησης που δεν τον συναντάμε στις επιστήμες που ενδιαφέρονται αποκλειστικά για τα άψυχα φαινόμενα. Παραδείγματος χάριν, η αστροφυσική δεν καταφεύγει στην αξία που έχουν για τον Κρόνο οι δακτύλιοι αερίων που τον περιβάλλουν για να εξηγήσει γιατί ο Κρόνος έχει αυτούς τους δακτύλιους.

Αυτού του τύπου οι απαντήσεις είναι παραδοσιακά γνωστές με τον όρο «τελεολογικές εξηγήσεις». Ο Πλάτων υπήρξε ο πρώτος φιλόσοφος που υπεραμύνθηκε ρητά της χρήσης τους. Προϋπέθεσε ότι είναι έγκυρες εάν, και μόνον εάν, το προς εξήγηση γεγονός προκύπτει ως αποτέλεσμα έλλογου σχεδιασμού. Σύμφωνα με τον Πλάτωνα, θα μπορούσαμε να εξηγήσουμε κατ' αυτόν τον τρόπο τους δακτύλιους του Κρόνου εάν πράγματι το ηλιακό σύστημα ήταν προϊόν ενός νοήμονα σχεδιαστή που θέλησε να επιτύχει κάτι καλό σχεδιάζοντας τον Κρόνο με δακτυλίους. Και θα ήταν θεμιτό να εξηγήσουμε τελεολογικά το γεγονός ότι τα άλογα έχουν οπλές εάν τις είχαν επειδή ο Θεός θεώρησε ότι θα ήταν καλό γι' αυτά (ή καλό από οποιαδήποτε άλλη σκοπιά) να έχουν οπλές (Πλάτων, *Φαίδων* 97b8-99d1· *Τίμαιος* 46c-48b, 68d-69c· δες Lennox 1985).

Ο Αριστοτέλης, που υπήρξε μαθητής του Πλάτωνα και ο θεμελιωτής της επιστήμης της βιολογίας, είχε επίσης υπερασπιστεί την τελεολογία, χωρίς ωστόσο να θέσει στον πυρήνα των σχετικών εξηγήσεων κάποια έλλογη πρόθεση. Σύμφωνα με τον Αριστοτέλη, ορισμένα χαρακτηριστικά των οργανισμών συνεισφέρουν λειτουργικά στη ζωή των οργανισμών, και οι οργανισμοί αποκτούν αυτά τα χαρακτηριστικά *εξαιτίας* αυτής της συνεισφοράς. Έτσι, προκειμένου να εξηγη-

θούν πλήρως τέτοια χαρακτηριστικά, πρέπει να προσδιορίσουμε το τι ακριβώς κάνουν, ποια από τις δραστηριότητές τους συνεισφέρει στη ζωή του οργανισμού (Αριστοτέλης, *Περί ζώων μορίων* I 641b11-642a14, 645b14- 646a2· *Τα Φυσικά* II 8· *Περί ζώων γενέσεως* II 742a17-742b18, V 778a29-778b20, 789b3-23).[3]

Φαινομενικά τουλάχιστον, μπορούμε να πούμε ότι, όταν ένας εξελικτικός βιολόγος προσδιορίζει ένα βιολογικό γνώρισμα ως προσαρμογή, ισχυρίζεται (1) ότι αυτό συνεισφέρει λειτουργικά στη ζωή ενός οργανισμού σε ένα εξειδικευμένο περιβάλλον και (2) ότι υπήρξε επιλογή *για* αυτό το χαρακτηριστικό, πράγμα που σημαίνει ότι το εν λόγω γνώρισμα διαδόθηκε και σταθεροποιήθηκε στα πλαίσια ενός πληθυσμού *εξαιτίας* αυτής της συνεισφοράς του. Για να χρησιμοποιήσουμε ένα από τα παραδείγματά μας: ο ισχυρισμός ότι η αιμοσφαιρίνη **AS** συνιστά προσαρμογή ισοδυναμεί με τους ισχυρισμούς (1) ότι η κατοχή της **AS** αιμοσφαιρίνης μειώνει τον κίνδυνο προσβολής από ελονοσία εκεί που αυτός ο κίνδυνος υφίσταται, και (2) ότι συνιστά διαδεδομένο γνώρισμα σε ορισμένους ανθρώπινους πληθυσμούς *επειδή* μειώνει τον κίνδυνο ελονοσίας. Δίδεται έτσι η εντύπωση ότι ο σκοπός που επιτελεί το γνώρισμα, κατά κάποιο τρόπο, το εξηγεί – με άλλα λόγια, η εξήγηση *μοιάζει* τελεολογική.

Μήπως όμως έχουμε εδώ να κάνουμε απλώς με τη συντομογραφία μιας πολύ μακράς ιστορικής εξήγησης, μιας εξήγησης που θα έπρεπε κανονικά να αναφέρει μονότονα όλες τις φυσικές αλληλεπιδράσεις που κατέληξαν στον πληθυσμό ζώων με αυτό το γνώρισμα; Και δίνοντας μια τέτοια ιστορική εξήγηση, δεν θα είχαμε απομακρύνει κάθε επίφαση τελεολογίας από την εξελικτική εξήγησή μας; Για να απαντήσουμε, ας σκιαγραφήσουμε ένα υπόδειγμα μιας τέτοιας εξήγησης, και ας δούμε αν μπορούμε πράγματι να εξοβελίσουμε ολότελα την τελεολογία από τις επιστήμες της φύσης.

Η γενική μορφή του αρχικού ερωτήματός μας είναι η εξής: «Γιατί τα μέλη του είδους Ε διαθέτουν το γνώρισμα γ στο περιβάλλον Π;» Κατ' αρχήν, για λογους απλοποίησης, ας προϋποθέσουμε ότι το γ είναι ένα φαινοτυπικό γνώρισμα, το οποίο μπορούμε να εξηγήσουμε στο μοριακό και βιοχημικό επίπεδο. Αφού δώσουμε τη γενετική, βιοχημική και αναπτυξιακή εξήγηση της παραγωγής του γ, θα έχουμε απαντήσει στην αρχική μας ερώτηση; Όχι. Γνωρίζουμε ότι η εξελικτική βιολογία παρέχει την κατανόηση τέτοιων γεγονότων με το να μας βοηθά να προσδιορίσουμε τον τρόπο με τον οποίο η φυσική επιλογή «προσαρμόζει» τους οργανισμούς στο περιβάλλον τους. Ξέρουμε, βεβαίως, ότι στο ξεκίνημα της διαδικασίας παραγωγής του γ σε κάθε έναν από αυτούς τους οργανισμούς βρίσκονται κάποια γονίδια. Αλλά αυτό που ζητάμε να μάθουμε είναι γιατί άτομα με το γνώρισμα γ (και τον κατάλληλο βιοχημικό μηχανισμό για την παραγωγή του) επιλέχθηκαν (και εξακολουθούν να επιλέγονται) εις βάρος ατόμων με ένα εναλ-

[3] Για τρεις διαφορετικές ερμηνείες της αριστοτελικής τελεολογίας, δες τα άρθρα John Cooper 1987, David Balme 1987 και Allan Gotthelf 1987, 199-286.

λακτικό γνώρισμα γ*. Η εξήγηση που μόλις προηγήθηκε δεν απαντά σε αυτό το ερώτημα.

Μπορούμε όμως να προχωρήσουμε ακόμα πιο πέρα. Χάριν απλότητας, ας υποθέσουμε ότι μπορούμε να γνωρίζουμε πώς προέκυψε η μετάλλαξη που παρήγαγε για πρώτη φορά το γνώρισμα γ σε κάποιο άτομο. Ξεκινάμε, λοιπόν, εξηγώντας τον τρόπο με τον οποίο μία συγκεκριμένη μετάλλαξη εμφανίσθηκε σε έναν συγκεκριμένο οργανισμό, σε κάποια στιγμή του παρελθόντος. Η πρόκληση για όσους θέλουν να εξαλείψουν τις τελεολογικές εξηγήσεις από τη βιολογία εμφανίζεται ακριβώς σ' αυτό το σημείο. Το γεγονός ότι ένα άτομο, μέλος του Ε, διαθέτει τόσο το γ όσο και το γενετικό υλικό που το κωδικοποιεί, καθιστά το γ εν δυνάμει στόχο της επιλογής. Η πρόκληση έγκειται στη συγκρότηση μίας εξήγησης της επιλογής η οποία *δεν* θα λέει ότι το γονίδιο του γ εξαπλώθηκε και σταθεροποιήθηκε στο Ε *εξαιτίας* της λειτουργικής συνεισφοράς του γ στα μέλη του Ε. Εάν, για να εξηγηθεί πλήρως η κατοχή του γνωρίσματος γ από μέλη του Ε, χρειάζεται να αποδώσουμε κάποιο λειτουργικό πλεονέκτημα σ' αυτά τα άτομα διά του γ, τότε η εξήγηση καθίσταται τελεολογική. (Για πρόσφατες σημαντικές πραγματεύσεις αυτού του ζητήματος δες Brandon 1981· Rosenberg 1985· Sober 1984a, κεφάλαια 18-21· και Wright 1976. Η θέση που υπερασπίζομαι εδώ οφείλει πολλά και σημαντικά στοιχεία στις απόψεις των Μπράντον και Ράιτ, απόψεις που με διαφορετικό τρόπο η κάθε μία συγγενεύουν με αυτές του Αριστοτέλη.)

Βρισκόμαστε αντιμέτωποι με την ίδια πρόκληση αν θυμηθούμε, για άλλη μία φορά, ότι δεν οφείλονται στη φυσική επιλογή όλα τα γνωρίσματα που εμφανίζονται σε έναν πληθυσμό. Για να ξεχωρίσουμε τα χαρακτηριστικά που συνιστούν προσαρμογές από άλλης προέλευσης χαρακτηριστικά των οργανισμών, πρέπει να διατυπώσουμε μια εξήγηση επιλογής ριζικά διαφορετική από άλλου τύπου εξηγήσεις της εξελικτικής αλλαγής. Αυτό επιτελείται στην πράξη από την εξελικτική βιολογία διά της επιμονής στον περιορισμό του εύρους του όρου «προσαρμογή» σε εκείνα τα γνωρίσματα για τα οποία έχουμε βάσιμους λόγους να πιστεύουμε ότι έχουν επιλεγεί εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν στους κατόχους τους.

Γιατί, όμως, θέλουμε να εξορίσουμε στην ανεξερεύνητη ενδοχώρα των κοινωνικών επιστημών μία μορφή εξήγησης που φαίνεται τόσο χρήσιμη; (Ορισμένοι θέλουν να την εξορίσουν ακόμα και από αυτήν την ενδοχώρα· δες Κεφάλαιο 11.) Ο λόγος που συνήθως δίνεται είναι ο εξής. Ένα από τα σημάδια προόδου κατά την ανάπτυξη των φυσικών επιστημών είναι η σταδιακή απομάκρυνση ανθρωπομορφικών σχημάτων σκέψης από το εσωτερικό τους (δες Κεφάλαιο 1). Οι τελεολογικές εξηγήσεις συχνά εκλαμβάνονται ως ακριβώς τέτοιες «πρωτόγονες» μορφές σκέψης και, ως εκ τούτου, η πρόοδος της βιολογίας εξαρτάται από την εξαφάνισή τους. Για να το πούμε αλλιώς, οι εξηγήσεις αυτές φαίνεται να υπαινίσσονται ένα από τα δύο ακόλουθα πράγματα : είτε ότι τα γονίδια, τα βιοσυνθετικά μονοπάτια, οι πληθυσμοί ή τα είδη ενέχουν κάτι που έχει να κάνει με

εμπρόθετο σχεδιασμό είτε ότι τα μελλοντικά συμβάντα (τέλη, σκοποί) είναι, κατά κάποιο τρόπο, σε θέση να προκαλέσουν την εμφάνιση προγενέστερων συμβάντων. Στη σύγχρονη βιολογία δεν προβλέπεται θέση για καμιά από αυτές τις δύο έμμεσες συνεπαγωγές. Έτσι είμαστε υποχρεωμένοι, στο όνομα της επιστημονικής προόδου, να εξοβελίσουμε την τελεολογία.

Παρόλο που όλες οι προκείμενες αυτού του επιχειρήματος είναι αληθείς, δεν συνεπάγονται το συμπέρασμά του. Πιο συγκεκριμένα, οι εξηγήσεις που βασίζονται στην επιλογή δεν ενέχουν καμιά από τις πεποιθήσεις που τόσο ανησυχούν τους πολέμιους της τελεολογίας. Απλώς επισημαίνουν διαφορές, όπως μακρύτερα δόντια, οπλές, αιμοσφαιρίνη **AS** ή μεγαλύτερα ράμφη, οι οποίες, υποστηρίζουν, έχουν *πλεονεκτικές επιπτώσεις* σε εξειδικευμένα περιβάλλοντα, και ισχυρίζονται ότι αυτές οι πλεονεκτικές επιπτώσεις *σχετίζονται αιτιακά*, σε ένα δεδομένο περιβάλλον, με την κατοχή των αντίστοιχων γνωρισμάτων από πολλούς οργανισμούς. Για να χρησιμοποιήσουμε την ορολογία του Λάρυ Ράιτ, αυτές οι εξηγήσεις συνιστούν *αιτιολογήσεις βάσει συνεπειών* (consequence etiologies) – αιτιακές εξηγήσεις ενός ειδικού τύπου (Wright 1976). Οι εξηγήσεις αυτές ισχυρίζονται ότι αυτό που ένα γνώρισμα, ή μία παραλλαγή γνωρίσματος, επιτρέπει σε έναν οργανισμό να κάνει, ή να κάνει καλύτερα, σε ένα δεδομένο περιβάλλον, σχετίζεται αιτιακά με το γεγονός της κατοχής του εν λόγω γνωρίσματος από κάποιους οργανισμούς. Ορισμένοι οργανισμοί ενδέχεται να έχουν *λειτουργικά πλεονεκτήματα* δυνάμει της εκ μέρους τους κατοχής συγκεκριμένων γνωρισμάτων. Αυτά τα λειτουργικά πλεονεκτήματα προκαλούν τις διαφοροποιήσεις όσον αφορά την επιβίωση και την αναπαραγωγική ικανότητα, που είναι γνωστές ως φυσική επιλογή.

Ο εντοπισμός, μέσω ελεγχόμενης έρευνας πεδίου ή πειραματισμού, του ποια *συγκεκριμένη* συνέπεια ενός γνωρίσματος βοηθά στην εξήγηση της παρουσίας του σε κάποιους οργανισμούς αποτελεί το κρίσιμο σημείο κάθε εξελικτικής έρευνας. Στην Περίπτωση 4, παραδείγματος χάριν, φαίνεται κατ' αρχήν παράδοξο το γεγονός ότι τα μεγαλύτερα πουλιά επιβίωσαν κατά την ξηρασία καλύτερα απ' ό,τι τα μικρότερα. Στηριζόμενοι σε βιοενεργητικά δεδομένα και μόνο, θα έπρεπε να περιμένουμε ότι τα μικρότερα ζώα, στο βαθμό που έχουν μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις από το περιβάλλον, θα ήταν εκείνα που θα επιβίωναν καλύτερα. Ποια ικανότητα επιφέρει το μεγαλύτερο μέγεθος στους κατόχους του, ώστε αυτό να σχετίζεται αιτιακά με την επιβίωση; Ή αλλιώς, ποια συνέπεια του μεγάλου μεγέθους ήταν αυτή που σχετιζόταν με την επιβίωση των σπίνων σε ένα ξηρό περιβάλλον;

Ορισμένοι βιολόγοι, αποδεχόμενοι ότι ο όρος «τελεολογία» ενέχει όλες τις ύποπτες συμπαραδηλώσεις που προαναφέραμε, και έχοντας επιπλέον επίγνωση του γεγονότος ότι οι προσαρμοστικές εξηγήσεις της εξελικτικής βιολογίας μοιάζουν τελεολογικές, σκέφθηκαν να λύσουν το πρόβλημα αλλάζοντας το όνομα αυτών των εξηγήσεων, αναφερόμενοι πλέον σ' αυτές διά του όρου «τελεονομικές» αντί «τελεολογικές». Αυτή η κίνηση, ωστόσο, δεν βρίσκει ούτε ετυμολογι-

κά ούτε ιστορικά ερείσματα. Οι εξηγήσεις που, σε ερωτήματα της μορφής «γιατί το Α διαθέτει το Β;», απαντούν με μιαν απάντηση της μορφής «το Α διαθέτει το Β προς το σκοπό του Γ», ονομάζονται, από τον δέκατο όγδοο αιώνα, «τελεολογικές». Οι φιλοσοφικές δε επιπτώσεις των εξηγήσεων αυτού του τύπου δεν σταμάτησαν να αποτελούν αντικείμενο φιλοσοφικής διαμάχης από την εποχή του Πλάτωνα και του Αριστοτέλη. Το δίλημμα, λοιπόν, που μας θέτουν αυτές οι εξηγήσεις συνίσταται στο να δείξουμε είτε ότι αυτές είναι στην πραγματικότητα αναγώγιμες σε εξηγήσεις που ανατρέχουν σε αιτιακά πρότερα, είτε ότι η αναφορά στις λειτουργικές συνέπειες ενός γνωρίσματος συνιστά αναπόδραστη πλευρά των εξηγήσεων μέσω φυσικής επιλογής.

Ιστορική σημείωση : Υποστηρίζεται συχνά ότι το *Περί της καταγωγής των ειδών* υπήρξε το πρώτο κείμενο που πιστοποιεί την οριστική απαλλαγή της βιολογίας από την τελεολογία (Ghiselin 1974, Hull 1974). Ο συγγραφέας του δεν θα συμφωνούσε. Σε μια παρουσίαση του έργου του Δαρβίνου στο περιοδικό *Nature*, ο διακεκριμένος αμερικανός φυσιοδίφης Άζα Γκρέυ (Asa Gray) ισχυρίσθηκε ότι ο Δαρβίνος επανέφερε την τελεολογία στις επιστήμες της φύσης. Ο Δαρβίνος έστειλε αμέσως ένα σημείωμα στον Γκρέυ, γράφοντάς του: «Αυτά που λές σχετικά με την Τελεολογία με ευχαριστούν ιδιαίτερα, και νομίζω ότι κανένας άλλος δεν πρόσεξε ποτέ αυτό το σημείο. Πάντοτε πίστευα ότι εσύ πετυχαίνεις διάνα» (Δαρβίνος [1982] 1958, 308). Η ανεπιφύλακτη προσυπογραφή της παρατήρησης του Γκρέυ υπογραμμίζεται και από την πλούσια χρήση τελεολογικών εξηγήσεων που έκανε ο Δαρβίνος σε όλη τη διάρκεια της σταδιοδρομίας του. Ο Δαρβίνος μπορεί να ήταν δεδηλωμένος εχθρός της *ανθρωπομορφικής* τελεολογίας στη βιολογία, αλλά αναγνώριζε ότι οι εξηγήσεις που χρησιμοποιούν τη φυσική επιλογή είναι τελεολογικές.

7.5 Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΦΥΡΔΗΝ-ΜΙΓΔΗΝ

7.5.1 Η φύση δεν επιλέγει πάντοτε

Ο Τζων Χέρσελ, ένας φιλόσοφος και μαθηματικός τον οποίο ο Δαρβίνος θαύμαζε ιδιαίτερα, περιέγραψε τη θεωρία που διατυπώνεται στις σελίδες της *Καταγωγής των ειδών* ως «το νόμο του φύρδην-μίγδην» [«the law of higgledy-piggledy»] (Δαρβίνος 1887, 241), προφανώς λόγω του σημαντικού ρόλου που αυτή η θεωρία αποδίδει στην «τύχη». Συνηθίζεται να λέγεται ότι ο Δαρβίνος απέδιδε στην τύχη την προέλευση της ποικιλομορφίας (θα δούμε πολύ σύντομα το σύγχρονο ανάλογο αυτού του ισχυρισμού). Πέραν αυτού όμως, θα προσέξατε ότι ο Δαρβίνος,

στη σύνοψη της θεωρίας του που παραθέσαμε στην αρχή αυτού του κεφαλαίου, κάνει λόγο για οργανισμούς οι οποίοι, στο βαθμό που διαθέτουν χρήσιμες παραλλαγές γνωρισμάτων, έχουν τις *μεγαλύτερες πιθανότητες* επιβίωσης και *τείνουν* να παραγάγουν περισσότερους απογόνους. Θυμηθείτε τις δίδυμες ζέβρες μας στην αφρικανική σαβάνα, και θα καταλάβετε το γιατί. Και οι δύο ζέβρες ήταν εξίσου καλά προσαρμοσμένες στο κανονικό περιβάλλον τους· μονάχα μία όμως επιβίωσε και αναπαράχθηκε, ενώ την άλλη την πήρε το ποτάμι. Με την ίδια λογική, σε κάθε επιμέρους περίπτωση, και μεταξύ δύο *συγκεκριμένων* οργανισμών, μπορεί να μην είναι ο καλύτερα προσαρμοσμένος αυτός που θα επιβιώσει και θα αναπαραχθεί. Η θεωρία εξαρτάται από το «νόμο των μέσων όρων», υπό την προϋπόθεση ότι οι διαφορετικά προσαρμοσμένοι τύποι οργανισμών θα τύχουν μακροπρόθεσμα ίσης μεταχείρισης στην (μη επιλεκτική) λοτταρία της ζωής. Τα συμβάντα που επηρεάζουν το βαθμό επιβίωσης και αναπαραγωγής αλλά δεν έχουν σχέση με τη φυσική επιλογή χαρακτηρίζονται, λοιπόν, ως ουσιωδώς τυχαία. Σπάνια αποδίδεται η οφειλόμενη σημασία σ' αυτήν την πλευρά της θεωρίας του Δαρβίνου. Πρόκειται για αυτό που ώθησε τον Δαρβίνο να σκεφτεί τη θεωρία της εξέλιξης μέσω φυσικής επιλογής ως μία θεωρία μεγάλων πληθυσμών, δηλαδή ως μία *στατιστική* θεωρία· και ήταν αυτό που άλλαξε οριστικά το πρόσωπο της βιολογίας.

7.5.2 Από τη συμπτωματική διαφοροποίηση στις τυχαίες μεταλλάξεις

Μία εναλλακτική, ως προς τη δαρβινική, θεωρία εξέλιξης, από την οποία ο Δαρβίνος προσπάθησε σκληρά να αποστασιοποιηθεί, ήταν αυτή που διατύπωσε ο Ζαν Μπατίστ Λαμάρκ (Jean Baptiste Lamarck, 1774-1829). Σύμφωνα με την εξελικτική θεωρία του Λαμάρκ, οι ανάγκες ενός οργανισμού, που βρίσκονται καταγραμμένες στη φυσιολογία του, προκαλούν αλλαγές στις συνήθειες, τη συμπεριφορά και, τελικά, τη δομή του. Στη συνέχεια, μερικές τουλάχιστον από αυτές τις αλλαγές κληρονομούνται. Κατ' αυτό τον τρόπο, ο Λαμάρκ πίστευε οτι οι απαιτήσεις προσαρμογής παίζουν άμεσο αιτιακό ρόλο στην παραγωγή κληρονομήσιμων διαφοροποιήσεων. Στα πλαίσια μιας τέτοιας θεωρίας, δύσκολα θα μπορούσαμε να πούμε ότι η διαφοροποίηση είναι συμπτωματική σε σχέση με την προσαρμογή.

Ο Δαρβίνος ξεκίνησε τη διαδρομή του ως εξελικτικός διακατεχόμενος από ένα κάπως λαμαρκικό πνεύμα, αλλά ήδη την εποχή που δημοσιευόταν η *Καταγωγή* διακήρυττε σε όλους τους τόνους την αντίθεσή του. Παρ' όλα αυτά, όταν στην *Καταγωγή* μιλά για τυχαίες παραλλαγές, η πρόθεσή του δεν είναι κυρίως να υπογραμμίσει την αντίθεσή του απέναντι στον Λαμάρκ. Τις περισσότερες φορές θέλει μάλλον «απλώς να αναγνωρίσει την άγνοιά του σχετικά με τις αιτίες κάθε επιμέρους παραλλαγής « ([1859] 1964, 131). Ο Δαρβίνος, μιλώντας για ό,τι σήμερα θα ονομάζαμε μεταλλάξεις, χρησιμοποιεί τη λέξη «τύχη» για να εκφράσει

κυρίως την *αδυναμία μας να προσδιορίσουμε μία αποχρώσα αιτία* για κάθε νέα παραλλαγή.

Οι σύγχρονοι εξελικτικοί, ωστόσο, χρησιμοποιούν την έννοια των «τυχαίων» ή «συμπτωματικών» μεταλλάξεων για να διαφοροποιήσουν το δαρβινισμό από λαμαρκικού τύπου θεωρίες για τις πηγές των κληρονομήσιμων παραλλαγών. Ο Θεοδόσιος Ντομπζάνσκι (Theodosius Dobzhansky), παραδείγματος χάριν, περιγράφει μία μετάλλαξη ως «μια τυχαία διαδικασία σε σχέση με τις προσαρμοστικές ανάγκες των ειδών» (1970, 65). Όταν λέμε ότι η παραγωγή των μεταλλάξεων είναι «τυχαία», εννοούμε ότι η τυχόν «χρησιμότητα» μίας μετάλλαξης δεν επηρεάζει την πιθανότητα εμφάνισής της. Η δαρβινική εξελικτική θεωρία θεωρεί δεδομένο ότι δεν υφίσταται καμία αιτιακή συνάφεια μεταξύ της εμφάνισης μίας μετάλλαξης και της όποιας χρησιμότητάς της. Ενώ στα πλαίσια της βιοχημείας, η εμφάνιση μίας μετάλλαξης μπορεί να εξηγηθεί διά μίας «στατιστικής» θεωρίας και, κατ' αυτό τον τρόπο, να θεωρηθεί προϊόν της «τύχης» με την έννοια με την οποία συζητήθηκε στην εισαγωγική υποπαράγραφο της παραγράφου 7.5, στα πλαίσια της εξελικτικής θεωρίας η εμφάνιση μίας μετάλλαξης είναι «τυχαία» ή «συμπτωματική» με μια τελείως διαφορετική σημασία. Εδώ «συμπτωματική» σημαίνει «ανεπηρέαστη από προσαρμοστικές απαιτήσεις», προϊόν της «τύχης» και όχι κάποιου «σχεδιασμού».

7.5.3 Τυχαιότητα και γενετική πληθυσμών

Εάν υπάρχουν δύο αλληλόμορφα ενός δεδομένου γενετικού τόπου (**A** και **a**), τότε υπάρχουν τρεις δυνατοί γενετικοί συνδυασμοί όσον αφορά αυτόν τον τόπο στα πλαίσια του πληθυσμού. Το ισοζύγιο Χάρντυ-Βάινμπεργκ λέει ότι, εάν απουσιάζουν διάφορες διαταρακτικές δυνάμεις, οι συχνότητες καθενός από αυτούς τους συνδυασμούς θα παραμένουν σταθερές από γενιά σε γενιά. Αυτό συμβαίνει επειδή, όταν απουσιάζουν διαταρακτικές δυνάμεις, οι ανασυνδυασμοί των αλληλομόρφων που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια του ζευγαρώματος είναι τυχαίοι. Αν αγνοήσουμε το μέγεθος του πληθυσμού (δες την επόμενη υποπαράγραφο, «Γενετική παρέκκλιση»), η πιθανότητα να προκύψουν οι γενότυποι **AA**, **Aa** ή **aa** είναι ένα απλό πολλαπλάσιο των αριθμών των **A** και **a** στην αρχική γονιδιακή δεξαμενή.

Όπως συμβαίνει με κάθε τέτοιο «στοχαστικό» νόμο, το HWE δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ασφαλή πρόβλεψη της γενετικής σύνθεσης κάποιου επιμέρους ατόμου (δες την πρώτη υποπαράγραφο της 7.5 και το Κεφάλαιο 2)· *μπορεί* ωστόσο να χρησιμοποιηθεί στην πρόβλεψη της γενετικής σύνθεσης της επόμενης γενιάς ενός πληθυσμού ατόμων που ζευγαρώνουν κατά τυχαίο τρόπο. Και στο βαθμό που η εξελικτική θεωρία ενδιαφέρεται να εξηγήσει τις αλλαγές των κληρονομήσιμων χαρακτηριστικών σε επίπεδο πληθυσμών, τέτοιες προβλέψεις είναι ιδιαίτερα χρήσιμες.

7.5.4 Γενετική παρέκκλιση

Όπως έχουμε ήδη πει, ένας πολύ σημαντικός λόγος για να διακρίνουμε την *αναπαραγωγική επιτυχία* από την *προσαρμοστική επιτυχία* έγκειται στο γεγονός ότι οι αλλαγές των γενοτυπικών συχνοτήτων μπορεί να οφείλονται σε μια σειρά παραγόντων, διαφορετικών από τη φυσική επιλογή. Ένας από αυτούς ονομάζεται «γενετική παρέκκλιση». Ο Αγιάλα (1982) ορίζει την «τυχαία γενετική παρέκκλιση» ως «τροποποίηση της συχνότητας ενός γονιδίου από τη μία γενιά στην άλλη που οφείλεται σε τυχαίες διακυμάνσεις» (σ. 243). Με δεδομένο ότι οι συνδυασμοί των γονιδίων μιας συγκεκριμένης γενιάς συνιστούν πάντοτε δείγμα αυτών που υπήρχαν στα πλαίσια της προηγούμενης, προκύπτει αβίαστα το ερώτημα εάν η τρέχουσα γονιδιακή δεξαμενή συνιστά πράγματι ένα *αντιπροσωπευτικό* δείγμα της προηγούμενης. Υπάρχει πάντοτε η δυνατότητα ενός «δειγματοληπτικού λάθους», και όσο μικρότερο είναι το αναπαραγωγικά ενεργό τμήμα του πληθυσμού τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα ένα τυχαίο δείγμα να μην είναι αντιπροσωπευτικό. Για τη γενετική πληθυσμών, αντιπροσωπευτικό δείγμα είναι μονάχα αυτό που βρίσκεται σε HWE, δηλαδή αυτό που αναπαράγει αμετάβλητες τις γονιδιακές συχνότητες από τη μία γενιά στην επόμενη.

Ο βαθμός στον οποίο οι μεγάλες εξελικτικές ακολουθίες έχουν επηρεασθεί από γενετική παρέκκλιση συνιστά ένα τρέχον αντικείμενο διαμάχης μεταξύ των εξελικτικών. Ένας πολύ μικρός αριθμός μη τυπικών, από γενετική άποψη, μελών ενός πληθυσμού μπορεί να μεταναστεύσει ή, κατά κάποιον άλλο τρόπο, να απομονωθεί και να ιδρύσει μια νέα αποικία (ένα φαινόμενο που έχει ονομασθεί από τον Ερνστ Μάυρ (Ernst Mayr 1942, 237) «αρχή του ιδρυτή» [founder principle]), εγκαινιάζοντας έτσι μια εξελικτική αλλαγή που οφείλεται σε απλό δειγματοληπτικό λάθος.

Μπορεί να ρωτήσει κάποιος τι το τυχαίο υπάρχει σε μια τέτοια διαδικασία. Για να απαντήσουμε, ας σκεφθούμε τις πρωταρχικές ερωτήσεις που θέτουν οι θεωρητικοί της εξέλιξης. Μία από τις πρώτες ερωτήσεις στις οποίες προσπαθούμε να απαντήσουμε όταν μελετάμε έναν πληθυσμό κατά τη διάρκεια πολλών γενεών είναι εάν προκύπτουν μακροπρόθεσμες αλλαγές στη γενετική σύνθεση αυτού του πληθυσμού. Προσεγγίζει ο πληθυσμός το HWE ή όχι; Εάν όχι, η επόμενη ερώτηση αφορά τη δυνατότητα εξήγησης των αλλαγών που έχουν συμβεί. Εάν η απάντηση είναι ότι οι εν λόγω αλλαγές των γονιδιακών συχνοτήτων δεν ξεπερνούν τα όρια των αναμενόμενων αλλαγών που οφείλονται σε δειγματοληπτικό σφάλμα για πληθυσμό αυτού του μεγέθους, εγείρονται στη συνέχεια οι ερωτήσεις για το εάν αυτή η αλλαγή οφείλεται σε επιλογή, μετανάστευση ή άλλες δυνατές αιτίες (δες Beatty 1984, 183-211).

Οι έννοιες της «τυχαιότητας» και της «συμπτωματικότητας» παίζουν ποικίλους ρόλους στα πλαίσια της εξελικτικής θεωρίας. Κάποιοι από αυτούς πηγάζουν από το γεγονός ότι οι ανασυνδυασμοί των γονιδίων που λαμβάνουν χώρα κατά την αναπαραγωγή των πληθυσμών διέπονται, όταν απουσιάζουν διαταρα-

κτικές δυνάμεις, από τους νόμους των πιθανοτήτων, όπως εξ αρχής είχε διαβλέψει ο Μέντελ. Πράγμα που συνεπάγεται ότι οι ανασυνδυασμοί στα πλαίσια μικρών ενδοαναπαραγόμενων πληθυσμών υπόκεινται στα συνήθη αποτελέσματα του δειγματοληπτικού σφάλματος.

Ωστόσο, όπως επίσης έχουμε δει, η περιγραφή μιας εξελικτικής διαδικασίας ως τυχαίας ή συμπτωματικής συχνά αποβλέπει στο να υπογραμμίσει το γεγονός ότι οι εξηγήσεις που επικαλούνται την προσαρμογή είναι ακατάλληλες. Υπ' αυτήν την έννοια, δεν είναι οι συνδυασμοί ανεξάρτητων στοιχείων που αποδίδονται στην τύχη, αλλά κάποια συγκεκριμένα επιμέρους συμβάντα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η αρμόζουσα αντιδιαστολή δεν είναι μεταξύ του «τυχαίου» και του «καθορισμένου», αλλά μεταξύ του «τυχαίου» και του «σχεδιασμένου». Είναι πολύ σημαντικό να ξεχωρίσουμε αυτές τις δύο χρήσεις των όρων «τυχαιότητα» και «συμπτωματικότητα» στην εξελικτική βιολογία.

7.6 ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ

Σε μια διορατική βιβλιοκρισία που θαύμαζε πολύ ο Δαρβίνος, ένας μηχανικός με αξιόλογη μαθηματική παιδεία ονόματι Φλήμινγκ Τζένκιν εκτόξευε προς τον εξελικτικό βιολόγο την ακόλουθη ομοβροντία μεθοδολογικών ενστάσεων:

> Έχει τη δυνατότητα να επινοήσει ολόκληρες σειρές προγόνων, για την ύπαρξη των οποίων δεν έχουμε κανένα στοιχείο· μπορεί να αραδιάσει ένα σωρό εξίσου φανταστικών εχθρών· μπορεί να επικαλεστεί ηπείρους, πλημμύρες και περίεργες ατμόσφαιρες, μπορεί να αποξηράνει ωκεανούς, να κόψει νησιά στα δύο και να διαχωρίσει την αιωνιότητα κατά βούληση· με όλα αυτά τα πλεονεκτήματα, θα πρέπει χωρίς αμφιβολία να είναι πολύ αργόστροφος αν δεν είναι σε θέση να μηχανευτεί κάποιες σειρές ζώων και περιστάσεων που να εξηγούν πολύ φυσικά την όποια υποτιθέμενη δυσκολία μας. (Jenkin [1867] 1983, 319)

Αυτή η κριτική προσέγγιση προηγείται κατά περισότερο από έναν αιώνα των παρόμοιων ισχυρισμών του Πόππερ σχετικά με την εξελικτική βιολογία. Επιπλέον, ως κριτική της *Καταγωγής των ειδών*, είχε κάποια ισχύ αν σκεφτεί κανείς ότι σχεδόν όλα τα παραδείγματα εξήγησης μέσω φυσικής επιλογής που παρέθετε ο Δαρβίνος ήταν «νοητικά πειράματα», φανταστικές απεικονίσεις όπως τα ονόμαζε. Μπορούμε να διερευνήσουμε τη σημερινή εγκυρότητα αυτής της κριτικής, επιστρέφοντας στις τέσσερις περιπτώσεις μας και ψάχνοντας να βρούμε με ποιο τρόπο μπορεί να προσκομιστούν τεκμήρια υπέρ της αλήθειας ή του ψεύδους τους. Προηγούνται, ωστόσο, δύο προκαταρκτικά σημεία.

Κατ' αρχήν, είναι σημαντικό να διακρίνουμε μεταξύ του *ελέγχου επιμέρους υποθέσεων* (ή της αξιολόγησης επιμέρους εξηγήσεων) που χρησιμοποιούν το

δαρβινικό εξηγητικό σχήμα, από τη μία μεριά, και της *αξιολόγησης της συνολικής επιτυχίας της θεωρίας* της εξέλιξης, από την άλλη. (Πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται να διακρίνουμε τα ερωτήματα σχετικά με την εξήγηση και την επικύρωση που συζητήθηκαν στα δύο πρώτα κεφάλαια αυτού του βιβλίου από τα ερωτήματα σχετικά με την αξιολόγηση της συνολικής ισχύος της εξελικτικής θεωρίας ως ερευνητικού προγράμματος, ερωτήματα ανάλογα με αυτά που συζητήθηκαν στο Κεφάλαιο 4.) Ο Τζένκιν δεν αμφισβητεί τη δυνατότητα «διάψευσης» μίας υπόθεσης που επικαλείται έναν ιδιαίτερο συνδυασμό διαδικασιών – η ένστασή του έχει να κάνει με το μεγάλο οπλοστάσιο εναλλακτικών δυνατοτήτων που έχει στη διάθεσή του ο εξελικτικός βιολόγος. Παρατηρεί ότι ο Δαρβίνος, αναφερόμενος στη γεωγραφική κατανομή, «επικαλείται διαδοχικά ανέμους, παλίρροιες, πουλιά, ζώα, ολόκληρη την έμψυχη φύση, πρώτα ως παράγοντες εξάπλωσης των ειδών και, κατόπιν, πολλούς από τους ίδιους παράγοντες ως αδιαπέραστα φράγματα ... Με τόσες διευκολύνσεις όσον αφορά τη διατύπωση υποθέσεων, για πολύ λίγες θεωρίες θα είχαμε σοβαρούς λόγους να μην τις θεωρήσουμε αληθείς» (Jenkin 1867 στο Hull 1983, 342· βλ. Kitcher 1985a, 154-168). Έτσι, ενώ έχει σημασία να αποδείξουμε ότι οι επιμέρους εξελικτικές εξηγήσεις μπορεί να τύχουν υποστήριξης ή απόρριψης στη βάση συγκεκριμένων τεκμηρίων, είναι εξίσου σημαντικό να διαπιστώσουμε κατά πόσο συνηθίζουν οι βιολόγοι να υιοθετούν στρατηγικές που οχυρώνουν την εξελικτική θεωρία απέναντι σε απόπειρες γενικότερης αξιολόγησης, στρατηγικές σαν αυτές που επισήμανε ο Τζένκιν και, πιο πρόσφατα, ο Πόππερ.

Κατόπιν, πρέπει να πάρουμε για άλλη μια φορά στα σοβαρά την ιδέα ότι κάθε εξήγηση είναι μία απάντηση σε ένα εξειδικευμένο ερώτημα (δες Κεφάλαιο 1). Για να αξιολογήσουμε την επιτυχία μιας εξήγησης πρέπει να ξέρουμε, όχι απλώς το γεγονός με το οποίο αυτή ασχολείται, αλλά το *εξειδικευμένο ερώτημα* σχετικά με το εν λόγω γεγονός που καλείται να απαντήσει η εξήγηση. Υπάρχει ένα παλιό αστείο για κάποιο κοριτσάκι που θέλησε να μάθει για τη γέννησή της, και αφού άκουσε μια μακριά και λεπτομερή περιγραφή της ανθρώπινης σεξουαλικής αναπαραγωγής, αναφώνησε, «Ω! κι εγώ που νόμιζα πως γεννήθηκα στον Καναδά».

Οι περιπτώσεις 1-4 καλύπτουν μια ευρεία τυπολογία εξελικτικών ερωτημάτων και αντίστοιχων απαντήσεων. Ας δούμε με ποιο συγκεκριμένο τρόπο υποστηρίζονται από τεκμήρια και πώς μπορούν να αξιολογηθούν όσον αφορά την αλήθεια τους.

Στην Περίπτωση 1 είχαμε ένα ερώτημα σχετικά με μια εξελικτική ακολουθία στα πλαίσια μιας ιστορικής γενεαλογίας ζώων. Το προς απάντηση ερώτημα ήταν το εξής: «Γιατί βλέπουμε μία γρήγορα επιταχυνόμενη αλλαγή στην αναλογία ύψους/μήκους των τραπεζιτών μίας γενεαλογίας *Equidae* και όχι άλλων;» Κατ' αρχήν, ούτε αυτό καθ' εαυτό το εξειδικευμένο γεγονός στο οποίο αναφέρεται η ερώτηση δεν είναι τεκμηριωμένο πέραν πάσης αμφιβολίας – μπορούμε να φανταστούμε, παραδείγματος χάριν, πλούσια απολιθωματικά ευρήματα που να

ανατρέπουν δραματικά τις εκτιμήσεις μας σχετικά με τους ρυθμούς αύξησης των δύο υπό σύγκριση γενεαλογιών. Παρ' όλα αυτά, στη βάση των εξελικτικών ακολουθιών που αποκαθίστανται με τη βοήθεια των απολιθωματικών στοιχείων που διαθέτουμε, μπορούμε να το θεωρήσουμε επαρκώς τεκμηριωμένο. Κατά πόσον έχουμε όμως συγκεκριμένα τεκμήρια που να παρέχουν ισχυρή υποστήριξη στις διαδικασίες που επικαλείται η εν λόγω εξήγηση;

Η εξήγηση υποθέτει ότι αυτή η συγκεκριμένη ακολουθία αντανακλά μία σειρά μεταλλάξεων σε έναν ή σε περισσότερους σχετιζόμενους γενετικούς τόπους, οι οποίες προκαλούν κάποιες αλλαγές στη δομή των δοντιών, τέτοιες ώστε να επιφέρουν ορισμένα ελαφρά πλεονεκτήματα στους κατόχους τους με δεδομένο ένα προσφάτως διαθέσιμο τροφικό απόθεμα. Με άλλα λόγια, η εξήγηση εξαρτάται από προκείμενες σχετικά με τη γενετική αυτών των εξαφανισμένων από καιρό οργανισμών και την προσαρμοστική αξία της μεταβαλλόμενης οδοντοφυΐας. Σε αντιδιαστολή με την Περίπτωση 2, δεν έχουμε κανέναν άμεσο τρόπο ελέγχου αυτών των γενετικών παραδοχών. Έχουμε, ωστόσο, έμμεσες μεθόδους στη διάθεσή μας. Τα εν λόγω θηλαστικά είναι πρόγονοι ενός γένους που υπάρχει σήμερα. Εάν η γενετικά καθοριζόμενη διαφοροποίηση της οδοντοφυΐας στους τρέχοντες πληθυσμούς του *Equus* είναι του απαιτούμενου βαθμού και ρυθμού, έχουμε βάσιμους λόγους να εμπιστευτούμε αυτές τις παραδοχές. Πράγματι ο Τζωρτζ Σίμσον (George Simpson), ο οποίος εγκαινίασε τη λεπτομερή βιομετρική μελέτη αυτών των δεδομένων, χρησιμοποίησε τέτοιου τύπου επιχειρήματα για να υποστηρίξει ότι οι ρυθμοί που παρατηρούνται στα απολιθώματα εμπίπτουν στο εύρος των ρυθμών που παρατηρούνται σήμερα. Εάν δεν συνέβαινε κάτι τέτοιο, η εξήγηση θα εξασθένιζε σημαντικά.

Η συγκεκριμένη προσαρμοστική παραδοχή ενισχύεται από παλαιοοικολογικά δεδομένα που υποδεικνύουν ότι τα χόρτα αναπτύχθηκαν εκείνη την εποχή δημιουργώντας έναν καινούργιο θώκο προς εκμετάλλευση, ότι ένας υποπληθυσμός των *Equidae* συνδέθηκε με περιβάλλοντα που ευνοούν τη βόσκηση χόρτων ενώ ένας άλλος συνδέθηκε με περιβάλλοντα στα οποία κύρια πηγή τροφής ήταν τα φυλλώματα και ότι η επιτάχυνση της εξελικτικής αλλαγής του σχετικού ύψους του δοντιού σχετίζεται με τον πρώτο υποπληθυσμό και όχι με τον δεύτερο. Οι ισχυρισμοί αυτοί είναι *ανεξαρτήτως* ελέγξιμοι, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να ελεγθούν έξω από το πλαίσιο αυτής της συγκεκριμένης εξήγησης, ενώ και αυτοί είναι δυνατόν να εξασθενήσουν σημαντικά υπό το φως μελλοντικών απολιθωματικών ευρημάτων. Η ιστορία αυτής της περίπτωσης έχει δείξει ότι μέχρι σήμερα τα νέα παλαιοντολογικά τεκμήρια έχουν την τάση να ενισχύουν ισχυρισμούς που προηγουμένως τύχαιναν ασθενούς υποστήριξης.

Πρέπει να αναφέρουμε εδώ και ορισμένους τύπους υποστήριξης για τους οποίους δεν έχουμε κάνει λόγο ώς τώρα, καθώς καταλαμβάνουν περίοπτη θέση σε τέτοιες ιστορικές εξηγήσεις. Κατ' αρχάς, στα πλαίσια της ίδιας γενεαλογίας, μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μία αλληλοεξαρτώμενες εξελικτικές αλλαγές που μπορούν να εξηγηθούν με αναφορά στην ίδια διαδικασία ή σύνολο

συσχετιζόμενων διαδικασιών. Στην περίπτωσή μας υπάρχουν πράγματι πολλές, από τις οποίες θα αναφέρουμε εδώ μόνο δύο (για περισσότερες, δες Maynard Smith 1972, 261-270). Πρώτον, η γνωστή μας αλλαγή στα πλαίσια της εν λόγω γενεαλογίας, η οποία από ζώα με τέσσερα δάκτυλα ποδιού οδήγησε σε ζώα που διαθέτουν οπλές, όπως και ένα σύνολο συναρτώμενων μορφολογικών αλλαγών, είναι συνεπής με τη μετάβαση αυτών των ζώων σε ένα περιβάλλον ανοικτών λιβαδιών (δες Περίπτωση 3). Οι αλλαγές αυτές συνέβησαν αποκλειστικά στη γενεαλογία που στράφηκε στη βόσκηση χόρτων, και όχι σ' εκείνη που διατήρησε έναν τρόπο ζωής εξαρτημένο από τα φυλλώματα των δέντρων. Επιπλέον, αυτή η πρώτη γενεαλογία διήλθε και μέσα από σχετικά μακρές περιόδους αργών αλλαγών και μέσα από σύντομες περιόδους γρήγορης αλλαγής. Οι περίοδοι γρήγορης αλλαγής όσον αφορά την οδοντοφυΐα εν πολλοίς συμπίπτουν με τις αντίστοιχες που αφορούν τη δομή του ποδιού. Δεύτερον, μαζί με τη γρήγορη αλλαγή στις διαστάσεις των δοντιών, και στενά συνδεδεμένη μ' αυτήν, συμβαίνει και μια αλλαγή στις αύλακες της επιφάνειας των δοντιών, για άλλη μία φορά εντοπισμένη στα ζώα που στράφηκαν στη βόσκηση χόρτων, όπως θα μπορούσαμε να προβλέψουμε στηριζόμενοι στην υπόθεσή μας.

Τέλος, αν η προβληματική της βελτιστοποίησης είναι σε θέση να ενισχύσει κάπως τον ισχυρισμό που θέλει τα «καλώς σχεδιασμένα» χαρακτηριστικά να συνιστούν προϊόντα φυσικής επιλογής, τότε μια μηχανική ανάλυση που θα έδειχνε ότι ορισμένοι τύποι και σχετικά μεγέθη δοντιών υπερτερούν όταν έχουμε να κάνουμε με τροφικές πηγές πλούσιες σε πυρίτιο θα παρείχε επιπλέον στήριξη στην προηγούμενη εξήγηση. Τέτοιου τύπου τεκμήρια λάβαμε υπ' όψιν μας όταν συζητούσαμε την Περίπτωση 3.

Όσα προηγήθηκαν αρκούν για να δείξουν ότι αυτού του τύπου οι εξηγήσεις είναι ανοιχτές στον έλεγχο και να δώσουν μια ιδέα του πλούτου των πηγών επαγωγικής στήριξης ή επικύρωσης που έχουν στη διάθεσή τους.

Η Περίπτωση 2 αποτελεί, όπως έχουμε ξαναπεί, μια κλασική περίπτωση εξηγητικής επιτυχίας της γενετικής πληθυσμών. Σε περιπτώσεις σαν κι αυτήν, ξεκινάμε με ένα ερώτημα σχετικά με τα χαρακτηριστικά ενός σημερινού πληθυσμού και ζητάμε να μάθουμε ποιοι αιτιακοί μηχανισμοί ευθύνονται για τη διάδοση αυτών των χαρακτηριστικών στον πληθυσμό. Η περίπτωση αυτή, ωστόσο, ενέχει μία ειδική δυσκολία : δεδομένου ότι η φυσική επιλογή δρα προς την κατεύθυνση της ανελέητης εξολόθρευσης των μειονεκτικών γονιδίων, είναι πολύ παράξενο που ένας πληθυσμός διαθέτει ένα υποτελές θανατογόνο γονίδιο σε υψηλές αναλογίες. Ας θυμηθούμε ότι οι γενετιστές πληθυσμών είχαν ήδη αποδείξει, με τη βοήθεια των μαθηματικών μοντέλων τους, ότι κάτω από ειδικές συνθήκες οι ετεροζυγώτες *είναι δυνατόν* να πλεονεκτούν σε σχέση και με τους δύο ομοζυγώτες στα πλαίσια ενός πληθυσμού. Στα πλαίσια τέτοιων μοντέλων, και με μόνη μεταβλητή την τιμή αρμοστικότητας των εναλλακτικών γενοτύπων, μπορεί να προκύψει θεωρητικά οποιαδήποτε εκατοστιαία συχνότητα τέτοιων ετεροζυγωτικών οργανισμών σε έναν πληθυσμό. Αυτό το παράδειγμα, όπως και

πολλές άλλες κλασικές μελέτες, κατέδειξαν ότι η ετέρωση όντως εμφανίζεται σε φυσικούς πληθυσμούς και μας προμήθευσαν με μία εξήγηση επιλογής, διά της οποίας προσδιορίζεται το προσαρμοστικό πλεονέκτημα που ευθύνεται για τη διατήρηση ενός εν δυνάμει θανατογόνου γονίδιου.

Η ισχύς αυτής της περίπτωσης πηγάζει από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά : (1) Η λειτουργική αξία του φαινότυπου «μικτή αιμοσφαιρίνη» (AS) σε ένα περιβάλλον που ευνοεί την ελονοσία είναι καλά τεκμηριωμένη, όπως επίσης και η παθοφυσιολογία της «δρεπάνωσης» των ερυθρών αιμοσφαιρίων που οφείλεται στην S-αιμοσφαιρίνη· (2) η σχετική γενετική είναι απλή, ακόμα και στο μοριακό επίπεδο, δεδομένου ότι η δρεπάνωση των ερυθρών αιμοσφαιρίων οφείλεται στην απλή αντικατάσταση ενός και μόνο αμινοξέος· (3) ο ρόλος του περιβάλλοντος στη δημιουργία του προσαρμοστικού πλεονεκτήματος του ετεροζυγώτη είναι σαφής· (4) το προσαρμοστικό πλεονέκτημα του εν λόγω χαρακτηριστικού δεν συνιστά απλώς μία παραδοχή, όπως συχνά συμβαίνει, αλλά έχει λεπτομερώς τεκμηριωθεί από επιδημιολογικές μελέτες. Η βασική αδυναμία αυτής της εξήγησης έγκειται στο ότι δεν έχει γίνει πλήρως κατανοητός ο ακριβής μηχανισμός διά του οποίου ο τύπος αίματος που είναι κατά τι *λιγότερο* αποτελεσματικός όσον αφορά τη μεταφορά οξυγόνου, είναι σε θέση να είναι *περισσότερο* αποτελεσματικός όσον αφορά την αντίδραση απέναντι στη μόλυνση από ελονοσία. Με άλλα λόγια, ενώ έχει τεκμηριωθεί *το γεγονός ότι* ο ετεροζυγώτης απολαμβάνει κάποιου προσαρμοστικού πλεονεκτήματος, δεν έχει γίνει κατανοητό το *γιατί* συμβαίνει αυτό.

Για άλλη μία φορά, οι ενδείξεις που στηρίζουν τη γενετική και τη φυσιολογία αυτών των πληθυσμών είναι ανεξάρτητες και δεν σχετίζονται με το ρόλο τους στη συγκεκριμένη εξήγηση. Τέτοιες εξηγήσεις αναφέρονται επιλεκτικά σε ένα τεράστιο υπόβαθρο γνώσεων της μοριακής γενετικής και της βιοχημείας. Εάν σε αυτές τις περιπτώσεις οι βιολόγοι αποτύγχαναν κατ' επανάληψη να τεκμηριώσουν την ετεροζυγωτική ανωτερότητα, θα έθεταν εν αμφιβόλω κάποιες από τις παραδοχές που θεωρούνται δεδομένες στα πλαίσια εξηγήσεων αυτού του τύπου. Πολλές τέτοιες αποτυχίες θα έθεταν σε κίνδυνο ορισμένες αρχές της γενετικής πληθυσμών που τώρα θεωρούνται καταξιωμένες.

Η Περίπτωση 3 εντάσσεται στην απόπειρα να δοθεί μια γενική εξήγηση για ένα εξαιρετικά εκτεταμένο σύνολο γεγονότων που αφορούν την κίνηση των ζώων. Τα διάφορα χερσαία ζώα χαρακτηρίζονται από μεγάλο εύρος δομικών και συμπεριφορικών διαφορών που σχετίζονται με την κίνηση. Συνιστούν άραγε αυτές οι διαφορές ισάριθμες απόπειρες της φυσικής επιλογής να επιλύσει το ίδιο βασικό πρόβλημα της ενεργειακής αποδοτικότητας κατά την κίνηση; Και ειδικότερα, η συγκεκριμένη δομή του ποδιού του αλόγου είναι η βέλτιστη από βιοενεργητική άποψη; Η χρήση τέτοιου τύπου επιχειρημάτων βελτιστοποίησης είναι πολύ συνηθισμένη στην εξελικτική βιολογία και έχει δεχθεί πολλή και σημαντική κριτική. Για να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε αυτήν την κριτική, πρέπει να διακρίνουμε μεταξύ τριών χρήσεων της έννοιας του «βέλτιστου σχεδιασμού» στις εξελικτικές εξηγήσεις :

(α) γίνεται η παραδοχή ότι ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό είναι βέλτιστο σε σχέση με τις εναλλακτικές μορφές του, και αυτό θεωρείται *μέρος* μίας εξελικτικής εξήγησης·

(β) προτείνεται μία υπόθεση βελτιστοποίησης και κατόπιν αυτή ελέγχεται με τον έναν ή τον άλλο τρόπο, αλλά αυτό δεν συναρτάται με κανένα ισχυρισμό όσον αφορά τη φυσική επιλογή·

(γ) μία δομή θεωρείται ως βελτιστοποιημένη σε σχέση με μία συγκεκριμμένη λειτουργία, και αυτό εκλαμβάνεται ότι τεκμηριώνει πως η φυσική επιλογή συνιστά την αιτία της παρουσίας αυτού του χαρακτηριστικού μέσα σε έναν πληθυσμό.

Στην περίπτωσή μας, όπως και σε άλλες ανάλογες, είναι τα επιχειρήματα τύπου (γ) αυτά που έχουν υποστεί κριτική. Η προβληματική παραδοχή είναι αυτή κατά την οποία η απόδειξη, με τη βοήθεια προτύπων προερχόμενων από τη μηχανική και τη θεωρία παιγνίων, ότι ορισμένοι τουλάχιστον τύποι χαρακτηριστικών είναι οι καλύτεροι μεταξύ των διαθέσιμων εναλλακτικών εκδοχών τους συνιστά κατ' αρχήν τεκμήριο ότι το εν λόγω χαρακτηριστικό αποτελεί προϊόν μιας εξελικτικής ιστορίας. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτό συνιστά το *μοναδικό* τεκμήριο που διαθέτουμε για τη δράση της φυσικής επιλογής. Έτσι, πρέπει να τεθούν δύο ερωτήματα : πρώτα απ' όλα, είναι αυτός καθ' εαυτόν ελέγξιμος ένας ισχυρισμός βελτιστοποίησης; Δεύτερον, αν υποθέσουμε ότι όντως είναι και ότι πράγματι αυτός πέρασε με επιτυχία από αυστηρούς ελέγχους, το γεγονός αυτό στηρίζει ή όχι τον *επιπλέον* ισχυρισμό ότι το εν λόγω χαρακτηριστικό συνιστά προσαρμογή, δηλαδή ότι αποτελεί προϊόν φυσικής επιλογής;

Σε σχέση με την πρώτη ερώτηση, οι ενστάσεις που μπορεί να εγερθούν είναι της εξής μορφής (και, όπως θα δούμε, είναι ίδιου τύπου με την ένσταση του Τζένκιν): ας υποθέσουμε ότι ο Μάιναρντ Σμιθ προβλέπει ότι για θηλαστικά του ίδιου μεγέθους υπάρχει ευθύς συσχετισμός ανάμεσα στην αύξηση της ταχύτητας και στο χρόνο που το ζώο δεν πατά στο έδαφος. Και ας υποθέσουμε ότι στο 50% των ζώων που μελετά, δεν βρίσκει τέτοιο συσχετισμό. Θα υποχρεωθεί τότε να εγκαταλείψει τον ισχυρισμό βελτιστοποίησης; Καθόλου, ισχυρίζεται η κριτική. Θα προσθέσει απλώς μια βοηθητική υπόθεση (ή μια σειρά υποθέσεων) όσον αφορά τις εξαιρέσεις, η οποία θα ισχυρίζεται ότι άλλοι παράγοντες, πέραν της ενεργειακής αποδοτικότητας, έχουν παρεισφρύσει σε αυτές τις περιπτώσεις. Παραδείγματος χάριν, ο Μάιναρντ Σμιθ θα μπορούσε να υποθέσει ότι στο 50% όπου η συσχέτιση αποτυγχάνει, υπάρχουν κάποιοι φυσιολογικοί περιορισμοί που επιβάλλουν ταχύτερες κινήσεις των άκρων ως βέλτιστη λύση του προβλήματος της κινητικής αποδοτικότητας.

Ας σημειωθεί ότι τίποτα δεν είναι λάθος *από θέση αρχής* σ' αυτήν την υπόθεση – όπως είχε παρατηρήσει και ο Τζένκιν πολλά χρόνια νωρίτερα. Το πρόβλημα έχει να κάνει με τον τρόπο ελέγχου της. Η εισαγωγή τέτοιων βοηθητικών υποθέσεων συνιστά νόμιμη αναζήτηση της αλήθειας, ή μήπως πρόκειται για ευ-

ρηματικό τέχνασμα; Η απάντηση εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το καθεστώς της εκάστοτε βοηθητικής υπόθεσης. Δύο ερωτήματα πρέπει να τεθούν επ' αυτού:

1. Αναφέρεται αυτή η υπόθεση σε τύπους διαδικασιών ή οντοτήτων για τους οποίους γνωρίζουμε ότι σχετίζονται αιτιακά με την εξελικτική αλλαγή σε άλλες παρόμοιες περιπτώσεις;
2. Η παρουσία αυτών των διαδικασιών ή οντοτήτων επιδέχεται *ανεξάρτητη επιβεβαίωση*; Ας θυμηθούμε ότι ανεξαρτησία σημαίνει εδώ απλώς ότι πρέπει να υπάρχουν στοιχεία υπέρ της αλήθειας της βοηθητικής υπόθεσης που δεν σχετίζονται με την ικανότητά της να εξηγεί το υπό έρευνα φαινόμενο.

Στην περίπτωσή μας, παραδείγματος χάριν, υπάρχουν ιστορικοί περιορισμοί ενσωματωμένοι στις σχετικές προσαρμοστικές «λύσεις», έτσι ώστε τίποτα να μην είναι εγγενώς αβάσιμο ως προς την προτεινόμενη επιπρόσθετη υπόθεση. Και για να έχει η φανταστική υπόθεσή μας κάποια πιθανότητα να γίνει αποδεκτή, θα πρέπει το 50% που δεν υπακούει στην αρχική υπόθεση να μοιράζεται τον ίδιο τύπο φυσιολογικών περιορισμών – παραδείγματος χάριν, να ανήκει στην ίδια ιστορική γενεαλογία, πράγμα που πρέπει να τεκμηριωθεί ανεξάρτητα, με τη βοήθεια απολιθωμάτων ή μετρήσεων βιοχημικής ομοιότητας.

Ας υποθέσουμε τώρα οτι μια τέτοια υπόθεση βελτιστοποίησης εξηγεί με επιτυχία τις ομοιότητες και τις διαφορές μίας τάξης οργανισμών όσον αφορά κάποιο γνώρισμα. Συνιστά αυτό από μόνο του υποστήριξη της υπόθεσης που θέλει αυτές τις διαφορές να οφείλονται σε φυσική επιλογή; Όπως αναφέρθηκε κατά την παρουσίαση αυτού του παραδείγματος, απαιτείται ένας αριθμός παραδοχών για να τεκμηριωθεί αυτός ο συσχετισμός: παραδοχές σχετικά με τη γενετική που σχετίζεται με το εν λόγω χαρακτηριστικό, την ύπαρξη γενετικών εναλλακτικών εκδοχών και την απουσία πειστικών λόγων για να υποθέσουμε ότι το χαρακτηριστικό θα υπήρχε ούτως ή άλλως, είτε δρούσε η επιλογή είτε όχι. Κάθε μία από αυτές τις επιπλέον παραδοχές είναι κατ' αρχήν επιβεβαιώσιμη. Στην πράξη όμως, τέτοια επιχειρήματα βέλτιστου σχεδιασμού χρησιμοποιούνται συχνά εκεί ακριβώς που λείπει η επιβεβαίωση τέτοιων παραδοχών (για περαιτέρω πραγμάτευση, δες Sober 1984a, Κεφάλαια 15-17 και Kitcher 1985b, Κεφάλαιο 7).

Η Περίπτωση 4 μας δείχνει πώς είναι δυνατόν να τεκμηριωθούν ακριβείς ισχυρισμοί που αφορούν σχετικές προσαρμοστικότητες, ανεξάρτητα από μετρήσεις της πραγματικής αναπαραγωγικής συνεισφοράς που τυχόν επιτελούνται στα πλαίσια της γενετικής πληθυσμών. Στο παρελθόν χρησιμοποιούσαν διάφορες εκλεπτυσμένες στατιστικές μεθόδους για να εξακριβώσουν υποθέσεις για τις υφιστάμενες αιτιακές σχέσεις μεταξύ των μεταβαλλόμενων χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος και των αλλαγών συγκεκριμένων γνωρισμάτων ορισμένων πληθυσμών (παραδείγματος χάριν, συσχετίσεις ανάμεσα στη διαθεσιμότητα σπόρων ποικίλου μεγέθους και θρεπτικής αξίας, από τη μία μεριά, και τα διαφο-

ρετικά ποσοστά επιβίωσης μεταξύ των σπίνων, από την άλλη). Όπως έχει αποδειχθεί με μια σειρά κλασικών μελετών, είναι δυνατόν να προσκομισθούν προς τεκμηρίωση της επιλογής στοιχεία πολύ πιο άμεσα από τις μετρήσεις της πραγματικής αναπαραγωγικής επιτυχίας και ανεξάρτητα από αυτές (δες Endler 1986). Το γεγονός αυτό είναι αποφασιστικό για τη βιωσιμότητα της αντίληψης που αναπτύξαμε σ' αυτό το κεφάλαιο, η οποία θέλει την εξελικτική θεωρία να συνιστά μια αιτιακή θεωρία.

Η περίπτωση αυτή διασαφηνίζει ένα άλλο σημαντικό στοιχείο ορισμένων εξελικτικών εξηγήσεων – τη σχέση τους με την πραγματική ύπαρξη στη φύση διαφόρων μοντέλων δημιουργίας ειδών που προϋποτίθενται κατά *αξιωματικό* τρόπο. Καθώς είναι δυνατόν να προσδιορισθούν ποσοτικά οι διαφορές αρμοστικότητας και, κατ' επέκταση, να επιλυθούν προβλήματα σχετικά με τα αποτελέσματα αυτών των διαφορών στα πλαίσια πληθυσμών που αναπαράγονται κατά μεντελικό τρόπο, μπορούμε εύκολα να φαντασθούμε κάθε λογής *δυνατούς* τρόπους δημιουργίας νέων ειδών μέσω ποικίλων συνδυασμών διαφορετικών εξελικτικών μηχανισμών. Το κύριο μέλημα, όμως, της εξελικτικής θεωρίας είναι να συνεισφέρει στην κατανόηση της γήινης ζωής όπως υπήρξε στην πραγματικότητα καί όπως είναι τώρα. Για αυτό και είναι σημαντικό να διερευνούμε κατά πόσο αυτά τα υποθετικά μοντέλα είναι ρεαλιστικά, δηλαδή αν υπάρχει πιθανότητα πραγμάτωσής τους στον φυσικό κόσμο. Στην περίπτωσή μας, η ιδέα ενός «εξελικτικού μποτιλιαρίσματος» φαίνεται να στηρίζεται ενώ, επιπλέον, υπαινίσσεται ορισμένες δυνάμει αναπάντεχες συνέπειες ενός τέτοιου μποτιλιαρίσματος.

Έχουν ήδη ειπωθεί αρκετά που δείχνουν με ποιον τρόπο είναι δυνατό, στη βάση των διαθέσιμων τεκμηρίων, να επικυρωθούν ή να απορριφθούν ειδικές εφαρμογές της εξελικτικής θεωρίας επί εξειδικευμένων ερωτημάτων που αφορούν εξειδικευμένα γεγονότα. Παρ' όλα αυτά, ο καλύτερος ίσως τρόπος να σκεφθούμε αν η ανησυχία του Τζένκιν εξακολουθεί να ισχύει όσον αφορά τη θεωρία συνολικά είναι η λεπτομερής μελέτη της ιστορικής ανάπτυξής της.

Ο κύριος λόγος για τον οποίο ονομάζουμε «νεο-δαρβινική σύνθεση» τη θεωρία που προέκυψε από τη συγχώνευση της γενετικής πληθυσμών, της παλαιοντολογίας, της βιογεωγραφίας και της οικολογίας κατά τις δεκαετίες του 1940 και του 1950 υπήρξε το γεγονός ότι ο βασικός πυρήνας της θεωρίας του Δαρβίνου, μετά από μακριά περίοδο σκεπτικισμού, είχε θεωρηθεί απολύτως ορθός: *Η εξέλιξη οφείλεται κατά κύριο λόγο στη δράση της φυσικής επιλογής επί μικρών, τυχαίων κληρονομήσιμων παραλλαγών.* Πριν από την εν λόγω σύνθεση, κανείς σοβαρός βιολόγος δεν αμφέβαλλε για την ύπαρξη της εξέλιξης, αλλά υπήρχαν τόσες προσεγγίσεις του θέματος, όσοι περίπου ήταν και οι ερευνητές που εργάζονταν επ' αυτού.

Όπως αναφέρθηκε στην πρώτη παράγραφο αυτού του κεφαλαίου, χρειάστηκε να αποδειχθούν αληθείς πολλές ειδικές θεωρίες κληρονομικότητας και διαφοροποίησης, γενετικής πληθυσμών και γεωλογίας, ώστε να θεωρείται αληθής η

δαρβινική θεωρία της εξέλιξης. Αν τα πράγματα είχαν ακολουθήσει διαφορετική πορεία, και ταυτόχρονα οι δαρβινιστές εξακολουθούσαν να επιμένουν στις απόψεις τους, με τον έναν ή τον άλλο τρόπο, θα θεωρούσαμε τη δαρβινική θεωρία σήμερα ως ένα εκφυλισμένο ερευνητικό πρόγραμμα, για να χρησιμοποιήσουμε την ορολογία του Λάκατος (δες Κεφάλαιο 4).

Από την άλλη μεριά, ο νεο-δαρβινισμός δεν είναι απλώς δαρβινισμός. Έχει απορρίψει τις απόψεις του Δαρβίνου για την περιφερειακή σημασία της γεωγραφικής απομόνωσης στη δημιουργία ειδών, για την κληρονομικότητα (αν δεχθούμε ότι είχε κάποια άποψη επ' αυτού) ή για την οφειλόμενη «σε χρήση και αχρησία» κληρονομησιμότητα των παραλλαγών. Ακόμα και το νόημα των κεντρικότερων εννοιών της θεωρίας, όπως «αρμοστικότητα» και «τυχαία διαφοροποίηση», έχει μετατοπιστεί έτσι ώστε να διευκολύνεται η χρήση τους στα πλαίσια της γενετικής πληθυσμών. Επιπλέον, πράγμα ιδιαίτερα σημαντικό, η θεωρία συμπεριλαμβάνει πλέον, τουλάχιστον στην «ιδεώδη» μορφή της, αρχές όπως η αρχή Χάρντυ και Βάινμπεργκ, και έννοιες όπως «ετέρωση», που δεν θα μπορούσαν ούτε κάν να διατυπωθούν στη γλώσσα του Δαρβίνου. Μια προσεκτική μελέτη της ανάπτυξης ορισμένων θεμελιωδών εννοιών στο εσωτερικό αυτής της υπό συνεχή ανάπτυξη θεωρίας θα μπορούσε να δώσει λαβή σε ενδιαφέρουσες ερωτήσεις σχετικά με την αλλαγή θεωριών που συζητήσαμε στο Κεφάλαιο 4. Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι στη βάση οποιουδήποτε κριτηρίου επιστημονικής προόδου από αυτά που αναφέρθηκαν εκεί, η δαρβινική θεωρία είναι προοδευτική. Δυστυχώς, με βάση τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί μέχρι στιγμής για τη διατύπωση τέτοιων κριτηρίων, αυτός είναι ένας μάλλον μετριοπαθής ισχυρισμός.

ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΣΥΖΗΤΗΣΙΝ

Για την απάντηση των ερωτήσεων που ακολουθούν, καλό θα ήταν να συμβουλευθείτε τα βιβλία που απαριθμούνται στο πρώτο μέρος της προτεινόμενης βιβλιογραφίας.

1. Στην Παράγραφο 7.3, παρατίθεται ένα απόσπασμα του Nτ. Σ. Γουίλσον στο οποίο ο ίδιος διατύπωνε τη «βασική θεωρία της φυσικής επιλογής» με τον εξής τρόπο: «Οι οργανισμοί ποικίλλουν κατά κληρονομήσιμο τρόπο. Κάποιες από αυτές τις ποικιλίες αφήνουν περισσότερους απογόνους από άλλες· κατά συνέπεια, τα χαρακτηριστικά τους θα αντιπροσωπεύονται με μεγαλύτερη συχνότητα στην επόμενη γενιά.» Πού βρίσκεται το λάθος σε μια τέτοια διατύπωση της θεωρίας;
2. Όταν ένα έντομο μοιάζει με τα φύλλα πάνω στα οποία συνήθως στέκεται, αποτελεί κοινό τόπο να λέμε ότι αυτό συμβαίνει *προς το σκοπό* ή *έτσι ώστε* να αποφεύγει τους εχθρούς του. Συνιστά όμως αυτό σωστή επιστήμη; Κατά ποία

έννοια τέτοιου τύπου αποφάνσεις (που συνήθως ονομάζονται «τελεολογικές») συνιστούν εξηγήσεις; Εξηγήστε το ρόλο που παίζουν στα πλαίσια της εξελικτικής θεωρίας. Πώς μπορούν τέτοιες αποφάνσεις να εκπληρώσουν τις απαιτήσεις επιστημονικής εξήγησης που συζητήθηκαν στο Κεφάλαιο 1;

3. Τι είναι οι «εξηγήσεις βελτιστοποίησης»; Συζητήστε το ρόλο που παίζουν τέτοιες εξηγήσεις στο εσωτερικό της εξελικτικής θεωρίας και δώστε ένα πειστικό επιχείρημα για τη δυνατότητα εμπειρικού ελέγχου τους.
4. Αξιολογήστε ένα από τα μοντέλα επιστημονικής αλλαγής που συζητήθηκαν στο Κεφάλαιο 4 με κριτήριο την ικανότητά του να επιλαμβάνεται της ανάπτυξης της εξελικτικής βιολογίας από το 1859 έως το 1959.
5. Τι εννοούν οι επικριτές της εξελικτικής θεωρίας όταν ισχυρίζονται ότι αυτή στηρίζεται σε μία ταυτολογία; Δώστε ένα επιχείρημα που είτε να υποστηρίζει είτε να υπονομεύει αυτήν την ένσταση.
6. Απαντήστε στην ερώτηση 1 του δεύτερου κεφαλαίου σε σχέση με κάποιο από τα βιολογικά παραδείγματα που συζητήθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο.
7. Σε ποιον από τους τύπους εξήγησης που αναφέρονται στον Πίνακα 1.1 του Κεφαλαίου 1 ανήκει η Περίπτωση 2 αυτού του κεφαλαίου; Αξιολογήστε αυτήν την εξήγηση υπό το φως των προβλημάτων που συζητούνται στο κεφάλαιο 1 για τον τύπο που θα επιλέξετε.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. Εξελικτική βιολογία. Όλα τα έργα που αναφέρονται είναι προσιτά στον μη ειδικό. Η ανάγνωσή τους με τη σειρά με την οποία παρατίθενται έχει κάποια εκπαιδευτική σημασία.

DARWIN, CHARLES ([1859] 1964), *On the Origin of Species: A Fascimile of the First Edition.* Cambridge, MA : Harvard University Press. Το ιδρυτικό ντοκουμέντο της εξελικτικής βιολογίας, παραμένει ένα από τα αριστουργήματα επί του θέματος.

HANSON, EARL D. (1981), *Understanding Evolution.* New York: Oxford University Press. Ένα σαφές, περιεκτικό εγχειρίδιο πανεπιστημιακού επιπέδου.

MAYNARD SMITH, JOHN (1972), *The Theory of Evolution*, 2η έκδ. Baltimore: Penguin. Η καλύτερη εισαγωγή στην εξελικτική θεωρία για μη ειδικούς, γραμμένη από έναν κορυφαίο θεωρητικό της.

MAYR, ERNST (1970), *Populations, Species and Evolution: An Abridgment of Animals Species and Evolution.* Cambridge, MA: Belknap Press of Harvard University Press. Περισσότερο προχωρημένο από τα βιβλία των Μάιναρντ Σμιθ και Χάνσον, και στενότερα επικεντρωμένο στους μηχανισμούς παραγωγής νέων ειδών.

SHEPPARD, P.M.(1975), *Natural Selection and Heredity*, 4η έκδ. London:

Hutchinson. Μία κλασική εισαγωγή στη «γενετική της οικολογίας» από έναν από τους πρωτεργάτες της.

WILLIAMS, GEORGE C. (1966), *Adaptation and Natural Selection: A Critique of Some current Evolutionary Thought*. Princeton : Princeton University Press. Μία αυστηρή κριτική ορισμένων από τις υπερβολές της εξελικτικής βιολογίας. Πολλοί φιλόσοφοι της βιολογίας παραθέτουν αυτό το βιβλίο ως το πρώτο τους ερέθισμα επί του θέματος.

Β. Φιλοσοφία της βιολογίας. Τα κείμενα που παρατίθενται άπτονται ενός μεγάλου εύρους θεμάτων της εξελικτικής βιολογίας, στο οποίο περιλαμβάνονται και ζητήματα που δεν συζητήθηκαν σ' αυτό το κεφάλαιο.

BRANDON, ROBERT (1990), *Adaptation and Environment*. Princeton: Princeton University Press. Μία πολύ καλά πληροφορημένη, από βιολογική άποψη, φιλοσοφική ανάλυση της εξελικτικής θεωρίας και των εξηγήσεών της.

BRANDON, ROBERT N. και RICHARD M. BURIAN (επιμ.) (1984), *Genes, Organisms, Populations: Controversies over the Units of Selection*. Cambridge, MA: MIT Press. Συλλογή μερικών από τα καλύτερα άρθρα όσον αφορά τα «επίπεδα» και τους «στόχους» της φυσικής επιλογής.

Philosophy of Science, Τόμος 51, αρ. 2, *Special Issue: Philosophy of Biology*. Αυτό το τεύχος της «επίσημης επιθεώρησης» της Philosophy of Science Association είναι εξ ολοκλήρου αφιερωμένο στη φιλοσοφία της βιολογίας και περιέχει πολλά καλά άρθρα. (Εκτός από το *Philosophy of Science*, που δημοσιεύει τακτικά άρθρα σε ζητήματα φιλοσοφίας της βιολογίας, η επιθεώρηση *Biology and Philosophy* είναι αφιερωμένη αποκλειστικά σ' αυτήν.)

ROSENBERG, ALEXANDER (1985), *The Structure of Biological Science*. Cambridge, England: Cambridge University Press. Η πλέον ενημερωμένη εισαγωγή στη φιλοσοφία της βιολογίας, την οποία προσεγγίζει από μία ασυμβίβαστα αναγωγιστική προοπτική.

SOBER, ELLIOTT (ed) (1984a), *Conceptual Issues in Evolutionary Biology: An Anthology*. Cambridge MA: Bradford/MIT Press. Η καλύτερη διαθέσιμη συλλογή δοκιμίων, η οποία καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα θεμάτων της φιλοσοφίας της βιολογίας.

— (1984b), *The Nature of Selection: Evolutionary Theory in Philosophical focus*. Cambridge MA: Bradford/MIT Press. Μία λεπτομερής, εξειδικευμένη μελέτη της κεντρικής εξηγητικής έννοιας της εξελικτικής βιολογίας.

Γ. Ιστορία της εξελικτικής βιολογίας.

BOWLER, PETER J. (1989), *Evolution: The History of an Idea*. Αναθεωρημένη έκδοση. Berkeley and Los Angeles: University of California Press. Μία περιε-

κτική μελέτη της εξελικτικής σκέψης από τον δέκατο όγδοο αιώνα μέχρι τις μέρες μας.

RUSE, MICHAEL (1979), *The Darwinian Revolution*. Chicago: University of Chicago Press. Μια ζωντανή ιστορία της απήχησης του Δαρβίνου κατά τον δέκατο ένατο αιώνα.

Όγδοο Κεφάλαιο

ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

Kenneth F. Schaffner

Οι φιλοσοφικές αναλύσεις της ιατρικής έχουν μακρά καταγωγή (βλ. Engelhardt 1986· Pellegrino 1976, 1986· Pellegrino και Thomasma 1981, Κεφάλαιο 1). Ωστόσο, μόνο κατά την τελευταία περίπου δεκαπενταετία οι επαγγελματίες φιλόσοφοι και οι φιλοσοφικά ευαίσθητοι γιατροί άρχισαν να ενδιαφέρονται συστηματικά για τη φιλοσοφία της ιατρικής. Αυτή η ανανέωση του ενδιαφέροντος μπορεί να αποδοθεί εν μέρει στην άνθηση της ιατρικής ηθικής, που, υπό μία ευρεία έννοια, αποτελεί κλάδο της φιλοσοφίας της ιατρικής. Ένας άλλος παράγοντας αυτού του ενδιαφέροντος υπήρξε η δυναμική ανάπτυξη των ερευνών στα πλαίσια της φιλοσοφίας της βιολογίας, οι οποίες συνεισέφεραν διορατικές επισημάνσεις όσον αφορά τις επιστήμες που κατά παράδοση τοποθετούνται στον πυρήνα της ιατρικής.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε δύο αμοιβαίως σχετιζόμενα θέματα της φιλοσοφίας της ιατρικής: από τη μία μεριά, το επιστημονικό καθεστώς της ιατρικής και, από την άλλη, τη φύση της αναγωγής όσον αφορά τις βιοϊατρικές επιστήμες. Σε τελευταία ανάλυση, η ικανοποιητική απάντηση στο ερώτημα αν η ιατρική συνιστά επιστήμη θα εξαρτηθεί εν πολλοίς από την αντίληψή μας για τη φύση της αναγωγής, πράγμα που εξηγεί και την παρουσία αυτού του θέματος σε τούτο το κεφάλαιο.

8.1 ΕΙΝΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ Η ΙΑΤΡΙΚΗ;

Θα ξεκινήσουμε εξετάζοντας το γενικό ερώτημα «ποια είναι η φύση της ιατρικής;», και θα στρέψουμε την προσοχή μας στο ειδικότερο ερώτημα «είναι *επιστήμη* η ιατρική;». Στην προσπάθειά μας να απαντήσουμε σ' αυτά τα ερωτήματα

θα έχουμε την ευκαιρία να αναρωτηθούμε για τις δυνατότητες αλλά και τους περιορισμούς της επιστήμης.

Δεν χρειάζεται να αναφέρουμε πολλά παραδείγματα για να καταστεί σαφές σε όλους ότι η ιατρική, *τουλάχιστον εν μέρει, θεμελιώνεται* στις βιοϊατρικές επιστήμες. Η ανάπτυξη της μικροβιακής θεωρίας της ασθένειας, η εκτεταμένη χρήση βιολογικών τεχνικών, μικροσκοπικού και μοριακού επιπέδου, στην παραγωγή νέων αντιβιοτικών καθώς και η χρησιμοποίηση βιοχημικών ελέγχων για διαγνωστικούς σκοπούς συνηγορούν υπέρ του επιστημονικού χαρακτήρα της σύγχρονης ιατρικής. Επιπλέον, η εφαρμογή μπεϊσιανών πιθανοτικών τεχνικών συλλογισμού σε κλινικά προβλήματα (Zarin και Pauker 1984), μαζί με άλλες καινοτομίες που έχουν να κάνουν με την εισαγωγή της πληροφορικής στις διαδικασίες ιατρικής διάγνωσης (Miller, Pople και Myers 1982, Schaffner 1985), έχουν προαγάγει σημαντικά τον εξορθολογισμό της λήψης αποφάσεων στην ιατρική. Όμως η ιατρική δεν είναι απλώς βιολογία, πράγμα που κάθε ασθενής γνωρίζει πολύ καλά. Η αλληλεπίδραση γιατρού και ασθενούς είναι μία σχέση που διαμοίβεται μεταξύ ανθρώπων, και όπως σημειώνει ο Ένγκελχαρντ (Engelhardt):

> Δεν μπορεί κανείς να περιθάλψει αποτελεσματικά αρρώστους χωρίς να παίρνει σοβαρά υπ' όψιν του τις ιδέες και τις αξίες τους. Δεν μπορεί να τους εξασφαλίσει ανθρώπινη μεταχείριση αν δεν καταλάβει ότι η ζωή τους πραγματώνεται μέσα σε ένα πολιτιστικό τοπίο προσδοκιών, ιδεών και παραστάσεων για το τι σημαίνει ζωή, τι σημαίνει αρρώστια, τι πόνος και τι θάνατος (1986, 3).

Ο Βίρτσοου (Virchow, 1849), ένας μεγάλος παθολόγος του δέκατου ένατου αιώνα, βασιζόμενος εν μέρει σε τέτοιου είδους περιπλοκές, υποστήριζε ότι η ιατρική πρέπει μάλλον να θεωρείται *κοινωνική επιστήμη*. Τα τελευταία χρόνια όμως κάποιοι άλλοι φιλόσοφοι ισχυρίζονται ότι, επί της ουσίας, η ιατρική δεν συνιστά κατά κανένα τρόπο επιστήμη. Για να κατανοήσουμε καλύτερα αυτό το ζήτημα, θα προχωρήσουμε ευθύς αμέσως στην επισκόπηση ορισμένων από τα συναφή επιχειρήματα και θα συζητήσουμε εν συντομία την περίπτωση ενός ειδικού προβλήματος ασθενούς, προσπαθώντας να βγάλουμε κάποιο συμπέρασμα για τη σύνθετη φύση της ιατρικής.

8.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΩΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

Οι σελίδες της *Επιθεώρησης της Ιατρικής και της Φιλοσοφίας (The Journal of Medicine and Philosophy)* και του αδελφού της εντύπου *Θεωρητική Ιατρική (Theoretical Medicine)*, έχουν γίνει κατ' επανάληψη θέατρο συνεχών διαμαχών

σχετικά με τη φύση της ιατρικής ως επιστήμης. Παράλληλα, στους κόλπους ενός κλάδου της ιατρικής, της ψυχιατρικής, έχει ξεσπάσει έντονη διαμάχη που αφορά το επιστημονικό καθεστώς του συγκεκριμένου κλάδου (Grunbaum, 1985). Απαντώντας σε έναν ισχυρισμό του Φόρστρομ (Forstrom, 1977), σύμφωνα με τον οποίο η ιατρική (γενικά) είναι επιστήμη, ο Μάνσον (Munson, 1981) πρότεινε να εξετάσουμε τις καθολικά αναγνωρισμένες επιστήμες (όπως τη φυσική, τη χημεία και τη βιολογία) σύμφωνα με τρεις θεμελιώδεις διαστάσεις τους, και στη συνέχεια να συγκρίνουμε την ιατρική με τις εν λόγω παραδειγματικές επιστήμες στη βάση ακριβώς αυτών των διαστάσεων. Ο Μάνσον πρότεινε να αντιπαραβάλουμε τους θεμελιώδεις *στόχους*, τα *κριτήρια επιτυχίας* και τις *αρχές που διέπουν την πειθαρχία* των αναγνωρισμένων επιστημών, από τη μία μεριά, και της ιατρικής, από την άλλη. Το συμπέρασμα του Μάνσον ήταν ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις αναγνωρισμένες επιστήμες και την ιατρική ως προς κάθε μία από αυτές τις τρεις παραμέτρους· στη συνέχεια, στηριζόμενος σε ένα πρόσθετο επιχείρημα σύμφωνα με το οποίο η ιατρική συνιστά «*εγχείρημα*» (1981, 183), θα συμπεράνει ότι η ιατρική δεν είναι, και δεν μπορεί να γίνει, επιστήμη (1981, 189). Ας εξετάσουμε αυτούς τους τρεις άξονες σύγκρισης μεταξύ της ιατρικής και των άλλων επιστημών που προτείνει ο Μάνσον.

Η πρώτη σημαντική διάσταση της αντιπαραβολής μεταξύ των επιστημών και της ιατρικής είναι ο *στόχος* κάθε κλάδου. Για τον Μάνσον, ο βασικός (εσωτερικός) στόχος μιας επιστήμης είναι «*η απόκτηση γνώσης και η κατανόηση του κόσμου και των πραγμάτων που υπάρχουν σ' αυτόν*» (1981, 190). Από την άλλη μεριά, ο βασικός στόχος της ιατρικής είναι «*η προαγωγή της υγείας των ανθρώπων διά της πρόληψης ή της θεραπείας των ασθενειών*» (1981, 191). Η απόκτηση γνώσεων και η κατανόηση των ασθενειών απλώς βοηθά στην πρόληψη και τη θεραπεία τους. Ο δεύτερος άξονας σύγκρισης του Μάνσον αφορά τα *κριτήρια* επιτυχίας του εκάστοτε κλάδου. Οι επιστήμες εκπληρώνουν το στόχο τους όταν κατακτούν αληθή (ή κατά προσέγγιση αληθή) γνώση, ενώ η επιτυχία της ιατρικής συνίσταται στην πραγματοποίηση του δικού της στόχου, που είναι η πρόληψη ή η ανακούφιση των ασθενειών, ανεξάρτητα από την αλήθεια του γνωσιακού περιεχομένου της. Τέλος, ο Μάνσον συγκρίνει τις βασικές ηθικές δεσμεύσεις των επιστημών και της ιατρικής. Οι επιστήμονες οφείλουν να δίδουν *έντιμες* αναφορές των παρατηρήσεων και των πειραματικών αποτελεσμάτων τους· χωρίς αυτήν την εντιμότητα, η επιστήμη δεν μπορεί να προχωρήσει ως συλλογική δραστηριότητα. Αντίθετα, η βασική δέσμευση της ιατρικής αφορά «την προαγωγή της υγείας κάθε ατόμου που γίνεται δεκτό ως ασθενής» (1981, 196). Αυτό δεν σημαίνει ότι η ιατρική ως εγχείρημα μπορεί να ενθαρρύνει την ανεντιμότητα, ούτε ότι οι γιατροί δεν πρέπει να είναι έντιμοι με τους ασθενείς τους· σημαίνει απλώς ότι πρωταρχικό και ουσιώδες μέλημα ενός γιατρού είναι η προαγωγή της υγείας του ασθενούς του.

Το συμπέρασμα που μπορεί να βγει από αυτές τις χρήσιμες, και εν πολλοίς σωστές, επισημάνσεις του Μάνσον είναι ότι υπάρχουν τουλάχιστον σημαντικές

διαφορές ανάμεσα στις παραδοσιακές επιστήμες και την ιατρική. Ωστόσο, ο Μάνσον επικαλείται ένα επιπλέον επιχείρημα με το οποίο πιστεύει πως αποδεικνύει ότι η ιατρική δεν μπορεί *ποτέ* να *αναχθεί στις*, δηλαδή να αντικατασταθεί από τις, βιοϊατρικές επιστήμες που τόσο ευρέως χρησιμοποιεί. Ο ρόλος αυτού του επιπλέον επιχειρήματος είναι σημαντικός δεδομένου ότι, όπως θα δούμε αργότερα σε τούτο το κεφάλαιο, τυχόν *εμφανείς διαφορές* ανάμεσα σε δύο επιστήμες δεν συνιστούν αδιαμφισβήτητο τεκμήριο για το αδύνατο της αναγωγής της μίας στην άλλη. Οι διαφορές που προσδιορίζει ο Μάνσον, λοιπόν, δεν αποτελούν παρά το πρώτο από τα δύο βήματα που πρέπει να κάνει για να αποδείξει οτι η ιατρική δεν είναι και δεν μπορεί να γίνει επιστήμη.

Η αντίληψη περί αναγωγής που φαίνεται να έχει ο Μάνσον μοιάζει με το γενικό μοντέλο αναγωγής που θα περιγράψουμε στην Παράγραφο 8.6, το οποίο προδιαγράφει τις προϋποθέσεις που απαιτούνται για μία αναγωγή. Αυτές οι προϋποθέσεις, τις οποίες θα εξετάσουμε λεπτομερέστερα στη συνέχεια, ουσιαστικά απαιτούν τον ορισμό όλων των όρων της ιατρικής διά της ορολογίας των βιοϊατρικών *επιστημών* και, στη συνέχεια, τη λογική παραγωγή της ιατρικής ως ειδικής περίπτωσης των βιοϊατρικών επιστημών. Ωστόσο, αποδεχόμενος αυτήν την αντίληψη περί αναγωγής, ο Μάνσον θα συμπεράνει ότι η ιατρική δεν μπορεί να αναχθεί στο εννοιολογικό περιεχόμενό της, δηλαδή τις βιοϊατρικές επιστήμες, στο βαθμό που δεν συνιστά απλώς έναν θεωρητικό κλάδο, αλλά επιπλέον και ένα *εγχείρημα*, δηλαδή μία εγγενώς κοινωνική δραστηριότητα. Μολονότι το *περιεχόμενο* της ιατρικής μπορεί να αναχθεί κάποτε στη βιολογία, θα ήταν «άστοχο να μιλήσουμε για αναγωγή της *ιατρικής* στη βιολογία» (1981, 203). Ο Μάνσον μάς δίνει μία αναλογία:

> Θα ήταν το ίδιο άστοχο να μιλήσουμε για αναγωγή του «κρυφτού» στη φυσική. Ως παιγνίδι, το «κρυφτό» πρέπει να κατανοηθεί με όρους κανόνων και στόχων. Το πρότυπο δραστηριοτήτων που ξετυλίγεται όταν παίζεται το παιγνίδι αποκτά τη σημασία του μέσω ενός δικτύου κοινωνικών συμβάσεων (1981, 203).

Το πρόσθετο επιχείρημα του Μάνσον βασίζεται σε δύο νέους ισχυρισμούς: (1) η ιατρική έχει έναν ουσιωδώς κοινωνικό χαρακτήρα, και (2) ως τέτοια, δεν είναι αναγώγιμη στη βιολογία, δεδομένου ότι το δίκτυο των κοινωνικών συμβάσεων (και αλληλεπιδράσεών) της δεν ανάγεται σ' αυτήν. Το επιχείρημα του Μάνσον παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με μία άποψη που προτάθηκε από τους Πελεγκρίνο (Pellegrino) και Τόμασμα (Thomasma), σύμφωνα με την οποία «η ιατρική δεν είναι αναγώγιμη στη βιολογία, τη φυσική, τη χημεία ή την ψυχολογία· ....η ιατρική συνιστά μία μοναδική μορφή σχέσης» (1981, xiv). Αυτή η σχέση –αν την κατανοούμε σωστά– είναι η σχέση του θεράποντα με τον ασθενή του, στην οποία ο ασθενής συμμετέχει ταυτόχρονα ως υποκείμενο και ως αντικείμενο. Στην επόμενη παράγραφο θα εξετάσουμε την κοινωνική όψη της ιατρικής, επα-

νεξετάζοντας στο τέλος τον δεύτερο ισχυρισμό του Μάνσον σε σχέση με το υλικό των πρώτων παραγράφων αυτού του κεφαλαίου.

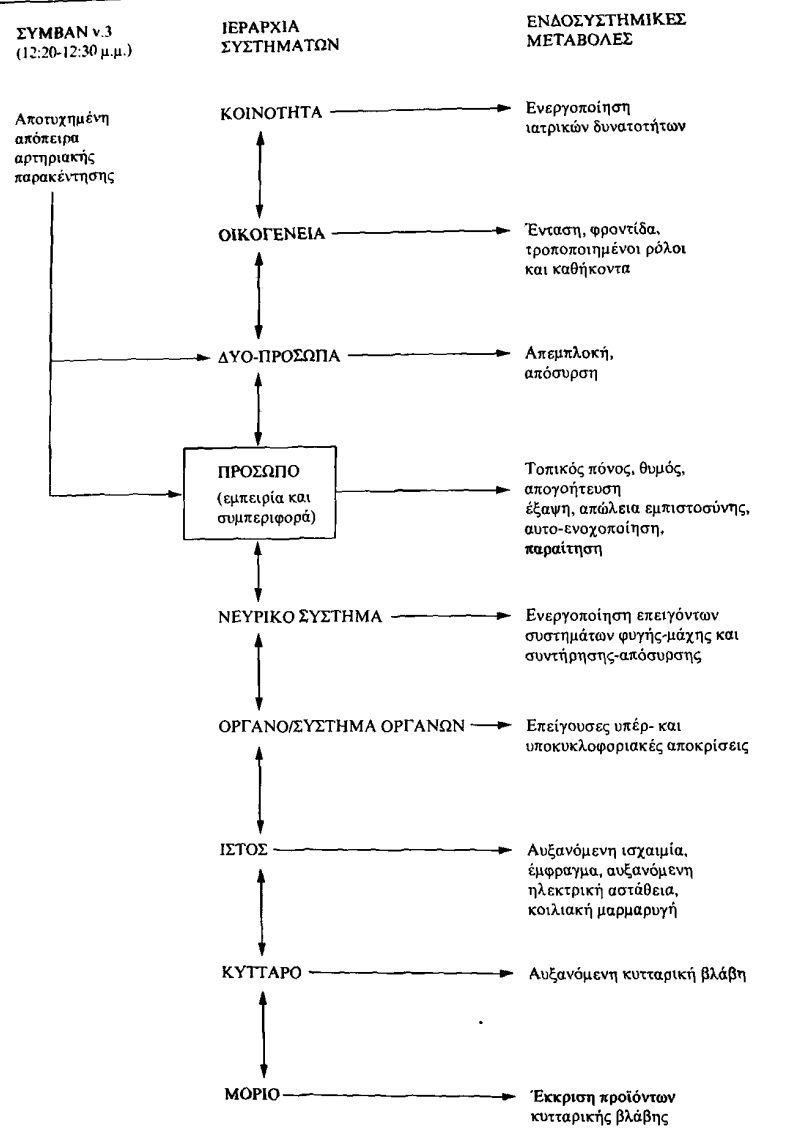
8.3 Η ΙΑΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΑ ΒΙΟΨΥΧΟΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ

Όπως είδαμε στην Παράγραφο 8.1, ο Βίρτσοου ήταν αυτός που πρώτος υποστήριξε ότι η ιατρική πρέπει να θεωρείται «κοινωνική επιστήμη». Και άλλοι μελετητές έχουν προτείνει παρόμοιες ιδέες, αλλά ίσως ο πλέον συγκροτημένος από τους σημαντικούς συγγραφείς που μέχρι σήμερα έχουν υπογραμμίσει τις κοινωνικές –και ψυχολογικές– διαστάσεις της ιατρικής, υπήρξε ο Τζωρτζ Ένγκελ (George Engel). Ο Ένγκελ εισηγήθηκε ένα «βιοψυχοκοινωνικό» μοντέλο για την ιατρική, αντιπαραθέτοντάς το με το περισσότερο αναγωγιστικό «βιοϊατρικό» μοντέλο (1977, 1981).

Στα κείμενά του ο Ένγκελ υποστηρίζει ότι οι εντυπωσιακές επιτυχίες της ιατρικής κατά τον εικοστό αιώνα, όπως η ανακάλυψη της ινσουλίνης ή των αντιβιοτικών, καθώς και η ραγδαία εξέλιξη της μοριακής βιολογίας, είναι πιθανό να οδηγήσουν τους γιατρούς, τους νοσηλευτές και όλους όσους ασχολούνται επαγγελματικά με την υγεία σε μία πολύ στενή αντιμετώπιση της ίδιας τους της ενασχόλησης. Αυτές οι επιτυχίες ωθούν τους κάθε λογής θεράποντες προς μια βιοϊατρική αντίληψη της ιατρικής, σύμφωνα με την οποία ο ασθενής δεν είναι «τίποτε άλλο από» ένα τσουβάλι χημικών διαδικασιών. Σε μια τέτοια περίπτωση, θα αμβλυνόταν η ευαισθησία του γιατρού ή του νοσηλευτή απέναντι σε παράγοντες που πιθανώς να έχουν επιπτώσεις πάνω στην αρρώστια, όπως ψυχοκοινωνικά άγχη. Τέτοιοι θεραπευτές πιθανόν να παραβλέψουν σημαντικές ενδιάθετες αιτίες της αρρώστιας ή να μην μπορέσουν να ενσωματώσουν σημαντικές ψυχοκοινωνικές διαστάσεις στη θεραπευτική τέχνη τους.

Ο Ένγκελ (1981) αφηγείται την ιστορία ενός ασθενή με καρδιακό έμφραγμα, ο οποίος εξετάζεται στο θάλαμο εντατικής παρακολούθησης ενός νοσοκομείου. Εκεί, ένας άπειρος ειδικευόμενος γιατρός προσπαθεί να του πάρει ένα δείγμα αρτηριακού αίματος, στα πλαίσια μιας καθιερωμένης διαγνωστικής τεχνικής για το καρδιακό έμφραγμα. Αυτή η αρτηριακή παρακέντηση είναι απλή διαδικασία, που μπορεί όμως να αποβεί επώδυνη όταν επιτελείται αδέξια. Οι συνεχείς αποτυχημένες απόπειρες του άπειρου γιατρού προκαλούν πόνο και αγωνία στον ασθενή και καταλήγουν σε ένα δεύτερο καρδιακό επεισόδιο. Μια καθησυχαστική κουβέντα προς τον άρρωστο και μια παράκληση για βοήθεια εκ μέρους του κατά την παρακέντηση θα μπορούσαν να απέβαιναν ιδιαίτερα ευεργετικές. Το σχήμα 8.1 είναι παρμένο από το δοκίμιο του Ένγκελ και απεικονίζει γραφικά την ιεραρχία των διαφορετικών προοπτικών που ανοίγονται στην ιατρική και τον πολύπλοκο τρόπο με τον οποίο αυτά τα «επίπεδα» αλληλεπιδρούν κάθε φορά που ένας ασθενής έρχεται αντιμέτωπος με το συνολικό σύστημα υγείας.

Ο Ένγκελ υποστηρίζει ότι θεραπευτές με επίγνωση, όχι μόνο των βιολογι-



Σχήμα 8.1 Συμβάν ν. 3 κατά τη διάρκεια της διάγνωσης εμφράγματος του μυοκαρδίου ή καρδιακής προσβολής ενός ασθενούς, με απεικόνιση των αιτιακών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων επιπέδων. Λεπτομέρειες στο κείμενο. Από Engel 1981, κατόπιν αδείας.

κών διαστάσεων της αρρώστιας, αλλά και των ψυχοκοινωνικών, θα ήταν σε θέση να παρέχουν πολύ καλύτερη ιατρική περίθαλψη. Η σωστή εκτίμηση της πολυπλοκότητας της ανθρώπινης φύσης, μαζί με τη συνδυαστική ανάλυση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων επιπέδων αιτιότητας, που ξεκινούν από το μοριακό και το οργανικό και φτάνουν ώς το διανοητικό, το συναισθηματικό, το οικογενειακό και το οικονομικό επίπεδο, θα επέτρεπαν την καλύτερη κατανόηση της προέλευσης των ασθενειών και θα πλούτιζαν το οπλοστάσιο του γιατρού. Αυτή η πλουσιότερη και συνθετότερη προοπτική συνιστά αυτό που ο Ένγκελ ονομάζει *βιοψυχοκοινωνικό υπόδειγμα για την ιατρική*. Δύο θεμελιώδεις ερωτήσεις που μπορούν να του απευθυνθούν είναι: (1) αν είναι το υπόδειγμα βάσιμο, και (2) αν συνιστά επιχείρημα εναντίον της αναγωγιμότητας της ιατρικής στη βιολογία.

Η πρόταση του Ένγκελ ότι η ιατρική πρέπει να θεωρηθεί ως σύνθετη πολυεπίπεδη επιστήμη υποστηρίζεται και από πρόσφατες έρευνες επί των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στο νευρικό και το ανοσοποιητικό σύστημα. Υπ' αυτό το πρίσμα, η πρόταση μπορεί να θεωρηθεί βάσιμη, ενώ μπορούμε να φαντασθούμε την κοινωνική διάσταση της ιατρικής να παίζει έναν σημαντικό ρόλο στην καρδιά του θεμελιώδους στόχου της ως θεραπευτικής πρακτικής. Απομένει ωστόσο αναπάντητη η δεύτερη ερώτηση, εάν δηλαδή η αποδοχή αυτών των «επιπέδων» ως κάποιου τύπου δρώσα ευρετική (και αυτό μονάχα φαίνεται να έχουμε αποδεχθεί μέχρι στιγμής), συνιστά επιχείρημα εναντίον της κατ' αρχήν αναγωγιμότητας. Κατά μία σημαντική έννοια, μπορεί να υπάρχουν πολλοί αναβαθμοί κατά την επιτέλεση μίας αναγωγής· θα δούμε με ποιο τρόπο, εξετάζοντας παρακάτω την περίπτωση των ερευνών του Κάντελ (Kandel) και των συνεργατών του. Ένα άλλο παράδειγμα που θα εξετάσουμε διερευνά την αλληλεπίδραση ανάμεσα στο νευρικό και το ανοσοποιητικό σύστημα –όπως επίσης και το ενδοκρινικό σύστημα– και μπορεί να μας βοηθήσει να κατανοήσουμε με ποιον τρόπο μπορεί να βρει εφαρμογή ένα «βιοψυχοκοινωνικό» υπόδειγμα στο πλαίσιο μιας συγκεκριμένης ασθένειας, όπως ο καρκίνος του μαστού, και κατά πόσο η εισαγωγή εννοιών όπως «συναίσθημα» στην ιατρική οντολογία μας ευνοεί ή αντιστρατεύεται την προοπτική της αναγωγής.

8.4 Η ΑΝΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ

Η αναγωγιστική αντίληψη των βιοϊατρικών επιστημών ισχυρίζεται συχνά ότι οι βιολογικές οντότητες δεν είναι «τίποτε άλλο παρά» συναθροίσεις φυσικοχημικών οντοτήτων. Αυτή η θέση μπορεί να ονομασθεί «οντολογικός αναγωγισμός». Μια στενά σχετιζόμενη μ' αυτήν, αλλά περισότερο *μεθοδολογική*, τοποθέτηση θα ισχυρισθεί ότι μόνο στο επίπεδο της φυσικής και της χημείας μπορούμε να έχουμε βάσιμες γενικεύσεις. Η αντίπαλη της πρώτης, της *οντολογικής*, θέσης είναι ο αντιαναγωγισμός, και μπορεί να διακριθεί σε μία ισχυρή *βιταλιστική*

[vitalist] εκδοχή και σε μία δεύτερη, ασθενέστερη *αναδυτιστική* [emergentist] άποψη. Από την οπτική γωνία του οντολογικού αντιαναγωγισμού, οι βιοϊατρικές επιστήμες είναι αυτόνομες. Η αντίπαλη της δεύτερης, της *μεθοδολογικής*, αναγωγιστικής τοποθέτησης είναι ένα είδος μεθοδολογικού αναδυτισμού. Και εδώ μπορούμε να διακρίνουμε μια ισχυρή εκδοχή, την οποία υποστηρίζουν ορισμένοι διακεκριμένοι βιολόγοι, όπως ο Σίμσον (Simpson, 1964) και ο Βάις (Weiss, 1969), και μια ασθενέστερη μορφή που αποδίδει το γεγονός ότι είμαστε υποχρεωμένοι να εργαζόμαστε με οντότητες ανωτέρων επιπέδων στις ελλείψεις του τρέχοντος επιπέδου γνώσεών μας (Grobstein 1965).

Η βιταλιστική θέση, την οποία υπερασπίστηκε στις αρχές του αιώνα μας ο Χανς Ντρις (Hans Driesch), πρότεινε την ύπαρξη ειδικών δυνάμεων και μη αναγώγιμων αιτιών που προσιδιάζουν στις ζωντανές οντότητες. Η βιταλιστική θέση δεν οδηγεί σε ελέγξιμες υποθέσεις και ουσιαστικά είναι τελειωμένη ιστορία για τη σύγχρονη βιολογία.

Για να αναλύσουμε τη θέση περί αναδυομένων ιδιοτήτων θα χρειαστούμε ορισμένες επιπλέον διακρίσεις. Ένας τύπος αναδυτισμού, *ο από θέση αρχής αναδυτισμός*, υποστηρίζει ότι οι βιοϊατρικές επιστήμες δεν μπορούν να αναχθούν στη φυσική και τη χημεία, και αυτό ανεξάρτητα από την πρόοδο της βιολογίας και των φυσικοχημικών επιστημών. Σε γενικές γραμμές, η άποψη αυτή στηρίζεται σε ορισμένα γενικά, άχρονα *λογικά* χαρακτηριστικά τα οποία, κατά την άποψη των υποστηρικτών της, διαθέτουν τόσο οι οντότητες των βιοϊατρικών επιστημών, όσο και οι τρόποι εξήγησης που τους προσιδιάζουν. Μια παρόμοια θέση έχει εφαρμοστεί και σε άλλες περιοχές της εμπειρίας, και είδαμε ότι μια τέτοια άποψη έχει προταθεί για την «ιατρική ως εγχείρημα» από τον Μάνσον (1981) και από τους Πελεγκρίνο και Τόμασμα (1981).

Η ασθενής εκδοχή του «αναδυτισμού» αναφέρεται στο *τρέχον* καθεστώς των σχέσεων μεταξύ των βιοϊατρικών και των φυσικοχημικών επιστημών (ή μεταξύ των επιστημών που μελετούν τις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις και των βιοϊατρικών επιστημών). Από τις απόψεις που έχουν αναπτυχθεί μέχρι στιγμής, θα πρέπει να έχει καταστεί σαφές ότι πολλές βιοϊατρικές οντότητες, όπως τα κύτταρα, δεν είναι *επί του παρόντος* αναγώγιμες σε μοριακούς όρους και χημικές θεωρίες. Ωστόσο, ορισμένα *τμήματα* των βιοϊατρικών επιστημών *έχουν* υποστεί τέτοιου τύπου αναγωγή. Τέτοιες αναγωγές, όσο αποσπασματικές και αν είναι, συνιστούν σημαντικά επιτεύγματα των βιοϊατρικών επιστημών και αποτελούν το αντικείμενο της βιοφυσικής, της βιοχημείας και τμημάτων της «μοριακής» βιολογίας. Το *γιατί* αυτά τα επιτεύγματα είναι σημαντικά και, ειδικότερα, το ζήτημα τόσο των πραγματικών συνθηκών όσο και των συνθηκών που θα έπρεπε να πληρούνται από αυτές τις αναγωγές θα μας απασχολήσει στις επόμενες λίγες παραγράφους.

Μια βασική συνιστώσα της γενικής αναγωγιστικής αντίληψης που πρέπει να εξετάσουμε είναι αυτό που αναφέρεται συχνά ως *διαθεωρητικός* [intertheoretic] αναγωγισμός. Ένα μεγάλο μέρος της συζήτησης ανάμεσα σε επιστήμονες και

φιλοσόφους έχει επικεντρωθεί σε αυτήν την έννοια, παρόλο που ο όρος «διαθεωρητικός» είναι κάπως παραπλανητικός. Στην ουσία, όταν λέμε διαθεωρητικός αναγωγισμός εννοούμε την *εξήγηση* μίας θεωρίας που είχε αρχικά διατυπωθεί στα πλαίσια ενός επιστημονικού κλάδου από μία θεωρία που ανήκει σε κάποιον άλλο κλάδο. Σε περιπτώσεις που γίνεται αντιληπτό ότι η έμφαση στις *θεωρίες* είναι ακατάλληλη, αυτός ο τύπος αναγωγής αναφέρεται συχνά και ως *κλαδική* αναγωγή [branch reduction] (Kemeny και Oppenheim 1950). Πρόκειται για χρήσιμη διόρθωση, δεδομένου ότι αυτό που μπορεί να κατανοηθεί με τη βοήθεια μίας, ανωτέρου επιπέδου, αφηρημένης βιοϊατρικής θεωρίας είναι συχνά αξιοσημείωτα διαφορετικό από αυτό που μπορούμε να αναπαραστήσουμε με τη βοήθεια της φυσικής. Στην επόμενη παράγραφο θα προσπαθήσουμε να αναπτύξουμε μια έννοια κλαδικής αναγωγής, την οποία και θα συζητήσουμε στη συνέχεια στο ευρύτερο πλαίσιο των διάφορων εννοιών αναγωγής και αναδυόμενων ιδιοτήτων που σκιαγραφήθηκαν πιο πάνω.

8.5 ΑΝΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΝΟΥΣ

Η απόπειρα ανάλυσης μιας έννοιας τόσο σύνθετης όσο η «αναγωγή των βιοϊατρικών επιστημών» θα ήταν ανούσια αν δεν ήμασταν σε θέση να δείξουμε –έστω και σχηματικά– τον τρόπο με τον οποίο επιτελείται στην πράξη η αναγωγή των εν λόγω επιστημών. Πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να εξετάσουμε κάποια πραγματική γνωσιακή περιοχή στην οποία έχει συμβεί ή μπορεί να συμβαίνει αναγωγή. Και υπάρχουν πολλές υποψήφιες τέτοιες περιοχές, αν λάβουμε υπ' όψιν μας την ανάπτυξη, κατά την τελευταία δεκαετία, της μοριακής βιολογίας – στην οποία συμπεριλαμβάνεται η γενετική και οι νευροεπιστήμες. Οι Χαλ (Hull 1974, 1976) και Σάφνερ (Schaffner 1967, 1969, 1976, 1977) έχουν εμπλακεί σε μία διαμάχη, στην οποία συνεισέφεραν σημαντικά οι Γουίμσατ (Wimsatt 1976) και Κίτσερ (Kitcher 1984), σχετικά με την αναγωγιμότητα της κλασικής γενετικής στη μοριακή γενετική. Ο Ρόζενμπεργκ (Rosenberg 1985) έχει πραγματευθεί τόσο τη δρεπανοκυτταρική αναιμία όσο και τον ανασυνδυασμό του DNA υπό το φως του αναγωγισμού, και έχει επεξεργασθεί και αυτός μία τοποθέτηση όσον αφορά τις σχέσεις της κλασικής και της μοριακής γενετικής. Μπορεί επίσης να συμβουλευθεί κανείς και τους Μπάλτσαρ (Balzar) και Ντάου (Dawe), που πρόσφατα (1986) εξέτασαν την αναγωγή της κλασικής γενετικής στη μοριακή.

Μεγαλύτερη σχέση με τη θεματολογία αυτού του κεφαλαίου θα είχε, ωστόσο, η εξέταση του τρόπου με τον οποίο οι νευροεπιστήμες έχουν προχωρήσει σε αναγωγιστικές εξηγήσεις της συμπεριφοράς μάθησης [learning behavior]. Η εξήγηση νοητικών διαδικασιών στη βάση φυσικών και βιολογικών συμβάντων υπήρξε κατά παράδοση αντικείμενο διαμάχης, καί τέτοια παραμένει και σήμερα. Αυτό που έχει αλλάξει κατά την τελευταία δεκαετία είναι η σημαντική πρόοδος που έχει επιτελεστεί όσον αφορά την εφαρμογή της μοριακής βιολογίας

στις νευροεπιστήμες. Στις προηγούμενες παραγράφους αποδώσαμε στην «ιατρική» σημαντικές ψυχολογικές (και κοινωνικές) διαστάσεις, και σημειώσαμε ότι η επαρκής πραγμάτευση αυτών των ζητημάτων προϋποθέτει μιαν άποψη περί αναγωγής αρκετά ισχυρή ώστε να θέτει επί τάπητος το ζήτημα της αναγωγής αυτών των ψυχοκοινωνικών διαστάσεων στις βιοϊατρικές επιστήμες. Επιπλέον, η νευροβιολογία έχει να παρουσιάσει σημαντικά επιτεύγματα που έχουν άμεσες κλινικές εφαρμογές, όπως αυτή που αφορά τη μεταμόσχευση νευρικών ιστών για την ασθένεια Πάρκινσον. Κατά συνέπεια, θα ήταν ίσως πιο γόνιμο να εξετάσουμε την αναγωγή σε σχέση με τις πρωτοποριακές περιοχές της μοριακής νευροβιολογίας. Μία τέτοια προσέγγιση της αναγωγής όσον αφορά τις βιοϊατρικές επιστήμες αναπτύσσεται στο πλαίσιο των μοριακών εξηγήσεων της συμπεριφοράς μάθησης, και σε τελευταία ανάλυση του νου, που παρέχουν οι νευροεπιστήμες.

Τα ερωτήματα που αφορούν την υπόσταση του νου είναι τόσο παλιά όσο η φιλοσοφία (και η θρησκεία). Σήμερα, το οντολογικό καθεστώς του «νοητικού» υφίσταται εκ νέου ενδελεχή διερεύνηση από τις νευροβιολογικές επιστήμες. Ορισμένοι από τους πρωτεργάτες αυτών των επιστημών ισχυρίζονται ότι η προσέγγιση της νευροβιολογίας *από τη σκοπιά της μοριακής βιολογίας* είναι ανώτερη από άλλους εναλλακτικούς τρόπους αντιμετώπισης του θέματος. Στον πρόλογο ενός τόμου με τίτλο *Η μοριακή νευροβιολογία στη νευρολογία και την ψυχιατρική* (*Molecular Neurobiology in Neurology and Psychiatry*) (1987b), ο Έρικ Κάντελ γράφει:

> Ο τόμος αυτός αντανακλά τις επιπτώσεις που έχει η μοριακή βιολογία επί των νευροεπιστημών, και ειδικότερα επί της νευρολογίας και της ψυχιατρικής. Αυτές οι νέες προσεγγίσεις έχουν επιταχύνει την ανάπτυξη της νευροβιολογίας. Η αύξηση των γνώσεών μας, όπως προέκυψε από αυτές τις εξελίξεις, είχε δύο απρόβλεπτες συνέπειες που άλλαξαν τους τρόπους με τους οποίους η κλινική έρευνα και πρακτική αντιλαμβάνεται τις ανακαλύψεις που έρχονται από τη βασική έρευνα. Η πρώτη συνέπεια έγκειται στη νέα ενότητα, στη μεγαλύτερη συνοχή που αποκτά η βιολογία ως σύνολο, καθώς η μελέτη προχωρά από το κυτταρικό επίπεδο στο επίπεδο των μορίων ...[Η] δεύτερη συνέπεια της αύξησης των γνώσεών μας ... [είναι ότι], όσο η επιστήμη γίνεται ισχυρότερη, τόσο γίνεται περισσότερο φιλόδοξη – γίνεται τολμηρότερη ... Πολλοί μοριακοί βιολόγοι δεν διστάζουν να παραδεχθούν σήμερα ότι το απώτερο αντικείμενο των ενδιαφερόντων τους δεν είναι απλώς το σύστημα το οποίο μελετούν. Δεν είναι απλώς οι λ-φάγοι [lambda], οι φάγοι T4 ή η *E. coli*. Δεν είναι καν η *C. elegans*, η *Drosophila* ή η *Aplysia*. Είναι η ανθρώπινη βιολογία. Και κάποιοι ερευνητές βιολόγοι είναι τόσο τολμηροί ώστε να θεωρούν ως απώτατο ενδιαφέρον τους τον ανθρώπινο νου. (1987, vii-viii)

Στην Παράγραφο 8.7 θα εξετάσουμε από κοντά τη φύση κάποιων από αυτές τις μοριακές βιολογικές εξηγήσεις των νευροβιολογικών φαινομένων, και ειδικότερα της εκμάθησης και της μνήμης. Στην παράγραφο που ακολουθεί θα παρουσιάσουμε ένα σύντομο ιστορικό περίγραμμα των βασικών στοιχείων των φιλοσοφικών αναλύσεων που αφορούν την αναγωγή, και στη συνέχεια θα προχωρήσουμε τόσο στην κριτική αυτών των προσεγγίσεων, όσο και στη σκιαγράφηση μίας προοπτικής επί της αναγωγής την οποία θεωρούμε επαρκέστερη. Πιστεύουμε ότι η προσέγγιση της αναγωγής που θα προταθεί μπορεί να εφαρμοσθεί ευθέως στη μοριακή νευροβιολογία. Και πράγματι, θα διερευνήσουμε ένα λεπτομερές παράδειγμα της προσέγγισής μας που προέρχεται από το χώρο της μοριακής νευροβιολογίας, παρόλο που πιστεύουμε ότι το εύρος εφαρμογής της είναι μεγαλύτερο. Θεωρούμε ότι η ανάλυση που θα εκθέσουμε δεν καλύπτει μόνο τη νευροβιολογία, αλλά επίσης τις βιολογικές, ψυχολογικές και κοινωνικές επιστήμες, και ότι μπορεί να εφαρμοσθεί και να ελεγχθεί σε ένα ευρύ πεδίο.

8.6 ΜΙΑ ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

Όπως αναφέρθηκε στην Παράγραφο 8.4, ένα μεγάλο μέρος της διαμάχης γύρω από τον αναγωγισμό επικεντρώθηκε στις σχέσεις μεταξύ *θεωριών*. Η φιλοσοφία της επιστήμης κατανοούσε παραδοσιακά μία θεωρία ως ένα μικρό σύνολο προτάσεων, κάθε μία από τις οποίες συνιστά ιδεωδώς έναν επιστημονικό νόμο. Αυτές οι προτάσεις μπορούν να εκληφθούν ως τα βασικά *αξιώματα* ή οι κύριες προκείμενες, στη βάση των οποίων μπορούν να αποδειχθούν τα θεωρήματα, όπως περίπου συμβαίνει σε ένα γυμνασιακό εγχειρίδιο γεωμετρίας. Τα αξιώματα αυτά περιέχουν τόσο λογικούς όρους, όπως το σημείο ισότητας, όσο και μη λογικούς όρους, όπως «φωτόνιο» ή «γονίδιο». Οι φιλόσοφοι της επιστήμης πίστευαν επίσης ότι η ένταξη αυτών των προτάσεων σε ένα τυπικό λογικό σύστημα θα καθιστούσε ευκολότερη την διασαφήνιση της φύσης μίας επιστημονικής θεωρίας, δεδομένου ότι κατ' αυτόν τον τρόπο οι εκπεφρασμένες σχέσεις μεταξύ των αξιωμάτων και των θεωρημάτων –δηλαδή άλλων, «παραγόμενων» επιστημονικών νόμων ή περιγραφών πειραματικών αποτελεσμάτων– θα μπορούσαν να εξετασθούν με τυπική αυστηρότητα. Πιο πρόσφατα, ορισμένοι φιλόσοφοι της επιστήμης αντιμετώπισαν τις επιστημονικές θεωρίες με διαφορετικό τρόπο – παραδείγματος χάριν, θεωρώντας τις ως «κατηγορήματα» (βλ. Κεφάλαιο 3), μια αντίληψη που συχνά αναφέρεται ως «σημασιολογική» (semantic) αντίληψη περί επιστημονικών θεωριών, σε αντιπαραβολή με την προηγούμενη «συντακτική» (syntactic) αντίληψη. Αυτές οι νεότερες απόψεις είναι συμβατές με την προηγούμενη αντίληψη που κατανοούσε τις θεωρίες ως μικρά σύνολα προτάσεων. Πράγματι, αρκεί να συνενώσουμε τις προτάσεις (αξιώματα) ενός τέτοιου συνόλου για να προσδιορίσουμε το κατηγόρημα που μας ενδιαφέρει (Βλ. Κεφάλαιο 3).

Ο locus classicus των φιλοσοφικών αναλύσεων της αναγωγής μεταξύ θεωριών είναι το έργο του Ερνστ Νάγκελ (Ernest Nagel 1947, 1961). Ο Νάγκελ συνέλαβε την αναγωγή στα πλαίσια της επιστήμης ως μία σχέση μεταξύ *θεωριών*, και την συνέδεσε με μία γενικευμένη εκδοχή του κλασικού παραγωγικού-νομολογικού υποδείγματος εξήγησης του Χέμπελ (βλ. Κεφάλαιο 1). Σύμφωνα με την άποψή του, μία θεωρία, ας πούμε βιολογική, είναι αναγώγιμη σε μία χημική θεωρία εάν και μόνο εάν (1) όλοι οι μη λογικοί όροι της βιολογικής θεωρίας μπορούν να *συνδεθούν* με τους αντίστοιχους της χημικής θεωρίας, παραδείγματος χάριν ο όρος «γονίδιο» να συνδεθεί με τον όρο DNA, και (2), με τη βοήθεια αυτών των *παραδοχών συνδεσιμότητας*, η βιολογική θεωρία μπορεί να *παραχθεί* από τη χημική θεωρία (με την επιπλέον βοήθεια γενικών λογικών αρχών). Αργότερα, αυτή η συνδεσιμότητα θεωρήθηκε προτιμότερο να εκληφθεί ως έκφραση ενός είδους «συνθετικής ταυτότητας», παραδείγματος χάριν γονίδιο = ακολουθία DNA (Schaffner 1967, Sklar 1967, Causey 1977).

Μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική προσέγγιση, περισσότερο σημασιολογική, είναι αυτή που ανέπτυξαν οι Σάπις (Suppes) και Άνταμς (Adams):

> Πολλά από τα προβλήματα που έχουν διατυπωθεί όσον αφορά το ζήτημα της αναγωγής μίας επιστήμης σε μία άλλη μπορούν να επαναδιατυπωθούν με τη βοήθεια ενός θεωρήματος αναπαράστασης των μοντέλων μιας θεωρίας. Για παράδειγμα, πολλοί θα θεωρούσαν επαρκώς τεκμηριωμένη τη θέση ότι η ψυχολογία είναι αναγώγιμη στη φυσιολογία, αν μπορούσε να αποδειχθεί ότι για κάθε μοντέλο μιας ψυχολογικής θεωρίας μπορούμε να συγκροτήσουμε ένα ισομορφικό μοντέλο στα πλαίσια μιας θεωρίας της φυσιολογίας (1967, 59).

Ο Σάπις δίνει ακόμα ένα παράδειγμα αυτού του τύπου αναγωγής όταν γράφει:

> Για να δείξουμε με έναν αυστηρό τρόπο ότι η θερμοδυναμική μπορεί να αναχθεί στη στατιστική μηχανική, πρέπει να αξιωματικοποιήσουμε και τις δύο θεωρίες διά του προσδιορισμού των κατάλληλων συνολοθεωρητικών κατηγορημάτων και, στη συνέχεια, να δείξουμε ότι για κάθε θερμοδυναμικό μοντέλο Τ μπορούμε να βρούμε ένα μοντέλο της στατιστικής μηχανικής στη βάση του οποίου μπορούμε να συγκροτήσουμε ένα μοντέλο ισομορφικό ως προς το Τ (1957, 271).

Αυτή η προσέγγιση, βασισμένη στη θεωρία μοντέλων, επιτρέπει έναν κατά κάποιο τρόπο συμπληρωματικό, αλλά επί της ουσίας ισοδύναμο, τρόπο να επιληφθούμε του ζητήματος, τον οποίο θα συζητήσουμε στη συνέχεια.

Σε αντιδιαστολή με τους Σάπις και Άνταμς (και, κατά συνέπεια, με το μεταγενέστερο έργο του Σνηντ, του Στεγκμύλερ [Stegmuller] και των οπαδών τους), οι περισσότεροι συγγραφείς που εργάζονται επί της αναγωγής προτιμούν να

πραγματεύονται το ζήτημα στη βάση των περισότερο συντακτικών προδιαγραφών του Νάγκελ: συνδεσιμότητα και δυνατότητα παραγωγής. Οι Πόππερ (Popper, 1957a), Φαγεράμπεντ (Feyerabend 1961, 1962) και Κουν (Kuhn 1962), με ορισμένα κριτικά κείμενα που γνώρισαν ευρεία απήχηση, έδωσαν ισχυρά πλήγματα στη συνθήκη *δυνατότητας παραγωγής* (όπως και στην απαίτηση συνδεσιμότητας). Ο Φαγεράμπεντ παραθέτει (1962, 93), χωρίς ωστόσο να συμφωνεί, την πρόταση του Γουότκινς (Watkins) σύμφωνα με την οποία θα μπορούσαμε ενδεχομένως να διατηρήσουμε κάποιας μορφής αναγωγή αν ανεχθούμε κάποιο βαθμό προσέγγισης. Ο Σάφνερ (1967) προσπάθησε να επεξεργασθεί ένα τροποποιημένο μοντέλο αναγωγής το οποίο να διατηρεί την ισχύ της προσέγγισης του Νάγκελ, αλλά να είναι και αρκετά ευέλικτο ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει την κριτική των Πόππερ, Φαγεράμπεντ και Κουν. Αυτό το μοντέλο, που ονομάσθηκε *γενικό μοντέλο αναγωγής*, έχει υποστεί κριτική (Hull 1974, Wimsatt 1976, Hooker 1981), έχει τύχει υποστήριξης (Schaffner 1976, Ruse 1976), και έχει τύχει περαιτέρω επεξεργασίας (Wimsatt 1976, Schaffner 1977, Hooker 1981) για να υποστεί εκ νέου κριτική από τους Κίτσερ (1984) και Ρόζενμπεργκ (1985). Μία κατά κάποιο τρόπο παρόμοια προσέγγιση της αναγωγής έχει αναπτυχθεί από τον Πωλ Τσέρτσλαντ (Paul Churchland) σε αρκετά βιβλία και άρθρα του (1979, 1981, 1984).

Μια προσέγγιση αρκετά κοντινή στο αρχικό γενικό μοντέλο αναγωγής έχει εφαρμοσθεί πολύ πρόσφατα στην περιοχή της νευροβιολογίας από την Πατρίτσια Τσέρτσλαντ (Patricia Churchland, 1986). Η ίδια δίνει την ακόλουθη περιεκτική διατύπωση αυτού του γενικού μοντέλου:

> Στο εσωτερικό της νέας, ανάγουσας θεωρίας T_B συγκροτείται *ένα ανάλογο* T_R^* των νόμων, κ.λπ, της προς αναγωγή θεωρίας T_R. Το ανάλογο T_R^* μπορεί στη συνέχεια να παραχθεί λογικά από την ανάγουσα θεωρία T_B με την προσθήκη προτάσεων που προσδιορίζουν ειδικές συνθήκες (π.χ., επιφάνειες χωρίς τριβή, τέλεια ελαστικότητα). Σε γενικές γραμμές, το ανάλογο κατασκευάζεται έτσι ώστε οι εκφράσεις της παλιάς θεωρίας να μεταγράφονται σε εκφράσεις της νέας θεωρίας, και οι νόμοι της παλιάς θεωρίας σε προτάσεις (αλλά όχι απαραίτητα σε *νόμους*) της νέας θεωρίας. Υπ' αυτές τις συνθήκες, η παλιά θεωρία ανάγεται στη νέα. Από τη στιγμή που η αναγωγή επιτελεσθεί με επιτυχία, η νέα θεωρία θα εξηγεί την παλιά, θα εξηγεί γιατί η παλιά θεωρία λειτουργούσε με την επιτυχία με την οποία λειτουργούσε, και θα εξηγεί πολλά από τα σημεία στα οποία η παλιά θεωρία προσέκρουε (ό.π. 282-283).

Η Τσέρτσλαντ εφαρμόζει στη συνέχεια αυτήν την αντίληψη αναγωγής στην περίπτωση των επιστημών που απαρτίζουν το χώρο της ψυχολογίας (και αυτού που έχει ονομασθεί «λαϊκή ψυχολογία» [folk psychology]), οι οποίες παίζουν εδώ το ρόλο των *προς αναγωγή* επιστημών, και των γοργά αναπτυσσόμενων νευροεπι-

στημών, οι οποίες αποτελούν τις ανάγουσες επιστήμες. Καθ' οδόν θα αντιληφθεί ότι χρειάζεται να καταστήσει ακόμα πιο ευέλικτο το υπόδειγμά της ώστε να μπορέσει να επιληφθεί όχι μόνο περιπτώσεων αναγωγής, αλλά και αντικατάστασης ή μερικής αναγωγής. Ωστόσο, όχι μόνο δεν επαναδιατυπώνει ρητά το υπόδειγμά της έτσι ώστε να συμπεριλάβει αυτές τις τροποποιήσεις, αλλά ούτε και αναφέρει πολλά πράγματα για το πώς θα μπορούσε να επιτευχθεί αυτό – κάτι που θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο, αν ληφθεί υπ' όψιν η σημασία αυτών των τροποποιήσεων. Το πλέον γενικό μοντέλο αναγωγής πρέπει να προβλέπει και εκείνες τις περιπτώσεις όπου η T_R ΔΕΝ μετασχηματίζεται σε μία T_R^*, αλλά ΑΝΤΙΚΑΘΙΣΤΑΤΑΙ από την T_B ή μία T_B^*. Η αναγωγή της θεωρίας του φλογιστού από έναν συνδυασμό της θεωρίας της καύσης του Λαβουαζιέ και της ατομικής θεωρίας του Ντάλτον θα μπορούσε να συνιστά μία τέτοια αντικατάσταση, αν και κάτι τέτοιο δεν είναι ιστορικά ακριβές. Ένα άλλο παράδειγμα αναγωγής μέσω αντικατάστασης αφορά την αντικατάσταση των δαιμονολογικών θεωριών της ασθένειας από την αντίστοιχη μικροβιακή θεωρία, σε συνδυασμό όμως με τη διατήρηση, ας πούμε, των λεπτομερών παρατηρήσεων της πρώτης επί της φυσικής ιστορίας των ασθενειών και, ενδεχομένως, ορισμένων ήδη διαπιστωμένων συνδυασμών συνδρόμων (Schaffner, 1977).

Στην απλούστερη δυνατή εκδοχή αντικατάστασης έχουμε την άμεση σύνδεση της *πειραματικής έκτασης* (όχι όμως και των θεωρητικών προκείμενων) της αρχικής T_R με την ανάγουσα θεωρία, με τη βοήθεια νέων κανόνων αντιστοίχισης που συναρτώνται με την T_B (ή την T_B^*). Κανόνα αντιστοίχισης ονομάζουμε εδώ μία συμπτυγμένη αιτιακή ακολουθία που συσχετίζει θεωρητικές (κατά βάση) διαδικασίες με παρατηρήσιμες (κατά βάση) διαδικασίες. (Για μιαν αναλυτικότερη παρουσίαση αυτής της ερμηνείας των κανόνων αντιστοίχισης, δες Schaffner 1969.) Αρκετοί τέτοιοι κανόνες, λοιπόν, είναι πιθανό να επιτρέπουν την πληρέστερη εξήγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων της περιοχής που καλύπτει η T_Rαπό την T_B (ή την T_B^*). Σε μία πιο σύνθετη εκδοχή, που βρίσκεται πιο κοντά στην πραγματικότητα, θέλουμε να προβλέψουμε επιπλέον τη δυνατότητα μερικής αναγωγής, δηλαδή τη δυνατότητα διατήρησης όχι μόνο ολόκληρου του *πεδίου* (ή έστω, μέρους του πεδίου) της T_R, αλλά και ενός εν μέρει επαρκούς τμήματος της T_B. (Η έννοια με την οποία χρησιμοποιείται εδώ ο όρος «πεδίο» είναι αυτή που εισήγαγε ο Σαπήρ [Shapere 1974]: ένα πεδίο είναι ένα σύμπλοκο πειραματικών αποτελεσμάτων των οποίων ή επιλαμβάνεται πράγματι η T_R, ή/και *πρέπει* να επιληφθεί η T_R όταν (και εάν) καταστεί επαρκώς και πλήρως ανεπτυγμένη.) Έτσι μία ανάγουσα θεωρία T_B (ή T_B^*) μπορεί θεωρητικά να συμμετέχει σε ένα συνεχές διάστημα σχέσεων αναγωγής. (Σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου μόνο μία από τις T_B ή T_B^* είναι η ανάγουσα θεωρία, χρησιμοποιούμε την έκφραση T_B^*.) Ένα τέτοιο συνεχές διάστημα είναι θεωρητικώς δυνατό μόνον υπό τον όρο να μη θεωρείται η T_R απλώς ως μία απολύτως συμπαγής θεωρία, αλλά και ως μία θεωρία αναλύσιμη σε ασθενέστερες εκδοχές της και συσχετισμένη με μία ή περισσότερες πειραματικές περιοχές ή πεδία αντικειμένων. Αξί-

ζει να σημειωθεί εδώ ότι το υπόδειγμα των Σάπις και Άνταμς θα μπορούσε να προσδώσει επιπλέον δομή σ' αυτήν την αντίληψη μερικής αναγωγής με τη βοήθεια μιας ορολογίας δανεισμένης από τη θεωρία μοντέλων, αν και προς τούτο θα χρειαζόταν κάποιες (ισχυρότερες) τροποποιήσεις αυτού του αρχικού σχήματος, οι οποίες μένουν προς συζήτηση.

Μπορούμε να κατανοήσουμε αυτές τις «ασθενέστερες εκδοχές της θεωρίας», είτε (1) ως εκείνες τις κατηγορίες μοντέλων της θεωρίας στα πλαίσια των οποίων δεν ικανοποιούνται όλες οι παραδοχές της, είτε (2) ως μία περιορισμένη υποκατηγορία του συνόλου των μοντέλων της προς αναγωγή θεωρίας και/ή της ανάγουσας θεωρίας. Η πρώτη εκδοχή αντιπροσωπεύει μία περιστολή των παραδοχών, η δεύτερη μία περιστολή του εύρους εφαρμογής της θεωρίας. Ως παράδειγμα του πρώτου τύπου περιστολής μπορούμε να θεωρήσουμε ένα σύνολο μοντέλων τα οποία ικανοποιούν μεν τον πρώτο και τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, αλλά είτε αποσιωπούν, είτε αρνούνται ρητά τον τρίτο. Η περιστολή αυτή έχει άμεση σχέση με την αναγωγή, δεδομένου ότι υπήρχαν πράγματι κατά τον δέκατο ένατο αιώνα μοντέλα οπτικής και ηλεκτρομαγνητισμού που ικανοποιούσαν τους δύο πρώτους νόμους του Νεύτωνα, αλλά παραβίαζαν τον τρίτο (Schaffner. 1972, 65). Ως παράδειγμα του δεύτερου τύπου περιστολής μπορούμε να θεωρήσουμε την περιστολή του εύρους ορισμένων μοντέλων της στατιστικής μηχανικής τα οποία, για να επιτελέσουν την αναγωγή, εξαλείφουν εκείνα τα συγκεκριμένα συστήματα (μηδενικού μέτρου) στα οποία η εντροπία δεν αυξάνεται, π.χ. μία συλλογή σωματιδίων που προχωρούν σε ευθεία γραμμή. Δυστυχώς, αυτός ο δεύτερος τύπος περιστολής είναι *ad hoc*.

Στη βάση ορισμένων εύλογων παραδοχών, το γενικό μοντέλο αναγωγής (όπως αυτό σκιαγραφείται στο απόσπασμα της Πατρίτσια Τσέρτσλαντ που παραθέσαμε πιο πάνω) μπορεί να μετασχηματισθεί σε ένα γενικό μοντέλο αναγωγής–αντικατάστασης, οι προϋποθέσεις του οποίου δίδονται στο εντός πλαισίου κείμενο που ακολουθεί. (Τα κείμενα εντός πλαισίου, καθώς και όλα τα σχήματα με εξαίρεση το σχήμα 8.1, συνιστούν προαιρετική ύλη για τους σπουδαστές.) Μολονότι αυτές οι προϋποθέσεις είναι κατ' ανάγκην διατυπωμένες σε μία κάπως τεχνική γλώσσα, οι σχετικές έννοιες πρέπει να γίνονται σαφείς και κατανοητές με βάση τη συζήτηση που προηγήθηκε. (Τα υπογραμμισμένα *ή* πρέπει να εκληφθούν με την ασθενέστερη και περιεκτικότερη έννοια του «ή», δηλαδή ως «και/ή».)

Η μία οριακή περίπτωση αυτού του μοντέλου είναι αυτό που προσδιορίσαμε προηγουμένως ως γενικό μοντέλο αναγωγής, το οποίο, με τη σειρά του, έχει ως οριακή περίπτωση το μοντέλο του Νάγκελ. Η χρήση της ασθενούς έννοιας του *ή* στις συνθήκες (1), (2) και (4) καθιστά δυνατό το «συνεχές διάστημα» για το οποίο μιλήσαμε προηγουμένως, και το οποίο εκτείνεται από την περίπτωση της αναγωγής ως υπαγωγής, μέχρι την περίπτωση της αναγωγής ως εξήγησης του πειραματικού πεδίου της προς αναγωγή θεωρίας. Μολονότι σ' αυτήν την τελευταία περίπτωση δεν έχουμε διαθεωρητική αναγωγή, εξακολουθεί να ισχύει η

Γενικό Μοντέλο Αναγωγής-Αντικατάστασης (ΓΑΑ)
T_B –η ανάγουσα θεωρία/μοντέλο
T_B^* –η «διορθωμένη» ανάγουσα θεωρία/μοντέλο
T_R–η αρχική προς αναγωγή θεωρία/μοντέλο
T_R^* –η «διορθωμένη» προς αναγωγή θεωρία/μοντέλο

Αναγωγή με τη γενικότερη δυνατή έννοια συμβαίνει εάν και μόνο εάν

(1)(a) Όλοι οι θεμελιώδεις όροι της T_R^* συσχετίζονται με έναν ή περισσότερους όρους της $T_B^{(*)}$, έτσι ώστε
(i) T_R^* (οντότητες) = συνάρτηση ($T_B^{(*)}$ (οντότητες))
(ii) T_R^* (κατηγορήματα) = συνάρτηση ($T_B^{(*)}$ (κατηγορήματα))

ή

(1)(b) Το πεδίο της T_R^* μπορεί να συνδεθεί με την $T_B^{(*)}$ μέσω νέων κανόνων αντιστοίχισης. (Συνθήκη γενικευμένης συνδεσιμότητας).

(2)(a) Με δεδομένη την εκπλήρωση της συνθήκης (1)(a), η T_R^* μπορεί να παραχθεί από την $T_B^{(*)}$ εάν αυτή ενισχυθεί με τις συναρτήσεις (1) (a)(i) και (1)(a)(ii).

ή

(2)(b) Με δεδομένη την εκπλήρωση της (1)(b), το πεδίο της T_R μπορεί να παραχθεί από την $T_B^{(*)}$ εάν αυτή ενισχυθεί με νέους κανόνες αντιστοίχισης. (Συνθήκη γενικευμένης δυνατότητας παραγωγής.)

(3) Σε περίπτωση που οι (1)(a) και (2)(a) ισχύουν, η T_R^* διορθώνει την T_R, δηλαδή κάνει ακριβέστερες προβλέψεις. Σε περίπτωση που ισχύουν οι (1)(b) και (2)(b), μπορεί η $T_B^{(*)}$ να κάνει ακριβέστερες προβλέψεις στο πεδίο της T_R από ό,τι κάνει η T_R

(4)(a) Η T_R εξηγείται από την $T_B^{(*)}$ με την έννοια ότι η T_R και η T_R^* είναι ισχυρώς ανάλογες, και η $T_B^{(*)}$ υποδεικνύει γιατί η T_R λειτούργησε καλά στην ιστορία.

ή

(4)(b) Το πεδίο της T_R εξηγείται από την $T_B^{(*)}$ ακόμα και αν η T_R αντικατασταθεί.

«κλαδική» αναγωγή για την οποία κάναμε λόγο πιο πάνω. Αυτή η ευελιξία του γενικού μοντέλου αναγωγής-αντικατάστασης είναι εξαιρετικά λειτουργική στο πλαίσιο των συζητήσεων που αφορούν τρέχουσες θεωρίες οι οποίες ενδεχομένως εξηγούν «νοητικά» φαινόμενα.

Παρόλο που έχουμε εδώ να κάνουμε με χρήσιμες προεκτάσεις του παραδοσιακού μοντέλου, οφείλουμε να επανεξετάσουμε μία από τις βασικές προκείμε-

νές του, σύμφωνα με την οποία ο καλύτερος τρόπος προσέγγισης της αναγωγής έγκειται στο να τη θεωρήσουμε ως μία σχέση μεταξύ *θεωριών* (όσο και αν έχουμε προβλέψει την περίπτωση αναγωγής μεταξύ μίας θεωρίας και του *πεδίου* μίας προϋπάρχουσας θεωρίας). Επιπλέον, πουθενά δεν έχει υπάρξει σοβαρός προβληματισμός για το κατά πόσο η έννοια των *νόμων*, ή ενός συνόλου νόμων, συλλαμβάνει επαρκώς μία θεωρία, είτε πρόκειται για την προς αναγωγή, είτε για την ανάγουσα.

Ο Γουίμσατ (1976) ασκεί κριτική στην προηγούμενη προσέγγιση του Σάφνερ (Schaffner 1967, 1969, 1976) επειδή, μεταξύ άλλων, ο τελευταίος δεν θεωρεί τους «μηχανισμούς» ως τον κεντρικό στόχο της ανάγουσας επιστήμης. Εν μέρει φαίνεται να παρακινείται από κάποιες παρατηρήσεις του Χαλ (1974), αλλά κατά κύριο λόγο από το μοντέλο εξήγησης των Σάλμον κ.ά. (1971). Ο Γουίμσατ θεωρεί ως μία από τις πιο σημαντικές συνεισφορές των Σάλμον κ.ά. το γεγονός ότι μετατοπίζουν το ενδιαφέρον από στατιστικούς *νόμους* σε στατιστικά σχετιζόμενους *παράγοντες* και τους *μηχανισμούς* που τους διέπουν (Wimsatt 1976, 488). Οι προτάσεις του Γουίμσατ είναι ιδιαίτερα εύστοχες και οι συνέπειές τους θα ληφθούν υπ' όψιν στη συνέχεια, σε συνάφεια με τον αιτιακό σχολιασμό που επισυνάπτεται στις αναγωγές όταν αυτές εκλαμβάνονται ως εξηγήσεις.

Ο Φίλιπ Κίτσερ έχει ανακινήσει προσφάτως το ζήτημα του ρόλου που παίζουν οι «νόμοι» στην αναγωγή των βιοϊατρικών επιστημών εν γένει, και της γενετικής ειδικότερα. Στο άρθρο του για την αναγωγή όσον αφορά τη μοριακή βιολογία (1984), ο Κίτσερ υποστηρίζει ότι το μοντέλο του Νάγκελ για την αναγωγή παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα. Ένα από αυτά είναι ότι όταν κάποιος προσπαθεί να εφαρμόσει αυτήν την άποψη στη βιολογία εν γένει, και στη γενετική ειδικότερα, δυσκολεύεται να βρει σύνολα προτάσεων που να συνιστούν τους «νόμους» της προς αναγωγή θεωρίας.

Όπως παρατηρεί ο Κίτσερ, δύσκολα μπορεί κανείς να βρει πολλούς νόμους που να αφορούν τα γονίδια, σε αντίθεση με τους νόμους περί αερίων οι οποίοι αφθονούν στη σχετική φιλολογία, ή τους πολλούς και άμεσα διατυπωμένους νόμους της οπτικής, όπως ο νόμος του Σνελ (Snell), ο νόμος του Μπριούστερ (Brewster) και άλλοι. Η εξήγηση αυτού του φαινομένου είναι περίπλοκη (βλ. Schaffner 1980 και 1986), έχει όμως ενδιαφέρουσες επιπτώσεις όσον αφορά την αναγωγή και, από αυτή την άποψη, θα απαιτούσε κάποια συζήτηση. Όπως προσθέτει όμως ο Κίτσερ, μπορούμε να εξαγάγουμε από το έργο του Μέντελ, και όσων το ανακάλυψαν αργότερα εκ νέου, δύο αρχές ή νόμους που φαίνεται να έχουν κερδίσει αυτόν τον τίτλο. Πρόκειται για τους διάσημους νόμους του διαχωρισμού (segregation) και του ανεξάρτητου συνδυασμού (independent assortment), που εξακολουθούν να παρατίθενται στα πιο πρόσφατα βιβλία γενετικής, όπως αυτό του Γουάτσον (Watson) κ.ά (1987)· μία διατύπωση αυτών των νόμων υπάρχει στο Κεφάλαιο 7. Οι νόμοι αυτοί αποτέλεσαν το αντικείμενο της ιστορικής έρευνας του Όλμπυ (Olby, 1966).

Κατά τη γνώμη του Όλμπυ, οι νόμοι του Μέντελ είναι σημαντικοί και, στο

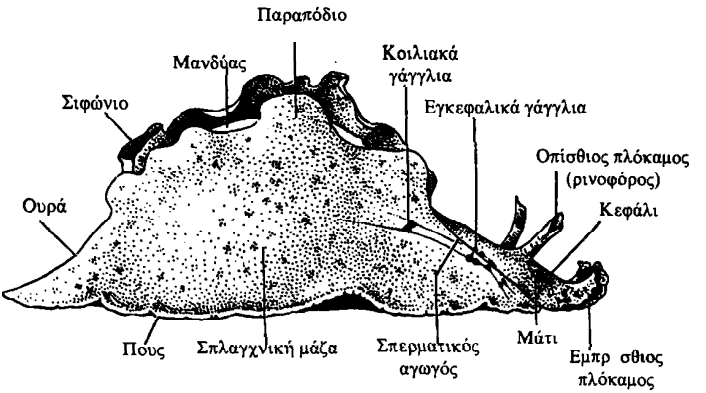
κατάλληλο πλαίσιο, εξακολουθούν να είναι ακριβείς. Απαντώντας στο ερώτημα αν ο νόμος του Μέντελ περί ανεξάρτητου συνδυασμού διατηρεί την ισχύ του, ο Όλμπυ γράφει:

> ναι· αλλά όπως κάθε άλλος επιστημονικός νόμος, ισχύει μόνο υπό καθορισμένες συνθήκες. Ο Μέντελ διατύπωσε τις περισσότερες από αυτές τις συνθήκες, ωστόσο η αναγκαιότητα απουσίας σύνδεσης (linkage), διασκελισμού (crossing-over) και πολυπλοειδισμού (polyploidy) διατυπώθηκε μετά το 1900 (1966, 140).

Στο δοκίμιο του, ο Κίτσερ αντλεί ένα διαφορετικό συμπέρασμα από τις μετά το 1900 ανακαλύψεις των περιορισμών των μεντελικών νόμων. Το ζήτημα δεν είναι ότι κάποιος δεν θα μπορούσε να σώσει τους νόμους του Μέντελ, προσδιορίζοντας τους κατάλληλους περιορισμούς ή αρθρώνοντάς τους έτσι ώστε να μπορούν να υποστούν αναγωγή· το πρόβλημα είναι ότι «ο δεύτερος νόμος του Μέντελ, διορθωμένος ή όχι, απλώς δεν έχει καμία σχέση με τις κατοπινές έρευνες της κλασικής γενετικής» (Kitcher 1984, 342). Αυτό που μοιάζει να απασχολεί τον Κίτσερ είναι ότι ο δεύτερος νόμος του Μέντελ αποκτά ενδιαφέρον και σημασία μόνο από τη στιγμή που θα ενταχθεί σε μία κυτταρολογική προοπτική, στα πλαίσια της οποίας τα μεντελικά γονίδια εντοπίζονται σε χρωμοσωμικά τμήματα στο εσωτερικό των κυττάρων:

> Στην μετά τον Μόργκαν γενετική κυριαρχεί η [κυτταρολογική] τεχνική, πράγμα που δεν πρέπει να μας ξαφνιάζει από τη στιγμή που ξέρουμε ότι ένα από τα κύρια ερευνητικά προβλήματα της κλασικής γενετικής υπήρξε η ανακάλυψη της κατανομής των γονιδίων *στο ίδιο χρωμόσωμα*, ένα πρόβλημα που ξεπερνούσε την εμβέλεια του διορθωμένου νόμου (1984, 343).

Νομίζω ότι ο Κίτσερ ακολουθεί εδώ τον σωστό δρόμο, χωρίς ωστόσο να έχει προσδιορίσει επαρκώς τις ενότητες που δραστηριοποιούνται στις πραγματικές επιστημονικές αναγωγές. Η κατοπινή επεξεργασία αυτού που ο ίδιος αποκαλεί «πρακτικές», έννοια ανάλογη με τα παραδείγματα του Κουν, τα ερευνητικά προγράμματα του Λάκατος ή τις ερευνητικές παραδόσεις του Λαουντάν (βλ. Κεφάλαιο 4), παρόλο που αυτή καθ' εαυτή είναι ενδιαφέρουσα, δεν έχει να κάνει με το ζήτημα της *αναγωγής*, αλλά είναι περισσότερο κατάλληλη για τη διασαφήνιση των προβλημάτων που αφορούν την επιστημονική πρόοδο. Αυτό που κρατάμε από τα επιχειρήματα του Γουίμσατ και την πραγμάτευση του Κίτσερ είναι η επισήμανση ότι το να αντιλαμβανόμαστε τις θεωρίες ως σύνολα νόμων ενδέχεται να είναι προβληματικό. Για να συλλάβουμε επαρκώς τη φύση της αναγωγής στις βιοϊατρικές επιστήμες πρέπει να εντάσσουμε κάθε σχετική γενίκευση σε ένα ευρύτερο πλαίσιο ανάλογων, επικαλυπτόμενων θεωριών. Θα εξετάσουμε αυτό το ζήτημα σε σχέση με τη νευροβιολογία στην Παράγραφο 8.8.



Σχήμα 8.2 Περίγραμμα της δομής της Aplysia californica, γνωστής επίσης και ως «λαγός της θάλασσας». Η βραγχιακή δομή δεν είναι ορατή, βρίσκεται όμως κοντά στο μανδύα, πίσω από το παραπόδιο και μπροστά από το σιφώνιο. Από το βιβλίο του E.R. Kandel, *Cellular Basis of Behavior*, copyright 1976 by W.H. Freeman and Company. Ανατύπωση κατόπιν αδείας.

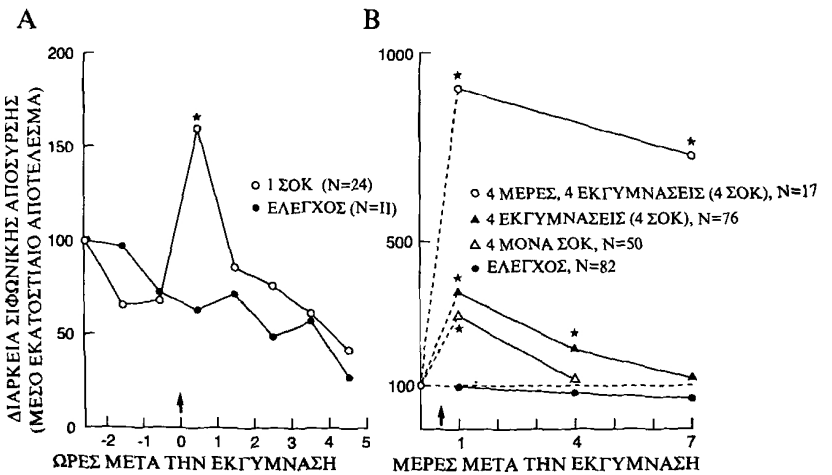
Ποια είναι η σημασία αυτής της αντίληψης περί αναγωγής; Για να το εκτιμήσουμε, ίσως θα ήταν πρόσφορο να εξετάσουμε αναλυτικά ένα παράδειγμα αναγωγής από το χώρο της νευροβιολογίας έτσι ώστε, υπό το φως της φιλοσοφικής συζήτησης που προηγήθηκε, να προσπαθήσουμε να το *γενικεύσουμε* και να διερευνήσουμε τι μπορεί να σημαίνει από φιλοσοφική σκοπιά η αναγωγή στην περίπτωση της νευροβιολογίας.

8.7 ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΗ ΚΑΙ ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΜΑΘΗΣΗ ΣΤΗΝ APLYSIA

Σε μία σειρά άρθρων τους, αποφασιστικής σημασίας για την νευρολογία, ο Κάντελ, ο Σβαρτς (Schwartz) και οι συνεργάτες τους αποκρυπτογράφησαν τα σύνθετα νευροβιολογικά συμβάντα που βρίσκονται στη βάση των πρωτόγονων μορφών μάθησης που παρουσιάζει το θαλάσσιο μαλάκιο *Aplysia*. Αυτός ο ασπόνδυλος οργανισμός, που συχνά ονομάζεται «λαγός της θάλασσας» (στο Σχήμα 8.2 μπορεί κανείς να δει το περίγραμμα της γενικής δομής του και να προσέξει την ομοιότητά του με ένα κουνέλι), εμφανίζει απλά αντανακλαστικά που μπορούν να τροποποιηθούν από περιβαλλοντικά ερεθίσματα. Είναι γνωστό ότι το νευρικό σύστημα της *Aplysia* αποτελείται από διακριτές συναθροίσεις νευρώνων που ονομάζονται γάγγλια, καθε ένα από τα οποία περιέχει αρκετές χιλιάδες νευρικά

κύτταρα. Μπορούμε να καταστήσουμε ορατά αυτά τα νευρικά κύτταρα με τη βοήθεια μικροσκοπίου, όπως επίσης και να εισαγάγουμε σ' αυτά μικροηλεκτρόδια για την παρακολούθηση των διαδικασιών στο εσωτερικό τους. Έχουν ταυτοποιηθεί συγκεκριμένα αισθητήρια και κινητήρια νευρικά κύτταρα τα οποία είναι ταυτόσημα μεταξύ των ατόμων του είδους. Έγινε έτσι δυνατός ο εντοπισμός των συναπτικών συνδέσεων μεταξύ των νευρικών κυττάρων και ο προσδιορισμός των οργάνων που αυτά νευρώνουν. Στη βάση αυτών των πληροφοριών μπορούν να κατασκευασθούν «ηλεκτρικά διαγράμματα» του νευρικού συστήματος.

Οι νευροεπιστήμονες ανακάλυψαν έκπληκτοι ότι απλοί οργανισμοί όπως τα στρείδια, οι καραβίδες και οι μύγες παρουσιάζουν εξοικείωση (habituation), ευαισθητοποίηση (sensitization), κλασική εξαρτημένη μάθηση (classical conditioning) και συντελεστική εξαρτημένη μάθηση (operant conditioning). Τόσο η βραχυπρόθεσμη όσο και η μακροπρόθεσμη μνήμη αυτών των οργανισμών μπορούν να καταδειχθούν και να αποτελέσουν τη βάση για τη συγκρότηση υποδειγμάτων για την κατανόηση της μοριακής βάσης της μάθησης και της σχετικής μνήμης. Παρόλο που κανείς δεν ελπίζει στην ανακάλυψη *ενός και μόνου καθολικού* μηχανισμού μάθησης που να ισχύει για όλους τους οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, είναι διάχυτη η αίσθηση ότι οι βασικοί μηχανισμοί εμφανίζουν ορισμένες θεμελιώδεις σχέσεις μεταξύ τους, όπως εύλογες σχέσεις ισχυρής αναλογίας.

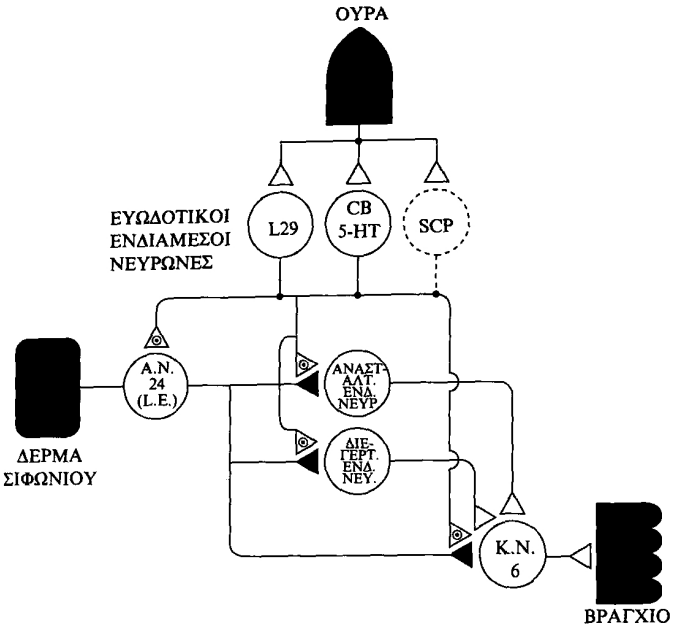


Σχήμα 8.3 Α και Β. Βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη ευαισθητοποίηση του αντανακλαστικού απόσυρσης στην Aplysia κατά τον Κάντελ κ.ά. (1987), κατόπιν αδείας. Το βέλος υποδεικνύει ένα μοναδικό ηλεκτρικό σοκ στην ουρά ή το λαιμό της Aplysia, που έχει ως αποτέλεσμα μία επαυξημένη απόκριση όπως δείχνουν οι κενοί κύκλοι στο σχεδιάγραμμα. Οι πλήρεις κύκλοι είναι έλεγχοι.

1. Ευαισθητοποίηση και βραχυπρόθεσμη μνήμη. Η ευαισθητοποίηση είναι μια απλή μορφή μη-συνδυαστικής (nonassociative) μάθησης κατά την οποία ένας οργανισμός όπως η *Aplysia* μαθαίνει να αποκρίνεται σε ένα κατά κανόνα ενοχλητικό ερέθισμα (π.χ. την εκτόξευση ενός πίδακα νερού) διά της ενίσχυσης των αμυντικών αντανακλαστικών του απέναντι σε ένα μέχρι τότε ουδέτερο ερέθισμα. Ο Κάντελ, ο Σβαρτς και οι συνεργάτες τους μελέτησαν σε βάθος ένα πολύ γνωστό αμυντικό αντανακλαστικό της *Aplysia* που ονομάζεται *αντανακλαστικό βραγχιο-σιφωνικής απόσυρσης* (gill-siphon withdrawal reflex). Όταν το σιφώνιο ή το κέλυφος του μανδύα της *Aplysia* ερεθισθεί από ένα ελαφρό άγγιγμα, το σιφώνιο, το κέλυφος του μανδύα και τα βράγχια αντιδρούν ζωηρά και αποσύρονται μέσα στη μανδυακή κοιλότητα (βλ. το Σχήμα 8.2 για αυτές τις δομές). Η βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη ευαισθητοποίηση που υπάρχουν στο αντανακλαστικό απόσυρσης εκτίθεται στα Σχήματα 8. 3Α και 8.3Β (από Kandel κ.ά 1987).

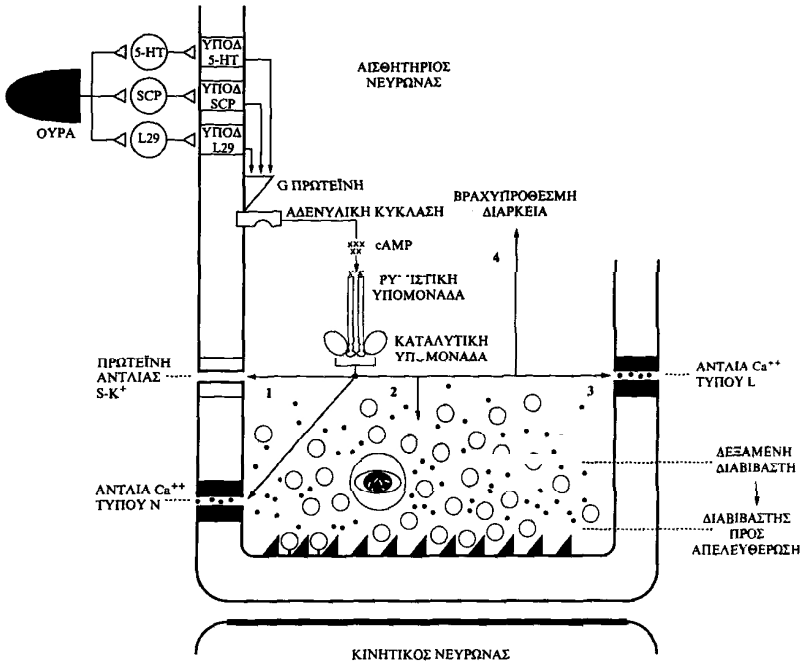
Τα νευρικά μονοπάτια που διαμεσολαβούν αυτό το αντανακλαστικό είναι γνωστά, και ένα απλοποιημένο «ηλεκτρικό» διάγραμμα της συνιστώσας του που αφορά τα βράγχια εκτίθεται στο Σχήμα 8.4. Το ευαισθητοποιούν ερέθισμα που εφαρμόζεται στο αισθητήριο όργανο υποδοχής (στην περίπτωσή μας στο κεφάλι ή την ουρά) ενεργοποιεί *ευοδωτικούς* ενδιάμεσους νευρώνες (facilitatory interneurons), οι οποίοι, με τη σειρά τους, ενεργούν επί των κυττάρων που έπονται, στα πλαίσια των αισθητήριων νευρώνων, έτσι ώστε να αυξάνουν την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών (neurotransmitter). Υπάρχουν τρεις τύποι κυττάρων που προφανώς χρησιμοποιούν διαφορετικούς νευροδιαβιβαστές. Έχουν ταυτιστεί οι διαβιβαστές που σχετίζονται με δύο από αυτούς τους τύπους κυττάρων: πρόκειται για τη σεροτονίνη [serotonin] δηλαδή 5-HT (5-υδροξυτρυπταμίνη) και δύο μικρά αμοιβαίως σχετιζόμενα πεπτίδια που είναι γνωστά ως SCP_A και SCP_B. Αυτό ήδη συνιστά μερική εξήγηση της ευαισθητοποίησης στο κυτταρικό επίπεδο· ωστόσο, ο Κάντελ και οι συνεργάτες του επεξέτειναν την έρευνα σε ένα ακόμα βαθύτερο επίπεδο, αυτό των μοριακών μηχανισμών που έχουν ανάμειξη στο εν λόγω φαινόμενο.

Στην περίπτωση της βραχυπρόθεσμης ευαισθητοποίησης, όλοι οι νευροδιαβιβαστές εμφανίζουν έναν κοινό τρόπο δράσης: κάθε ένας ενεργοποιεί ένα ένζυμο που λέγεται αδενυλική κυκλάση (adenylate cyclase), το οποίο αυξάνει την ποσότητα κυκλικού AMP (δηλαδή του αδενοσινο-μονοφωσφορικού οξέως) –μιας ουσίας που είναι γνωστή ως δεύτερος αγγελιοφόρος (second messenger)– στα αισθητήρια νευρικά κύτταρα. Το κυκλικό AMP στη συνέχεια ενεργοποιεί (ή επαυξάνει) τη δράση ενός άλλου ενζύμου, μιας πρωτεϊνικής κυκλάσης, η οποία τροποποιεί μια «*οικογένεια* πρωτεϊνών του υποστρώματος, έτσι ώστε να ξεκινήσει ένα ευρύ κυτταρικό πρόγραμμα που καταλήγει σε βραχυπρόθεσμη συναπτική πλαστικότητα» (Kandel κ.ά. 1987, 118). Το πρόγραμμα περιλαμβάνει τη δράση μιας κινάσης η οποία φωσφορυλιώνει (δηλαδή προσθέτει μία φωσφορική ομάδα) σε μια πρωτεΐνη αντλίας καλίου K+ (K+ channel protein), κλείνοντας μια ομάδα αντλιών K+ που υπό κανονικές συνθήκες θα αποκαθιστούσαν ή θα



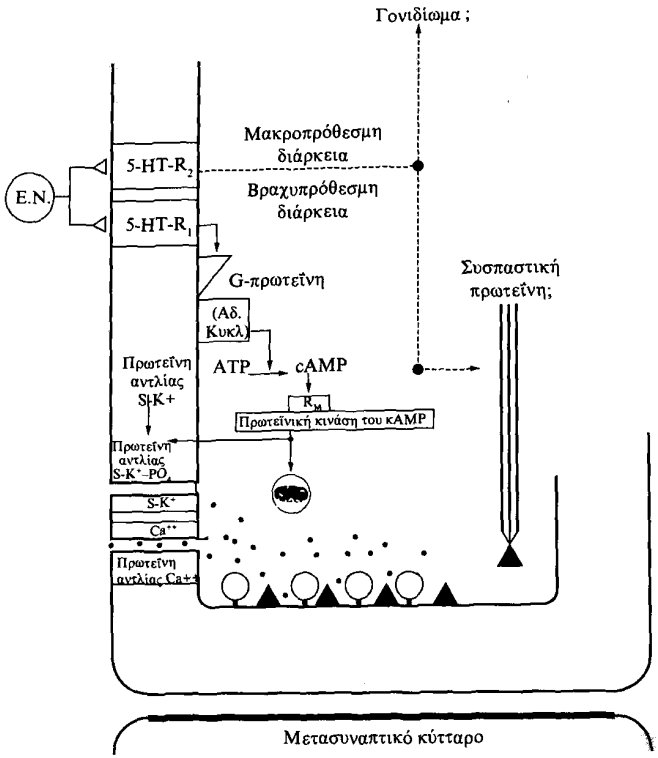
Σχήμα 8.4 Απλοποιημένο διάγραμμα της συνιστώσας του αντανακλαστικού απόσυρσης στην Aplysia που αφορά το βράγχιο, σύμφωνα με τους Καντέλ κ.ά. 1987, σ. 117 κατόπιν αδείας. Οι 24 νευρώνες του μηχανικου υποδοχέα διαβιβάζουν την πληροφορία από το δέρμα του σιφωνίου στους ανασταλτικούς και διεγερτικούς ενδιάμεσους νευρώνες, όπως και στους κινητικούς νευρώνες του βραγχίου (Κ.Ν.). Τυχόν ερεθισμός της ουράς ή του λαιμού διεγείρει κάποιους από τους ευοδωτικούς ενδιάμεσους νευρώνες, επαυξάνοντας την ισχύ του σήματος μεταξύ των αισθητήριων νευρώνων και των κυττάρων που αυτοί ερεθίζουν. Οι ευοδωτικοί ενδιάμεσοι νευρώνες χρησιμοποιούν τρεις διαφορετικούς τύπους νευροδιαβιβαστών, δύο από τους οποίους έχουν προσδιορισθεί όπως φαίνεται στο σχήμα. Α.Ν. είναι αισθητήριοι νευρώνες.

επαναπόλωναν το δυναμικό δράσης του νευρώνα στο αρχικό επίπεδο. Το κλείσιμο αυτών των αντλιών επαυξάνει τη διεγερσιμότητα του νευρώνα και παρατείνει το δυναμικό δράσης του, πράγμα που επιτρέπει σε περισσότερα ιόντα Ca++ να περάσουν στις απολήξεις και να αυξήσουν την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστή. (Είναι δυνατό να υπάρχει και άλλη συνιστώσα αυτού του μηχανισμού η οποία να περιλαμβάνει την κίνηση μίας κινάσης C προς τη μεμβράνη του νευρώνα, όπου ενδεχομένως επαυξάνει την κινητικότητα και συντηρεί την έκκριση του νευροδιαβιβαστή). Το διάγραμα στο Σχήμα 8.5 καθιστά σαφέστερη αυτήν την ακολουθία αιτιακώς συνδεδεμένων συμβάντων.



Σχήμα 8.5 Ο βιοχημικός μηχανισμός της βραχυπρόθεσμης ευαισθητοποίησης στην Aplysia, από τους Κάντελ κ.ά. (1987), σ. 119· κατόπιν αδείας.

2. Μακροπρόθεσμη μνήμη στην Aplysia. Ενας παρόμοιος τύπος εξήγησης μπορεί να δοθεί και για τη μακροπρόθεσμη μνήμη που συμμετέχει στην ευαισθητοποίηση. Χωρίς να υπεισέλθουμε σε λεπτομέρειες, ας επισημάνουμε ότι ο καλύτερος τρόπος να περιγράψει κανείς τον σχετικό μηχανισμό είναι με τη βοήθεια των σημαντικών *αναλογιών* που εμφανίζει με αυτόν της βραχυπρόθεσμης μνήμης. Αρκεί να πούμε ότι ο μακροπρόθεσμος μηχανισμός είναι κάπως πιο πολύπλοκος, παρόλο που παρουσιάζει κοινά σημεία με τον βραχυπρόθεσμο μηχανισμό, όπως την αλυσίδα αδενυλική κυκλάση-κυκλικό AMP-πρωτεϊνική κινάση. Στο βαθμό που η μακροπρόθεσμη μνήμη είναι συνδεδεμένη με πρωτεϊνική σύνθεση, χρειάζεται να επικαλεσθούμε εδώ επιπρόσθετους διαφορετικούς μηχανισμούς που σχεδόν σίγουρα προϋποθέτουν την ενεργοποίηση νέων γονιδίων. Το Σχήμα 8.6 μας δίνει τουλάχιστον δύο δυνατές γενικές εικόνες αυτού του περισσότερου σύνθετου –και προς το παρόν περισσότερο εικοτολογικού– μηχανισμού.



Σχήμα 8.6 Υποθετικός βιοχημικός μηχανισμός της μακροπρόθεσμης ευαισθητοποίησης στην Aplysia, σύμφωνα με τους Κάντελ κ.ά. (1987), σ. 126· κατόπιν αδείας.

Επιπρόσθετη συνθετότητα και παράλληλη επεξεργασία στην Aplysia. Η περιγραφή του έργου του Κάντελ και των συνεργατών του που προηγήθηκε ήταν επικεντρωμένη σε μία προσέγγιση η οποία «είχε το πλεονέκτημα να επιτρέπει μία σχετικά λεπτομερή ανάλυση των κυτταρικών και μοριακών μηχανισμών που υποβαστάζουν μία σημαντική συνιστώσα τόσο της βραχυπρόθεσμης όσο και της μακροπρόθεσμης μνήμης που συμμετέχουν στην ευαισθητοποίηση» (Frost κ.ά. 1988, 298). Όπως όμως σημειώνουν οι ίδιοι συγγραφείς σε μία πιο πρόσφατη ανάλυσή τους, «η αντίδραση διά της απόσυρσης του σιφώνιου φανερώνει μία σύνθετη χορογραφία με πολλές διαφορετικές συνιστώ-

σες...». Επιπλέον έρευνες, τόσο επί της συνιστώσας του εν λόγω αντανακλαστικού που έχει να κάνει με το βράγχιο, όσο και της αντίστοιχης του σιφωνίου, υπέδειξαν ότι η μνήμη στα πλαίσια της ευαισθητοποίησης στην *Aplysia* –αλλά και σε άλλους οργανισμούς– φαίνεται να ενέχει «παράλληλη επεξεργασία», μία έκφραση «παρόμοια» με την «άποψη που ονομάζεται "παράλληλα κατανεμημένη επεξεργασία", η οποία έχει προκύψει στα πλαίσια θεωρητικών ερευνών στην τεχνητή νοημοσύνη και τη γνωσιακή ψυχολογία και βασίζεται στην ιδέα ότι κοινές υπολογιστικές διαδικασίες λαμβάνουν χώρα κατ' επανάληψη σε πολλές θέσεις στο εσωτερικό ενός δικτύου....» (Frost κ.ά. 1988, 297-298).

Στο παρόν κεφάλαιο δεν θα έχουμε την ευκαιρία να εξετάσουμε τις σύνθετες αλληλεπιδράσεις που ο Κάντελ και οι συνεργάτες του ανακάλυψαν ακόμα και σε αυτήν τη σχετικά απλή μορφή της βραχυπρόθεσμης μνήμης. Αρκεί να πούμε ότι ανάμεσα στα ευρήματά τους συμπεριλαμβάνονται και τέσσερις τουλάχιστον θέσεις κυκλώματος, κάθε μία από τις οποίες ενέχει έναν διαφορετικό τύπο νευρωνικής πλαστικότητας, όπως δείχνει το Σχήμα 8.7.: (1) προσυναπτική ευόδωση (presynaptic facilitation) των συνδέσεων του κεντρικού αισθητηριακού νευρώνα, όπως έχει περιγραφεί προηγουμένως στην παρούσα παράγραφο· (2) προσυναπτική αναστολή (presynaptic inhibition) επιτελούμενη από L30 επί ενδιάμεσων νευρώνων του κυκλώματος στους οποίους συμπεριλαμβάνεται L29, όπως δείχνει το σχήμα· (3) μετατετανική ενδυνάμωση (posttetanic potentiation) (PTP) των συνάψεων επιτελούμενη από L29 επί των κινητήριων νευρώνων του σιφώνιου και (4) αυξήσεις στο ρυθμό τονικής πυροδότησης (tonic firing rate) των LFS κινητικών νευρώνων, που οδηγούν σε νευρομυϊκή ευόδωση (neuromuscular facilitation) (Frost κ.ά. 1988, 299).

Παρόλο που οι Φροστ κ.ά. (1988) είχαν προβλέψει αυτήν την πολυπλοκότητα, ανακάλυψαν με έκπληξη ότι, ενώ η PTP που βρέθηκε στο L29 ήταν μία ομοσυναπτική (homosynaptic) διαδικασία, οι άλλες τρεις συνιστώσες μοιάζουν να ρυθμίζονται συντονισμένα από έναν κοινό ρυθμιστικό διαβιβαστή, τη σεροτονίνη, και ότι ο κοινός δεύτερος-αγγελιοφόρος, το κυκλικό AMP, έχει ανάμειξη σε κάθε μία από αυτές (σ. 323-324). Ωστόσο, δεν μπορούν να αποκλειστούν κατηγορηματικά επιπρόσθετοι ρυθμιστικοί διαβιβαστές και άλλοι δεύτεροι αγγελιοφόροι (βλ. 1988, 299).

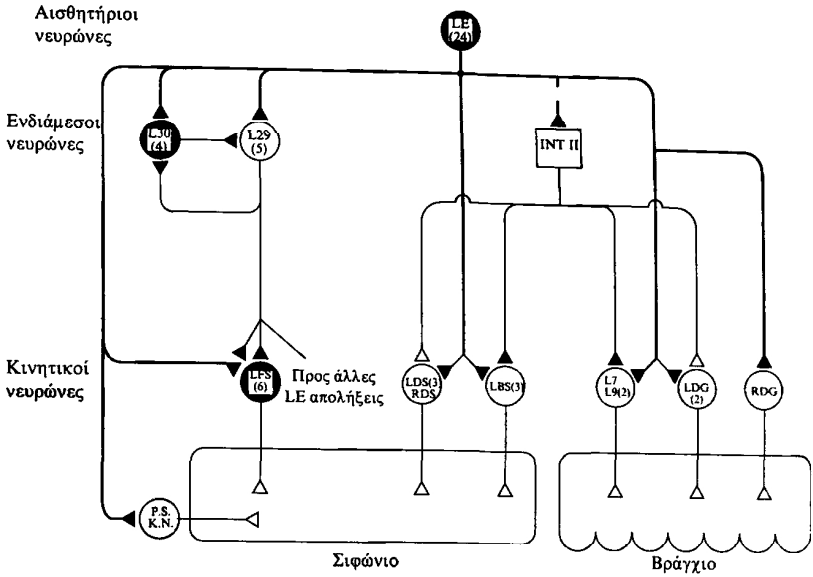
Σε άλλη πρόσφατη εργασία του, ο Κάντελ πράγματι αναφέρει ότι ερεθίσματα της ουράς στην *Aplysia* μπορούν να οδηγήσουν σε παροδική αναστολή (σε συνδυασμό με την κυρίαρχη ευόδωση). Έρευνες επί αυτής της ανασταλτικής συνιστώσας υποδεικνύουν ότι ο σχετικός

μηχανισμός εδώ είναι προσυναπτική αναστολή στην οποία νευροδιαβιβαστής είναι το πεπτίδιο FMRF αμίδιο (FMRFamide) και «δεύτερος αγγελιοφόρος» δεν είναι το κυκλικό AMP· η αναστολή επιτυγχάνεται αντίθετα μέσω ενός μονοπατιού λιποξυγενάσης του αραχιδονικού οξέος (lipoxygenase pathway of the arachidonic acid). Αυτός ο «αναπάντεχος πλούτος», όπως χαρακτήρισε ο Κάντελ την ύπαρξη δύο εξισορροπημένων μονοπατιών, συνιστά επιπλέον στοιχείο για τις φιλοσοφικές συζητήσεις που θα ακολουθήσουν.

8.8 ΣΥΝΕΠΑΓΩΓΕΣ ΑΥΤΟΥ ΤΟΥ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΗΝ ΑΝΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΝΕΥΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

Υπάρχουν πολλά σημεία που αξίζει να συζητηθούν στην προσέγγιση που παραθέσαμε στην παράγραφο 8.7, μία προσέγγιση που συνιστά μοριακή εξήγηση ενός συμπεριφορικού και, κατά μία έννοια, «ψυχολογικού», εξηγητέου. Θα συζητήσουμε, κατ' αρχάς, το μοντέλο ΓΑΑ υπό το φως του ειδικού παραδείγματος της Aplysia, και στην επόμενη παράγραφο θα διερευνήσουμε ορισμένα γενικότερα ζητήματα που αφορούν το μοντέλο ΓΑΑ και οδηγούν τελικά σε *δύο* μορφές αυτής της άποψης: μία (σχετικά) *απλή* και μία άλλη *μερικότερη* αλλά και περισσότερο *πολύπλοκη*.

Όταν εξετάζουμε το παράδειγμα της ευαισθητοποίησης στην *Aplysia*, δεν βρίσκουμε τίποτα που να μοιάζει πραγματικά με τους «νόμους» που συναντάμε στις εξηγήσεις της φυσικής. Οι γενικεύσεις που μπορούμε να συναγάγουμε από αυτήν την πραγμάτευση είναι ποικίλου βαθμού γενικότητας –παραδείγματος χάριν, «τα ένζυμα της πρωτεϊνικής κινάσης ενεργούν φωσφορυλιώνοντας μόρια» ή «το κυκλικό AMP είναι ένας (δεύτερος) αγγελιοφόρος»– και κατά κανόνα είναι εμμέσως διατυπωμένες. Τέτοιες γενικεύσεις, ωστόσο, διατυπώνονται ρητά στα εισαγωγικά κεφάλαια των κειμένων της νευροεπιστήμης. Συνήθως υπάρχουν και γενικεύσεις σχετικά περιορισμένου εύρους, όπως αυτή που αφορά τα «δύο εξισορροπημένα μονοπάτια» που συναντάμε στο πολύ πρόσφατο έργο του Κάντελ. Επιπλέον, αυτές οι γενικεύσεις κατά κανόνα συνιστούν δάνεια από σύνολα μοντέλων πολύ μεγαλύτερης εμβέλειας (όπως μοντέλα πρωτεϊνικής σύνθεσης, βιοχημικά μοντέλα και μοντέλα νευροδιαβιβαστών). Στην περίπτωση της βιολογίας, το σύνολο αυτό είναι τόσο ευρύ ώστε να ωθήσει το 1985 την επιτροπή Μόροβιτς να επικαλεστεί την έννοια μιας αμφιπολυσήμαντης υποδειγματοποίησης με τη μορφή μιας σύνθετης βιοϊατρικής «μήτρας». Αλλά ακόμα και όταν τέτοιου είδους γενικεύσεις, μικρού ή μεγαλύτερου εύρους διατυπώνονται ρητά, για να συνιστούν πράγματι εξηγήσεις οφείλουν να συμπληρώνονται από λεπτομέρειες που αφορούν εξειδικευμένες διασυνδέσεις στα πλαίσια του συστήματος, όπως η δέσμευση του τρίπτυχου υποδοχέα L 29-SCP-5HT στην G-πρωτεΐνη – η οποία



Σχήμα 8.7 Παράλληλη επεξεργασία στο βραγχιακό και σιφωνικό κύκλωμα του αντανακλαστικού απόσυρσης, όπου φαίνονται οι τόποι που έχουν βρεθεί να τροποποιούνται από ευαισθητοποιούντα ερεθίσματα (σκιασμένες δομές). Από το Frost, W.N., Clark, G.A. and Kandel, E.R. (1988), «Parallel Processing of Short-term Memory for Sensitization in Aplysia», στο *Journal of Neurobiology* 19:297-334. Copyright 1988 John Wiley & Sons, Inc. Ανατύπωση κατόπιν αδείας της John Wiley & Sons, Inc. Λεπτομέρειες στο κείμενο εντός πλαισίου της παραγράφου 8.7.

απεικονίζεται στο Σχήμα 8.5. Μήπως αυτές οι διασυνδέσεις παίζουν ένα ρόλο ανάλογο μ' αυτόν των «αρχικών συνθηκών» της παραδοσιακής φιλοσοφίας της επιστήμης; Δεν φαίνεται να είναι έτσι, στο βαθμό που δεν έχουμε εδώ ένα σύνολο ισχυρών γενικεύσεων, όπως οι νόμοι του Νεύτωνα για την κίνηση, στους οποίους θα μπορούσαμε να προσθέσουμε δευτερεύουσες λεπτομέρειες σχετικά με τη συνάρτηση της δύναμης, την αρχική θέση και την ορμή, ώστε να συναγάγουμε εξηγήσεις για ένα μεγάλο εύρος πεδίων. Οι γενικεύσεις που μπορούμε να σταχυολογήσουμε από τέτοιου τύπου μοριακούς μηχανισμούς έχουν μεταβλητό εύρος, και κατά κανόνα πρέπει να μετασχηματίζονται σε *ανάλογους* μηχανισμούς όταν περνάμε σε άλλο οργανισμό ή διαφορετική συμπεριφορά. Η σύντομη έκθεση των σχέσεων μεταξύ των βραχυπρόθεσμων και των μακροπρόθεσμων μηχανισμών ευαισθητοποίησης που παραθέσαμε όσον αφορά την *Aplysia* συνιστά ένα

παράδειγμα επ' αυτού, όπως επίσης και η επιπλέον συνθετότητα που σχετίζεται με την «παράλληλη επεξεργασία» στα πλαίσια της βραχυπρόθεσμης ευαισθητοποίησης, την οποία συναντήσαμε στις πιο πρόσφατες μελέτες επί του θέματος.

Απ' ό,τι φαίνεται, έχουμε να κάνουμε με περίπλοκα εξηγητικά *συστήματα* τα οποία χρησιμοποιούν **αιτιακές γενικεύσεις**, τόσο μεγάλου όσο και μικρότερου σχετικά εύρους, οι οποίες κατά κανόνα *δεν* διατυπώνονται με καθαρά βιοχημικούς όρους αλλά είναι, κατά χαρακτηριστικό τρόπο, *πολυεπίπεδες*. Οι *εξηγήσεις* που παρέχουν αυτά τα συστήματα στηρίζονται συχνά σε χρονικές (και πολλές φορές αιτιακές) ακολουθίες που συμπεριλαμβάνονται στα συναφή μοντέλα (βλ. Schaffner 1980, 1986, και υπό έκδοση).

Μια τέτοια αντίληψη του εξηγούντος συστήματος ως συνδυασμού γενικεύσεων μεγάλου και μικρού εύρους, που μπορεί να αφορούν μια σειρά διαφορετικών επιπέδων συνάθροισης, συνεπάγεται ότι η *αναγωγή θεωριών* δεν έχει να κάνει μόνο με γενικές συνοψιστικές αποφάνσεις για τη συμπεριφορά οντοτήτων, αποφάνσεις για τις οποίες μπορούμε να πούμε ότι λειτουργούν στο λεγόμενο «γ (πολύ γενικό) επίπεδο αξιωματοποίησης θεωριών» (στην περίπτωσή μας, ο γενικός ορισμός της μάθησης μέσω ευαισθητοποίησης), αλλά χρειάζεται να λάβει επίσης υπ' όψιν της και τη σημασία των λεπτότερα δομημένων στοιχείων μιας θεωρίας – παραδείγματος χάριν, το κυτταρολογικό ή αυτό που ονομάζουμε «σ-επίπεδο εξειδίκευσης.» (Αυτό το σ-επίπεδο εξειδίκευσης αντιπροσωπεύει έναν δυνατό τρόπο *πραγμάτωσης* μιας αρχής του υψηλότερου επιπέδου γ.) Μπορούμε επίσης να εισαγάγουμε ένα ακόμα πιο λεπτά δομημένο επίπεδο σε σχέση με το σ, αυτό που αποκαλούμε «δ-επίπεδο», το οποίο μπορεί να αντιπροσωπεύει μοριακού επιπέδου λεπτομέρειες οι οποίες, με τη σειρά τους, συνιστούν πραγματώσεις μηχανισμών του σ-επιπέδου. Στην παράγραφο 8.9 θα εξετάσουμε και πάλι τις επιπτώσεις αυτών των επιπέδων εξειδίκευσης όσον αφορά την αναγωγή. Το σύστημα αυτών των επιπέδων εξειδίκευσης ή πραγματώσεων (γ, σ, και δ) αντιστοιχεί σε γενικές γραμμές στο επίπεδο της γενικής διαδικασίας, από τη μία μεριά, και των συγκεκριμενοποιήσεών της στο κυτταρικό και μοριακό επίπεδο, από την άλλη. Ωστόσο αποσκοπεί περισσότερο στη σύλληψη του επιπέδου *γενικότητας* παρά του επιπέδου συνάθροισης (παρόλο που εμπειρικά *μπορεί* να στοχεύει και στα δύο ταυτοχρόνως.) Για τη χρησιμότητα της θεώρησης τέτοιων επιπέδων ως τμημάτων «διευρυμένων θεωριών» για την ερμηνεία των επιστημονικών αλλαγών, βλ. Schaffner (υπό έκδοση, Κεφάλαιο 5).

Οι νευροεπιστήμες φαίνεται πως αποτελούν παραδείγματα τέτοιων πολυεπίπεδων συστημάτων που χρησιμοποιούν αιτακές γενικεύσεις, τόσο μεγάλου όσο και μικρότερου εύρους. Επιπλέον, στο βαθμό που ένα συμπεριφορικό φαινόμενο όπως η ευαισθητοποίηση εξηγείται με μοριακούς όρους, το εν λόγω φαινόμενο μεταγράφεται σε ένα νευρολογικό λεξιλόγιο. Η ευαισθητοποίηση παύει να είναι απλώς το φαινόμενο που απεικονίσθηκε προηγουμένως στο Σχήμα 8.3, αλλά *επανερμηνεύεται ως* μία έκφανση νευρονικής διέγερσης και αυξημένης απελευθέρωσης νευροδιαβιβαστή, με άλλα λόγια ως *επαυξημένη συναπτική διαβίβαση*. Συ-

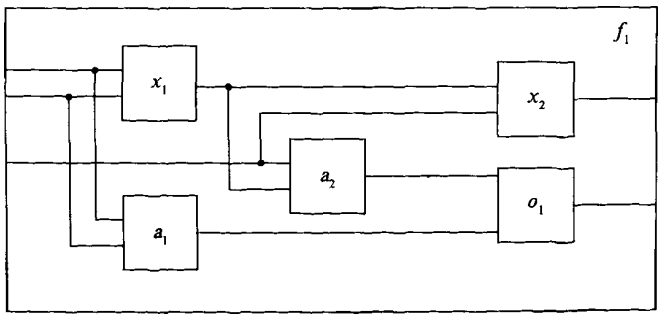
ναντάμε έτσι κάτι που μοιάζει με τη συνθήκη συνδεσιμότητας του Νάγκελ. Το ερώτημα είναι αν αυτή η εξήγηση συνιστά επίσης και εξήγηση διά παραγωγής από μία θεωρία. Και εδώ η απάντηση μπορεί να είναι θετική, αλλά αυτή τη φορά με κάποιες σημαντικές διαφορές. Όπως επισημάναμε προηγουμένως, δεν διαθέτουμε ένα πολύ γενικό σύνολο προτάσεων (τους νόμους) που θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως προκείμενες έτσι ώστε να παραγάγουμε το ζητούμενο συμπέρασμα. Αυτό που διαθέτουμε είναι μάλλον ένα σύνολο αιτιακών προτάσεων διαφόρων βαθμών γενικότητας, πολλές από τις οποίες προσιδιάζουν στο υπό εξέταση σύστημα. Σε κάποιο μακρινό μέλλον μπορεί όλες αυτές οι αιτιακές προτάσεις μικρού εύρους, όπως η πρόταση «αυτή η φωσφορυλίωση κλείνει μία τάξη αντλιών K+ που υπό κανονικές συνθήκες επαναπολώνουν το δυναμικό δράσης» (Kandel κ.ά. 1987, 120-121), να μπορούν να εξηγηθούν με τη βοήθεια γενικών νόμων της χημείας πρωτεϊνών, αλλά προς το παρόν δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι δεν είμαστε σε θέση να συναγάγουμε πλήρως ούτε κάν την τριδιάστατη δομή πρωτεϊνών, όπως του ενζύμου κινάση ή των προαναφερθεισών αντλιών K+, βασιζόμενοι στην πλήρη γνώση των αμινοξέων που συγκροτούν αυτές τις πρωτεΐνες. Για θεμελιώδεις και μεγάλης γενικότητας αρχές θα πρέπει να περιμένουμε μια περισσότερο ανεπτυγμένη επιστήμη από αυτήν που θα διαθέτουμε για αρκετό καιρό ακόμα. Μέχρι τότε τα «εξηγούντα», οι εξηγούσες γενικεύσεις στα πλαίσια τέτοιων προσεγγίσεων, θα είναι σύνθετα πλέγματα πολυεπίπεδων αιτιακών γενικεύσεων ποικίλου εύρους, και θα εκφράζονται κατά κανόνα με τη βοήθεια εξιδανικευμένων συστημάτων, όπως αυτό που απεικονίζεται στο Σχήμα 8.5, συμπληρωμένων με κάποιο κείμενο που θα διευκρινίζει τη φύση της αιτιακής ακολουθίας που διέπει το σύστημα.

Πρόκειται λοιπόν για ένα είδος **μοντέλου μερικής αναγωγής, έμμεσων εν πολλοίς γενικεύσεων,** συχνά μικρού εύρους, οι οποίες είναι σε θέση να παρακολουθούν τη χρονική ακολουθία της αιτιακής διάδοσης των συμβάντων στα πλαίσια του μοντέλου. Δεν πρόκειται για μια μονοεπίπεδη αναγωγή, δηλαδή για μια αναγωγή στη βιοχημεία· αντιθέτως, *είναι* χαρακτηριστική περίπτωση αυτού που ονομάζεται *μοριακή βιολογική εξήγηση*. Το μοντέλο που επιτελεί την «αναγωγή» είναι κατά κανόνα πολυεπίπεδο, συνδυάζοντας διαφορετικά επίπεδα συνάθροισης, από το κυτταρικό στο οργανικό και ξανά πίσω στο μοριακό. Το μοντέλο αυτό μπορεί με τη σειρά του να ενσωματωθεί σε κάποιο άλλο μοντέλο, όπως ακριβώς το βιοχημικό μοντέλο ενσωματώνεται ή εκλαμβάνεται ως λεπτομερέστερη επέκταση του μοντέλου των νευρικών κυκλωμάτων που εξηγεί το βραγχιο-σιφωνικό αντανακλαστικό. Είναι πιθανόν επίσης το μοντέλο ή τα μοντέλα να μην ευσταθούν για κάθε πτυχή του εν λόγω οργανισμού ή για κάποιον άλλο οργανισμό: μπορεί να έχουν περιορισμένο εύρος εφαρμογής, σε αντίθεση με ό,τι κατά τυπικό τρόπο συναντάμε στις φυσικές θεωρίες.

Ο Γουίμσατ, στα πλαίσια προσωπικής επικοινωνίας που είχα προσφάτως μαζί του κατά την οποία συζητήσαμε τις θέσεις που αναπτύσσονται στο παρόν δοκίμιο, με ρώτησε τι μας εμποδίζει να αποδώσουμε αυτήν την αναγωγή σε «μηχα-

νισμούς», με την έννοια που ο ίδιος αποδίδει στον όρο (Wimsatt 1976), και να εγκαταλείψουμε την περισσότερο συντακτική απόπειρα να προσεγγίσουμε το ζήτημα με όρους «γενικεύσεων». Παρόλο που βρίσκω γόνιμη την υπόδειξη (αλλά και τη θέση) του Γουίμσατ, πιστεύω ότι ο όρος «μηχανισμός» χρειάζεται περισσότερη ανάλυση. Επιπλέον, απ' ό,τι φαίνεται, τέτοιες «γενικεύσεις» ποικίλου εύρους πράγματι υπάρχουν (και, όπως θα υποστηρίξω, *πρέπει* να υπάρχουν) στα πλαίσια «μοριακών βιολογικών εξηγήσεων», όπου και αποτελούν πολυεπίπεδα και προσωρινά υποκατάστατα μιας μονοεπίπεδης αναγωγής· είναι σημαντικό, λοιπόν, να κατανοήσουμε το μεταβλητό εύρος αυτών των γενικεύσεων καθώς και τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να εφαρμοσθούν «κατ' αναλογίαν» στα πλαίσια των διάφορων βιολογικών οργανισμών. Αυτή η αντίληψη συνδέεται άμεσα με το ζήτημα που αναφέρθηκε νωρίτερα σχετικά με τη «δομή των θεωριών» των βιοϊατρικών επιστημών (βλ. επίσης Morowitz's National Academy of Science Report, Committee on Models for Biological Research 1985 και Schaffner 1987). Αυτό ωστόσο δεν σημαίνει ότι δεν μπορούμε να *αποδώσουμε* παραγωγική μορφή στη *λογική* της σχέσης μεταξύ εξηγούντος και εξηγητέου. Αν αυτό δεν γίνεται, είναι γιατί κατά κανόνα η τυποποίηση που απαιτείται εν προκειμένω δεν αξίζει τον κόπο, παρόλο που ορισμένα αρκετά σύνθετα κυκλώματα μηχανικής φύσης, όπως ο πλήρης αθροιστής (full adder) που απεικονίζεται στο Σχήμα 8.8 και περιγράφεται στο επόμενο κείμενο εντός πλαισίου, μπορούν πράγματι να αναπαρασταθούν με τη βοήθεια κατηγορικού λογισμού πρώτης τάξης καθώς και εύστοχων λογικών παραγωγών στη βάση ορισμένων προκείμενων, οι οποίες στο παράδειγμα του αθροιστή είναι γύρω στις 30.

Η εικόνα αναγωγής που προκύπτει κάθε φορά που εξετάζουμε λεπτομερώς τη μοριακή βιολογία όπως εξασκείται στην πράξη, δεν είναι ιδιαίτερα κομψή.



Σχήμα 8.8 Ένα διάγραμμα κυκλώματος του πλήρους αθροιστή (full adder) που περιγράφεται στο κείμενο εντός πλαισίου, σύμφωνα με το © 1987 Morgan Kaufmann publishers. Ανατύπωση κατόπιν αδείας από το Geneserth and Nilsson, «Logical Foundations of Artificial Intelligence.»

Μπορεί κανείς να αποκομίσει μια επαρκή γενική εντύπωση του τρόπου με τον οποίο επιτελείται η αναγωγή στην πράξη διαβάζοντας κείμενα όπως η επανέκδοση από τον ίδιο τον Γουάτσον και τους συνεργάτες του (Watson et al. 1987) του κλασικού του βιβλίου *Μοριακή βιολογία του γονιδίου (Molecular Biology of the Gene)* ή το πρόσφατο βιβλίο του Λιούιν (Lewin) *Γονίδια-IV* (*Genes-IV*, 1990). Μια εναλλακτική παρόμοια γενική εντύπωση μπορεί να βρει κανείς στους χάρτες ενδιάμεσου μεταβολισμού που κρέμονται στους τοίχους των διάφορων εργαστηρίων, όπου απεικονίζονται κύκλοι σύνθετων αντιδράσεων οι οποίοι τροφοδοτούν άλλους κύκλους ή μονοπάτια επίσης σύνθετων αντιδράσεων (Bechtel 1986). Το υλικό που βρίσκει κανείς στα κεφάλαια των βιβλίων των Γουάτσον κ.ά. (1987), του Λιούιν (1990), καθώς και στους χάρτες ενδιάμεσου μεταβολισμού, αντιστοιχεί στις εξηγούσες θεωρίες της μοριακής βιολογίας και της βιοχημείας και τις αντίστοιχες αρχικές συνθήκες. Δυστυχώς, όπως έχουμε ήδη πει, δεν έχουμε τη δυνατότητα να εξαγάγουμε έναν μικρό πυρήνα γενικών νόμων οι οποίοι, με την προσθήκη ενός καταλόγου αρχικών συνθηκών, να μπορούν να χρησιμεύσουν στη συναγωγή εξηγήσεων.

Η εξαιρετική συνθετότητα που συναντάμε στη μοριακή βιολογία έχει δημιουργήσει κάποια απαισιοδοξία όσον αφορά την αναγωγή θεωριών, π.χ. την αναγωγή της μεντελικής γενετικής στη μοριακή γενετική (Hull 1974, Kitcher 1984, Rosenberg 1985), παρόλο που τόσο ο Κίτσερ (1989) όσο και ο Ρόζενμπεργκ (1985) αναγνωρίζουν ότι διαφορετικές μορφές αναπαράστασης της γνώσης μπορεί να ανακουφίσουν αυτήν την απαισιοδοξία. Ο Ρόζενμπεργκ γράφει, συγκεκριμένα, ότι «το "δεν μπορεί να γίνει" [όσον αφορά την επίτευξη μιας κανονικότητας στη γενετική της μεταβίβασης] δεν είναι λογικής φύσης· έχει να κάνει με τα όρια των δυνατοτήτων μας στην έκφραση και το χειρισμό συμβόλων....» (1985, 106). Η λύση που προτείνει ο Κίτσερ είναι η λεπτομερής ανάπτυξη της έννοιας της «πρακτικής», έτσι ώστε να μπορέσουμε να δούμε με ποιο τρόπο τα επιστημονικά ερευνητικά προγράμματα καταφέρνουν να επιτελέσουν μοριακές εξηγήσεις («αναγωγές») (Kitcher 1989). Η προσέγγιση του Ρόζενμπεργκ είναι ίσως περισσότερο ευαίσθητη απέναντι στη συνθετότητα των μοριακών εξηγήσεων απ' ό,τι του Κίτσερ, ωστόσο η λύση που προτείνει, η οποία επικαλείται την έννοια της «επιγένεσης» (supervenience) (1985, 111-117), μοιάζει να αποφεύγει το πραγματικό ζήτημα της αναπαράστασης και της προέλευσης της γνώσης (βλ. Hull 1981, 135).

8.9. Η ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΑΙΤΙΑΚΟ-ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΝΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΑΑ· ΔΥΟ ΕΚΔΟΧΕΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΑΑ, ΜΙΑ ΑΠΛΗ ΚΑΙ ΜΙΑ ΣΥΝΘΕΤΗ.

Στην προηγούμενη παράγραφο η συζήτηση ήταν επικεντρωμένη στα διάφορα αιτιακά χαρακτηριστικά μιας αναγωγής (ή, τουλάχιστον, μίας μερικής αναγω-

Ο πλήρης αθροιστής που απεικονίζεται στο Σχήμα 8.8. είναι ένα κύκλωμα επεξεργασίας ακεραίων, και αποτελείται από πέντε υποσυστατικά που ονομάζονται «πύλες». Υπάρχουν δύο αποκλειστικές «ή» (xor) πύλες x_1 και x_2, δύο «και» πύλες a_1 και a_2, και μία μη αποκλειστική «ή» πύλη o_1. Υπάρχουν πόρτες εισόδου στην αριστερή πλευρά του κουτιού και πόρτες εξόδου στη δεξιά πλευρά, καθώς και πόρτες προς και από κάθε ένα από τα υποσυστατικά. Το γλωσσικό σύμπαν αποτελείται, λοιπόν, από 26 αντικείμενα: 6 συστατικά ή υποσυστατικά και 20 πόρτες.

Η δομή και η λειτουργία αυτού του κυκλώματος μπορεί να συλληφθεί με μία πρώτης τάξης κατηγορική λογική (ΠΤΛ) και ένα σύστημα απόδειξης θεωρημάτων που χρησιμοποιείται μαζί με τους λογικούς τύπους έτσι ώστε να παράγει απαντήσεις σε ερωτήματα σχετικά με τις λειτουργίες της συσκευής. Μια διεξοδική πραγμάτευση ξεπερνά τα όρια αυτού του κεφαλαίου (μπορεί ωστόσο να αναζητηθεί στο Genesereth και Nilsson (1987, 29-32· 78-84)). Θα δώσουμε μόνο μερικά από τα αξιώματα που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό αυτού του κυκλώματος σε ΠΤΛ. Από τη στιγμή που θα εισαχθεί το λεξιλόγιο, χρειάζονται περίπου 30 λογικές προτάσεις για την πλήρη περιγραφή.

Παραδείγματα λεξιλογίου: Xorg(x) σημαίνει ότι το **x** είναι μία *xor* πύλη· **I(i,x)** δηλώνει την **i**οστή (**1, 2** ή **3**) πόρτα εισόδου του υποσυστατικού **x**· **Conn (x,y)** σημαίνει ότι η πόρτα **x** είναι συνδεδεμένη με την πόρτα **y**· **V (x,z)** σημαίνει ότι η τιμή της πόρτας **x** είναι **z**· **1** και **0** δηλώνουν το ψηλό και το χαμηλό σήμα, αντιστοίχως.

Παραδείγματα συνδεσιμότητας και συμπεριφοράς συστατικών:

...

(7) Conn (I(1,F1), I(1,X1))

(8) Conn (I(2,F1), I(2,X1))

...

(26)$\forall x \forall n$ (Org(x) $\wedge$ V(I(n,x),1) $\Rightarrow$ V(O(1,x),1))

...

(30)$\forall x \forall y \forall z$ (Conn (x,y) $\wedge$ V(x,z) $\Rightarrow$ V(x,z))

(Όπως έχουμε σημειώσει, αυτές οι παραδοχές αντιπροσωπεύουν μόνο 4 από τις 30 που χρειάζονται).

γής). Σε αρκετά δε σημεία της αναφερθήκαμε στις σχέσεις της προσέγγισής μας με τις συνθήκες συνδεσιμότητας και δυνατότητας παραγωγής του Νάγκελ, οι οποίες εξακολουθούν να κατέχουν εξέχουσα θέση και στο μοντέλο ΓΑΑ, που εισαγάγαμε νωρίτερα σ' αυτό το κεφάλαιο. Στην παρούσα παράγραφο θα εξετάσουμε πιο συστηματικά αυτές τις σχέσεις.

Απ' ό,τι φαίνεται, η αντίληψη που στηρίζεται στο μοντέλο ΓΑΑ –την οποία ακολουθώντας τον Σάλμον (1989) θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε ως μια περισσότερο «επιστημική» προσέγγιση του ζητήματος της αναγωγής– είναι σε θέση να συλλάβει *καλύτερα* τις σχέσεις που υφίστανται στα πλαίσια μιας «ξεκαθαρισμένης» επιστήμης, όπου έχει αναπτυχθεί πλήρως ένα *μονο*-επίπεδο ανάγον. Θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε αυτήν την εκδοχή ως *απλή ερμηνεία* του μοντέλου ΓΑΑ, η οποία μας επιτρέπει να το θεωρήσουμε ως ένα *σύνολο συνθηκών* που οφείλουν να πληρούνται ώστε να θεωρήσουμε επιτελεσμένη μία *πλήρη* αναγωγή. Υπό το πρίσμα αυτής της ερμηνείας, το μοντέλο ΓΑΑ εμπίπτει σ' αυτό που θα μπορούσαμε να ονομάσουμε σφαίρα δικαιολόγησης ή αξιολόγησης. Τα αιτήματα συνδεσιμότητας και δυνατότητας παραγωγής εμφανίζονται σ' αυτό το πλαίσιο ως εύλογα και μετριοπαθή: εάν πρόκειται να συσχετισθούν δύο γλώσσες, *πρέπει* να αποκατασταθεί μία κάποια συνδεσιμότητα, ενώ διά της δυνατότητας παραγωγής εφαρμόζεται απλώς ο οικείος και υπεράνω πάσης υποψίας τρόπος συμπερασμού που χαρακτηρίζεται από τη διατήρηση της αλήθειας.

Ωστόσο, αυτή η *απλή ερμηνεία* του μοντέλου ΓΑΑ, αν δεν υποστεί κάποια επεξεργασία και ερμηνεία των προκειμένων της σύμφωνα με τη συλλογιστική της Παραγράφου 8.6, δεν είναι σε θέση να συλλάβει επαρκώς τον υψηλό βαθμό στον οποίο οι επιστημονικές εξηγήσεις στηρίζονται σε αιτιακούς μηχανισμούς σαν αυτούς που έχουν επισημάνει ο Γουίμσατ (1976) και ο Χαλ (σε προσωπική επικοινωνία). Μια αιτιακή-μηχανική ανάλυση (για να χρησιμοποιήσω τον όρο του Σάλμον [1989]) *φαίνεται* να ανταποκρίνεται καλύτερα στη μαχόμενη επιστημονική έρευνα και τη γλώσσα των επιστημονικών ερευνητικών αναφορών (και εγχειριδίων).

Αν πραγματευόμασταν τη δυνατότητα αμοιβαίας «προσέγγισης» μεταξύ αιτιακών και ενοποιητικών αναλύσεων της αναγωγής ακολουθώντας μια συλλογιστική παρόμοια με αυτήν του Σάλμον (1989) για την εξήγηση, θα *τείναμε* να θεωρήσουμε την αιτιακή ανάλυση της αναγωγής την οποία εκθέσαμε προηγουμένως (με όρους πολυεπίπεδων αιτιακών γενικεύσεων που προοδευτικά προσδιορίζονται καλύτερα στα λεπτομερή δ επίπεδα συνάρθρωσης και ειδικότητας) ως *μία άλλη έννοια* αναγωγής, κατ' αναλογία με τις πιθανότητα$_1$ και πιθανότητα$_2$ του Κάρναπ (και πιο πολύ με τις εξήγηση$_1$ και εξήγηση$_2$ του Σάλμον). Σύμφωνα με αυτήν τη θεώρηση, θα είχαμε μία αναγωγή$_{\gamma\alpha\alpha}$ και μία αναγωγή$_{\alpha\mu}$, οι οποίες θα αντιστοιχούσαν σε ένα επιστημικό «γενικό μοντέλο αναγωγής-αντικατάστασης», στο ένα άκρο, και σε έναν οντικό «αιτιακό μηχανισμό» στο άλλο, με ενδεχομένως κάποιες αλληλοεπικαλυπτόμενες (μικτές) αναλύσεις μεταξύ αυτών των δύο ακραίων τύπων.

Όσο δελεαστική και αν είναι αυτή η θεώρηση, μπορεί να αποβεί λανθασμένη αν δεν έχουμε κατά νου τέσσερα επιπλέον διασαφηνιστικά σχόλια. Πρώτον, κάθε αναφορά σε «μηχανισμούς» απαιτεί επίσης αναφορά στους «*νόμους* λειτουργίας» (ο όρος είναι του Μάκι [Mackie, 1974]) οι οποίοι υλοποιούνται στους εν λόγω μηχανισμούς και παρέχουν ένα μέρος από την ανάλυση και θεμελίωση της

«αιτιακής» διάστασης μιας αιτιακής-μηχανικής προσέγγισης (βλ. Schaffner, υπό έκδοση, Κεφάλαιο 6, για λεπτομέρειες). Δεύτερον, στο βαθμό που αναφερόμαστε σε *οποιαδήποτε* γενική έννοια θεωρίας (δηλαδή στα πλαίσια τόσο μίας σημασιολογικής, όσο και μίας συντακτικής ανάλυσης), φαίνεται πως –όπως και στο μοντέλο ΓΑΑ– έχουμε και εδώ να κάνουμε με «γενικεύσεις» και με τη διασύνδεση των οντοτήτων και των κατηγορημάτων αυτών των γενικεύσεων. Παραδείγματος χάριν, σύμφωνα με τη σημασιολογική σύλληψη μιας επιστημονικής θεωρίας, που πιθανόν έχει ανάμειξη σε αναγωγές, τέτοιες «θεωρίες» είναι συνολο-θεωρητικά κατηγορήματα (ή κατηγορήματα άλλων γλωσσών), των οποίων ουσιώδη συγκροτητικά στοιχεία είναι κάποιες γενικεύσεις. Έτσι, εάν σκοπεύουμε να συγκροτήσουμε μια «αιτιακή-μηχανική» θεώρηση της αναγωγής με τη βοήθεια κάποιας σημασιολογικής αντίληψης περί θεωριών, πάλι θα ήμασταν υποχρεωμένοι να ανατρέξουμε σε παραδοσιακές γενικεύσεις. Τρίτον, φαίνεται πως τόσο η σημασιολογική όσο και η συντακτική αντίληψη θεωριών εξακολουθούν να προδιαγράφουν, εκτός από γενικεύσεις, και τη χρήση όρων που αναφέρονται σε οντότητες και κατηγορήματα προκειμένου να εκφρασθούν οι εν λόγω θεωρίες. Έτσι, για την επιτέλεση μιας αναγωγής απαιτούνται κάποιας μορφής παραδοχές συνδεσιμότητας που να συνδέουν όρους όπως π.χ. «ευαισθητοποίηση» και «επαυξημένη συναπτική διαβίβαση». Και τέλος, τέταρτον, στις περιπτώσεις στις οποίες θέλουμε να επιβεβαιώσουμε το *συλλογισμό* που υποβαστάζει κάποια *αιτιακή ακολουθία* της ανάγουσας θεωρίας (είτε πρόκειται για γενικό αποτέλεσμα, είτε για επιμέρους), το καλύτερο που έχουμε να κάνουμε είναι να στηριχθούμε στις αρχές του *παραγωγικού* συλλογισμού, ο οποίος είναι πολύ πιο αξιόπιστος από άλλες μορφές λογικής και συλλογισμού. Αυτά τα τέσσερα σημεία ενισχύουν την εικόνα αναγωγής που παρουσιάσθηκε στα πλαίσια του μοντέλου ΓΑΑ που εκθέσαμε προηγουμένως.

Έχοντας ωστόσο υπ' όψιν μας αυτές τις επιφυλάξεις, φαίνεται πως *μπορούμε* να επιτύχουμε μια «προσέγγιση» μεταξύ των ΑΜ και ΓΑΑ αντιλήψεων περί αναγωγής, θεωρώντας ότι οι αναγωγές έχουν δύο όψεις: από τη μία μεριά έχουμε (1) συνεχείς προόδους, οι οποίες προκύπτουν *αποσπασματικά*, όπως π.χ. η προοδευτική επεξεργασία ορισμένων στοιχείων ενός μοντέλου στο μοριακό επίπεδο ή ενδεχομένως η προσθήκη ενός νέου «μηχανισμού» στο μοντέλο, και από την άλλη (2) *αξιολογήσεις* της εξηγητικής προσαρμογής μεταξύ δύο θεωριών, είτε αυτές θεωρηθούν ως *σύνολα* μοντέλων, είτε θεωρηθούν ως ευλόγως ολοκληρωμένοι επιστημονικοί *κλάδοι*. Αν δεν διακρίνουμε αυτές τις δύο όψεις, μπορεί να οδηγηθούμε σε σύγχυση σχετικά με την επάρκεια του μοντέλου ΓΑΑ (όπως, παραδείγματος χάριν, ο Γουίμσατ [1976]). Η όψη (1) συγγενεύει με αυτό που ο Μάυρ (Mayr· 1982) έχει ονομάσει εξηγητική αναγωγή, μία έννοια την οποία ανέπτυξε περισσότερο ο Σάρκαρ (Sarkar· 1989, υπό έκδοση). Η όψη (2) αντιστοιχεί στην περισσότερο παραδοσιακή έννοια της αναγωγής μεταξύ θεωριών.

Καθώς οι επιστήμονες διαρκώς αναπτύσσουν ανάγουσες θεωρίες σε διάφορα

πεδία, συμβαίνει συχνά να επεξεργάζονται διάφορες όψεις αυτών των θεωριών τόσο (α) τροποποιώντας μία δ παραδοχή ή προτείνοντας μία δ-επιπέδου παραδοχή η οποία επιλαμβάνεται (μέρους) μίας σ-επιπέδου διαδικασίας, όσο και (β) περιγράφοντας αυτές τις νέες παραδοχές με *αιτιακούς* όρους. Έτσι, το αποτέλεσμα τέτοιων επιτευγμάτων είναι κατά κανόνα σύνθετες πολυεπίπεδες διασυνδέσεις, σε συνδυασμό με την επίκληση ορισμένων αιτιακών διαδικασιών ως στοιχείων αυτών των διασυνδέσεων. (Σε τέτοιες καταστάσεις είναι επίσης δυνατή και η επίκληση σχέσεων μερών-όλου ή επιμέρους συστατικών σχέσεων.) Το καθήκον αυτό κατά κανόνα επιτελείται από τους επιστήμονες και αντανακλά αυτό που ο Σάλμον (1989) ονομάζει οντική διάσταση. Αυτή η συνεχής διαδικασία αποκαθιστά διασυνδέσεις μεταξύ πολλών διαφορετικών επιπέδων, και προτού φτάσουμε σε μία τρόπον τινά μονοεπίπεδη θεωρία στα πλαίσια μιας ξεκαθαρισμένης επιστήμης, πρέπει να περιμένουμε πολλές τέτοιες, πυκνές και διαπλεκόμενες διασυνδέσεις. Ωστόσο, αυτές οι διαπλεκόμενες σχέσεις δεν συνιστούν αντενδείξεις αναγωγής· μπορούν να θεωρηθούν ως μέρος της διαδικασίας που οδηγεί *προς* μία «απλοποιημένη», μονοεπίπεδη αναγωγή. Οι Καλπ (Culp) και Κίτσερ, σε ένα πρόσφατο δοκίμιό τους (1989) για την ανακάλυψη του ενζυματικού RNA, περιγράφουν κάτι που μοιάζει πολύ με αυτήν την προοδευτική διαδικασία, αν και προτιμούν να το προσδιορίζουν ως «εμφύτευση σχημάτων για την επίλυση προβλημάτων ενός επιστημονικού πεδίου σε αντίστοιχα σχήματα κάποιου άλλου πεδίου» (1989, 479), παρά ως μια σύνθετη μερική αναγωγή.

Αυτές οι ποικίλες θεωρητικές αναπτύξεις και οι συνακόλουθες διασυνδέσεις, όσο δασείς και αλληλοδιαπλεκόμενες και αν είναι, έχουν συχνά την ικανότητα να «εξηγούν», έστω και μόνο μερικώς, ορισμένα χαρακτηριστικά κάποιων πεδίων ανωτέρου επιπέδου, π.χ. φαινόμενα όπως η ευαισθητοποίηση στην *Aplysia*. Ωστόσο, το *παραδοσιακό* ερώτημα της αναγωγής αφορά την επάρκεια μιας πιο *σφαιρικής* ή συνολικής εξηγητικής σχέσης, η οποία λαμβάνει χώρα (συνήθως) μεταξύ προϋπαρχόντων κλάδων, πεδίων (ή θεωριών). Η επεξεργασία τέτοιου τύπου σχέσεων κατά κανόνα επιτελείται από φιλοσόφους ή από επιστήμονες που ενδιαφέρονται για την επισκόπηση ερωτημάτων μεγάλης εμβέλειας για τις σχέσεις μεταξύ πεδίων. Μία τέτοια σχέση (ή σχέσεις) είναι πολύ πιο *συστηματική* από την οντική διάσταση (ή διαστάσεις), για την οποία κάναμε λόγο αμέσως πιο πάνω.

Σε συνάφεια με αυτό το σφαιρικό ερώτημα, μπορεί κανείς να επικαλεσθεί τα διάφορα στοιχεία του απλού μοντέλου ΓΑΑ ως προσδιορισμούς των *λογικών* συνθηκών που πρέπει να ικανοποιούνται – αλλά που συνήθως ικανοποιούνται με έναν εκ των υστέρων αποτιμητικό τρόπο. Έτσι μπορεί κανείς να αναζητήσει (1) συνθετικές ταυτότητες, που εξασφαλίζουν μια βασική οντολογική οικονομία, και (2) δυνατότητα παραγωγής της διορθωμένης προς αναγωγή θεωρίας (με τη βοήθεια αιτιακών γενικεύσεων της ανάγουσας θεωρίας), διά της οποίας εξασφαλίζεται η ασφαλής μετάβαση που μόνο ο μη διευρυντικός συμπερασμός διατήρησης της αλήθειας μπορεί να προσφέρει. Η αναπαράσταση των σχέσεων μετα-

ξύ θεωριών στη βάση του μοντέλου ΓΑΑ συνιστά, λοιπόν, «επιτελεστική συνόψιση» πολλής επιστημονικής εργασίας που έχει αφιερωθεί στην αποκατάσταση διεπιστημονικών συνδέσεων· μία τέτοια ανάλυση επίσης να εμπίπτει κατά τυπικό τρόπο στη δικαιολογητική περιοχή της φιλοσοφίας της επιστήμης. Υπ' αυτήν την έννοια, η εκδοχή του μοντέλου ΓΑΑ που μπορεί να θεωρηθεί ως η *απλή* ερμηνεία του, μπορεί να παρέχει ένα είδος συστηματικής συνόψισης και κανονιστικού ιδεώδους, αλλά δεν πρέπει να συγχέεται γενικά με τη *διαδικασία* εγκαθίδρυσης αναγωγών και την προοδευτική επεξεργασία του σύνθετου δικτύου διασυνδέσεων που κατά τυπικό τρόπο ενοποιούν κάθε φορά την προς αναγωγή και την ανάγουσα θεωρία.

Παρόλο που το μοντέλο ΓΑΑ, ειδικά στην οριακή εκδοχή του ως μοντέλου γενικής αναγωγής, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα συνοψιστικό και κανονιστικό ιδεώδες μονοεπίπεδης αναγωγής, είναι σε θέση να επιληφθεί επίσης και της σχέσης δύο θεωριών που αφορούν *περισσότερα* πεδία ή επίπεδα. Αυτό *δεν* μπορεί να γίνει από την *απλή ερμηνεία* του μοντέλου ΓΑΑ την οποία συζητήσαμε προηγουμένως· ωστόσο δεν υπάρχει κανένας λόγος αρχής ώστε μία *πολυεπίπεδη αλλά κατά βάση κυτταρική* θεωρία να μην μπορεί να εξηγηθεί από μία *πολυεπίπεδη αλλά κατά βάση μοριακή* θεωρία. Σε κάποιο βαθμό, αυτό το χαρακτηριστικό του μοντέλου ΓΑΑ βασίζεται επίσης στην ικανότητητά του να επιλαμβάνεται *μερικών* αναγωγών. Ο τύπος θεωρίας που θα προκύψει από μία επαρκή τέτοια εξήγηση θα εμπίπτει σε κάποιου τύπου «ομοιογενή», αλλά τώρα πλέον πολυεπίπεδη, αναγωγή σύμφωνα με την πραγμάτευση του Νάγκελ (1961). Ενδεχομένως είναι καλύτερα να ονομάζεται «σύνθετη ομοιογενής» αναγωγή. Αυτή η μορφή αναγωγής μπορεί να προβλεφθεί από το μοντέλο ΓΑΑ, αλλά οι αναγωγικές συναρτήσεις της θα αντανακλούν τον *μικτό, πολυεπίπεδο* χαρακτήρα των ενεχόμενων θεωριών. Μία τέτοια *σύνθετη εμηνεία* του μοντέλου ΓΑΑ πιθανότατα ανταποκρίνεται περισσότερο στην πραγματικότητα απ' όσο η *απλή ερμηνεία* του την οποία συζητήσαμε νωρίτερα και στην οποία τόσο το ανάγον όσο και το αναγόμενο ήταν μονοεπίπεδες θεωρίες.

Φαίνεται πιθανό κάποιες γενικές μεθοδολογικές αρχές να διέπουν την εφαρμογή αυτής της *σύνθετης* εκδοχής του μοντέλου ΓΑΑ. Παραδείγματος χάριν, φαίνεται εύλογο οτι

Οι γ-βασικές υποθέσεις της T_R^* θα διατηρούνται, εκτός και αν η σχέση πολώνεται προς το άκρο αντικατάστασης του συνεχούς διαστήματος μεταξύ αναγωγής και αντικατάστασης.
Οι σ-υποθέσεις της T_R^* είτε θα αντικαθίστανται, είτε θα διευρύνονται
Οι δ-υποθέσεις της T_R^* είτε θα αντικαθίστανται, είτε θα διευρύνονται

Οι πρόσφατες διευρύνσεις των κυτταρικών και μοριακών μηχανισμών που αφορούν την ευαισθητοποίηση της *Aplysia* από την ομάδα του Κάντελ μοιάζουν να εκπληρώνουν αυτές τις συνθήκες. (Επιπροσθέτως, στο υπό έκδοση βιβλίο του

Σάφνερ, Κεφάλαιο 5, δίδεται ένα εκτενές παράδειγμα που δείχνει τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι συνθήκες λειτουργούν στην πράξη, στην περίπτωση της ανάπτυξης της θεωρίας της κλωνικής επιλογής από το 1957 ώς το 1967. Τρέχουσες θεωρίες περί της γενέσεως ποικιλίας αντισωμάτων και του ερεθισμού των Τ-λεμφοκυττάρων (δες Γουώτσον κ.ά. 1987, Κεφαλ. 23) φαίνεται να δείχνουν οτι τέτοιοι τύποι αλλαγών συμβαίνουν στα πεδία όπου ερευνάται η μοριακή βιολογία της ανοσολογικής απόκρισης.)

Το μοντέλο ΓΑΑ αποτελεί επίσης και ένα πλαίσιο κατάλληλο για τη διατύπωση και διερεύνηση βαθύτερων λογικών ερωτημάτων, όπως αυτά που αφορούν την ανάλυση κατηγορημάτων, τη φύση και τα μέσα της εγκαθίδρυσης συνθετικών ταυτοτήτων καθώς και τις μεταφυσικές επιπτώσεις τέτοιων ταυτοτήτων (δες Schaffner 1976, και υπό έκδοση). Προς το σκοπό αυτό, μία τρέχουσα πραγματική αναγωγή θα παρουσιασθεί, στο εσωτερικό αυτού του πλαισίου, ως κάποιας μορφής «ορθολογική ανασυγκρότηση». Μπορούμε να προσθέσουμε ωστόσο, ως μία τελευταία παρατήρηση, ότι περιστασιακά μπορούμε να διασαφηνίσουμε το χαρακτήρα μιας επιστημονικής διαμάχης επικεντρώνοντας την προσοχή μας στην πλήρωση των συνθηκών ακόμα και της απλής, μονοεπίπεδης ερμηνείας του μοντέλου ΓΑΑ.

Κατά συνέπεια, το μοντέλο ΓΑΑ, παρ' όλη τη συντακτική (επιστημική;) χροιά που το διακρίνει, και μολονότι εμφανίζεται εκ πρώτης όψεως να μην συμφωνεί διαισθητικά με το διάχυτο αιτιακό ύφος των παραδειγμάτων από θεωρίες μεσαίου εύρους που παρουσιάσθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο (είτε σε εξηγητικό, είτε σε αναγωγικό πλαίσιο), συνιστά μια ισχυρή και υπερασπίσιμη προσέγγιση της αναγωγής. Παρόλο που το εναλλακτικό αιτιακό-μηχανικό μοντέλο συνιστά πολύτιμη προσέγγιση που επιλαμβάνεται μιας σημαντικής όψης των αναγωγών, σίγουρα δεν εξαντλεί το όλο ζήτημα. Κατά τα φαινόμενα, η βαθύτερη ανάλυση του εναλλακτικού αιτιακο-μηχανικού μοντέλου *μας επαναφέρει* σ' αυτές ακριβώς τις παραδοχές που συνιστούν το μοντέλο ΓΑΑ.

Όπως έχουμε πει, η αναγωγή στις βιοϊατρικές επιστήμες είναι σύνθετη, και σε διάφορα σημεία μπορούμε να συναντήσουμε τόσο αιτιακές όσο και (επαν)ερμηνευτικές συνδέσεις. Πριν ολοκληρώσουμε αυτήν την παράγραφο, θα ήταν καλό να προσθέσουμε μία ακόμα αποσαφηνιστική παρατήρηση για να προλάβουμε μια δυνατή σύγχυση μεταξύ των ερμηνευτικών και των αιτιακών συνδέσεων: οι ερμηνευτικές συνδέσεις δεν πρέπει να εκλαμβάνονται ως αιτιακές.

Μια εξέταση του συστήματος που μελέτησαν ο Κάντελ και οι συνεργάτες του (1987b) δείχνει ότι το **συμπεριφορικό** επίπεδο ανάλυσης (το οποίο αναπαριστούν τα Σχήματα 8.3Α και 8.3Β) έχει να κάνει με οντότητες όπως κλονισμούς που δέχεται ο οργανισμός, γενικές περιγραφές αντανακλαστικών και χρονικά διαστήματα ωρών ή ημερών. Η σύγκριση με το επίπεδο του **νευρωνικού δικτύου** κάνει φανερό ότι στο επίπεδο αυτό οι εν λόγω οντότητες εξετάζονται σε ένα περισσότερο λεπτομερειακό επίπεδο· ο βαθμός λεπτομέρειας αυξάνεται ακόμα περισσότερο στο **βιοχημικό** επίπεδο. Κατεβαίνοντας από το επίπεδο της συμπερι-

φοράς στο βιοχημικό επίπεδο, *δεν* διασχίζουμε αντίστροφα μία αιτιακή ακολουθία, στα πλαίσια της οποίας η συμπεριφορά θεωρείται ως το αποτέλεσμα και οι βιοχημικοί μηχανισμοί ως οι αιτίες, αλλά μάλλον χαράσσουμε μία ακολουθία **προοπτικών**. **Αιτιακές** ακολουθίες μπορούν να βρεθούν σε κάθε επίπεδο συγκρότησης *καθώς και μεταξύ των επιπέδων συνάθροισης*, αλλά η περιγραφή των μερών ενός όλου δεν συνιστά αυτομάτως και αιτιακή εξήγηση, τέτοια ώστε να συσχετίζει τα μέρη ως αιτίες με το όλο ως αποτέλεσμα.

Αυτό που συχνά συμβαίνει είναι ότι η αιτιακή ακολουθία αιτίου και αποτελέσματος κατανοείται καλύτερα στο βιοχημικό επίπεδο. Κατ' αυτόν τον τρόπο, τα ερεθίσματα μπορούν να **ερμηνευθούν** ως επαυξήσεις δυναμικών δράσης και οι νευροδιαβιβαστές ως χημικοί αγγελιοφόροι. Οι βιοχημικές αλυσίδες μπορούν να εξετασθούν ως η λεπτή δομή διασύνδεσης των δικτύων που επιτρέπει σε ένα προς εξήγηση συμβάν να **επανερμηνευθεί** έτσι ώστε να ταυτισθεί με ένα εξηγητέο του βασικού επιπέδου. Δεν πρέπει να εκλαμβάνουμε, ωστόσο, την επανερμήνευση στη βάση μιας προοπτικής ως αιτιακό καθορισμό, γιατί το μόνο που μπορούμε να επιτύχουμε έτσι είναι περισσότερη σύγχυση σε ένα ήδη εξαιρετικά σύνθετο σύνολο σχέσεων.

Έχουμε έτσι, εν τέλει, μία απάντηση στην αισιόδοξη εκτίμηση του Κάντελ σχετικά με τις επιπτώσεις του αναγωγισμού στη νευροβιολογία: η επιδίωξη του αναγωγισμού στη μοριακή βιολογία, που περιλαμβάνει και τις μοριακές νευροεπιστήμες, μπορεί να οδηγήσει σε συστηματικότητα και ενότητα *μόνο σε σύγκριση με* την ακόμα πιο αλλόκοτη συνθετότητα με την οποία θα είχαν να κάνουν οι βιολόγοι χωρίς κάποιες περιστασιακές γενικεύσεις μεγάλου εύρους που επιτρέπει η μοριακή προσέγγιση. Η αναγωγή μπορεί να είναι και ανομοιόμορφη. Τμήματα της θεωρίας μάθησης, όπως αυτή εφαρμόζεται σε ειδικούς τύπους παραδειγματικών οργανισμών, μπορούν πράγματι να αναχθούν· αλλά είναι απίθανο να προκύψει κάποια καθολική και απλή *γενική θεωρία* που να έχει κάποια χρησιμότητα για τους νευροεπιστήμονες – ή τους ερευνητές της συμπεριφοράς. Έτσι, με δεδομένη τη συνθετότητα των εν λόγω περιοχών και την απουσία ισχυρών θεμελίων, είναι εύλογο να περιμένουμε *μερικές αναγωγές*, όπως επίσης και αναγωγές που θα συνιστούν περισσότερο *αντικαταστάσεις* παρά εξηγήσεις προϋπάρχοντος υλικού. Το πιθανότερο είναι να δούμε προόδους στις νευροεπιστήμες στις οποίες να βρίσκουν έμμεση εφαρμογή τα χαρακτηριστικά του μοντέλου αντικατάστασης-αναγωγής που περιγράψαμε, όπου όμως το ρόλο της ανάγουσας θεωρίας θα τον παίζει ένα μάλλον εξειδικευμένα σύνθετο σύνολο μοντέλων.

8.10 ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΑΝΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΞΗΓΗΣΗΣ

Στο (σχετικά) απλό παράδειγμα που δανειστήκαμε από την ανάλυση του Κάντελ και των συνεργατών του όσον αφορά τη μάθηση στην *Aplysia*, συναντήσαμε κα-

τά τα φαινόμενα μία παραδειγματική περίπτωση που συνιστά ταυτόχρονα *και* αναγωγή *και* επιστημονική εξήγηση. Αυτό εγείρει το ερώτημα της σχέσης ανάμεσα στην προσέγγιση της αναγωγής την οποία παραθέσαμε σε συνάφεια με το παράδειγμα του Κάντελ και τα υπάρχοντα μοντέλα επιστημονικής εξήγησης που συζητήθηκαν στο Κεφάλαιο 1 αυτού του βιβλίου.

Η καταλληλότερη προσέγγιση εδώ μοιάζει να είναι αυτή που παραπέμπει στην αντίθεση μεταξύ των δύο πολύ γενικών αναλύσεων της επιστημονικής εξήγησης που επισήμανε ο Γουέσλυ Σάλμον τόσο στο Κεφάλαιο 1 αυτού του βιβλίου, όσο και στο βιβλίο του *Επιστημονική εξήγηση και αιτιακή δομή του κόσμου (Scientific Explanation and the Causal Structure of the World·* 1984). Ο Σάλμον αντιπαραθέτει την «επιστημική» προσέγγιση της εξήγησης με την αντίστοιχη «οντική». Η πρώτη, κατά τη «συμπερασματική» ερμηνεία της, αντιπροσωπεύεται κατά τον καλύτερο τρόπο από το μοντέλο εξήγησης των Χέμπελ και Οπενχάιμ. Ο ίδιος ο Σάλμον, από την άλλη μεριά, έχει συναρθρώσει και υποστηρίξει μία «οντική» προσέγγιση, στα πλαίσια της «αιτιακής-μηχανικής» παράδοσης. Ο Σάλμον θεωρεί ότι οι αναλύσεις της εξήγησης που ανέπτυξαν οι Φρίντμαν (Friedman 1974) και Κίτσερ (1981, 1989) και οι οποίες βλέπουν την τελευταία ως «θεωρητική ενοποίηση» συνιστούν εκφάνσεις της πρώτης, της επιστημικής προσέγγισης.

Ωστόσο, ο Σάλμον είναι απρόθυμος να αποδώσει κατ' αποκλειστικότητα το χαρακτηρισμό «ενοποίηση» στην επιστημική προσέγγιση, υποστηρίζοντας ότι κατά κάποιο τρόπο θα μπορούσε να τον οικειοποιηθεί και η αιτιακή-μηχανική παράδοση:

> Η οντική αντίληψη βλέπει τον κόσμο, τουλάχιστον σε μεγάλο βαθμό, ως ένα μαύρο κουτί του οποίου τη λειτουργία θέλουμε να κατανοήσουμε. Οι εξηγήσεις ενέχουν την αποκάλυψη των βασικών μηχανισμών που συνδέουν τις παρατηρήσιμες εισόδους και εξόδους του. Εξηγούμε τα συμβάντα καταδεικνύοντας τον τρόπο με τον οποίο αυτά συναρμόζονται με το αιτιακό πλέγμα. Στο βαθμό που, κατά τα φαινόμενα, υπάρχει ένας μικρός αριθμός θεμελιακών αιτιακών μηχανισμών και ορισμένοι εξαιρετικά περιεκτικοί νόμοι που τους διέπουν, η οντική αντίληψη μπορεί, εξίσου δικαιωματικά με την αντίστοιχη επιστημική, να θεωρήσει την ενοποίηση των φυσικών φαινομένων ως την κύρια όψη της κατανόησης του κόσμου. *Η ενότητα έγκειται στην καθολική κυριαρχία των βασικών μηχανισμών* στους οποίους στηρίζουμε τις εξηγήσεις μας (Salmon, 1984, 276).

Στο Κεφάλαιο 1 αυτού του βιβλίου, ο Σάλμον εισάγει επί τροχάδην δύο βιοϊατρικά παραδείγματα για να απεικονίσει την προσέγγισή του. Όπως αναφέρει, «για να κατανοήσουμε το AIDS οφείλουμε να ασχοληθούμε με ιούς και κύτταρα. Για να κατανοήσουμε τη μεταβίβαση χαρακτηριστικών από τους γονείς στους απογόνους τους καταλήγουμε να εμπλακούμε με τη δομή του μορίου του DNA... Όταν επιχειρούμε να συγκροτήσουμε αιτιακές εξηγήσεις, προσπαθούμε

να ανακαλύψουμε τους μηχανισμούς –συχνά κρυφούς– που φέρνουν στην επιφάνεια τα γεγονότα που θέλουμε να κατανοήσουμε» (σ. 34).

Στο Κεφάλαιο 1 ο Σάλμον προσθέτει ότι, παρά την αντίθεσή τους, «από μία σημαντική άποψη» αυτές οι δύο κύριες παραδόσεις «επικαλύπτονται»:

> Όταν η ανίχνευση κρυφών μηχανισμών είναι επιτυχής, το αποτέλεσμα έγκειται συχνά στην αποκάλυψη ενός μικρού αριθμού βασικών μηχανισμών που διέπουν ένα ευρύ φάσμα φαινομένων. Η εξήγηση διαφορετικών φαινομένων με αναφορά στον ίδιο μηχανισμό συνιστά θεωρητική ενοποίηση. Παραδείγματος χάριν... η ανακάλυψη της διπλής ελικοειδούς δομής του DNA... προκάλεσε μία μείζονα ενοποίηση της βιολογίας και της χημείας. (σ. 34).

Οι βιοϊατρικές επιστήμες γενικά, και οι νευροεπιστήμες, η μελέτη του ιού του AIDS και η μοριακή γενετική ειδικότερα, με λίγες σημαντικές εξαιρέσεις, έχουν την τάση να υποδεικνύουν τέτοιες αιτιακές-μηχανικές εξηγήσεις, όπως τις ονομάζει ο Σάλμον. Το παράδειγμα του Κάντελ που αναλύσαμε πιο πάνω παρέχει σαφείς ενδείξεις προς υποστήριξη αυτής της θέσης. Υπ' αυτήν την έννοια, τόσο η εξήγηση όσο και η αναγωγή επιτελούνται πράγματι διά της επίκλησης «ενός μικρού αριθμού βασικών μηχανισμών που διέπουν ένα ευρύ φάσμα φαινομένων», αν και εδώ χρειάζεται μία σημαντική επιφύλαξη ή προειδοποίηση.

Η επιφύλαξη έχει να κάνει με τη διατύπωση «μικρός αριθμός μηχανισμών». Πράγματι, μια λεπτομερής ανάλυση των βιοϊατρικών επιστημών αποκαλύπτει ευρεία ποικιλία μηχανισμών, μερικοί από τους οποίους είναι μικρού εύρους ενώ άλλοι είναι σχεδόν καθολικής ισχύος. Σε πολλές περιοχές ανακαλύπτεται ένα φάσμα μηχανισμών που παρουσιάζουν ισχυρή αναλογία μεταξύ τους. Αυτό δεν είναι παράξενο, αν ληφθεί υπ' όψιν η κοινή εξελικτική καταγωγή· ωστόσο, η λεπτή διαφοροποίηση που διαρκώς συναντούν οι βιολόγοι τούς υποχρεώνει να αποδίδουν τη δέουσα προσοχή στις αλλαγές των βιολογικών διαδικασιών καθώς περνούν από τον ένα τύπο οργανισμού στον άλλο ή ακόμα καθώς ερευνούν διαφορετικούς τύπους οντοτήτων στα πλαίσια του ίδιου οργανισμού. Έτσι, ενώ ο γενετικός κώδικας είναι (σχεδόν) καθολικός, το αγγελιοφόρο RNA συμπεριφέρεται με τελείως διαφορετικό τρόπο στους προκαρυωτικούς οργανισμούς (π.χ. βακτήρια) απ' ό,τι στους ευκαρυωτικούς (π.χ. πολυκύτταρους οργανισμούς, όπως η *Aplysia*). Πέρα από αυτό, διαφοροποίηση μπορεί να βρεθεί και στα πλαίσια του ίδιου οργανισμού, παραδείγματος χάριν στον άνθρωπο, όπου η δράση των μυϊκών ινών των σκελετικών μυών ρυθμίζεται κατά σημαντικά διαφορετικό τρόπο από την αντίστοιχη των καρδιακών μυών· πολλά και σημαντικά σφάλματα μπορεί να προκύψουν από την παραγνώριση τέτοιων διαφορών.

Οι βιοϊατρικές επιστήμες, λοιπόν, εμφανίζουν μία μάλλον σύνθετη και κάπως μετριοπαθή θεωρητική ενοποίηση: ορισμένοι μηχανισμοί είναι σχεδόν καθολικοί, πολλοί ενσωματώνουν εξελικτικά σταθεροποιημένες ιδιομορφίες και

κάποιοι άλλοι χαρακτηρίζονται από υψηλή εξατομίκευση. Οι διαφοροποιημένες επιστήμες της ζωής παρουσιάζουν ένα ολόκληρο φάσμα διαφορών εμβέλειας. Παρ' όλ' αυτά, έχουμε στη διάθεσή μας γενικεύσεις και μηχανισμούς που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην επεξεργασία εξηγήσεων, όπως επίσης και να υποστούν έλεγχο στα διάφορα εργαστήρια: το μεταβλητό εύρος εμβέλειας δεν ακυρώνει τη νομολογική ισχύ των γενικεύσεων και των μηχανισμών.

Αυτή η εικόνα εξηγητικών και αναγωγικών γενικεύσεων ποικίλου εύρους που υποστασιοποιούνται σε μία σειρά επικαλυπτόμενων μηχανισμών συνάδει με την προσέγγιση της δομής των θεωριών που πρότεινε ο Σάφνερ (1980, 1986) και επεξέτεινε ο ίδιος στη συνέχεια (1987). Η ανάλυση είναι επίσης συμβατή με το μοντέλο ΓΑΑ που αναπτύχθηκε στην Παράγραφο 8.6. Η πραγμάτευση αυτών των ζητημάτων σε μεγαλύτερο βάθος θα ξεπερνούσε τα όρια αυτού του εισαγωγικού βιβλίου. Αρκεί να πούμε ότι η αναγωγή (και η εξήγηση) μπορούν να εντοπισθούν σ' αυτό το πεδίο «επικάλυψης» που πραγματεύθηκε ο Σάλμον, όπου (σχετικά) λίγοι «κρυφοί» μηχανισμοί διέπουν ένα (σχετικά) μεγάλο εύρος φαινομένων, διέποντας (σύνθετα) αιτιακά μονοπάτια.

8.11. Η ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ΝΕΥΡΙΚΟΥ, ΤΟΥ ΑΝΑΣΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΝΔΟΚΡΙΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΩΣ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΒΙΟΨΥΧΟΚΟΙΝΩΝΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Έχουμε πια διερευνήσει λεπτομερώς τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να προκύψει αναγωγή σε ένα τμήμα της νευρολογίας, και απομένει να εφαρμόσουμε τα αποτελέσματά μας στα ζητήματα που ανέκυψαν όταν συζητούσαμε τις απόψεις των Μάνσον και Ένγκελ, στις Παραγράφους 8.2 και 8.3. Κατά τα τελευταία 7-8 χρόνια, οι έρευνες στο χώρο των βιοϊατρικών επιστημών αποκάλυψαν σημαντικές διασυνδέσεις μεταξύ του νευρικού και του ανοσοποιητικού συστήματος, τόσο στα ζώα όσο και στους ανθρώπους. Το γεγονός ότι το νευρικό σύστημα αλληλεπιδρά με το ενδοκρινικό –την ομάδα των αδένων που παράγουν ορμόνες– ήταν γνωστό από αρκετό καιρό, αλλά η αμοιβαία επίδραση του ανοσοποιητικού συστήματος και του νευροενδοκρινικού μηχανισμού είναι μια σχετικά πρόσφατη ιδέα.

Οι επιστήμονες έχουν ανακαλύψει μιαν αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των δύο συστημάτων. Έχει ανακαλυφθεί ότι τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος συνθέτουν βιολογικώς ενεργές νευρικές ορμόνες ενώ, από την άλλη μεριά, διαθέτουν υποδοχείς τέτοιων ορμονών στην επιφάνειά τους. Επιπλέον, το κεντρικό νευρικό σύστημα είναι σε θέση να επηρεάσει τις ανοσοποιητικές αποκρίσεις προκαλώντας έκκριση επινεφριδιακών ορμονών, οι οποίες είναι σε θέση να τροποποιούν ουσιωδώς την ικανότητα ανοσοποιητικής αντίδρασης, δεδομένου ότι και τα ανοσοποιητικά κύτταρα διαθέτουν υποδοχείς τέτοιων ορμονών στην επιφάνειά τους. Έτσι, το ένα σύστημα μπορεί να επηρεάσει το άλλο μέσω

μίας σειράς χημικών ουσιών. Ένα βιβλίο που δημοσιεύτηκε πρόσφατα σχετικά με την *Νευρο-ανοσο-ενδοκρινική διασύνδεση (The Neuro-Immune-Endocrine Connection*, Cotman κ.ά. 1987), αποδεικνύει ότι υπάρχουν επακριβώς προσδιορισμένα αιτιακά μονοπάτια διαμέσου των οποίων ορισμένες περιπτώσεις συμπεριφορικού άγχους επιφέρουν μειωμένη ανοσοποιητική απόκριση. Τα ζώα που βιώνουν τέτοια άγχη –τα οποία συχνά παραβάλλονται με τις «χωρίς ελπίδα–χωρίς βοήθεια» ανθρώπινες καταστάσεις– έχουν αυξημένες πιθανότητες μόλυνσης από βακτήρια και ιούς, αλλά και ανάπτυξης καρκίνων.

Η όλη έρευνα επί της νευρο-ανοσο-ενδοκρινικής διασύνδεσης βασίζεται εν μέρει σε μία ιδέα που, ενώ για ένα διάστημα ήταν αμφιλεγόμενη, σήμερα μοιάζει επαρκώς τεκμηριωμένη. Πρόκειται για την αντίληψη σύμφωνα με την οποία μία από τις λειτουργίες του σωματικού ανοσοποιητικού συστήματος είναι να αναγνωρίζει τα πρώιμα καρκινικά κύτταρα και να τα εξολοθρεύει προτού μπορέσουν να πολλαπλασιασθούν και ξεπεράσουν την αμυντική ικανότητα του σώματος. Την υπόθεση αυτή είχε υπερασπισθεί ο αείμνηστος Δρ. Μακ Φάρλεϊν Μπάρνετ (MacFarlane Burnet), ο οποίος και την ονόμασε «ανοσοποιητική επιτήρηση» (immunological surveillance). Η αύξηση των καρκίνων σε ασθενείς που έχουν υποστεί τεχνητή ανοσοποιητική καταστολή λόγω μεταμόσχευσης οργάνων, καθώς και η εμφάνιση μίας σπάνιας μορφής καρκίνου, γνωστού ως σάρκωμα Καρπόζι, σε ασθενείς που πάσχουν από Σύνδρομο Επίκτητης Ανοσοποιητικής Ανεπάρκειας ή AIDS, υποστηρίζουν αυτήν την ιδέα.

Πρόσφατες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στο Ινστιτούτο Καρκίνου του Πανεπιστήμιου του Πίτσμπουργκ από τη Δρ. Σάντρα Λέβυ (Sandra Levy), τον Δρ. Ρόναλντ Χέρμπερμαν (Ronald Herberman) και τους συνεργάτες τους, έδειξαν οτι η ψυχική κατάσταση, στην οποία συμπεριλαμβάνονται και οι πάσης φύσεως συγκινήσεις, μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στην εξήγηση των διαφορετικών προγνώσεων του καρκίνου. Οι επιστήμονες αυτοί παρακολούθησαν την ανοσοποιητική και ψυχολογική κατάσταση 75 γυναικών που έπασχαν από καρκίνο του μαστού, είχαν υποστεί εγχείριση και είχαν υποβληθεί σε χημιοθεραπεία και ακτινοθεραπεία. Ένα σημαντικό μέσο πρόβλεψης όσον αφορά τη συναφή πρόγνωση ήταν το επίπεδο δράσης των «κυττάρων δολοφόνων» τους (natural killer, στο εξής NK), δηλαδή των αντικαρκινικών κυττάρων του ανοσοποιητικού συστήματός τους. Οι Δρ. Λέβυ και Χέμπερμαν ανακάλυψαν ότι το 51% της μειωμένης δράσης των NK μπορούσε να εξηγηθεί με τρεις δείκτες άγχους: την ελλιπή προσαρμογή της ασθενούς, την απουσία κοινωνικής στήριξης και τα συμπτώματα κούρασης και κατάθλιψης που παρουσίαζε. Ένα παρόμοιο αλλά λιγότερο εύγλωττο αποτέλεσμα παρατηρήθηκε ύστερα από χρονικό διάστημα τριών μηνών. Μία πιο πρόσφατη εργασία των ίδιων ερευνητών επί ενός δεύτερου δείγματος από 125 ασθενείς που έπασχαν από καρκίνο του μαστού σε πρώιμο στάδιο, έδειξε ότι η διαπίστωση υψηλής ποιότητας συναισθηματικής στήριξης εκ μέρους των συζύγων τους ήταν ισχυρότερο μέσο πρόβλεψης της δράσης των NK από τον ενδοκρινολογικό χαρακτήρα του ίδιου του καρκίνου, όπως αυτός προσδιοριζόταν

από την κατάσταση των υποδοχέων του ενδοκρινικού συστήματός τους. Οι ερευνητές συμπέραναν ότι το κεντρικό νευρικό σύστημα διαμεσολαβούσε παράγοντες που είχαν ένα σημαντικό αποτέλεσμα στην πρόγνωση του καρκίνου.

Μολονότι κάποιες άλλες απόπειρες συσχέτισης των συναισθημάτων και της πρόγνωσης του καρκίνου υπήρξαν λιγότερο επιτυχείς, η νευρο-ανοσο-ενδοκρινική διασύνδεση για την οποία κάναμε λόγο έχει πλέον προσδώσει ορθολογική βάση σε τέτοιου τύπου συσχετίσεις. Οι άνθρωποι είναι εξαιρετικά πολύπλοκα όντα και πολύ δύσκολα μπορούμε να απομονώσουμε τις εκτεταμένες αλληλεπιδράσεις που μόλις υποδείξαμε, ώστε να παραγάγουμε μονοσήμαντα πειραματικά συμπεράσματα. Η γοργή πρόοδος της ανοσολογικής έρευνας του καρκίνου είναι συνυφασμένη με τη σταδιακή συνειδητοποίηση ότι οι παραδοσιακές μορφές χημιοθεραπείας μάλλον προσέγγισαν τα όριά τους, ενώ η νέα κατεύθυνση πιθανότατα θα περιλαμβάνει τρόπους ενίσχυσης ή ενεργοποίησης του ανοσοποιητικού συστήματος μέσω ιντερφερονών, ιντερλευκινών και άλλων ενεργών ανοσολογικών τροποποιητών, έτσι ώστε να βοηθηθεί το σώμα να καταπολεμήσει τον καρκίνο. Η επαύξηση και ο λεπτός συντονισμός της ανοσοποιητικής απόκρισης μέσω της νευροενδοκρινικής διασύνδεσης βρίσκεται ακόμα στο στάδιο της διερεύνησης.

Αυτές οι σκέψεις μάς ωθούν να λάβουμε σοβαρά υπ' όψιν μας τις πολλές και διαφορετικές προοπτικές –με την έννοια των πολλαπλών αλληλεπιδρώντων συστημάτων– που ενέχονται και παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στην εξέλιξη των ασθενειών, όσο και στη θεραπευτική διαδικασία. Ωστόσο τα επιτεύγματα που περιγράφηκαν στις αρχικές παραγράφους καθώς και στην παράγραφο που μόλις προηγήθηκε υποδεικνύουν εν προκειμένω ότι οι βιομοριακές πρόοδοι αποκαλύπτουν απλώς τον *τρόπο* με τον οποίο διάφορες πολυεπίπεδες αιτιακές διασυνδέσεις, σαν αυτές που επισημαίνονται στο Σχήμα 8.1, συγκεκριμενοποιούνται *στο βιομοριακό επίπεδο*. Ως εκ τούτου, η κατ' αυτόν τον τρόπο επιτελούμενη επιστημονική πρόοδος ενισχύει την αναγωγιμότητα της ιατρικής στη βιολογία και επιβεβαιώνει το χαρακτηρισμό της ιατρικής ως επιστήμης. Υπάρχει ωστόσο ακόμα μία δυσκολία, τουλάχιστον εκ πρώτης όψεως, όσον αφορά μια τέτοια αναγωγιστική προσέγγιση. Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις του Ένγκελχαρντ, στην αρχή της Παραγράφου 8.1., καθώς και τα σχόλια του Μάνσον σχετικά με τα ουσιώδη ηθικά χαρακτηριστικά της ιατρικής, είναι πιθανόν η ιατρική να ενέχει ορισμένα εγγενή κανονιστικά και ηθικά χαρακτηριστικά τα οποία να καθιστούν δύσκολη την υποστήριξη μιας αναγωγιστικής προσέγγισης. Σε αυτό το ζήτημα θα στραφούμε τώρα.

8.12 Η ΗΘΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

Τα ηθικά προβλήματα που σχετίζονται με την ιατρική έχουν αρχίσει να απασχολούν σημαντικά τη δημόσια ευαισθησία κατά τα τελευταία χρόνια. Η μεγά-

λη τεχνική πρόοδος της ιατρικής έχει αναδείξει ένα πεδίο σκληρών επιλογών όσον αφορά τη χρήση της ικανότητάς της να υπηρετεί την υγεία των ανθρώπων. Το υψηλό κόστος των πρωτοποριακών καινοτομιών της, όπως οι μεταμοσχεύσεις οργάνων, θέτουν δύσκολα ερωτήματα που σχετίζονται με τον επιμερισμό τους στα διάφορα άτομα αλλά και στις κοινωνίες. Η δυνατότητα επ' αόριστον διατήρησης στη ζωή ασθενών που είτε βρίσκονται στα τελευταία στάδια της αρρώστιας τους είτε σε κώμα, έχει δώσει λαβή σε ζωηρές ηθικές και νομικές διαμάχες σχετικά με την ενεργητική και παθητική ευθανασία. Όλες αυτές οι επιλογές και οι διαμάχες δεν είναι εξωτερικές ως προς την ιατρική αλλά, κατά μία πολύ πραγματική έννοια, αποτελούν μέρος της παροχής ιατρικής περίθαλψης.

Η κατάσταση αυτή δεν αλλάζει, είτε επικεντρώσουμε την προσοχή μας σε «μακροσκοπικά» ζητήματα, που συνδέονται με το ποσοστό του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος που πρέπει να αφιερώνεται στην ιατρική περίθαλψη, είτε στραφούμε στα «μικροσκοπικά» προβλήματα, όπως το ηθικό πρόβλημα της απόσυρσης του τεχνητού πνεύμονα από έναν συγκεκριμένο ασθενή. Και στους δύο τύπους αποφάσεων, απαιτούνται κανονιστικές αρχές που να εξασφαλίζουν ότι η «καλύτερη» λύση που θα επιλεγεί θα είναι και η ηθικά προτιμότερη. Οι εργασίες που αφιερώνονται στην ιατρική ηθική έχουν γνωρίσει τεράστια ανάπτυξη κατά τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια περίπου, και δεν λείπουν οι προσεγγίσεις που επιχειρούν να διαμορφώσουν κάποιο κανονιστικό πλαίσιο προς διευκόλυνση αυτών των ζητημάτων.

Πολλοί φιλόσοφοι που ασχολούνται με την ηθική έχουν καταλήξει ότι μία αντιμετώπιση της ιατρικής ηθικής στη βάση «αρχών» θα βοηθούσε στη διασαφήνιση και την επίλυση των κλινικών ηθικών προβλημάτων. Μία τέτοια προοπτική μπορεί να είναι και ευέλικτη και επαρκώς εκλεκτική από φιλοσοφική άποψη, έτσι ώστε να μη δημιουργεί επιπρόσθετα προβλήματα επικοινωνίας μεταξύ ατόμων που προσχωρούν δογματικά σε διαφορετικά φιλοσοφικά ή θρησκευτικά συστήματα. Αυτή η προσέγγιση έλκει την καταγωγή της από διάφορες αναφορές της Ομοσπονδιακής Επιτροπής (Federal Commission) (συμπεριλαμβανομένης της *Αναφοράς Μπέλμοντ [Belmont Report]* και των πολλών τόμων που δημοσίευσε η Προεδρική Επιτροπή για τη Μελέτη των Ηθικών Προβλημάτων της Ιατρικής [President's Commission for the Study of Ethical Problems in Medicine]), και έχει συστηματοποιηθεί από τους Μποσάμπ (Beauchamp) και Τσίλντρες (Childress) [1989].

Δεν θα ήταν εφικτό να αναπτύξουμε σ' αυτό το κεφάλαιο κάποια σημαντική ανάλυση της ιατρικής ηθικής που να στηρίζεται σ' αυτήν την αντιμετώπιση. Αρκεί να πούμε ότι μία τέτοια αντιμετώπιση στη βάση «αρχών» εισάγει αρκετές αδιαμφισβήτητες *αξίες*, όπως ατομικός «αυτο-καθορισμός» ή «ευεξία», οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα ηθικώς επιθυμητά χαρακτηριστικά που πρέπει να μεγιστοποιούνται σε κάθε δεδομένη περίσταση. Δυστυχώς τέτοιες αξίες συχνά αντιφάσκουν μεταξύ τους και πολλές φορές απαιτούν κάποια γενικότερη και πιο περιεκτική ηθική θεωρία, όπως ο «ωφελιμισμός» ή η κατά Ράουλς (Rawls) θεωρία του

κοινωνικού συμβολαίου, για την επίλυση των σχετικών προβλημάτων. Αυτό που έχει σημασία για το θέμα που συζητάμε σ' αυτό το κεφάλαιο είναι το ερώτημα εάν τέτοιες κανονιστικές αρχές μπορούν, κατά κάποιο στοιχειωδώς ενδιαφέροντα τρόπο, να θεωρηθούν «αναγώγιμες» στις βιολογικές επιστήμες. Η επισήμανση που έκανε ο φιλόσοφος Νταίηβιντ Χιουμ μερικές εκατοντάδες χρόνια πριν, η οποία συχνά αναφέρεται ως η διάκριση μεταξύ του «όντος» και του «δέοντος», στοιχειοθετεί ένα μεγάλο εμπόδιο προς την κατεύθυνση μιας τέτοιας αναγωγής.

Ο Χιουμ παρατήρησε πως δεν υπάρχει λογικός κανόνας συμπερασμού μέσω του οποίου μία πρόταση που εκφράζει κάποια (ηθική) υποχρέωση, π.χ. «δεν πρέπει να κλέβεις», να μπορεί να *παραχθεί* από ένα σύνολο προκείμενων που περιγράφουν τον κόσμο ή την ανθρώπινη φύση ([1739-1740] 1978).Τέτοιου τύπου προκείμενες, στις οποίες εμπίπτουν όλες οι επιστημονικές αποφάνσεις, διατυπώνουν το πώς *είναι* η εκάστοτε περίσταση και όχι το πώς *πρέπει* να είναι. Αν θυμηθούμε τις συνθήκες του γενικού υποδείγματος αναγωγής της Παραγράφου 8.6, θα δούμε ότι για μία αναγωγή της ηθικής θα ήταν απαραίτητη μία «παραδοχή συνδεσιμότητας», με τη βοήθεια της οποίας μία ηθική ιδιότητα να μπορεί να ορισθεί με όρους κάποιας περιγραφικής ιδιότητας. Αλλά αυτό φαίνεται να αντιβαίνει ευθέως στην επισήμανση του Χιουμ.

Και η κατάσταση γίνεται περισσότερο σύνθετη, αλλά όχι και περισσότερο ενθαρρυντική, όταν επιδιώκουμε να προχωρήσουμε περισσότερο. Πολλοί φιλόσοφοι, μεταξύ των οποίων ο ωφελιμιστής Τζον Στιούαρτ Μιλ (John Stuart Mill) υποστηρίζουν ότι το «καλό» –αυτό που είναι ηθικά επιθυμητό–*μπορεί* να προσδιορισθεί με τη βοήθεια όχι άμεσα ηθικών όρων. Για τον Μιλ, το «καλό», ή το «*summum bonum*», είναι «η μεγαλύτερη δυνατή ευτυχία» ([1861] 1979, 1,3). Ο Μιλ διατύπωσε μία πολύπλοκη θεωρία ευτυχίας, όπως και μία σειρά εκλεπτυσμένων επιχειρημάτων υπέρ της ταύτισης του «καλού» με τη «μεγαλύτερη δυνατή ευτυχία για τον μεγαλύτερο δυνατό αριθμό ανθρώπων», τα οποία όμως δεν μπορούμε να τα συζητήσουμε εδώ. Άλλοι φιλόσοφοι, ωστόσο, στους οποίους συμπεριλαμβάνεται ο Καντ, υποστήριξαν ότι μία τέτοια αναγωγή ή *φυσικοποίηση* των ηθικών εννοιών είναι εσφαλμένη. Έτσι, στη συζήτησή μας σχετικά με την αναγωγιμότητα της ιατρικής –ένα έτσι ή αλλιώς δύσκολο πρόβλημα– έχουμε να αντιμετωπίσουμε και τα αιώνια φιλοσοφικά προβλήματα που αφορούν τη φύση της ηθικής.

Η τελευταία παράγραφος, παρόλο που δεν θα συνεισφέρει καμία διορατική παρατήρηση επ' αυτού, θα προτείνει μια διστακτική τοποθέτηση που ενδεχομένως βρίσκεται προς την κατεύθυνση μίας πιο ικανοποιητικής επίλυσης αυτού του προβλήματος και έχει επιπλέον το πλεονέκτημα να επιτρέπει τη συνέχιση της έρευνας.

8.13 ΣΥΝΟΨΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο μελετήσαμε δύο αμοιβαίως σχετιζόμενα προβλήματα της φιλοσοφίας της ιατρικής. Το πρώτο αφορούσε το επιστημονικό καθεστώς της ιατρικής και την αναγωγιμότητα της ιατρικής στις συστατικές της βιολογικές επιστήμες. Σε αυτό το πλαίσιο υπογραμμίστηκαν οι σημαντικές και ουσιώδεις κοινωνικές (και ψυχολογικές) διαστάσεις της ιατρικής.

Στο δεύτερο μέρος εξετάσαμε τη φύση της αναγωγής όσον αφορά τις βιοϊατρικές επιστήμες, στην οποία συμπεριλαμβάνεται και αυτό που συχνά αναφέρεται ως αναγωγή του «νοητικού» στο «φυσικό». Αυτές οι παράγραφοι έδειξαν πόσο σύνθετη είναι μία τέτοια αναγωγή και πόσο αποσπασματικά υπήρξαν τα σχετικά αποτελέσματα, παρ' όλες τις προόδους της μοριακής νευροβιολογίας. Στην κατεύθυνση αυτών των συμπερασμάτων, αναπτύχθηκε ένα πολύπλοκο μοντέλο αναγωγής –το μοντέλο ΓΑΑ– το οποίο, όπως υποστηρίχθηκε, έχει ειδική χρησιμότητα στις περιοχές στις οποίες υπάγονται και οι σχέσεις του νοητικού με το βιολογικό.

Εν τέλει, η διερεύνηση έκλεισε με την υπόδειξη ότι ενώ η μοριακή βιολογία είναι σε θέση να προαγάγει τρόπους αναγωγής των βιοψυχοκοινωνικών περιπλοκών της ιατρικής στη βιοχημεία, οι κανονιστικές όψεις των βιοψυχοκοινωνικών διαστάσεων της ιατρικής μοιάζουν να αντιστέκονται σθεναρά στην προοπτική μιας τέτοιας αναγωγής.

Ένας τρόπος να καταλήξουμε σε κάποιο εύλογο συμπέρασμα όσον αφορά αυτές τις διαφορετικές τάσεις είναι να αναγνωρίσουμε ότι *προς το παρόν και για το ορατό μέλλον* η ιατρική δεν θα είναι μία αναγώγιμη επιστήμη. Η απάντηση στο ερώτημα εάν η ιατρική μπορεί ολωσδιόλου να θεωρηθεί επιστήμη θα εξαρτηθεί επίσης και από την επίλυση του προβλήματος της αναγωγιμότητας των εγγενώς κανονιστικών στοιχείων που εν μέρει τη συνιστούν. Πρόκειται για την τοποθέτηση που περιγράψαμε στην Παράγραφο 8.4 ως «ασθενή αναδυτισμό». Η εκ του σύνεγγυς ανάλυση του παραδείγματος της ευαισθητοποίησης στην *Aplysia* πιστοποιεί ότι ακόμα και αυτό το παράδειγμα «αναγωγής» ενός συμπεριφορικού συμβάντος σε ένα σύνολο μοριακών μηχανισμών ενέχει συνδυασμένες αναφορές σε πολυ-επίπεδες έννοιες που συμπεριλαμβάνουν το κυτταρικό και το μοριακό επίπεδο. Από την άλλη μεριά, το μοντέλο ΓΑΑ, αλλά και το παράδειγμα της *Aplysia*, υποδεικνύουν ότι η πρόοδος της επιστήμης μπορεί να επιφέρει μετάφραση, επανερμηνεία και, *ενδεχομένως*, αντικατάσταση ορισμένων θεμελιωδών οντοτήτων, ιδιοτήτων ή διαδικασιών. Πρόκειται για τη θέση υπέρ της οποίας έχουν επιχειρηματολογήσει ο Πωλ και η Πατρίτσια Τσέρστλαντ, και η οποία ενδεχομένως καλύπτει και βασικές έννοιες της «λαϊκής ψυχολογίας» όπως «πεποιθήσεις» και «επιθυμίες» (δες Churchland 1986, 1988). Μία εξαιρετικά ισχυρή μοριακή θεωρία της εκμάθησης μπορεί να υποδείξει το λόγο για τον οποίο διαθέτουμε και χειριζόμαστε κανονιστικές έννοιες, όπως αυτο-καθορι-

σμός, καθώς και το ρόλο που τέτοιες ηθικές αντιλήψεις μπορεί να παίζουν στην ατομική, όσο και τη συλλογική ομοιοστασία. Το κατά πόσο μία τέτοια θεωρία θα διαπράξει τη «φυσικαλιστική πλάνη» και θα αποπειραθεί να παραγάγει ένα «δέον» από ένα «ον», πράγμα που ο Χιουμ ([1739-1740] 1978) και ο Μουρ (Moore [1903] 1962) θεωρούσαν αδύνατο, ή θα συλληφθεί μάλλον στο πνεύμα του Μιλ ως απόπειρα ορθολογικής ανασυγκρότησης της φυσικής θεμελίωσης της ηθικής, είναι προς το παρόν απλές (και ασθενείς) εικασίες· καθώς όμως οι μοριακές νευροεπιστήμες προχωρούν γρήγορα, είναι πολύ πιθανόν να βρεθούμε αντιμέτωποι με την επικαιρότητα και την επείγουσα σημασία αυτών των δυνατοτήτων.

ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΣΥΖΗΤΗΣΙΝ

1. Ποια είναι η διαφορά μεταξύ οντολογικού και μεθοδολογικού αναγωγισμού; Συζητήστε τις υποκατηγορίες αυτών των δύο τύπων. Σε ποια από αυτές εμπίπτει η θεωρία που είναι γνωστή ως «βιταλισμός» και σε ποια ή ποιες ο (καρτεσιανός) «δυϊσμός»;
2. Ποιες είναι οι βασικές συνθήκες του Μοντέλου του Νάγκελ (ΜΝ) για την αναγωγή; Υπό ποία έννοια το μοντέλο Γενικευμένης Αναγωγής υπερβαίνει το ΜΝ;
3. Τι σημαίνει ο ισχυρισμός ότι υπάρχουν διαφορετικά «επίπεδα» συνάθροισης στα οποία πρέπει να μελετώνται οι βιολογικοί οργανισμοί; Προσδιορίστε τρία τέτοια επίπεδα χρησιμοποιώντας τις έρευνες των Κάντελ και Σβαρτς επί της *Aplysia*.
4. Ποιες συνθήκες του Μοντέλου του Νάγκελ ή/και του μοντέλου της Γενικευμένης Αναγωγής (ή, για να κάνουμε δυσκολότερη την ερώτηση, του μοντέλου ΓΑΑ) ικανοποιούνται κατά την αναγωγή της βραχυπρόθεσμης ευαισθητοποίησης της *Aplysia* στη βιοχημεία;
5. Ποια ζητήματα εντοπίζει ο Μάνσον στις προσπάθειες να χαρακτηρισθεί η ιατρική ως επιστήμη;
6. Ποιο κομβικό επιχείρημα πρέπει να παραθέσει ο Μάνσον για να δείξει ότι η ιατρική, πέρα από το γεγονός ότι είναι διαφορετική από τις τυπικές επιστήμες, δεν μπορεί *ποτέ* να γίνει επιστήμη; Συζητήστε γιατί, κατά τη γνώμη σας, τα επιχειρήματα του Μάνσον ευσταθούν ή όχι.
7. Περιγράψτε το «βιοψυχοκοινωνικό» μοντέλο του Ένγκελ για την ιατρική. Με ποιο τρόπο η αποδοχή του μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στην ιατρική περίθαλψη;
8. Πώς μπορούν σκέψεις και συναισθήματα να αλληλεπιδράσουν με βιολογικές οντότητες; Έχουμε καμία ένδειξη ότι η μελέτη αυτών των ζητημάτων μπορεί να είναι επιστημονική; Ποια μπορεί να είναι η επίπτωσή τους όσον αφορά την αναγωγή του νου στην ύλη;
9. Τι εννοούσε ο Χιουμ με τη διάκριση «όντος» και «δέοντος»; Τι δυνατές επι-

πτώσεις μπορεί να έχει αυτή όσον αφορά την αναγωγή της ιατρικής στις βιολογικές επιστήμες; Στην απάντησή σας πραγματευθείτε επίσης αν, κατά τη γνώμη σας, η ιατρική *per se* περιέχει «ηθικές, κανονιστικές» παραδοχές.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BEAUCHAMP, TOM L. και JAMES F. CHILDRESS, (1989), *Principles of Biomedical Ethics*. 3η έκδ. New York: Oxford University Press. Πρόκειται για μια λεπτομερή εισαγωγή στα σύγχρονα προβλήματα της ιατρικής ηθικής.

CHURCHLAND, PATRICIA SMITH (1986), *Neurophilosophy: Toward a Unified Science of the Mind/Brain*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press. Συστηματική πραγμάτευση των φιλοσοφικών ζητημάτων που αφορούν τις νευροεπιστήμες, συμπεριλαμβανομένου και του προβλήματος της αναγωγής.

ENGEL, GEORGE L. (1981), «The Clinical Application of the Biopsychosocial Model» , *The Journal of Medicine and Philosophy* 6: 101-123. Μία από τις πιο λεπτομερείς αναπτύξεις της βιοψυχοκοινωνικής αντίληψης του Ένγκελ για την ιατρική, η οποία είχε μεγάλη απήχηση.

HULL, DAVID L. (1974), *Philosophy of Biological Science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. Γενική εισαγωγή στη φιλοσοφία της βιολογίας. Στο Κεφάλαιο 1 ασκείται κριτική στο μοντέλο του Νάγκελ και τις επεκτάσεις του.

KANDEL, ERIC R. και JAMES H. SCHWARTZ (επιμ.) (1985), *Principles of Neural Science*. New York: Elsevier. Έξοχη εκτεταμένη εισαγωγή στις σύγχρονες νευροεπιστήμες

KITCHER, PHILIP (1984), «1953 and All That: A Tale of Two Sciences», *The Philosophical Review* 93: 335-373. Λεπτομερής κριτική του μοντέλου του Νάγκελ για την αναγωγή και πρόταση εναλλακτικής προσέγγισης από τον ίδιο τον Κίτσερ.

MUNSON, RONALD (1981), «Why Medicine Cannot Be a Science», *The Journal of Medicine and Philosophy* 6: 183 - 208. Η λεπτομερής έκθεση των επιχειρημάτων του Μάνσον εναντίον της δυνατότητας της ιατρικής να γίνει επιστήμη.

NAGEL, ERNEST (1961), *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*. New York: Harcourt, Brace & World. Στο Κεφάλαιο 11 περιλαμβάνεται μία περιεκτική πραγμάτευση του μοντέλου αναγωγής του Νάγκελ.

SALMON, WESLEY C. (1989), «Four Decades of Scientific Explanation», στο Philip Kitcher & Wesley C. Salmon (επιμ.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Τόμος 13, *Scientific Explanation*. Minneapolis: University of Minnesota Press, σ. 3-219. Μία εξαιρετικά λεπτομερής ιστορία της ανάπτυξης των φιλοσοφικών αναλύσεων της επιστημονικής εξήγησης μέχρι σήμερα.

SCHAFFNER, KENNETH F. (1977), «Reduction, Reductionism, Values and Progress in the Biomedical Sciences», στο Robert Colodny (επιμ.), *Logic, Laws and Life: Some Philosophical Complications*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, σ. 143 - 171. Μια λεπτομερής προσέγγιση του μοντέλου ΓΑΑ που παρουσιάσαμε στο κεφάλαιο που προηγήθηκε.

Μέρος τέταρτο

ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Ένατο Κεφάλαιο

ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΨΥΧΟΛΟΓΙΑΣ

Peter Machamer

Η φιλοσοφία της ψυχολογίας είναι, από πολλές απόψεις, ένα θέμα παλιό και σημαντικό που χρονολογείται από την εποχή των αρχαίων Ελλήνων. Από μια άλλη άποψη, μπορούμε να μιλάμε για φιλοσοφία της ψυχολογίας μόλις από τα τέλη του δέκατου ένατου αιώνα, από τότε δηλαδή που η ψυχολογία "αποσπάστηκε" από τη φιλοσοφία και έγινε εμπειρικός κλάδος. Σύμφωνα πάλι με κάποια άλλη άποψη, η σύγχρονη φιλοσοφική κοινότητα δεν αντιμετώπισε τη φιλοσοφία της ψυχολογίας ως σημαντικό τμήμα της παρά μόνο τα τελευταία είκοσι χρόνια. Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε πώς γίνεται να ευσταθούν όλες οι παραπάνω απόψεις, θα πρέπει να καταλάβουμε πολλά πράγματα γύρω από τους διάφορους τρόπους με τους οποίους συνδέθηκαν φιλοσοφία και ψυχολογία.

Ο όρος *ψυχολογία* προέρχεται από τη λέξη *ψυχή*, που στα αγγλικά αποδόθηκε με το «soul», λέξη που αργότερα έγινε συνώνυμη με το «mind» (*νους*). Στόχος της ψυχολογίας ήταν να μελετήσει το νου. Τόσο στον *Τίμαιο* και τον *Σοφιστή* του Πλάτωνα, όσο και στο *Περί Ψυχής* του ύστερου Αριστοτέλη, παρατηρούμε μια περίεργη μίξη από εμπειρικό, περιγραφικό υλικό –σχετικά με το πώς αίσθηση, αντίληψη και σκέψη λαμβάνουν χώρα– και από παραδοχές και επιχειρήματα επί των μεταφυσικών αρχών και ουσιών που αποτελούν τη βάση αυτών των περιγραφών – όπου όλα οδηγούν προς μιαν απάντηση στο ερώτημα πώς οι άνθρωποι φτάνουν να γνωρίζουν.

Αυτά τα κείμενα –όμοια στη δομή με εκείνα που επρόκειτο να εμφανιστούν κατά τον δέκατο όγδοο αιώνα– δεν έκαναν διάκριση μεταξύ μεταφυσικών, γνωσιολογικών και ψυχολογικών θεμάτων. Παρ' ότι σήμερα υπάρχει και πάλι μια διαμάχη για το αν οι διακρίσεις αυτές μπορούν να γίνουν κατά τρόπο σαφή και χρήσιμο, στην αρχή του εικοστού αιώνα οι περισσότεροι επαγγελματίες φιλόσοφοι πίστευαν ότι το όλο θέμα είχε λήξει και ότι αυτοί οι τρεις τύποι έρευνας

ήταν πράγματι διαφορετικοί και διακρίσιμοι. Η επιστήμη, συμπεριλαμβανομένης της ψυχολογίας, ήταν ένας διαφορετικός τύπος διανοητικής δραστηριότητας από την επιστημονικά ασκούμενη φιλοσοφία. Σε καμιά από τις δύο δεν υπήρχε χώρος για τη μεταφυσική, η οποία εθεωρείτο χωρίς νόημα. Οι επιστημονικοί ισχυρισμοί έπρεπε να είναι εμπειρικά επαληθεύσιμοι. Όλοι οι ισχυρισμοί γύρω από τη φιλοσοφία της επιστήμης ήταν μεταγλωσσικοί ισχυρισμοί γύρω από τη δομή της επιστήμης και της επαληθεύσιμης φύσης της. Εκείνη την περίοδο η γνωσιολογία εκλαμβανόταν ως ανάλυση των *λογικών* βάσεων κάθε αξίωσης για γνώση.

Από τους Λογικούς Θετικιστές στις αρχές του εικοστού αιώνα μέχρι τον ύστερο Βιτγκενστάιν (μέσα της δεκαετίας του '50), επικρατούσε η άποψη ότι η φιλοσοφία έχει πολύ μικρή, έως ανύπαρκτη, σχέση με την ψυχολογία. (Ο Λούντβιχ Βιτγκενστάιν και οι Λογικοί Θετικιστές, που σχετίζονταν με τον κύκλο της Βιέννης, κυριάρχησαν κατά μεγάλο μέρος στη φιλοσοφική σκέψη των αρχών του εικοστού αιώνα. Ο στόχος τους ήταν, με δυο λόγια, να μετατρέψουν τη φιλοσοφία σε έναν αυστηρό αναλυτικό κλάδο κατά το πρότυπο της επιστήμης. Για να το πετύχουν, ισχυρίστηκαν ότι η φιλοσοφία και η επιστήμη ήταν εντελώς διαφορετικές μεταξύ τους.). Η θέση αυτή, καθώς και οι εντάσεις που δημιουργεί, φαίνονται καθαρά στο βιβλίο του Νόργουντ Ράσσελ Χάνσον (Norwood Russell Hanson), *Patterns of Discovery* (1958), όπου, σε μια πολύ βιτγκενσταϊνική υποσημείωση, αναφέρεται ότι οι φιλόσοφοι θα είχαν πολλά να μάθουν από την ψυχολογία Gestalt, και ότι αυτό που έχουν να πουν οι ψυχολόγοι από τη στιγμή που ασχολούνται με γεγονότα είναι, αυστηρά μιλώντας, άσχετο προς τη φιλοσοφία.

Τα γνωσιολογικά ερωτήματα γι' αυτούς τους στοχαστές είχαν να κάνουν με το πώς προτάσεις του τύπου «ο *S* γνωρίζει ότι *p*» αναλύονται στα συστατικά τους μέρη (τα οποία συχνά εκλαμβάνονταν ως συνθήκες αλήθειας), σε προτάσεις δηλαδή του τύπου «ο *S* πιστεύει *p*», «ο *S* είναι δικαιολογημένος να πιστεύει *p*» και «*p*». Παρά τη στροφή αυτών των στοχαστών προς την επιστήμη, φαινόταν σαν η τελευταία να μην έχει τίποτα να πει για το γνωρίζειν. Η φιλοσοφία, και κατ' επέκταση η φιλοσοφία της ψυχολογίας, ήταν δραστηριότητες *sui generis* .

Η ψυχολογική και η γνωσιολογική έρευνα ήρθαν ξανά σε επαφή την εποχή που δημοσιεύτηκε ένα πολυδιαβασμένο άρθρο του Κουάιν, με τίτλο «Φυσικοποιημένη Γνωσιολογία» («Epistemology Naturalized» (1969a)). Ξαφνικά, η χρήση εμπειρικών αληθειών που έχουν συλλεχθεί από την ψυχολογία νομιμοποιήθηκε και πάλι ως προς τη θεμελίωση ισχυρισμών γύρω από το πώς μαθαίνει ο άνθρωπος. Έγινε αποδεκτό το να συμπληρώνει κανείς την ανάλυση της πρότασης «ο *S* γνωρίζει ότι *p*» με εμπειρικές προτάσεις περί του πιθανού τρόπου λειτουργίας των ψυχολογικών και φυσιολογικών συστημάτων των ανθρώπινων όντων. Ο Κουάιν δίνει ένα αρνητικό επιχείρημα υπέρ αυτού του συμπεράσματος, τονίζοντας ότι ο κλασικός εμπειρισμός δεν μπορεί παρά να αποτύχει στην προσπάθειά του να στηρίξει όλη τη γνώση στις αισθήσεις, και να κατασκευάσει

απ' αυτές όλα όσα γνωρίζουμε. Και καταλήγει ότι η μόνη εναλλακτική λύση είναι να θεωρήσουμε τη γνωσιολογία ως μια περίοδο της ιστορίας της ψυχολογίας. Απλώς, ο κλασικός εμπειρισμός δεν αποτέλεσε μια ιδιαίτερα εμπνευσμένη περίοδο της ιστορίας αυτής.

Οι προγενέστερες επιθέσεις των Χάνσον, Κουν και Φαγεράμπεντ κατά του κλασικού εμπειρισμού (βλέπε κεφάλαιο 4) είχαν ήδη δείξει γιατί το θετικιστικό πρόγραμμα ανασυγκρότησης της λογικής δομής της επιστήμης καθώς και οι έννοιες της παρατήρησης και της επαληθευσιμότητας ήταν καταδικασμένα να αποτύχουν. Ωστόσο πιστεύω ότι η δημοτικότητα του άρθρου του Κουάιν είχε κυρίως να κάνει με κάποιες άλλες τάσεις της εποχής μέσα στο χώρο της φιλοσοφίας και της ψυχολογίας και, ιδιαίτερα, με την ανάδειξη της γνωσιακής επιστήμης (cognitive science) ως της κυρίαρχης προσέγγισης στην ψυχολογία, και με την αυξανόμενη επιρροή των υπολογιστικών μοντέλων στην πρακτική της φιλοσοφίας και στη μελέτη του νου.

Πριν από αυτή την επανασύνδεση με την ψυχολογία, η φιλοσοφία της ψυχολογίας περιοριζόταν κατά βάση σ' αυτό που αποκαλείται «φιλοσοφική ψυχολογία». Με λίγα λόγια, ο κλάδος αυτός έπαιρνε συγκινησιακές ή ψυχολογικές έννοιες και προσπαθούσε να τις αναλύσει από την άποψη των λογικών και, κυρίως, των συμπεριφορικών (behavioral) τους συστατικών. Εκδόθηκαν πολυάριθμα βιβλία και άρθρα, που ανέλυαν τις έννοιες της θέλησης, της σκέψης και του νου. Περιέργως, ενώ οι περισσότεροι απ' αυτούς τους στοχαστές γνώριζαν, ή και εμπνέονταν ακόμη, από τον Ζίγκμουντ Φρόυντ (Sigmund Freud), δεν μπόρεσαν να δουν ότι η ανάλυσή του για έννοιες όπως η ζήλια ή η ενοχή δούλευαν πολύ καλύτερα από τις δικές τους νέο-βιτγκενσταϊνικές προτάσεις. Αυτό οφείλεται ίσως στο ότι οι δικές τους αναλύσεις στηρίζονταν κατά βάση στη συμπεριφορά, ενώ ο Φρόυντ ασχολήθηκε με την εσωτερική δομή των συγκινησιακών (ή συναισθηματικών) καταστάσεων. Η σχέση του Φρόυντ με τον συμπεριφορισμό θα συζητηθεί αργότερα.

Μια άλλη, τώρα, πλευρά της φιλοσοφίας της ψυχολογίας συμπίπτει εν μέρει με τη φιλοσοφία του νου. Η φιλοσοφία του νου, τουλάχιστον από τον δέκατο έβδομο αιώνα και τον Καρτέσιο (Descartes), δηλαδή από τότε που τα υποκειμενικά βιώματα του γνωρίζοντος υποκειμένου (του *cogito*) αναδύθηκαν ως *το* μείζον ίσως πρόβλημα της φιλοσοφίας, θέτει ερωτήματα γύρω από τη φύση τού νου. Ο βασικός προβληματισμός είναι τι είδους πράγμα (ή ουσία) είναι ο νους, και ποιες είναι οι ιδιότητές του. Πολλές προσπάθειες για ν' απαντηθούν ερωτήματα γύρω από τη φύση του νου μετατράπηκαν σε ερωτήσεις περί του εάν μια αναγωγή του νου (ή του λόγου περί του νου) σε κάποια άλλη υπόσταση (ή στο λόγο περί κάποιας άλλης υπόστασης) είναι επαρκής. Η επικρατέστερη άποψη στη φιλοσοφία της ψυχολογίας είναι ότι η γλώσσα στην οποία θα πρέπει να αναχθεί ο λόγος περί του νου δεν είναι η γλώσσα του εγκεφάλου που εξετάζει η φυσιολογία ή η νευροβιολογία (όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 8), αλλά μια γλώσσα που περιγράφεται ως λειτουργική (functional).

Μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα αυτόν τον ισχυρισμό μέσω μιας αναλογίας με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές – όπου και αναδύθηκε η θεωρία του λειτουργισμού (functionalism). Ένας υπολογιστής, κατά μία έννοια, δεν είναι παρά τμήματα υλισμικού (hardware) (κυρίως τρανσίστορ), δηλαδή διακόπτες που είναι ανοιχτοί ή κλειστοί. Σε ό,τι αφορά την πληροφορία, ένα δίκτυο από διακόπτες μπορεί να λειτουργήσει ως μοντέλο ενός συστήματος που υλοποιεί την άλγεβρα του Μπουλ (Boole) (ή τον προτασιακό λογισμό). Αυτή είναι η δυαδική λογική των ψηφιακών υπολογιστών. (Εάν προσθέσουμε στην άλγεβρα του Μπουλ το λογισμό πιθανοτήτων, που συζητήθηκε στο κεφάλαιο 2, και ορισμένες τεχνικές στενογραφίας σχετικά με τους λογαρίθμους, έχουμε τη βάση για τη μαθηματική θεωρία πληροφοριών των Σάννον (Shannon) και Γουίβερ (Weaver).)

Εκτός από λογικές λειτουργίες που στηρίζονται στο υλισμικό, οι υπολογιστές διαθέτουν επίσης ρουτίνες, τις οποίες ονομάζουμε προγράμματα. Αυτά συνιστούν σύνθετες λειτουργίες που μπορούν να εκτελεστούν από τη μηχανή, όπως η πρόσθεση αριθμών ή η επίλυση διαφορικών εξισώσεων. Για να λύσει ο υπολογιστής αυτά τα σύνθετα προβλήματα, στην πραγματικότητα, δεν κάνει τίποτα άλλο από το να συμπαραθέτει (να συγκεντρώνει) σύνολα από ακολουθίες ανοιχτών-κλειστών διακοπτών. Από μηχανική άποψη αυτό είναι όλο που μπορεί να κάνει. Ωστόσο, πολλές διαφορετικές ακολουθίες αποκρίσεων των ανοιχτών-κλειστών διακοπτών του υλισμικού μπορούν να κάνουν την ίδια δουλειά στο επίπεδο του προγράμματος. Όταν συμβαίνει αυτό, οι ακολουθίες είναι λειτουργικά ισοδύναμες. Εξαιτίας αυτών των ισοδυναμιών, το επίπεδο του προγράμματος μπορεί να εξεταστεί ανεξάρτητα από το επίπεδο του υλισμικού. Ο Ντάνιελ Ντένετ (Daniel Dennett) (1981, 1987) ονόμασε αυτό το επίπεδο δραστηριότητας «επίπεδο του προγράμματος», και την περιγραφή του υλισμικού «επίπεδο της μηχανής». (Ο Ντένετ υποστηρίζει επίσης πως μια αναφορά σ' ένα επίπεδο ακόμη υψηλότερο, το επίπεδο της αποβλεπτικότητας* (intentionality), είναι αναγκαία. Το επίπεδο αυτό καθρεφτίζει την αναφορά μας στις ανθρώπινες προθέσεις. Κατά τον Ντένετ, κάτι τέτοιο είναι αναγκαίο γιατί οι μηχανές επίλυσης σύνθετων προβλημάτων δεν μπορούν να περιγραφούν επαρκώς χωρίς αναφορά σε αποβλεπτικές εκφράσεις. Εάν έχει δίκιο, το ερώτημα είναι το εξής: Αυτή η ανάγκη χρησιμοποίησης αποβλεπτικού λόγου προέρχεται, άραγε, από κάποια χαρακτηριστικά που αφορούν τη δομή των ίδιων των μηχανών ή εισάγεται από τους ανθρώπους με τρόπους που καθρεφτίζουν έναν βολικό και άνετο ανθρωπομορφισμό κατά το σχεδιασμό προγραμμάτων;)

Το ενδιαφέρον είναι ότι *στην πράξη το πρόγραμμα δεν μπορεί να καθοριστεί (αναχθεί) ολοκληρωτικά με όρους του επιπέδου μηχανής, παρ' ότι κατ' αρχήν γνωρίζουμε* ότι κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει. Έτσι, σύμφωνα με τη λειτουργιστική υπόθεση, ο ανθρώπινος νους είναι ακριβώς σαν ένα πρόγραμμα που μπορεί να πραγ-

* Αποβλεπτικότητα είναι η ιδιότητα των νοητικών καταστάσεων να αναφέρονται σε κάτι πέρα από αυτές το οποίο μπορεί να είναι υπαρκτό ή μη υπαρκτό. [Σ.τ.Μ.]

ματοποιηθεί με πολλές διαφορετικές μηχανικές και υλικές μορφές, μια από τις οποίες είναι και το νευρωνικό υλισμικό. Επιπλέον, εξαιτίας της μαθηματικής πολυπλοκότητας των σχέσεων μεταξύ του προγράμματος και των υλικών επιπέδων, ενδέχεται αυτή η αναγωγή να μη συμβεί ποτέ. Η εξέταση του νου υπό λειτουργιστικούς όρους επιτρέπει μια κάποια ανεξαρτησία της ψυχολογίας από τη φυσιολογία. Βοηθά ακόμη να εξηγήσουμε γιατί στην καθημερινή λαϊκή ψυχολογία έχουμε την τάση να θεωρούμε ότι ο νους είναι ανεξάρτητος, και ότι συμπεριφέρεται σύμφωνα με νόμους διαφορετικούς απ' αυτούς του σώματος ή του εγκεφάλου. Σήμερα, η επάρκεια της λειτουργιστικής θεωρίας συζητιέται πολύ (ο λειτουργισμός ως θεωρία της ψυχολογίας εξετάζεται στο Ned Block 1980). Επίσης, ενδιαφέροντα ερωτήματα σχετικά με τη μηχανική φύση του νου προκύπτουν από τη διαμάχη για το εάν οι υπολογιστικές μηχανές μπορούν να σκέφτονται ή να είναι δημιουργικές. (Το ότι οι μηχανές μπορεί να είναι δημιουργικές είναι θέση του Χερμπ Σάιμον (Herb Simon). Αντεπιχειρήματα δίνονται από τον Ντρέυφους (Dreyfus) 1972 και τον Βαϊτσενμπάουμ (Weizenbaum) 1976).

9.1 ΦΡΟΫΝΤ

Μια παρουσίαση της φιλοσοφίας της ψυχολογίας δεν θα μπορούσε να είναι επαρκής, αν δεν πραγματευθεί, τουλάχιστον επί τροχάδην, το έργο του Ζίγκμουντ Φρόυντ. Ο Φρόυντ συγκίνησε και άσκησε μια ιδιαίτερη και βασανιστική έλξη στους φιλοσόφους από το 1920 και μετά, όταν αυτός, και μαζί του η ψυχανάλυση, άρχισε να καθιερώνεται. Παρά την κάποια μείωση του ενδιαφέροντος κατά τη διάρκεια της επικράτησης του συμπεριφορισμού, ο Φρόυντ δεν έπαψε να αποτελεί ένα από τα προσφορότερα θέματα για φιλοσοφική αντιπαράθεση. Εξαιτίας μάλιστα κάποιων πρόσφατων τάσεων, δεν αποκλείεται να γίνει σήμερα περισσότερο δημοφιλής παρά ποτέ.

Υπό την επιρροή της ευρωπαϊκής σκέψης που παρατηρείται σήμερα, ο Φρόυντ θεωρείται από ορισμένους ως οπαδός, ή ως ο πατέρας μιας ερμηνευτικής προσέγγισης στην κατανόηση του ανθρώπου.[1] Σύμφωνα με αυτήν την άποψη, η ψυχαναλυτική θεωρία δεν είναι επιστημονική, αφού δεν υπόκειται στους συνήθεις περιορισμούς που έχουν να κάνουν με τεκμήρια και ελεγξιμότητα. Αυτό που προσφέρει ο Φρόυντ είναι ένα ερμηνευτικό σχήμα για την κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Τα ερμηνευτικά σχήματα αξιολογούνται βάσει του πόσο καλά κατορθώνουν να οργανώσουν κάποια δεδομένα φαινομενικώς πολύ

[1] Οι ευρωπαϊκές αναγνώσεις του Φρόυντ εντάσσονται κυρίως στην ερμηνευτική παράδοση και υποστηρίζουν ότι η ψυχανάλυση δεν είναι στην πραγματικότητα μια επιστήμη όπως οι φυσικές επιστήμες. Η ψυχανάλυση είναι ένας ανθρωπολογικός τρόπος θέασης του κόσμου. Ορισμένοι από τους πιο σημαντικούς συγγραφείς σ' αυτήν την κατεύθυνση είναι ο Πωλ Ρικέρ (Paul Ricouer), ο Ζακ Λακάν (Jacques Lacan), και ο Γιούργκεν Χάμπερμας (Jurgen Habermas). Ισχυρή κριτική στην παράδοση αυτή έχει ασκήσει ο Άντολφ Γκρύνμπαουμ (Adolph Grünbaum 1984).

ανόμοια μεταξύ τους. Το κριτήριο γι' αυτό το «πόσο καλά» συνήθως δεν διατυπώνεται ξεκάθαρα, ωστόσο φαίνεται να αφορά το εάν η οργάνωση που έχει επιφέρει το σχήμα οδηγεί τον θεωρητικό ή τον φιλόσοφο, που κάνει την ερμηνεία, στην κατανόηση ή σε κάποια συγκεκριμένη, αν και συνήθως ακαθόριστη, ψυχολογική κατάσταση.

Μια άλλη γραμμή του σημερινού ενδιαφέροντος για τον Φρόυντ εγκαινιάστηκε με την κριτική του Καρλ Πόππερ (Karl Popper, 1963). Αυτός ισχυρίστηκε ότι η θεωρία του Φρόυντ, που δεχόταν την ύπαρξη ασυνείδητων νοητικών μηχανισμών υποκίνησης (motivation) δεν είναι επιστημονική, επειδή δεν είναι διαψεύσιμη. Δεν θα μπορούσε να βρεθεί κανένα τεκμήριο, υποστήριξε ο Πόππερ, που να δείχνει ότι μια ψυχαναλυτική υπόθεση είναι ψευδής. Οτιδήποτε είπε ή έκανε ένας ασθενής θα μπορούσε να εξηγηθεί από τη θεωρία. Η ψυχανάλυση κατά συνέπεια είναι μη διαψεύσιμη και ως εκ τούτου δεν αποτελεί επιστημονική θεωρία.

Πιο πρόσφατα, ο Άντολφ Γκρύνμπαουμ (Adolph Grünbaum) (1984) έθεσε στο στόχαστρο τόσο τους Ευρωπαίους ερμηνευτικούς όσο και τους Πόππερ και Φρόυντ. Ενάντια στους ερμηνευτικούς και τον Πόππερ, ο Γκρύνμπαουμ υποστήριξε ότι η θεωρία του Φρόυντ είναι πράγματι επιστημονική, όπως ευθύς εξαρχής ήθελε να είναι, καθώς και ελέγξιμη. Ωστόσο, συνεχίζει, δεν αποτελεί πολύ καλή επιστήμη. Ο Γκρύνμπαουμ πιστεύει πως η ψυχανάλυση είναι εμπειρικά αστήρικτη σε πολλά από τα κεντρικά θεωρητικά της σημεία.

Υπάρχουν κι άλλα σύγχρονα ρεύματα που, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, έφεραν τον Φρόυντ στο προσκήνιο. Ορισμένες φεμινίστριες στράφηκαν κατά των φροϋδικών θεωριών, και ιδιαίτερα κατά των απόψεων που αφορούν τη θηλυκότητα και τις γυναίκες. Κάποιοι άλλοι τον κατηγόρησαν για χυδαίο σεξισμό. (Για τον Φρόυντ και τις φεμινιστικές κριτικές, που κατά έναν περίεργο και ενδιαφέροντα τρόπο, εξακολουθούν να εξαρτώνται από τον Φρόυντ και να χρησιμοποιούν φροϋδικές έννοιες, βλέπε Lerman 1986, Gilligan 1982, van Herik 1982 και Williams 1977.) Κάποιοι άλλοι άσκησαν κριτική στον Φρόυντ επειδή, όπως πιστεύουν, οι απόψεις του για τις φαντασιώσεις των παιδικών τραυμάτων συντέλεσαν στη συγκάλυψη του πραγματικού κι ανησυχητικού προβλήματος της κακομεταχείρισης των παιδιών (Manson 1984, Malcolm 1984).

Οι σύγχρονες αυτές μελέτες είναι όλες ενδιαφέρουσες και αιτιολογούν πολύ καλά γιατί ο Φρόυντ πρέπει να μελετηθεί. Υπάρχει ωστόσο μια πλευρά του φροϋδικού έργου που δεν έχει τύχει της απαιτούμενης προσοχής και η οποία είναι σημαντική για να κατανοήσουμε τι είναι αυτό που συνιστά μια επαρκή θεωρία στο χώρο της ψυχολογίας: αναφέρομαι στη θεωρία του περί της συγκινησιακής ή συναισθηματικής διάστασης της ανθρώπινης προσωπικότητας.

Η ψυχανάλυση εμφανίστηκε ως μέσο θεραπείας, κυρίως για ασθενείς που υπέφεραν από διάφορες νευρώσεις. Θεωρήθηκε από την αρχή ως μία κατεξοχήν κλινική ειδικότητα, ως θεραπευτικός κλάδος της ιατρικής.

Καθώς ο Φρόυντ προχωρούσε στη μελέτη των νευρώσεων, άρχισε να επε-

κτείνεται όλο και περισσότερο, και να επεξεργάζεται θεωρητικές έννοιες. Οι έννοιες αυτές έγιναν οι βάσεις της φροϋδικής θεωρίας της προσωπικότητας. Πιο συγκεκριμένα, η θεωρητική επεξεργασία συνιστούσε προσπάθεια να παρουσιαστεί μια αιτιακή θεωρία για τις ανθρώπινες συγκινησιακές ή συναισθηματικές καταστάσεις. Παράλληλα με αυτό το θεωρητικό έργο, ο Φρόυντ συνέχισε να αναπτύσσει τις ιδέες του περί αποτελεσματικής θεραπείας και αγωγής των ασθενών. Οι ισχυρισμοί του βασίστηκαν σε τεκμήρια προερχόμενα κυρίως από προσωπικές του κλινικές και θεραπευτικές εμπειρίες.

Παρά την πολύπλοκη αλληλεξάρτησή τους, είναι εφικτό αλλά και σημαντικό το να διακρίνουμε τη γενική θεωρία της προσωπικότητας του Φρόυντ (τη θεωρία του για την ανθρώπινη συγκινησιακή υποκίνηση) από τις απόψεις του για το πώς η θεραπεία θα μπορούσε να παρέχει τεκμήρια για τη στήριξη των συναφών υποθέσεων. Μια τέτοια διάκριση συνεπάγεται, ωστόσο, την ανακατασκευή του έργου του Φρόυντ, με στόχο να απομονωθεί η σημαντική και διεισδυτική θεωρία του περί της συγκινησιακής πλευράς της ανθρώπινης προσωπικότητας, από τα ερωτήματα περί της αποτελεσματικότητας της ψυχαναλυτικής θεραπείας και από τα ιδιάζοντα προβλήματα που προκύπτουν από τη φύση των κλινικών τεκμηρίων.

Η φροϋδική θεωρία της συγκινησιακής πλευράς της ανθρώπινης προσωπικότητας, εκτός από συναρπαστική, είναι και ουσιαστικά ασυναγώνιστη. Οι έννοιες του ασυνείδητου, της απώθησης, της άμυνας του εγώ, της ψυχοσεξουαλικής ανάπτυξης και, πάνω απ' όλα, η σημασία του οικογενειακού συμπλέγματος για την ανάπτυξη του παιδιού, δεν είναι παρά ένα μικρό δείγμα των φροϋδικών ιδεών που διαπότισαν ολόκληρη σχεδόν τη σύγχρονη σκέψη. Λεπτομέρειες που αφορούν τη δομή αυτών των εννοιών και το πώς θα πρέπει να εφαρμοστούν για να κατανοηθούν οι ανθρώπινες συμπεριφορές και πράξεις είναι προς συζήτησιν. Όμως, το ότι πολλοί άνθρωποι σκέφτονται με αυτούς τους όρους, είναι αναμφισβήτητο. Εκτός των άλλων, δεν υπάρχει καμιά λεπτομερής εναλλακτική θεωρία των ανθρώπινων συγκινησιακών καταστάσεων και των λειτουργιών υποκίνησης που θα μπορούσε να αντικαταστήσει αυτήν του Φρόυντ.

Η θεωρία του Φρόυντ για την προσωπικότητα είναι μια νοησιαρχική ή γνωσιακή θεωρία που επιχειρεί να θέσει αξιωματικά την ύπαρξη λειτουργικών τμημάτων του νου για να εξηγήσει τα ανθρώπινα συναισθήματα και τις (ομαλές και ανώμαλες) πράξεις που προκύπτουν από αυτά.

Πιο συγκεκριμένα, η θεωρία του Φρόυντ προϋποθέτει την ύπαρξη βασικών ενστίκτων που λειτουργούν ως η κινητήρια δύναμη των ανθρώπινων συγκινησιακών καταστάσεων και συμπεριφορών. Τα ένστικτα αυτά, υπό τη μορφή συγκινησιακά φορτισμένων ασυνείδητων αναμνήσεων, παροχετεύονται και αναδομούνται από άλλους νοητικούς μηχανισμούς (εσωτερικευμένες εξωτερικές επιρροές – απόψεις, για παράδειγμα, γονέων ή αδελφών – και προσωπικές διαθέσεις) σε συγκεκριμένες μορφές συμπεριφορών και πράξεων. Έτσι, η άποψη του Φρόυντ για το νου έχει να κάνει με μια σειρά εσωτερικών μηχανισμών επεξερ-

γασίας (λειτουργικών υποσυστημάτων) που επενεργούν σε βασικές βιολογικές ορμές και ένστικτα. Αναμορφώνοντας αυτά τα βασικά ένστικτα μέσω πρόσθετων εισροών που προέρχονται από το εγώ και το υπερεγώ (την αυτοσυντήρηση και τις εξωτερικές επιρροές), ο Φρόυντ επιχειρεί να εξηγήσει πώς λειτουργούν συγκεκριμένα ανθρώπινα συναισθήματα.

Ένα κλασικό παράδειγμα είναι η φροϋδική ανάλυση της ζήλιας. Σύμφωνα με τον Φρόυντ ([1922] 1963a), η ζήλια είναι ένα φυσιολογικό συναίσθημα που προέρχεται από την αντίδραση του υποκειμένου απέναντι στον ανταγωνισμό για ένα αντικείμενο αγάπης. Το συναίσθημα αυτό, αναλυόμενο στα συστατικά του στοιχεία, περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, ένα αίσθημα βαθιάς θλίψης στην ιδέα της απώλειας του αγαπημένου, ένα συνακόλουθο ναρκισσιστικό τραύμα (αυτοοικτιρμός), εχθρότητα προς τον επιτυχημένο αντίζηλο, και ένα είδος αυτοκριτικής καθώς το εγώ θεωρείται υπεύθυνο για την απώλεια. Το βασικό ένστικτο είναι σε αυτήν την περίπτωση ο έρωτας για κάποιο πρόσωπο (παρ' ότι αυτό πρέπει να αναλυθεί περισσότερο). Πιο υπερβολικές μορφές ζήλιας ενέχουν και μια διάσταση προβολής, όπου η απιστία – πραγματική ή φανταστική – του ίδιου του ατόμου προβάλλεται ως απιστία του συντρόφου. Η πιο ακραία μορφή ζήλιας είναι μια μορφή παράνοιας, κατά την οποία το πρόσωπο που ζηλεύει υποφέρει από παραισθήσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο παρανοϊκά δύσπιστος βλέπει παντού σημάδια απιστίας.

Το παραπάνω αποτελεί απλώς ένα παράδειγμα φροϋδικής ανάλυσης μιας συγκινησιακής κατάστασης. Η ανάλυση που έκανε ο ίδιος στα ανθρώπινα συναισθήματα, χρησιμοποιώντας όρους που μπορούν να σχετισθούν και με άλλους τρόπους κατασκευής ψυχολογικών θεωριών είναι πολύ σημαντική. Καθώς μάλιστα οι ψυχολόγοι αρχίζουν να αντιλαμβάνονται και να μελετούν τη σπουδαιότητα των κοινωνικών διαστάσεων της γνώσης και της συμπεριφοράς, ο ρόλος που παίζουν τα συναισθήματα γίνεται όλο και πιο σημαντικός. Η θεωρία του Φρόυντ αποτελεί το προσφορότερο πεδίο για να ξεκινήσει μια προσπάθεια διατύπωσης μιας επαρκούς θεωρίας για τη συναισθηματική διάσταση της ανθρώπινης ζωής.

9.2 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΨΥΧΟΛΟΓΙΑΣ ΩΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

Τέλος, ας αναφερθούμε σε μιαν άλλη αντίληψη για τη φιλοσοφία της ψυχολογίας, που θεωρεί την τελευταία ίδια με τη φιλοσοφία της φυσικής, της βιολογίας ή της ιατρικής. Από αυτήν την άποψη, η φιλοσοφία της ψυχολογίας είναι μια φιλοσοφική έρευνα με αντικείμενο την ίδια την επιστήμη της ψυχολογίας (την ονομαζόμενη στα περισσότερα ακαδημαϊκά τμήματα πειραματική ψυχολογία) που επιχειρεί να προσδιορίσει την επιστημονική φύση των ψυχολογικών θεωριών, των συναφών μεθόδων έρευνας και των αποτελεσμάτων τους.

Μεταξύ των πολλών προσεγγίσεων σε αυτό το ζήτημα, ίσως η πιο αποτελεσματική για να καταδειχθούν οι διαφορετικές θεωρητικές τοποθετήσεις είναι η

χρησιμοποίηση προβλημάτων από μία μόνο περιοχή της ψυχολογίας – αυτήν της αντίληψης, για παράδειγμα. Στην ιστορία της ψυχολογίας του εικοστού αιώνα, τρεις βασικοί τύποι θεωριών πραγματεύτηκαν την αντίληψη, τη σκέψη και τη συμπεριφορά: ο συμπεριφορισμός, που βασίστηκε στην αντίδραση, η γνωσιοκρατία (cognitivism) ή κατασκευαστισμός (constructivism), που βασίστηκε στον οργανισμό, και ο ρεαλισμός, που βασίστηκε στα ερεθίσματα.

Οι τρεις αυτές προσεγγίσεις δεν παρέμειναν πάντα διακριτές μεταξύ τους, ούτε οι υποστηρικτές τους ήταν πάντοτε προσκολλημένοι αποκλειστικά σε μία και μόνο προσέγγιση. Ωστόσο, ορισμένες προσεκτικές απλουστεύσεις θα μας επιτρέψουν να διατυπώσουμε καλύτερα τις διαφορετικές θεωρίες και τις αντίστοιχες θέσεις τους για το πείραμα και τη μέθοδο.

9.3 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΙΣΜΟΣ

Η συμπεριφοριστική προσέγγιση εμφανίστηκε στις Η.Π.Α. στις αρχές του εικοστού αιώνα με τον Τζον Γουάτσον (John W. Watson 1919). Στις δεκαετίες του '30 και του '40 αποτελούσε την πιο δημοφιλή προσέγγιση στα αμερικανικά πανεπιστήμια, με γνωστότερους υποστηρικτές της τον Κλαρκ Χαλ (Clark Hull et al. 1940) και τον Σκίνερ (B.F. Skinner 1953). Παρακάτω εστιάζουμε την προσοχή μας στην άποψη του Σκίνερ γιατί είναι η καθαρότερη μεθοδολογικά και η πιο εύκολα προσεγγίσιμη.

Η βασική έννοια του συμπεριφορισμού του Σκίνερ είναι η συντελεστική εξαρτημένη μάθηση (operant conditioning) ή το πώς ένας οργανισμός μαθαίνει συγκεκριμένες συμπεριφορές. Η ιδέα είναι απλή: ένα ερέθισμα επηρεάζει τον οργανισμό, ο οποίος τότε αντιδρά με κάποια συμπεριφορά. Κατόπιν, η προκληθείσα συμπεριφορά ενισχύεται θετικά ή αρνητικά, αυξάνοντας έτσι είτε μειώνοντας την πιθανότητα να εμφανιστεί εκ νέου η ίδια συμπεριφορά κάτω από παρόμοιες συνθήκες ερεθίσματος. Την ενίσχυση επιφέρουν περιβαλλοντικές τυχαιότητες (επιδράσεις) που προσκρούουν στον οργανισμό κατά τη στιγμή που αυτός παρουσιάζει την αρχική συμπεριφορά, ή λίγο αργότερα.

Εκπονούνται χρονοδιαγράμματα ενίσχυσης για να εξακριβωθεί ποια χρονικά διαστήματα ενίσχυσης είναι τα βέλτιστα και πόσο συχνά θα πρέπει να γίνεται ενίσχυση. Μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα γράφημα που να δείχνει ποιο χρονοδιάγραμμα ενίσχυσης προκαλεί τη μεγαλύτερη αλλαγή στην πιθανότητα εμφάνισης μιας συμπεριφοράς. Η μάθηση συνίσταται στο ότι η πιθανότητα εμφάνισης μιας δεδομένης συμπεριφοράς αλλάζει κάτω από παρεμφερείς συνθήκες ερεθισμάτων. Μια πρόσθετη πληροφορία, που απαιτείται για να καταγραφούν οι αλλαγές των πιθανοτήτων, είναι η κατάσταση του οργανισμού που σχετίζεται με την ενισχύουσα επίδραση, δηλαδή με το επίπεδο στέρησης του οργανισμού.

Τα πειραματικά πρότυπα (προτιμώμενα σχέδια πειραμάτων) που συνδέονται

με τον συμπεριφορισμό έχουν να κάνουν με εργασίες διάκρισης και ασκήσεις εκμάθησης. Οι πρώτες προσπαθούν να προσδιορίσουν εάν ένας οργανισμός μπορεί να διακρίνει πότε ένα ερέθισμα είναι παρόν. Η δυνατότητα διάκρισης μετριέται μέσω μιας συμπεριφορικής αντίδρασης, όπως π.χ. το ράμφισμα από ένα περιστέρι σ' ένα νέο χρώμα. Οι ασκήσεις εκμάθησης δημιουργούν καταστάσεις κατά τις οποίες οι ενισχύουσες επιδράσεις συντονίζονται με συμπεριφορές, όπως όταν ένα ποντίκι αμείβεται με λίγη τροφή κάθε φορά που πιέζει μια ράβδο.

Ένα μέρος της μεθοδολογίας της πιο ακραίας μορφής συμπεριφορισμού, όπως αυτή που υποστηρίζει ο Σκίνερ, τονίζει ότι μια επιστήμη της συμπεριφοράς δεν θα πρέπει να κάνει υποθέσεις για το τι συμβαίνει στο εσωτερικό ενός οργανισμού. Ίσως η φυσιολογία περιγράψει κάποια μέρα τι συμβαίνει *μέσα* στους οργανισμούς· όμως μια επιστήμη της συμπεριφοράς είναι ανεξάρτητη από τέτοιου είδους εσωτερικές διεργασίες. Μια επιστήμη της συμπεριφοράς απλώς διατυπώνει νόμους διάκρισης και εκμάθησης που σχετίζονται με διαφορετικούς οργανισμούς και διαφορετικές συνθήκες ερεθισμάτων και ενίσχυσης.

Ακόμη πιο άστοχο εκ μέρους ενός συμπεριφοριστή θα ήταν να χρησιμοποιήσει νοητικούς όρους για να εξηγήσει τη συμπεριφορά: σε αυτήν την περίπτωση, θα κινδύνευε να περιπέσει σε α-νοησίες. Η χρήση αποβλεπτικών ή νοητικών όρων του τύπου «θέλω», «επιθυμώ», «εύχομαι», «προτίθεμαι», «πιστεύω» κ.ο.κ. θεωρείται ότι δεν έχει καμιά εξηγητική ισχύ. Αυτές οι λέξεις δεν είναι παρά ασαφείς πλεονασμοί, του ίδιου τύπου με αυτούς που διακωμωδούσε ο Μολιέρος στο πρόσωπο του γιατρού που, εξηγώντας γιατί το όπιο προκαλεί ύπνο στους ανθρώπους, αποφαίνεται ότι αυτό έχει μια *virtus dormitiva* (δηλαδή, μια δύναμη που φέρνει ύπνο). Η γλώσσα των νοητικών καταστάσεων αναφέρεται σε κάτι το οποίο δεν είναι παρατηρήσιμο για λόγους αρχής, κι έτσι δεν έχει καμία θέση στην εμπειρική επιστήμη. Το μόνο που μπορεί να γίνει αντικείμενο παρατήρησης και να μετρηθεί είναι οι φανερές συμπεριφορές, που αποτελούν άλλωστε και την επικράτεια κάθε καλής εμπειρικής επιστήμης. Αυτό εναρμονίζεται με μιαν αυστηρή μορφή διαδικασιοκρατικής (operationalist) θέσης (βλέπε Κεφάλαιο 3), η οποία αποτελεί μια πολύ ισχυρή μορφή του δόγματος των εμπειριστών περί νοήματος.

Οι πρώτες έντονες κριτικές στον συμπεριφορισμό εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του '50. Ο σημαντικότερος επικριτής ήταν ο γλωσσολόγος Νόαμ Τσόμσκυ (Noam Chomsky) (1959), ο οποίος σε μια κριτική του βιβλίου του Σκίνερ *Verbal Behavior*, επεσήμανε ότι το μοντέλο της συντελεστικής εξαρτημένης μάθησης δεν αρκούσε για να εξηγήσει την ικανότητα του ανθρώπου να παράγει εντελώς νέες προτάσεις σε μια φυσική γλώσσα. Ο Τσόμσκυ τόνισε ότι ο καθένας από μας είναι ικανός να παραγάγει έναν αμέτρητο αριθμό προτάσεων, πολλές από τις οποίες δεν έχουν εκφωνηθεί ποτέ στο παρελθόν. Εφόσον η εκφώνηση μιας καινοφανούς πρότασης είναι μια συμπεριφορά που δεν έχει ξανασυμβεί ποτέ, πώς θα μπορούσε μια προγενέστερη ενίσχυση να εξηγήσει τον τρόπο κατά τον οποίο οι άνθρωποι μαθαίνουν να παράγουν τέτοιες νέες προτάσεις;

Άλλες κριτικές του συμπεριφορισμού, παρ' ότι λιγότερο εντοπισμένες, υπήρξαν περισσότερο καταστροφικές. Πρώτα πρώτα τέθηκε το ερώτημα πώς μπορεί κανείς να αναγνωρίσει και να «καταμετρήσει» τις συμπεριφορές. Είναι εύκολο να βρούμε ποια συμπεριφορά ενισχύεται μέσα σε ένα ελεγχόμενο πείραμα, όπου η προς εκμάθηση συμπεριφορά καθορίζεται εκ των προτέρων, αλλά σε περιβάλλοντα που πλησιάζουν περισσότερο τον πραγματικό κόσμο οι συμπεριφορές είναι γενικά μη απομονώσιμες. Επιπλέον, τυχαιότητες που λειτουργούν ενισχυτικά, δεν είναι εύκολο να αναγνωριστούν. Στην πραγματικότητα, μέσα στο συμπεριφοριστικό πρόγραμμα οι ενισχύουσες επιδράσεις ορίζονται εκ των υστέρων, ως συνθήκες που επέφεραν κάποια αλλαγή στην πιθανότητα πρόκλησης μιας συμπεριφοράς. Αυτό σημαίνει ότι πρώτα καταγράφεται η μεταβολή στη συχνότητα μιας συμπεριφοράς και κατόπιν αναζητείται η ενισχύουσα επίδραση που είναι υπεύθυνη γι' αυτήν. Αυτό μπορεί να ενέχει κάποιο φαύλο κύκλο. Ακόμη πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι υπάρχουν τόσα πολλά διαφορετικά συμβάντα και αντικείμενα που συνοδεύουν την κάθε συμπεριφορά, ώστε είναι αδύνατο να διακρίνουμε, μεταξύ όλων αυτών, εκείνο που λειτουργεί ενισχυτικά. Ας σημειωθεί ότι, σύμφωνα με τις αυστηρές μεθοδολογικές αρχές του συμπεριφορισμού, οι μόνες πληροφορίες που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε προκειμένου να διακρίνουμε συμπεριφορές είναι γεγονότα που σχετίζονται χωρικά και χρονικά με αυτές.

Το γενικό πρόβλημα είναι ότι, αντί να καταλήγουμε σε μιαν απλή, ένα προς ένα, αντιστοιχία μεταξύ ενός καθορίσιμου ερεθίσματος, μιας αναγνωρίσιμης συμπεριφοράς και μιας σαφούς ενισχύουσας τυχαιότητας, έχουμε αντιστοιχίες πολλών προς πολλά. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχουν νόμοι περιγραφής της συμπεριφοράς που να αντιστοιχίζουν τις συνθήκες φυσικού ερεθισμού σε συγκεκριμένες συμπεριφορικές αντιδράσεις υπό τη μορφή μιας ένα προς ένα αντιστοιχίας, όπως θα απαιτούσε ένας πρότυπος ψυχολογικός νόμος.

Μια διαφορετική, τέλος, μορφή κριτικής ασκήθηκε από το φιλόσοφο και ψυχολόγο Τζέρυ Φόντορ (Jerry Fodor). Ο Φόντορ, καθώς και ο συνάδελφός του Μπήβερ (Bever), μελέτησαν την ανθρώπινη αντίληψη της παύσης. (Το πείραμα για την αντίληψη της παύσης αναφέρεται στο Fodor, 1968, σελ. 79-89, και ο Φόντορ το χρησιμοποιεί ως επιχείρημα κατά του συμπεριφορισμού). Πρόκειται για την ικανότητα των ανθρώπων να ακούν διακοπές ή παύσεις ανάμεσα στις λέξεις που προφέρονται κατά τις διάφορες εκφωνήσεις. Οι Φόντορ και Μπήβερ επισημαίνουν ότι όταν ακούμε, π.χ., το όνομα «Bob Lees» ακούμε μια διακοπή ή παύση μεταξύ του «Bob» και του «Lees». Ωστόσο, αν εξετάσουμε τη γραφική παράσταση του ηχητικού κύματος που προκύπτει από μια φυσιολογική εκφώνηση αυτού του ονόματος, παρατηρούμε ότι η διακοπή στην ηχητική καμπύλη εμφανίζεται στην πραγματικότητα μεταξύ του «BobL» και του «ees». Αυτό σημαίνει ότι ο ακροατής αντιλαμβάνεται μια παύση που δεν αντιστοιχεί στη φυσική διακοπή της μορφής του ηχητικού κύματος. Η συμπεριφορά που σχετίζεται με την αντίληψη της παύσης δεν διαμορφώνεται από τα φυσικά χαρακτηριστικά των ηχητικών κυμάτων. Ο Φόντορ καταλήγει ότι κάποιες μεταβλητές που περιγράφουν

εσωτερικές επεξεργασίες είναι αναγκαίες για να επέλθει μια εξηγητική συσχέτιση. Αυτό συνιστά ένα επιχείρημα υπέρ της εσωτερικής επεξεργασίας ή, με άλλα λόγια, υπέρ μιας μορφής γνωσιοκρατίας.

9.4 ΓΝΩΣΙΟΚΡΑΤΙΑ (ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΣΜΟΣ)

Η σημασία που αποδόθηκε στη συνεισφορά του οργανισμού στην αντίληψη και τη γνώση οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην επανάσταση των υπολογιστών. Μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, με την εμφάνιση των πρώτων ψηφιακών υπολογιστών, που τότε αποκαλούνταν «σκεπτόμενες μηχανές», ορισμένοι ψυχολόγοι και φυσιολόγοι άρχισαν να αντιμετωπίζουν σοβαρά την ιδέα ότι μπορούν να κατασκευάσουν μοντέλα εσωτερικής επεξεργασίας. Οι υπολογιστές τούς έδειξαν ότι θα μπορούσαν να αναπαραστήσουν τις εσωτερικές διαδικασίες με λογική μορφή.

Στη θεωρία της αντίληψης, ο Τζέρομ Μπρούνερ (Jerome Bruner 1947, 1957) έγινε το πρόσωπο που συμβόλιζε τη ρήξη με τον συμπεριφορισμό. Η «νέα ματιά» στην αντίληψη είχε τουλάχιστον δύο σημαντικές πλευρές και πολλά παρακλάδια. Η αντίληψη, όπως υποστηρίχτηκε, προχωρεί πέρα από τις πληροφορίες που το περιβάλλον προσφέρει στον οργανισμό. Αντικείμενο της έρευνας έγινε η φύση των διαδικασιών μέσω των οποίων αυτό το «παραπέρα» επιτυγχάνεται. Το ερώτημα τώρα ήταν: Τι προσθέτει ο οργανισμός στις πληροφορίες που προέρχονται από τα ερεθίσματα; Μια απάντηση ήλθε όταν ο Μπρούνερ κι οι συνεργάτες του αναζωογόνησαν το ενδιαφέρον για τη μελέτη των συγκινησιακών μεταβλητών, εξετάζοντας το πώς οι αξίες, οι ανάγκες κι οι προσδοκίες επηρεάζουν τα όσα αντιλαμβανόμαστε (βλέπε Haber 1969b).

Η μελέτη συγκινησιακών παραγόντων ως αιτιών ενίσχυσης ή ανάσχεσης της αναγνώρισης, καθώς και επηρεασμού των αντιληπτικών κρίσεων, αποτέλεσε μέρος του ενδιαφέροντος για ένα θέμα που ονομάστηκε αντιληπτικό σύνολο. Θεωρητικοί και πειραματικοί ερευνητές έθεταν το ερώτημα: πώς η προγενέστερη εμπειρία και εκπαίδευση ενός οργανισμού επηρεάζει αυτό που αντιλαμβάνεται ή τον «προετοιμάζει» γι' αυτό; Γιατί μέσα σε ένα σύνολο αριθμητικών συμβόλων βλέπουμε το «13» ως δεκατρία, ενώ το ίδιο ερέθισμα, όταν συνοδεύεται από γράμματα της αλφαβήτου, αποκαλείται «Β»; Ποιος είναι ο ρόλος της προσδοκίας στην αναγνώριση αντικειμένων, και πώς μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα μοντέλο για το ρόλο που παίζει η αντιληπτική ετοιμότητα σε θέματα αναγνώρισης;

Αν και πολλές από αυτές τις μελέτες δέχτηκαν αργότερα κριτική εξαιτίας των συγχύσεων που έκαναν μεταξύ αντίληψης, προσοχής και αντιδράσεων, στη συγκεκριμένη περίοδο χρησίμευσαν πολύ στο να αφυπνίσουν το ενδιαφέρον των ψυχολόγων για τη σημασία των μηχανισμών εσωτερικής επεξεργασίας, και στο να δημιουργήσουν νέους πειραματικούς τρόπους μελέτης της μνήμης και της γνώσης.

Μια άλλη όψη που αξίζει να αναφερθεί, αν και δεν θα την εξετάσουμε καθόλου εδώ, συνίσταται στην αυξανόμενη έμφαση σε ζητήματα ανάπτυξης. Ο Μπρούνερ έπαιξε και εδώ ένα ρόλο στις μελέτες σχετικά με την ανάπτυξη των παιδικών ικανοτήτων, ωστόσο η πραγματική δύναμη πίσω από τις μελέτες της ανάπτυξης της γνώσης και της αντίληψης υπήρξε ο Ελβετός ψυχολόγος Ζαν Πιαζέ (Jean Piaget). (Η βιβλιογραφία αυτού και των συνεργατών του πάνω σε θέματα ανάπτυξης είναι ογκώδης. Ένα από τα πρώτα κλασικά έργα του, που δείχνει τη μέθοδο έρευνας και το εύρος των ενδιαφερόντων, είναι το Piaget [1926] 1959. Βλέπε επίσης το Bruner 1973.) Οι μελέτες της ανάπτυξης περιγράφουν πώς η αντίληψη του παιδιού και οι τρόποι σκέψης του για τον κόσμο αναπτύσσονται και αλλάζουν καθώς αυτό μεγαλώνει. Οι μελέτες αυτές επιχειρούν να περιγράψουν τις μεταβαλλόμενες καταστάσεις που διέρχεται το παιδί για να φτάσει σε μια «επαρκή» άποψη για τον κόσμο. Η μελέτη των εσωτερικών μηχανισμών που χαρακτηρίζουν τα διάφορα στάδια ανάπτυξης έστρεψε και πάλι την προσοχή των ψυχολόγων στη συνεισφορά του οργανισμού σε ό,τι αφορά τη μορφή και το χαρακτήρα της εμπειρίας του.

Η επικέντρωση του ενδιαφέροντος στη λειτουργία της προγενέστερης εμπειρίας και των άλλων εσωτερικών μεταβλητών προκάλεσε μια μετατόπιση της έρευνας της αντίληψης από προβλήματα διάκρισης σε προβλήματα ταύτισης και αναγνώρισης. Ποιο σύνολο προγενέστερων εμπειριών επιτρέπει σε ένα υποκείμενο να ταυτοποιήσει ή να αναγνωρίσει ταχύτερα ένα δεδομένο ερέθισμα αντικειμένου; Το επιστημονικό (ποσοτικοποιήσιμο) ερώτημα είναι: δεδομένου ότι οι συνθήκες υποβάθρου (εκπαίδευσης) ποικίλλουν, πόσο χρόνο χρειάζεται το υποκείμενο για να ταυτοποιήσει ή να αναγνωρίσει ένα ερέθισμα αντικειμένου; Το απαιτούμενο χρονικό διάστημα συσχετίζεται κατόπιν με την προηγούμενη εκπαίδευση του υποκειμένου.

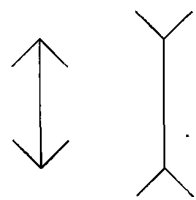
Τα πειραματικά πρότυπα για θέματα ταυτοποίησης και αναγνώρισης έγκεινται στον καθορισμό των ελάχιστων πληροφοριών και του ελάχιστου χρόνου που χρειάζεται ένα υποκείμενο για να ταυτοποιήσει ή να αναγνωρίσει κάτι που του παρουσιάζεται. Η ελαχιστοποίηση των προσφερόμενων πληροφοριών εξασφαλίζεται μέσω μικρών χρονικών διαστημάτων (π.χ. ταχυσκοπικές λάμψεις), μέσω ασαφών ή ακαθόριστων εικόνων, ή μέσω αμφίσημων ερεθισμάτων (αισθητηριακές απάτες). Η λογική αυτού του πειραματικού προτύπου είναι ότι, με το να παρέχουμε στο υποκείμενο τις ελάχιστες πληροφορίες ερεθισμού, απομονώνουμε αυτό που το ίδιο το υποκείμενο πρέπει να προσθέσει. Έτσι, ο πειραματιστής έχει τη δυνατότητα να μελετήσει αυτές τις προσθετικές ή κατασκευαστικές διαδικασίες και να επινοήσει μηχανισμούς ή μοντέλα μέσω των οποίων αυτές επιτυγχάνονται. Αυτή η πρόσφατη ενασχόληση με τους εσωτερικούς μηχανισμούς δείχνει πώς μια μετατόπιση στα θεωρητικά μοντέλα οδηγεί σε άλλου είδους προβλήματα, τα οποία οδηγούν με τη σειρά τους σε νέα πειραματικά πρότυπα.

Τα πειραματικά πρότυπα των κατασκευαστικών θεωριών, δηλαδή των θεω-

ριών επεξεργασίας πληροφοριών είναι αυτά στα οποία ελαχιστοποιείται η πληροφορία και στα οποία οι συναφείς μετρήσεις είναι χρονικές. Οι χρόνοι αντίδρασης αποτελούν τη βάση του ισχυρισμού ότι υπάρχει μια ποσοτική επιστήμη της ψυχολογίας. Με δυο λόγια, το μοντέλο του υπολογιστή έδωσε τη δυνατότητα στους ψυχολόγους να μετριάσουν τους ενδοιασμούς τους ως προς το νοητικό, ενώ η μέτρηση των χρόνων αντίδρασης τους έδωσε μια αίσθηση επιστημονικής αντικειμενικότητας.

Ένα πολύ καλό παράδειγμα κατασκευαστικής προσέγγισης στη μελέτη της αντίληψης αποτελεί η δουλειά του Ρίτσαρντ Γκρέγκορυ (Richard Gregory 1990). Ο Γκρέγκορυ πιστεύει ότι οι αντιληπτικές διαδικασίες περιγράφονται καλύτερα ως (απαγωγικές* (abductive) ή επαγωγικές) ασυνείδητες συναγωγές που επαυξάνουν τα εισερχόμενα ατελή δεδομένα. Οι διαδικασίες αυτές έχουν ως αποτέλεσμα τη διατύπωση υποθέσεων γύρω από το τι υπάρχει στον κόσμο.

Το πρόγραμμα του Γκρέγκορυ ξεκινά με τις ελάχιστες πληροφορίες. Γι' αυτόν τα αντιπροσωπευτικά πειραματικά ερεθίσματα είναι αισθητηριακές απάτες ή άλλα αμφίσημα ή φτωχά σε πληροφορίες αντικείμενα. (Οι Μπρούνερ και Πότερ (Potter 1964) χρησιμοποίησαν διαφάνειες που δεν ήταν καλά εστιασμένες. Ο Ρίτσαρντ Γκρέγκορυ έχει μια μηχανή που αυξάνει την πυκνότητα των ψηφίδων σε μια οθόνη – όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα αυτών των ψηφίδων τόσο ευκολότερη γίνεται η αναγνώριση.) Ο ίδιος επισημαίνει πως ο οργανισμός έχει την τάση να ανταποκρίνεται σε αυτά τα ερεθίσματα με τρόπο που δείχνει ότι δεν αμφιβάλλει για το τι υπάρχει στο περιβάλλον του. Ο οργανισμός δρα σαν να καθόριζε τη συμπεριφορά του ο κόσμος. Κατά συνέπεια, ο οργανισμός πρέπει να χρησιμοποιεί τις αντιληπτικές του πληροφορίες για να κάνει μια υπόθεση για το τι πραγματικά υπάρχει στον κόσμο. Οι κανόνες της επαγωγής είναι οι κανόνες επαύξησης που συγκροτούν τις ασυνείδητες συναγωγές μας. Εξάλλου, οι υποθέσεις που σχηματίζονται αντανακλούν συνήθως προγενέστερες εμπειρίες, όπως συμβαίνει, για παράδειγμα, στην οφθαλμαπάτη Μίλλερ-Λάιερ (Mueller-Lyer):



Σχήμα 9.1

* Σύμφωνα με τον Περς (Peirce) «Η απαγωγή είναι η διαδικασία σχηματισμού μιας εξηγητικής υπόθεσης. Είναι η μόνη λογική λειτουργία που εισάγει νέες ιδέες». Πρόκειται για έναν μη-παραγωγικό (non-deductive) κανόνα συναγωγής που τυπικά διατυπώνεται ως εξής:

$\forall x\, p(x) \rightarrow q(x),\ q(a) \Rightarrow p(a)$

Ο Γκρέγκορυ ισχυρίζεται πως ο οργανισμός βλέπει το βέλος Α βραχύτερο επειδή σχηματίζει την υπόθεση ότι αυτό αποτελεί την προβαλλόμενη ακμή μιας τριδιάστατης γωνίας· ενώ για το βέλος Β, που φαίνεται μακρύτερο, υποθέτει ότι αποτελεί την ακμή μιας στερεάς γωνίας που κλίνει στο βάθος απέναντι. Αν κοιτάξετε τη γωνία ενός δωματίου στη γραμμή που συναντώνται δύο τοίχοι, αυτή φαίνεται περίπου όπως το βέλος Β, όπου οι προεκτάσεις συνιστούν τις γραμμές που σχηματίζονται από το ταβάνι και το πάτωμα.

Ο Γκρέγκορυ επιχειρεί δύο πράγματα με αυτή την εξήγηση. Ισχυρίζεται πως όταν αντιλαμβανόμαστε τις γραμμές Μίλλερ-Λάιερ, σχηματίζουμε μια υπόθεση που βασίζεται αφ' ενός στα οπτικά δεδομένα από τις γραμμές και αφ' ετέρου σε πληροφορίες που αφορούν εμπειρίες μας από τριδιάστατα αντικείμενα, όπως οι γωνίες δωματίων. Αυτές οι τελευταίες πληροφορίες αναγκάζουν τον οργανισμό να υποθέσει, αφού δεχθεί τα ερεθίσματα των γραμμών, ότι αυτά είναι όντως ακμές (ή παραστάσεις) τριδιάστατων αντικειμένων. Αφού σχηματιστεί αυτή η υπόθεση, ο οργανισμός κάνει την επιπλέον συναγωγή ότι, εφόσον το σύνολο των γραμμών Β είναι πιο απομακρυσμένο από το σύνολο των γραμμών Α, το Β πρέπει να είναι μεγαλύτερο. Έτσι, ο οργανισμός κάνει ασυνείδητα μια διόρθωση της σταθεράς μεγέθους για να φαίνεται μεγαλύτερη η γραμμή Β, και κατόπιν βιώνει την ίδια ως μεγαλύτερη.

Η κρυφή προκείμενη εδώ είναι ότι πρώτα ο οργανισμός βλέπει, κατά κάποιο τρόπο ασυνείδητα, τις Α και Β ως ισομεγέθεις, και κατόπιν, με τη βοήθεια της υπόθεσης ότι οι γραμμές αναφέρονται σε τριδιάστατα αντικείμενα, εφαρμόζει μια συνάρτηση διόρθωσης που αφορά την απόσταση της σταθεράς μεγέθους ώστε να βιώσει το Β ως μεγαλύτερο. Η συμπλήρωση των λεπτομερειών της θεωρίας που μόλις κάναμε, αποκαλύπτει το σημαντικότερο μειονέκτημα κατασκευαστικής θεωρίας του Γκρέγκορυ περί σχηματισμού υποθέσεων. Φαίνεται να μην υπάρχει καμιά περιγραφή του πώς σχηματίζονται τέτοιες υποθέσεις η οποία να είναι συνεπής ή να στηρίζεται σε κάποιες αρχές. Δεν είμαστε ποτέ σίγουροι για το ποια υπόθεση διατυπώνεται ή για το αν είναι απαραίτητη μια υπόθεση ή ένα σύνολο υποθέσεων.

Ο Γκρέγκορυ πολύ συχνά ξεκινά το σχεδιασμό των πειραμάτων με μια καλά καθορισμένη αισθητηριακή απάτη ή αμφίσημο αντικείμενο και με μια καλά καθορισμένη παραδοχή γύρω από προηγούμενες εμπειρίες ή σχετικές συμπεριφορές του οργανισμού. Η υπόθεση που αποδίδεται στον οργανισμό ορίζεται, ποιοτικά, με ό,τι είναι αναγκαίο προκειμένου να αντιστοιχηθεί το προκαθορισμένο ερέθισμα στην περιγραφόμενη αντίδραση. Αυτό θυμίζει επικίνδυνα τη νοησιαρχική ad hoc μέθοδο που τόσο ενοχλούσε τον Σκίνερ. Πράγματι, πολλές από τις

Δηλαδή, από τις προκείμενες
1) για κάθε x, εάν το x έχει την ιδιότητα p τότε το x έχει την ιδιότητα q και
2) το a έχει την ιδιότητα p,
μπορούμε να συναγάγουμε ότι το a έχει την ιδιότητα p [Σ.τ.Μ.]

συναγωγές και τις υποθέσεις του Γκρέγκορυ είναι παρόμοιες με τη virtus dormitiva του Μολιέρου.

Παρ' ότι το έργο του Γκρέγκορυ εγείρει κάποια μεθοδολογικά προβλήματα, δεν παύει να κινείται προς μια νέα κατεύθυνση για την αναζήτηση απαντήσεων σε ζητήματα αντίληψης. Οι προσπάθειες να επιτευχθεί η μετάβαση από ποιοτικές σε ποσοτικές μελέτες των μεταβλητών εσωτερικής επεξεργασίας έχουν επιφέρει κάποιες αλλαγές. Το έργο των Φρεντ Άτνηβ (Fred Attneave 1971) και Τζούλιαν Χόχμπεργκ (Julian Hochberg 1968, 1978) έχει παρόμοιες προθέσεις με το έργο του Γκρέγκορυ, αλλά είναι πολύ προσεκτικότερο στην εκτέλεσή του. Και οι δύο ερευνητές χρησιμοποίησαν τα ίδια πειραματικά πρότυπα με τον Γκρέγκορυ για να απομονώσουν κάποιες από τις λεπτομέρειες που έχουν να κάνουν με τη συνεισφορά του οργανισμού. Ο Χόχμπεργκ έχει δημοσιεύσει πολλές μελέτες για το χαρακτήρα των σχημάτων, των χαρτογραφήσεων και των σχεδίων που κάνει ο οργανισμός. Η αντίληψη, σύμφωνα με αυτές τις μελέτες, αρχίζει από τη στιγμή που ο οργανισμός οικειοποιείται ένα σύνολο διαδοχικών στιγμιαίων εμφανίσεων. Αυτές οι εμφανίσεις κατόπιν προσαρμόζονται μέσω κωδικοποίησης σε μια προϋπάρχουσα σχηματική δομή. Η δομή «συμπληρώνει» τα κενά ανάμεσα στις στιγμιαίες εμφανίσεις και, το σημαντικότερο, παρέχει την οργανωτική αρχή βάσει της οποίας αυτές κωδικοποιούνται κι αποθηκεύονται. Μια τέτοια αρχή είναι απαραίτητη, όπως υποστηρίζεται, προκειμένου να αποφευχθεί μια χαοτική ή τυχαία κατανεμημένη αποθήκευση.

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των θεωρητικών που επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους στη συνεισφορά του οργανισμού είναι η έμφαση, σχεδόν αποκλειστικά, σε εξηγήσεις που αφορούν τη φύση και τη λειτουργία των σχημάτων και τους συναφείς μηχανισμούς εσωτερικής επεξεργασίας. Τα «σχήματα» ή κάποιο λειτουργικά ισοδύναμο μοντέλο είναι ο πιο σημαντικός εξηγητικός όρος στις κατασκευαστικές θεωρίες. Τα σχήματα εισάγονται για να κάνουν ό,τι δουλειά μπορεί να φανταστεί κανείς. Φτάνει να θυμηθούμε ότι λέξεις όπως «σχήμα», «διαμόρφωση», «σχηματικός χάρτης», «παράδειγμα», «υπόθεση», «σενάριο», «θεωρία» και «δίκτυο» χρησιμεύουν, όλες, για να ονομάσουν μεταβλητές εσωτερικής επεξεργασίας.

Μια πρόσφατη επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας δείχνει ότι στα σχήματα και στους συγγενείς με αυτά όρους έχουν αποδοθεί ικανότητες που τους επιτρέπουν να επιτελούν τις ακόλουθες λειτουργίες:

1. Ταύτιση
2. Αναγνώριση
3. Κατανόηση
4. Κατηγοριακή κωδικοποίηση
5. Αποθήκευση και ανάκτηση μνήμης
6. Αρχική επιλογή εισόδων: προσοχή, ετοιμότητα, διαμόρφωση
7. Συναγωγές, συνεπαγωγές και συνέπειες

8. Προσδοκίες και προβλέψεις
9. Διεύθυνση δράσης: σχέδια δράσης, συστήματα καθοδήγησης συμπεριφοράς
10. Συντονισμός πληροφοριών μεταξύ λειτουργιών
11. Συντονισμός της αντίληψης με τη «γλώσσα» του συστήματος

(Αντιπροσωπευτικές εργασίες και επισκοπήσεις σχετικά με τις έννοιες του σχήματος, του σεναρίου κ.ο.κ. μπορεί να βρει κανείς στα Neisser 1976, Abelson 1981, Murphy and Medin 1985.)

Με γενικότερους όρους, σχήματα είναι οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για να εξηγηθεί γιατί μια εισερχόμενη πληροφορία έχει νόημα ή σπουδαιότητα για τον οργανισμό. Κατά κάποιον τρόπο, δίδεται νόημα στην πληροφορία μέσω του ρόλου που αυτή παίζει στις σχηματικές δομές.

Άλλα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να εξηγήσουν οι θεωρίες περί σχημάτων, είναι:

12. το πώς τα σχήματα μεταβάλλονται κατά την ανάπτυξη του οργανισμού·
13. το πώς αυτά επιδέχονται τροποποιήσεις ενόσω ο οργανισμός επαναπροσάγει δεδομένα, μαθαίνει (με νομοειδείς τρόπους) από νέα δεδομένα και ενδοσκοπεί·
14. η ικανότητα διάκρισης συνειδητού - ασυνειδήτου·
15. ο χειρισμός της διάκρισης γνώσης - πεποίθησης ή γνώμης.

Τέλος, κάποιοι επιστήμονες από το χώρο της γνωσιακής ψυχολογίας αξιώνουν ότι

16. μόνο υπολογιστικές (και άρα υπολογίσιμες) λειτουργίες πρέπει να συνδέουν τα στοιχεία (κόμβους) των σχημάτων, καθώς και τα διάφορα σχήματα μεταξύ τους.

Συνήθως αυτή η τελευταία απαίτηση σημαίνει ότι τα σχήματα, καθώς και οι κανόνες που περιγράφουν τη λειτουργία τους, μπορούν να παρασταθούν με τη βοήθεια κάποιας γλώσσας ψηφιακού υπολογιστή.

Ο παραπάνω κατάλογος παρουσιάζει ορισμένα μόνο από τα χαρακτηριστικά των σχημάτων που έχουν εξετάσει οι ψυχολόγοι. Ο πολύμορφος αυτός κατάλογος δείχνει πως η φύση και η λειτουργία των σχημάτων δεν είναι σαφής. Συχνά, μάλιστα, είναι ασαφής και ο ακριβής μηχανισμός μέσω του οποίου ένα σχήμα επιτελεί την *οποιαδήποτε* από αυτές τις λειτουργίες. Επιπλέον, παραμένει ασαφές το πώς ένας μηχανισμός θα μπορούσε να παίξει περισσότερους ή και όλους τους παραπάνω ρόλους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, κάποιες ιδιότητες που μοιάζουν αναγκαίες για την εκτέλεση ενός έργου είναι αντιθετικές προς ιδιότητες που φαίνονται αναγκαίες για την εκτέλεση κάποιου άλλου. Εφόσον δε αυτό που κάθε φορά κάνουμε, ή πάνω στο οποίο επενεργούμε, δεν ταυτίζεται πάντα με το

επίκεντρο της προσοχής μας, η λειτουργία του σχήματος ως επιλογέα προσοχής και ταυτόχρονα ως σχεδιαστή δράσης φαίνεται εξαιρετικά δύσκολη.

Όλες αυτές οι πολύπλευρες απαιτήσεις για τα σχήματα φαίνεται να προέρχονται από την απόρριψη του συμπεριφορισμού. Οι υποστηρικτές του κατασκευαστισμού, της γνωσιοκρατίας και του αιτήματος για μηχανισμούς επεξεργασίας πληροφοριών, έχοντας παρατηρήσει την ανάγκη για εσωτερικές μεταβλητές, έδωσαν έμφαση μόνο σε αυτές αποκλείοντας όλες τις υπόλοιπες. Τα ερεθίσματα που επηρεάζουν τον οργανισμό, το περιβάλλον μέσα στο οποίο αυτός βρίσκεται, καθώς και οι διάφορες συμπεριφορές του είναι, από θεωρητική άποψη, άνευ σημασίας γι' αυτούς. Είδαμε, για παράδειγμα, πώς εκφυλίστηκε το ερέθισμα, με τρόπο που δεν φαίνεται να αντιστοιχεί στα πράγματα, στην ταχυσκοπική στιγμή, την αισθητηριακή απάτη και τη στιγμιαία εμφάνιση.

Η μονόπλευρη αφοσίωση των συμπεριφοριστών σε περιγραφές φανερών συμπεριφορών έχει χάσει πλέον την εξηγητική της προτεραιότητα. Για τους γνωσιοκράτες, η συμπεριφορά εξηγείται μέσω σχημάτων. Στο βαθμό που η τελευταία μπορεί να βρει, από μεθοδολογική άποψη, κάποια ειδική θέση, παραμένει η κύρια βάση τεκμηρίωσης για την απόδοση σχημάτων και άρα για την κατασκευή θεωριών. Πιο σημαντικό, ωστόσο, είναι το ότι έχει αλλάξει και η κλάση των συμπεριφορών που ενδιαφέρουν τους ψυχολόγους. Έτσι, η επίλυση προβλημάτων και οι διαδικασίες σκέψης και συλλογισμού θεωρούνται σήμερα ως οι περισσότερο σημαντικές.

Υπάρχουν ακόμη πολλά πράγματα που μπορεί να πει κανείς για τη συνεισφορά του οργανισμού στην αντίληψη. Φαίνεται εύλογο το να εκλάβουμε τις σχηματικές μεταβλητές και την εσωτερική επεξεργασία ως σημαντικές και επιπροσθέτως να τις καταστήσουμε κεντρικές σε πολλές περιπτώσεις, όπως στη διαδικασία σκέψης και στην επίλυση προβλημάτων. Ο ακριβής καθορισμός αυτών των μεταβλητών και η απομόνωση των προβλημάτων που προκύπτουν από τα σχήματα, όπως, για παράδειγμα, το εάν αυτά είναι εικονιστικά, προτασιακά ή διαδικασιακά, βρίσκονται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος της έρευνας και τροφοδοτούν τις κύριες διαμάχες στο χώρο της σύγχρονης ψυχολογίας.

9.5 ΡΕΑΛΙΣΜΟΣ

Τόσο ο συμπεριφορισμός όσο και η γνωσιοκρατία υποβάθμισαν το ρόλο των ερεθισμάτων και του περιβάλλοντος. Για τους συμπεριφοριστές, τα ερεθίσματα δεν αποτελούσαν πρόβλημα, αφού συνιστούσαν απλώς ό,τι διέκρινε ο συμπεριφερόμενος οργανισμός. Γενικά, οι πειραματικές συνθήκες υπό τις οποίες προκαλείται η συμπεριφορά είχαν τόσο προσεκτικά προδιαγραφεί, ώστε ουσιαστικά να μην τίθεται καν υπό αμφισβήτηση η φύση των ερεθισμάτων που διακρίνονταν. Το ράμφισμα ενός στόχου ή το πάτημα μιας ράβδου μπορούσαν, χωρίς κανένα πρόβλημα, να απομονωθούν και να περιγραφεί ο ρόλος τους. Επιτομή αυ-

τής της παραμέλησης των ερεθισμάτων ήταν το γεγονός ότι σε ορισμένα παραδείγματα εκμάθησης, όπως π.χ. στο τρέξιμο μέσα σε λαβύρινθο, κανένα απολύτως ερέθισμα δεν αποτελούσε μέρος του σχεδιασμού.

Αλλά και η γνωσιοκρατία (κατασκευαστισμός) δεν έβρισκε κανένα πρόβλημα με τα ερεθίσματα, αφού σχεδόν καθετί που είχε ψυχολογικό ενδιαφέρον συνέβαινε εσωτερικά. Ερέθισμα ήταν οτιδήποτε μέσα από το περιβάλλον έδινε το έναυσμα για εσωτερική επεξεργασία. Κανένας από τους πειραματικούς σχεδιασμούς δεν έθετε ως πρόβλημα την απομόνωση ή την αναγνώριση των ερεθισμάτων. Ένα υποκείμενο που βρίσκεται με ακινητοποιημένο το κεφάλι σε μια προκαθορισμένη θέση μέσα σε κάποιο σκοτεινό δωμάτιο ανταποκρίνεται σε μια αστραπιαία προβαλλόμενη μορφή. Ο πειραματιστής έχει σχεδόν πλήρη έλεγχο πάνω στο τεχνητά δημιουργημένο ερέθισμα. Η πολυπλοκότητα του πραγματικού κόσμου δεν υπεισέρχεται σε αυτούς τους πειραματικούς σχεδιασμούς.

Ενάντια σ' αυτήν την παράδοση παραμέλησης των ερεθισμάτων, σημαντικότερο θεωρείται το έργο του Γκίμπσον (Gibson) και όσων επηρεάστηκαν απ' αυτόν (Gibson, 1950, 1966, 1979). Αρχίζοντας κατά τη δεκαετία του '50, ο Γκίμπσον τόνισε τη σπουδαιότητα των ερεθισμάτων και άσκησε κριτική σε όλες τις θεωρίες που υποστήριζαν ότι τα αισθήματα (percepts) ή τα αντιληπτικά βιώματα κατασκευάζονταν μέσα από τα δεδομένα των αισθήσεων. Οι αισθήσεις, όπως υποστήριξε, παίζουν ρόλο στην αντίληψη.

Ο Γκίμπσον επικέντρωσε το ενδιαφέρον του στην αναγνώριση σημαντικών ή προεξεχουσών πλευρών και συμβάντων στο περιβάλλον του αντιληπτικού υποκειμένου (perceiver). Εξέτασε τους τρόπους με τους οποίους οι πληροφορίες ήταν διαθέσιμες στο περιβάλλον, και επιχείρησε ν' απομονώσει όσες πλευρές των σύνθετων δομών προκαλούσαν την αντίδραση του οργανισμού. Αφού δεν υπήρχε κανένα επαρκές λεξιλόγιο για να περιγράψει τις πλευρές αυτές, ο Γκίμπσον εισήγαγε ένα νέο θεωρητικό και περιγραφικό λεξιλόγιο, αυτό της «οικολογικής επιστήμης» (ecological science).

Για παράδειγμα, ο Γκίμπσον υποστήριξε ότι η αντίληψη του βάθους δεν προκύπτει από τριγωνισμό που βασίζεται σε νευρικές εντυπώσεις (σύγκλιση), ούτε από υπολογισμούς με βάση τη διοπτρική διαφορά. Ο Γκίμπσον στράφηκε στον πραγματικό κόσμο και επεσήμανε πως οι επιφάνειες είχαν από μόνες τους υφή. Μια ομαλή επιφάνεια χωρίζεται σε κανονικά, λίγο ώς πολύ, στοιχεία προτύπων χρωμάτων ή βαθμών φωτεινότητας. Ας θεωρήσουμε μια επιφάνεια με υφή που βρίσκεται στο οπτικό πεδίο ενός αντιληπτικού υποκειμένου: ομαλές μεταβολές στα μεγέθη ή στις πυκνότητες των στοιχείων που συγκροτούν την υφή αυτής της επιφάνειας (βαθμίδες υφής) είναι ανάλογες προς τις συναφείς αποστάσεις. Έτσι, εάν τα αντιληπτικά υποκείμενα ήταν πράγματι συντονισμένα με τις επαρκώς ομαλές μεταβολές αυτών των στοιχείων, τότε θα αντιλαμβάνονταν άμεσα τη σχετική απόσταση.

Για να φανεί η ιδέα της βαθμίδας υφής (Gibson 1966, Rosinski 1977), ας εξετάσουμε μόνο τη στατική μονοπτρική αντίληψη του βάθους, που αποκλείει τη

χρήση ενδείξεων όπως η διοπτρική διαφορά και η σύγκλιση ως μέσο για την αντίληψη του βάθους.

Φανταστείτε κάποιο αντικείμενο πάνω σε ένα πάτωμα με πλακίδια τετραγωνικού σχήματος, σαν αυτά που χρησιμοποιούνταν στα αναγεννησιακά κτίρια. Από τη σκοπιά του αντιληπτικού υποκειμένου, το πάτωμα θα φαίνεται προοπτικά όπως στο σχήμα 9.2.

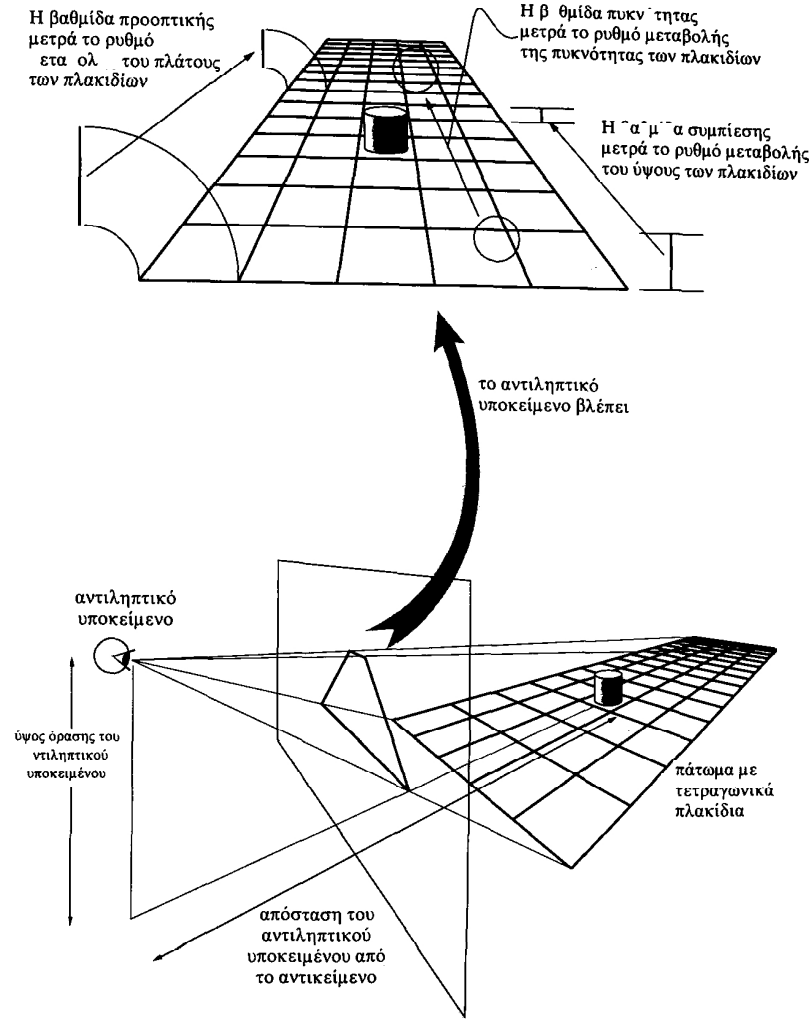
Η οπτική γωνία την οποία κάθε τετράγωνο, ή στοιχείο, σχηματίζει με το μάτι του αντιληπτικού υποκειμένου μεταβάλλεται και γίνεται μικρότερη καθώς το μάτι εστιάζει σε πιο απομακρυσμένα στοιχεία. Η βαθμίδα ορίζεται ως ο ρυθμός μεταβολής των διαστάσεων αυτών των στοιχείων. Τρεις διαφορετικές ιδιότητες των στοιχείων στην εικόνα μας εμφανίζουν αυτόν το ρυθμό μεταβολής στο μέγεθός τους. Το ύψος και το πλάτος κάθε στοιχείου μειώνεται, ενώ ο αριθμός των στοιχείων που περιλαμβάνονται στην ίδια οπτική γωνία (πυκνότητα) αυξάνεται.

Ο ρυθμός μεταβολής αυτών των στοιχείων είναι ανάλογος προς τη σχετική απόσταση του αντιληπτικού υποκειμένου από το αντικείμενο. Έτσι, καθώς το ύψος, το πλάτος και η συμπίεση των στοιχείων (διαρκώς) ελαττώνονται, η απόσταση του αντικειμένου από το αντιληπτικό υποκείμενο γίνεται όλο και μεγαλύτερη.

Το αντιληπτικό υποκείμενο συλλέγει πληροφορίες για το ρυθμό μεταβολής αυτών των στοιχείων την ίδια ακριβώς στιγμή που αντιλαμβάνεται το μακρινό αντικείμενο. Οι πληροφορίες σχετικά με την απόσταση καθορίζονται από τις βαθμίδες. Σε πειραματικές δοκιμές, αντιληπτικά υποκείμενα επέδειξαν πολύ μεγάλη ακρίβεια στις κρίσεις τους όσον αφορά τόσο τη σχετική όσο και την απόλυτη απόσταση. Το συμπέρασμα, συνεπώς, ήταν ότι τα αντιληπτικά υποκείμενα αποκτούσαν πληροφορίες για την απόσταση μέσω της άμεσης παρακολούθησης των μεταβλητών των βαθμίδων υφής. Οι βαθμίδες υφής αποτελούν δείγμα των πολύπλοκων μεταβλητών του Γκίμπσον, που προσδιορίζουν τις πληροφορίες από το περιβάλλον. Δεν υπάρχει κανένα είδος υπολογισμού με βάση τις αισθήσεις· απλώς το αντιληπτικό υποκείμενο συλλέγει πληροφορίες για τις αποστάσεις από το περιβάλλον.

Η μελέτη του παραδείγματος με το αναγεννησιακό πάτωμα αναδεικνύει ορισμένα ενδιαφέροντα θεωρητικά ζητήματα. Πρώτον, τα πλακίδια είναι ομοιόμορφα σε μέγεθος. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η ακρίβεια της αντίληψης των αποστάσεων είναι υψηλή. Για άλλες όμως επιφάνειες του περιβάλλοντος δεν μπορούμε να αναμένουμε μια τόσο τακτική και ομοιόμορφη κατανομή των στοιχείων. Ωστόσο πολλές επιφάνειες πλησιάζουν μια τέτοια κατανομή. Φανταστείτε μια έκταση με γκαζόν. Στην πράξη (δηλαδή μέσα στα όρια της αντιληπτικής ακρίβειας που απαιτείται από τους περισσότερους οργανισμούς στις περισσότερες περιπτώσεις), η κατανομή των φύλλων της χλόης μπορεί να θεωρηθεί ομοιόμορφη. Βαθμίδες υφής μπορούν να οριστούν επί αυτής της κατανομής.

Όταν τα στοιχεία είναι λιγότερο ομοιόμορφα σε μέγεθος ή όταν η κατανομή τους πάνω στην επιφάνεια δεν είναι τόσο κανονική, τότε αναμένουμε μια λιγό-



Σχήμα 9.2 Προοπτική άποψη ενός πατώματος με τετραγωνικά πλακίδια.

τερο αξιόπιστη αντίληψη της απόστασης. Κάτι τέτοιο πράγματι συμβαίνει. Η ακρίβεια σχετίζεται άμεσα με την ομοιομορφία και την κανονικότητα των στοιχείων της υφής (βλέπε Wohwill 1963 και Flock and Moscatelli 1964). Τα λάθη είναι ευθέως ανάλογα προς το βαθμό μεταβλητότητας που παρουσιάζουν τα στοιχεία.

Η αντίληψη επικείμενων συγκρούσεων ή προδιαγραφόμενων φαινομένων –ένα διαφορετικό παράδειγμα μιας σύνθετης μεταβλητής υψηλότερης τάξης– φανερώνει μια άλλη σημαντική διάσταση της θεωρίας του Γκίμπσον περί ερεθισμάτων (Schiff 1965 και Rosinski 1978). Πολλές από τις μεταβλητές που συλλέγονται άμεσα από τον αντιληπτικό οργανισμό ορίζονται ως συνάρτηση του χρόνου.

Ένας αρουραίος μπορεί να αρχίσει να αντιλαμβάνεται κάποιο σκοτεινό αντικείμενο με διαρκώς αυξανόμενο μέγεθος στο οπτικό του πεδίο, καθώς μια κουκουβάγια εφορμά με ταχύτητα για να τον αρπάξει. Όταν ένας παρατηρητής κινείται προς ένα αντικείμενο, ή όταν το αντικείμενο κινείται προς τον παρατηρητή, τότε αυτό αρχίζει να κυριαρχεί μέσα στο οπτικό του πεδίο, καθώς η μεταξύ τους απόσταση μειώνεται. Ο ρυθμός μεταβολής μιας συμμετρικής επέκτασης στο οπτικό πεδίο του αντιληπτικού οργανισμού καθορίζει μια σύνθετη μεταβλητή που παρακολουθείται από τον οργανισμό όταν αυτός αντιλαμβάνεται πότε θα συγκρουστεί με το αντικείμενο.

Εάν $\mathring{a}_1$ είναι το γωνιακό μέγεθος του αντικειμένου στο χρόνο t_1 και $\mathring{a}_2$ το γωνιακό του μέγεθος σε έναν μεταγενέστερο χρόνο t_2, τότε ο χρόνος σύγκρουσης (TC) δίδεται από τον τύπο:

$$TC=\mathring{a}_1/((\mathring{a}_2-\mathring{a}_1)/(t_2-t_1))$$

για κίνηση με σταθερή ταχύτητα. Κατά προσέγγιση, διατηρώντας την ταχύτητα σταθερή, οι διαφορές στα φαινόμενα μεγέθη καθορίζουν ένα ρυθμό μεταβολής σε σχέση με το χρόνο. Ο οργανισμός ανταποκρίνεται σ' αυτούς τους ρυθμούς, προσδιορίζοντας πότε η απόσταση μεταξύ του αντικειμένου και του ίδιου γίνεται μηδενική.

Έχει επίσης αποδειχθεί πειραματικά ότι, για διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής, υπάρχουν χρονικά διαφορετικές αντιδράσεις αποφυγής. Δηλαδή, οι οργανισμοί αλλάζουν κατεύθυνση γρηγορότερα αν το αντικείμενο που θα συγκρουστεί μαζί τους κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα. Σε πειράματα με κοτόπουλα, μια μορφή αντικειμένου που επεκτεινόταν με τέτοιο ρυθμό ώστε η σύγκρουση να προδιαγράφεται σε 4 δευτερόλεπτα, οδήγησε σε συμπεριφορά αποφυγής σε 3 - 3,5 δευτερόλεπτα. Και μορφές επέκτασης που καθόριζαν τη σύγκρουση στα 1,75 δευτερόλεπτα, οδήγησαν σε συμπεριφορά αποφυγής σε 1,4-1,6 δευτερόλεπτα.

Ο οργανισμός αντιλαμβάνεται ως συμμετρικό μέσα στο οπτικό του πεδίο το επεκτεινόμενο σχήμα, που καθορίζει τη διογκούμενη μορφή ή το χρόνο σύγκρουσης. Αν εστιάσουμε το βλέμμα μας στο κέντρο του επερχόμενου αντικειμένου, τότε το μέγεθός του αυξάνεται εξίσου και από τις δύο πλευρές αυτού του σημείου. Αν το αντικείμενο δεν επεκτείνεται συμμετρικά, τότε στρέφεται προς τη μία από τις δύο πλευρές. Πειράματα σε νήπια έδειξαν ότι αυτά μπορούν να αντιλαμβάνονται διαφορές ανάμεσα σε διογκώσεις που καθορίζουν σύγκρουση και σ' εκείνες που αστοχούν για λίγο (Rosinski 1977).

Η σημαντική πλευρά της μεταβλητής διόγκωσης (η διαθεσιμότητά της

(affordance)*) για έναν οργανισμό είναι ότι αυτή εκλαμβάνεται να σημαίνει «χρόνος σύγκρουσης». Ο Γκίμπσον και οι οπαδοί του υποστηρίζουν ότι ο αντιληπτικός οργανισμός αντιδρά άμεσα στην πληροφορία TC, δηλαδή δεν καταγράφει πρώτα τα υποτιθέμενα συγκροτητικά στοιχεία της αντίστοιχης πληροφορίας και υπολογίζει κατόπιν το χρόνο σύγκρουσης. Ο Γκίμπσον διατείνεται ότι το αντιληπτικό σύστημα του οργανισμού είναι συντονισμένο σε αυτήν τη σύνθετη μεταβλητή και «συνηχεί», υπό τις κατάλληλες συνθήκες, στην παρουσία της στο περιβάλλον. Η μεταβλητή ορίζεται πλήρως με φυσικούς όρους και θεωρείται πως είναι μια αντικειμενική ιδιότητα του περιβάλλοντος.

Η σημασία της πληροφορίας που μεταφέρεται από τη μεταβλητή διόγκωσης για τη διαδικασία εξέλιξης του οργανισμού είναι ολοφάνερη εφόσον αναφέρεται σε αρπακτικά και συγκρούσεις. Παρόμοιες πληροφορίες χρησιμοποιούνται από πιλότους, παίκτες του μπέιζμπωλ, και φανατικούς του βόλεϋ στην παραλία. Ωστόσο, σ'αυτές τις τελευταίες περιπτώσεις οι αντιδράσεις πρέπει να καλλιεργηθούν. Δεν φαίνεται ότι μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα όλες οι περιπτώσεις αντίληψης, και ιδιαίτερα όσες ενέχουν πολιτισμικές κατηγορίες, στο εξηγητικό πλαίσιο της άμεσης αντίληψης που προτείνει ο Γκίμπσον.

Οι μεταβλητές των βαθμίδων υφής και της διόγκωσης αποτελούν παραδείγματα ορισμένων περιβαλλοντικών μεταβλητών υψηλότερης τάξης που προτείνει ο Γκίμπσον. Ο ίδιος ισχυρίζεται ότι οι οργανισμοί, ενόσω αντιλαμβάνονται, συλλέγουν πληροφορίες από το περιβάλλον με το να αποσπούν από αυτό μεταβλητές τέτοιου είδους. Έτσι, οι οργανισμοί επηρεάζονται άμεσα από το περιβάλλον, και η καλύτερη περιγραφή για το τι είναι αυτό μέσα στο περιβάλλον που τους επηρεάζει δίδεται απ' αυτές τις μαθηματικά σύνθετες μεταβλητές. Παρ' όλα αυτά, οι φυσικές καταστάσεις στις οποίες αναφέρονται τέτοιου είδους μεταβλητές δεν είναι πραγματικά σύνθετες. Πρόκειται απλώς για εκείνες τις δομές του περιβάλλοντος που είναι σημαντικές για τον οργανισμό που αντιλαμβάνεται.

9.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Από αυτή την επισκόπηση των βασικών τύπων θεωριών στην αντιληπτική ψυχολογία θα πρέπει να έχει γίνει φανερό ότι ο υπερτονισμός ενός μόνο τύπου εξηγητικής μεταβλητής είναι πολύ περιοριστικός για την ανάπτυξη μιας επαρκούς

---

* Πολύ σημαντικός όρος στη θεωρία του Γκίμπσον. Στο βιβλίο του *The Ecological Approach to Visual Perception* εξηγεί τον όρο ως εξής: «Οι *διαθεσιμότητες* του περιβάλλοντος είναι αυτό που το περιβάλλον *προσφέρει* στο ζώο, που *προμηθεύει* ή *εφοδιάζει*, για καλό ή για κακό. Το ρήμα *to afford* υπάρχει στο λεξικό, ενώ το ουσιαστικό *affordance* δεν υπάρχει. Το επινόησα. Με αυτό εννοώ κάτι που αναφέρεται τόσο στο περιβάλλον όσο και στο ζώο με έναν τρόπο που κανείς από τους υπάρχοντες όρους δεν το κάνει. Ο όρος υπονοεί την συμπληρωματικότητα του ζώου και του περιβάλλοντος.» [Σ.τ.Μ.]

θεωρίας. Ο συμπεριφορισμός, εστιάζοντας μόνο σε φανερές συμπεριφορές, υποβαθμίζει το ρόλο του περιβάλλοντος και του οργανισμού. Η γνωσιοκρατία υποβαθμίζει το ρόλο του περιβάλλοντος και δεν κατορθώνει να εξηγήσει θεωρητικά γιατί οι εκάστοτε συμπεριφορές είναι οι αρμόζουσες. Ο ρεαλισμός, με τους μηχανισμούς άμεσης συλλογής πληροφοριών που υποστηρίζει, αγνοεί τα όσα προσθέτει ο οργανισμός σε ό,τι έχει ήδη βιώσει.

Μια προσπάθεια να δημιουργηθεί απευθείας μια επαρκής θεωρία θα ενέτασσε όλες αυτές τις μεταβλητές σε μια ενιαία θεώρηση, και θα προσπαθούσε να αποκαταστήσει τις σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ τους. Κάποιοι ψυχολόγοι έχουν ήδη επιχειρήσει να επεξεργαστούν τέτοιες ευρύτερες θεωρίες. Ωστόσο κανένα θεωρητικό μοντέλο δεν ενσωματώνει προς το παρόν όλες τις σημαντικές μεταβλητές της αντιληπτικής ψυχολογίας, πολύ περισσότερο δε τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε άλλες περιοχές έρευνας της πειραματικής ψυχολογίας.

Οι πειραματικοί ψυχολόγοι συχνά περιφρονούν όσους συναδέλφους τους ασχολούνται ρητά με τη θεωρητικοποίηση. Ωστόσο, όπως έχουμε ήδη επισημάνει, τα πειραματικά πρότυπα αντανακλούν πολύ συχνά τη θεωρία που ο ψυχολόγος ασπάζεται άρρητα. Έτσι, παρουσιάζεται μια πραγματική ευκαιρία στους φιλοσόφους της ψυχολογίας να επηρεάσουν, κατά τρόπο αποτελεσματικό αλλά και ευπρόσδεκτο, το πεδίο της πειραματικής ψυχολογίας. Για να είναι αποτελεσματικοί ωστόσο, πρέπει αφ' ενός να γνωρίζουν το έργο των ψυχολόγων, και αφ' ετέρου να έχουν φιλοσοφική ευαισθησία σε θέματα θεωρίας και πειράματος. Με βάση αυτή τη γνώση και ευαισθησία, μπορούν να συνεισφέρουν ουσιαστικά τόσο στην ανάπτυξη ενός επαρκούς θεωρητικού μοντέλου που να ενσωματώνει τις αναγκαίες μεταβλητές όσο και στην εξέταση και ανάπτυξη των πειραματικών προτύπων που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων και τη δοκιμή θεωριών.

Για λόγους πληρότητας, θα πρέπει να επισημανθεί ότι, πέραν των μεταβλητών που συζητήθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο, μια επαρκής θεωρία πρέπει να περιλαμβάνει και ένα αναπτυξιακό μοντέλο που να δείχνει τον τρόπο με τον οποίο οι διάφορες πλευρές που παρουσιάζει η ψυχολογική λειτουργία ενός οργανισμού αλλάζουν με το χρόνο. Επιπλέον, μια επαρκής θεωρία πρέπει να αντιμετωπίζει το θέμα των συγκινήσεων και των συναισθημάτων (με τον τρόπο που συζητήθηκε στην παράγραφο 9.1) και να διερευνά το πώς αυτή η διάσταση της ανθρώπινης εμπειρίας έχει τη θέση της στη συζήτηση περί αντίληψης και γνώσης.

Ο σπουδαστής που ενδιαφέρεται για τη φιλοσοφία της ψυχολογίας πρέπει να ενημερώνεται και για τις άλλες περιοχές έρευνας που προσφέρονται για παραπέρα εξερεύνηση. Ήδη υπάρχουν πολλές εντυπωσιακές εργασίες υψηλής ποιότητας που συσχετίζουν την ψυχολογία με την επιστήμη της πληροφορικής και με την τεχνητή νοημοσύνη, καθώς και με τη νευροβιολογία και τη φυσιολογία. Νέες προσεγγίσεις σε θεωρητικά και πειραματικά θέματα εμφανίζονται στην

ψυχογλωσσολογία (στην ψυχολογία της γλώσσας και της ανάγνωσης), στη μελέτη του συλλογισμού και της επίλυσης προβλημάτων (του πώς δηλαδή τα παιδιά μαθαίνουν να λύνουν προβλήματα σε συγκεκριμένους τομείς και το ποια είναι η διαφορά μεταξύ αρχάριων και έμπειρων λυτών), και στη φύση των κατηγοριών της σκέψης (ή του πώς οι άνθρωποι δομούν τον κόσμο τους γνωσιακά και γλωσσικά). Αυτές είναι κάποιες από τις πιο συναρπαστικές περιοχές έρευνας σε ένα χώρο που είναι γεμάτος από προκλήσεις για έναν ερευνητή.

ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΣΥΖΗΤΗΣΙΝ

1. Περιγράψτε συνοπτικά και κατόπιν αξιολογήστε κριτικά τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες των τριών κύριων τύπων ψυχολογικής θεωρίας: του συμπεριφορισμού, της γνωσιοκρατίας και του ρεαλισμού.
2. Εξετάστε αν ισχύει η πρόταση ότι τα σχήματα, τα σενάρια ή οι δομές που επιτελούν γνωσιακές διαδικασίες έχουν γλωσσικό χαρακτήρα. Ένας άλλος τρόπος να θέσουμε αυτό το ερώτημα είναι: αποτελεί η σκέψη μια μορφή γλώσσας;
3. Ο ρεαλισμός του Γκίμπσον μοιάζει να δουλεύει καλά για ορισμένες περιπτώσεις, όπως η διόγκωση και η αντίληψη του βάθους. Οι αντιληπτικές αυτές ικανότητες φαίνεται να είναι σημαντικές από εξελικτική άποψη για τους περισσότερους οργανισμούς. Ποιες άλλες αντιληπτικές ικανότητες, πέραν αυτών που έχουν ενδεχομένως επιλεχθεί μέσω της εξέλιξης, πιστεύετε ότι μπορεί να εξηγήσει μια ρεαλιστική θεωρία;
4. Εξετάστε πώς θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένα γενικό μοντέλο το οποίο θα ενσωμάτωνε τα «καλά στοιχεία» των τριών κύριων τύπων ψυχολογικής θεωρίας.
5. Καμιά φορά λέμε ότι ο θυμός ή η ζήλια κάνουν κάποιον κατακόκκινο. Πώς θα μπορούσαμε να στραφούμε προς μια ενδεχόμενη ενσωμάτωση του ρόλου των συγκινήσεων ή των συναισθημάτων στην αντίληψη και τη γνώση;
6. Υπό ποίαν έννοια οι εξηγήσεις στην ψυχολογία είναι ίδιες με (και/ή διαφορετικές από) εκείνες στη βιολογία ή τη φυσική, καθώς και από εκείνες στις κοινωνικές επιστήμες;
7. Η γνωσιοκρατία, με την έμφαση που δίνει σε αυτό που κατασκευάζεται ή προστίθεται από τον άνθρωπο στην αντίληψη και τη γνώση, έχει θεωρηθεί ότι ενισχύει τη θέση του γνωσιολογικού σχετικισμού. Διαφορετικοί άνθρωποι, σε διαφορετικά περιβάλλοντα θα βλέπουν και θα σκέφτονται τα πράγματα διαφορετικά. Συνεπώς, ο τρόπος που βλέπει ή σκέπτεται ένα άτομο είναι εξίσου καλός με οποιουδήποτε άλλου. Τι λάθος γίνεται σ' αυτό το επιχείρημα και τι υπαινίσσεται για τα όρια μιας καθαρά κατασκευαστικής θεωρίας;

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανάμεσα στα πολλά και εντυπωσιακά βιβλία που έχουν πρόσφατα εμφανιστεί πάνω σε αυτά τα ζητήματα, θα προτείνω λίγα μόνο για περαιτέρω μελέτη:

BODEN, MARGARET A. (1988), *Computer Models of Mind: Computational Approaches in Theoretical Psychology*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

CHURCHLAND, PATRICIA SMITH (1986), *Neurophilosophy: Toward a Unified Science of the Mind/Brain*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.

FODOR, JERRY A.(1968), *Psychological Explanation: An Introduction to the Philosophy of Psychology*. New York: Random House.

JOHNSON-LAIRD, P.N. (1983), *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

KOSSLYN, STEFEN MICHAEL (1980), *Image and Mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

LAKOFF, GEORGE (1987), *Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal about the Mind*. Chicago: University of Chicago Press.

Δέκατο Κεφάλαιο

ΓΝΩΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΝΔΡΟΕΙΔΩΝ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ, ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

Clark Glymour

Μπορεί, άραγε, ένας υπολογιστής να κάνει επιστημονικές ανακαλύψεις, να καταστρώνει επιστημονικά πειράματα και να παρέχει επιστημονικές εξηγήσεις; Όταν οι πραγματικοί επιστήμονες κάνουν αυτά τα πράγματα, χρησιμοποιούν άραγε διαδικασίες που θα μπορούσαν να εκτελεσθούν από ένα πρόγραμμα υπολογιστή; Μπορούν άραγε οι υπολογιστές να προγραμματιστούν έτσι ώστε να είναι *καλύτεροι* από τους επιστήμονες στο να κάνουν κάποια είδη επιστημονικών ανακαλύψεων; Μέχρι πολύ πρόσφατα, σχεδόν κάθε φιλόσοφος της επιστήμης απαντούσε με ένα βροντερό όχι σε κάθε ένα από τα παραπάνω ερωτήματα. Οι φιλόσοφοι της επιστήμης συχνά απέρριπταν αυτές τις δυνατότητες με τον ισχυρισμό ότι δεν υπάρχει «λογική» της επιστημονικής ανακάλυψης, ή ότι δεν υπάρχει τρόπος με τον οποίο ένας υπολογιστής θα μπορούσε να εισαγάγει νέες θεωρητικές έννοιες που δεν έχουν ήδη προσδιοριστεί στο πρόγραμμά του. Όμως, τα τελευταία είκοσι πέντε χρόνια, η έρευνα στους τομείς της τεχνητής νοημοσύνης και της γνωσιακής ψυχολογίας έχει συμβάλει αρκετά στην υπονόμευση αυτών των αρνητικών συμπερασμάτων. Η επιστήμη των υπολογιστών μάς διδάσκει ότι οι υπολογιστές μπορούν να προγραμματιστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να κάνουν πολύ καλύτερη επιστημονική δουλειά από όσο οι φιλόσοφοι είχαν πιστέψει ότι ήταν δυνατό, και η γνωσιακή ψυχολογία μάς διδάσκει ότι στην πράξη οι επιστήμονες τα καταφέρνουν λιγότερο καλά από όσο οι φιλόσοφοι είχαν φανταστεί.

Η τεχνητή νοημοσύνη είναι η προσπάθεια να σχεδιαστούν, να εφαρμοστούν και να δοκιμαστούν προγράμματα υπολογιστών τα οποία επιλύουν προβλήματα με νοήμονα τρόπο. Τέτοια προβλήματα μπορεί να είναι η νίκη στο σκάκι, η διάγνωση της σκωληκοειδίτιδας, η απάντηση ερωτήσεων γύρω από μια ιστορία, η ανακάλυψη φυσικών νόμων, η εξαγωγή αιτιακών σχέσεων από μεγάλες βάσεις

δεδομένων, ή οποιοδήποτε άλλο γνωσιακού χαρακτήρα έργο που παρουσιάζει ενδιαφέρον. Η σύγχρονη υπολογιστική γνωσιακή ψυχολογία κάνει κάτι διαφορετικό αν και στενά συνδεδεμένο μ' αυτό. Στη γνωσιακή ψυχολογία ο στόχος είναι να διατυπωθούν ακριβείς περιγραφές των υπολογιστικών διαδικασιών με τις οποίες οι άνθρωποι συλλογίζονται, σκέφτονται, θυμούνται, αναγνωρίζουν, επιλύουν προβλήματα, μαθαίνουν ή εκτελούν οποιοδήποτε άλλο γνωσιακό έργο.

Η διαφορά ανάμεσα στην τεχνητή νοημοσύνη και τη γνωσιακή ψυχολογία είναι ότι η δεύτερη ξεκινά από εμπειρικές παραδοχές και έχει κάποιους εμπειρικούς σκοπούς που η τεχνητή νοημοσύνη δεν έχει. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να αναπτυχθεί χωρίς την παραδοχή ότι οι άνθρωποι σκέφτονται μέσω διαδικασιών υπολογισμού, και χωρίς τον ισχυρισμό ότι ένα πρόγραμμα περιγράφει πώς πράγματι λειτουργούν οι άνθρωποι. Ωστόσο, η τεχνητή νοημοσύνη και η υπολογιστική γνωσιακή ψυχολογία έχουν στενή σχέση επειδή και οι δύο ασχολούνται με το πώς μια νοήμων πράξη *θα μπορούσε* να επέλθει μέσω υπολογισμού.

Το περίεργο και ίσως ειρωνικό γεγονός είναι ότι η ανάπτυξη των ψηφιακών υπολογιστών οφείλει πάρα πολλά στη λογική και στη φιλοσοφία των μαθηματικών· ενώ ένα μεγάλο μέρος από την έρευνα στο πλαίσιο της τεχνητής νοημοσύνης που δείχνει ότι οι υπολογιστές μπορούν να κάνουν καλή επιστημονική δουλειά, έγινε δυνατό με τη χρήση των ιδεών εκείνων ακριβώς των φιλοσόφων της επιστήμης που απέρριπταν αυτή τη δυνατότητα. Ένα αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι ότι ορισμένοι τομείς της σύγχρονης επιστήμης των υπολογιστών – κυρίως η ειδικότητα που είναι γνωστή ως *αυτοδιδασκαλία μηχανών* (machine learning) – μπορούν να εκληφθούν ως φιλοσοφία της επιστήμης που διεξάγεται με άλλα μέσα. Αυτό το κεφάλαιο κάνει μια επισκόπηση της φιλοσοφικής ιστορίας που οδήγησε στην τεχνητή νοημοσύνη και στη συνέχεια περιγράφει ορισμένα προβλήματα και προγράμματα που έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη φιλοσοφία της επιστήμης.

10.1 Η ΠΡΟΪΣΤΟΡΙΑ

Παρ' ότι η λέξη προέρχεται από τους Άραβες μαθηματικούς, η έννοια του *αλγορίθμου* φαίνεται να είναι μια από τις αρχαιότερες ιδέες των μαθηματικών. Οι Έλληνες γεωμέτρες αντιλαμβάνονταν τους αλγορίθμους ως διαδικασίες για την κατασκευή σχημάτων με κανόνα και διαβήτη. Έτσι, αν μεταφραστεί σε αυτούς τους όρους, η πρώτη πρόταση των στοιχείων του Ευκλείδη διατυπώνει *μια διαδικασία* που χρησιμοποιεί κανόνα και διαβήτη για να κατασκευάσει ένα ισόπλευρο τρίγωνο με βάση ένα οποιοδήποτε δεδομένο ευθύγραμμο τμήμα μέσα σε οποιοδήποτε επίπεδο που περιλαμβάνει αυτό το ευθύγραμμο τμήμα. Όμως, εκεί που η ιδέα του αλγορίθμου έγινε ρητή ήταν η θεωρία της αριθμητικής και η άλγεβρα. Η σημερινή διδασκαλία της αριθμητικής στο δημοτικό σχολείο συνίσταται κατά μεγάλο μέρος στη διδασκαλία αλγορίθμων για τον υπολογισμό απλών

αριθμητικών συναρτήσεων: πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμό και διαίρεση (μολονότι η ύπαρξη φθηνών ηλεκτρικών αριθμομηχανών μπορεί ίσως να καταστήσει τις σχετικές δεξιότητες παρωχημένες). Στην άλγεβρα, το επίκεντρο της έρευνας από τούς Άραβες και κατόπιν από τούς χριστιανούς μαθηματικούς αφορούσε κυρίως την εύρεση αλγορίθμων για την επίλυση εξισώσεων διαφόρων κατηγοριών. Έτσι, στην άλγεβρα μαθαίνουμε έναν αλγόριθμο (ή ίσως περισσότερους) για την επίλυση γραμμικών εξισώσεων και συστημάτων γραμμικών εξισώσεων, αλγορίθμους για την επίλυση δευτεροβάθμιων εξισώσεων και έναν αλγόριθμο για την επίλυση εξισώσεων τρίτου βαθμού.

Όπως θα δούμε, η ιδέα του αλγορίθμου δεν έχει μέχρι σήμερα πλήρως κατανοηθεί, αλλά σε γενικές γραμμές υπονοεί μια μηχανική ή αυτόματη διαδικασία η οποία, τουλάχιστον ιδεατά, θα υπολογίζει κάτι για οποιαδήποτε περίπτωση από μια απειρία διαφορετικών δυνατών περιπτώσεων. Εάν αυτό το κάτι είναι μία συνάρτηση, τότε ο αλγόριθμος υπολογίζει την τιμή της συνάρτησης για κάθε όρισμα επί του οποίου έχει οριστεί η συνάρτηση. Ένας τέτοιος αλγόριθμος είναι πάντα αλγόριθμος για τον υπολογισμό κάποιας συγκεκριμένης συνάρτησης. Είναι δυνατό να υπάρχουν πολλοί τρόποι υπολογισμού μίας και της αυτής συνάρτησης, και έτσι είναι δυνατό να υπάρχουν πολλοί, διαφορετικοί μεταξύ τους, αλγόριθμοι που να υπολογίζουν την ίδια συνάρτηση.

Η ιδέα ότι οι μηχανές μπορούν να εκτελούν διαδικασίες που βοηθούν τους ανθρώπους να κάνουν συλλογισμούς για τους αριθμούς είναι τόσο παλιά όσο και ο πολιτισμός, αλλά η ιδέα ότι οι μηχανές μπορούν να βοηθήσουν τους ανθρώπους να κάνουν συλλογισμούς για αντικείμενα διαφορετικά από τους αριθμούς φαίνεται να είναι πιο πρόσφατη. Μια πρώιμη διατύπωση αυτής της ιδέας που είχε αρκετή επιρροή, έγινε από τον Ραμόν Λουλ (Ramon Lull), έναν ισπανό μοναχό του δεκάτου τρίτου αιώνα. Ο Λουλ ανέπτυξε μια στρατηγική η οποία, όπως πίστευε, θα προσηλύτιζε τους Μουσουλμάνους στο Χριστιανισμό. Ουσιαστικά, η ιδέα του ήταν ότι οι άπιστοι χρειάζονταν βοήθεια στις συλλογιστικές τους διαδικασίες. Ο Λουλ πίστευε ότι εάν οι οπαδοί του Μωάμεθ γίνονταν ικανοί να δουν τους αμέτρητους συνδυασμούς των αρετών του Χριστού, τότε θα προσηλυτίζονταν. Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι μόνο 20 από τις αρετές του Χριστού λαμβάνονται υπόψη. Τότε ένας απλός υπολογισμός δείχνει ότι αυτές οι 20 αρετές μπορούν να σχηματίσουν 190 διαφορετικά *ζεύγη* αρετών του Χριστού και 1080 διαφορετικές *τριάδες* αρετών του Χριστού. Υπερβολικά πολλοί συνδυασμοί, σκέφθηκε ο Λουλ, για να αναγνωριστούν από τους ανθρώπους χωρίς τη βοήθεια κάποιας μηχανής.

Οι μηχανές του Λουλ αποτελούνταν από δύο ή τρεις δίσκους διαφορετικών ακτίνων, που περιστρέφονταν όλοι γύρω από τον ίδιο άξονα. Κάθε ένας από τους δίσκους μπορούσε να περιστρέφεται ανεξάρτητα από τους άλλους. Οι δίσκοι ήταν χωρισμένοι στον ίδιο αριθμό τομέων, και κάθε τομέας χαρακτηριζόταν με ένα γράμμα ή όνομα που υποδήλωνε μία από τις αρετές. Με την περιστροφή των δίσκων διαφορετικά ζεύγη ή τριάδες αρετών, έρχονταν στην ίδια

ευθεία και συνεπώς μπορούσαν εύκολα να αναγνωριστούν. Ο Λουλ έκανε αρκετά ταξίδια στη Βόρειο Αφρική με τις μηχανές του για να προσηλυτίσει τους Μουσουλμάνους στο Χριστιανισμό. Στο τρίτο του ταξίδι, όταν ήταν πάνω από 80 ετών, σκοτώθηκε με λιθοβολισμό.

Τον δέκατο έβδομο αιώνα, εν μέρει υπό την επίδραση της παράδοσης του Λουλ, ο Γκότφριντ Λάιμπνιτς, ο μεγάλος φιλόσοφος, μαθηματικός και διπλωμάτης, πρότεινε την ανάπτυξη κάποιου είδους *λογισμού* στο πλαίσιο του οποίου κάθε πρόταση γύρω από οποιοδήποτε θέμα θα μπορούσε να διατυπωθεί τυπικά και χωρίς αμφισημίες, και σύμφωνα με τον οποίο ένας αλγόριθμος θα καθόριζε την αλήθεια ή το ψεύδος κάθε πρότασης που θα μπορούσε να διατυπωθεί με αυτόν τον τρόπο. Φυσικά, ο Λάιμπνιτς δεν είχε στη διάθεσή του έναν τέτοιο λογισμό, ή έναν τέτοιο αλγόριθμο, αλλά οραματιζόταν την ανάπτυξή του ως πρωταρχικού στόχου της επιστήμης. Την ίδια περίοδο, μια αξιοσημείωτη ιδέα άρχισε να αναδύεται. Η σκέψη, οποιαδήποτε σκέψη, συνιστά κάποια μορφή υπολογισμού. Ο Τόμας Χομπς διατύπωσε καθαρά αυτή την ιδέα στα μέσα του αιώνα. Απέμενε στον Γάλλο γιατρό και φιλόσοφο του δεκάτου ογδόου αιώνα Ζυλιέν ντε Λα Μετρί (Julien de La Mettrie) να δώσει την πιο καθαρή διατύπωση της θέσης ότι η σκέψη είναι μηχανική. Ο Λα Μετρί ([1815]1988) υποστήριξε ότι η συνείδηση υπόκειται σε φυσικούς νόμους, τόνισε τις ομοιότητες των ανθρώπων με τα ζώα, ιδιαίτερα με τούς πιθήκους, και έκανε την υπόθεση ότι οι πίθηκοι θα μπορούσαν να διδαχθούν γλώσσα.

Η μηχανική άποψη για το νου είχε μεγάλη επιρροή στον δέκατο ένατο αιώνα, ιδιαίτερα μεταξύ των φυσιολόγων. Όμως πουθενά αλλού αυτή η άποψη δεν έλαβε καθαρότερη ή πιο διορατική διατύπωση από ό,τι στα γραπτά του νεαρού Ζίγκμουντ Φρόυντ. Έχοντας μαθητεύσει στο πλευρό ενός αντιυλιστή φιλοσόφου, του Φραντς Μπρεντάνο (Franz Brentano), και ενός υλιστή φυσιολόγου, του Ερνστ Μπρούκε (Ernst Brucke), ο Φρόυντ έγραψε το 1895 ένα μεγάλο δοκίμιο με τίτλο *Σχέδιο για μια Επιστημονική Ψυχολογία* (Project for a Scientific Psychology, [1895] 1966α). Ο Φρόιντ υπέθεσε ότι τα κύτταρα του νευρικού συστήματος μετέφεραν ερεθίσματα μεταξύ τους μέσω των συναπτικών συνδέσεων, ότι οι συνδέσεις μπορούν να μεταβληθούν ώστε να κάνουν το πέρασμα ευκολότερο ή δυσκολότερο, ότι η ευκολία στο πέρασμα του ερεθίσματος εξαρτάται κατά ένα μέρος από το πόσο συχνά έχει προηγουμένως ενεργοποιηθεί η συναπτική σύνδεση, και ότι ολόκληρο το σύστημα των νευρικών κυττάρων δρα ως ένα μηχανικό δίκτυο το οποίο ενεργεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιεί μακροπρόθεσμα τη μέση ενεργοποίησή του. Κάθε ανθρώπινος συλλογισμός, σχεδιασμός ή επιθυμία προκύπτει από τη μηχανική – τους υπολογισμούς – αυτού του συστήματος. Σήμερα, παρόμοιες μέθοδοι υπολογισμού ονομάζονται μοντέλα *νευρωνικών δικτύων* (neural nets) και μελετώνται ευρύτατα.

Ο Φρόυντ μπορεί να έκανε υποθέσεις γύρω από την υπολογιστική δομή που διέπει το νου, αλλά δεν είχε την παραμικρή ιδέα για αλγορίθμους ή προγράμματα. Η πρώτη σαφής προσπάθεια για μια αλγοριθμική περιγραφή των θεμελιακών

διαδικασιών του νου προήλθε από μιαν άλλη, εξίσου αναπάντεχη πλευρά: τον νεαρό Ρούντολφ Κάρναπ. Σε αντίθεση με το σύστημα του Φρόυντ, το σύστημα που ανέπτυξε ο Κάρναπ ([1928] 1967) δεν προτεινόταν ως εμπειρική περιγραφή των υπολογισμών μέσω των οποίων οι άνθρωποι σχηματίζουν στην πραγματικότητα τις διάφορες κατηγορίες και έννοιες. Ο στόχος του Κάρναπ ήταν να δείξει πως μια πληθώρα εννοιών –συμπεριλαμβανομένων εκείνων του χρώματος, του ήχου, του σχήματος, του αντικειμένου, του χώρου και του χρόνου–*θα μπορούσαν* να κατασκευασθούν αλγοριθμικά από έναν κατάλογο γεγονότων ενός πολύ απλού είδους. Η θεωρία του Κάρναπ αποτελούσε σχεδίασμα για τις κατηγορίες γνώσης που μπορούσε να έχει κάποιο δυνατό είδος ανθρώπου. Θα μπορούσαμε, με άλλα λόγια, να πούμε πως πρόκειται για μια γνωσιολογία για ανδροειδή. Η είσοδος ή η βάση του συστήματος του Κάρναπ ήταν ένας κατάλογος γεγονότων που αποφαινόταν ότι μια πλήρης στιγμή εμπειρίας είχε κάποιας μορφής ομοιότητα με μιαν άλλη πλήρη στιγμή εμπειρίας. Κανένα άλλο χαρακτηριστικό των «στοιχειωδών εμπειριών» δεν προϋπετίθετο από το σύστημα, εκτός από ό,τι είχε να κάνει με τις σχέσεις ομοιότητας μιας στοιχειώδους εμπειρίας προς μιαν άλλη. Χρησιμοποιώντας τις λογικές μεθόδους του Φρέγκε, ο Κάρναπ όρισε κλάσεις στοιχειωδών εμπειριών που ήταν παρόμοιες μεταξύ τους, κλάσεις των οποίων όλα τα μέλη περιείχαν κάποιο κοινό χαρακτηριστικό (ο Κάρναπ τις ονόμαζε «κλάσεις ποιοτήτων»), κατόπιν σειρές ποιοτήτων που αντιστοιχούσαν στις διάφορες αισθητηριακές τροπικότητες κ.ο.κ. Ο Κάρναπ κατόρθωσε ώς ένα βαθμό να επιτύχει αυτό που επεδίωκε, επειδή αναζητούσε αποκλειστικά τα δομικά χαρακτηριστικά διαφόρων εννοιών, όπως, για παράδειγμα, της έννοιας του χρώματος. Κατά τα πρώτα στάδια αυτής της κατασκευής, ο Κάρναπ προσήπτε σε κάθε ορισμό μια διαδικασία ή «πλασματική λειτουργία» όπως την αποκαλούσε. Οι λειτουργίες αυτές είναι πλήρως υπολογίσιμες και ολόκληρο το σύστημα μπορεί να ιδωθεί ως ένας αλγόριθμος που κατασκευάζει τη μία λειτουργία μετά την άλλη, ξεκινώντας από έναν κατάλογο εισόδου που περιέχει γεγονότα που αφορούν τις ομοιότητες ανάμεσα στα μέλη μιας πεπερασμένης συλλογής «στοιχειωδών εμπειριών». Ο Κάρναπ συνέγραψε το πρώτο πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης.

Ο Κάρναπ είχε και μια πρόσθετη επίδραση στην τεχνητή νοημοσύνη μέσω των μαθητών του, Βάλτερ Πιτς (Walter Pitts) και Χέρμπερτ Σάιμον. Στη δεκαετία του '50, ο Πιτς ήταν ένας από τους ανθρώπους στους οποίους οφειλόταν η αναβίωση των μοντέλων υπολογισμού μέσω νευρωνικών δικτύων. Περίπου την ίδια περίοδο, ο Σάιμον εγκαινίασε το πρόγραμμα που αποσκοπούσε στο να καταστήσει τους ψηφιακούς υπολογιστές ικανούς να συμπεριφέρονται με νοήμονα τρόπο, και είναι ένας από τους ανθρώπους στους οποίους οφείλεται ο όρος «τεχνητή νοημοσύνη». Ωστόσο, πριν οτιδήποτε από όλα αυτά μπορέσει να συμβεί, οι ηλεκτρονικοί ψηφιακοί υπολογιστές έπρεπε να εφευρεθούν, και πριν *αυτό* μπορέσει να συμβεί, οι άνθρωποι έπρεπε να αποκτήσουν καλύτερη κατανόηση της φύσης του ίδιου του υπολογισμού. Η κατανόηση του υπολογισμού προέκυψε

τόσο από τη λογική όσο και από τεχνικές απαντήσεις σε προβλήματα της φιλοσοφίας των μαθηματικών.

10.2 Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ[1]

Η θεωρία του υπολογισμού δεν ανήκει μόνο στη φιλοσοφία. Η σύγχρονη θεωρία του υπολογισμού προέκυψε από την εφαρμογή της μαθηματικής λογικής σε φιλοσοφικά ζητήματα που αφορούσαν τα θεμέλια των μαθηματικών. Μια στοιχειώδης, έστω, κατανόηση της θεωρίας του υπολογισμού είναι ουσιώδης για την κατανόηση σημαντικών περιοχών της σύγχρονης φιλοσοφικής έρευνας πέρα από την τεχνητή νοημοσύνη, όπως η θεωρία της γνώσης και η φιλοσοφία του νου. Η θεωρία του υπολογισμού αποτελεί σημαντικό οριακό τμήμα της σύγχρονης θεωρίας της ορθολογικότητας.

Τον δέκατο ένατο αιώνα ο Κάντορ (Cantor) ανέπτυξε τη θεωρία συνόλων και παρήγαγε αρκετά αινιγματικά αποτελέσματα. Η θεωρία του Κάντορ προέβλεπε την *ύπαρξη* κάποιων υπερπεπερασμένων (transfinite) συνόλων, καθώς και άπειρων συλλογών οι οποίες είναι, με μιαν αυστηρά ορισμένη έννοια, *μεγαλύτερες* από την απειρία που συγκροτούν οι φυσικοί αριθμοί.

Το μαθηματικό έργο του Κάντορ, και οι θεωρίες που αναπτύχθηκαν από αυτό, εγκαινίασαν μια γραμμή έρευνας που οδήγησε στη σύγχρονη θεωρία του υπολογισμού. Κάποιοι μαθηματικοί, κυρίως ο Κρόνεκερ, δεν πίστεψαν τα μαθηματικά αποτελέσματα του Κάντορ, ούτε καν τα αναγνώρισαν ως πραγματικά μαθηματικά. Αν και οι κριτικές που ασκήθηκαν στο έργο του Κάντορ μερικές φορές εκφράστηκαν με τη μεταφυσική διάλεκτο του δέκατου ένατου αιώνα, ένα κοινό μοτίβο σε αυτές τις κριτικές είναι το εξής: *Οι αρχές της αριθμητικής είναι το πιο βέβαιο και σίγουρο θεμέλιο για τα μαθηματικά, και άρα κάθε νέα μαθηματική θεωρία πρέπει να αποδεικνύεται συνεπής μέσω των μεθόδων της αριθμητικής. Οποιαδήποτε νέα μαθηματικά αντικείμενα ή συναρτήσεις πρέπει να είναι υπολογίσιμα με τη βοήθεια στοιχειωδών αριθμητικών συναρτήσεων, δηλαδή πρέπει να υπάρχουν αριθμητικοί αλγόριθμοι για οποιαδήποτε τέτοια καινοτομία.* Η φιλοσοφία του Καντ, η οποία επιφυλάσσει ιδιαίτερη θέση στην αριθμητική, παρείχε μερική στήριξη αυτής της άποψης.

Περίπου την ίδια εποχή που αναπτύχθηκε η διαμάχη του Κάντορ με τον Κρόνεκερ, ο Γκότλομπ Φρέγκε δημοσίευσε την πρώτη παρουσίαση της σύγχρονης λογικής. Η λογική του Φρέγκε επέτρεπε τη ρητή διατύπωση σχεδόν κάθε μαθηματικής θεωρίας, από τη θεωρία των αριθμών έως τη γεωμετρία και τη θεωρία συνόλων. Ήδη από τη δεκαετία του '20 πολλοί μαθηματικοί και φιλόσοφοι είχαν εκμεταλλευθεί την ισχύ των αντιλήψεων του Φρέγκε. Ο Ντέιβιντ Χίλ-

[1] Το υποκεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει κάποια αρκετά προχωρημένα θέματα. Τα επόμενα υποκεφάλαια δεν το προϋποθέτουν.

μπερτ, ένας από τους μεγαλύτερους μαθηματικούς του τέλους του δέκατου ένατου και του εικοστού αιώνα, είδε την τυπική λογική ως ένα μέσο για να αντικρούσει τις αντιρρήσεις του Κρόνεκερ όσον αφορά τη θεωρία συνόλων, και μάλιστα για να αναγάγει τα ερωτήματα σχετικά με τη συνέπεια οποιασδήποτε μαθηματικής θεωρίας σε ερωτήματα που αφορούν τη στοιχειώδη αριθμητική.

10.2.1 Το πρόγραμμα του Χίλμπερτ

Μία από τις ιδέες του Χίλμπερτ είναι δυνατόν να προκύψει από μιαν απλή σκέψη για το πώς τα μαθηματικά εφαρμόζονται στις φυσικές επιστήμες. (Ίσως αυτό σχετίζεται με το γεγονός ότι ο Χίλμπερτ υπήρξε επίσης ένας μεγάλος μαθηματικός φυσικός, και ότι συνέλαβε μαζί με τον Αϊνστάιν τη γενική θεωρία της σχετικότητας). Όταν εφαρμόζουμε τα μαθηματικά, μετρούμε κάποια πράγματα, ή απονέμουμε αριθμούς σε πράγματα ή σε καταστάσεις πραγμάτων. Απονέμουμε αριθμητικά μέτρα σε αντικείμενα όταν, για παράδειγμα, τα ζυγίζουμε. Η μέτρηση και η απονομή μέτρων μάς καθιστά ικανούς να κάνουμε συναγωγές για πράγματα *κάνοντας αριθμητική*.

Ας θεωρήσουμε το ζύγισμα κάποιων πραγμάτων σε μια ζυγαριά. Αυτό γίνεται με το να υιοθετούμε κάποια *σύμβαση* η οποία συσχετίζει καταστάσεις της ζυγαριάς με αριθμούς. Ο ίδιος αριθμός συσχετίζεται, επίσης, με το σώμα που ζυγίζουμε πάνω στη ζυγαριά. Η σύμβαση που χρησιμοποιούμε μπορεί να ενσωματωθεί στη ζυγαριά (όπως στις σύγχρονες χημικές ζυγαριές που έχουν ψηφιακό πίνακα) ή μπορεί να πρέπει να απονέμουμε νοερά έναν αριθμό στην κατάσταση της ζυγαριάς σύμφωνα με κάποιο κανόνα (όπως στην παραδοσιακή πλάστιγγα με τους δύο δίσκους). Υπάρχουν πολλά διαφορετικά συστήματα μέσω των οποίων αριθμοί μπορούν να συσχετισθούν με καταστάσεις της ζυγαριάς –μπορούμε να μετρούμε σε γραμμάρια, σε ουγγιές ή κάποια άλλη μονάδα– αλλά αυτό που είναι σημαντικό είναι το γεγονός ότι χρησιμοποιείται ένα τέτοιο σύστημα. Δεν έχει σημασία ποιο ακριβώς από αυτά τα συστήματα χρησιμοποιείται.

Όταν χρησιμοποιούμε μια ζυγαριά και ένα πρότυπο μέτρησης (δηλαδή, ένα πρότυπο βάρος) τότε, ζυγίζοντας το ένα αντικείμενο μετά το άλλο, χρησιμοποιούμε τη μετρητική μας σύμβαση για να δώσουμε έναν αριθμό στην εκάστοτε κατάσταση της ζυγαριάς. Αποκαλούμε αυτόν τον αριθμό *βάρος* του αντικειμένου που βρίσκεται πάνω στη ζυγαριά. Τώρα, το ενδιαφέρον και χρήσιμο πράγμα γύρω από τις μετρητικές κλίμακες είναι το εξής: Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την αριθμητική για να προσδιορίσουμε ποια θα είναι η κατάσταση της ζυγαριάς όταν, για παράδειγμα, και τα δύο αντικείμενα τοποθετηθούν πάνω της. Για να βρούμε την απάντηση, χρειάζεται να κάνουμε απλώς τα ακόλουθα: (1) Να ζυγίσουμε κάθε αντικείμενο χωριστά. (2) Να προσθέσουμε τους αριθμούς που παριστάνουν τα βάρη των δύο αντικειμένων. (3) Να χρησιμοποιήσουμε τη μετρητική μας σύμβαση για να συναγάγουμε την κατάσταση της ζυγαριάς που σχετίζεται

με τον αριθμό που συνιστά το άθροισμα. Η μετρητική πρακτική που ακολουθούμε μας δίνει την δυνατότητα να παριστάνουμε ιδιότητες των βαρών ως απλές αριθμητικές σχέσεις.

Η ιδέα του Χίλμπερτ ήταν ότι μπορούμε να συσχετίζουμε αριθμούς με τη *γλώσσα μιας μαθηματικής θεωρίας* κατά τέτοιο τρόπο ώστε κάποιες ιδιότητες της μαθηματικής θεωρίας, όπως η συνέπειά της, να παριστάνονται μέσω αριθμητικών σχέσεων μεταξύ αριθμών που έχουν συσχετιστεί με τμήματα της γλώσσας. Έτσι, κάποιες *τυπικές* ιδιότητες μιας θεωρίας, όπως η συνέπειά της, γίνονται ισοδύναμες με τις αριθμητικές ιδιότητες κάποιων συνόλων από αριθμούς. Θα μπορούσαμε τότε να αποδείξουμε τη συνέπεια (ή τη μη συνέπεια) μιας μαθηματικής θεωρίας με τη χρήση απλώς και μόνον της αριθμητικής. Αφού κανείς δεν αμφισβητεί τις αριθμητικές αποδείξεις, οι αμφιβολίες που αφορούν τη συνέπεια διαφόρων μαθηματικών θεωριών, όπως της θεωρίας συνόλων, θα μπορούσαν να αρθούν. (Μια σημαντική δυσαναλογία πρέπει να επισημανθεί. Αποτελεί *εμπειρικό* γεγονός, πειραματικά αποδεδειγμένο, ότι τα βάρη είναι προσθετικά, δηλαδή ότι το βάρος δύο αντικειμένων μαζί είναι το άθροισμα των βαρών τους χωριστά. Με το να απονέμουμε αριθμούς σε βάρη, παριστάνουμε αυτό το εμπειρικό γεγονός με μια αριθμητική σχέση. Κατ' αντιδιαστολή, η *συνέπεια* μιας θεωρίας είναι μια *λογική* ιδιότητα, όχι μια εμπειρική ιδιότητα. Οπότε κανείς ελπίζει ότι θα είναι σε θέση να αποδείξει τη συνέπεια της θεωρίας με μια a priori απόδειξη και όχι με ένα πείραμα.)

Όταν μια μαθηματική θεωρία –η θεωρία συνόλων για παράδειγμα– είναι πλήρως τυποποιημένη, μπορούν να απονεμηθούν *φυσικοί αριθμοί* στο λεξιλόγιο της γλώσσας της θεωρίας με οποιονδήποτε αυθαίρετο αλλά μηχανικά υπολογίσιμο τρόπο. Τότε μπορούν να απονεμηθούν αριθμοί και στις προτάσεις της γλώσσας, αφού κάθε πρόταση είναι απλώς μια έκφραση (string*) του λεξιλογίου. Επιπλέον, επειδή επιλέξαμε να κατασκευάσουμε τις τυποποιημένες μας γλώσσες κατά τέτοιο τρόπο ώστε ένας αλγόριθμος να μπορεί να καθορίζει εάν οποιαδήποτε τυχαία έκφραση του λεξιλογίου είναι ένας ορθά σχηματισμένος τύπος (well-formed formula), τότε κάποιος αριθμητικός αλγόριθμος προσδιορίζει τους αριθμούς που αντιστοιχούν σε ορθά σχηματισμένους τύπους της γλώσσας της τυποποιημένης μαθηματικής θεωρίας που μελετάμε.

Ας υποθέσουμε ότι, αφού τυποποιηθεί, η μαθηματική θεωρία που εξετάζουμε είναι αξιωματικοποιήσιμη. Τα αξιώματα της θεωρίας βρίσκονται τότε σε αντιστοιχία με κάποιο καθορισμένο σύνολο αριθμών. Αφού υπάρχει ένας αλγόριθμος που προσδιορίζει τα αξιώματα της θεωρίας, υπάρχει και ένας αριθμητικός αλγόριθμος που προσδιορίζει τους αριθμούς που αντιστοιχούν στα αξιώματα.

Μια απόδειξη ή συναγωγή από τα αξιώματα της τυποποιημένης θεωρίας

---

* Ακολουθώ τη μετάφραση που προτείνει ο Δ. Αναπολιτάνος για τον όρο string (Βλ. Δ. Αναπολιτάνος: *Εισαγωγή στη Φιλοσοφία των Μαθηματικών*, Εκδ. Νεφέλη, 1985). Συνεπώς *έκφραση* θα ονομάζεται κάθε πεπερασμένη ακολουθία συμβόλων της γλώσσας [Σ.τ.Μ.].

αντιστοιχεί τότε σε μια πεπερασμένη ακολουθία αριθμών, σύμφωνα με μια θεωρία αποδείξεων όπως αυτή του Φρέγκε. Αφού μία από τις απαιτήσεις της θεωρίας αποδείξεων είναι το να υπάρχει ένας αλγόριθμος που να προσδιορίζει εάν μια οποιαδήποτε δεδομένη ακολουθία τύπων αποτελεί απόδειξη, τότε θα υπάρχει επίσης και ένας αριθμητικός αλγόριθμος που θα αποφασίζει εάν μία ακολουθία αριθμών συνιστά την ακολουθία μιας απόδειξης. Ο αριθμός της τελευταίας πρότασης μιας απόδειξης είναι ο αριθμός ενός θεωρήματος της θεωρίας που εξετάζεται.

Μία θεωρία ονομάζεται **συνεπής** αν και μόνο αν δεν υπάρχει πρόταση A, τέτοια ώστε τόσο η A όσο και η $\neg A$ («άρνηση της Α») να είναι θεωρήματα της θεωρίας. Το εάν μια ορισμένη θεωρία, ας πούμε η θεωρία συνόλων, είναι συνεπής, γίνεται έτσι ισοδύναμο με ένα ερώτημα το οποίο αφορά καθαρά την αριθμητική: εάν δηλαδή υπάρχουν ή όχι ζεύγη από ακολουθίες αριθμών του κατάλληλου είδους που να αντιστοιχούν σε μιαν απόδειξη κάποιας πρότασης και της άρνησής της μέσα στην ίδια θεωρία.

Εάν για μια τυποποιημένη θεωρία υπήρχε ένας αλγόριθμος που να καθόριζε αν οποιαδήποτε δεδομένη πρόταση είναι θεώρημα της θεωρίας ή όχι, τότε το πνεύμα των αντιρρήσεων του Κρόνεκερ θα είχε πλήρως αντικρουστεί. Θα μπορούσε κανείς να αποδείξει τη συνέπεια μιας θεωρίας με καθαρά αριθμητικά – ή όπως το θέτει ο Χίλμπερτ, με «περατοκρατικά»– μέσα. Αυτό θα μπορούσε να γίνει με τα εξής βήματα:

1. τυποποιώντας τη θεωρία
2. αριθμητικοποιώντας τη γλώσσα
3. αποδεικνύοντας την ύπαρξη μιας υπολογίσιμης αριθμητικής συνάρτησης που να αποφασίζει εάν μια τυχούσα πρόταση είναι θεώρημα
4. δείχνοντας ότι αυτή η συνάρτηση έχει την εξής ιδιότητα: Δεν υπάρχει πρόταση τέτοια ώστε η ίδια και η άρνησή της να αποτελούν θεωρήματα της θεωρίας της οποίας η συνέπεια είναι υπό εξέταση.

Ο Χίλμπερτ ονόμασε αυτό το πρόγραμμα **μεταμαθηματικά**. Πρόκειται για μαθηματικά τα οποία γίνονται πάνω στη *γλώσσα* των μαθηματικών.

10.2.2 Τα θεωρήματα του Γκέντελ

Το 1931 ένας νεαρός μελετητής της λογικής από τη Βιέννη, ο Κουρτ Γκέντελ, απέδειξε δύο θεωρήματα τα οποία θεωρήθηκε ότι αποδείκνυαν ότι το πρόγραμμα του Χίλμπερτ, όπως αυτό είχε αρχικά συλληφθεί, δεν θα μπορούσε να επιτύχει. Τα θεωρήματα του Γκέντελ χρησιμοποίησαν μια γενίκευση της διαγωνοποιητικής στρατηγικής του Κάντορ. Ο Γκέντελ εφάρμοσε το πρόγραμμα του Χίλμπερτ στην ίδια την αριθμητική. Εάν ο στόχος του προγράμματος του Χίλμπερτ επιτυγ-

χανόταν, τότε θα μπορούσαμε να απαντήσουμε το ερώτημα για τη συνέπεια οποιασδήποτε αξιωματικοποιήσιμης θεωρίας με τη χρήση απλώς και μόνο της αριθμητικής. Έτσι θα μπορούσαμε κατ' αρχήν να τυποποιήσουμε τη θεωρία της ίδιας της αριθμητικής και, με τη βοήθεια της τυποποίησης της αριθμητικής, θα μπορούσαμε να παραστήσουμε τις προτάσεις της γλώσσας *οποιασδήποτε* τυποποιημένης αξιωματικής θεωρίας, δηλαδή να τις παραστήσουμε ως σύνολα αριθμών, ή ως ειδικές συναρτήσεις επί των φυσικών αριθμών. Κατόπιν, με την τυπική αριθμητική θα μπορούσαμε να δώσουμε μια τυπική απόδειξη της συνέπειας ή της μη-συνέπειας μιας τυποποιημένης θεωρίας, οποιαδήποτε κι αν ήταν αυτή.

Ο Γκέντελ απέδειξε δύο καταπληκτικά θεωρήματα. Το πρώτο θεώρημα συνεπάγεται ότι η ίδια η αριθμητική δεν μπορεί να παρασταθεί ως μία αξιωματικοποιήσιμη τυποποιημένη θεωρία. Αυτό χρειάζεται κάποια εξήγηση. Τον δέκατο ένατο αιώνα, ο Πεάνο ανέπτυξε ένα αξιωματικό σύστημα για την αριθμητική. Στην πρωτοβάθμια διατύπωσή τους, τα αξιώματα του Πεάνο είναι άπειρα το πλήθος, αλλά μπορούν να τυποποιηθούν. Επιπλέον, αποτελούν ένα τέτοιο σύνολο προτάσεων ώστε υπάρχει αλγόριθμος που καθορίζει ποιες προτάσεις ανήκουν σ' αυτό το σύστημα. Έτσι τα αξιώματα του Πεάνο μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο αριθμητικής μελέτης όπως απαιτεί το πρόγραμμα του Χίλμπερτ. Πράγματι, μπορούμε να τυποποιήσουμε τα αξιώματα του Πεάνο για την αριθμητική, και κατόπιν σε κάθε πρόταση αυτής της τυποποιημένης γλώσσας να απονείμουμε ένα αριθμητικό σύμβολο (numeral)* (το οποίο επίσης είναι όρος αυτής της τυπικής γλώσσας). Για να κατανοήσουμε το πρώτο θεώρημα του Γκέντελ, είναι αναγκαίο να θυμηθούμε ποιος είναι ο ορισμός μιας *πλήρους* θεωρίας: Μία πρωτοβάθμια θεωρία είναι πλήρης αν και μόνον αν, για κάθε πρόταση *s* της γλώσσας της θεωρίας, είτε η *s* ανήκει στη θεωρία είτε η ¬s ανήκει στη θεωρία.

Το πρώτο θεώρημα του Γκέντελ λέει τα ακόλουθα:

Θεώρημα του Γκέντελ: Καμία αξιωματικοποιήσιμη τυπική θεωρία που είναι αληθής στους φυσικούς αριθμούς δεν είναι πλήρης.

Τι σημαίνει αυτό; Όπως κάθε άλλη δομή, η δομή που ορίζεται από τους φυσικούς αριθμούς, $N = [N, +, x, s, <, =]$**, ορίζει μια πλήρη θεωρία. Ας την ονομάσουμε *T*. Πρόκειται για το σύνολο όλων των προτάσεων που είναι αληθείς μέσα

Το αριθμητικό σύμβολο είναι διαφορετικό από τον αριθμό. Το αριθμητικό σύμβολο είναι απλώς μια γλωσσική έκφραση, ένα σύμβολο που υποδηλώνει τον αριθμό. Γι' αυτόν το λόγο διαφορετικά μεταξύ τους αριθμητικά συμβολα μπορούν να εκφράζουν τον ίδιο αριθμό. Οι αριθμοί σε αντίθεση με τα αριθμητικά σύμβολα δεν εξαρτώνται από οποιαδήποτε γλώσσα ή σύστημα. Ένας αριθμός δεν μπορεί, κυριολεκτικά μιλώντας, να γραφεί ή να σβηστεί πάνω στο χαρτί, γιατί ο αριθμός είναι μια ιδιότητα κλάσεων - μια έννοια. Έτσι, όταν αντικαθιστούμε μια μεταβλητή, μια σταθερά ή γενικότερα μια έκφραση με έναν αριθμό, αυτό που στην πραγματικότητα κάνουμε είναι να την αντικαθιστούμε με το αριθμητικό σύμβολο του συγκεκριμένου αριθμού. [Σ.τ.Μ.]

** Δομή (Structure) ή Ερμηνεία (Interpretation) *A* μιας πρωτοβάθμιας κατηγορηματικής γλώσσας *L*

στη δομή N. Η θεωρία T περιλαμβάνει όλες τις προτάσεις που αποτελούν λογικές συνέπειες των προτάσεων που συνιστούν τις τυποποιήσεις των αξιωμάτων του Πεάνο, αλλά περιέχει και πολλές επιπλέον προτάσεις. Το θεώρημα του Γκέντελ λέει κάτι για τη θεωρία T: Αυτή δεν είναι αξιωματικοποιήσιμη. Το να λέει κανείς ότι μια θεωρία δεν είναι αξιωματικοποιήσιμη έχει κάτι να κάνει με την *ανυπαρξία αλγορίθμων*. Δεν υπάρχει κανένας δυνατός αλγόριθμος που να απονέμει το 1 ή το 0* σε προτάσεις με τέτοιο τρόπο ώστε το σύνολο των προτάσεων στις οποίες έχει απονεμηθεί η τιμή 1 να συνίσταται από ένα σύνολο αξιωμάτων από τα οποία να συνεπάγονται όλες οι προτάσεις που είναι αληθείς για τους φυσικούς αριθμούς (δηλαδή, αληθείς μέσα στη δομή $[N, +, \times, s, <, =]$) και καμιά άλλη πρόταση.

Στην πραγματικότητα τα θεωρήματα του Γκέντελ λένε κάτι παραπάνω από το ότι η πλήρης θεωρία της αριθμητικής δεν είναι αξιωματικοποιήσιμη. Λένε ότι *υπάρχει ένας αλγόριθμος* ο οποίος, αν του δοθεί ως είσοδος μια πεπερασμένη περιγραφή οποιασδήποτε αξιωματικοποιήσιμης θεωρίας T, η οποία είναι αληθής στο N και η οποία συνεπάγεται την αριθμητική του Πεάνο, θα παραγάγει ως έξοδο μια πρόταση η οποία είναι αληθής στο N αλλά δεν είναι θεώρημα της θεωρίας.

Αλλά γιατί να ασχολούμαστε με το εάν η θεωρία των φυσικών αριθμών ή άλλες πλήρεις θεωρίες που επεκτείνουν την αριθμητική του Πεάνο είναι αξιωματικοποιήσιμες; Για τουλάχιστον δύο λόγους. Ο ένας είναι ότι το πρόγραμμα του Χίλμπερτ υπέθετε ότι θα μπορούσαμε να αξιωματικοποιήσουμε τις θεωρίες που μας ενδιαφέρουν. Το αποτέλεσμα του Γκέντελ λέει ότι δεν μπορούμε αυτό να το κάνουμε πάντα, αφού, για παράδειγμα, η πλήρης θεωρία των φυσικών αριθμών είναι μια θεωρία που όντως μας ενδιαφέρει πολύ. Αλλά υπάρχει και ένας δεύτερος φιλοσοφικός λόγος για τον οποίο πρέπει να ασχολούμαστε με το ότι η θεωρία των φυσικών αριθμών δεν μπορεί να αξιωματικοποιηθεί. *Διότι, εάν μία τυποποιημένη θεωρία δεν μπορεί να αξιωματικοποιηθεί, τότε δεν υπάρχει κανένας δυνατός αλγόριθμος ο οποίος να αποφασίζει για κάθε πρόταση της γλώσσας της θεωρίας εάν αυτή η πρόταση ανήκει στη θεωρία.* Διότι, εάν υπήρχε ένας τέτοιος αλγόριθμος,

---

ονομάζεται μια συνάρτηση η οποία:

α) Στον καθολικό ποσοδείκτη απονέμει ένα μη κενό σύνολο A, που αποτελεί το πεδίο της δομής, δηλαδή το σύμπαν των αντικειμένων της.

β) Σε κάθε n-μελές σύμβολο κατηγορήματος Π της γλώσσας L απονέμει μια n-μελή σχέση $\Pi^A \subseteq A^n$, δηλαδή ένα σύνολο από n-άδες των οποίων όλα τα μέλη αποτελούν στοιχεία του A.

γ) Σε κάθε n-μελές σύμβολο συνάρτησης f της γλώσσας L απονέμει μια n-μελή συνάρτηση f^A: $A^n \rightarrow A$, και

δ) Σε κάθε σύμβολο σταθεράς c της γλώσσας L απονέμει ένα στοιχείο c^A του A.

Για γλώσσες με πεπερασμένο αριθμό συμβόλων, μια δομή A μπορεί να παρασταθεί ως μια διατεταγμένη νιάδα αποτελούμενη από τις τιμές της A. Για παράδειγμα, εάν $L = \{F, g, c\}$ και A είναι μια δομή της L, τότε οι τιμές της A μπορούν να παρασταθούν ως η διατεταγμένη τετράδα $[A, F^A, g^A, c^A]$. Ορισμένες φορές, για λόγους απλοποίησης, ο παραπάνω συμβολισμός γράφεται και ως $[A, F, g, c]$ [Σ.τ.Μ.].

* Το 1 στις αληθείς προτάσεις και το 0 στις ψευδείς προτάσεις [Σ.τ.Μ.].

τότε θα μπορούσαμε να θέσουμε το σύνολο όλων των προτάσεων που ο αλγόριθμος λέει ότι ανήκουν στη θεωρία ως το σύνολο των αξιωμάτων της θεωρίας. Στην πραγματικότητα, είναι αληθές κάτι ισχυρότερο. Εάν μια θεωρία δεν είναι αξιωματικοποιήσιμη, τότε δεν υπάρχει καν αλγοριθμικός τρόπος που να *καταγράφει* τα θεωρήματα της θεωρίας: Δεν υπάρχει μηχανική διαδικασία η οποία, κάθε τόσο, εξάγει κάποια πρόταση που αποτελεί θεώρημα της θεωρίας, δεν εξάγει ποτέ πρόταση που δεν ανήκει στη θεωρία, και εξάγει τελικά όλες τις προτάσεις της θεωρίας. Δεν υπάρχει κανένα αποτελεσματικό μέσο για να προσδιορίσουμε μια θεωρία, αν αυτή δεν μπορεί να αξιωματικοποιηθεί.

Όλοι ξέρουμε έναν αλγόριθμο ο οποίος, για οποιουσδήποτε φυσικούς αριθμούς *n, l*, και *m*, καθορίζει αν $n + l = m$. Η διαδικασία αυτή είναι απλώς ο αλγόριθμος της πρόσθεσης που μαθαίνουμε στο δημοτικό. Γνωρίζουμε επίσης αλγορίθμους που καθορίζουν τις απαντήσεις σε άλλες κατηγορίες αριθμητικών ερωτημάτων – για παράδειγμα, εάν ένας τυχόν αριθμός είναι πρώτος. Έτσι θα μπορούσαμε να ελπίζουμε ότι υπάρχει ένας αλγόριθμος που απαντάει *κάθε* ερώτημα της αριθμητικής. Ένας τέτοιος αλγόριθμος θα αποφάσιζε για την αλήθεια ή το ψεύδος οποιασδήποτε πρότασης επιλέγαμε να του θέσουμε που να αφορά τους φυσικούς αριθμούς. Ένας τέτοιος αλγόριθμος θα αποτελούσε μέρος της εκπλήρωσης του ονείρου του Λάιμπνιτς. Το θεώρημα το Γκέντελ λέει ότι δεν υπάρχει κανένας τέτοιος αλγόριθμος. Το ζήτημα δεν είναι απλώς ότι δεν έχουμε βρει μέχρι στιγμής έναν τέτοιο αλγόριθμο. *Κανένας τέτοιος αλγόριθμος δεν είναι λογικά δυνατός.*

Τώρα, η έννοια της «αξιωματικοποιήσιμης» θεωρίας ορίστηκε μέσω της έννοιας του «αλγορίθμου» ή εναλλακτικά μέσω της έννοιας της *υπολογίσιμης* συνάρτησης (δηλαδή μιας συνάρτησης για την οποία υπάρχει ένας αλγόριθμος) που απονέμει τον αριθμό 1 σε τύπους που ανήκουν στο σύνολο των αξιωμάτων της θεωρίας και τον αριθμό 0 σε τύπους που δεν ανήκουν στο σύνολο αυτό. Το θεώρημα του Γκέντελ, όπως έχει διατυπωθεί, έχει συνεπώς να κάνει με την ανυπαρξία ορισμένων ειδών αλγορίθμων, ή με το γεγονός ότι ορισμένες συναρτήσεις *δεν* είναι *υπολογίσιμες*. Για να αποδείξει τους ισχυρισμούς του, ο Γκέντελ έπρεπε συνεπώς να προσδιορίσει τις υπολογίσιμες συναρτήσεις, και αυτή η προσπάθεια, μαζί με τα εκπληκτικά του θεωρήματα, οδήγησε στην ανάπτυξη της θεωρίας του υπολογισμού. Αντί να περιγράψουμε τον τρόπο με τον οποίο ο Γκέντελ προσδιόρισε τις υπολογίσιμες συναρτήσεις ως αυτό που αποκαλούμε *αναδρομικές συναρτήσεις*, θα εξετάσουμε τον προσδιορισμό που πρότεινε λίγο αργότερα ο Άλαν Τιούρινγκ.

10.2.3 Μηχανές Τιούρινγκ

Ο Τιούρινγκ συνέλαβε ένα είδος μηχανής της οποίας οι λειτουργίες είναι ιδιαίτερα απλές, κάθε άλλο παρά μυστηριώδεις. Ήθελε οι μηχανές του να υπο-

λογίζουν συναρτήσεις. Η βασική ιδέα ήταν ότι η μηχανή κατά κάποιο τρόπο παριστάνει μια συνάρτηση επί των φυσικών αριθμών, έτσι ώστε εάν εισαγάγουμε την παράσταση οποιουδήποτε αριθμού ή οποιασδήποτε πεπερασμένης ακολουθίας αριθμών με έναν σταθερό κώδικα, η μηχανή να μας δίνει την τιμή της συνάρτησης για αυτόν τον αριθμό ή αυτήν την ακολουθία αριθμών. Η κωδικοποίηση των αριθμών μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Μια οποιαδήποτε αριθμητική βάση παρέχει ένα σύστημα ψηφίων των οποίων οι πεπερασμένες ακολουθίες μπορούν να κωδικοποιήσουν όλους τους αριθμούς. Έχουμε συνηθίσει να παριστάνουμε τους αριθμούς με βάση το 10, δηλαδή με 10 ψηφία· αλλά θα μπορούσαμε εξίσου καλά να παραστήσουμε τους αριθμούς με βάση το 2 ή οποιαδήποτε άλλη βάση. Με δεδομένη μια πεπερασμένη ακολουθία ψηφίων σε κάποια καθορισμένη βάση, οι μηχανές Τιούρινγκ θα υπολόγιζαν μιαν άλλη ακολουθία ψηφίων σε αυτήν τη βάση που να παριστάνει την τιμή μιας συνάρτησης για αυτή την αριθμητική είσοδο.

Οι μηχανές που συνέλαβε ο Τιούρινγκ μπορούν να διαβάσουν ένα τετράγωνο μιας ταινίας πάνω στην οποία έχει γραφεί κάποιος αριθμός. Η μηχανή έχει έναν πεπερασμένο κατάλογο οδηγιών ο οποίος της λέει, όταν βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη κατάσταση διαβάζοντας ένα συγκεκριμένο τετράγωνο της ταινίας, ή να σβήνει ένα ψηφίο πάνω στο τετράγωνο και να γράφει κάποιο άλλο ψηφίο στη θέση του, ή να μετακινείται στο επόμενο τετράγωνο προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά της ταινίας και να αλλάζει την κατάστασή της. Η ταινία είναι απεριόριστη. Δηλαδή, εάν η μηχανή φτάσει στο τέλος της ταινίας, προστίθεται πάντα νέα ταινία. Η μηχανή ξεκινά με τη συσκευή ανάγνωσης και εγγραφής πάνω από ένα κενό τετράγωνο της ταινίας, και με όλα τα τετράγωνα στη μια πλευρά της κεφαλής ανάγνωσης-εγγραφής, έστω την αριστερή, λευκά. Ένας πεπερασμένος αριθμός τετραγώνων της άλλης πλευράς, προς τα δεξιά, περιέχουν σύμβολα που παριστάνουν την είσοδο της μηχανής, ενώ τα υπόλοιπα είναι κενά. Ένας υπολογισμός με μια τέτοια μηχανή εκτελείται ξεκινώντας από την κατάσταση εκκίνησης. Η μηχανή διαβάζει ένα τετράγωνο και λειτουργεί διαβάζοντας, γράφοντας, μετακινούμενη άλλοτε προς τα δεξιά και άλλοτε προς τα αριστερά, αλλάζοντας την εσωτερική της κατάσταση ενόσω λειτουργεί. Τελικά η μηχανή μπορεί να σταματήσει, και όταν αυτό συμβεί, κάποια ακολουθία συμβόλων θα έχει γραφεί στην ταινία. Αυτή η ακολουθία συνιστά την έξοδο της μηχανής για τον αριθμό που εισαγάγαμε στην είσοδο.

Από πλευράς συμπεριφοράς, μια μηχανή Τιούρινγκ μπορεί να κάνει ακριβώς τρία πράγματα:

1. Μπορεί να σβήσει ένα σύμβολο από ένα τετράγωνο της ταινίας και να γράψει ένα άλλο σύμβολο στη θέση του.
2. Μπορεί να μετακινήσει την κεφαλή ανάγνωσης-εγγραφής προς τα δεξιά.
3. Μπορεί να μετακινήσει την κεφαλή ανάγνωσης-εγγραφής προς τα αριστερά.

Εσωτερικά, η μηχανή μπορεί να κάνει μόνο ένα πράγμα: *να αλλάζει την κατάστασή της*.

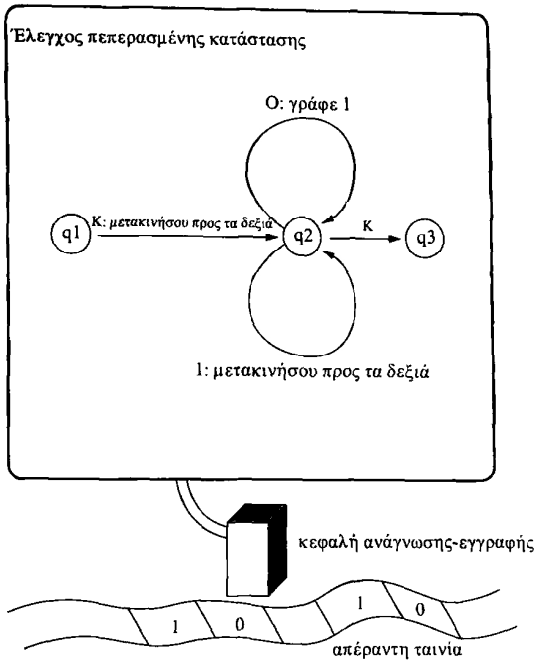
Τέτοιες μηχανές μπορούν να κατασκευασθούν με πολλούς τρόπους. Η ταινία μπορεί να είναι μια μαγνητική ταινία, ή ακόμα και ένα κομμάτι χαρτιού τουαλέτας. Η κεφαλή ανάγνωσης-εγγραφής της μηχανής μπορεί να είναι ένας απλός οπτικός ανιχνευτής συνδεδεμένος με έναν εκτυπωτή, αποτελώντας μαζί του μια κινητή μονάδα. Οι οδηγίες σε κάθε κατάσταση μπορούν να δίνονται με γρανάζια, τροχαλίες και σχοινιά, μέσω ηλεκτρονικών λυχνιών όπως στους πρώτους ψηφιακούς υπολογιστές, ή μέσω ολοκληρωμένων κυκλωμάτων από σιλικόνη.

Δεν υπάρχει τίποτα ξεχωριστό γύρω από τους αριθμούς πέρα από το ότι κάποιες αριθμητικές συναρτήσεις αποτελούν τα κυριότερα και πιο καθαρά παραδείγματα που έχουμε για τις υπολογίσιμες συναρτήσεις. Ωστόσο, γνωρίζουμε ότι με δεδομένο ένα οποιοδήποτε πεπερασμένο αλφάβητο, πεπερασμένες ακολουθίες γραμμάτων από αυτό το αλφάβητο, ή *λέξεις* όπως αποκαλούνται, μπορεί να κωδικοποιηθούν συστηματικά ως αριθμοί, έτσι ώστε συναρτήσεις από λέξεις σε λέξεις να μπορούν να παρασταθούν ως αριθμητικές συναρτήσεις. Κατά συνέπεια, θα μπορούσαμε εξίσου καλά να έχουμε μηχανές Τιούρινγκ που διαθέτουν κάποιο πεπερασμένο λεξιλόγιο διαφορετικό από ένα σύστημα ψηφίων, και οι οποίες υπολογίζουν συναρτήσεις από λέξεις αυτού του λεξιλογίου σε λέξεις του ίδιου λεξιλογίου.

Μπορούμε να φανταστούμε τις οδηγίες ή το πρόγραμμα μιας μηχανής Τιούρινγκ ως σύστημα σχολιασμένων σημείων και γραμμών: Κάθε διακεκριμένη κατάσταση της μηχανής μπορεί να παριστάνεται ως ένα σημείο ή κόμβος, και εάν κάποια εγγραφή πάνω στην ταινία έχει ως αποτέλεσμα να πάει η μηχανή Τιούρινγκ από την πρώτη κατάσταση στη δεύτερη, τότε να σύρεται ένα βέλος από έναν κόμβο σε έναν άλλο. Ας σχολιάσουμε το βέλος με το σύμβολο που πρέπει να διαβάσει η μηχανή ώστε, όταν βρίσκεται στην πρώτη κατάσταση, να πάει στη δεύτερη, καθώς και με το σύμβολο που αυτή γράφει ή με την κατεύθυνση στην οποία κινείται. Έτσι, μια μηχανή που λειτουργεί με ένα λεξιλόγιο $\{K, 0, 1\}$, όπου το K παριστάνει ένα κενό τετράγωνο της ταινίας, και η οποία μετατρέπει κάθε ψηφίο σε 1, μπορεί να απεικονιστεί όπως στο Σχήμα 10.1.

Η μηχανή αρχίζει από το τετράγωνο 1, το οποίο είναι κενό κατά σύμβαση, στην κατάσταση 1. Κατόπιν μετακινείται ένα τετράγωνο προς τα δεξιά, και μεταφέρεται στην κατάσταση 2. Εάν το τετράγωνο στα δεξιά του πρώτου τετραγώνου είναι κενό (χωρίς είσοδο), τότε η μηχανή *σταματά* και δεν κάνει τίποτα άλλο. Εάν αυτό το τετράγωνο περιέχει ένα 0, η μηχανή γράφει ένα 1 στη θέση του, μένει στην κατάσταση 2, και μετακινείται ένα τετράγωνο προς τα δεξιά. Εάν αυτό το τετράγωνο έχει ένα 1, η μηχανή μετακινείται ένα τετράγωνο προς τα δεξιά και μένει στην κατάσταση 2.

Για να περιγράψουμε την ακολουθία των καταστάσεων της μηχανής και της ταινίας, ας θεωρήσουμε ότι ο πρώτος αριθμός παριστάνει τον αριθμό της κατάστασης της μηχανής, ότι ο δεύτερος αριθμός παριστάνει τον αριθμό του τετρα-



Σχήμα 10.1 Μια μηχανή Τιούρινγκ

γώνου πάνω από το οποίο βρίσκεται η κεφαλή ανάγνωσης-εγγραφής –λαμβάνοντας το τετράγωνο που βρίσκεται αρχικά κάτω από την κεφαλή ανάγνωσης-εγγραφής ως 1 και μετρώντας θετικά προς τα δεξιά– και κατόπιν ας θεωρήσουμε ότι η υπόλοιπη ακολουθία αριθμών είναι η ακολουθία των ψηφίων πάνω στην ταινία. Για παράδειγμα:

ΕΙΣΟΔΟΣ ΤΑΙΝΙΑΣ: B1001

ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ:

1, 1, B1001B
2, 2, B1001B
2, 3, B1001B
2, 3, B1101B
2, 4, B1101B
2, 4, B1111B

2, 5, B1111B
2, 6, B1111B

Μια μηχανή Τιούρινγκ μπορεί επίσης να περιγραφεί ως ένα ακριβές μαθηματικό αντικείμενο, συγκεκριμένα ως ένα πεπερασμένο σύνολο αριθμητικών τετράδων. Ο πρώτος αριθμός μιας τέτοιας τετράδας απλώς ονομάζει την κατάσταση της μηχανής που αντιστοιχεί σε αυτή την τετράδα. (Μάλιστα εφόσον κάθε τετράδα καθορίζει τι ακριβώς κάνει η μηχανή όταν διαβάζει ένα τετράγωνο σε μια συγκεκριμένη κατάσταση, θα υπάρχει μια διακεκριμένη τετράδα για τις περισσότερες από τις καταστάσεις της μηχανής και για κάθε δυνατό ψηφίο που μπορεί να εμφανιστεί πάνω σε ένα τετράγωνο.) Ο δεύτερος αριθμός της τετράδας είναι ένα από τα ψηφία που μπορούν να εμφανιστούν σε ένα τετράγωνο, ο τρίτος αριθμός είναι ένα ψηφίο που μπορεί να γραφεί σε ένα τετράγωνο, ή ένας αριθμός που παριστάνει το «μετακινήσου προς τα δεξιά», ή ένας αριθμός που παριστάνει το «μετακινήσου προς τα αριστερά», και ο τέταρτος αριθμός είναι ξανά ο αριθμός που ονομάζει μια κατάσταση της μηχανής. Με απλά λόγια, η τετράδα $<n_1 n_2 n_3 n_4>$ παριστάνει την ακόλουθη οδηγία: «Εάν βρίσκεσαι στην κατάσταση n_1 και διαβάζεις το ψηφίο n_2, τότε σβήσε το n_2 και γράψε n_3 ή μετακινήσου ένα τετράγωνο προς τα δεξιά εάν το n_3 είναι ίσο με τη μία τιμή, ή μετακινήσου ένα τετράγωνο προς τα αριστερά εάν το n_3 είναι ίσο με την άλλη τιμή, και πήγαινε στην κατάσταση n_4».

Συμβατικά καθορίζουμε ότι η κατάσταση $n_1=1$ είναι η *κατάσταση εκκίνησης* της μηχανής.

Μπορούμε να ορίσουμε τον *υπολογισμό* που εκτελείται από μια μηχανή Τιούρινγκ και ο οποίος δίδεται μέσω ενός πεπερασμένου συνόλου τετράδων, ως μια ακολουθία *στιγμιαίων καταστάσεων της μηχανής* με τον τρόπο που περιγράψαμε στο προηγούμενο παράδειγμα. Με τη βοήθεια του ορισμού μιας μηχανής Τιούρινγκ ως ενός πεπερασμένου συνόλου τετράδων, θα μπορούσαμε να δώσουμε έναν ακριβή επαγωγικό ορισμό του υπολογισμού μέσω μιας μηχανή Τιούρινγκ, αλλά αυτό το αφήνουμε ως μια (δύσκολη) άσκηση.

Ο Τιούρινγκ απέδειξε ότι μία και μοναδική μηχανή μπορεί να υπολογίσει κάθε συνάρτηση που μπορεί να υπολογιστεί από οποιαδήποτε μηχανή Τιούρινγκ. Σήμερα τέτοιες μηχανές ονομάζονται *Καθολικές μηχανές Τιούρινγκ*. Η ιδέα είναι η ακόλουθη. Εφόσον όλες οι μηχανές Τιούρινγκ μπορούν να απαριθμηθούν, μπορούμε να φτιάξουμε κάποια κωδικοποίηση που να απονέμει έναν αριθμό σε κάθε μηχανή Τιούρινγκ. Κατόπιν, μπορούμε να σχεδιάσουμε μια μηχανή Τιούρινγκ η οποία να ερμηνεύει τον πρώτο αριθμό στην ταινία της ως τον αριθμό μιας μηχανής Τιούρινγκ, κάποια συμβατική ακολουθία ψηφίων που ακολουθούν αυτό τον αριθμό ως ένα δείκτη που σημειώνει διαστήματα, και τον επόμενο αριθμό στην ταινία ως την είσοδο της μηχανής που παριστάνεται από τον πρώτο αριθμό της ταινίας. Κατόπιν, η Καθολική μηχανή Τιούρινγκ προσομοιώνει τους υπολογισμούς που θα έκανε για τον συγκεκριμένο αυτό αριθμό εισόδου η μηχα-

νή Τιούρινγκ που ονομάστηκε από τον πρώτο αριθμό της ταινίας. Έτσι, υπάρχει, υπό μία έννοια, ένας καθολικός αλγόριθμος που κάνει οτιδήποτε μπορεί να κάνει ένας οποιοσδήποτε άλλος αλγόριθμος.

10.2.4 Η Θέση του Τσερτς.

Μοιάζει αδιαμφισβήτητο ότι κάθε συνάρτηση που υπολογίζεται από κάποια μηχανή Τιούρινγκ θα πρέπει να θεωρείται ως μια υπολογίσιμη συνάρτηση. Πέρα από τις μηχανές Τιούρινγκ, έχουμε πολλούς άλλους τρόπους με τους οποίους θα μπορούσαμε να επιχειρήσουμε να αποδώσουμε την έννοια του υπολογισμού. Για παράδειγμα, θα μπορούσαμε να φανταστούμε μια μηχανή με έναν απεριόριστο αριθμό καταχωρητών* (registers), σε καθέναν από τους οποίους μπορεί να γραφεί ένας αριθμός. Ας υποθέσουμε ότι επιτρέπεται να γράψουμε οποιαδήποτε πεπερασμένη ακολουθία οδηγιών οποιουδήποτε από τα παρακάτω είδη:

r_i:=0 (κάνε τον αριθμό στον i-στό καταχωρητή ίσο με μηδέν)
r_i:= r_j (κάνε τον αριθμό στον i-στό καταχωρητή ίσο με όποιον αριθμό βρίσκεται στον j-στό καταχωρητή)
r_i:= r_i+1 (κάνε τον αριθμό στον i-στό καταχωρητή ίσο με τον επόμενό του)
Go to (i, j, k) (εάν r_i=r_j τότε μετακινήσου στην k-στή οδηγία του καταλόγου, αλλιώς μετακινήσου στην επόμενη οδηγία).

Ένα πρόγραμμα για μια τέτοια *Μηχανή Απεριόριστων Καταχωρητών* (Unlimited Register Machine-URM) αποτελείται από ένα πεπερασμένο σύνολο οδηγιών. Η είσοδος δίδεται μέσω των αριθμών που βρίσκονται σε ένα πεπερασμένο σύνολο καταχωρητών, με τη σύμβαση ότι όποιος καταχωρητής δεν έχει έναν αριθμό ως είσοδο θεωρείται ότι έχει την τιμή μηδέν εκτός αν του δοθεί μια άλλη τιμή κατά τη διάρκεια του υπολογισμού. Η έξοδος δίδεται από τον αριθμό του πρώτου καταχωρητή στον οποίο βρίσκεται η μηχανή όταν σταματά.

Ένας υπολογισμός με μια URM ξεκινά από την πρώτη γραμμή κάποιου προγράμματος και την αρχική κατάσταση των καταχωρητών. Οι καταχωρητές μεταβάλλονται σύμφωνα με τη γραμμή του προγράμματος και έτσι προκύπτει μια νέα κατάσταση των καταχωρητών και μια νέα γραμμή του προγράμματος (η οποία θα είναι η επόμενη γραμμή προγράμματος ή, ενδεχομένως, κάποια άλλη γραμμή του προγράμματος εάν η παρούσα γραμμή έχει μια οδηγία «Goto»). Έτσι, ακριβώς όπως συμβαίνει με τις μηχανές Τιούρινγκ, ένας υπολογισμός URM μπορεί να περιγραφεί ως μια ακολουθία πεπερασμένων καταλόγων, όπου κάθε κατάλο-

* Καταχωρητής είναι ένα σύνολο δισταθών κυκλωμάτων που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση πληροφοριών σε δυαδική μορφή. Δισταθές κύκλωμα είναι ένα κύκλωμα που έχει δύο δυνατές ευσταθείς καταστάσεις. [Σ.τ.Μ.]

γος περιέχει τη γραμμή προγράμματος και καθορίζει για κάθε i την τιμή του r_i, δηλαδή τον αριθμό που βρίσκεται στον i-στό (μη κενό) καταχωρητή. Όπως και με τις μηχανές Τιούρινγκ, κάποιες μηχανές URM μπορεί να μη σταματούν ποτέ για ορισμένες εισόδους.

Θεώρημα: Μια συνάρτηση είναι υπολογίσιμη από κάποια μηχανή URM αν και μόνο αν είναι υπολογίσιμη από κάποια μηχανή Τιούρινγκ.

Οι χαρακτηρισμοί των υπολογίσιμων συναρτήσεων ως αναδρομικών συναρτήσεων, ως συναρτήσεων υπολογίσιμων από μηχανές Τιούρινγκ και ως συναρτήσεων υπολογίσιμων από μηχανές URM είναι και οι τρεις ισοδύναμοι, με την έννοια ότι η ίδια ακριβώς κατηγορία συναρτήσεων ικανοποιεί και τις τρεις περιγραφές. Οι υπολογίσιμες συναρτήσεις αριθμών επιδέχονται πολλούς άλλους προσδιορισμούς. Ο φιλόσοφος και μελετητής της Λογικής Αλόνζο Τσερτς, ο οποίος προσδιόρισε πρώτος με ακρίβεια αυτήν την κατηγορία συναρτήσεων (με τρόπο διαφορετικό από αυτούς που περιγράψαμε), διατύπωσε την ακόλουθη θέση:

Η Θέση του Τσερτς: Οι υπολογίσιμες συναρτήσεις αριθμών είναι οι συναρτήσεις οι υπολογίσιμες κατά Τιούρινγκ.

Η θέση του Τσέρτς δεν είναι ένα μαθηματικό θεώρημα. Πρόκειται για μια πρόταση προς έρευνα. Λαμβάνοντας υπόψη τη συνοχή πολλών, εννοιολογικά πολύ διαφορετικών, προσεγγίσεων της υπολογισιμότητας οι οποίες χαρακτηρίζουν μία και την αυτή κατηγορία συναρτήσεων, λαμβάνοντας υπόψη τα τεκμήρια που παρέχει το έργο του Τιούρινγκ σχετικά με το ότι οι συναρτήσεις αυτής της κατηγορίας είναι πράγματι υπολογίσιμες με πολύ απλές μηχανές, και λαμβάνοντας τέλος υπόψη το γεγονός ότι κάθε συνάρτηση επί των φυσικών αριθμών για την οποία είναι κανείς σίγουρος ότι είναι υπολογίσιμη προκύπτει ότι είναι υπολογίσιμη και κατά Τιούρινγκ, η θέση του Τσερτς προτείνει απλώς να θεωρήσουμε ως υπολογίσιμες συναρτήσεις εκείνες που είναι υπολογίσιμες από κάποια μηχανή Τιούρινγκ.

Εφόσον γνωρίζουμε πώς να ανάγουμε συναρτήσεις που είναι ορισμένες επί πεπερασμένων ακολουθιών αποτελούμενων από αντικείμενα οποιασδήποτε καθορισμένης κατηγορίας σε συναρτήσεις επί αριθμών, η θέση του Τσερτς έχει σημαντικές συνέπειες. Δεν πρόκειται απλώς για την υπολογισιμότητα συναρτήσεων επί αριθμών, πρόκειται για την υπολογισιμότητα συναρτήσεων επί οτιδήποτε μπορεί να μετρηθεί ή να απαριθμηθεί μέσω μιας υπολογίσιμης ένα-προς-ένα απεικόνισης ή κωδικοποίησης αντικειμένων στους φυσικούς αριθμούς. Με το τέχνασμα των χαρακτηριστικών συναρτήσεων οι οποίες απονέμουν την τιμή 1 σε όλα τα μέλη ενός συνόλου και την τιμή 0 σε όλα τα μέλη του συμπληρώματός του, η υπολογισιμότητα (αριθμήσιμων) συνόλων μπορεί να αναχθεί στην υπολογισιμότητα αριθμητικών συναρτήσεων. Εφόσον οι εκτάσεις των ιδιοτήτων

και των σχέσεων είναι σύνολα, η υπολογισιμότητα τέτοιων εκτάσεων, εφόσον αυτές είναι αριθμήσιμες, ανάγεται επίσης στην υπολογισιμότητα αριθμητικών συναρτήσεων.

Η θέση του Τσερτς θα μπορούσε να εκληφθεί ευρύτερα ως ο ισχυρισμός ότι οτιδήποτε μπορεί να υπολογισθεί μπορεί να αναχθεί στον υπολογισμό μιας αναδρομικής συνάρτησης. Εάν ο κόσμος είναι από μερικές απόψεις συνεχής, όπως δέχονται οι φυσικές μας θεωρίες, τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε φυσικά συστήματα για να υπολογίσουμε συναρτήσεις που έχουν ορισθεί όχι μόνο επί των φυσικών αριθμών αλλά και πάνω στο σύστημα των πραγματικών αριθμών ή τουλάχιστον στο σύστημα των ρητών αριθμών. Εξάλλου, είναι δυνατό να βρούμε φυσικές διαδικασίες οι οποίες υπολογίζουν χαρακτηριστικές συναρτήσεις για μη αριθμήσιμα (uncountable) σύνολα. Έχουν υπάρξει προσπάθειες να ορισθεί η έννοια της υπολογισιμότητας για συναρτήσεις με πραγματικές τιμές χωρίς την αναγωγή αυτών των υπολογισμών σε υπολογισμούς επί των φυσικών αριθμών.

10.2.5 Προβλήματα Απόκρισης

Κάθε μηχανή Τιούρινγκ είναι μια πεπερασμένη ακολουθία από τετράδες. Η συλλογή όλων των *πεπερασμένων* αριθμητικών ακολουθιών μπορεί να απαριθμηθεί, και έτσι μπορεί να τεθεί σε μια ένα-προς-ένα αντιστοιχία με τους ίδιους τους φυσικούς αριθμούς. Έτσι, αν ορίσουμε ένα λεξιλόγιο για την είσοδο και την έξοδο, η συλλογή όλων των μηχανών Τιούρινγκ για αυτό το λεξιλόγιο μπορεί να απαριθμηθεί, και μάλιστα η απαρίθμηση μπορεί να γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εποπτικά υπολογίσιμη. Αυτός είναι ένας τρόπος να δει κανείς κάτι ενδιαφέρον ως προς το σύνολο όλων των υπολογίσιμων συναρτήσεων: Εφόσον, σύμφωνα με τη θέση του Τσερτς, το σύνολο των υπολογίσιμων συναρτήσεων είναι απλώς το σύνολο των συναρτήσεων που μπορούν να υπολογισθούν από μια μηχανή Τιούρινγκ, και εφόσον το σύνολο των μηχανών Τιούρινγκ είναι αριθμήσιμα άπειρο, το σύνολο όλων των υπολογίσιμων συναρτήσεων επί των φυσικών αριθμών είναι αριθμήσιμα άπειρο. Αφού δε, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Κάντορ, το σύνολο *όλων* των συναρτήσεων επί των φυσικών αριθμών είναι μη-αριθμήσιμα άπειρο, οι υπολογίσιμες συναρτήσεις αποτελούν μόνο ένα μικροσκοπικό τμήμα του συνόλου όλων των συναρτήσεων επί των φυσικών αριθμών. Και αυτό σημαίνει κάτι πολύ σημαντικό:

Για πολλές συναρτήσεις και για πολλά σύνολα, ιδιότητες και σχέσεις για τις οποίες επιθυμούμε να έχουμε αλγορίθμους, ενδέχεται κανένας αλγόριθμος να μην είναι δυνατός.

Ας εξετάσουμε ένα παράδειγμα μιας μη-υπολογίσιμης συνάρτησης. Θεωρούμε τη συνάρτηση $f(m, n)$, που απονέμει την τιμή 1 στο ζεύγος (m, n) εάν το m εί-

ναι ο αριθμός μιας μηχανής Τιούρινγκ η οποία σταματά με είσοδο *n*, και απονέμει την τιμή 0 σε κάθε άλλη περίπτωση. Είναι αυτή η συνάρτηση υπολογίσιμη; Μπορεί να αποδειχθεί ότι δεν είναι.

Το πρόβλημα τερματισμού (halting problem) μας δίνει ένα παράδειγμα μη-υπολογίσιμης συνάρτησης. Υπάρχουν πολλά τέτοια παραδείγματα. Θεωρήστε το πρόβλημα να αποφασισθεί εάν ένας τυχαίος πρωτοβάθμιος τύπος είναι έγκυρος. Μια διαδικασία απόκρισης για αυτό το πρόβλημα είναι κάποιος αλγόριθμος για τον υπολογισμό μιας συνάρτησης η οποία απονέμει την τιμή 1 σε ένα τύπο αν και μόνο αν αυτός είναι ένας έγκυρος πρωτοβάθμιος τύπος, και την τιμή 0 σε κάθε άλλη περίπτωση. Είναι προφανές ότι υπάρχει μια τέτοια συνάρτηση, υπάρχει όμως και κάποιος αλγόριθμος για αυτήν τη συνάρτηση; Είναι αυτή μια υπολογίσιμη συνάρτηση; Η απάντηση είναι όχι. *Δεν υπάρχει κανένας αλγόριθμος που να καθορίζει εάν ένας τυχών πρωτοβάθμιος τύπος είναι έγκυρος.* Αυτό σημαίνει επίσης ότι δεν υπάρχει κανένας αλγόριθμος που να καθορίζει εάν ένα τυχόν πρωτοβάθμιο *επιχείρημα* είναι έγκυρο: Δεν μπορούμε να έχουμε μια μηχανική διαδικασία η οποία να δέχεται ως είσοδο έναν πεπερασμένο κατάλογο τύπων και να καθορίζει εάν το σύνολο που αποτελείται από όλα τα μέλη του καταλόγου εκτός από το τελευταίο συνεπάγεται αυτό το τελευταίο μέλος.

Οι φιλοσοφικές συνέπειες αυτού του αποτελέσματος, σε συνδυασμό με τη θέση Τσερτς, είναι τεράστιες. Αυτό σημαίνει, για παράδειγμα, ότι η ιδέα πως θα επιλυθούν όλα τα μαθηματικά προβλήματα μέσω ενός αλγορίθμου είναι απραγματοποίητη· σημαίνει ότι το όραμα του Λάιμπνιτς για ένα λογισμό μέσα στον οποίο θα μπορούσε να εκφραστεί όλη η γνώση και να αποκτηθούν αλγοριθμικά οι συνέπειές της δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί. Το αποτέλεσμα αυτό συνεπάγεται επίσης μια γόνιμη και δύσκολη ερώτηση η οποία έχει νόημα μόνο αν η πρωτοβάθμια εγκυρότητα είναι μη-αποκρίσιμη: Ποιες πρωτοβάθμιες θεωρίες *είναι* αποκρίσιμες; Δηλαδή, ποια σύνολα προτάσεων είναι τέτοια ώστε να υπάρχει ένας αλγόριθμος που να καθορίζει, για κάθε πρόταση, εάν αποτελεί συνέπεια του συνόλου; Για να θέσουμε το ερώτημα με άλλο τρόπο, είναι οι θεωρίες παραγωγικά κλειστές συλλογές προτάσεων; Ποιες από αυτές τις συλλογές έχουν υπολογίσιμη χαρακτηριστική συνάρτηση; Αυτά τα ερωτήματα συνιστούν το πρόβλημα που είναι γνωστό στη λογική ως *πρόβλημα απόκρισης* (decision problem).

Θεωρήστε τη θεωρία των αριθμών. Μέρος αυτών που απέδειξε ο Γκέντελ είναι ότι το σύνολο των θεωρημάτων της αριθμητικής του Πεάνο είναι μη-αποκρίσιμο. Θεωρήστε το σύνολο των έγκυρων τύπων της άλγεβρας του Μπουλ. Αυτό το σύνολο είναι υπολογίσιμο.

Θεωρήστε οποιαδήποτε πρωτοβάθμια θεωρία που είναι και αξιωματικοποιήσιμη και πλήρης. Το σύνολο των προτάσεων αυτής της θεωρίας είναι υπολογίσιμο και σε αυτή την περίπτωση η θεωρία λέγεται **αποκρίσιμη.** Είναι εύκολο να διαπιστώσει κανείς ότι μια πλήρης αξιωματοποιήσιμη θεωρία είναι αποκρίσιμη, γιατί, αν δοθεί οποιαδήποτε πρόταση της γλώσσας της θεωρίας, τότε είτε η πρό-

ταση αυτή, είτε η άρνησή της ανήκει στη θεωρία. Εφόσον η θεωρία είναι αξιωματικοποιήσιμη, υπάρχει ένας αλγόριθμος ο οποίος αποφασίζει εάν μια πρόταση ανήκει σε ένα σύνολο αξιωμάτων της θεωρίας. Μπορούμε επίσης να απαριθμήσουμε αποτελεσματικά* (effectively) όλες τις πεπερασμένες ακολουθίες προτάσεων της γλώσσας και να καθορίσουμε υπολογιστικά για κάθε τέτοια ακολουθία εάν συνιστά απόδειξη που απορρέει από τα αξιώματα της θεωρίας. Για κάθε πρόταση της θεωρίας θα υπάρχει μια τέτοια απόδειξη. Έτσι, μπορούμε να απαριθμήσουμε με υπολογίσιμο τρόπο όλες τις αποδείξεις που απορρέουν από τα αξιώματα της θεωρίας μέχρι να βρούμε μιαν απόδειξη είτε αυτής της πρότασης είτε της άρνησής της. Εάν βρούμε μιαν απόδειξη της άρνησης αυτής της πρότασης, η διαδικασία πιστοποιεί ότι η πρόταση δεν ανήκει στη θεωρία, εάν βρούμε μιαν απόδειξη της πρότασης, τότε η διαδικασία πιστοποιεί ότι η πρόταση ανήκει στη θεωρία. Έτσι, ενώ πολλά απ' αυτά που θα επιθυμούσαμε να υπολογίσουμε δεν είναι υπολογίσιμα, υπάρχουν πολλές σημαντικές συναρτήσεις, ιδιότητες και σχέσεις που είναι υπολογίσιμες. Η θεωρία της στοιχειώδους Ευκλείδειας γεωμετρίας, για παράδειγμα, είναι αξιωματικοποιήσιμη και πλήρης, και συνεπώς υπάρχει ένας αλγόριθμος που αποφασίζει για κάθε πρόταση της γλώσσας της θεωρίας εάν η πρόταση αυτή είναι ή δεν είναι θεώρημα της Ευκλείδειας γεωμετρίας.

Αυτά τα παραδείγματα μόλις εγγίζουν την περίπλοκη δομή του προβλήματος της απόκρισης για πρωτοβάθμιες θεωρίες, πρόβλημα το οποίο συνιστά ακόμα ενεργό πεδίο έρευνας.

10.2.6 Τι είναι Υπολογισμός;

Η θεωρία της υπολογισιμότητας ξεκίνησε από δύο ερωτήματα που δεν έχουν ακόμα απαντηθεί: Τι είναι υπολογισμός; Τι είναι αλγόριθμος; Αντί να απαντήσει στα ερωτήματα αυτά, η θεωρία του υπολογισμού αναπτύχθηκε προτείνοντας *συγκεκριμένα* υπολογιστικά συστήματα, και χαρακτηρίζοντας κατόπιν ως υπολογίσιμο αυτό που μπορεί να υπολογιστεί σε κάποιο από αυτά τα συστήματα. Όμως αυτή η στρατηγική δεν αποφέρει κανένα *γενικό* χαρακτηρισμό του *υπολογιστικού συστήματος*, και έτσι δεν παρέχει κανένα γενικό προσδιορισμό της έννοιας του υπολογισμού. Ούτε παρέχει μια γενική θεώρηση της έννοιας του *αλγορίθμου*. Κάθε συγκεκριμένο υπολογιστικό σύστημα παρέχει την έννοια του *προγράμματος* –για παράδειγμα, τον κατάλογο των οδηγιών ενός προγράμματος URM, ή τον πρώτο αριθμό της εισόδου μιας Καθολικής Μηχανής Τιούρινγκ– αλλά δεν έχουμε στη διάθεσή μας κανένα προσδιορισμό του πότε δύο προγράμματα σε

* Ο όρος αυτός δηλώνει την ύπαρξη μιας διαδικασίας η οποία μπορεί να καθοριστεί πλήρως μέσω ενός πεπερασμένου αριθμού οδηγιών κάθε μία από τις οποίες είναι απαλλαγμένη από κάθε είδους αμφισημία και μπορεί να εκτελεστεί τελείως μηχανικά [Σ.τ.Μ.].

δύο *διαφορετικά* συστήματα –ας πούμε σε ένα πρόγραμμα URM και σε ένα πρόγραμμα Καθολικής Μηχανής Τιούρινγκ– αποτελούν ή όχι εφαρμογές ενός και του αυτού αλγορίθμου.

Μπορούμε να πάρουμε μια γεύση της ποικιλίας των εναλλακτικών υπολογιστικών συστημάτων εξετάζοντας ορισμένα παραδείγματα. Οι γλώσσες προγραμματισμού PASCAL και LISP, όταν εφαρμόζονται σε μια υπολογιστική μηχανή, συνιστούν ένα υπολογιστικό σύστημα. Επίσης αυτές αποτελούν υπολογιστικά συστήματα ικανά να υπολογίσουν οποιαδήποτε αναδρομική συνάρτηση με την προϋπόθεση ότι η μνήμη της μηχανής μπορεί να αυξηθεί οσοδήποτε χρειαστεί.

Σκεφτείτε τι μπορεί να επιτευχθεί με τις μηχανές Τιούρινγκ. Αντί να έχουμε μια μοναδική ταινία πάνω στην οποία πρέπει να καταγράφονται η είσοδος, η ενδιάμεση εργασία, και η έξοδος, θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε μια μηχανή η οποία είναι σχεδιασμένη όπως ακριβώς μια μηχανή Τιούρινγκ αλλά έχει πολλές ταινίες: ας πούμε, μία για την είσοδο, μία για την έξοδο, και έναν οποιοδήποτε αριθμό ταινιών για τους ενδιάμεσους υπολογισμούς. Για κάθε αριθμό ταινιών k, η κατηγορία των μηχανών Τιούρινγκ με k ταινίες μπορεί να υπολογίσει όλες τις υπολογίσιμες κατά Τιούρινγκ συναρτήσεις, δηλαδή, το σύνολο των συναρτήσεων που είναι υπολογίσιμες από μια μηχανή με μία ταινία.

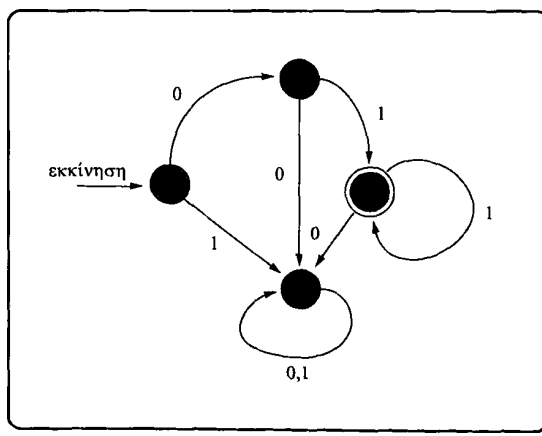
Ένα διαφορετικό είδος υπολογιστικού συστήματος δημιουργείται εάν εισαγάγουμε πιθανότητες στις μηχανές Τιούρινγκ. Η τέταρτη καταχώρηση σε κάθε τετράδα της μαθηματικής περιγραφής μιας μηχανής Τιούρινγκ συνιστά το όνομα μιας συγκεκριμένης κατάστασης της μηχανής. Η μηχανή Τιούρινγκ πηγαίνει από μία συγκεκριμένη κατάσταση σε μια άλλη κατάσταση σε κάθε στάδιο της λειτουργίας της. Μπορούμε να κατασκευάσουμε μια *στοχαστική μηχανή Τιούρινγκ* αν αντικαταστήσουμε την τέταρτη καταχώρηση κάθε τετράδας με μια *κατανομή πιθανότητας* πάνω στις καταστάσεις της μηχανής. (Θα μπορούσαμε επίσης να καταστήσουμε απροσδιόριστο αυτό που *γράφει* η μηχανή σε μια δεδομένη κατάστασή της). Η βασική ιδέα είναι ότι μια στοχαστική μηχανή Τιούρινγκ, όταν βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη κατάσταση και αφού διαβάσει ένα συγκεκριμένο ψηφίο, πρώτα γράφει ή μετακινείται και μετά ρίχνει ένα ζάρι ή κάνει κάτι άλλο ανάλογα τυχαίο για να καθορίσει σε ποια κατάσταση θα μεταβεί στη συνέχεια. (Μπορούμε να πούμε ότι μια μηχανή αυτού του είδους υπολογίζει μια δεδομένη συνάρτηση f με τον όρο ότι για κάθε αριθμό n του πεδίου ορισμού της συνάρτησης, η μηχανή παρέχει την $f(n)$ με πιθανότητα μεγαλύτερη του 1/2.) Είναι αξιοσημείωτο ότι το σύνολο των συναρτήσεων που είναι υπολογίσιμες από τις στοχαστικές μηχανές Τιούρινγκ ταυτίζεται με το σύνολο των υπολογίσιμων κατά Τιούρινγκ συναρτήσεων.

Ωστόσο δεν ισχύει ότι κάθε υπολογιστικό σύστημα που μπορούμε να φανταστούμε είναι ικανό να υπολογίσει τις υπολογίσιμες κατά Τιούρινγκ συναρτήσεις. Αντίθετα, πολλά συστήματα μπορούν να υπολογίσουν μόνο ένα περιορισμένο σύνολο συναρτήσεων. Ας θεωρήσουμε, για παράδειγμα, τα υπολογιστικά συστήματα που ονομάζονται *αυτόματα πεπερασμένων καταστάσεων* (finite state

automata). Ένα αυτόματο πεπερασμένων καταστάσεων μοιάζει με το γράφημα που παριστάνει τις μεταβάσεις από κατάσταση σε κατάσταση για μια μηχανή Τιούρινγκ. Υπάρχει ένα σύνολο κόμβων, στο οποίο περιλαμβάνεται ένας μοναδικός διακεκριμένος αρχικός κόμβος και ένα μη-κενό σύνολο «τελικών κόμβων». Κάθε κόμβος έχει ένα συγκεκριμένο αριθμό τόξων, έστω k, που ξεκινούν από αυτόν και μεταβαίνουν προς άλλους κόμβους (ενδεχομένως και προς τον εαυτό του). Το k είναι ο ίδιος αριθμός για όλους τους κόμβους, και στα k τόξα που εξέρχονται από έναν κόμβο δίδονται k διαφορετικές ετικέτες.

Ένα αυτόματο πεπερασμένων καταστάσεων εκτελεί έναν υπολογισμό λαμβάνοντας μια πεπερασμένη έκφραση από ετικέτες ως είσοδο. Το αυτόματο ξεκινά από την αρχική κατάσταση, και κατόπιν ακολουθεί το τόξο με την ετικέτα που αντιστοιχεί στο πρώτο στοιχείο της έκφρασης εισόδου, μετά το τόξο με την ετικέτα που αντιστοιχεί στο δεύτερο στοιχείο της έκφρασης εισόδου, κ.ο.κ.. Λέμε ότι το αυτόματο *δέχεται* την έκφραση εισόδου s εάν καταλήγει σε μία από τις τελικές του καταστάσεις. Η αποδοχή μιας έκφρασης s ισοδυναμεί με τον υπολογισμό μιας συνάρτησης f η οποία απονέμει την τιμή 1 σε μια έκφραση εφόσον γίνεται δεκτή, και την τιμή 0 σε κάθε άλλη περίπτωση. Στις παραστάσεις των αυτόματων πεπερασμένων καταστάσεων η τελική κατάσταση παριστάνεται με έναν διπλό δακτύλιο (Βλέπε Σχήμα 10.2.). Ορισμένες από τις συναρτήσεις που είναι υπολογίσιμες κατά Τιούρινγκ δεν μπορούν να υπολογιστούν από κανένα αυτόματο πεπερασμένων καταστάσεων.

Υπολογιστικές δομές όπως τα αυτόματα πεπερασμένων καταστάσεων παίζουν σημαντικό ρόλο στην αναπαράσταση καθημερινών προβλημάτων που χρει-



Σχήμα 10.2 Ένα αυτόματο πεπερασμένων καταστάσεων

άζονται ενδεχομένως επίλυση. Θεωρήστε, για παράδειγμα το έργο της κατασκευής ενός φακού τηλεσκοπίου από ένα ακατέργαστο κομμάτι γυαλιού. Το κομμάτι πρέπει να τροχιστεί, να γυαλιστεί και να επαργιλωθεί για να μετατραπεί σε φακό. Όλες αυτές οι πράξεις – τρόχισμα, γυάλισμα, και επαργίλωση – επηρεάζουν την κατάσταση του γυαλιού. Επιπλέον, για να προκύψει ο κατάλληλος φακός, αυτές οι επεξεργασίες θα πρέπει να γίνουν με τη σωστή σειρά. Εάν κάποιος πρώτα επαργιλώσει το γυαλί, μετά το γυαλίσει, και κατόπιν το τροχίσει, το αποτέλεσμα δεν θα είναι ένας φακός τηλεσκόπιου αλλά απλώς ένα γυαλί τροχισμένο στο σωστό σχήμα. Σε ένα τέτοιο πρόβλημα, οι διάφορες καταστάσεις του γυαλιού παριστάνονται με τους κόμβους ενός αυτόματου πεπερασμένων καταστάσεων, ενώ κάθε μία από τις διαφορετικές επεξεργασίες παριστάνεται από μια ετικέτα (για παράδειγμα, τις ετικέτες τ, γ και ε). Υπάρχει μια κατάσταση εκκίνησης, που παριστάνει το ακατέργαστο κομμάτι γυαλιού, και μία τελική κατάσταση, που παριστάνει την επιθυμητή κατάσταση που επιτυγχάνεται εφόσον ακολουθηθεί η κατάλληλη σειρά πράξεων. Κάθε κόμβος ή κατάσταση έχει τρία τόξα που εξέρχονται από αυτόν, ένα για κάθε επεξεργασία που θα μπορούσε ενδεχομένως να εκτελεστεί στο ακατέργαστο κομμάτι γυαλιού όταν βρίσκεται στην κατάσταση που παριστάνεται από τον κόμβο.

Μπορούμε επίσης να θεωρήσουμε *πεπερασμένα στοχαστικά αυτόματα* (stochastic finite automata), στα οποία κάθε ετικέτα αντιστοιχεί σε μια συνάρτηση πιθανότητας που συνδέει έναν κόμβο με ένα σύνολο άλλων κόμβων.

Άλλα υπολογιστικά συστήματα παίρνουν ως υπόδειγμα, τουλάχιστον προσεγγιστικά, τους νευρωνικούς συνδέσμους του εγκεφάλου. Για παράδειγμα, οι μηχανές *παράλληλα κατανεμημένης επεξεργασίας* (parallel distributed processing) και οι *συμπλεκτικές* (connectionist) μηχανές αποτελούνται από ένα σύστημα κόμβων συνδεδεμένων με τόξα. Κάθε κόμβος μπορεί να είναι εν λειτουργία, δηλαδή ανοιχτός, ή κλειστός. Το εάν ένας κόμβος, εκτός από τους κόμβους εισόδου, είναι ανοιχτός ή κλειστός είναι μια στοχαστική συνάρτηση της ανοιχτής ή κλειστής κατάστασης των κόμβων που είναι άμεσα συνδεδεμένοι με αυτόν τον συγκεκριμένο κόμβο. Κάποιοι από τους κόμβους μπορούν να καταγράφουν την είσοδο· δηλαδή, το εξωτερικό περιβάλλον καθορίζει εάν αυτοί είναι ανοιχτοί ή κλειστοί. Άλλοι κόμβοι προορίζονται να είναι κόμβοι εξόδου και η τελική κατάσταση ή κατάσταση ισορροπίας αυτών των κόμβων μετά την τροφοδότηση του συστήματος με κάποια είσοδο αποτελεί την έξοδο του συστήματος.

Είναι σαφές ότι το εύρος των συστημάτων που μπορούν εύλογα να χαρακτηριστούν ως «υπολογιστικά» είναι πολύ μεγάλο και ποικίλο. Δεν διαθέτουμε κανένα χαρακτηρισμό για τον οποίο να μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι παρέχει τις αναγκαίες και ικανές συνθήκες για το πότε κάτι είναι ένα υπολογιστικό σύστημα.

10.2.7 Πολυπλοκότητα

Εάν σας δοθεί ένα πρόβλημα προς επίλυση, αυτό μπορεί να είναι εύκολο ή δύσκολο, ανάλογα με τις ικανότητές σας και τις γνώσεις σας. Εάν τύχει να γνωρίζετε ήδη την απάντηση στο πρόβλημα (έστω ότι είδατε κάπου τη λύση), τότε το πρόβλημα είναι πολύ εύκολο. Εάν όχι, τότε η επίλυση του προβλήματος μπορεί να απαιτήσει πολύ κόπο. Έτσι η άμεση, καθημερινή ιδέα που έχουμε για τη δυσκολία ενός προβλήματος καθιστά τη δυσκολία μια *σχέση* μεταξύ ανθρώπων και έργων. Ένα έργο δεν είναι εύκολο ή δύσκολο από μόνο του, είναι τέτοιο μόνο *για* κάποιον άνθρωπο.

Υπάρχει μια προφανής έννοια που περιγράφει τη δυσκολία ενός υπολογιστικού έργου και η οποία έχει σχεσιακό χαρακτήρα. Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι έχουμε κάποια ολική* συνάρτηση και μια μηχανή Τιούρινγκ η οποία μπορεί να υπολογίσει αυτήν τη συνάρτηση. Αν δώσουμε έναν αριθμό ως είσοδο στη μηχανή Τιούρινγκ, τότε θα προκύψει μια έξοδος. Κατά τον υπολογισμό της εξόδου, η μηχανή Τιούρινγκ θα διατρέξει έναν συγκεκριμένο αριθμό βημάτων· πιο συγκεκριμένα, εάν καταγράψουμε την ακολουθία των στιγμιαίων περιγραφών της μηχανής Τιούρινγκ καθώς αυτή εκτελεί τον υπολογισμό, η ακολουθία αυτή θα έχει κάποιο καθορισμένο αριθμό μελών. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτόν τον αριθμό, οποιοσδήποτε κι αν είναι, ως μέτρο της προσπάθειας που χρειάστηκε η μηχανή για να κάνει τον υπολογισμό. Εάν κάθε βήμα απαιτεί το ίδιο ποσό χρόνου, τότε το μέτρο αυτό μπορεί να εκληφθεί ως ένα μέτρο του χρόνου που απαιτείται για τον υπολογισμό.

Προφανώς, για μία και την αυτή είσοδο, διαφορετικές μηχανές Τιούρινγκ μπορεί να απαιτούν διαφορετικούς αριθμούς βημάτων. Ακόμα και μηχανές που υπολογίζουν ακριβώς την ίδια συνάρτηση μπορεί να διαφέρουν στον αριθμό των υπολογιστικών βημάτων που απαιτούν. Με δεδομένη μια οποιαδήποτε συγκεκριμένη μηχανή Τιούρινγκ, μπορούμε πάντα να φτιάξουμε μιαν άλλη μηχανή Τιούρινγκ που να υπολογίζει ακριβώς την ίδια συνάρτηση με την πρώτη αλλά να απαιτεί περισσότερα βήματα για ορισμένες εισόδους. Στη πραγματικότητα, μπορούμε πάντα να βρούμε μια μηχανή που να απαιτεί περισσότερα βήματα για *κάθε είσοδο*. Αρκεί, απλώς, να προσθέσουμε επιπλέον αρχικές καταστάσεις και μεταβάσεις από καταστάσεις σε καταστάσεις που να μην κάνουν τίποτα.

Το να εκτιμήσουμε προσεγγιστικά το πόσο δύσκολα μια συγκεκριμένη μηχανή Τιούρινγκ υπολογίζει την έξοδο με βάση κάποια είσοδο είναι εύκολο. Μπορούμε όμως να πούμε κάτι πιο γενικό; Ας υποθέσουμε ότι έχουμε δύο μηχανές Τιούρινγκ που υπολογίζουν μία και την αυτή ολική συνάρτηση *f*. Υπάρχει, άραγε, κάποιος τρόπος να *συγκρίνουμε* τη δυσκολία με την οποία αυτές υπολογίζουν τη συνάρτηση; Υπάρχει.

---

* Ολική (total) ονομάζεται η συνάρτηση που, σε αντίθεση με τη μερική (partial) συνάρτηση, ορίζεται σε όλο το πεδίο ορισμού [Σ.τ.Μ.].

Για κάθε μηχανή T εξετάζουμε το πόσο *διαφέρει* ο αριθμός των υπολογιστικών βημάτων που απαιτούνται σε σχέση με το μέγεθος της εισόδου που δίδεται στη μηχανή. Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι παριστάνουμε αριθμούς σε κάποια βάση, έτσι ώστε κάθε αριθμός να παριστάνεται από μια ακολουθία ψηφίων. Μπορούμε να μετρήσουμε το *μέγεθος* μιας εισόδου από τον αριθμό των ψηφίων που περιέχει. Για κάθε δεδομένη τιμή του μεγέθους, μόνο ένας πεπερασμένος αριθμός εισόδων αυτού του μεγέθους είναι δυνατός.

Για εισόδους μεγέθους 1, κάθε μηχανή T θα απαιτήσει έναν αριθμό υπολογιστικών βημάτων. Η μηχανή T μπορεί να απαιτεί 10 βήματα εάν η είσοδος είναι 0, και 15 εάν είναι 1. Για εισόδους μεγέθους 2, η T θα απαιτεί επίσης έναν αριθμό υπολογιστικών βημάτων, έστω 12 για 00, 13 για 10, 15 για 11 και 30 για 01. Γενικά, μπορούμε να φτιάξουμε έναν πίνακα, τον Πίνακα 10.1, που να περιέχει τις δυνατές εισόδους για κάθε μέγεθος, και τον αριθμό των υπολογιστικών βημάτων που απαιτεί η Τ για κάθε είσοδο:

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.1

Είσοδος	Πλήθος υπολογιστικών βημάτων που απαιτούνται από την T
0	10
1	15
00	12
10	13
01	30
11	15

Ας ξεκαθαρίσουμε τα πράγματα. Έχουμε θεωρήσει μια μηχανή Τιούρινγκ T η οποία υπολογίζει μια συνάρτηση $f(x)$, έχουμε ένα μέτρο $s(x)$ του μεγέθους της εισόδου, και τέλος έχουμε ένα μέτρο $c(T,x)$ του υπολογιστικού κόστους της T για να υπολογίσει μια τιμή με αφετηρία την είσοδο x.

Τώρα, εάν έχουμε δύο διαφορετικές μηχανές Τιούρινγκ, έστω M και N, κάθε μια από τις οποίες υπολογίζει την ίδια συνάρτηση, μπορούμε να συγκρίνουμε τις δύο συναρτήσεις $c(M,x)$ και $c(N,x)$. Μπορεί να ισχύει, για παράδειγμα, ότι για κάθε μέγεθος εισόδου, $c(M,x)>c(N,x)$. Ή μπορεί για όλες τις εισόδους εκτός από έναν πεπερασμένο αριθμό να ισχύει $c(M,n)>c(N,x)$. Ή μπορεί η $c(N,x)$ να μην είναι ποτέ μεγαλύτερη από την $c(M,x)$, ενώ ισχύει η σχέση $c(M,x)>c(N,x)$ άπειρα συχνά. Κάθε μια από αυτές τις συνθήκες είναι διαφορετική, αλλά σε κάθε μια περίπτωση θα τείναμε να πούμε ότι ο υπολογισμός είναι πιο δύσκολος για τη μηχανή N απ' ό,τι για τη μηχανή M. Φυσικά, μπορεί να αποδειχτεί ότι καμιά από αυτές τις συνθήκες δεν ισχύει, και ότι δεν μπορούμε να πούμε τίποτα περισσότερο από το ότι για κάποιες εισόδους ο υπολογισμός είναι ευκολότερος με την M και για κάποιες άλλες είναι ευκολότερος με την N.

Το μέτρο υπολογιστικού κόστους που έχουμε δεν είναι πολύ ακριβές. Σε μια πραγματική μηχανή είναι δυνατό κάποια βήματα να απαιτούν περισσότερο χρόνο από τα άλλα· μπορεί επίσης κάποια βήματα να γίνονται πιο γρήγορα (ή πιο

αργά) όταν επαναλαμβάνονται. Αλλά έχουμε τουλάχιστον έναν χοντρικό τρόπο να συγκρίνουμε τις χρονικές απαιτήσεις διαφορετικών μηχανών, και έτσι να συγκρίνουμε τη δυσκολία που έχουν στον υπολογισμό.

Ας εξετάσουμε τώρα ένα πιο δύσκολο ζήτημα. Αποκτήσαμε μια ιδέα για την έννοια της δυσκολίας ενός προβλήματος ως σχέσης ανάμεσα σε ένα έργο και σε έναν επιλυτή προβλημάτων. Ακόμη, αποκτήσαμε κάποια ιδέα για τη δυσκολία ή πολυπλοκότητα του άπειρου συνόλου των έργων που εμπλέκονται στην ικανότητα υπολογισμού μιας συνάρτησης: Κάθε είσοδος συνιστά αυτό που θα μπορούσαμε να αποκαλέσουμε στιγμιότυπο (instance) του προβλήματος, ενώ το πρόβλημα στο σύνολό του συνίσταται στη δυνατότητα υπολογισμού της τιμής μιας δεδομένης συνάρτησης για κάθε είσοδο. Αυτό το έργο μπορεί να είναι περισσότερο δύσκολο για κάποιες από τις μηχανές Τιούρινγκ που υπολογίζουν τη συνάρτηση από ό,τι είναι για κάποιες άλλες. Ωστόσο δεν έχουμε ακόμα χαρακτηρίσει την *εγγενή δυσκολία* ενός προβλήματος. Γνωρίζουμε ότι ορισμένες συναρτήσεις απλώς δεν είναι υπολογίσιμες, αλλά δεν έχουμε βρει ακόμα κανένα τρόπο να λέμε πότε κάποιες από τις υπολογίσιμες συναρτήσεις είναι εγγενώς πιο δύσκολο να υπολογιστούν από κάποιες άλλες. Δεν έχουμε ακόμα βρει κάποιον τρόπο να ορίσουμε τη δυσκολία ως *ιδιότητα* των ίδιων των υπολογιστικών έργων αντί ως σχέση μεταξύ ενός προβλήματος και ενός επιλυτή προβλημάτων. Αυτό μπορούμε να το κάνουμε.

Για κάθε μέγεθος εισόδου υπάρχει μια είσοδος για την οποία ο αριθμός των υπολογιστικών βημάτων που απαιτεί η T είναι μέγιστος, ή τουλάχιστον εξίσου μεγάλος όσο οποιοσδήποτε άλλος. Για εισόδους μεγέθους 1, η μέγιστη τιμή του αριθμού των υπολογιστικών βημάτων που απαιτεί η T είναι 15· για εισόδους μεγέθους 2 η αντίστοιχη μέγιστη τιμή είναι 30. Έτσι θα μπορούσαμε να καταρτίσουμε έναν άλλο πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.2

Μέγεθος εισόδου	Μέγιστος αριθμός βημάτων που απαιτούνται από την T για είσοδο αυτού του μεγέθους
1	15
2	30

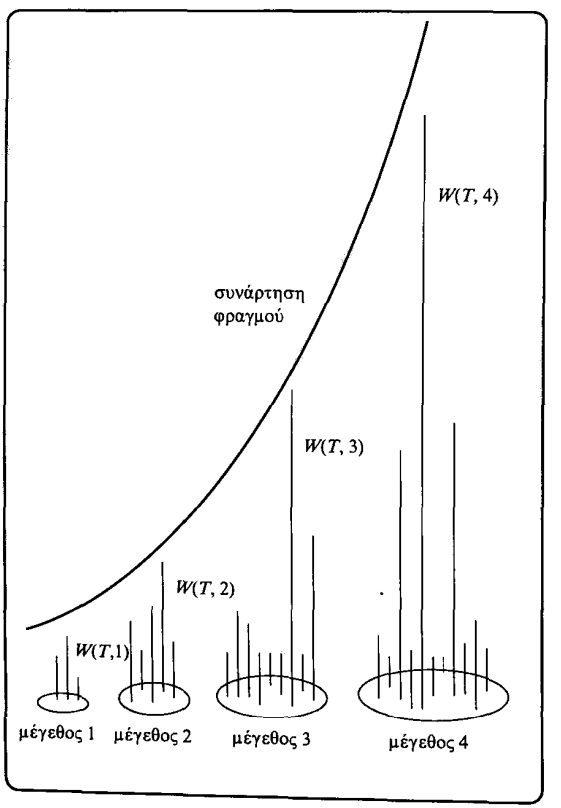
Έχουμε έτσι μια συνάρτηση, έστω $W(T,s)$, η οποία μετρά το υπολογιστικό κόστος για την T της πιο δύσκολης εισόδου με μέγεθος s. Η συνάρτηση $W(T,s)$ μας δίνει τη δυνατότητα να μιλήσουμε πιο συστηματικά για τις δυσκολίες του υπολογισμού. Γενικά, η $W(T,s)$ αυξάνει καθώς αυξάνει το s, αλλά όχι πάντα.

Για μια δεδομένη μηχανή Τιούρινγκ, η $W(T,s)$ μπορεί να είναι μια ανώμαλη συνάρτηση η οποία δεν είναι εύκολα περιγράψιμη. Ωστόσο, μπορούμε να αναζητήσουμε συναρτήσεις που *φράσσουν* την $W(T,s)$. Δηλαδή, μπορούμε να εξετάσουμε εάν μια δεδομένη συνάρτηση του s που συμπεριφέρεται καλά είναι πάντα μεγαλύτερη από την $W(T,s)$. Για παράδειγμα, μπορούμε να εξετάσουμε εάν η συνάρτηση $g(s)=as+c$, όπου τα a και c είναι σταθερές, είναι τέτοια ώστε

$g(s)>W(T,s)$ για κάθε s. Εάν αυτό ίσχυε για κάποια a και s, τότε θα λέγαμε ότι η $W(T,s)$ είναι *γραμμικά φραγμένη*. Ή θα μπορούσαμε να ρωτήσουμε: υπάρχει *κάποια* πολυωνυμική συνάρτηση του s, έστω $P(s)$ τέτοια ώστε για κάθε s, $P(s)>W(T,s)$; Εάν υπάρχει, τότε λέμε ότι η $W(T,s)$ είναι *πολυωνυμικά φραγμένη*. Ή, θα μπορούσαμε να εξετάσουμε το ερώτημα: υπάρχει κάποια εκθετική συνάρτηση, έστω $E(s)$, τέτοια ώστε $E(s)>W(T,s)$ για κάθε s; Εάν ναι, τότε η $W(T,s)$ είναι *εκθετικά φραγμένη*.

Εάν η $W(T,s)$ είναι κατά προσέγγιση μια πολυωνυμική συνάρτηση, τότε θα είναι **πολυωνυμικά φραγμένη**, και εάν είναι κατά προσέγγιση εκθετική, τότε θα είναι **εκθετικά φραγμένη** αλλά όχι πολυωνυμικά φραγμένη.

Θυμηθείτε ότι το ζητούμενο είναι εάν υπάρχει κάποιος τρόπος να περιγράψουμε πόσο δύσκολο είναι να υπολογισθεί μια υπολογίσιμη συνάρτηση. Ενδιαφερόμαστε για μια έννοια δυσκολίας η οποία δεν αποτελεί σχέση μεταξύ της



Σχέδιο 10.3 Όρια πολυπλοκότητας χειρότερης περίπτωσης

συνάρτησης που πρόκειται να υπολογισθεί και της μηχανής που θα την υπολογίσει, αλλά συνιστά ιδιότητα της ίδιας της συνάρτησης. Γνωρίζουμε ότι εάν έχουμε μια μηχανή Τιούρινγκ που υπολογίζει μια συνάρτηση, όπου η χειρότερη περίπτωση υπολογιστικής δυσκολίας δίδεται από τη συνάρτηση $W(T,s)$, τότε μπορούμε πάντα να κατασκευάσουμε μια μηχανή Τιούρινγκ η οποία συναντά ακόμα μεγαλύτερη δυσκολία. (Βλέπε σχέδιο 10.3). Προσθέτοντας στην T επιπλέον βήματα που δεν κάνουν τίποτα χρήσιμο, μπορούμε πάντα να βρούμε μια μηχανή T' τέτοια ώστε $W(T,s)<W(T',s)$ για κάθε s. *Ωστόσο δεν υπάρχει καμία εγγύηση ότι για μια τυχούσα συνάρτηση f μπορούμε να βρούμε μια μηχανή Τιούρινγκ τέτοια ώστε η $W(T,s)$ να είναι πολυωνυμικά φραγμένη.* Το εάν υπάρχει μια τέτοια μηχανή Τιούρινγκ εξαρτάται από τη συνάρτηση f. Όμοια, το εάν υπάρχει μια μηχανή Τιούρινγκ που υπολογίζει την f έτσι ώστε η $W(T,s)$ να είναι πολυωνυμικά φραγμένη εξαρτάται από την f.

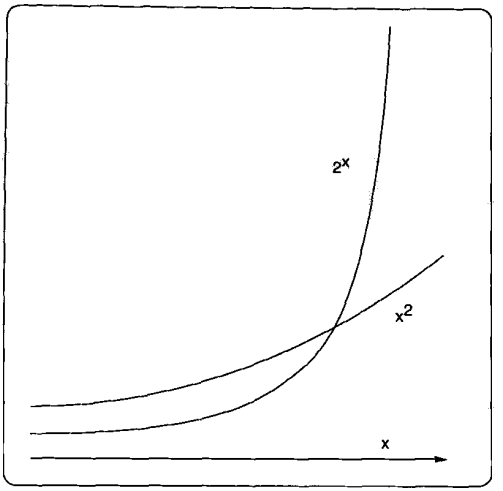
Λέμε ότι μια υπολογίσιμη συνάρτηση είναι *υπολογίσιμη σε πολυωνυμικό χρόνο* αν υπάρχει μια μηχανή Τιούρινγκ T η οποία να υπολογίζει την f και τέτοια ώστε η αντίστοιχη $W(T,s)$ να είναι πολυωνυμικά φραγμένη.

Λέμε ότι μια υπολογίσιμη συνάρτηση είναι υπολογίσιμη σε εκθετικό χρόνο, εάν υπάρχει μια μηχανή Τιούρινγκ T η οποία να υπολογίζει την f και τέτοια ώστε η $W(T,s)$ να είναι εκθετικά φραγμένη. Προφανώς κάθε συνάρτηση υπολογίσιμη σε πολυωνυμικό χρόνο είναι επίσης υπολογίσιμη σε εκθετικό χρόνο, αλλά το αντίστροφο δεν ισχύει. Αυτή η ταξινόμηση των υπολογίσιμων συναρτήσεων τις κατατάσσει σύμφωνα με την εγγενή τους δυσκολία.

Εάν μια συνάρτηση είναι υπολογίσιμη σε εκθετικό αλλά όχι και σε πολυωνυμικό χρόνο, τότε ίσως περιμένουμε ότι καμιά μηχανή Τιούρινγκ δεν θα παρέχει έναν εφικτό τρόπο υπολογισμού της συνάρτησης. Κάθε μηχανή Τιούρινγκ που υπολογίζει μια τέτοια συνάρτηση θα απαιτεί για κάποιες εισόδους έναν εκθετικά αυξανόμενο χρόνο καθώς γίνονται μεγαλύτερες οι συγκεκριμένες είσοδοι του προβλήματος. Μπορούμε να δούμε τι συμβαίνει με ένα απλό παράδειγμα. Ας υποθέσουμε ότι η $W(T,s)$ είναι της τάξεως του 10^s. Τότε για τις πιο δύσκολες περιπτώσεις κάθε μεγέθους εισόδου ο χρόνος που απαιτείται αυξάνεται με τον τρόπο που δείχνει ο Πίνακας 10.3 και το Σχήμα 10.4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.3

s	$W(T,s) = 10^s$
1	10
2	100
3	1.000
4	10.000
5	100.000
6	1.000.000
7	10.000.000
8	100.000.000
9	1.000.000.000



Σχήμα 10.4 Εκθετική και πολυωνυμική πολυπλοκότητα

Υπάρχουν ενδιαφέρουσες συναρτήσεις που είναι μεν υπολογίσιμες αλλά ανήκουν στην εκθετική κλάση; Πάρα πολλές συναρτήσεις των οποίων ο υπολογισμός έχει εξαιρετική πρακτική σπουδαιότητα ανήκουν, *απ' όσο γνωρίζουμε*, σε αυτήν την κλάση. Αφού το ενδιαφέρον μας εντοπίζεται βασικά στη θεωρία της ορθολογικότητας, ας εξετάσουμε ένα παράδειγμα σχετικό με αυτήν τη θεωρία. Γνωρίζουμε ότι υπάρχει ένας αλγόριθμος ο οποίος, δεδομένου ενός οποιουδήποτε ορθά σχηματισμένου τύπου S της άλγεβρας του Μπουλ με n μεταβλητές, καθορίζει εάν ο S είναι ικανοποιήσιμος* (satisfiable)· δηλαδή, κάποιες απονομές τιμών αλήθειας και ψεύδους στις μεταβλητές του S δεν θα έχουν ως αποτέλεσμα την απονομή της τιμής «ψευδές» στον S. Γενικά θα μπορούσαμε να υλοποιήσουμε κάθε τέτοιο αλγόριθμο με μια μηχανή Τιούρινγκ. Αλλά κάθε γνωστός αλγόριθμος για αυτό το πρόβλημα απαιτεί έναν αριθμό βημάτων που αυξάνει εκθετικά καθώς αυξάνεται το n.

Όμως ισχύει κάτι πιο αξιοσημείωτο. Ας υποθέσουμε ότι καθορίζουμε τον αριθμό των απλών προτάσεων ή των προτασιακών μεταβλητών να είναι οποιοσδήποτε αριθμός $k > 2$, και ας υποθέσουμε ότι μετρούμε το μέγεθος ενός προβλήματος από το μήκος (δηλαδή, τον αριθμό των εμφανιζόμενων συμβόλων) ενός

* Ένας τύπος από τη σκοπιά της τυπικής σημασιολογίας μπορεί να είναι α) πάντοτε αληθής, δηλαδή ταυτολογία, β) πάντοτε ψευδής, δηλαδή αντίφαση, ή γ) άλλοτε ψευδής και άλλοτε αληθής, οπότε ονομάζεται ικανοποιήσιμος [Σ.τ.Μ.].

προτασιακού τύπου. Τότε κάθε γνωστός αλγόριθμος που αποφασίζει για τη συνέπεια των τύπων της άλγεβρας του Μπουλ (δηλαδή, εάν υπάρχει κάποια απονομή τιμών αλήθειας στις μεταβλητές ενός τύπου που καθιστά τον τύπο αληθή) απαιτεί υπολογιστικό χρόνο ο οποίος, κατά τη χειρότερη δυνατή περίπτωση, αυξάνει εκθετικά με το μέγεθος.

Υπάρχουν χιλιάδες άλλα προβλήματα για τα οποία κάθε γνωστός αλγόριθμος είναι κατά τη χειρότερη δυνατή περίπτωση εκθετικός (εάν υλοποιηθεί με μια μηχανή Τιούρινγκ). Κάποια από αυτά τα προβλήματα είναι απλά. Ένα **γράφημα** είναι ένα μη-κενό σύνολο κόμβων ή κορυφών, των οποίων κάποια ζεύγη μπορεί να συνδέονται με γραμμές. Δύο συνδεδεμένες κορυφές λέγονται *γειτονικές*. Θεωρήστε το ακόλουθο πρόβλημα: Να προσδιορισθεί για ένα οποιοδήποτε γράφημα εάν μπορεί να δοθεί σε κάθε μια από τις κορυφές του ένα από τρία διαφορετικά χρώματα κατά τρόπο τέτοιο ώστε να μην υπάρχουν γειτονικές κορυφές με το ίδιο χρώμα. Απ' όσο γνωρίζουμε για τη χειρότερη περίπτωση, ο αριθμός των βημάτων που απαιτεί οποιαδήποτε μηχανή Τιούρινγκ για να επιλύσει το πρόβλημα αυξάνει εκθετικά.

Έχουμε αγνοήσει ένα σημαντικό ερώτημα: Τι ξεχωριστό έχουν οι μηχανές Τιούρινγκ; Το γεγονός ότι μια συνάρτηση ανήκει στην εκθετική κλάση μπορεί να αποτελεί μια ιδιότητα αυτής της συνάρτησης, αλλά αυτή δεν αποτελεί ενδιαφέρουσα συνάρτηση αν κάποιο υπολογιστικό σύστημα διαφορετικό από τις μηχανές Τιούρινγκ μπορεί να υπολογίσει τη συνάρτηση σε πολυωνυμικό χρόνο. Τι γίνεται με τις μηχανές Τιούρινγκ πολλών ταινιών, ή με τις μηχανές Τιούρινγκ πολλών κεφαλών ανάγνωσης-εγγραφής, ή με τις μηχανές URM, ή με τις μηχανές με μνήμη άμεσης προσπέλασης* (random access memory) όπως οι κανονικοί υπολογιστές; Το συγκεκριμένο υπολογιστικό φράγμα (για τη χειρότερη περίπτωση) μιας συνάρτησης εξαρτάται από την κατηγορία των μηχανών που εξετάζονται. Για παράδειγμα, εάν μια συνάρτηση υπολογίζεται από μια μηχανή Τιούρινγκ δύο ταινιών με χρονικό όριο χειρότερης περίπτωσης $W(T,s)$, τότε κάποια μηχανή Τιούρινγκ μιας ταινίας θα υπολογίζει την ίδια συνάρτηση με χρονικό όριο χειρότερης περίπτωσης $W(T,s)^2$. Επιπλέον, υπάρχουν συναρτήσεις τέτοιες ώστε οποιαδήποτε μηχανή Τιούρινγκ τις υπολογίζει, να χρειάζεται (κατά προσέγγιση μιας σταθεράς πολλαπλασιασμού) το τετράγωνο του χρόνου που χρειάζεται μια μηχανή δύο ταινιών.

Το γεγονός ότι διαφορετικά είδη υπολογιστικών συστημάτων έχουν διαφορετικά φράγματα χειρότερης περίπτωσης για μία και την αυτή συνάρτηση δείχνει ότι δεν υπάρχει εγγενές μέτρο της πολυπλοκότητας μιας συνάρτησης ανεξάρτητο από το χρησιμοποιούμενο υπολογιστικό σύστημα. Μολονότι αυτό είναι αληθές, δεν είναι τόσο σοβαρό όσο δείχνει, αφού κάποιες σημαντικές ιδιότητες

---

* Μνήμη στην οποία η προσπέλαση της κάθε θέσης δεν εξαρτάται από τις προηγούμενες και ο χρόνος προσπέλασης είναι ο ίδιος για όλες τις θέσεις [Σ.τ.Μ.].

φαίνεται *πράγματι* να είναι αναλλοίωτες. Για παράδειγμα, το εάν μια συνάρτηση είναι υπολογίσιμη σε πολυωνυμικό χρόνο φαίνεται να είναι αναλλοίωτο ως προς όλα τα γνωστά υπολογιστικά συστήματα. Δεν μπορούμε να θεωρήσουμε αυτό το αναλλοίωτο ως μαθηματικό γεγονός αφού δεν γνωρίζουμε τι ακριβώς περιλαμβάνει η κλάση των υπολογιστικών συστημάτων, αλλά κάθε υπολογιστικό σύστημα που γνωρίζουμε φαίνεται να έχει αυτή την ιδιότητα.

Ένα άλλο σημαντικό ερώτημα που αγνοήσαμε έχει να κάνει με το ότι για να προσδιορίσουμε την πολυπλοκότητα ενός υπολογιστικού έργου εστιάσαμε την προσοχή μας στη χειρότερη περίπτωση. Ορισμένοι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται καθημερινά χωρίς δυσκολία είναι εκθετικοί κατά τη χειρότερη περίπτωση. Η πρακτική επιτυχία αυτών των αλγορίθμων δεν οφείλεται στο γεγονός ότι οι είσοδοι που τους δίνονται είναι μικρές, αλλά στο γεγονός ότι οι υπολογιστικά δύσκολες περιπτώσεις οποιουδήποτε μεγάλου μεγέθους είναι *πολύ σπάνιες*.

Η θεωρία πιθανοτήτων και η θεωρία αποφάσεων προτείνουν έναν εναλλακτικό τρόπο μέτρησης της εγγενούς δυσκολίας που έχει ο υπολογισμός μιας συνάρτησης. Για μια δεδομένη συνάρτηση f, ένα δεδομένο μέτρο μεγέθους s, και μια μηχανή Τιούρινγκ T που υπολογίζει την f, ας θεωρήσουμε τον *μέσο αριθμό υπολογιστικών βημάτων που απαιτεί η T για εισόδους μεγέθους s.*

Ας συμβολίσουμε τον μέσο αριθμό υπολογιστικών βημάτων που απαιτεί η T για εισόδους μεγέθους s ως $E(T,n)$, και ας τον αποκαλέσουμε *αναμενόμενη πολυπλοκότητα* της T για εισόδους μεγέθους n.

Θεωρούμε την $E(T,n)$ ως μια συνάρτηση του n. Τώρα μπορούμε να εξετάσουμε για κάθε υπολογίσιμη συνάρτηση f και για κάθε συνάρτηση $g(n)$ (π.χ. μια γραμμική συνάρτηση ή μια εκθετική συνάρτηση, κ.ο.κ.), εάν υπάρχει μια μηχανή Τιούρινγκ τέτοια ώστε $E(T,n)<g(n)$. Αυτή η μαθηματική κατασκευή μάς επιτρέπει να συγκρίνουμε την αναμενόμενη πολυπλοκότητα με την υπολογιστική πολυπλοκότητα της χειρότερης περίπτωσης για μία και την αυτή συνάρτηση. Εάν μια συνάρτηση έχει πολύ χαμηλή αναμενόμενη πολυπλοκότητα, τότε μπορεί στην πράξη να είναι εφικτός ο υπολογισμός της ακόμα και αν η πολυπλοκότητα χειρότερης περίπτωσης είναι πολύ υψηλή. Πράγματι, ορισμένες φορές αυτό μπορεί να αποδειχθεί.

Θεωρήστε ξανά το πρόβλημα με το τρίχρωμο γράφημα που συζητήσαμε νωρίτερα. Κάθε γνωστός αλγόριθμος για την επίλυση του προβλήματος είναι κατά τη χειρότερη περίπτωση εκθετικός. Ωστόσο, υπάρχει ένας αλγόριθμος για την επίλυση του προβλήματος ο οποίος έχει *σταθερή* αναμενόμενη πολυπλοκότητα. Μάλιστα η σταθερά δεν είναι ούτε καν πολύ μεγάλη: 192. Αυτό που συμβαίνει είναι ότι καθώς το μέγεθος των γραφημάτων αυξάνει, το ποσοστό των γραφημάτων για τα οποία οι τρεις δυνατότητες χρωμάτισης είναι δύσκολο να προσδιοριστούν αυξάνει εκθετικά. Παρ' ότι υπάρχουν πάντα δύσκολες περιπτώσεις, αυτές γίνονται όλο και πιο σπάνιες.

10.3 ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ

Αμέσως μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, η θεωρία του υπολογισμού βρήκε μια πρακτική εφαρμογή με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ψηφιακών υπολογιστών αποθηκευμένου προγράμματος. Ήταν φανερό στους σχεδιαστές των πρώτων ψηφιακών υπολογιστών ότι οι μηχανές αυτές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να προσομοιώσουν, και από μερικές απόψεις να ξεπεράσουν, τις ανθρώπινες νοητικές ικανότητες. Οι πρώτες προσπάθειες ανάπτυξης προγραμμάτων υπολογιστών που θα μπορούσαν να μαθαίνουν και να επιλύουν προβλήματα εμφανίστηκαν στη δεκαετία του 1950. Σήμερα η τεχνητή νοημοσύνη είναι ένας ευρύς τομέας με λίγο ώς πολύ παγιωμένες υποπεριοχές έρευνας, σχεδόν όλες από τις οποίες έχουν κάποια σχέση με τη φιλοσοφία της επιστήμης. Μια μεγάλη περιοχή έρευνας είναι η όραση μέσω υπολογιστών (computer vision), η οποία έχει ως στόχο να μετασχηματίζει εικόνες σε πληροφορίες για το περιβάλλον. Μια άλλη σημαντική περιοχή έρευνας ονομάζεται «αναπαράσταση της γνώσης» (knowledge representation). Εδώ και πολύ καιρό οι φιλόσοφοι της επιστήμης ασχολούνται με το πώς να κάνουν τις επιστημονικές θεωρίες όσο το δυνατόν πιο σαφείς και ρητές. Η έρευνα γύρω από την αναπαράσταση της γνώσης ασχολείται με τις δομές μέσα στις οποίες μπορούν να παρασταθούν και να οργανωθούν οι πεποιθήσεις για να καταστεί εφικτή, ταχεία και υπολογίσιμη η συναγωγή συμπερασμάτων από αυτές τις πεποιθήσεις. Μια άλλη περιοχή έρευνας είναι ο σχεδιασμός μέσω υπολογιστών (computer planning): εάν ο υπολογιστής πρέπει να καταστρώσει ένα πείραμα ή μια διαδικασία για την κατασκευή ενός τηλεσκοπίου, συγκεκριμένες πράξεις πρέπει να γίνουν με μια συγκεκριμένη σειρά, ενώ οι πράξεις που θα πρέπει να γίνουν δεν εξαρτώνται πάντα από περιστάσεις που μπορεί να ελέγξει απόλυτα ο υπολογιστής. Πώς μπορεί να πραγματοποιηθεί ένας τέτοιος σχεδιασμός με έναν υπολογιστή; Ο τομέας της τεχνητής νοημοσύνης που συνδέεται στενότερα με τη φιλοσοφία της επιστήμης είναι αυτός που αφορά την *αυτοδιδασκαλία μηχανών* (machine learning). Αυτός ο τομέας επιδιώκει να βρει αλγοριθμικές διαδικασίες για την επιστημονική ανακάλυψη. Η αυτοδιδασκαλία μηχανών έχει ένα καθαρά τυπικό αντίστοιχο: την υπολογιστική θεωρία μάθησης (computational learning theory). Αντί να προσπαθήσουμε να κάνουμε μια επισκόπηση όλης της τεχνητής νοημοσύνης, ή έστω της αυτοδιδασκαλίας μηχανών, θα επικεντρώσουμε την προσοχή μας μόνο σε ορισμένα προγράμματα επιστημονικής ανακάλυψης.

10.3.1 Τα προγράμματα BACON

Ένα συνηθισμένο είδος επιστημονικής συναγωγής είναι η προσαρμογή καμπυλών σε δεδομένα. Η καμπύλη απεικονίζει γραφικά μια συναρτησιακή εξάρ-

τηση μεταξύ των μετρούμενων μεταβλητών, ενώ συχνά αυτή η συναρτησιακή εξάρτηση εμπεριέχει έναν εμπειρικό ή έναν προσεγγιστικό νόμο. Ο νόμος του Μπόιλ ανακαλύφθηκε με έναν τέτοιο τρόπο· το ίδιο συνέβη και με τους νόμους του Κέπλερ, το νόμο της ραδιενεργού διάσπασης των Ράδερφορντ-Σόντυ (Rutherford-Soddy) και πολλές άλλες εμπειρικές κανονικότητες της φυσικής, της χημείας και της βιολογίας. Ορισμένες φορές ένας επιστήμονας που εργάζεται σε ένα συγκεκριμένο θέμα γνωρίζει εκ των προτέρων τη μορφή της συναρτησιακής εξάρτησης. Έτσι επιστήμονες που ασχολούνται με την ηλεκτροχημεία, έχουν θεωρητικούς λόγους να αναμένουν καμπύλες σε σχήμα «S» όταν κάνουν τις μετρήσεις τους. Μιλούμε για μορφή συναρτησιακής εξάρτησης όταν εννοούμε ότι η συναρτησιακή εξάρτηση είναι γνωστό ότι ανήκει σε μια παραμετρική κατηγορία εξαρτήσεων. Για παράδειγμα, η $y = ax + b$ είναι μια παραμετρική παράσταση της κατηγορίας των γραμμικών εξαρτήσεων του y από το x, όπου τα a και b είναι παράμετροι: για οποιεσδήποτε πραγματικές τιμές των a και b, η $y = ax + b$ είναι μια γραμμική εξίσωση. Εάν ο επιστήμονας γνωρίζει ότι μια συναρτησιακή εξάρτηση ανήκει σε μια συγκεκριμένη παραμετρική οικογένεια, τότε τα πειράματα ή οι παρατηρήσεις του χρειάζεται να καθορίσουν μόνο τις τιμές των παραμέτρων. Προβλήματα αυτού του είδους αποτελούν το αντικείμενο της στατιστικής. Το πρόβλημα του επιστήμονα είναι πιο δύσκολο όταν η συναρτησιακή μορφή είναι άγνωστη. Αυτό ήταν το πρόβλημα του Μπόιλ αλλά και του Κέπλερ. Ο στόχος τους δεν ήταν τόσο να προσδιορίσουν τις παραμέτρους όσο να εξακριβώσουν πρώτα ότι χρειαζόταν να προσδιορίσουν παραμέτρους.

Τα προγράμματα BACON, που αναπτύχθηκαν στο Πανεπιστήμιο Carnegie-Mellon από τους Πατ Λάνγκλεϋ (Pat Langley) και Χέρμπερτ Σάιμον, έθεσαν το πρόβλημα της ανακάλυψης μιας συναρτησιακής εξάρτησης όταν η μορφή της εξάρτησης αυτής είναι άγνωστη. Ο τρίτος νόμος του Κέπλερ μάς δίνει ένα παράδειγμα. Ο νόμος αυτός λέει ότι για οποιουσδήποτε δύο πλανήτες, ο λόγος του κύβου της μέσης απόστασής τους από τον ήλιο προς το τετράγωνο των περιόδων τους είναι ο ίδιος. Ο Κέπλερ δεν γνώριζε στην αρχή ότι η εξάρτηση ήταν αυτής της μορφής· συνήγαγε το συμπέρασμα από τα δεδομένα. Ας αφήσουμε κατά μέρος το ιστορικό ζήτημα του πώς ο Κέπλερ πέτυχε αυτό το αποτέλεσμα, και ας δούμε τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσε να ανακαλυφθεί αυτή η κανονικότητα αν εξετάζαμε τις αποστάσεις και τις περιόδους των πλανητών.

Ένας τρόπος με τον οποίο θα μπορούσαμε να ανακαλύψουμε τον τρίτο νόμο του Κέπλερ από δεδομένα σχετικά με τους πλανήτες είναι ο ακόλουθος. Για κάθε πλανήτη, έχουμε μετρήσεις της απόστασής του D και της περιόδου του P. Έτσι για κάθε πλανήτη υπολογίζουμε το λόγο D/P. Εφόσον έχουμε τιμές για το D/P και το D, μπορούμε για κάθε πλανήτη να πολλαπλασιάσουμε την τιμή του D/P με την τιμή του D και να πάρουμε την τιμή του D^2/P. Εφόσον δε, έχουμε για κάθε πλανήτη τις τιμές των D/P και D^2/P, μπορούμε να τις πολλαπλασιάσουμε και να πάρουμε τις τιμές του D^3/P^2. Εάν επαναλάβουμε αυτά τα βήματα, με δεδομένα από όλους τους πλανήτες, βρίσκουμε ότι για κάθε πλανήτη η τιμή του

D^3/P^2 είναι σχεδόν η ίδια με αυτή των υπόλοιπων πλανητών. Αυτός είναι ο τρίτος νόμος του Κέπλερ. Ο Πίνακας 10.4 εικονίζει τα παραπάνω.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.4

Πλανήτης	D	P	D/P	D^2/P	D^3/P^2
A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
B	4.0	8.0	0.5	2.0	1.0
C	9.0	27.0	0.333	3.0	1.0

Όλα αυτά είναι πολύ ωραία, αλλά δεν συνιστούν μια διαδικασία: Πώς μπορούμε να γνωρίζουμε ποιους συνδυασμούς των D και P πρέπει να πολλαπλασιάσουμε για να οδηγηθούμε στο νόμο του Κέπλερ;

Το απλούστερο πρόγραμμα BACON, το BACON.1, χρησιμοποιεί την ακόλουθη διαδικασία έρευνας κατά την οποία υποδεικνύεται αρχικά στο πρόγραμμα ποιες μεταβλητές είναι ανεξάρτητες και ποιες εξαρτημένες. Στο παράδειγμα του νόμου του Κέπλερ, η D και η P είναι και οι δυο συναρτήσεις της ταυτότητας του πλανήτη, άρα αυτές οι συναρτήσεις, και οποιοιδήποτε άλλοι όροι σχηματίζονται από αυτές, εκλαμβάνονται ως εξαρτημένες μεταβλητές:

1. Εάν η απόλυτη τιμή του όρου X αυξάνει καθώς αυξάνει η απόλυτη τιμή του όρου Y, και οι τιμές των X και Y δεν σχετίζονται γραμμικά, υπολογίστε την τιμή του όρου X/Y.
2. Εάν η απόλυτη τιμή του όρου X αυξάνει καθώς μειώνεται η απόλυτη τιμή του όρου Y, και οι τιμές των X και Y δεν σχετίζονται γραμμικά, υπολογίστε την τιμή του όρου XY.
3. Εάν οι τιμές του όρου X και του όρου Y σχετίζονται γραμμικά με κλίση m και περίλημμα b, δώστε ως έξοδο την $Y = mX + b$.
4. Εάν ο εξαρτημένος όρος X έχει μια σταθερή τιμή c, δώστε ως έξοδο την $X = c$.

Ένα από τα μαθήματα που πρέπει να πάρουμε από αυτά που συζητήσαμε σχετικά με τον επιστημονικό ρεαλισμό είναι ότι οφείλουμε να εξετάσουμε την αξιοπιστία κάθε προτεινόμενης διαδικασίας ανακάλυψης. Πού επιτυγχάνει και πού αποτυγχάνει το πρόγραμμα BACON.1; Μπορούμε αμέσως να δούμε ότι το πρόγραμμα περιορίζεται από το ότι έχει τη δυνατότητα να ανακαλύπτει μόνο αλγεβρικές εξαρτήσεις που μπορούν να εκφραστούν ως γραμμικές συναρτήσεις το πολύ δύο όρων. Κάθε ένας από αυτούς τους όρους πρέπει να είναι γινόμενο δυνάμεων των μετρούμενων μεταβλητών. Έτσι, το BACON.1 μπορεί να βρει μόνο εκείνες τις συναρτησιακές εξαρτήσεις μεταξύ των ποσοτήτων $Q_1, \ldots, Q_k$ που είναι μαθηματικά ισοδύναμες με μια εξίσωση της μορφής:

$$aQ^n{}_1 Q^m{}_2 \ldots Q^p{}_k + bQ^r{}_1 Q^s{}_2 \ldots Q^t{}_k = c$$

όπου a, b και c είναι οποιοιδήποτε πραγματικοί αριθμοί και n, m, p, r, s, t, κ.ο.κ.

είναι ακέραιοι, είτε θετικοί είτε αρνητικοί. (Στην πραγματικότητα, η υλοποίηση του BACON.1 περιορίζει το k να είναι ίσο με δύο.) Ωστόσο, στις φυσικές επιστήμες εμφανίζονται πολλές συναρτησιακές εξαρτήσεις που δεν είναι αυτών των μορφών. Ο νόμος των Ράδερφορντ-Σόντυ, για παράδειγμα, περιλαμβάνει εκθετικές συναρτήσεις· πολλοί νόμοι περιλαμβάνουν λογαριθμικές, τριγωνομετρικές ή άλλες συναρτήσεις.

Θεωρήστε τον ιδανικό νόμο των αερίων, $PV = nRT$, όπου P είναι η πίεση, V ο όγκος, T η απόλυτη θερμοκρασία, n ο αριθμός των μορίων του αερίου και R η σταθερά των αερίων. Εάν κανείς προσπαθούσε να ανακαλύψει αυτόν το νόμο από μετρημένες τιμές των P, V, T και n, χρησιμοποιώντας την ευρετική μέθοδο του BACON.1 θα εμφανιζόταν η πραγματική δυσκολία. Οι τιμές των P και V, επειδή εξαρτώνται από τα η και T, ούτε αυξάνουν ούτε ελαττώνονται συστηματικά οι μεν ως προς τις δε. Άρα το BACON.1 δεν θα σχημάτιζε το γινόμενο PV, και έτσι δεν θα εύρισκε το νόμο των αερίων. Μια φυσιολογική θεραπεία για αυτόν τον περιορισμό έρχεται αμέσως στο νου. Ας υποθέσουμε ότι το πρόγραμμα τροποποιείται έτσι ώστε να ομαδοποιεί τις τιμές ορισμένων μεταβλητών όταν οι τιμές κάποιων άλλων μεταβλητών διατηρούνται σταθερές. Για παράδειγμα, το πρόγραμμα θα μπορούσε να εξετάζει τις τιμές των P και V όταν στα n και T έχει δοθεί ένα ζεύγος σταθερών τιμών και θα μπορούσε να εξετάζει ένα άλλο σύνολο τιμών των P και V όταν στα n και T έχει δοθεί ένα διαφορετικό ζεύγος σταθερών τιμών. Ας υποθέσουμε ότι μεταχειριζόμαστε όλα αυτά τα διαφορετικά υποσύνολα των μετρημένων τιμών ως ξεχωριστά προβλήματα ανακάλυψης. Έτσι, για σταθερές τιμές των n και T, αλλά μεταβλητές τιμές των P και V, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τις ευρετικές μεθόδους του BACON.1 για να αναζητήσει μια σχέση μεταξύ των P και V. Αυτό που θα εύρισκε το πρόγραμμα θα ήταν μια επιμέρους περίπτωση του νόμου του Μπόιλ, $PV = K_1$, όπου K_1 είναι μια σταθερά. Για ένα άλλο σύνολο τιμών των P και V, με διαφορετικές σταθερές τιμές για τα n και T, το πρόγραμμα θα εύρισκε μια άλλη επιμέρους περίπτωση του νόμου του Μπόιλ, $PV=K_2$, όπου γενικά το K_1 δεν θα ήταν ίσο με το K_2. Έτσι το πρόγραμμα θα ανακάλυπτε ορισμένους νόμους, και μετά θα χρησιμοποιούσε αυτούς τους νόμους για να ανακαλύψει άλλους. Πώς θα μπορούσε να γίνει αυτό; Το πρόγραμμα μεταχειρίζεται τις τιμές K_1, K_2, κ.ο.κ., ως τιμές μιας νέας ποσότητας K. Έτσι, όταν το πρόγραμμα εξετάζει δεδομένα στα οποία τα P, V, και K μεταβάλλονται, αλλά το T παραμένει σταθερό, θα σχηματιστεί ο όρος PV/K, και θα βρεθεί ίσος προς το T (χρησιμοποιώντας την ευρετική μέθοδο του BACON.1). Κατόπιν, συγκρίνοντας τις τιμές των K και n, το πρόγραμμα μπορεί με κάποιο τρόπο να ανακαλύψει ότι $K = nR$, όπου R είναι μια σταθερά.

Αυτό που συμβαίνει στη διαδικασία που μόλις περιγράψαμε είναι μια διαδικασιακή εκδοχή της σχέσης «αυτενέργειας» (bootstrapping*) που συζητήθηκε

* Ο όρος "bootstrap" προέρχεται από μια ιστορία που διηγούνταν ο βαρώνος Μυνχάουζεν και στην οποία καυχιόταν ότι, όταν κάποτε παγιδεύτηκε και έπεσε σε ένα βάλτο, έπιασε τα «αφτά-

στο κεφάλαιο για την επικύρωση. Η διαδικασία εντοπίζει συγκεκριμένους νόμους σε ειδικές περιπτώσεις και μετά τους χρησιμοποιεί για να μπορέσει να υπολογίσει νέες ποσότητες που με τη σειρά τους οδηγούν στην ανακάλυψη άλλων, πιο γενικών, νόμων. Αυτή η διαδικασία υλοποιείται στο πρόγραμμα BACON.3 και επιτρέπει την ανακάλυψη νόμων που περιέχουν αρκετές διαφορετικές μεταβλητές, ενώ το πεδίο της – το εύρος των προβλημάτων όπου θα ανακαλύψει την αλήθεια – είναι πιο δύσκολο να αναλυθεί επακριβώς.

Μια τελευταία έκδοση του προγράμματος, το BACON.4, εισάγει δύο νέα είδη προβλημάτων ανακάλυψης. Το ένα από αυτά τα προβλήματα είναι εύκολο να περιγραφεί. Ο νόμος του Ohm λέει ότι η τάση (V) σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα είναι ανάλογη προς το γινόμενο του ρεύματος (I) και της αντίστασης (R) του κυκλώματος. Ας υποθέσουμε ότι έχετε μια συσκευή (ένα αμπερόμετρο) για τη μέτρηση του ρεύματος σε ένα οποιοδήποτε κύκλωμα, ένα απόθεμα καλωδίων διαφόρων συνθέσεων και μηκών και ένα απόθεμα από διαφορετικά είδη συσσωρευτών. Δεν έχετε κανένα τρόπο να υπολογίσετε την αντίσταση και δεν έχετε κανένα τρόπο να μετρήσετε την τάση. Ακόμα χειρότερα, δεν γνωρίζετε καν ότι υπάρχουν αυτές οι ιδιότητες. Πώς θα μπορούσατε παρ' όλα αυτά να ανακαλύψετε το νόμο του Ohm; Ας υποθέσουμε για μεγαλύτερη σαφήνεια ότι έχετε τρεις διαφορετικούς συσσωρευτές *A*, *B* και *C*, και τρία καλώδια, *X*, *Y* και *Z*.

Θα μπορούσατε να κάνετε τα ακόλουθα. Διαλέξτε ένα συσσωρευτή, ας πούμε τον *A*, και συνδέστε τον διαδοχικά με ένα από τα τρία καλώδια. Θα βρείτε ότι τα τρία κυκλώματα έχουν διαφορετικά ρεύματα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.5

Συσσωρευτής	Καλώδιο	Ρεύμα (I)
A	*X*	3,4763
A	*Y*	4,8763
A	*Z*	3,0590

Αυτό που μεταβάλλεται στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι τα καλώδια και το ρεύμα, όχι ο συσσωρευτής. Άρα οι διαφορές στο ρεύμα προέρχονται από κάποια διαφορά σε μια ιδιότητα των καλωδίων. Καλέστε αυτή την ιδιότητα *c*. Θα μπορούσατε να αφήσετε το ίδιο το ρεύμα (όταν τα καλώδια είναι συνδεδεμένα στο συσσωρευτή *A*) να μετρήσει αυτή την ιδιότητα των καλωδίων. Τότε τα καλώδια θα έχουν (έτσι ελπίζετε) την ιδιότητα *c* ακόμα και όταν δεν είναι συνδεδεμένα με το συσσωρευτή *A*, ακόμα μάλιστα και στην περίπτωση που είναι συνδεδεμένα με το συσσωρευτή *B* ή το συσσωρευτή *C*. Η παραδοχή είναι ότι η ιδιότητα που μετράτε μέσω της σύνδεσης των καλωδίων με το συσσωρευτή *A* αποτε-

κια» από τις μπότες του και τραβώντας τα κατάφερε να σηκωθεί και να φτάσει σε στέρεο έδαφος. Ως τεχνικός όρος χρησιμοποιείται για να δηλώσει τη φόρτωση ενός προγράμματος ή μιας ρουτίνας στην κύρια μνήμη του υπολογιστή, με τη βοήθεια ενός αρχικού φορτωτή, δηλαδή ενός φορτωτή που αποτελείται από έναν περιορισμένο αριθμό απλών εντολών. [Σ.τ.Μ.]

λεί μια προδιαθετική (dispositional) ιδιότητα του ίδιου του καλωδίου. Με απλά λόγια, υιοθετήστε την ακόλουθη ευρετική μέθοδο: Οποτεδήποτε μια εξαρτημένη ποιότητα X μεταβάλλεται συστηματικά ως προς μια «ονομαστική» μεταβλητή V (δηλαδή, μια μη αριθμητική μεταβλητή όπως, για παράδειγμα, ένα συσσωρευτή, ένα καλώδιο, ή έναν πλανήτη), ενόσω ένα σύνολο άλλων μεταβλητών διατηρείται σταθερό, θεωρήστε ότι οι τιμές του X μετρούν μια ιδιότητα του V κάτω από αυτές τις συνθήκες, υπό τον όρο ότι καμία τέτοια ιδιότητα του V δεν έχει ήδη ορισθεί.

Υποθέστε τώρα ότι εφαρμόζετε την ευρετική μέθοδο του BACON.3 στο υποπρόβλημα που δίδεται από τις τρεις πρώτες γραμμές του παραπάνω πίνακα. Τότε θα βρείτε ότι τα I και c σχετίζονται γραμμικά, με κλίση $v = 1.0$ και περίλημμα $b = 0$.

Φυσικά αυτό δεν αποτελεί είδηση αφού ορίσατε το μέτρο του c έτσι ώστε να ισχύει αυτή η συσχέτιση. Αν όμως εφαρμόσετε την ίδια ευρετική μέθοδο στο υποπρόβλημα που δίδεται από τις επόμενες τρεις σειρές του πίνακα 10.6 (ιδού μια άσκηση που μπορείτε να κάνετε), θα βρείτε ξανά ότι τα I και c σχετίζονται γραμμικά με $v = 1,1444$. Αντίστοιχα το υποπρόβλημα που δίδεται από τις τρεις τελευταίες σειρές δίνει μια γραμμική σχέση με κλίση 1,6003.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.6

Συσσωρευτής	Καλώδιο	Ρεύμα (I)	c
A	X	3.4763	3.4763
A	Y	4.8763	4.8763
A	Z	3.0590	3.0590
B	X	3.9781	
B	Y	5.5803	
B	Z	3.5007	
C	X	3.629	
C	Y	7.8034	
C	Z	4.8592	

Έτσι, συνεχίζοντας με τον τρόπο του BACON.3, καταγράφετε τις τιμές του v ως τιμές μιας νέας ποσότητας, και παίρνετε τον πίνακα 10.7:

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.7

Συσσωρευτής	Καλώδιο	Ρεύμα (I)	c	v
A	*X*	3,4763	3,4763	1,0
A	*Y*	4,8763	4,8763	1.0
A	*Z*	3,0590	3,0590	1,0
B	*X*	3,9781	3,4763	1,1444
B	*Y*	5,5803	4,8763	1,1444
B	*Z*	3,5007	3,0590	1,1444
C	*X*	5,629	3,4763	1,6003
C	*Y*	7,0834	4,8763	1,6003
C	*Z*	4,8592	3,0590	1,6003

Τώρα εάν διατηρήσετε σταθερό το καλώδιο, ας πούμε το *X*, βρίσκετε ότι το *v* (αλλά όχι το *c*) μεταβάλλεται συστηματικά με την ονομαστική μεταβλητή «Συσσωρευτής» και παραμένει σταθερό εάν η τιμή του «Συσσωρευτή» δεν αλλάζει. Γι' αυτό υποθέστε ότι το *v* είναι μια ιδιότητα των συσσωρευτών. Έχετε αποκαταστήσει το νόμο, $I=vc$. Εάν αναγνωρίσετε το *c* ως την «αγωγιμότητα» ή το αντίστροφο της αντίστασης ενός καλωδίου, τότε ο νόμος που βρήκατε είναι ισοδύναμος με το $V=IR$, δηλαδή με το νόμο του Ohm.

Η διαδικασία που σκιαγραφήσαμε εκτελείται αυτόματα από το πρόγραμμα BACON.4. Πρόκειται για έναν διαδικασιακό συνδυασμό ιδεών που προέρχονται από τη θεωρία μέτρησης με ιδέες που προέρχονται από τους τρόπους με τους οποίους ελέγχουμε υποθέσεις. Επιπλέον, το τελευταίο πρόβλημα που εξετάσαμε, δηλαδή η ανακάλυψη του νόμου του Ohm χωρίς μετρήσεις τάσης ή ρεύματος, αποτελεί παράδειγμα ενός ενδιαφέροντος είδους προβλημάτων ανακάλυψης που απαντάται συχνά στις επιστήμες.

Ας θεωρήσουμε μια οποιαδήποτε συνάρτηση νιάδων ονομαστικών μεταβλητών με πραγματικές (ή ρητές, ή ακέραιες ανάλογα με την περίπτωση) τιμές. Για παράδειγμα, στα κυκλώματα που εξετάστηκαν προηγουμένως το ρεύμα *I* είναι μια συνάρτηση της δυάδας ονομαστικών μεταβλητών (συσσωρευτής, καλώδιο). Γενικά έχουμε $F(X_1, \ldots, X_n)$. Έστω ότι το *F* αποτελεί κάποιο συνδυασμό συναρτήσεων και υποσυνόλων των ονομαστικών μεταβλητών. Για παράδειγμα, *I* (συσσωρευτής, καλώδιο) = *V* (συσσωρευτής)**R* (καλώδιο), όπου * συμβολίζει τον πολλαπλασιασμό. Ένα πρόβλημα ανακάλυψης συνίσταται από ένα σύνολο συναρτήσεων επί κάποιων υποσυνόλων από νιάδες ονομαστικών μεταβλητών, και για κάθε νιάδα και κάθε σύνολο συναρτήσεων, από μια συνάρτηση που είναι μια σύνθεση αυτών των συναρτήσεων. Στόχος αυτού που μαθαίνει είναι το να αποσυνθέσει τη σύνθετη συνάρτηση.

Η επιστήμη συνίσταται κατά ένα μεγάλο μέρος στην επίλυση συγκεκριμένων περιπτώσεων από προβλήματα συναρτησιακής αποσύνθεσης. Έτσι, ανακαλύπτονται σημαντικές ιδιότητες οι οποίες αρχικά δεν έχουν μετρηθεί. Οι ιδιότητες των προβλημάτων ανακάλυψης αυτού του είδους καθώς και των αλγορίθμων για την επίλυσή τους δεν έχουν σχεδόν καθόλου μελετηθεί.

Το πρόγραμμα BACON. 4 διαθέτει μιαν άλλη ενδιαφέρουσα διαδικασία η οποία σχετίζεται με ένα νέο είδος προβλημάτων ανακάλυψης. Εάν το BACON.4 βρει ότι μια σειρά τιμών (ή μια σειρά αντίστροφων τιμών) που μετρούν μία ιδιότητα κάποιας ονομαστικής μεταβλητής έχουν όλες έναν κοινό διαιρέτη κάτω από κατάλληλες συνθήκες, τότε το πρόγραμμα θα συσχετίσει αυτή τη διαίρεση, οποιαδήποτε κι αν είναι, με την ονομαστική ιδιότητα. Σκεφτείτε τι συνέβη στην ιστορία της χημείας με τον Κανιτζάρο (Cannizzaro) και τις πυκνότητες των ατμών. Γύρω στα 1860, ο Κανιτζάρο βρήκε ότι το κλασματικό βάρος του υδρογόνου σε κάθε εξατμισμένη μονάδα όγκου οποιασδήποτε υδρογονούχου ενώσεως διαιρείται με το ένα δεύτερο της πυκνότητας των ατμών υδρογόνου. Έτσι συμπέρανε ότι το ένα δεύτερο της πυκνότητας των αερίων υδρογόνου μετρά μια ιδιό-

τητα του υδρογόνου, το ατομικό του βάρος. Από αντίστοιχα δεδομένα, έβγαλε παρόμοια συμπεράσματα για άλλα στοιχεία. Το πρόγραμμα BACON. 4 θα μπορούσε να αναπαραγάγει τη συλλογιστική του Κανιτζάρο.

10.3.2 Η Σημασία των Προγραμμάτων BACON

Ποια διδάγματα πρέπει να βγάλουμε από τα προγράμματα BACON; Σίγουρα, αυτά δεν αποτελούν περιγραφές όλων των μεθόδων που χρησιμοποιούν οι φυσικοί επιστήμονες για να βρίσκουν κανονικότητες στα δεδομένα τους. Τα προγράμματα έχουν περιορισμένη εμβέλεια. Αυτά δεν θα βρουν πολλές από τις μορφές εξισώσεων που εμφανίζονται συνήθως στις φυσικές επιστήμες, όπως, για παράδειγμα, μια απλή λογαριθμική εξάρτηση. Πολλές από τις συναρτησιακές μορφές που εμφανίζονται στη φυσική εκλαμβάνονται εντελώς φυσικά ως λύσεις διαφορικών εξισώσεων. Ο φυσικός λογάριθμος, *lnx*, για παράδειγμα, εμφανίζεται στην εξίσωση $y = lnx$, η οποία αποτελεί μια λύση της διαφορικής εξίσωσης:

$$dy/dx - 1/x = 0$$

Επιπλέον, τουλάχιστον στη φυσική, το μαθηματικό μέρος μιας θεωρίας είναι συχνά μια διαφορική εξίσωση, ή ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων. Η θεωρία της βαρύτητας του Νεύτωνα, για παράδειγμα, είναι ένα παραμετρικό σύστημα διαφορικών εξισώσεων. Το σύστημα DELPHI, που αναπτύχθηκε από τον Τζον Νόρτον του Τμήματος Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης του Πανεπιστημίου του Pittsburgh, συνάγει διαφορικές εξισώσεις κατ' ευθείαν από τα δεδομένα. Αντί να παίρνει συγκεκριμένες τιμές των x και y και να συνάγει, ας πούμε, μια λογαριθμική εξάρτηση, η διαδικασία που ακολουθεί το DELPHI είναι το να παίρνει τις συγκεκριμένες τιμές και να συνάγει κατ' ευθείαν μια διαφορική εξίσωση. Η διαδικασία χρησιμοποιεί γνωστές στατιστικές τεχνικές και μαθηματικές ιδιότητες των διαφορικών εξισώσεων και των λύσεών τους.

Τα προγράμματα BACON δεν έχουν μεγάλη πρακτική αξία στο να ανακαλύπτουν αυτόνομα νέες σχέσεις επειδή είναι πολύ ευαίσθητα σε λάθη των δεδομένων. Στην πραγματικότητα, τα προγράμματα αυτά δεν μπορούν να λάβουν καλά τεκμηριωμένες αποφάσεις γύρω από το πόσο «θόρυβο» περιέχουν τα δεδομένα, και επίσης δεν υπολογίζουν το πώς μεταδίδεται το λάθος κατά τον υπολογισμό της τιμής μιας ποσότητας από άλλες ποσότητες. Βελτιώσεις ως προς αυτά τα ζητήματα έχει ξεκινήσει να κάνει ο Γιαν Ζίτκοφ (Jan Zytkow), ένας φιλόσοφος και επιστήμονας των υπολογιστών.

Θα μπορούσαμε να διατυπώσουμε το ακόλουθο ερώτημα: Εάν οι διαδικασίες BACON δεν αποτελούν μια περιγραφή τού πώς πράγματι ανακαλύπτουν νόμους οι επιστήμονες, και εάν δεν έχουν πρακτική χρησιμότητα στην ανακάλυψη νέ-

ων νόμων, τότε τι καλό έχουν; Ποια είναι η σημασία τους; Η σπουδαιότητά τους έγκειται στην απομυθοποίηση της επιστημονικής ανακάλυψης, στην ανασκευή κάποιων κοινότοπων ισχυρισμών γύρω από αυτήν τη διαδικασία και στην υπόδειξη μιας διαφορετικής προοπτικής για τη φιλοσοφία της επιστήμης. Πρώτον, τα προγράμματα υποδεικνύουν ότι ένα σημαντικό μέρος της διαδικασίας της επιστημονικής ανακάλυψης μπορεί να μηχανοποιηθεί. Ακόμα και αν οι άνθρωποι-επιστήμονες δεν χρησιμοποιούν τις ευρετικές μεθόδους του BACON, ή δεν τις χρησιμοποιούν με τον τρόπο του προγράμματος, η επιτυχία των προγραμμάτων ισχυροποιεί τον ισχυρισμό ότι, ενόσω εργάζονται θεωρητικά οι επιστήμονες, χρησιμοποιούν κάποιο είδος υπολογίσιμων ευρετικών μεθόδων. Δεύτερον, ο Καρλ Χέμπελ, ο διακεκριμένος φιλόσοφος της επιστήμης, έχει ισχυριστεί ότι κανένα πρόγραμμα υπολογιστή δεν θα μπορούσε να ανακαλύψει νόμους ή θεωρίες που θα απαιτούσαν νέες ιδιότητες ή οντότητες οι οποίες δεν έχουν ήδη περιγραφεί στα δεδομένα ή στο πρόγραμμα του υπολογιστή. Όμως το πρόγραμμα BACON.4 κάνει ακριβώς αυτό το πράγμα όταν χρησιμοποιεί τις κανονικότητες που βρίσκει για να θέτει νέες μη μετρημένες μέχρι τότε ιδιότητες αντικειμένων και όταν προτείνει μέτρα αυτών των ιδιοτήτων. Τρίτον, με το να εκτελούν κάποιου είδους αυτοματοποιημένη αυτενέργεια, οι διαδικασίες BACON υποδεικνύουν ότι το θεμελιακό ζήτημα στην κατανόηση της επιστήμης ως γνωσιακής δραστηριότητας δεν είναι η επικύρωση ή η εξήγηση, αλλά η *ανακάλυψη*. Αντί να συγκεντρώνουν την προσοχή τους στις σχέσεις επικύρωσης ή στις σχέσεις εξήγησης, εκείνοι που επιθυμούν να κατανοήσουν τη δύναμη και τα όρια της επιστήμης θα έκαναν καλά να εστιάσουν την προσοχή τους στις διαδικασίες σχηματισμού εικασιών, και στην αξιοπιστία αυτών των διαδικασιών. Φυσικά, ο καθορισμός σχέσεων επικύρωσης ή εξηγητικών σχέσεων θα μπορούσε να είναι ένα *στάδιο* της διαδικασίας ανακάλυψης – ένα γρανάζι της μηχανής. Οι διαδικασίες BACON, για παράδειγμα, χρησιμοποιούν ιδέες σχετικές με την αυτενέργεια, ενώ, όπως θα δούμε, σε κάποια άλλα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης οι φιλοσοφικές ιδέες οι σχετικές με την επιστημονική εξήγηση έχουν παίξει σημαντικό ρόλο.

10.4 ΕΜΠΕΙΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (EXPERT SYSTEMS) ΚΑΙ ΜΠΕΪΣΙΑΝΑ ΔΙΚΤΥΑ.

Σε πολλές πρακτικές περιπτώσεις χρειαζόμαστε ειδικούς για να συναγάγουν κάποιο είδος συμπεράσματος με βάση τις γνώσεις τους. Θέλουμε γιατρούς για να κάνουν διαγνώσεις και να συστήσουν θεραπείες σε ασθενείς, χημικούς για να καθορίσουν τη δομή άγνωστων ενώσεων, κλινικούς ψυχολόγους για να προβλέψουν εάν κρατούμενοι που είναι υποψήφιοι για να αποφυλακιστούν υπό όρους δεν θα διαπράξουν νέα εγκλήματα κ.ο.κ. Μια σημαντική ιδέα γύρω από τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης είναι το ότι μπορούν να κατασκευασθούν μηχανές

που χρησιμεύουν ως υποκατάστατα των ειδικών. Θέτοντας τη γνώση των ειδικών στους υπολογιστές και παρέχοντας τους κανόνες για να κάνουν αυτοί συναγωγές, θα μπορούσαν να κατασκευασθούν μηχανές που να κάνουν διαγνώσεις, να αναγνωρίζουν χημικές ενώσεις, να προβλέπουν την ενδεχόμενη υποτροπή κρατουμένων ή να κάνουν κάποιες άλλες δουλειές που απαιτούν συναγωγή συμπερασμάτων εξίσου αξιόπιστα και πολύ φθηνότερα από τους ανθρώπους-ειδικούς. Προγράμματα τέτοιου είδους ονομάζονται *έμπειρα συστήματα*.

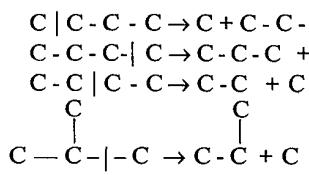
10.4.1 Το Πρόγραμμα DENDRAL

Ένα από τα πρώτα και πιο εντυπωσιακά έμπειρα συστήματα είναι το πρόγραμμα DENDRAL. Ο στόχος του προγράμματος είναι να αναγνωρίζει τη δομή άγνωστων χημικών ενώσεων. Πολλά ζεύγη διαφορετικών μεταξύ τους ενώσεων είναι *ισομερή*· το μόριο μιας ισομερούς ενώσεως έχει το ίδιο είδος και αριθμό ατόμων με το μόριο της άλλης ένωσης, αλλά τα άτομα κάθε μιας έχουν διαφορετική διάταξη. Για παράδειγμα, τόσο το βουτάνιο όσο και το ισοβουτάνιο έχουν τον ίδιο μοριακό τύπο, C_4H_{10}, αλλά τα άτομα είναι διαφορετικά διατεταγμένα στα δύο μόρια. Στο βουτάνιο, τα τέσσερα άτομα άνθρακα είναι διατεταγμένα σε μια γραμμή, ενώ στο ισοβουτάνιο ένα άτομο άνθρακα συνδέεται με όλα τα υπόλοιπα, όπως ένα αστέρι.

Μια τεχνική που χρησιμοποιούν οι χημικοί για να καθορίσουν ποια ισομερής δομή περιγράφει μια άγνωστη ένωση είναι η *φασματογραφία μάζας*. Στο φασματογράφο μάζας, μια ένωση βομβαρδίζεται με μια δέσμη ηλεκτρονίων. Η δέσμη διασπά πολλά από τα μόρια της ένωσης καταστρέφοντας τους χημικούς δεσμούς μέσα στο μόριο. Μετά το βομβαρδισμό, το υλικό περνά μέσα από ένα μαγνητικό πεδίο. Ενώ η αρχική ένωση δεν έχει ηλεκτρικό φορτίο, τα τμήματα που σχηματίζονται από τη διάσπαση των δεσμών μπορεί να είναι φορτισμένα, αν και πολύ σπάνια συμβαίνει να είναι φορτισμένα με περισσότερες από μία μονάδες θετικού ή αρνητικού φορτίου. Η στοιχειώδης φυσική διδάσκει ότι, όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο κινείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, υφίσταται μια δύναμη που το επιταχύνει. Από τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα του σωματιδίου, τόσο μικρότερη είναι η επιτάχυνση που δέχεται από μια δεδομένη δύναμη. Στο φασματογράφο μάζας, η επιτάχυνση ενός σωματιδίου έχει σαν συνέπεια να κινηθεί αυτό σε καμπύλη τροχιά. Το αποτέλεσμα είναι ότι τα φορτισμένα τμήματα του μορίου που έχουν μικρή μάζα τείνουν να κινούνται κατά έναν συγκεκριμένο τρόπο, ενώ τα τμήματα που έχουν μεγάλη μάζα τείνουν να κινούνται κατά έναν άλλο τρόπο. Καταγράφοντας την ένταση αυτών των τμημάτων, ο φασματογράφος μάζας δείχνει στον χημικό τις σχετικές αναλογίες των τμημάτων με διαφορετικές μάζες που σχηματίζονται όταν η δέσμη ηλεκτρονίων προσκρούει στα μόρια της αρχικής ένωσης.

Πώς μπορεί ο χημικός να χρησιμοποιήσει αυτήν την πληροφορία; Θεωρήστε

ξανά το παράδειγμα του βουτάνιου και του ισοβουτάνιου. Φαίνεται μάλλον απίθανο να έχουν διασπασθεί περισσότεροι από έναν χημικοί δεσμοί σε κάποιο μόριο από τη δέσμη ηλεκτρονίων. Στο βουτάνιο υπάρχουν τρεις δεσμοί ανάμεσα στα τέσσερα άτομα άνθρακα. Η διάσπαση οποιουδήποτε από τους δύο ακραίους δεσμούς θα αφήσει ένα ιόν με ένα άτομο άνθρακα και ένα άλλο με τρία άτομα άνθρακα· η διάσπαση όμως του μεσαίου δεσμού θα αφήσει δύο ιόντα όπου καθένα έχει δύο άτομα άνθρακα. Ωστόσο, στο ισοβουτάνιο, με την προϋπόθεση ότι έχει διασπαστεί μόνο ένας δεσμός μεταξύ των ατόμων του άνθρακα –ανεξάρτητα από το ποιος– το αποτέλεσμα θα είναι ένα ιόν με ένα άτομο άνθρακα και ένα ιόν με τρία άτομα άνθρακα.



Από την εξέταση του σχετικού λόγου των ιόντων με δύο άτομα άνθρακα προς τα ιόντα με ένα και τρία άτομα άνθρακα αντίστοιχα, ο χημικός μπορεί να κάνει μια πολύ καλή πρόβλεψη για το αν η άγνωστη ένωση είναι βουτάνιο ή ισοβουτάνιο.

Συχνά όμως τα πραγματικά προβλήματα είναι πολύ πιο πολύπλοκα. Κατ' αρχήν, ο χημικός θα πρέπει να βρει όλα τα δυνατά ισομερή που είναι συνεπή με τον μοριακό τύπο και με οτιδήποτε άλλο γνωρίζει γύρω από την ένωση. Στη συνέχεια θα πρέπει να υπολογίσει (ή να μαντέψει) τους λόγους των διαφόρων μαζών που αναμένονται από τα τμήματα του κάθε ισομερούς και να τα συγκρίνει με τα δεδομένα της φασματογραφίας μάζας. Στην πράξη, οι χημικοί πιθανώς δεν εκτελούν αυτή τη διαδικασία κατά γράμμα παρά μόνο σε πολύ απλές περιπτώσεις. Το πρόγραμμα DENDRAL την εκτελεί. Η διαδικασία που χρησιμοποιεί περιέχει έναν γενικό αλγόριθμο για την εύρεση των ισομερών οποιουδήποτε μοριακού τύπου της οργανικής χημείας. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει μια θεωρία σχετικά με το ποιοι δεσμοί θα διασπαστούν από μια δέσμη ηλεκτρονίων ως συνάρτηση του είδους των ατόμων που σχηματίζουν το δεσμό και των γειτονικών σ' αυτά ατόμων. Η θεωρία εφαρμόζεται σε ένα υποψήφιο ισομερές για να εξαχθούν προβλέψεις γύρω από τις μάζες των μοριακών τμημάτων που θα πρέπει να παρατηρηθούν, και δίδεται κατόπιν στο ισομερές ένας βαθμός επικύρωσης, ανάλογα με το πόσο καλά οι προβλέψεις αντιστοιχούν στα φασματογραφικά δεδομένα. Η διαδικασία χρησιμοποιεί ιδέες του Χέμπελ σχετικά με την εξήγηση, καθώς και υποθετικο-παραγωγικές ιδέες σχετικά με την επικύρωση. Αυτό δεν αποτελεί έκπληξη αφού ένας από τους κύριους ερευνητές του προγράμματος, ο Μπρους Μπιουκάναν (Bruce Buchanan), έχει σπουδάσει φιλοσοφία της επιστήμης.

10.4.2 Μπεϊσιανά Δίκτυα

Το πρόγραμμα DENDRAL αποτελεί ένα παράδειγμα αυτού που συχνά αποκαλείται έμπειρο σύστημα *βασισμένο σε κανόνες* (rule-based expert system). Το πρόγραμμα εφαρμόζει έναν αλγόριθμο για να παραγάγει μια συγκεκριμένη κατηγορία δομών, και στη συνέχεια να κάνει συναγωγές με τη χρήση μιας θεωρίας και την απονομή βαθμολογιών. Δεν υπολογίζονται πιθανότητες, και δεν γίνονται πιθανοκρατικές συναγωγές. Ένας άλλος τρόπος κατασκευής έμπειρων συστημάτων κάνει χρήση πιθανοκρατικών υπολογισμών και βασίζεται σε εφαρμογές του Θεωρήματος του Μπέις.

Η μπεϊσιανή αντίληψη για την έρευνα προϋποθέτει ότι ο ερευνητής διαθέτει (δηλαδή έχει απονείμει) κάποιες πιθανότητες για όλες τις προτάσεις που τον ενδιαφέρουν. Αυτές οι πιθανότητες περιλαμβάνουν υπό συνθήκη πιθανότητες (conditional probabilities) για κάθε υπόθεση, εάν έχουν δοθεί οποιαδήποτε τεκμήρια. Θυμηθείτε ότι η υπό συνθήκη πιθανότητα της υπόθεσης H σε σχέση με τα τεκμήρια e ορίζεται με τη βοήθεια απόλυτων πιθανοτήτων (unconditional probabilities) μέσω του ακόλουθου τύπου:

$$\text{Prob}(H/e) = \text{Prob}(H\&e)/\text{Prob}(e)$$

Κατά την μπεϊσιανή έννοια της έρευνας, ο ερευνητής ξεκινά με μια αρχική απονομή πιθανοτήτων (ή κατανομή πιθανότητας) σε όλες τις προτάσεις που τον ενδιαφέρουν. Κάνοντας παρατηρήσεις οι ερευνητές μαθαίνουν κάτι νέο, έστω ότι ισχύει το e. Αφού μάθουν ότι ισχύει το e, οι ερευνητές αναθεωρούν τις πιθανότητες που είχαν αρχικά απονείμει δίνοντας σε κάθε πρόταση την υπό συνθήκη πιθανότητα αυτής της πρότασης σε σχέση με το e. Κάθε φορά που συγκεντρώνονται νέα τεκμήρια, η απονομή πιθανότητας αναθεωρείται. Τελικά, ελπίζουμε ότι οι ερευνητές θα απονέμουν όλο και μεγαλύτερη πιθανότητα στην αλήθεια και όλο και μικρότερη σε κάθε πρόταση που είναι πράγματι ψευδής.

Σε αυτή την απλή μορφή, η μπεϊσιανή αντίληψη για την έρευνα δεν παράγει τελικά συμπεράσματα. Ο μπεϊσιανός θεωρητικός δεν συμπεραίνει συνήθως ότι μια υπόθεση είναι αληθής και όλες οι άλλες ψευδείς (παρ' ότι σε εξαιρετικά απλές περιπτώσεις τέτοια τελικά συμπεράσματα είναι δυνατά). Υπό μία έννοια, ωστόσο, συχνά παράγουμε συμπεράσματα με τη δράση μας. Ένας γιατρός πρέπει να αποφασίσει εάν θα υποβάλει τον ασθενή του σε μια σειρά από δαπανηρές, ενοχλητικές, και πιθανόν επικίνδυνες εξετάσεις· ο γιατρός πρέπει ορισμένες φορές να λάβει κάποια απόφαση όσον αφορά τη σωστή διάγνωση και να προχωρήσει στη θεραπεία του ασθενή βασιζόμενος σε αυτήν τη διάγνωση. Με ποιον τρόπο λαμβάνει υπόψη της αυτά τα πράγματα η μπεϊσιανή αντίληψη; Με δύο τρόπους.

Πρώτον, ορισμένοι (αλλά όχι όλοι οι) μπεϊσιανοί δέχονται ότι θα μπορούσαν

να εξαχθούν τελικά συμπεράσματα. Εάν η πιθανότητα μιας υπόθεσης είναι αρκετά υψηλή και επιπλέον ικανοποιούνται κατάλληλες πρόσθετες συνθήκες, τότε αυτοί δέχονται ότι θα μπορούσε κανείς να μεταχειριστεί τη συγκεκριμένη υπόθεση σαν να είχε πιθανότητα 1.

Δεύτερον, πολλοί μπεϊσιανοί τοποθετούν τη μελέτη των διαδικασιών της έρευνας μέσα στο πλαίσιο μιας ευρύτερης αντίληψης που ονομάζεται θεωρία αποφάσεων (decision theory). Η βασική ιδέα εδώ είναι ότι ορισμένες φορές είμαστε αναγκασμένοι να λάβουμε κάποια απόφαση για το πώς θα ενεργήσουμε – για παράδειγμα, ένας γιατρός ορισμένες φορές πρέπει να αποφασίσει ποια από τις υπάρχουσες εναλλακτικές θεραπείες θα προτείνει στον ασθενή του, ή σε ποιες από τις υπάρχουσες εναλλακτικές εξετάσεις θα τον υποβάλει. Οι συνέπειες οποιασδήποτε πράξης εξαρτώνται από το ποια υπόθεση είναι αληθής. Δίνοντας σε κάποιον ασθενή ένα συγκεκριμένο αντιβιοτικό, μπορεί να του θεραπεύσουμε τη μόλυνση και να μην του προκαλέσουμε κανένα πρόβλημα· αλλά εάν ο ασθενής είναι αλλεργικός στα αντιβιοτικά, τότε αυτή η θεραπεία μπορεί να του προκαλέσει πολλά προβλήματα. Η μπεϊσιανή θεωρία αποφάσεων δέχεται ότι γνωρίζουμε ποιες είναι οι συνέπειες κάθε δυνατής πράξης εάν κάποια συγκεκριμένη υπόθεση είναι αληθής, αλλά δεν γνωρίζουμε ποια συγκεκριμένη υπόθεση είναι αληθής. Κάθε δυνατή συνέπεια μιας πράξης έχει μια τιμή που καθορίζεται μέσω μιας συνάρτησης χρησιμότητας (utility function). Η χρησιμότητα του να μην έχουμε αλλεργική αντίδραση είναι, για παράδειγμα, υψηλότερη από τη χρησιμότητα του να έχουμε. Για κάθε δυνατή υπόθεση γύρω από την κατάσταση των πραγμάτων υπάρχει μία πιθανότητα, και για κάθε αποτέλεσμα υπάρχει μία χρησιμότητα. Έτσι, για κάθε εναλλακτική πράξη, έστω την πράξη A_i, και για κάθε εναλλακτική υπόθεση, έστω την H_j, υπάρχει μια χρησιμότητα $U(O_{ij})$ για το αποτέλεσμα που θα προκύψει από την πράξη εάν η υπόθεση είναι πράγματι ορθή.

Η αναμενόμενη χρησιμότητα μιας πράξης είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος των χρησιμοτήτων αυτής της πράξης με βάση τις διάφορες υποθέσεις. Ας υποθέσουμε ότι οι εναλλακτικές υποθέσεις είναι οι H_1, H_2, και H_3. Η αναμενόμενη χρησιμότητα της πράξης A_i ορίζεται ως:

$$\text{Exp}(A_i) = \text{Prob}(H_1)U(O_{i1}) + \text{Prob}(H_2)U(O_{i2}) + \text{Prob}(H_3)U(O_{i3}).$$

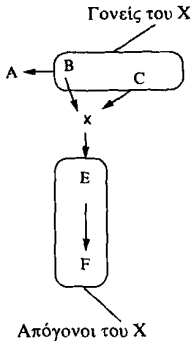
Η θεμελιώδης αρχή της μπεϊσιανής θεωρίας αποφάσεων είναι ότι αυτός που παίρνει τις αποφάσεις θα πρέπει να κάνει εκείνη την πράξη που έχει την ποιοτικά υψηλότερη αναμενόμενη χρησιμότητα.

Στη δεκαετία του 1960, οι μπεϊσιανές μέθοδοι χρησιμοποιούνταν σε έμπειρα συστήματα για ιατρικές διαγνώσεις. Οι Γκόρυ και Μπάρνετ (Gorry and Barnett, 1968) ανέπτυξαν ένα υπολογιστικό πρόγραμμα το οποίο έκανε διαγνώσεις και έπαιρνε αποφάσεις γύρω από το εάν θα υποβάλει έναν ασθενή σε πρόσθετες εργαστηριακές εξετάσεις. Το πρόγραμμα εφαρμόστηκε σε προβλήματα διάγνωσης

συγγενούς καρδιακής ανεπάρκειας. Μια ποικιλία σχετικών προγραμμάτων αναπτύχθηκε περίπου την ίδια εποχή. Το πρόγραμμα των Γκόρυ και Μπάρνετ λειτουργεί ως εξής: Εξετάζονται 35 διαφορετικές συνθήκες εμφάνισης συγγενών καρδιακών ασθενειών, και 53 διαφορετικά δυνατά ευρήματα –μεταξύ αυτών 25 διαφορετικά καρδιακά φυσήματα, 11 ακτινογραφικά ευρήματα, 7 ευρήματα ηλεκτροκαρδιογραφήματος, 6 ευρήματα φωτοκαρδιογραφικής ιχνογράφησης– καθώς επίσης και τρεις κατηγορίες ηλικιών. Είναι προφανές ότι ορισμένα από αυτά τα ευρήματα εμφανίζονται ως δεδομένα μόνο εάν γίνουν συγκεκριμένες εξετάσεις, όπως για παράδειγμα μια ακτινογραφία. Το πρόγραμμα άρχιζε με απονεμημένες πιθανότητες για κάθε μία από τις συνθήκες εμφάνισης καρδιακών ασθενειών, και με υπό συνθήκη πιθανότητες για τα ευρήματα σε σχέση με κάθε μια από αυτές τις υποθέσεις. Το πρόγραμμα ήταν εφοδιασμένο με τις τιμές της χρησιμότητας (ή της αρνητικής χρησιμότητας) μιας κακής διάγνωσης καθώς και με το κόστος (ή την αρνητική χρησιμότητα) των διαφόρων εξετάσεων.

Κατά τη λειτουργία του προγράμματος, δίνονταν στο σύστημα τα αρχικά ευρήματα που αφορούσαν τον ασθενή. Αυτά τα αρχικά ευρήματα χρησιμοποιούνταν για να υπολογισθεί μια νέα υπό συνθήκη πιθανότητα για τις διάφορες υποθέσεις. Μόλις το πρόγραμμα υπολογίσει τις νέες πιθανότητες από τα αρχικά τεκμήρια, πρέπει να λάβει μιαν απόφαση: Είτε πρέπει να αναφέρει μία από τις 35 δυνατές διαγνώσεις είτε πρέπει να κάνει μια πρόσθετη εξέταση. Το πρόγραμμα εφοδιάζεται επίσης με κάποιες αυθαίρετες χρησιμότητες: Το κόστος μιας κακής διάγνωσης τίθεται ίσο με 1000 για όλες τις κακές διαγνώσεις. Το πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει για κάθε μια από τις 35 συνθήκες εμφάνισης καρδιακού νοσήματος την αναμενόμενη χρησιμότητα της αντίστοιχης διάγνωσης. Επίσης μπορεί με έναν εύκολο υπολογισμό να βρει για κάθε δυνατή εξέταση τη χρησιμότητα που αναμένεται να έχει η επίτευξη της διάγνωσης μετά την απόκτηση των αποτελεσμάτων μιας τέτοιας εξέτασης. Το πρόγραμμα επιλέγει οποιαδήποτε πράξη έχει την υψηλότερη χρησιμότητα. Έτσι, με βάση τις αρχικές πιθανότητες και τα αρχικά ευρήματα, το πρόγραμμα κατά κανόνα θα ζητήσει να γίνουν κάποιες συγκεκριμένες πρόσθετες εξετάσεις, αλλά όχι κάποιες άλλες, επειδή σε κάθε στάδιο υπολογίζει εάν η αύξηση της εμπιστοσύνης όσον αφορά τη διάγνωση που θα επιτευχθεί με το πρόσθετο εύρημα αξίζει περισσότερο από το κόστος της εξέτασης. Τελικά το πρόγραμμα φτάνει σε ένα στάδιο όπου το κόστος των πρόσθετων εξετάσεων είναι υψηλότερο από την αξία των πληροφοριών που θα αποκτηθούν. Σε αυτή την περίπτωση, το πρόγραμμα εξάγει μια διάγνωση που βασίζεται στην αρχή της αναμενόμενης χρησιμότητας – αλλά αφού όλες οι κακές διαγνώσεις έχουν την ίδια χρησιμότητα, όταν παίρνει την απόφαση το πρόγραμμα επιλέγει πάντα εκείνη τη διάγνωση που έχει την υψηλότερη υπό συνθήκη πιθανότητα ως προς όλα τα τεκμήρια και όλα τα αποτελέσματα των εξετάσεων.

Τα αρχικά μπεϊσιανά προγράμματα έχουν αντικατασταθεί κατά μεγάλο μέρος από ένα έμπειρο σύστημα γνωστό ως *μπεϊσιανό δίκτυο*. Σε ένα μπεϊσιανό δίκτυο



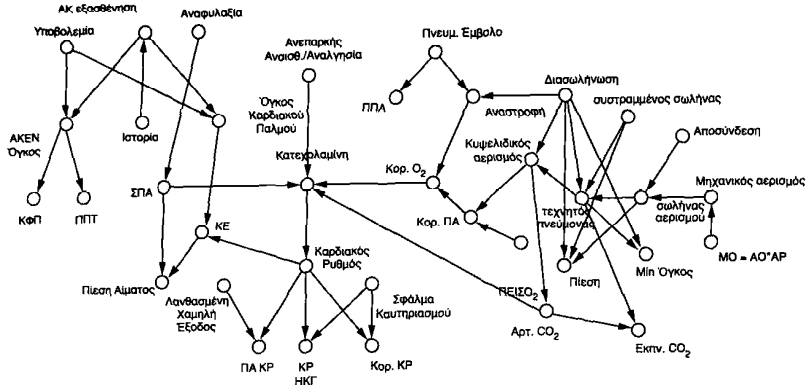
Σχήμα 10.5

τα μεγέθη και οι ιδιότητες που ενδιαφέρουν παριστάνονται ως κόμβοι. Τα μεγέθη μπορούν να έχουν οποιαδήποτε τιμή από ένα σύνολο τιμών και οι ιδιότητες έχουν τουλάχιστον δύο τιμές που παριστούν την παρουσία ή την απουσία της ιδιότητας στο σύστημα. Σε ένα μπεϊσιανό δίκτυο, δύο κόμβοι μπορεί να συνδέονται μέσω ενός προσανατολισμένου βέλους, ή μπορεί να είναι ασύνδετοι. Έτσι, για κάθε κόμβο K υπάρχει ένα σύνολο κόμβων με βέλη προσανατολισμένα προς τον K, που ονομάζονται *γονείς του* K. Συχνά τα προσανατολισμένα βέλη θεωρείται ότι σημαίνουν ότι μία μεταβλητή προκαλεί την άλλη, αλλά αυτό δεν συμβαίνει πάντα. (Βλέπε Σχήμα 10.5)

Ο υπολογιστικός κανόνας για τις πιθανότητες στα μπεϊσιανά δίκτυα είναι πολύ απλός: Αρχίζοντας με τους τερματικούς κόμβους οι οποίοι δεν έχουν προσανατολισμένα βέλη που εξέρχονται από αυτούς, δίδεται στον υπολογιστή η υπό συνθήκη πιθανότητα κάθε τιμής του τερματικού κόμβου *σε σχέση με* κάθε σύνολο τιμών όλων των γονέων του. Για κάθε γονέα ενός τερματικού κόμβου, δίδεται στον υπολογιστή η υπό συνθήκη πιθανότητα κάθε μιας από τις τιμές του σε σχέση με κάθε σύνολο τιμών όλων των *δικών του* γονέων, κ.ο.κ. μέχρι να φτάσουμε σε κόμβους που δεν έχουν γονείς. Στους κόμβους χωρίς γονείς απονέμονται απλώς κάποιες πιθανότητες για κάθε μια από τις δυνατές τιμές τους. Με βάση αυτούς τους αριθμούς μπορεί να υπολογιστεί η πιθανότητα οποιουδήποτε συνόλου τιμών για οποιονδήποτε κόμβο.

Ένα μπεϊσιανό δίκτυο με μεταβλητές που έχουν να κάνουν με την ιατρική εκτάκτων περιστατικών απεικονίζεται στο Σχήμα 10.6. (Beinlich et al. 1989). Το δίκτυο αυτό ονομάστηκε δίκτυο ALARM και κατασκευάστηκε από μια ομάδα γιατρών και ειδικών της επιστήμης των υπολογιστών οι οποίοι απέδωσαν πιθανότητες καθώς και υπό συνθήκη πιθανότητες στους διάφορους κόμβους.

Αυτού του είδους τα δίκτυα έχουν πολλές χρήσεις. Εάν για ένα συγκεκριμέ-



Σχήμα 10.6 ΑΚ εξασθένηση: αριστερή κοιλιακή εξασθένηση. ΑΚΕΝ όγκος: αριστερός κοιλιακός ενδιαστολικός όγκος. ΑΟ: αναπνεόμενος όγκος. ΑΡ: αναπνευστικός ρυθμός. Αρτ. CO_2: αρτηριακό O_2. Εκπν. CO_2: εκπνεόμενο CO_2. ΗΚΓ: Ηλεκτροκαρδιογράφημα. ΚΕ: καρδιακή έξοδος. Κορ. ΠΑ: κορεσμός πνευμονικής αρτηρίας. ΚΡ: Καρδιακός Ρυθμός. ΚΦΠ: κεντρική φλεβική πίεση. ΜΑ: μικροσκοπικός αερισμός. ΜΟ: Min Όγκος. $ΠΕΙΣΟ_2$: Ποσοστό του εισπνεόμενου αέρα που είναι O_2. ΠΠΑ: πίεση πνευμονικής αρτηρίας. ΠΠΤ: πίεση πνευμονικού τριχοειδούς. ΣΠΑ: συνολική περιφερειακή αντίσταση.

νο άτομο ή μονάδα είναι γνωστές οι τιμές ορισμένων μεταβλητών, τότε το δίκτυο μπορεί να «ενημερωθεί» για αυτό το άτομο κάνοντας χρήση του κανόνα του Μπέις για τον υπολογισμό των υπό συνθήκη πιθανοτήτων όλων των υπόλοιπων μεταβλητών με βάση τις τιμές των γνωστών μεταβλητών. Είναι γνωστό ότι η διαδικασία της ενημέρωσης απαιτεί πάρα πολλούς υπολογισμούς όσον αφορά τη χειρότερη περίπτωση (σύμφωνα με μια ευρύτατα αποδεκτή παραδοχή, η πολυπλοκότητα χειρότερης περίπτωσης είναι τουλάχιστον εκθετική), αλλά αυτή είναι εφικτή όταν το δίκτυο είναι επαρκώς αραιό έτσι ώστε τα περισσότερα ζεύγη μεταβλητών να μην είναι άμεσα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα βέλη στο δίκτυο παριστούν με ακρίβεια κάποιες αιτιακές εξαρτήσεις, τότε το δίκτυο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει τις κατανομές πιθανότητας κάποιων μεταβλητών όταν άλλες μεταβλητές μεταβάλλονται ή εξαναγκάζονται να έχουν συγκεκριμένες τιμές.

10.4.3 Τα όρια των Εμπειρογνωμόνων

Η αρχική ιδέα για το σχεδιασμό έμπειρων συστημάτων ήταν να εξαχθεί μια θεωρία, ή κάποιοι κανόνες, ή κάποιες πιθανότητες από τους εμπειρογνώμονες

και να εισαχθούν σε έναν υπολογιστή θεωρούμενο ως σύστημα βασισμένο σε κανόνες ή ως μπεϊσιανό δίκτυο. Αυτή η στρατηγική ακολουθείται ακόμα και σήμερα ευρύτατα, αλλά αντιμετωπίζει ένα θεμελιακό πρόβλημα: Αποδεικνύεται πολλές φορές ότι οι εμπειρογνώμονες δεν είναι τόσο ειδικοί όσο πιστεύουν, και ότι για πολλές περιοχές για τις οποίες θα θέλαμε να έχουμε προβλέψεις είτε δεν υπάρχουν στην πραγματικότητα εμπειρογνώμονες, είτε αυτά που πράγματι γνωρίζουν οι εμπειρογνώμονες (σε αντιδιαστολή με αυτά που πιστεύουν ότι γνωρίζουν) είναι πολύ περιορισμένα.

Μετά από κάποιες μελέτες βρέθηκε ότι σε πολλά ζητήματα οι γιατροί και οι ψυχολόγοι δεν αποδίδουν καλά κατά τη διάγνωση όταν οι σχετικές προβλέψεις μπορούν να ελεγχθούν αντικειμενικά. Σε μια εξέταση που χρησιμοποιείται ευρύτατα για την ανίχνευση οργανικής εγκεφαλικής βλάβης, ψυχολόγοι με μεταπτυχιακές σπουδές και με αρκετά χρόνια εμπειρίας σε αυτήν τη διαδικασία, βρέθηκαν να διακρίνουν τους ασθενείς που είχαν πράγματι οργανική εγκεφαλική βλάβη από τους υπόλοιπους, κατά τρόπο μόνο ελαφρώς καλύτερο από ό,τι αν το έκαναν στην τύχη: Θα κάναμε μόνο ελαφρώς χειρότερες προβλέψεις αν στρίβαμε ένα νόμισμα. Από μια μελέτη που έγινε σχετικά με τις διαγνώσεις κακοήθους έλκους που έκαναν διάφοροι ακτινολόγοι με τη βοήθεια ακτίνων Χ, βρέθηκε ότι οι συσχετίσεις των κρίσεων εννέα ραδιολόγων ανά δύο ήταν αρνητικές. Από διάφορες εξετάσεις που έγιναν σε εκπαιδευμένους χειριστές πολυγράφου του τεστ αλήθειας, βρέθηκε ότι αυτοί διακρίνουν τους ψεύτες από αυτούς που λένε την αλήθεια είτε με την ίδια επιτυχία, είτε μόνο ελαφρώς καλύτερα από ό,τι θα κάναμε εμείς αν στρίβαμε ένα νόμισμα.

Πολλές μελέτες έδειξαν ότι όταν οι κρίσεις ή οι προβλέψεις πρέπει να γίνουν υπό καθεστώς αβεβαιότητας, τότε είτε πρόκειται για ιατρική, είτε για ψυχολογία, είτε για οποιαδήποτε άλλη επιστήμη, σε πολλές περιπτώσεις επιτυγχάνονται βελτιωμένες προβλέψεις απλώς και μόνο με την εκλογή στατιστικών δεδομένων που συσχετίζουν το φαινόμενο που θέλουμε να προβλέψουμε με κάποιες εύκολα καθοριζόμενες ιδιότητες των ελεγχόμενων ατόμων ή συστημάτων και με τη χρησιμοποίηση κατόπιν των πιο στοιχειωδών στατιστικών μεθόδων πρόβλεψης. Η στατιστική πρόβλεψη είναι περισσότερο αξιόπιστη από την ανθρώπινη πρόβλεψη σε θέματα αθέτησης του λόγου κρατουμένων που έχουν αποφυλακιστεί υπό όρους, υποτροπής εγκληματιών, εκπαιδευτικής επιτυχίας, καθώς και σε πολλά ζητήματα που αφορούν διάγνωση.

Ένα άλλο απογοητευτικό εύρημα της γνωσιακής ψυχολογίας είναι ότι όταν ζητούμε από τους εμπειρογνώμονες να κρίνουν υπό συνθήκες αβεβαιότητας, οι απαντήσεις τους δεν συμμορφώνονται με τη θεωρία πιθανοτήτων. Αυτό δεν αποτελεί ατέλεια της θεωρίας πιθανοτήτων, αλλά αντίθετα αντανάκλαση του γεγονότος ότι επειδή απαιτούνται εκτεταμένοι υπολογισμοί ώστε ένας μεγάλος αριθμός κρίσεων να έρθει σε συμφωνία με τη θεωρία, οι άνθρωποι τείνουν να χρησιμοποιούν ευρετικές μεθόδους οι οποίες δεν είναι συνεπείς με τη θεωρία πιθανοτήτων. Εάν προσπαθήσουμε να αποσπάσουμε κρίσεις σε μορφή πιθανοτήτων

από τους εμπειρογνώμονες, βρίσκουμε συνήθως ότι αυτές δεν είναι συμβιβαστές μεταξύ τους.

Επιπλέον, υπάρχουν πολλοί τομείς για τους οποίους θα αμφιβάλλαμε δικαιολογημένα για το αν υπάρχουν εμπειρογνώμονες του σωστού είδους. Οι κοινωνιολόγοι έχουν συλλέξει τεράστιες ποσότητες δεδομένων γύρω από τη φτώχεια, την εγκληματικότητα, την οικονομία, τη χρήση ναρκωτικών, τη σεξουαλική συμπεριφορά, την εκπαίδευση, τον πόλεμο, και πολλούς άλλους τομείς ενδιαφέροντος. Το ίδιο ισχύει και σε πολλές περιοχές της ιατρικής και της επιδημιολογίας. Αυτά τα δεδομένα δεν είναι συνήθως αποτέλεσμα κάποιων ελεγχόμενων πειραμάτων· αλλά στην καλύτερη περίπτωση είναι αποτέλεσμα κάποιων τυχαίων παρατηρήσεων. Ειδικοί στην κοινωνιολογία, στην οικονομία και την πολιτική επιστήμη, στην εκπαίδευση, και σε άλλους τομείς χρησιμοποιούν ορισμένες φορές τέτοιες τράπεζες δεδομένων για να κατασκευάσουν «αιτιακά μοντέλα» των διαδικασιών που παρήγαγαν αυτά τα δεδομένα. Τα αιτιακά μοντέλα μοιάζουν πολύ με τα μπεϊσιανά δίκτυα, και χρησιμοποιούνται συχνά για να επηρεάσουν την πολιτική ή τις αποφάσεις που λαμβάνονται από ιδιωτικές εταιρείες. Πολλοί πιστεύουν ότι δεν πρέπει να δίδεται μεγάλη πίστη στα αιτιακά μοντέλα που παράγονται κατά αυτόν τον τρόπο. Συγκεκριμένα, φέρνουν ως αντίρρηση ότι αυτά είναι αυθαίρετα και ότι, αν δεν υπάρχει πειραματικός έλεγχος, πολλά εναλλακτικά μοντέλα θα μπορούσαν να προσαρμοστούν στα δεδομένα εξίσου καλά. Επιπλέον κανείς δεν γνωρίζει ποια θα μπορούσαν να είναι όλα τα εναλλακτικά μοντέλα. Τέλος, όταν τα μοντέλα βασίζονται σε κοινωνιολογικές θεωρίες, τότε αυτές οι ίδιες οι θεωρίες συχνά δεν έχουν επαρκή εμπειρική στήριξη.

Ως ένα βαθμό, αυτά τα προβλήματα με τα μπεϊσιανά δίκτυα και τα κοινωνιολογικά αιτιακά μοντέλα έχουν ξεπεραστεί με τη βοήθεια τεχνικών της τεχνητής νοημοσύνης οι οποίες αντλούν ιδέες από τη φιλοσοφία της επιστήμης. Ορισμένες υπολογιστικές διαδικασίες μπορούν να κατασκευάσουν μπεϊσιανά δίκτυα βασιζόμενες απλώς και μόνο σε κατάλληλα δεδομένα, ή σε στατιστικά δεδομένα που συνδυάζονται με δεδομένη γνώση. Οι ίδιες διαδικασίες κατασκευάζουν και αιτιακά μοντέλα κατά τον ίδιο τρόπο, επειδή ακριβώς τα μπεϊσιανά δίκτυα *είναι* αιτιακά μοντέλα. Το εντυπωσιακό με όλα αυτά είναι ότι κάτω από συγκεκριμένες και πολύ γενικές συνθήκες, τα αιτιακά συμπεράσματα στα οποία καταλήγουμε με αυτόν τον τρόπο πρέπει να είναι ορθά, και όταν δεν μπορεί να προσδιοριστεί μια μοναδική αιτιακή δομή, τότε η διαδικασία μπορεί να περιγράφει το σύνολο των εναλλακτικών δομών.

10.5 ΑΝΑΚΑΛΥΠΤΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΑΙΤΙΑΚΗ ΔΟΜΗ: ΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ TETRAD

Ο Χανς Ράιχενμπαχ έχει προτείνει κάποιες απλές σχέσεις μεταξύ των αιτιακών σχέσεων και των πιθανοκρατικών συσχετίσεων. Ας παραστήσουμε κάθε υποτι-

θέμενη αιτιακή δομή ως κάποιο δίκτυο (ή, με τεχνική ορολογία, ως *προσανατολισμένο γράφημα*). Οι συνθήκες του Ράιχενμπαχ που συνδέουν την αιτιακή δομή με τις πιθανότητες μπορούν να διατυπωθούν γενικά και ομοιόμορφα μέσω μιας συνθήκης που αποκαλείται σήμερα συνθήκη *Μαρκόφ (Markov)*.

Συνθήκη Μαρκόφ: Εάν ένα σύνολο μεταβλητών *A* δεν περιέχει κανέναν απόγονο της μεταβλητής *B*, τότε το *A* είναι ανεξάρτητο από τη μεταβλητή *B* σε ό,τι αφορά το σύνολο όλων των γονέων της *B*.

Η συνθήκη Μαρκόφ σημαίνει ότι όταν ο μηχανισμός μέσω του οποίου το σύνολο μεταβλητών *A* επηρεάζει τη μεταβλητή *B* διαμεσολαβείται εξ ολοκλήρου από μια άλλη μεταβλητή *C*, τότε εάν η *C* δεν αλλάζει, οποιαδήποτε μεταβολή κι αν γίνει στο *A*, αυτή δεν προκαλεί καμιά μεταβολή στο *B*. Ο Ράιχενμπαχ θα έλεγε ότι η *C απομονώνει* το *A* από τη *B*. Η συνθήκη Μαρκόφ λέει επίσης ότι εάν, σε κάποια άλλη περίπτωση, τόσο το *A* όσο και η *B* έχουν ως αιτία τους τη μεταβλητή *C* και δεν συνδέονται μεταξύ τους αιτιακά κατά κανέναν άλλο τρόπο, τότε οι *A* και *B* είναι ανεξάρτητες σε ό,τι αφορά τη *C*. Ο Ράιχενμπαχ αποκάλεσε αυτήν την παραδοχή *αρχή της κοινής αιτίας*. Σχετικές ιδέες έχουν προταθεί και από άλλους φιλοσόφους της επιστήμης, κυρίως από τον Πάτρικ Σάπες.

Η συνθήκη Μαρκόφ μοιάζει να παραβιάζεται σε ορισμένα κβαντομηχανικά πειράματα όπου οι εγγραφές σε χωρικά απομακρυσμένους αισθητήρες συσχετίζονται μεταξύ τους, ενώ δεν υπάρχει καμιά προηγούμενη κατάσταση του συστήματος σε σχέση με την οποία οι εγγραφές να είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητες. Αν βάλουμε στην άκρη τα κβαντικά μυστήρια, το πρόβλημα με τη συνθήκη Μαρκόφ είναι ότι υπάρχουν σχέσεις υπό συνθήκη *εξάρτησης* που πρέπει να απαιτούνται αλλά οι οποίες δεν εξασφαλίζονται από την αρχή της κοινής αιτίας. Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι το αυτοκίνητό σας δεν παίρνει μπροστά και ότι γνωρίζετε πως αυτό συμβαίνει είτε επειδή η μπαταρία είναι νεκρή είτε επειδή το ντεπόζιτο της βενζίνης είναι άδειο αλλά δεν γνωρίζετε τι από τα δύο συμβαίνει. Έστω ότι δίνετε μια πιθανότητα *P(N)* στην πρόταση ότι η μπαταρία είναι νεκρή, και μια πιθανότητα *P(A)* στην πρόταση ότι το ντεπόζιτο βενζίνης είναι άδειο. Δεν υπάρχει, απ' όσο γνωρίζετε, καμιά σύνδεση ανάμεσα στο να είναι άδειο το ντεπόζιτο και στο να είναι η μπαταρία νεκρή. Έτσι οι δύο πιθανότητες είναι ανεξάρτητες: $P(N\&A) = P(N)P(A)$. Τώρα υποθέστε ότι μετά από πρόσθετη έρευνα βρίσκετε ότι το ντεπόζιτο της βενζίνης τελικά δεν είναι άδειο. Αυτή η νέα πληροφορία οφείλει να μεταβάλει την αρχική πιθανότητα που δώσατε στην πρόταση ότι η μπαταρία είναι νεκρή. Αν έτσι έχουν τα πράγματα, τότε αυτό δείχνει ότι, παρ' ότι τα *N* και *A* είναι όντως ανεξάρτητα, *δεν* είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητα σε σχέση με το γεγονός ότι το αυτοκίνητο δεν παίρνει μπροστά. *Αιτιακές μεταβλητές οι οποίες είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους είναι υπό συνθήκη εξαρτημένες σε σχέση με οποιοδήποτε κοινό αποτέλεσμα.* Η συνθήκη Μαρκόφ δεν εγγυάται αυτή τη σχέση, ενώ η ακόλουθη ισχυρότερη συνθήκη την εγγυάται:

Συνθήκη Πληρότητας κατά Μαρκόφ: Σε ένα σύνολο μεταβλητών με αιτιακές σχέσεις οι οποίες παριστάνονται μέσω ενός προσανατολισμένου γραφήματος, όλες οι σχέσεις υπό συνθήκη ανεξαρτησίας μεταξύ των μεταβλητών είναι συνέπειες της εφαρμογής της συνθήκης Μαρκόφ στο γράφημα των αιτιακών σχέσεων.

Η συνθήκη Μαρκόφ και η συνθήκη πληρότητας κατά Μαρκόφ συνεπάγονται ότι πολλές αιτιακές σχέσεις καθορίζονται από πιθανοκρατικές σχέσεις. Εάν γνωρίζαμε τι ισχύει σχετικά με την ανεξαρτησία και την υπό συνθήκη ανεξαρτησία των μεταβλητών μιας άγνωστης αιτιακής δομής, θα μπορούσαμε κατ' αρχήν να καθορίσουμε πολλά πράγματα αναφορικά με την αιτιακή δομή. Σε ορισμένες περιπτώσεις θα μπορούσαμε να καθορίσουμε κατά μοναδικό τρόπο την αιτιακή δομή από τις πιθανοκρατικές σχέσεις, σε άλλες όμως περιπτώσεις περισσότερες από μία αιτιακές δομές συμβαίνει να είναι συμβιβαστές με τις ίδιες πιθανοκρατικές σχέσεις. Μαθηματικές έρευνες έχουν προσδιορίσει επακριβώς αυτά τα ζητήματα γύρω από τη μη διακρισιμότητα. Δηλαδή, με δεδομένο οποιοδήποτε τυχόν προσανατολισμένο γράφημα (χωρίς καμιά ακολουθία προσανατολισμένων βελών που να επιστρέφει στην αφετηρία του) έχουμε τη δυνατότητα να προσδιορίσουμε το σύνολο των εναλλακτικών αιτιακών δομών που δεν μπορούν να διακριθούν μεταξύ τους μέσω πιθανοκρατικών σχέσεων ανάμεσα στις μεταβλητές. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τη συνθήκη Πληρότητας κατά Μαρκόφ και οι δύο δομές

$$X \rightarrow Y \rightarrow Z \text{ και } X \leftarrow Y \leftarrow Z$$

συνεπάγονται ότι τα X και Z είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητα σε σχέση με το Y και δεν συνεπάγονται καμιά άλλη σχέση ανεξαρτησίας.

Όταν έχουμε πραγματικά δεδομένα, δεν γνωρίζουμε τι συμβαίνει με την ανεξαρτησία. Πρέπει τότε να αποφασίσουμε σχετικά χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες κάποιων πεπερασμένων δειγμάτων. Με τη χρήση στατιστικών δοκιμών μπορεί να ληφθούν αποφάσεις για το εάν οι μεταβλητές είναι ανεξάρτητες ή υπό συνθήκη ανεξάρτητες. Εάν τα αποτελέσματα αυτών των αποφάσεων συμφωνούν με την αρχή του Μαρκόφ, υπάρχουν αλγόριθμοι που θα ανακτήσουν το αιτιακό γράφημα από δεδομένα περί ανεξαρτησίας: Όταν δύο ή περισσότερα γραφήματα δεν είναι μεταξύ τους διακρίσιμα και είναι συμβιβαστά με τα δεδομένα περί ανεξαρτησίας που βρήκαμε, τότε ο αλγόριθμος θα εξαγάγει όλες τις εναλλακτικές αιτιακές δομές. Αυτοί οι αλγόριθμοι έχουν υλοποιηθεί σε ένα πρόγραμμα υπολογιστή, το πρόγραμμα TETRAD II, και μπορούν να εφαρμοστούν σε συστήματα με εκατό ή και περισσότερες μεταβλητές.

Πόσο καλές είναι οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες για την παραγωγή μπεϊσιανών δικτύων; Θεωρήστε ξανά το δίκτυο ALARM. Στο δίκτυο αυτό υπάρχουν 37 μεταβλητές και 46 προσανατολισμένα βέλη. Οι σχεδιαστές του δικτύου χρησιμοποίησαν το δίκτυο και τις πιθανότητες που του είχαν απονείμει για να πα-

ραγάγουν (μέσω του υπολογιστή) δεδομένα για ένα δείγμα 10.000 μονάδων. Τα δεδομένα αποτελούσαν προσομοίωση μέσω του υπολογιστή των δεδομένων που θα μπορούσαμε να συλλέξουμε από 10.000 ασθενείς εάν το δίκτυο ALARM περιέγραφε σωστά τις δομικές σχέσεις ανάμεσα στα χαρακτηριστικά κάθε ασθενή. Από αυτά τα δεδομένα και μόνο, το πρόγραμμα TETRAD II ανακατασκεύασε ολόκληρο το δίκτυο ALARM –μη διακρίνοντας τις περιπτώσεις που δεν μπορούν να διακριθούν στατιστικά– με δύο μόνο λάθη. Εκτεταμένοι έλεγχοι προσομοίωσης των διαδικασιών πολλών άλλων δικτύων δείχνουν ότι τα δίκτυα αυτά είναι πολύ αξιόπιστα όσον αφορά τα δεδομένα που συλλέγονται από τα δείγματα.

Ένα από τα παλαιότερα αινίγματα στη φιλοσοφία της επιστήμης είναι το «πρόβλημα των θεωρητικών όρων». Μια εκδοχή αυτού του προβλήματος είναι η εξής: Πώς μπορούμε να προσδιορίσουμε εάν κάποιες αιτίες που δεν μετρούνται παράγουν συσχετίσεις μεταξύ μεταβλητών που μετρούμε; Μαθηματικές έρευνες γύρω από τη συνθήκη Πληρότητας κατά Μαρκόφ αποκαλύπτουν ότι μια ποικιλία πιθανοκρατικών σχέσεων μεταξύ των μετρούμενων μεταβλητών αρκεί για να υποδείξει την παρουσία μη μετρούμενων κοινών αιτιών. Κάτω από ειδικές συνθήκες μάλιστα οι αιτιακές σχέσεις μεταξύ των μη-μετρούμενων μεταβλητών μπορεί να προσδιοριστούν από τις πιθανοκρατικές σχέσεις μεταξύ των μετρούμενων μεταβλητών.

10.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Ένα μεγάλο μέρος από τις φιλοσοφικές διαμάχες γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη έχει επικεντρωθεί στη διερεύνηση της θέσης ότι οι άνθρωποι είναι στην πραγματικότητα βιολογικοί υπολογιστές. Ορισμένοι επικριτές της τεχνητής νοημοσύνης αρνούνται κατηγορηματικά ότι ο εγκέφαλος είναι ένας υπολογιστής. Άλλοι τονίζουν ζητήματα νοήματος, ερμηνείας και κατανόησης, και ισχυρίζονται ότι ακόμα κι αν είμαστε βιολογικοί υπολογιστές, αυτό δεν εξηγεί τίποτα γύρω από την ανθρώπινη κατανόηση, συμπεριλαμβανομένης και της επιστημονικής κατανόησης. Αυτές οι διαμάχες αναμφίβολα θα συνεχιστούν. Είναι όμως σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι αποτελούν ένα περιθωριακό τμήμα των σχέσεων ανάμεσα στη φιλοσοφία, ειδικότερα τη φιλοσοφία της επιστήμης, και στην τεχνητή νοημοσύνη. Οι περισσότερο ουσιαστικές και σύνθετες σχέσεις έχουν να κάνουν με το γεγονός ότι η φιλοσοφία της επιστήμης παρέχει ποικίλα ερωτήματα καθώς και τεχνικές στην έρευνα της τεχνητής νοημοσύνης, ενώ, αντίστροφα, η έρευνα της τεχνητής νοημοσύνης αποκαλύπτει ευρετικές μεθόδους και αλγοριθμικές συνδέσεις ανάμεσα στη θεωρία και τα τεκμήρια, που έχουν μεγάλο ενδιαφέρον για όσους ασχολούνται με το πώς δουλεύει ή πώς μπορεί να δουλέψει η επιστήμη. Τέλος, το πιο σημαντικό είναι ότι η έρευνα πάνω στη διαδικασία με την οποία οι μηχανές μαθαίνουν τονίζει το κεντρικό παραδο-

σιακό ερώτημα της φιλοσοφίας της επιστήμης: Πώς είναι δυνατό να κάνουμε ανακαλύψεις;

ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΣΥΖΗΤΗΣΙΝ

1. Το δεύτερο θεώρημα του Γκέντελ, που επίσης αποδείχτηκε το 1931, είναι το ακόλουθο:

> Δεύτερο θεώρημα του Γκέντελ: Υπάρχει ένας αλγόριθμος ο οποίος, με δεδομένη μια πεπερασμένη περιγραφή μιας οποιασδήποτε συνεπούς και αξιωματικοποιήσιμης θεωρίας που συνεπάγεται την τυποποιημένη αριθμητική του Πεάνο, εξάγει μια πρόταση που βεβαιώνει τη συνέπεια της θεωρίας και η οποία δεν μπορεί να αποδειχτεί μέσα στα πλαίσια της θεωρίας.

Ο σύγχρονος, διακεκριμένος στατιστικολόγος Ρόναλντ Φίσερ (Ronald Fisher) επεσήμανε αναφορικά με την παρατήρηση του Χάρντυ – ότι μια αντίφαση συνεπάγεται οτιδήποτε – ότι τα αποτελέσματα του Γκέντελ δεν θα έπρεπε να αποτελέσουν έκπληξη για κανέναν: «Ας υποθέσουμε ότι ένας υποψήφιος διδάκτορας φτάνει γεμάτος ενθουσιασμό και λέει: "Κύριε, έχω *αποδείξει* ότι αυτό το σύστημα αξιωμάτων δεν περιέχει αντιφάσεις." Εσείς θα απαντούσατε, "Το απέδειξες χρησιμοποιώντας μόνο αξιώματα;" Αυτός πιθανόν θα έλεγε, "Ναι, εδώ έχω γράψει μια σειρά προτάσεων που αποδεικνύει ότι αυτά τα αξιώματα δεν περιέχουν αντιφάσεις." Τότε εσείς θα τον κοιτούσατε, ίσως με κάποια μικρή έκπληξη, και θα του λέγατε, "Υποθέτω ότι γνωρίζεις, ότι εάν αυτό το σύστημα αξιωμάτων περιείχε *όντως* κάποια αντίφαση, τότε θα μπορούσες να αποδείξεις τις ίδιες ακριβώς προτάσεις," και έτσι έχετε την περίπτωση κάποιων συγκεκριμένων προτάσεων που υποτίθεται ότι αποδεικνύουν την αλήθεια – την αλήθεια του θεωρήματος ότι το αρχικό σύστημα δεν περιέχει αντιφάσεις – οι οποίες θα μπορούσαν να αποδείξουν εξίσου καλά το ίδιο, μέσω των συνηθισμένων αυστηρών διαδικασιών του παραγωγικού συλλογισμού, ακόμα κι αν ήταν ψευδείς. Δεν ξέρω πόσο σοβαρά θα έπρεπε να πάρουμε την απόδειξη ενός θεωρήματος που υποτίθεται ότι αποδεικνύει πως το σύστημα των αξιωμάτων δεν περιέχει αντιφάσεις. Θα φαινόταν κάπως παράλογο να φανταστούμε ότι μια τέτοια περίπτωση είναι δυνατή.»

Εξετάστε με προσοχή εάν αυτό το χωρίο αποτελεί βάσιμη επίθεση κατά του προγράμματος του Χίλμπερτ και της σπουδαιότητας των αποτελεσμάτων του Γκέντελ.

2. Ένας αλγόριθμος ο οποίος καταγράφει όλα τα θεωρήματα μιας θεωρίας κάνει κάτι εποπτικά πιο εύκολο απ' ό,τι ένας αλγόριθμος που αποφασίζει πάντα με ορθό τρόπο για κάθε πρόταση εάν αποτελεί θεώρημα μιας θεωρίας. Υποθέστε, ωστόσο, ότι έχετε μια διαδικασία η οποία καταγράφει όλα τα θεωρήμα-

τα μιας θεωρίας *T* και ότι έχετε επίσης μια άλλη διαδικασία η οποία καταγράφει όλες τις προτάσεις που δεν είναι θεωρήματα της ίδιας θεωρίας *T*. Εξηγήστε πώς θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από κοινού αυτές οι δύο διαδικασίες καταγραφής, ώστε να σχηματίσουν μία διαδικασία, η οποία θα αποφασίζει για κάθε πρόταση εάν η πρόταση αυτή αποτελεί θεώρημα της θεωρίας *T*.

3. Σχεδιάστε σχολιασμένα προσανατολισμένα γραφήματα που παριστούν μηχανές Τιούρινγκ οι οποίες:

   α. Μετατρέπουν όλα τα 0 σε 1 και σβήνουν το τελευταίο 1.
   β. Μετατρέπουν όλα τα 1 σε 0 και προσθέτουν ένα επιπλέον 0.
   γ. Για ορισμένες εισόδους δεν σταματούν ποτέ

4. Για τις ασκήσεις 1 και 2, δώστε ένα δείγμα της ακολουθίας των στιγμιαίων καταστάσεων της μηχανής Τιούρινγκ που περιγράψατε για είσοδο 1001.
5. Περιγράψτε το σύνολο των εκφράσεων που θα γίνονται αποδεκτές από τη παρουσιασθείσα πεπερασμένη αυτοματοποίηση.
6. Περιγράψτε ένα αυτόματο πεπερασμένων καταστάσεων το οποίο θα δέχεται κάθε είσοδο που αποτελείται από μια ακολουθία *μονού* αριθμού ψηφίων 1 και δεν θα δέχεται καμία άλλη είσοδο.
7. Περιγράψτε ένα αυτόματο πεπερασμένων καταστάσεων για το πρόβλημα των τηλεσκοπικών φακών.
8. Επαληθεύστε ότι εφαρμόζοντας τους κανόνες 1, 2, 3 και 4 με την κατάλληλη σειρά θα προκύψει ο νόμος του Κέπλερ με τα δεδομένα του Πίνακα 10.4.
9. Χρησιμοποιήστε τους ευρετικούς κανόνες 1, 2, 3 και 4 του BACON για να βρείτε το νόμο που συνδέει την απόσταση με το χρόνο για σώματα που πέφτουν κοντά στην επιφάνεια της γης από τα ακόλουθα δεδομένα:

Χρόνος (*X*)	Απόσταση (*A*)
0.1	0.098
0.2	0.392
0.3	0.882
0.4	1.568
0.5	2.450
0.6	3.528

10. Συμπληρώστε το υπόλοιπο της στήλης «c» του Πίνακα 10.6 για τον πρώτο συσσωρευτή.
11. Εξηγήστε γιατί η συνθήκη πληρότητας Μαρκόφ εγγυάται ότι, στο παράδειγμα με το αυτοκίνητο, τα γεγονότα «άδειο ντεπόζιτο» και «νεκρή μπαταρία» δεν είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητα με δεδομένο ότι το αυτοκίνητο δεν θα πάρει μπροστά.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

GARDNER, MARTIN (1958), *Logic Machines and Diagrams*. New York: McGraw-Hill. Μια γοητευτική εισαγωγή στο υπόβαθρο και τις ιδέες του Λουλ καθώς και σε άλλες προσπάθειες σχεδιασμού μηχανών για συλλογισμούς.

LANGLEY, PAT· HERBERT A. SIMON· GARY L. BRADSHAW και JAN M. ZYTKOW (1987), *Scientific Discovery: Computational Exploration of the Creative Process*. Cambridge, MA: MIT Press. Αυτό το βιβλίο περιγράφει τα προγράμματα BACON.

SPIRTES, PETER· CLARK GLYMOUR· και RITCHARD SCHEINES (1992), *Causality, Prediction and Search*. New York: Springler-Verlag. Μια συστηματική και υψηλού επιπέδου εξέταση της υπολογιστικοποιημένης αιτιακής συναγωγής.

WILF, HERBERT S. (1986), *Algorithms and Complexity*. Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. Μια προσιτή εισαγωγή σε ζητήματα πολυπλοκότητας και υπολογισμού.

Ενδέκατο Κεφάλαιο

Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΩΝ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Merrilee H. Salmon

Μπορούμε άραγε να εξετάσουμε τις δραστηριότητες των ανθρώπων, τις κοινωνικές τους σχέσεις και τις δομές των κοινωνιών στις οποίες ζουν, με τις ίδιες τεχνικές και μεθόδους που έχουν υπάρξει τόσο γόνιμες στον τομέα των φυσικών και βιολογικών επιστημών; Είναι δυνατόν να υπάρξει μια *επιστήμη* της ανθρώπινης συμπεριφοράς, κατά το πρότυπο των φυσικών επιστημών; Αυτό είναι το μείζον φιλοσοφικό ερώτημα όσον αφορά τις κοινωνικές επιστήμες. Έτσι, σ' αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε τις λεγόμενες κοινωνικές επιστήμες δίνοντας έμφαση στο ερώτημα κατά πόσο η ανθρώπινη συμπεριφορά μπορεί να μελετηθεί με τον τρόπο που οι επιστήμονες μελετούν τον υπόλοιπο φυσικό κόσμο.

Δεδομένου ότι μια επιστημονική μελέτη έχει πρωτίστως να κάνει με σχέσεις αιτιότητας, ένα ερώτημα άμεσα σχετικό με το κύριο θέμα μας είναι το πώς μπορεί να κατανοηθεί η αιτιότητα στον κοινωνικό κόσμο. Θα θεωρήσουμε, φέρ' ειπείν, τα ανθρώπινα όντα ως στοιχειώδεις αιτιακές δυνάμεις ικανές να διαμορφώνουν κοινωνικά έθιμα και πρακτικές, με σκοπό την ικανοποίηση των ατομικών και κοινωνικών αναγκών τους; Ή θα πρέπει ν' αντιμετωπίσουμε τους ίδιους ανθρώπους ως προϊόντα ιστορικών και κοινωνικών δυνάμεων οι οποίες καθορίζουν τις πεποιθήσεις και τις πράξεις τους; Οι θεωρητικοί της κοινωνιολογίας που κλίνουν προς την πρώτη άποψη ονομάζονται «ατομικιστές», ενώ εκείνοι που υποστηρίζουν τη δεύτερη ονομάζονται «κολεκτιβιστές» ή «ολιστές». Καμία από τις δύο πλευρές (αν και στην πραγματικότητα υπάρχουν πολλές διαφορετικές εκδοχές για την καθεμιά τους) δεν αρνείται τη φανερή αιτιακή αλληλεξάρτηση μεταξύ ατόμων και κοινωνιών. Παρ' όλα αυτά οι ατομικιστές και οι κολεκτιβιστές διαφωνούν ως προς τις έσχατες αιτίες της ανθρώπινης συμπεριφοράς και συνεπώς διαφέρουν κατά πολύ μεταξύ τους, όταν περιγράφουν την ανθρώπινη φύση ή τη δημιουργία μιας κοινωνικής αλλαγής. Ενώ για τους περισσότερους

ατομικιστές την κυρίαρχη θέση κατέχει η ελεύθερη βούληση του ανθρώπου, ως δύναμη που επιφέρει αλλαγές μέσα σε μια κοινωνία, οι κολεκτιβιστές τείνουν να παραβλέπουν, ή και να αρνούνται, την αποτελεσματικότητα της ατομικής επιλογής στη διαμόρφωση των ανθρώπινων υποθέσεων. Σύμφωνα μάλιστα με πολλούς κολεκτιβιστές, πριν μπορέσουμε ν' αλλάξουμε οποιοδήποτε κοινωνικό, οικονομικό ή πολιτισμικό θεσμό, πρέπει να έχουμε σαφή αντίληψη της ιστορικής του εξέλιξης. Οι ατομικιστές, αντίθετα, δίνουν ελάχιστη προσοχή στην ιστορική εξέλιξη μιας κατάστασης, όταν αυτό για το οποίο κυρίως ενδιαφέρονται είναι η αλλαγή της κατάστασης αυτής.

11.1. Η ΦΥΣΙΟΚΡΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΔΟΣΗ

Η διαμάχη για το αν η κοινωνική συμπεριφορά του ανθρώπου μπορεί ή οφείλει να μελετηθεί με επιστημονικό τρόπο αντανακλάται στη δυσχέρεια που παρουσιάζει η κατηγοριοποίηση των επιμέρους επιστημονικών κλάδων της κοινωνιολογίας, της οικονομίας, της πολιτικής επιστήμης, της ανθρωπολογίας, της ψυχολογίας και της ιστορίας. Σε πολλά πανεπιστήμια, οι ειδικότητες αυτές κατατάσσονται στις «κοινωνικές επιστήμες». Κατά τη διάρκεια των τελευταίων σαράντα ετών, πολλά τμήματα που πριν ονομάζονταν διοίκηση μετονομάστηκαν σε «πολιτική επιστήμη», για να επισημανθεί η αναγνώρισή τους των σκοπών και των μεθόδων της επιστήμης. Πειραματικοί ψυχολόγοι, πολλοί από τους οποίους είναι καλοί γνώστες της φυσιολογίας και της νευρολογίας θεωρούν το πεδίο τους ως τμήμα των «επιστημών της ζωής». Ορισμένοι ιστορικοί και ανθρωπολόγοι αρνούνται όμως αυτόν το χαρακτηρισμό, και θεωρούν ότι τα δικά τους πεδία μελέτης –ή τουλάχιστον το δικό τους έργο στα πεδία αυτά– έχει μεγαλύτερη σχέση με τις τυπικές «ανθρωπιστικές» σπουδές, όπως είναι η λογοτεχνία και η φιλοσοφία.

Η ετικέτα «επιστημονικό» χαίρει οπωσδήποτε ιδιαιτέρας εκτιμήσεως στην κοινωνία μας. Οι επιστήμονες είναι αντικείμενο σεβασμού, και η εργασία τους χρηματοδοτείται αδρά από δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς. Προπάντων η εφαρμογή επιστημονικών μεθόδων θεωρείται από πολλούς ο καλύτερος τρόπος απόκτησης μίας αυθεντικής (αν και όχι αλάθητης) γνώσης του κόσμου. Όμως παρά αυτόν τον ευρέως διαδεδομένο θαυμασμό για την επιστήμη και τις μεθόδους της, δεν είναι εύκολο να οριστεί επακριβώς τι είναι επιστήμη ή επιστημονική μέθοδος. Η φύση της επιστήμης εξετάστηκε και συζητήθηκε στα τέσσερα πρώτα κεφάλαια αυτού του βιβλίου. Στο κεφάλαιο αυτό δεν θα επιχειρήσουμε να δώσουμε έναν ορισμό της επιστήμης, μιας και ο αναγνώστης θα έχει ήδη σχηματίσει μια επαρκή, έστω και κάπως ασαφή, ιδέα για το τι είναι επιστήμη. Αντ' αυτού, θα θεωρήσουμε ως δεδομένο ότι στην έννοια της επιστήμης ανήκουν κάποια χαρακτηριστικά, όπως είναι οι νόμοι, η επαληθευσιμότητα, η πρόβλεψη, και οι διαφόρων ειδών εξηγήσεις, που περιγράφονται σε προηγούμενα κεφάλαια.

Δεδομένου του κύρους και της αίγλης των όρων «επιστήμη» και «επιστημονικό», δεν φαίνεται να υπάρχει λόγος να μην επιδιωχτεί μια επιστημονική κατανόηση της ανθρώπινης κοινωνικής ζωής. Ένα από τα παλαιότερα επιχειρήματα ενάντια στη δυνατότητα μιας κοινωνικής *επιστήμης* είναι ότι δεν μπορεί να υπάρξει *επιστήμη* ατόμων με ελεύθερη βούληση. Εφόσον οι άνθρωποι δρουν βάσει της βούλησής τους χωρίς να καθορίζονται σ' αυτές τις εκούσιες πράξεις τους από τους νόμους που λειτουργούν στον φυσικό κόσμο, είναι αδύνατον, σύμφωνα με τους επικριτές, να πλησιάσουμε την ακρίβεια που αξιώνει κάθε σοβαρή επιστήμη στις προβλέψεις της για την ανθρώπινη συμπεριφορά. Τα ανθρώπινα όντα, σε αντίθεση με τα άτομα και τις αμοιβάδες, είναι έλλογα. Καταστρώνουν και πραγματοποιούν σχέδια, στοχάζονται την προώθηση των στόχων τους, αναθεωρούν τα αρχικά σχέδια με βάση έναν τέτοιο στοχασμό, αντικαθιστούν παλιούς στόχους με νέους και ακόμη αλλάζουν γνώμη «χωρίς προφανή λόγο». Πολλές φορές οι άνθρωποι είναι μάλιστα σε θέση να ανατρέψουν τις προβλέψεις της συμπεριφοράς τους αν τυχόν ενημερωθούν γι' αυτές. Σε κανέναν δεν αρέσει να θεωρείται εντελώς προβλέψιμος. Αν, για παράδειγμα, προβλέψει κάποιος μπροστά μου ότι θα παραγγείλω, ως συνήθως, παγωτό βανίλια, εγώ μπορεί και να παραγγείλω σοκολάτα μόνο και μόνο για να τον διαψεύσω, κι ας προτιμούσα βανίλια. Η προβλεψιμότητα των πράξεών μας έρχεται, όπως φαίνεται, σε αντίθεση με την αίσθηση που έχουμε ότι πράττουμε αυτόνομα και αυθόρμητα. Για πραγματολογικούς λόγους, οι κυβερνήσεις και οι επιχειρήσεις δεν θέλουν οι αντίπαλοί τους να θεωρούν τη συμπεριφορά τους ολότελα προβλέψιμη και έτσι όσοι κατέχουν θέσεις εξουσίας χρησιμοποιούν στρατηγικές για να διατηρήσουν τους αντιπάλους τους στην αβεβαιότητα. Προφανώς, η αξία που οι άνθρωποι αποδίδουν στον αυθορμητισμό μπορεί να παρεμποδίσει μια επιτυχή πρόβλεψη.

Χωρίς να αρνούμαστε τη δύναμη της ικανότητας ανατροπής των προβλέψεων ή τη δυνατότητα μιας ελεύθερης βούλησης, πρέπει να επισημάνουμε ότι η συνηθισμένη, καθημερινή κοινωνική αλληλεπίδραση των ανθρώπων επιτρέπει πολλές επιτυχείς προβλέψεις. Ο χαρακτηρισμός κάποιου ως «αξιόπιστου» δεν έχει την αρνητική χροιά του χαρακτηρισμού του ως «προβλέψιμου», η συμπεριφορά, όμως, που περιγράφουν οι δύο λέξεις είναι η ίδια. Όταν ζητάμε βοήθεια από έναν στενό φίλο, μπορούμε να υπολογίζουμε σε γενναιόδωρη ανταπόκρισή του. Οι παραδόσεις και οι παραστάσεις περιμένουμε ν' αρχίζουν πάνω-κάτω στην ώρα τους. Τα καλά εστιατόρια μπορούν και προβλέπουν χοντρικά πόσες μερίδες θα χρειαστούν για να εξυπηρετήσουν τους πελάτες τους ένα συγκεκριμένο βράδυ. Ο παίκτης που βάζει το καλάθι της νίκης στο τελευταίο δευτερόλεπτο του αγώνα σίγουρα αναμένει της επευφημίες των συμπαικτών και φιλάθλων. Ακόμη και η φυσιολογική επιθυμία των ανθρώπων να ανατρέπουν προβλέψεις σχετικές με τη συμπεριφορά τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς χάριν μιας επιτυχούς πρόβλεψης – όπως ακριβώς στις σφυγμομετρήσεις λαμβάνεται υπόψη η επιρροή της μόδας ή η γοητεία που ασκούν οι μειοψηφίες. Αν οι άνθρωποι ήταν εντελώς απρόβλεπτοι, η κοινωνική ζωή θα κατέρρεε ολοκληρωτικά.

Ο Τζον Στιούαρτ Μιλλ, ένας φιλόσοφος του δεκάτου ενάτου αιώνα απόλυτα πεπεισμένος ότι μπορεί να αναπτυχθεί μια επιστήμη της ανθρώπινης συμπεριφοράς κατά το πρότυπο των φυσικών επιστημών, επεδίωξε να αντιμετωπίσει τη δυσκολία της δημιουργίας αξιόπιστων προβλέψεων της ανθρώπινης συμπεριφοράς, παρακάμπτοντας κάθε άμεση αναφορά σε ερωτήματα σχετικά με την ύπαρξη ή μη της ελεύθερης βούλησης. Ο Μιλλ (1874) επισημαίνει ότι, ακόμα και στις φυσικές επιστήμες, οι ακριβείς προβλέψεις δεν είναι πάντοτε δυνατές. Διαχωρίζει τις «ακριβείς» επιστήμες –που έχουν τη δυνατότητα ακριβούς πρόβλεψης– από τις «μη ακριβείς», στις οποίες οι προβλέψεις είναι πολύ πιο αόριστες. Παράδειγμα ακριβούς επιστήμης είναι για τον Μιλλ η αστρονομία. Οι αστρονόμοι κάνουν αξιόπιστες προβλέψεις για τις θέσεις των πλανητών κατά τις διάφορες εποχές του έτους, για τις εκλείψεις του ήλιου και της σελήνης, ακόμη και για τις διαδρομές των κομητών.

Η παλιρροιολογία, αντίθετα, είναι πολύ λιγότερο ακριβής στις προβλέψεις της. Οι επιστήμονες από τον Νεύτωνα κι έπειτα έχουν καταλάβει ότι η σχέση μεταξύ παλιρροιών και φάσεων της σελήνης διέπεται από νόμους και ότι η επίδραση της κίνησης των ανέμων και της μορφής των ακτών και των ωκεάνιων βυθών επί των παλιρροιών ακολουθεί ορισμένες κανονικότητες. Αν και οι νόμοι που διέπουν τις κινήσεις των παλιρροιών είναι γνωστοί, οι ακριβείς προβλέψεις των παλιρροιακών κινήσεων δεν είναι πάντοτε δυνατές εξαιτίας των εναλλαγών των ανέμων και των ανωμαλιών των ακτών και των βυθών. Οι προβλέψεις για τις παλίρροιες δεν είναι μεν τόσο παρακινδυνευμένες όσο οι προβλέψεις για τον καιρό, επειδή όμως πολλές ελάσσονες αιτιακές δυνάμεις αλληλεπιδρούν και αλληλοενισχύονται, δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι για το τι ακριβώς πρόκειται να συμβεί. Ο Μιλλ προσθέτει πως η παλιρροιολογία μπορεί να κάνει ανακριβείς προβλέψεις κι ωστόσο κανείς να μην αρνείται πως είναι επιστήμη, επειδή δεν είναι τόσο ακριβής όσο η αστρονομία. Πιστεύει πως αν χρησιμοποιήσουμε τις μεθόδους των φυσικών επιστημών για ν' ανακαλύψουμε τις αιτίες της ανθρώπινης συμπεριφοράς, μπορούμε να αναπτύξουμε μια *επιστήμη* της ανθρώπινης συμπεριφοράς η οποία να είναι τουλάχιστον τόσο ακριβής όσο η παλιρροιολογία. Δέχεται επομένως ότι *η ακριβής* πρόβλεψη της ανθρώπινης συμπεριφοράς δεν είναι δυνατή, αλλά αρνείται ότι τούτο αποτελεί εμπόδιο για την ανάπτυξη μιας κοινωνικής επιστήμης.

Ο ισχυρισμός του Μιλλ ότι για την επιστήμη δεν απαιτούνται απόλυτα ακριβείς προβλέψεις, ενισχύεται και από την ομολογία των σύγχρονων επιστημόνων ότι η αστρονομία και η φυσική δεν είναι τόσο ακριβείς όσο πίστευε ο Μιλλ. Παραδόξως, η αύξηση της ακριβείας των οργάνων μέτρησης, λ.χ. για τη μέτρηση της ακριβούς θέσης των φυσικών σωμάτων, συνοδεύθηκε από τη μείωση της ικανότητάς μας να προβλέπουμε την ακριβή θέση των σωμάτων. Με καλύτερα όργανα μέτρησης οι επιστήμονες βλέπουν ότι ακόμη και στις επονομαζόμενες ακριβείς επιστήμες η σημαντική εξάρτηση από τις αρχικές συνθήκες υπονομεύει τη δυνατότητα ακριβούς πρόβλεψης (βλ. Κεφάλαιο 6).

Ο Μιλλ πιστεύει ότι οι ανθρώπινες πράξεις έχουν την αιτία τους στις σκέψεις (πεποιθήσεις και επιθυμίες) των δρώντων. Θεωρεί ότι, όπως ακριβώς και στον υπόλοιπο φυσικό κόσμο, η παρατήρηση και –μέχρις ενός σημείου– το πείραμα είναι ο τρόπος για να μάθουμε τις τυχόν κανονικότητες που συνδέουν σκέψεις και συμπεριφορά. Φυσικά, στα πειράματα δεν πρέπει να μεταχειριζόμαστε τους ανθρώπους σαν άψυχα όντα· επιβάλλονται κάποια όρια για λόγους ανθρωπιστικούς. Ωστόσο πειραματικά όρια υπάρχουν και στις φυσικές επιστήμες· η αστρονομία και η γεωλογία βασίζονται στην παρατήρηση, όχι στο πείραμα, και δεν παύουν να είναι «επιστημονικές».

Η άποψη του Μιλλ για τη μελέτη της ανθρώπινης συμπεριφοράς μπορεί να ονομαστεί φυσιοκρατική, γιατί θεωρεί τις ανθρώπινες σκέψεις και τα συναισθήματα, καθώς και τις πράξεις που αυτά προκαλούν, ως μέρος του φυσικού κόσμου. Πιστεύει ότι τα ειδικά προβλήματα που συναντάμε στη σχεδιαζόμενη επιστήμη του ανθρώπου προκύπτουν από την πολυπλοκότητα του αντικειμένου της και δεν σημαίνουν ότι η μελέτη των ανθρώπινων όντων πρέπει να είναι ουσιαστικά διαφορετική από τη μελέτη της βιολογίας, της χημείας και της φυσικής. Ο Μιλλ πιστεύει πως είναι δυνατό να εξαχθούν επιστημονικές γενικεύσεις που να καλύπτουν ατομικές και κοινωνικές μονάδες, και ότι αυτές οι γενικεύσεις παρέχουν τη δυνατότητα να εξηγηθεί ικανοποιητικά η ατομική και η κοινωνική συμπεριφορά και να προβλεφθεί με αρκετά μεγάλη ακρίβεια.

Ακολουθώντας τη φυσιοκρατική παράδοση του Μιλλ, ο σύγχρονος φιλόσοφος Κ. Χέμπελ (C.G. Hempel) υποστηρίζει ότι η εξήγηση και η πρόβλεψη στις κοινωνικές επιστήμες έχουν την ίδια *λογική* δομή με αυτή των φυσικών και βιολογικών επιστημών (βλ. Κεφάλαιο 1). Με άλλα λόγια, οι πράξεις των ανθρώπων πρέπει να εξηγούνται μέσω της υπαγωγής τους σε νόμους όπως τα άλλα φυσικά φαινόμενα και ένας από τους στόχους της κοινωνικής επιστήμης είναι η ανακάλυψη των κατάλληλων νόμων.

Πολλοί μελετητές της ανθρώπινης συμπεριφοράς συμφωνούν με την εκτίμηση του Μιλλ και του Χέμπελ για τη δυνατότητα ύπαρξης μιας επιστήμης του ανθρώπου. Ο διαπρεπής κοινωνιολόγος Τζωρτζ Χόμανς (George Homans), για παράδειγμα, ενώ παραδέχεται ότι τα αποτελέσματα της κοινωνικής επιστήμης δεν είναι τόσο εντυπωσιακά όσο αυτά της σύγχρονης φυσικής, λέει:

> Αυτό που κάνει την επιστήμη επιστήμη, είναι οι στόχοι της και όχι τα αποτελέσματά της. Αν στόχος της είναι να θεμελιώνει λίγο πολύ γενικές σχέσεις μεταξύ διαφόρων ιδιοτήτων της φύσης, όταν ο έλεγχος της αλήθειας μιας σχέσης έγκειται τελικά στα ίδια τα δεδομένα, και τα δεδομένα δεν είναι εντελώς κατασκευασμένα –όταν δηλαδή η φύση ενδέχεται ακόμη να πει «όχι» παρά την όποια παραποίησή της– τότε όντως είναι επιστήμη (1967, 4).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν συμφωνούν όλοι με αυτήν τη φυσιοκρατική

θέση. Οι απαντήσεις του Μιλλ σε όσους θεωρούσαν ότι είναι ένα πρόβλημα η έλλειψη προβλεψιμότητας στις κοινωνικές επιστήμες δεν έπεισαν όλους τους επικριτές του. Οι αμφιβολίες για τη συμβατότητα της ελεύθερης βούλησης και της επιστήμης του ανθρώπου παραμένουν, ενώ παρουσιάζονται νέα προβλήματα. Οι σύγχρονοι επικριτές της άποψης σύμφωνα με την οποία οι μελέτες της ανθρώπινης συμπεριφοράς είναι ή μπορούν να είναι επιστημονικές, διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη ομάδα, οι ονομαζόμενοι *ερμηνειοκράτες* (interpretivists), ισχυρίζονται ότι οι ερμηνείες της ανθρώπινης συμπεριφοράς έχουν εντελώς διαφορετική δομή από τις ερμηνείες της συμπεριφοράς των φυσικών αντικειμένων, μιας και η ανθρώπινη συμπεριφορά συνίσταται σε πράξεις που εκτελούνται για κάποιους *λόγους* και όχι σε συμβάντα που προκαλούνται από διάφορες *αιτίες*. Η δεύτερη ομάδα, που θα τους ονομάσουμε *νομολογικούς σκεπτικιστές*, δεν αρνούνται ότι η ανθρώπινη συμπεριφορά υπόκειται σε αιτιακούς νόμους, αλλά αμφιβάλλουν ότι θα είναι ποτέ δυνατό να βρεθούν νόμοι της ανθρώπινης συμπεριφοράς που η ισχύς τους και το πεδίο εφαρμογής τους να συγκρίνεται με εκείνο των νόμων της φυσικής επιστήμης. Η τρίτη ομάδα, οι θιασώτες της λεγόμενης *κριτικής θεωρίας* (critical theorists), πρεσβεύουν ότι είναι ανεπίτρεπτο να προσπαθούμε έστω να εξηγήσουμε την ανθρώπινη συμπεριφορά με όρους αιτίας και αποτελέσματος, γιατί κάτι τέτοιο υπονομεύει την αξία της ανθρώπινης αυτονομίας (της ελεύθερης βούλησης). Επιπλέον, θεωρούν ότι κάθε προσπάθεια να συγκροτηθεί μια κοινωνική επιστήμη κατά το πρότυπο των φυσικών επιστημών προωθεί μίαν αήθη χειραγώγηση των ανθρώπων και αποθαρρύνει κάθε προσπάθεια βελτίωσης των συνθηκών της κοινωνικής ζωής. Οι εναλλακτικές λύσεις στη φυσιοκρατία θα συζητηθούν στις επόμενες παραγράφους.

11.2 Η ΕΡΜΗΝΕΙΟΚΡΑΤΙΑ

Ο R. Κόλλινγουντ (R.G.Collingwood, 1946), φιλόσοφος της ιστορίας, εκθέτει μ' έναν πολύ πειστικό τρόπο την ερμηνευτική άποψη. Με τον όρο «ιστορία» αναφέρεται σε όλες τις επιστήμες (και μόνο σ' αυτές) που ενδιαφέρονται κατά κύριο λόγο για τις εκούσιες πράξεις των ανθρώπων – ιστορία, τμήματα της ανθρωπολογίας, κοινωνιολογία, πολιτική επιστήμη, ψυχολογία και οικονομικές επιστήμες. Ο Κόλλινγουντ αντιπαραθέτει την «ιστορία» ή την «ιστορική σκέψη» στη «φυσική επιστήμη», η οποία μελετά μόνο φυσικές όψεις του κόσμου.

Τα συμβάντα που μελετά η ιστορία, σε αντίθεση με αυτά που εξετάζουν οι φυσικές επιστήμες, λέει ο Κόλλινγουντ, έχουν μία «εσωτερική» πλευρά, που πρέπει να περιγραφεί βάσει των *σκέψεων* των δρώντων στους οποίους οφείλονται τα συμβάντα, όσο και μία «εξωτερική» πλευρά, ικανή να περιγραφεί με όρους σωμάτων ή κινήσεων των σωμάτων. Τα συμβάντα που μελετούν οι φυσικές επιστήμες έχουν μόνο την εξωτερική πλευρά.

Ο Κόλλινγουντ επιμένει πως μια επαρκής *περιγραφή* των εκούσιων ανθρώπι-

νων πράξεων απαιτεί μια θεώρηση των πεποιθήσεων και των επιθυμιών των ανθρώπων που δρουν. Αν δεν ξέρουμε τη σκέψη που συνοδεύει μια πράξη, είναι αδύνατο να πούμε τι είδους πράξη έγινε. Π.χ., από μια περιγραφή του «εξωτερικού» της πράξης κάποιου που κόβει έναν άλλο με μαχαίρι (από μια περιγραφή δηλαδή των σωμάτων και των κινήσεών τους) δεν μπορούμε να πούμε αν η πράξη είναι μία εγχείριση με θεραπευτικό στόχο ή μία απόπειρα φόνου. Επιπρόσθετες λεπτομέρειες σχετικά με το «εξωτερικό», όπως το περιβάλλον μέσα στο οποίο συνέβη η εν λόγω πράξη, παρέχουν ενδεχομένως ορισμένες ενδείξεις ως προς τις πεποιθήσεις και τις επιθυμίες του δράστη, αλλά αν δεν ξέρουμε την πρόθεσή του δεν μπορούμε να αποφανθούμε για το είδος της πράξης.

Σύμφωνα με τον Κόλλινγουντ, η σχέση μεταξύ προθέσεων (λόγων) και πράξεων είναι διαφορετική από τη σχέση μεταξύ αιτιών και αποτελεσμάτων στον φυσικό κόσμο. Οι αιτίες και τα αποτελέσματα είναι δύο διακριτά συμβάντα ή δύο διακριτές στιγμές μιας διαδικασίας. Είναι δύο εντελώς διαφορετικά πράγματα, και συνεπώς δεν σχετίζονται με λογικό τρόπο. Επιπλέον, στην περιγραφή ενός αποτελέσματος, η αιτία δεν εμφανίζεται ως μέρος του *νοήματός* του. Μπορούμε να καταλάβουμε, για παράδειγμα, ότι μια γέφυρα κατέρρευσε, ενώ αγνοούμε την αιτία της κατάρρευσής της. Αντίθετα, δεν μπορούμε να ξέρουμε ότι διαπράχθηκε φόνος αν δεν ξέρουμε ότι ο δράστης είχε εγκληματική πρόθεση, γιατί μια τέτοια πρόθεση είναι απαραίτητο δεδομένο για να ταξινομήσουμε την πράξη στην κατηγορία του φόνου και όχι της ανθρωποκτονίας εξ αμελείας ή του ατυχήματος. (Μπορούμε, βέβαια, να μη γνωρίζουμε ποιος ήταν ο δολοφόνος ή γιατί θέλησε να σκοτώσει, αλλά αυτά είναι διαφορετικά ζητήματα). Οι αιτίες στον φυσικό κόσμο θεωρούνται –τουλάχιστον από την εποχή του Χιουμ (βλέπε Κεφάλαιο 2)– συμβάντα διακριτά από τα αποτελέσματά τους. Δεν υπάρχει *λογική* συσχέτιση μεταξύ των συμβάντων που αναγνωρίζονται ως αίτια και των συμβάντων που αναγνωρίζονται ως αποτελέσματα αυτών των αιτίων. Ωστόσο, ο Κόλλινγουντ υποστηρίζει ότι η πρόθεση του προσώπου είναι λογικά αδιαχώριστη από το γεγονός ότι μία πράξη είναι το συγκεκριμένο είδος πράξης – μια πράξη δεν μπορεί να είναι φόνος χωρίς ανάλογη πρόθεση· αν αλλάξουμε την πρόθεση, η πράξη μπορεί να είναι ανθρωποκτονία εξ αμελείας ή ατύχημα και όχι φόνος. Σύμφωνα με τον Κόλλινγουντ, αφού η πρόθεση δίνει νόημα στην πράξη και καθορίζει το είδος της, η σχέση μεταξύ των προθέσεων (λόγων) και των πράξεων που εκφράζουν αυτές τις προθέσεις δεν μπορεί να είναι όμοια με την αιτιακή σχέση που ισχύει μεταξύ των συμβάντων που έχουν μόνο μίαν εξωτερική πλευρά.

Ο Πίτερ Γουίντς (Peter Winch, 1958), σύγχρονος βρετανός φιλόσοφος, συμφωνεί με τον Κόλλινγουντ ότι οι αιτιακοί νόμοι της φύσης δεν είναι κατάλληλοι για να εξηγήσουν την ανθρώπινη συμπεριφορά δεδομένου ότι οι λόγοι διαπλέκονται λογικά με τις πράξεις που πρέπει να εξηγήσουν. Ακολουθώντας τη ρήση του Χιουμ, ότι δεν υπάρχει λογική σχέση μεταξύ αιτίων και αποτελεσμάτων, ο Γουίντς θεωρεί ότι οι λόγοι δεν μπορούν να είναι οι αιτίες των πράξεων.

Ο Γουίντς, που ασπάζεται τις απόψεις του σημαντικού φιλοσόφου Βίτγκεν-

στάιν, τονίζει, όπως ο τελευταίος, τη σημασία των *κανόνων* στην κοινωνική συμπεριφορά. Η εκούσια συμπεριφορά γίνεται κατανοητή, λέει ο Γουίντς, μάλλον ως συμπεριφορά που ακολουθεί έναν κανόνα, παρά ως συμπεριφορά που έχει ως αιτία της κάποιους λόγους. Ο όρος «κανόνας», σ' αυτή τη συνάφεια, δεν αναφέρεται μόνο σε τυπικές ρυθμίσεις, όπως «οδηγείτε δεξιά», αλλά και σε άγραφους πολιτισμικούς ρυθμιστικούς κανόνες όπως είναι οι συμβάσεις που ορίζουν την κατάλληλη απόσταση μεταξύ των συνομιλητών σε μια συζήτηση πρόσωπο με πρόσωπο. Η έννοια του «κανόνα» έχει επίσης διευρυνθεί ώστε να καλύπτει πρακτικές και θεσμούς όπως η γλώσσα, το τραπεζικό σύστημα, η θρησκεία και τα πολιτεύματα. Ας θεωρήσουμε την πράξη της συμπλήρωσης μιας επιταγής για την πληρωμή λογαριασμών. Η συμπλήρωση μιας επιταγής δεν θα ήταν δυνατή χωρίς ένα τραπεζικό σύστημα που ρυθμίζεται από μια σειρά κανόνων οι οποίοι ορίζουν με ποιο τρόπο πρέπει να κατατίθενται, να αποταμιεύονται και να μεταφέρονται τα χρήματα. Ορισμένοι απ' αυτούς τους κανόνες είναι ρυθμίσεις, όπως ο κανόνας που απαιτεί να φέρουν οι επιταγές ημερομηνία, ενώ κάποιοι άλλοι ορίζουν το νόημα της ίδιας της τράπεζας. Χωρίς τους τελευταίους, καταστατικούς κανόνες, δεν θα υπήρχε ο θεσμός του τραπεζικού συστήματος και η αναγραφή ενός χρηματικού ποσού σ' ένα μικρό έντυπο, η καταγραφή ημερομηνίας και η υπογραφή του εντύπου δεν θα είχαν το νόημα που έχουν τώρα.

Ας εξετάσουμε επίσης έναν κοινωνικό θεσμό σύμφωνα με τον οποίον ορισμένα αντικείμενα είναι ιερά και ο οποίος απαιτεί μιαν ειδική συμπεριφορά απέναντί τους. Μόνο σ' αυτά τα πλαίσια μπορεί κάποιος να διαπράξει *ιεροσυλία*. Εδώ καταλαβαίνουμε ότι ο κανόνας (δηλαδή η πρακτική ή ο θεσμός που δίνει νόημα στην ιδέα ενός ιερού αντικειμένου) είναι αυτό που καθιστά μια πράξη ιερόσυλη – και όχι μόνον η πρόθεση του δρώντος. Οι ερμηνειοκράτες δέχονται ότι όταν γνωρίζω τους κανόνες μιας κοινωνίας και τους τρόπους εφαρμογής τους μπορώ συχνά να προβλέψω τις ανθρώπινες συμπεριφορές. Ωστόσο, επιμένουν ότι ο στόχος των μελετών της κοινωνικής συμπεριφοράς δεν είναι η αξιόπιστη πρόβλεψη και ότι, εφόσον η συμπεριφορά ρυθμίζεται από κανόνες, δεν υπόκειται σε αιτιακούς νόμους. Οι κανόνες, σύμφωνα με τους ερμηνειοκράτες, είναι πρότυπα ή υποδείγματα συμπεριφοράς. Νοηματοδοτούν τη συμπεριφορά, δεν είναι οι αιτίες τους. Στο κάτω κάτω είναι προφανές ότι οι άνθρωποι μπορούν να παραβούν ή να παραβλέψουν τους κανόνες των κοινωνιών τους· μπορούν να διαμορφώσουν και όντως διαμορφώνουν νέους θεσμούς, νέες συμβάσεις και ρυθμίσεις. Αντίθετα, οι αιτιακοί νόμοι που διέπουν την κίνηση των σωμάτων, όπως ο νόμος της βαρύτητας, δεν είναι δυνατό να μεταβληθούν, να ανασταλούν ή να τροποποιηθούν από ανθρώπινη παρέμβαση. Οι άνθρωποι ανακαλύπτουν και διατυπώνουν προτάσεις που περιγράφουν σχέσεις του φυσικού κόσμου, αλλά οι σχέσεις –που εκφράζονται στους φυσικούς νόμους– ισχύουν ανεξάρτητα από τον ανθρώπινο παράγοντα. Οι κανόνες, αντίθετα, προέρχονται από τους ανθρώπους και ισχύουν για τους ανθρώπους, οι οποίοι μπορούν να τους τηρήσουν, να τους αγνοήσουν ή να τους αλλάξουν.

Το ενδιαφέρον των ερμηνειοκρατών για τους κανόνες συμμερίζονται πολλοί κοινωνικοί επιστήμονες. Για παράδειγμα, ο γνωσιακός ανθρωπολόγος Γουόρντ Γκουντηνάφ (Ward Goodenough, 1957) ορίζει την κρίσιμη ανθρωπολογική έννοια του *πολιτισμού* με όρους κανόνων. Πολιτισμός, κατά τον Γκουντηνάφ, είναι οι μορφές οργάνωσης των πραγμάτων, των ανθρώπων, της συμπεριφοράς και των συναισθημάτων μέσα στο νου των ανθρώπων. Έργο του γνωσιακού ανθρωπολόγου είναι η αποκάλυψη αυτών των μορφών, δηλαδή των κανόνων, η οποία επιτυγχάνεται με την παρατήρηση της συμπεριφοράς των υποκειμένων και την καταγραφή της δικής τους άποψης για την οργάνωση των διαφόρων πτυχών του κόσμου τους. Η γνώση των κανόνων, αλλά *και* του τρόπου με τον οποίο εφαρμόζονται σε διάφορες περιστάσεις, είναι αυτό που παρέχει σ' έναν ανθρωπολόγο την κατανόηση ενός άλλου πολιτισμού.

Ο συμβολιστής ανθρωπολόγος Κλίφορντ Γκιρτς (Clifford Geertz, 1975), παρόλο που σε πολλά σημεία διαφωνεί με τη γνωσιακή προσέγγιση του Γκουντηνάφ στην ανθρωπολογία, αναγνωρίζει και αυτός την αξία της ερμηνειοκρατικής θέσης. Για την ακρίβεια επιμένει ότι έργο της ανθρωπολογίας δεν είναι να ανακαλύψει τους επικαλύπτοντες νόμους που θα μας επιτρέψουν να συγκροτήσουμε τις «επιστημονικές» εξηγήσεις που προτιμούν ο Μιλλ και ο Χέμπελ και να προβλέπουμε τη συμπεριφορά των ανθρώπων, αλλά μάλλον να *ερμηνεύσει* τη ροή του κοινωνικού λόγου (discourse).

Ερμηνεία, κατά τον Γκιρτς, είναι η αποτύπωση ή καταγραφή της ροής του κανονικού λόγου, η «παγίωσή» της, η οποία επιτρέπει την μετέπειτα ανακοίνωση και επανεξέτασή της. Ονομάζει αυτή την εργασία «εθνογραφία» ή «πυκνή περιγραφή». Ένα μείζον πρόβλημα της εθνογραφίας είναι ο τρόπος περιγραφής ή ταξινόμησης της εξεταζόμενης συμπεριφοράς. Για να κατατάξουμε σωστά μια συμπεριφορά, ο Γκιρτς (συμφωνώντας με τους γνωσιακούς ανθρωπολόγους), θεωρεί ότι δεν πρέπει να γνωρίζουμε μόνο τις προθέσεις του δρώντος, αλλά και τους κανόνες (κοινωνικές συμβάσεις, ρυθμιστικούς κανόνες και θεσμούς) της κοινωνίας στην οποία ανήκει, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο αυτοί εφαρμόζονται. Ο Γκιρτς διαφοροποιείται από τους γνωσιακούς ανθρωπολόγους ως προς την πεποίθησή του (που συμμερίζεται ο Γουίντς) ότι οι κανόνες που συνιστούν τον πολιτισμό είναι *δημόσιοι* και όχι κρυμμένοι στο νου των πρωταγωνιστών. Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι ο ανθρωπολόγος που μελετά μίαν ομάδα ανθρώπων γνωρίζει ότι ορισμένες συναντήσεις οργανώνονται σε περίεργες ώρες και με μεγάλη εχεμύθεια, και ότι σ' αυτές συζητούνται χαμηλόφωνα θέματα πολιτικού περιεχομένου. Ο ανθρωπολόγος θέλει να καταλάβει αν αυτές οι δραστηριότητες οφείλουν να χαρακτηρισθούν ως «ετοιμασίες μίας εξέγερσης» ή με πιο ήπιο τρόπο. Παρατηρώντας τη συμπεριφορά, συμπεριλαμβανομένης φυσικά και της γλωσσικής συμπεριφοράς, ο ανθρωπολόγος προσπαθεί να διακρίνει αν οι συναντήσεις είναι μυστικές απλώς επειδή θεωρείται αγένεια να επιλύονται τα πολιτικά θέματα δημοσίως ή για κάποιον άλλο λόγο. Όταν ο εθνογράφος, λέει ο Γκιρτς, μπορεί *να περιγράψει* μια κατάσταση ανάγοντάς την στους στόχους των

δρώντων και στα κοινωνικά πρότυπα, κάθε άλλη, νομοτελειακή εξήγηση, είναι περιττή, γιατί τότε, άπαξ και δώσαμε μια «πυκνή περιγραφή» της πράξης (ο Γκιρτς δανείζεται τον όρο από το φιλόσοφο Γκίλμπερτ Ράιλ (Gilbert Ryle)), είπαμε και *γιατί* έγινε, *άρα την εξηγήσαμε*. Οι πυκνές περιγραφές του Γκιρτς για την ανθρώπινη συμπεριφορά είναι προφανώς παρόμοιες με τις περιγραφές του Κόλλινγουντ, οι οποίες περιλαμβάνουν το εσωτερικό και το εξωτερικό της ανθρώπινης συμπεριφοράς.

Η ερμηνειοκρατεία του Γκιρτς διαφέρει ωστόσο απ' αυτήν του Γουίντς, εφ' όσον η βασική ένσταση του Γκιρτς κατά της νομοτελειακής εξήγησης στην ανθρωπολογία δεν είναι τόσο ότι η σχέση της πρόθεσης με την πράξη παύει να είναι λογική ή στερείται νοήματος όταν θεωρείται ως αιτιακή, αλλά μάλλον ότι οι αληθείς διατυπώσεις, που είναι αρκετά γενικές ώστε να προσφέρονται για νομοτελειακές ανθρωπολογικές εξηγήσεις, είναι είτε τετριμμένες, είτε απελπιστικά ασαφείς. Αυτή είναι και η ένσταση του νομολογικού σκεπτικιστή, που θα συζητηθεί αφού πρώτα εξετάσουμε μια κριτική της ερμηνειοκρατίας (Παράγραφος 11.3) και μια προσπάθεια συμβιβασμού της ερμηνειοκρατίας με τη φυσιοκρατική παράδοση (Παράγραφος 11. 4).

11.3 ΛΟΓΟΙ, ΠΡΑΞΕΙΣ ΚΑΙ ΑΙΤΙΕΣ

Η θέση των ερμηνειοκρατών ότι δεν υπάρχει αιτιακή σχέση μεταξύ λόγων και πράξεων επειδή συνδέονται λογικά, ανασκευάζεται στο έργο του Ντόναλντ Ντέιβιντσον (Donald Davidson, 1980). Ο Ντέιβιντσον επισημαίνει ότι οι αιτιακές σχέσεις ανάμεσα στα γεγονότα του κόσμου (όπως ανάμεσα στο σκούριασμα της υποδομής μιας γέφυρας και την κατάρρευση της γέφυρας) είναι περιγράψιμες με διάφορες προτάσεις: άλλες εκφράζουν λογικά αναγκαίες αλήθειες, άλλες πάλι ενδεχομενικές αλήθειες (αλήθειες που θα μπορούσαν να είναι διαφορετικές). Λ.χ. η πρόταση (1): «Η σκουριασμένη υποδομή υπήρξε η αιτία της κατάρρευσης της γέφυρας» δεν εκφράζει μια λογική αλήθεια, γιατί θα μπορούσε να είναι ψευδής. Η κατάρρευση θα μπορούσε αίφνης να έχει την αιτία της στην κακή ποιότητα του μπετόν, και όχι στη σκουριασμένη υποδομή. Αντίθετα η πρόταση (2): «Η αιτία της κατάρρευσης της γέφυρας υπήρξε η αιτία της κατάρρευσης της γέφυρας» είναι λογικά αληθής. Παρ' όλα αυτά, αν η πρώτη (ενδεχομενική) πρόταση τυχαίνει αληθής, τότε «η αιτία της κατάρρευσης της γέφυρας» και «η σκουριασμένη υποδομή» αναφέρονται στην ίδια κατάσταση πραγμάτων, οπότε οι προτάσεις (1) και (2) είναι δύο διαφορετικοί τρόποι περιγραφής της ίδιας κατάστασης. Η σχέση μεταξύ της αιτίας της κατάρρευσης της γέφυρας (σκουριασμένη υποδομή) και του συμβάντος της κατάρρευσης, μια σχέση που ανήκει στον εξωτερικό κόσμο, ισχύει όποιες και αν είναι οι προτάσεις που χρησιμοποιούνται για να την παραστήσουν. Η άποψη του Ντέιβιντσον είναι πως δύο *περιγραφές* της ίδιας κατάστασης μπορεί να διαφέρουν ως προς τον λογικό χαρακτήρα τους, αλ-

λά κάθε αιτιακή σχέση που υφίσταται στις δεδομένες περιστάσεις υπάρχει ανεξάρτητα από τις προτάσεις με τις οποίες τη χαρακτηρίζω. Το λάθος των ερμηνειοκρατών είναι ότι δεν διακρίνουν τις σχέσεις μεταξύ των περιγραφών των συμβάντων από τις σχέσεις που έχουν τα ίδια τα συμβάντα μεταξύ τους. Αν η ανάλυση του Ντέιβιντσον σχετικά με αυτό το λάθος γίνει δεκτή, διαπιστώνουμε ότι, μολονότι στις συνηθισμένες περιγραφές της ανθρώπινης συμπεριφοράς συνδέουμε τις προθέσεις του δρώντος με τις πράξεις του με λογικό μόνο τρόπο, αυτό δεν αποκλείει την ύπαρξη μιας γνήσιας αιτιακής σχέσης μεταξύ του λόγου της πράξης και της ίδιας της πράξης. Ακόμη κι αν δεν είμαστε σε θέση να προτείνουμε μια κατάλληλη περιγραφή του λόγου, το γεγονός ότι υπάρχει ένας λόγος μπορεί να συσχετιστεί αιτιακά με την πράξη που προκύπτει από αυτόν. Κατά τον Ντέιβιντσον πρέπει να υπάρχει μια τέτοια σχέση εάν αληθεύει ότι η πράξη έγινε για κάποιο λόγο (και δεν είναι αποτέλεσμα μιας αιτίας άλλου τύπου).

Ο Ντέιβιντσον υποστηρίζει όχι μόνο πως οι λόγοι είναι οι αιτίες των πράξεων, αλλά ότι υπάρχουν και *αιτιακοί νόμοι* που συνδέουν τους λόγους και τις πράξεις, διότι συμφωνεί με τον Χέμπελ στο ότι «αν το *A* προκαλεί το *B*, τότε πρέπει να υπάρχουν περιγραφές των *A* και *B* που να δείχνουν ότι το Α και το Β υπάγονται σε κάποιο νόμο» (1980, 262). Το πρόβλημα βέβαια είναι πως αυτός ο εμπειρικός νόμος μάς είναι σχεδόν, αν όχι εντελώς, άγνωστος. Ο Ντέιβιντσον πιστεύει ότι η άγνοιά μας οφείλεται στην ανικανότητά μας να περιγράψουμε τους λόγους με τους μη-ψυχολογικούς όρους που απαιτεί η διατύπωση αιτιακών νόμων. Επιπλέον, υποστηρίζει πως οι άγνωστοι νόμοι δεν μπορούν να είναι *ψυχοφυσικοί*, δηλαδή δεν μπορούν να διατυπώνονται με τη μορφή μιας κανονικής σχέσης μεταξύ μιας ψυχολογικής αιτίας (όπως είναι η πεποίθηση και η επιθυμία) και μιας πράξης.

Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, πως είναι αλήθεια ότι ο Ιάσων συμμετείχε σε έναν μαραθώνιο διότι ήθελε να αποδείξει την αξία του. Ο λόγος του (η επιθυμία να αποδείξει την αξία του) υπήρξε η αιτία για να τρέξει στον μαραθώνιο, αλλά προφανώς δεν υπάρχει γενικός νόμος του τύπου «Κάθε φορά που κάποιος επιθυμεί να αποδείξει την αξία του, συμμετέχει σε έναν μαραθώνιο». Δεν υπάρχει κανένας νόμος σύμφωνα με τον οποίο «κάθε φορά που ο Ιάσων επιθυμεί να αποδείξει την αξία του, συμμετέχει σε έναν μαραθώνιο». Όσο ατελής κι αν είναι η κατανόησή μας για τις σχέσεις μεταξύ λόγων και πράξεων, είναι αρκετή για να καταλάβουμε πως κανένας απ' αυτούς τους ισχυρισμούς δεν θα μπορούσε έστω να προταθεί ως νόμος της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Άλλωστε, ακόμη και όταν οι τέτοιου είδους γενικεύσεις υπάγονται σε μία σειρά όρων που περιορίζουν την ισχύ τους, τα αποτελέσματά τους συνεχίζουν να εγείρουν αυτονόητες αντιρρήσεις. Αυτοί, και μερικοί άλλοι, είναι οι λόγοι που οδηγούν τον Ντέιβιντσον στη θέση ότι οι γνήσιοι νόμοι που συνδέουν λόγους και πράξεις πρέπει να έχουν κάποια διαφορετική, μέχρι στιγμής άγνωστη, μορφή.

Αν και ο Ντέιβιντσον απορρίπτει μια βασική θέση της ερμηνειοκρατίας, δεν ταυτίζεται με τη φυσιοκρατική άποψη. Συμφωνεί με τον Γουίντς, ότι ο Μιλλ δεν

είχε δίκιο όταν αναζητούσε εξηγητικούς νόμους οι οποίοι να έχουν τη μορφή γενικεύσεων ικανών να συνδέσουν περιγραφές νοητικών συμβάντων με περιγραφές συμπεριφορών. Εκτός αυτού, μολονότι θεωρεί ότι τα επιχειρήματά του ενισχύουν τη θέση του Χέμπελ «ότι οι εξηγήσεις μέσω λόγων δεν διαφέρουν ως προς τον γενικό λογικό χαρακτήρα από την εξήγηση στη φυσική ή σε άλλες επιστήμες» (1980, 274), αφ' ενός η επιμονή του στον ιδιαίτερο χαρακτήρα των εξηγήσεων που βασίζονται σε «λόγους» και, αφ' ετέρου, τα επιχειρήματά του ενάντια στη δυνατότητα επικαλυπτόντων νόμων ικανών να συνδέουν περιγραφές ψυχολογικών καταστάσεων και περιγραφές συμπεριφορών, συνιστούν σημαντική απόκλιση από την παράδοση των Χέμπελ και Μιλλ.

11.4 Η ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΩΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ: ΜΙΑ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΣΥΜΒΙΒΑΣΜΟΥ ΕΡΜΗΝΕΙΟΚΡΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΚΡΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΨΗΣ

Η προσφυγή στους "λόγους" –πεποιθήσεις και επιθυμίες (αξίες)– που προτάσσει ο δρων προς εξήγηση των πράξεών του, είναι το σημείο όπου η θεωρία των φυσιοκρατικών εξηγήσεων της ανθρώπινης συμπεριφοράς έχει μια βάση σύμφωνη με τον κοινό νου. Οι εξηγήσεις που προέρχονται από τον κοινό νου, όμως, είναι συνήθως ατελείς, με την έννοια ότι δεν ανατρέχουν ρητά σε κάποιους νόμους. Ο Ντέιβιντσον, όπως είδαμε, τόνισε τη δυσκολία της ανακάλυψης επαρκών νόμων που να συνδέουν τους λόγους με τη συμπεριφορά. Εξετάζουμε τώρα μια προσέγγιση των φυσιοκρατικών εξηγήσεων της ανθρώπινης συμπεριφοράς σύμφωνα με την οποία το μόνο ζητούμενο είναι ένας νόμος που να αποδίδει στους δρώντες *ορθολογικότητα*.

Πολλοί σύγχρονοι κοινωνικοί επιστήμονες, κυρίως οικονομολόγοι, χαρακτηρίζουν ως *ορθολογικές* τις πράξεις που προκύπτουν από μια ιδιαίτερη ισορροπία μεταξύ των πεποιθήσεων και των αξιών του δρώντος. Κατ' αυτούς, ο ορισμός μιας ορθολογικής πράξης απαιτεί τους εξής όρους: ότι οι δρώντες ενεργούν ανεξάρτητα βάσει του δικού τους συνόλου πεποιθήσεων και επιθυμιών (αξιών), ότι είναι ικανοί να ιεραρχούν τις προτιμήσεις τους και ότι έχουν επαρκή μερική γνώση των δυνατών εκβάσεων των προβλεπόμενων πράξεων ώστε να μπορούν να εκτιμήσουν τις πιθανότητες (βλέπε Κεφάλαιο 2) των εκβάσεων αυτών. Υπ' αυτές τις συνθήκες, θεωρείται πως οι δρώντες ενεργούν *ορθολογικά* μόνον όταν επιλέγουν την πράξη που μεγιστοποιεί την *αναμενόμενη ωφέλεια* (επιθυμητότητα ή αξία).

Ας πάρουμε ως παράδειγμα έναν τελειόφοιτο λυκείου που διαπρέπει και στα μαθήματα και στον αθλητισμό και που πρέπει να διαλέξει μεταξύ δύο γενναιόδωρων υποτροφιών από δύο διαφορετικά πανεπιστήμια, ένα κρατικό και ένα ιδιωτικό. Ο υποψήφιος θέλει να παίζει βόλεϊ αλλά και να σπουδάσει. Υπολογί-

ζει ότι η πιθανότητα να συμμετέχει στην ομάδα του ιδιωτικού πανεπιστημίου είναι 0,75. Το ακαδημαϊκό πρόγραμμα αυτού του πανεπιστημίου, όμως, δεν είναι τόσο καλό όσο του κρατικού, κι έτσι το πτυχίο του δεύτερου έχει μεγαλύτερη αξία από το πτυχίο του ιδιωτικού πανεπιστημίου. Όποιο και να διαλέξει ο φοιτητής, είναι σίγουρος πως θα πάρει πτυχίο. Όμως η πιθανότητα να συμμετέχει στην ομάδα του κρατικού πανεπιστημίου είναι μόνο 0,50. Πάνω σε μία κλίμακα από το 1 μέχρι το 10, αξιολογεί με 10 την περίπτωση να παίζει βόλεϊ και να πάρει πτυχίο στο κρατικό πανεπιστήμιο, με 8 την περίπτωση να παίζει βόλεϊ και να πάρει πτυχίο στο ιδιωτικό πανεπιστήμιο, με 6 την περίπτωση να φοιτήσει στο κρατικό πανεπιστήμιο χωρίς να παίζει βόλεϊ και με 4 την περίπτωση να φοιτήσει στο ιδιωτικό πανεπιστήμιο χωρίς να παίζει βόλεϊ. Με ποιο τρόπο πρέπει ο φοιτητής να διαλέξει σε ποιο πανεπιστήμιο θα φοιτήσει;

Για κάθε πράξη υπάρχουν δύο δυνατές εκβάσεις: να πάρει πτυχίο και να παίζει βόλεϊ ή να πάρει πτυχίο χωρίς να ανήκει στην ομάδα. Σε κάθε μια απ' αυτές τις τέσσερις εκβάσεις απονέμεται μια πιθανότητα και μια αξία, όπως φαίνεται στον πίνακα 11.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.1

	Εκβάσεις	
Πράξεις	Πτυχίο + βόλλεϋ	Πτυχίο - βόλλεϋ
Κρατικό Πανεπιστήμιο	Πιθ. 0,50 Αξία 10	Πιθ. 0,50 Αξία 6
Ιδιωτικό Πανεπιστήμιο	Πιθ. 0,75 Αξία 8	Πιθ. 0,25 Αξία 4

Για να υπολογίσουμε την αναμενόμενη ωφέλεια μιας πράξης, πρέπει να πολλαπλασιάσουμε την πιθανότητα κάθε δυνατής έκβασής της με την αξία της και κατόπιν να αθροίσουμε τα γινόμενα. Έτσι, η αναμενόμενη ωφέλεια της φοίτησης στο κρατικό πανεπιστήμιο είναι (0,50x10)+(0,50x6)=8 και η αναμενόμενη ωφέλεια της φοίτησης στο ιδιωτικό είναι (0,75x8)+(0,25x4)=7. Σύμφωνα με τον κανόνα μεγιστοποίησης της αναμενόμενης ωφέλειας, ο ορθολογικά σκεπτόμενος φοιτητής διαλέγει το κρατικό πανεπιστήμιο. Μεγιστοποίηση της αναμενόμενης ωφέλειας σημαίνει, ακριβώς, επιλογή εκείνης της πράξης τής οποίας το άθροισμα δεν είναι μικρότερο από το άθροισμα οποιασδήποτε άλλης πράξης που μπορεί να επιλέξει ο δρων.

Η προαναφερθείσα θεωρία, η οποία καθορίζει την ορθολογικότητα ως μια ακολουθία θεωρητικών αποφάσεων, δεν διευκρινίζει ποιες πεποιθήσεις ή αξίες είναι λογικές για τους δρώντες ή με ποιο τρόπο απονέμονται οι αξίες ή οι πιθανότητες. Αν δύο τελειόφοιτοι λυκείου ισοβαθμήσουν στην κατάταξη των παικτών βόλεϊ του λυκείου για μια συγκεκριμένη θέση, όταν διαλέξουν μεταξύ κρατικού και ιδιωτικού πανεπιστημίου, ίσως απονείμουν διαφορετικές πιθανότητες στο ενδεχόμενο να ανήκουν στην ομάδα του κρατικού. Ένας αθλητής με μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση ίσως απονείμει στον εαυτό του μία πιθανότητα 0.95, ενώ κάποιος λιγότερο σίγουρος για τον εαυτό του θα έδινε 0.50 ή μία ακόμη μικρό-

τερη πιθανότητα. Κανένας απ' αυτούς τους δύο υπολογισμούς δεν θεωρείται μη ορθολογικός με βάση τη θεώρηση της ορθολογικότητας ως ακολουθίας θεωρητικών αποφάσεων. Είναι ακόμη πιο προφανές ότι μπορεί να διαφέρουν οι αξιολογήσεις τους. Ο ένας ίσως αξιολογήσει με 10 το ενδεχόμενο να παίζει βόλεϊ στο κρατικό πανεπιστήμιο, ενώ ο άλλος θα του απονείμει μικρότερη αξία. Επιπλέον, η άποψη ότι η ορθολογικότητα είναι μια ακολουθία θεωρητικών αποφάσεων δεν προϋποθέτει ότι οι δρώντες εκτελούν πραγματικά παρόμοιους υπολογισμούς. Το μόνο που προϋποθέτει το σχετικό κριτήριο περί ορθολογικότητας είναι ότι ο δρων επιλέγει τις πράξεις που μεγιστοποιούν την αναμενόμενη ωφέλεια, βάσει των δικών του πεποιθήσεων και αξιών, και δεν εξετάζει αν αυτές οι πεποιθήσεις και οι αξίες είναι αιτιολογημένες ή κατάλληλες.

Ο Ντέιβιντ Παπινώ (David Papineau, 1978) υιοθετεί αυτήν τη θεώρηση της ορθολογικότητας στην προσπάθειά του να συμφιλιώσει την ερμηνειοκρατική με τη φυσιοκρατική εξήγηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Σύμφωνα με τον Παπινώ, η νομοειδής γενίκευση που βρίσκεται πίσω από τις εξηγήσεις της ανθρώπινης συμπεριφοράς μέσω επικαλυπτόντων νόμων είναι ότι οι δρώντες εκτελούν πάντα τις πράξεις με τη μεγαλύτερη αναμενόμενη επιθυμητότητα [ωφέλεια] (1978, 88). Με άλλα λόγια, αν δύο μαθητές με αθλητική υποτροφία που έχουν να επιλέξουν μεταξύ κρατικού και ιδιωτικού πανεπιστημίου, διαλέγουν με διαφορετικό τρόπο, αυτό οφείλεται στη διαφορά των πεποιθήσεών τους (απονομές πιθανοτήτων στις διάφορες εκβάσεις) ή των επιθυμιών τους (απονομές αξιών στις διάφορες εκβάσεις) ή και των δύο. Οι περιγραφές αυτών των πεποιθήσεων και επιθυμιών αποτελούν μέρος της εξήγησης μιας πράξης. Ακολουθώντας το πρότυπο εξήγησης του Χέμπελ (βλέπε Κεφάλαιο 1), ο Παπινώ λέει ότι η δήλωση των πεποιθήσεων και των επιθυμιών του δρώντος ανήκει στο σύνολο των αρχικών συνθηκών. Μια περιγραφή της πράξης μπορεί να συναχθεί βάσει των τελευταίων σε συνδυασμό με το νόμο μεγιστοποίησης της αναμενόμενης επιθυμητότητας.

Δεχόμενος την ερμηνειοκρατική άποψη ότι οι κανόνες δεν είναι η *αιτία* της συμπεριφοράς, ο Παπινώ θεωρεί ότι οι κανόνες «επηρεάζουν» τις επιθυμίες και τις πεποιθήσεις των δρώντων. Χρησιμοποιώντας τον ασθενέστερο όρο «επιρροή» αντί του όρου «αιτία», αναγνωρίζει ότι οι πεποιθήσεις και οι επιθυμίες ενός ατόμου μπορεί να έρχονται σε σύγκρουση με τους κυρίαρχους πολιτισμικούς κανόνες. Είτε μία συγκεκριμένη πράξη ακολουθεί ένα πρότυπο, είτε το απορρίπτει, ο δρων το έχει συνήθως υπόψη του και αντιδρά στην παρουσία του. Ωστόσο, σύμφωνα με τον Παπινώ, μολονότι οι δηλώσεις των πεποιθήσεων και επιθυμιών του ατόμου ανήκουν στις αρχικές συνθήκες των εξηγήσεων, οι πληροφορίες που αναφέρονται στον τρόπο απόκτησης των ιδιαιτέρων πεποιθήσεων και επιθυμιών των δρώντων αποτελούν ένα συμπλήρωμα και όχι ένα μέρος των εξηγήσεων της συμπεριφοράς. Από τη στιγμή που οι πεποιθήσεις και οι αξίες αποδίδονται σ' έναν δρώντα –ανεξάρτητα από τον τρόπο με τον οποίο τις απέκτησε– η πράξη μπορεί να εξηγηθεί ως προκύπτουσα από τις ιδιαίτερες πεποι-

θήσεις και αξίες σε συνδυασμό με την αρχή της μεγιστοποίησης της αναμενόμενης επιθυμητότητας. Επομένως οι ρυθμιστικοί κανόνες δεν είναι οι αιτίες της συμπεριφοράς, αλλά «επηρεάζουν» τη διαμόρφωση των πεποιθήσεων και των επιθυμιών, οι οποίες είναι οι αιτίες της συμπεριφοράς.

Μια σοβαρή ένσταση στη θέση του Παπινώ για την εξήγηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς είναι η εμφανής έλλειψη εμπειρικού περιεχομένου του νόμου μεγιστοποίησης της ωφέλειας. Ο «νόμος» αυτός είναι προβληματικός, γιατί η παρατήρηση της συμπεριφοράς του δρώντος (συμπεριλαμβανομένης και της λεκτικής συμπεριφοράς) είναι ο μόνος τρόπος προσδιορισμού των πεποιθήσεων και επιθυμιών του. Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι κάποιος φίλος σας δέχεται με μεγάλο ενθουσιασμό την πρόσκληση σε μια γιορτή, αλλά τελικά δεν έρχεται. Μπορούμε να εξηγήσουμε την πράξη του θεωρώντας ότι ξέχασε να έρθει, ή ότι είχε κάποια άλλη υποχρέωση, ή ότι βρήκε κάτι καλύτερο να κάνει, ή ακόμη ότι η απάντησή του ήταν ανειλικρινής. Με άλλα λόγια, του αποδίδουμε ένα σύνολο πεποιθήσεων και αξιών, όταν βασιζόμαστε στο γεγονός ότι δεν ήρθε, διαφορετικό απ' αυτό που του αποδώσαμε όταν δέχτηκε την πρόσκληση. Για ν' αποδώσουμε πεποιθήσεις και επιθυμίες στους ανθρώπους, δεν μπορούμε να βασιστούμε παρά σε όσα λένε και πράττουν. Ο Παπινώ υπερασπίζεται το νόμο του με την εξής διευκρίνιση: η απόδοση στους δρώντες επιθυμιών και πεποιθήσεων που ξεφεύγουν από το κανονικό απαιτεί να είμαστε σε θέση να αναφέρουμε περιστάσεις οι οποίες θα μας οδηγήσουν σε ανεξάρτητα επαληθεύσιμους ισχυρισμούς. Για να υποστηρίξουμε την άποψη ότι «ξέχασε να έρθει», λ.χ., μπορούμε να αναφέρουμε παραδείγματα της γενικής του τάσης να ξεχνάει: «Ξεχνάει τόσο που δεν ήλθε ούτε στα δικά του γενέθλια». Παρ' όλα αυτά, φαίνεται πως, με λίγη ευρηματικότητα, μπορούμε πάντα να αποδώσουμε ένα «κατάλληλο» σύνολο πεποιθήσεων και επιθυμιών, ώστε οποιαδήποτε πράξη να θεωρηθεί λογική. Όσο παράξενη κι αν είναι μια πράξη, πάντα έχουμε τη δυνατότητα να πούμε: «Η ιδέα τού φάνηκε καλή εκείνη τη στιγμή». Μια τέτοια δυνατότητα αποδυναμώνει την αξίωση ότι η πρόταση «Οι δρώντες εκτελούν τις πράξεις που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη επιθυμητότητα» έχει εμπειρικό περιεχόμενο. Για να το πούμε με τα λόγια του Καρλ Πόππερ, ο υποτιθέμενος νόμος είναι «μη διαψεύσιμος» (βλέπε Κεφάλαιο 2). Εφόσον η φυσιοκρατική θέση, όπως την παρουσιάζουν ο Μιλλ και ο Χέμπελ και τη δέχεται ο Παπινώ, απαιτεί οι εξηγητικοί επικαλύπτοντες νόμοι να έχουν εμπειρικό περιεχόμενο (Κεφάλαιο 1), η προσπάθεια του Παπινώ να συμβιβάσει τις ερμηνειοκρατικές μελέτες με μια φυσιοκρατική θεώρηση των κοινωνικών επιστημών δεν είναι ικανοποιητική.

Αν προσπαθήσουμε να προσδώσουμε εμπειρικό περιεχόμενο στο νόμο που προτείνει ο Παπινώ, χωρίς να αποδίδουμε κάθε φορά στους δρώντες ένα σύνολο πεποιθήσεων και επιθυμιών το οποίο να καθιστά όλες τις πράξεις τους λογικές, εύκολα θα βρούμε παραδείγματα όπου τα πρόσωπα εκτελούν πράξεις που δεν μεγιστοποιούν την αναμενόμενη ωφέλεια. Κάποιος που θέλει να αγοράσει αυτοκίνητο, για παράδειγμα, και έχει προβεί σε εξονυχιστική έρευνα καταναλωτού,

συγκρίνοντας τα ποσοστά βλάβης και τις στατιστικές επιδόσεις, προτού επιλέξει μια μάρκα μπορεί να παραβλέψει όλα αυτά τα στοιχεία, επειδή άκουσε ότι ένα αυτοκίνητο της ίδιας μάρκας, που αγόρασε ο γνωστός ενός γνωστού του, του βγήκε «καβουρντιστήρι». Πρόσφατες μελέτες του Τβέρσκυ (Tversky) (Kahneman et al. 1982) και άλλων ψυχολόγων έχουν δείξει ότι τέτοιες πράξεις δεν προκύπτουν τυχαία, αλλά ακολουθούν συστηματικά σχήματα. Σε παραδείγματα όπως αυτό, η ένταση της συγκεκριμένης πληροφορίας μειώνει την ισχύ της στατιστικής γνώσης. Έτσι, προκειμένου να διαφυλάξουμε το εμπειρικό περιεχόμενο της αρχής ότι «οι δρώντες εκτελούν πάντα τις πράξεις με τη μεγαλύτερη αναμενόμενη επιθυμητότητα», υποχρεωνόμαστε, όπως φαίνεται, να θεωρήσουμε την ίδια την αρχή λανθασμένη. Εν πάση περιπτώσει, η εν λόγω αρχή δεν μας προσφέρει ένα νόμο ικανό να θεμελιώσει την επιστημονική εξήγηση.

11.5 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟΣ ΣΚΕΠΤΙΚΙΣΜΟΣ

Το ίδιο πρόβλημα, που ακυρώνει την ισχύ της αρχής σύμφωνα με την οποία «οι δρώντες ενεργούν πάντα έτσι ώστε να μεγιστοποιούν την αναμενόμενη ωφέλεια», τίθεται και σχετικά με πολλούς άλλους νόμους που έχουν προταθεί στις κοινωνικές επιστήμες, αλλού περισσότερο, αλλού λιγότερο. Οι προτεινόμενοι νόμοι φαίνεται είτε να στερούνται πραγματικού περιεχομένου, είτε να είναι εμφανώς λανθασμένοι. Η προφανής αδυναμία μας να βρούμε νόμους οι οποίοι να μην είναι τετριμμένοι, και όμως να είναι αρκετά γενικοί ώστε να εξηγούν την ανθρώπινη συμπεριφορά, αποθαρρύνει πολλούς κοινωνικούς επιστήμονες.

Η άρνηση της δυνατότητας μιας επιστημονικής (νομοτελειακής) εξήγησης στις κοινωνικές επιστήμες λόγω απουσίας μη τετριμμένων νόμων δεν ταυτίζεται με τη θέση των ερμηνειοκρατών ότι η σχέση μεταξύ λόγων και πράξεων είναι λογική και όχι αιτιακή. Ο ερμηνειοκράτης προβάλλει ένα λογικό πρόβλημα σχετικό με το νόημα των προτάσεων που συνδέουν λόγους και πράξεις, ενώ ο νομοθετικός σκεπτικιστής επικεντρώνεται στο πιο πραγματολογικό ζήτημα της ικανότητάς μας να ανάγουμε την ποικιλία και την πολυπλοκότητα της συμπεριφοράς σε νόμους που να μη στερούνται περιεχομένου και συνάμα να είναι ευρέως εφαρμόσιμοι. Στις φυσικές επιστήμες, η ανακάλυψη νόμων διευρύνει τη γνώση μας και μας επιτρέπει να διακρίνουμε σχέσεις που υπερβαίνουν κατά πολύ την κατανόηση των φαινομένων που προσφέρει ο κοινός νους. Στις κοινωνικές επιστήμες, αντίθετα, οι γενικεύσεις συχνά απλώς συνοψίζουν –και μάλιστα με φτωχότερη μορφή– ορισμένες γνώσεις που κατέχει ήδη ο κοινός νους. Πολλοί κοινωνικοί επιστήμονες, ακολουθώντας τον Μιλλ, συμφωνούν ότι η πολυπλοκότητα της ανθρώπινης συμπεριφοράς και ο μεγάλος αριθμός των λεπτών αιτιακών επιδράσεων στις οποίες υπάγεται καθιστούν τη διατύπωση των κατάλληλων νόμων πολύ πιο δύσκολη απ' ό,τι στις φυσικές επιστήμες. Παρ' όλα αυτά, ελπίζουν πως με το χρόνο θα σωρεύσουμε κάποτε ένα απόθεμα χρήσιμων νόμων, στους

οποίους θα μπορέσουν να στηριχθούν επιστημονικές εξηγήσεις της συμπεριφοράς. Για παράδειγμα ο Φίλιπ Κονβέρς (Philip Converse), του Ινστιτούτου Κοινωνικής Έρευνας του Πανεπιστημίου του Μίσιγκαν, λέει ότι η πολυπλοκότητα των δεδομένων είναι τέτοια ώστε «δεν θα τον εξέπληττε αν η κοινωνική επιστήμη χρειασθεί πεντακόσια χρόνια για να συναγωνισθεί τα επιτεύγματα των πρώτων πενήντα ετών της φυσικής» (1986, 48).

Ο φιλόσοφος Αλανσντάιρ Μακιντάιρ (Alansdair MacIntyre) δεν συμμερίζεται την αισιοδοξία του Κονβέρς. Ισχυρίζεται ότι το κύριο γνώρισμα των κοινωνικών επιστημών είναι «η απουσία οποιασδήποτε νομοειδούς γενίκευσης» (1984, 88). Ο Μακιντάιρ παραδέχεται πως οι κοινωνικοί επιστήμονες έχουν υποδείξει ορισμένες ενδιαφέρουσες γενικεύσεις που επικυρώνονται από επιμέρους περιπτώσεις. Ένα παράδειγμα που παραθέτει είναι η γενίκευση του Όσκαρ Νιούμαν (Oscar Newman) ότι «η εγκληματικότητα αυξάνεται στα πολυώροφα κτίρια ανάλογα με το ύψος τους μέχρι τον δέκατο τρίτο όροφο, ενώ πέραν του δεκάτου τρίτου ορόφου σταματά να αυξάνει» (ό.π., 90). Ωστόσο, ο Μακιντάιρ, θεωρεί πως όλες αυτές οι γενικεύσεις έχουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά, τα οποία τις διακρίνουν από τις νομοειδείς γενικεύσεις.

1. Συνυπάρχουν στους επιστημονικούς κλάδους τους με αναγνωρισμένα αντιπαραδείγματα·
2. Δεν διαθέτουν καθολικούς ποσοδείκτες ούτε και τελεστές εύρους (scope modifiers) (π.χ. οι συνθήκες ceteris paribus* που περιέχουν παραμένουν αόριστες)·
3. Δεν συνεπάγονται κανένα καλώς ορισμένο σύνολο *αντιγεγονικών* υποθετικών προτάσεων (counterfactual conditionals) (βλέπε MacIntyre 1984, 90-91.)

Για να απαντήσουμε στην πρώτη κριτική, μπορούμε να αναφερθούμε στο χαρακτηρισμό των κοινωνικών επιστημών από τον Μιλλ ως ανακριβών. Ο Μιλλ επικέντρωσε την προσοχή του στον ανακριβή χαρακτήρα των προβλέψεων στις κοινωνικές επιστήμες, ενώ εμείς σχολιάζουμε τη στατιστική ή πιθανοκρατική μορφή των νόμων στις κοινωνικές επιστήμες. Οι νόμοι της κοινωνικής επιστήμης μάς λένε τι συμβαίνει *συνήθως, τυπικά, ή σπάνια*, όχι αυτό που συμβαίνει πάντοτε, χωρίς εξαίρεση, ή δεν συμβαίνει ποτέ. Ο Μακιντάιρ δέχεται ότι οι γενικεύσεις στις κοινωνικές επιστήμες έχουν περισσότερο στατιστικό παρά καθολικό χαρακτήρα, αλλά θεωρεί ότι αυτό δεν εξηγεί την ανεπάρκειά τους. Υποστηρίζει ότι οι στατιστικοί νόμοι της κβαντικής φυσικής, για παράδειγμα (βλέπε Κεφάλαιο 6), εκφράζουν καθολικούς ισχυρισμούς που αφορούν *σύνολα* ατόμων και όχι μεμονωμένα άτομα και είναι διαψεύσιμοι όπως ακριβώς οι μη πιθανοκρατικοί νόμοι.

---

* Συνθήκες που ισχύουν όταν όλα τ' άλλα παραμένουν ως έχουν. [Σ.τ. Μ.]

Ωστόσο, ο Μακιντάιρ παρανοεί τη φύση των στατιστικών νόμων. Οι στατιστικοί νόμοι δεν είναι καθολικές γενικεύσεις που αναφέρονται σε σύνολα· αντίθετα, δηλώνουν κάποια πιθανότητα (μεγαλύτερη από μηδέν και μικρότερη από ένα) κατά την οποία ένα συμβάν ορισμένου τύπου συνοδεύεται ή προηγείται ενός συμβάντος άλλου τύπου. Ούτε οι στατιστικές γενικεύσεις επικυρώνονται ή απορρίπτονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που επικυρώνονται ή απορρίπτονται οι καθολικές γενικεύσεις. Ένας υπό εξέταση καθολικός νόμος μπορεί να ανατραπεί από ένα και μόνο γνήσιο αντιπαράδειγμα το οποίο δεν μπορεί να υπαχθεί στο νόμο με κατάλληλη αναθεώρηση των βοηθητικών υποθέσεων (βλέπε Κεφάλαιο 2). Αντίθετα, κάθε κατανομή σε ένα ορισμένο δείγμα είναι συμβατή με μια στατιστική γενίκευση. Για να δούμε ένα απλό παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι έχω μια τράπουλα, αλλά δεν είμαι βέβαιος αν είναι μια κανονική τράπουλα ή ένας αντικανονικός συνδυασμός τραπουλόχαρτων, και επομένως δεν γνωρίζω την κατανομή των κόκκινων και των μαύρων χαρτιών. Υποθέτω ότι τα μισά χαρτιά είναι κόκκινα. Στο πρώτο δείγμα δέκα χαρτιών, εννέα είναι κόκκινα και ένα μαύρο. Γνωρίζουμε ότι ένα δείγμα αυτού του τύπου δεν εμφανίζεται πολύ συχνά αν όντως τα μισά χαρτιά της τράπουλας είναι κόκκινα, αλλά δεν είναι αδύνατο· επομένως, η υπερίσχυση των κόκκινων χαρτιών στο δείγμα δεν μπορεί από μόνη της να διαψεύσει την υπόθεση ότι τα μισά χαρτιά της τράπουλας είναι κόκκινα. Αν, αντίθετα, εξετάζουμε την καθολική υπόθεση: «Όλα τα χαρτιά της τράπουλας είναι κόκκινα», η εμφάνιση ενός και μόνο μαύρου χαρτιού διαψεύδει την υπόθεση.

Ο Μακιντάιρ έχει δίκιο όταν θεωρεί ότι οι στατιστικοί νόμοι της φυσικής είναι πιο εντυπωσιακοί από των κοινωνικών επιστημών, αλλά αυτό οφείλεται στο ότι οι σχετικές φυσικές θεωρίες έχουν ελεγχθεί και στηριχθεί σε πολύ πιο επεξεργασμένα και αδιαμφισβήτητα τεκμήρια απ' ό,τι οποιαδήποτε θεωρία των κοινωνικών επιστημών. Το ερώτημα, ωστόσο, δεν είναι αν οι θεωρίες των κοινωνικών επιστημών είναι τόσο προχωρημένες όσο της φυσικής – προφανώς δεν είναι. Το ερώτημα είναι αν μπορούν να υπάρξουν νόμοι της κοινωνικής επιστήμης. Αν αποδειχθεί ότι οι μόνοι δυνατοί νόμοι για την κοινωνική επιστήμη είναι οι στατιστικοί, αυτό δεν θα αποτελεί σοβαρή ατέλεια. Οι νόμοι είναι ένα απαραίτητο μέρος της επιστήμης, αλλά οι γνήσιοι επιστημονικοί νόμοι ενδέχεται να είναι στατιστικοί ή καθολικοί.

Ο ισχυρισμός ότι οι γενικεύσεις στις κοινωνικές επιστήμες διαφέρουν από αυτές των φυσικών επιστημών επειδή ο χαρακτηρισμός του ζητούμενου πεδίου εφαρμογής των γενικεύσεων στις κοινωνικές επιστήμες παραμένει ασαφής, έτυχε μεγάλης προσοχής από φιλοσόφους που ενδιαφέρονται να επισημάνουν τις διαφορές μεταξύ των κοινωνικών και των φυσικών επιστημών (Βλέπε Scriven 1959b). Στις φυσικές επιστήμες, ενδέχεται να απαριθμηθούν λεπτομερώς οι ακριβείς συνθήκες υπό τις οποίες θεωρούμε ότι εφαρμόζεται ένας νόμος. Οι ιδανικοί νόμοι των αερίων, για παράδειγμα, εφαρμόζονται μόνο υπό συνθήκες μέτριας θερμοκρασίας και πίεσης, και αυτά τα όρια μπορούν να προσδιορισθούν επακριβώς, ενώ οι προτεινόμενοι νόμοι στις κοινωνικές επιστήμες συνήθως

προσδιορίζονται με κάποιον ασαφή ισχυρισμό όπως «υπό κανονικές συνθήκες» ή «όταν όλα τ' άλλα παραμένουν ως έχουν».

Ο Μακιντάιρ λέει ότι τέτοιου είδους προσδιορισμοί είναι απαραίτητοι στις κοινωνικές επιστήμες διότι οι ανθρώπινες υποθέσεις παρουσιάζουν μη εξαλείψιμες πηγές μη προβλεψιμότητας. Ο Χέμπελ επεσήμανε πρόσφατα ότι υπάρχει μεγάλη ανάγκη για παρόμοιους τελεστές εύρους στις φυσικές επιστήμες Έτσι, εξετάζοντας τη θεωρία του μαγνητισμού, ο Χέμπελ (1988) σημειώνει ότι οι νόμοι της δεν υπολογίζουν την (ασφαλώς υπαρκτή) δυνατότητα οι αρχικές συνθήκες να περιέχουν δυνατά ρεύματα αέρος ή ισχυρά μαγνητικά πεδία τέτοιας κατεύθυνσης που να εμποδίζουν δύο ράβδους μαγνήτη, αναρτημένες από λεπτά νήματα, σε μικρή απόσταση και στο ίδιο επίπεδο, να διαταχθούν σε ευθεία γραμμή, όπως προβλέπει η θεωρία. Όμως, προσθέτει, τέτοιες ρήτρες ceteris paribus περιέχονται ήδη άρρητα στη θεωρία. Δεν θα ήταν άλλωστε εφικτό να προβλεφθούν όλες οι περιστάσεις που ενδέχεται να διαταράξουν την εφαρμογή ενός φυσικού νόμου.

Συνθήκες ceteris paribus επικαλείται κανείς όταν δεν ξέρει υπό ποιες συνθήκες εφαρμόζεται ένας νόμος. Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι νόμοι μπορεί να διατυπώνονται δοκιμαστικά, ενώ η έρευνα συνεχίζεται για να ορισθεί λεπτομερέστερα το πεδίο εφαρμογής τους. Τέτοιου είδους βελτιώσεις εμφανίζονται τόσο στις φυσικές όσο και στις κοινωνικές επιστήμες. Οι κριτικοί των κοινωνικών επιστημών που θεωρούν ανέφικτη σ' αυτόν τον τομέα την ανεύρεση νόμων συγκρίσιμων με τους νόμους των φυσικών επιστημών έχουν συχνά μιαν εσφαλμένη αντίληψη του βαθμού ακριβείας των φυσικών επιστημών. Το έργο του Χέμπελ υποδεικνύει ότι η απουσία τελεστών εύρους δεν είναι η κύρια διάκριση μεταξύ των φυσικών και των κοινωνικών επιστημών, αν και στις φυσικές επιστήμες σπάνια ορίζονται οι ρήτρες ceteris paribus.

Η κριτική του Μακιντάιρ ότι οι γενικεύσεις στις κοινωνικές επιστήμες δεν δέχονται αντιγεγονικές υποθετικές προτάσεις θέτει το πολύπλοκο και ανεπίλυτο ζήτημα της διάκρισης των γνήσιων νόμων και των συμπτωματικά αληθών γενικεύσεων, όπως ο αληθής ισχυρισμός: «Καμιά χρυσή σφαίρα δεν ζυγίζει πάνω από 2500 κιλά». Μια διαφορά που έχει επισημανθεί είναι ότι οι γνήσιοι επιστημονικοί νόμοι δέχονται αντιγεγονικές υποθετικές προτάσεις (Βλέπε Κεφάλαιο 1). Αυτό σημαίνει ότι ένας γνήσιος νόμος (είτε είναι στατιστικός, είτε καθολικός) απαιτείται να περιγράφει όχι μόνο ό,τι συμβαίνει στην ενεργό πραγματικότητα, αλλά και ό,τι θα συνέβαινε υπό ορισμένες συνθήκες που δεν ισχύουν στην πραγματικότητα. Για παράδειγμα, μπορούμε να επικαλεσθούμε το νόμο της βαρύτητας για να πούμε τι *θα* συνέβαινε *αν* μια γραφομηχανή έπεφτε από την κορυφή ενός δεκαώροφου κτιρίου στο κέντρο της Νέας Υόρκης. Μόνον όταν οι γενικεύσεις δέχονται αντιγεγονικές υποθετικές προτάσεις, μπορούμε να τις χρησιμοποιούμε με σιγουριά στην επιστημονική εξήγηση και πρόβλεψη. Δυστυχώς, όμως, δεν διαθέτουμε μια ικανοποιητική περιγραφή της φύσης των αντιγεγονικών υποθετικών προτάσεων ανεξάρτητη από τον τρόπο με τον οποίο κατανοού-

με τους νόμους. Έτσι, η αντίρρηση του Μακιντάιρ ότι οι γενικεύσεις στις κοινωνικές επιστήμες δεν υπόκεινται σε αντιγεγονικές υποθετικές προτάσεις δεν είναι παρά μία άλλη διατύπωση της αντίρρησης σύμφωνα με την οποία δεν είναι γνήσιοι επιστημονικοί νόμοι.

Πόσο δικαιολογημένος είναι ο νομοθετικός σκεπτικισμός; Συζητήσαμε ήδη τη δυσκολία εξεύρεσης αιτιοκρατικών νόμων που συνδέουν τους λόγους με τις πράξεις. Ωστόσο, οι κοινωνικοί επιστήμονες ενδιαφέρονται και για νόμους που δεν αναφέρονται σε πεποιθήσεις ή επιθυμίες των ατόμων. Ας εξετάσουμε, για παράδειγμα, τους νόμους που πρότεινε ο ανθρωπολόγος Τζωρτζ Μέρντοκ (G. P. Murdock, 1949). Επεδίωξε να συσχετίσει διάφορα συστήματα συγγένειας σε διαφορετικές κοινωνίες με άλλα χαρακτηριστικά αυτών των κοινωνιών, όπως οι μορφές γάμου, τα πρότυπα εγγάμου διαμονής, οι κανόνες μεταβίβασης της περιουσίας, και οι μορφές οικογένειας. Οι γενικεύσεις του Μέρντοκ δεν είναι υποψήφιοι αιτιοκρατικοί νόμοι, εφόσον δεν προσπαθούν να αποδώσουν χρονική προτεραιότητα ούτε στα συστήματα συγγένειας ούτε στα άλλα συναφή χαρακτηριστικά, και δεν επικαλούνται την ύπαρξη ορισμένων μηχανισμών που να εξηγούν τις κανονικότητες. Επιπλέον, οι γενικεύσεις που προτείνει ο Μέρντοκ δεν είναι κανόνες ή ρυθμιστικοί κανόνες. Αν και οι προτεινόμενοι νόμοι διαπιστώνουν ότι ορισμένοι κανόνες της κοινωνίας συνδέονται κανονικά με άλλους κανόνες (όπως ο κανόνας του γάμου με τον κανόνα της μεταβίβασης), οι ίδιοι δεν έχουν τη μορφή ρυθμιστικών κανόνων. Μη αιτιοκρατικές γενικεύσεις, όπως αυτές του Μέρντοκ, ονομάζονται ενίοτε *δομικές* γενικεύσεις. Στις φυσικές επιστήμες, η πρόταση «ο χαλκός είναι αγωγός του ηλεκτρισμού» είναι ένα παράδειγμα δομικού νόμου. Άλλα παραδείγματα προτεινόμενων δομικών νόμων στην κοινωνική επιστήμη είναι ο νόμος του «εξελικτικού δυναμικού»: όσο πιο εξειδικευμένο είναι το σύστημα, τόσο λιγότερο πιθανή είναι η εξέλιξη προς το επόμενο στάδιο (Sahlins and Service 1960), και ο νόμος της «πολιτισμικής ανάμειξης»: όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ δύο ομάδων στο χρόνο και στο χώρο, τόσο λιγότερο πιθανή είναι η πολιτισμική τους ανάμειξη (Sanders and Price 1968). Οι δομικές γενικεύσεις θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην ανακάλυψη αιτιοκρατικών νόμων εφόσον θα αναζητήσουμε τους μηχανισμούς που προϋποθέτουν (λ.χ., τι είναι αυτό που καθιστά τον χαλκό αγωγό;).

Οι περιγραφές τεκμηριωμένων κοινωνικών κανονικοτήτων είναι μερικές φορές τόσο αινιγματικές ή απροσδόκητες ώστε δεν εξηγούν κάτι, αλλά μάλλον χρειάζονται εξήγηση οι ίδιες. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν η γενίκευση του Νιούμαν σχετικά με την εγκληματικότητα στα πολυώροφα κτίρια, όπως επίσης εκείνες οι τεκμηριωμένες γενικεύσεις που συνδυάζουν το γεγονός ότι κάποιος είναι το πρωτότοκο παιδί ή ο πρωτότοκος γιος με την εμφάνιση αυξημένης νοημοσύνης και την επιτυχία. Τέτοιου είδους συσχετίσεις, ειδικά όταν τεκμηριώνονται διαπολιτισμικά, ωθούν τους κοινωνικούς επιστήμονες να αναζητήσουν βαθύτερες κανονικότητες για να τις εξηγήσουν (Converse 1986). Οι βαθύτερες κανονικότητες, αν ανακαλυφθούν, ενδέχεται να είναι αιτιοκρατικοί νόμοι.

Ας θεωρήσουμε τη γενίκευση του Νιούμαν που συνδέει την εγκληματικότητα με τα πολυώροφα κτίρια. Θα θέλαμε να μάθουμε αν αυτός ο συσχετισμός ισχύει υπό άλλες συνθήκες. Είναι μια απλή σύμπτωση ή δέχεται αντιγεγονικές υποθετικές προτάσεις; Μπορούμε, άραγε, να διατυπώσουμε μία ενδιαφέρουσα και ελέγξιμη υπόθεση για το λόγο ύπαρξης αυτού του συσχετισμού; Ποιο είδος αιτιοκρατικών μηχανισμών ενδέχεται να επιδρά; Οι ενδιαφέροντες συσχετισμοί δίνουν έναυσμα για την πρόσκτηση νέων δεδομένων και τη διατύπωση νέων υποθέσεων. Τελικά, η διαδικασία αυτή θα μπορούσε να οδηγήσει στη διατύπωση νόμων πολύ διαφορετικών ως προς τη μορφή τους –όχι μόνο όσον αφορά την εξειδίκευση των τελεστών εύρους – από εκείνη της αρχικής γενίκευσης.

Οι θεωρητικοί των κοινωνικών επιστημών είναι συχνά σκεπτικοί όσον αφορά τους νόμους που συνδέουν τους λόγους και τις πράξεις, όμως οι νόμοι της ανθρώπινης συμπεριφοράς δεν χρειάζεται να πάρουν αυτήν τη μορφή. Ο Μιλλ, ο οποίος αντιπροσωπεύει την ατομικιστική αντιμετώπιση των αιτιών της ανθρώπινης συμπεριφοράς, θεωρούσε ότι οι έσχατες εξηγητικές αρχές είναι νόμοι της ανθρώπινης σκέψης. Ο Εμίλ Ντυρκέμ (Emile Durkheim, [1897] 1951), ένας ολιστής που θεωρείται από πολλούς ο θεμελιωτής της σύγχρονης κοινωνιολογίας, υποστήριζε ενάντια στους ατομικιστές ότι η εξήγηση των *κοινωνικών γεγονότων* (όπως τα ποσοστά αυτοκτονίας σε μια συγκεκριμένη κοινωνία) πρέπει να αναφέρει *κοινωνικές αιτίες*. Ο Ντυρκέμ δεν αρνείται ότι τα άτομα αυτοκτονούν για συγκεκριμένους και πολύ προσωπικούς λόγους, αλλά κρίνει ότι αυτοί οι λόγοι δεν προσφέρουν μία επαρκή εξήγηση. Σύμφωνα με τα αρχεία αυτοκτονιών που μελέτησε ο Ντυρκέμ, οι προσωπικοί λόγοι που αναφέρονταν ήσαν όμοιοι στις ρωμαιοκαθολικές και τις διαμαρτυρόμενες χώρες. Ωστόσο, στις διαμαρτυρόμενες χώρες ο αριθμός ατόμων που είχαν αυτοκτονήσει για αυτούς τους λόγους ήταν αναλογικά μεγαλύτερος. Ο Ντυρκέμ θεώρησε συνεπώς ότι η διαφορά στα *ποσοστά* αυτοκτονιών δεν εξηγείται πλήρως από τους προσωπικούς λόγους. Εξέτασε διάφορους δυνατούς αιτιοκρατικούς παράγοντες, όπως τις επιδράσεις του κλίματος και των εποχών, και συμπέρανε ότι κανείς από αυτούς δεν μπορούσε να εξηγήσει τη διαφορά των ποσοστών.

Βασιζόμενος στις έρευνές του, ο Ντυρκέμ θεώρησε ότι η αιτία της παρατηρούμενης διαφοράς μεταξύ των ποσοστών αυτοκτονιών είναι ορισμένα *κοινωνικά γεγονότα*. Ισχυρίζεται ότι το μικρότερο ποσοστό αυτοκτονιών στους ρωμαιοκαθολικούς μπορεί ίσως να εξηγηθεί από τον μεγαλύτερο βαθμό κοινωνικής ενσωμάτωσής τους. Ο βαθμός κοινωνικής ενσωμάτωσης ήταν για τον Ντυρκέμ ένα παράδειγμα στοιχειώδους κοινωνικού γεγονότος, δηλαδή ενός γεγονότος που ανήκει στην ανθρώπινη συμπεριφορά και δεν εξηγείται πλήρως μέσω των ατομικών πεποιθήσεων και επιθυμιών. Ο Ντυρκέμ θεωρούσε ότι τα κοινωνικά γεγονότα είναι αιτιακές δυνάμεις, και ότι είναι σκόπιμο, και μάλιστα αναγκαίο, να επικαλούμαστε παρόμοιες δυνάμεις όταν διατυπώνουμε αιτιοκρατικές εξηγήσεις για τα κοινωνικά φαινόμενα.

Ο ολισμός (ή κολεκτιβισμός) του Ντυρκέμ –η άποψη ότι υπάρχουν κοινωνι-

κά γεγονότα που δεν εξηγούνται πλήρως από γεγονότα που αφορούν τα ατομικά μέλη της κοινωνίας ή τις υπάρχουσες σχέσεις των ατόμων– έχει πολλούς οπαδούς μεταξύ των κοινωνικών επιστημόνων, όπως και η αντίθετη θέση του ατομικισμού. Παρόλο που δεν εξετάζουμε σ' αυτό το κεφάλαιο[1] τα επιχειρήματα υπέρ και κατά των διαφόρων εκδοχών του κολεκτιβισμού και του ατομικισμού, είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι ο ολισμός του Ντυρκέμ δεν αποκλείει τη συμφωνία με τον Μιλλ όσον αφορά τη δυνατότητα μιας κοινωνικής επιστήμης. Ο Ντυρκέμ δέχεται τους στόχους και τις μεθόδους της επιστήμης – και προτρέπει τους μελετητές της ανθρώπινης συμπεριφοράς να τους υιοθετήσουν. Μολονότι ο Ντυρκέμ πιστεύει ότι τα έσχατα αίτια της ανθρώπινης συμπεριφοράς είναι κοινωνικοί κανόνες και άλλα κοινωνικά γεγονότα, και όχι οι ατομικιστικοί «Νόμοι της Σκέψης» του Μιλλ, και οι δύο θεωρούν ότι η συμπεριφορά διέπεται από αιτίες. Ο Ντυρκέμ θεωρεί ότι πολλές φαινομενικά εκούσιες πράξεις υπαγορεύονται από κοινωνικές πιέσεις των οποίων δεν έχουμε επίγνωση. Δεν αρνείται ότι οι άνθρωποι μπορούν να αψηφήσουν τους κανόνες της κοινωνίας, αλλά επιμένει ότι τούτο συνοδεύεται πάντοτε από ένα κοινωνικό κόστος, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ των προσωπικών συναισθημάτων ενοχής και της ελαφράς ή αυστηρής επίκρισης των άλλων. Επομένως, είτε συμμορφωνόμαστε προς τους κανόνες της κοινωνίας είτε όχι, η επιρροή της είναι αναπόφευκτη.

11.6 Η ΚΡΙΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

Ξεκινήσαμε αυτό το κεφάλαιο διατυπώνοντας αμφιβολίες για τη δυνατότητα επιστημονικής μελέτης των όντων με ελεύθερη βούληση. Στη συνέχεια, ωστόσο, παραμερίσαμε αυτό το ζήτημα, μιας και ο πρώτος φυσιοκράτης που εξετάσαμε, ο Μιλλ, ανήγαγε το θέμα σε ζήτημα προβλεψιμότητας, και πίστευε ότι η ανθρώπινη συμπεριφορά, μολονότι δεν είναι προβλέψιμη με πλήρη ακρίβεια, είναι αρκετά προβλέψιμη ώστε να επιτρέπει την ανάπτυξη μιας μη ακριβούς επιστήμης. Ο Μιλλ δεν αρνιόταν ότι οι άνθρωποι έχουν ελεύθερη βούληση. Πίστευε ότι οι άνθρωποι δρουν ελεύθερα όταν δρουν χωρίς εξαναγκασμό, δηλαδή όταν οι πράξεις έχουν ως αιτία τις δικές τους πεποιθήσεις και επιθυμίες αντί να περιορίζονται από άλλες δυνάμεις. Αυτή η θέση, που ονομάζεται «συμβατοκρατία» (compatibilism, βλέπε Κεφάλαιο 6), προσπαθεί να συμφιλιώσει τη θέση ότι οι ανθρώπινες πράξεις μπορεί να έχουν αιτίες με τη θέση ότι είναι ελεύθερες. Είναι ένας συμβιβασμός που γοητεύει πολλούς φιλοσόφους και κοινωνικούς επιστήμονες.

---

[1] Τα κοινωνικά γεγονότα εξετάζονται στο κεφάλαιο 4. Το κύριο ερώτημα είναι αν τα κοινωνικά γεγονότα μπορούν πάντα να ανάγονται σε γεγονότα που αφορούν τα άτομα της κοινωνίας. Βλέπε στο κεφάλαιο 8 την εξέταση του αναγωγισμού. Μια λεπτομερέστερη εξέταση των κοινωνικών γεγονότων και η σχετική βιβλιογραφία βρίσκονται στον Papineau, 1978, κεφάλαιο 1.

Ωστόσο, η συμβατοκρατία δεν έρχεται πραγματικά αντιμέτωπη με το πρόβλημα των αιτιών των ίδιων των πεποιθήσεων και των επιθυμιών. Σε μια συμβατοκρατική θεώρηση, για παράδειγμα, ακόμη και όταν οι πεποιθήσεις και επιθυμίες ενός δρώντος έχουν πλήρως διαμορφωθεί από κοινωνικές δυνάμεις (έχουν την *αιτία* τους στις τελευταίες), οι πράξεις που προέρχονται από αυτές τις πεποιθήσεις και επιθυμίες θεωρούνται ελεύθερες. Όμως μια τέτοια κατάσταση δεν προσφέρει ένα ικανοποιητικό πλαίσιο μέσα στο οποίο μπορεί να γίνεται λόγος για ανθρώπινη ελευθερία.

Η «ελευθερία» εξηγείται ενίοτε ως μία δικανικού τύπου έννοια. Αυτό σημαίνει ότι οι πράξεις του δρώντος χαρακτηρίζονται ελεύθερες εφόσον ο δρων είναι δυνατόν να θεωρηθεί ηθικά, νομικά ή κοινωνικά υπεύθυνος γι' αυτές τις πράξεις. Σύμφωνα με μια τέτοια ανάλυση της «ελευθερίας», κάποιος που υπέστη πλύση εγκεφάλου ώστε να υποστηρίζει ορισμένες πεποιθήσεις θα μπορούσε να μη θεωρείται υπεύθυνος για πράξεις που προέρχονται απ' αυτές τις πεποιθήσεις, παρόλο που αυτό θα εξαρτηθεί από το πόσο αποτελεσματική θα κριθεί η πλύση εγκεφάλου. Όταν αποδοκιμάζουμε και επιδοκιμάζουμε ανθρώπινες πράξεις, συνδέουμε βέβαια στενά την ελευθερία και την ευθύνη. Αν ξέρω ότι κάποιος έπραξε κάτι *εντελώς τυχαία*, δεν τον επαινώ ούτε τον επικρίνω για την πράξη αυτή. Όταν κρίνουμε συγκεκριμένες πράξεις, είναι ενδεχομένως πολύ δύσκολο ν' απομονώσουμε τους τυχαίους ή ελαφρυντικούς παράγοντες που τις έχουν καθορίσει. Ωστόσο, συνολικά, μολονότι η συμβατοκρατική θέση διατηρεί ένα στοιχείο ασάφειας, φαίνεται εύλογο να συνδέουμε την έννοια της ανθρώπινης ελευθερίας με την έννοια της «εσωτερικής» αιτιότητας (που προέρχεται από τις οικείες πεποιθήσεις και επιθυμίες του δρώντος) ως αντίθετης προς την «εξωτερική», αντί να υποστηρίζουμε ότι η ελεύθερη συμπεριφορά απλώς στερείται αιτίας.

Αντίθετα προς τους συμβατοκρατιστές, οι κοινωνικοί επιστήμονες που είναι αυστηρά συμπεριφοριστές στα πρότυπα του ψυχολόγου Σκίνερ, θεωρούν την ανθρώπινη ελευθερία μιαν αυταπάτη, και μάλιστα επικίνδυνη. Πιστεύουν ότι η αυταπάτη της ελευθερίας είναι επικίνδυνη, επειδή μπορεί να μας εμποδίσει να μάθουμε τις αληθινές αιτίες της ανθρώπινης συμπεριφοράς και έτσι να αποτρέψει τη χρήση αυτής της γνώσης για τη βελτίωση της κοινωνίας. Η ανθρώπινη συμπεριφορά, σύμφωνα με τον Σκίνερ (1972), προκύπτει ως αντίδραση στα διάφορα ερεθίσματα και σχήματα ενίσχυσης, δηλαδή τις ανταμοιβές και τις ποινές (Βλέπε Κεφάλαιο 9). Οι άνθρωποι έχουν αναντίρρητα το αίσθημα ότι λαμβάνουν αποφάσεις, το αίσθημα της ενοχής, και άλλα παρόμοια, αλλά, σύμφωνα με τους συμπεριφοριστές, αυτά τα αισθήματα δεν αναπαριστούν με δόκιμο τρόπο την πραγματικότητα. Από τη στιγμή που κατανοούμε το πραγματικό αίτιο της συμπεριφοράς, μπορούμε να την ελέγχουμε με το κατάλληλο ερέθισμα και την κατάλληλη ενίσχυση.

Ο συμπεριφορισμός έπαψε να είναι τόσο δημοφιλής όσο άλλοτε, κυρίως επειδή παρέλειψε να εκπληρώσει την υπόσχεσή του να αναγάγει τη σύνθετη

ανθρώπινη συμπεριφορά σε απλούς συμπεριφορικούς όρους. Οι ακραίοι συμπεριφοριστές δεν κατόρθωσαν να αναγάγουν με πειστικό τρόπο όλους τους νοητικούς όρους (όπως πεποίθηση, επιθυμία, ελπίδα, νοημοσύνη, φόβος) σε περιγραφές σωματικής ή γλωσσικής συμπεριφοράς. Ακόμη και οι λιγότερο ακραίοι συμπεριφοριστές, που υποστηρίζουν μόνον ότι η συμπεριφορά μπορεί να περιγραφεί ικανοποιητικά μέσω του μηχανισμού ερέθισμα-αντίδραση-ενίσχυση, χωρίς επίκληση νοητικών εννοιών (πεποιθήσεις και επιθυμίες), είχαν επιτυχίες κυρίως με απλά σχήματα συμπεριφοράς ζώων σε ελεγχόμενες εργαστηριακές μελέτες. Αν και ορισμένες μορφές συμπεριφορικής θεραπείας έχουν αναγνωρισθεί ως αποτελεσματικές, πολλές σύνθετες ανθρώπινες συμπεριφορές φαίνεται να μην επιδέχονται συμπεριφορική ανάλυση. Παραδείγματος χάριν είναι δύσκολο να καταλάβουμε με συμπεριφορικούς όρους πώς τα πολύ νέα παιδιά αποκτούν τη γλωσσική ικανότητα που τους επιτρέπει να σχηματίζουν προτάσεις που δεν έχουν ξανακούσει. (Βλέπε Κεφάλαιο 10).

Μολονότι ο αυστηρός συμπεριφορισμός δεν έχει υπάρξει αντικείμενο μεγάλης προσήλωσης στις κοινωνικές επιστήμες, μια ομάδα θεωρητικών της κοινωνιολογίας με ιδιαίτερη επιρροή, οι υποστηρικτές της λεγόμενης *κριτικής θεωρίας*, θεωρούν το πρόγραμμα του συμπεριφορισμού για τη χειραγώγηση και τον έλεγχο της συμπεριφοράς ως σοβαρή απειλή κατά της ανθρώπινης αυτονομίας. Πιστεύουν επίσης ότι ο συμπεριφορισμός είναι αντιπροσωπευτικός του προβληματικού χαρακτήρα του συνολικού κοινωνικοεπιστημονικού εγχειρήματος. Αυτή η ομάδα θεωρητικών της κοινωνιολογίας, που σχετίζεται με τη Σχολή της Φρανκφούρτης, περιλαμβάνει τον Χορκχάιμερ (Horkheimer), τον Αντόρνο (Adorno), τον Μαρκούζε (Marcuse), τον Χάμπερμας (Habermas), τον Άπελ (Apel) και άλλους. Παρά τις διαφωνίες που έχουν μεταξύ τους σε πολλά σημεία, όλοι τους θεωρούν ότι κάθε προσπάθεια διαμόρφωσης της κοινωνικής επιστήμης σύμφωνα με το πρότυπο των φυσικών επιστημών αποτελεί άρνηση της ανθρώπινης ελευθερίας, και επομένως είναι λανθασμένη και ανήθικη.

Όπως και οι ερμηνειοκράτες, οι θιασώτες της κριτικής θεωρίας πιστεύουν ότι η προσπάθεια να δοθούν εξηγήσεις μέσω επικαλυπτόντων νόμων στην κοινωνική επιστήμη ενέχει μιαν ουσιώδη σύγχυση μεταξύ των αιτιοκρατικών νόμων και των κανονιστικών κανόνων. Επιπλέον, επισημαίνουν ότι οι εξηγήσεις στις φυσικές επιστήμες είναι ανιστορικές, μια θέση που δεν αρμόζει στις ανθρωπιστικές επιστήμες.

Ορισμένοι διαφωνούν με την άποψη ότι όλες οι φυσικές επιστήμες είναι ανιστορικές. Η εξελικτική βιολογία, η γεωλογία και η κοσμολογία, επισημαίνουν, είναι *ιστορικές* επιστήμες. Επιπλέον, ακόμη και στη φυσική, ορισμένες μη αναστρέψιμες διαδικασίες συγκροτούν φυσικές νομοτέλειες με ιστορικά και συγκειμενικά (contextual) χαρακτηριστικά, και επομένως η άποψη ότι όλες οι εξηγήσεις στη φυσική είναι ανιστορικές είναι ανακριβής (Grünbaum 1984). Παρά το γεγονός ότι οι υποστηρικτές της κριτικής θεωρίας δέχονται αυτήν τη θέση, επιμένουν ότι το νόημα με το οποίο χρησιμοποιείται ο όρος «ιστορικός» δεν εί-

ναι εφαρμόσιμο σε τέτοιους νόμους ή στις ονομαζόμενες ιστορικές επιστήμες. Για παράδειγμα, ο Άπελ λέει:

> Πιστεύω αλήθεια ότι η φυσική έχει να κάνει με μη αναστρεψιμότητα με την έννοια της δεύτερης αρχής της θερμοδυναμικής . . . Αλλά με αυτήν ακριβώς την έννοια της μη ανατρεψιμότητας, η φυσική μπορεί να θεωρεί τη φύση οριστικά προσδιορισμένη ως προς το μέλλον της και επομένως μη έχουσα ιστορία, υπό μίαν έννοια της ιστορίας που δεν θα υπαγόταν σε οντολογική εξαντικειμένιση.
>
> Αντίθετα, η κοινωνική επιστήμη . . . πρέπει να υποθέτει όχι μόνο τη μη αναστρεψιμότητα με την έννοια μιας στατιστικά καθορισμένης διαδικασίας αλλά τη μη αναστρεψιμότητα με την έννοια ότι η πρόοδος της ανθρώπινης γνώσης επηρεάζει τη διαδικασία της ιστορίας με μη αναστρέψιμο τρόπο (1979, 20).

Οι παρατηρήσεις του Άπελ υπονοούν ότι όταν η «κριτική θεωρία» αναφέρεται στον ειδικά ιστορικό χαρακτήρα των κοινωνικών επιστημών, ο όρος «ιστορία» έχει την ειδικότερη σημασία που του προσδίδει ο Κόλλινγουντ. Οι άνθρωποι –εν αντιθέσει προς τα απλά φυσικά σώματα– θεωρούνται ικανοί να χρησιμοποιούν τη γνώση τους για το παρελθόν ώστε να επαναπροσδιορίζουν την πορεία των γεγονότων και να μεταβάλλουν τα αποτελέσματα. Εφόσον οι άνθρωποι είναι συνειδητοί δρώντες με δικούς τους σκοπούς, διαμορφώνουν την ιστορία με τρόπους που δεν ανήκουν στις δυνατότητες των μη νοημόνων μερών της φύσης.

Όπως ο Κόλλινγουντ, οι υποστηρικτές της κριτικής θεωρίας θέλουν ο όρος «ιστορία» να αναφέρεται μόνο σε περιγραφές της αυτόνομης ανθρώπινης συμπεριφοράς. Ας υπενθυμίσουμε ότι ο Κόλλινγουντ δεν εφαρμόζει τον όρο «ιστορικό» σε διαδικασίες της φύσης που δεν ενέχουν ανθρώπινες προθέσεις – ούτε καν στις γεωλογικές και εξελικτικές διαδικασίες οι οποίες συνήθως ονομάζονται ιστορικές, διότι, όπως λέει:

> Οι διαδικασίες της φύσης μπορούν να περιγραφούν ακριβώς ως ακολουθίες απλών συμβάντων, όχι όμως και οι διαδικασίες της ιστορίας. Δεν είναι διαδικασίες απλών συμβάντων αλλά διαδικασίες πράξεων, οι οποίες έχουν μια εσωτερική πλευρά που συνίσταται σε νοητικές διαδικασίες· αυτό που αναζητά ο ιστορικός είναι ακριβώς οι νοητικές διαδικασίες. Κάθε ιστορία είναι ιστορία της σκέψης (Collingwood 1946, 215).

Το ευρύτερο κριτικό πρόγραμμα, με την έμφαση που δίνει στην ιστορία, γίνεται πιο κατανοητό αν λάβουμε υπόψη μας ότι οι υποστηρικτές της κριτικής θεωρίας είναι πεπεισμένοι ότι τα σύγχρονα κοινωνικά συστήματα είναι γενικώς καταπιεστικά, άδικα, και πρέπει να μεταρρυθμισθούν. Πιστεύουν ότι η προσπάθεια να διαμορφωθούν οι κοινωνικές επιστήμες κατά το πρότυπο των φυσικών

επιστημών είναι ανήθικη, διότι δημιουργεί εμπόδια στη βελτίωση της κοινωνίας. Θεωρούν ότι, ενώ κανονικότητες που παρατηρούνται στο παρόν κοινωνικό σύστημα είναι αποτέλεσμα ατυχών ιστορικών περιστάσεων, όταν οι κοινωνικοί επιστήμονες τις παρουσιάζουν ως *νόμους*, υποβάλλουν την ιδέα ότι είναι ανάλογες με τους αμετάβλητους νόμους της φύσης. Επιπλέον, οι εξηγήσεις της σημερινής αθέμιτης κατάστασης που επικαλούνται αυτούς τους «νόμους» υποβάλλουν την ιδέα ότι μια καλύτερη κοινωνική διευθέτηση δεν είναι δυνατή (εφόσον θα παραβίαζε τους νόμους). Οι υποστηρικτές της κριτικής θεωρίας φοβούνται ότι η υιοθέτηση του προτύπου εξήγησης των φυσικών επιστημών για τα κοινωνικά φαινόμενα εξυπηρετεί τη διατήρηση του καθεστώτος άδικων και καταπιεστικών κοινωνικών θεσμών.

Ωστόσο, αντίθετα με την υπόθεση της κριτικής θεωρίας, οι επιστήμονες δεν θεωρούν κάθε παρατηρούμενη κανονικότητα ως νόμο. Η αφοσίωση στην επιστημονικότητα δεν εμποδίζει κανέναν κοινωνικό επιστήμονα να διακρίνει τις συμπτωματικές συναρτήσεις ή τις παροδικές τάσεις από τους αυθεντικούς νόμους. Ακόμη, η ύπαρξη νόμων δεν συνεπάγεται την απουσία κοινωνικής αλλαγής. Μια αλλαγή των συνθηκών μπορεί να αποβεί καλή ή κακή. Επομένως, μια κοινωνική επιστήμη που έχει ταχθεί να παρέχει επιστημονικές εξηγήσεις δεν είναι υποχρεωτικά στην υπηρεσία των καθεστώτων που επιδιώκουν να διατηρήσουν την κυριαρχία τους εμφανίζοντας όλες τις υπάρχουσες κοινωνικές δομές ως αναπόφευκτες συνέπειες φυσικών νόμων.

Επειδή οι υποστηρικτές της κριτικής θεωρίας πιστεύουν ότι οι πρωταρχικοί στόχοι των φυσικών επιστημών είναι η πρόβλεψη και ο έλεγχος του φυσικού περιβάλλοντος, θεωρούν ότι μια κοινωνική επιστήμη με όμοιες μεθόδους και σκοπούς θα έχει ως στόχο την πρόβλεψη και τον έλεγχο της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Όμως μια τέτοια ανθρωπιστική επιστήμη θα είναι εγγενώς χειραγωγική και συνεπώς ηθικά απαράδεκτη.

Αν και ορισμένες εξωφρενικές αξιώσεις του συμπεριφορισμού μπορούν, όπως είδαμε, να στηρίξουν την άποψη ότι στόχος των ανθρωπιστικών επιστημών είναι η πρόβλεψη και ο έλεγχος της συμπεριφοράς, η άποψη αυτή δεν είναι ακριβής. Είναι λάθος να παρουσιάζεται η επιστήμη ως μία απλή τεχνική. Ο πρωταρχικός στόχος της επιστήμης είναι η απόκτηση γνώσης για τον κόσμο. Αυτό δεν σημαίνει ότι η επιστήμη είναι ηθικά ουδέτερη. Η απόκτηση γνώσης θέτει και ηθικά ερωτήματα. Για παράδειγμα, αν ο μόνος τρόπος για να μάθουμε πώς αντιδρούν οι άνθρωποι σε μία δεδομένη μορφή βασανιστηρίων είναι να υποβληθούν σε μια τέτοια μεταχείριση, τότε ηθικοί λόγοι μπορούν βέβαια να μας εμποδίσουν να αποκτήσουμε την εν λόγω γνώση. Ο τρόπος απόκτησης και χρήσης της γνώσης, οι πόροι που θα όφειλαν να αφιερωθούν στην απόκτησή της θέτουν σημαντικά ηθικά ζητήματα, τα οποία πρέπει να διατυπώνονται. Ωστόσο, οι νόμιμες ηθικές ανησυχίες δεν προωθούνται με την παρερμηνεία ή την παραπόνηση των στόχων της επιστήμης. Επιπλέον, η άποψη των υποστηρικτών της κριτικής θεωρίας ότι η επιστήμη στοχεύει πρωτίστως στο χειρισμό και τον

έλεγχο της φύσης δεν συμβαδίζει με τη δική τους αντίληψη ότι η επιστήμη στηρίζει το υφιστάμενο καθεστώς και δεν ενδιαφέρεται για τις δυνατότητες αλλαγής και μεταρρύθμισής του.

Μολονότι η αντίληψη της κριτικής θεωρίας για το χαρακτήρα της φυσικής επιστήμης δεν είναι ακριβής, οι ηθικές ανησυχίες της για τις κοινωνικές επιστήμες, όπως εκείνες του Μακιντάιρ, ενδέχεται να είναι βάσιμες. Είναι προφανές ότι κάθε επιστημονική μελέτη του ανθρώπου πρέπει να ενδιαφέρεται για τις αξίες και τα θεμελιώδη ανθρώπινα δικαιώματα (βλέπε την έκθεση της ιατρικής ηθικής στο Κεφάλαιο 8). Μπορεί να θεωρηθεί ανήθικη, για παράδειγμα, η παροχή πειραματικών φαρμάκων σε ανθρώπους χωρίς τη συγκατάθεσή τους και τη λήψη όλων των προληπτικών μέτρων προς αποφυγή αθέμιτων συνεπειών. Ανήθικη, επίσης, μπορεί να θεωρηθεί η πρόκληση ψυχικής ταραχής και ταλαιπωρίας με σκοπό να διαπιστωθεί πώς οι άνθρωποι χειρίζονται μια παρόμοια εσωτερική ένταση.

Τόσο στις φυσικές όσο και στις κοινωνικές επιστήμες φαίνεται εύλογο ότι η επιλογή των ερευνητικών αντικειμένων και η χρηματοδότηση αυτών των ερευνών οφείλει να υπάγεται σε ηθικό έλεγχο. Όταν οι πόροι είναι περιορισμένοι, δεν είναι δυνατό να υποστηριχθούν όλα τα ερευνητικά προγράμματα και, παρόλο που δεν είναι φρόνιμο να απορρίπτονται ορισμένες μελέτες επειδή δεν προσφέρουν ένα άμεσο ανθρώπινο όφελος, η υπόσχεση βελτίωσης της ανθρώπινης κατάστασης οφείλει να είναι ένας σημαντικός – αν όχι καθοριστικός – παράγοντας στις αποφάσεις για την έρευνα.

Επιπλέον, όταν οι κοινωνικοί επιστήμονες καλούνται να προσφέρουν την «εμπειρογνωμοσύνη» τους στους νομοθέτες σχετικά με ρυθμίσεις που επιδρούν στην ποιότητα της ανθρώπινης ζωής, έχουν την ισχυρή ηθική υποχρέωση να μην υπερτιμούν την αξιοπιστία των πορισμάτων τους. Για παράδειγμα, ο προσανατολισμός των μαθητών του δημοτικού προς διάφορες εκπαιδευτικές και επαγγελματικές επιλογές με βάση μια πρώιμη εξέταση μπορεί να τους αδικήσει στερώντας τους το δικαίωμα να ακολουθήσουν μια σταδιοδρομία της δικής τους επιλογής, και τούτο αποφεύγεται μόνον αν είναι αναγνωρισμένος ο επισφαλής χαρακτήρας των εξετάσεων αυτού του τύπου και έχει προβλεφθεί η δυνατότητα επανεκτίμησης του μαθητή και επαναπροσανατολισμού του. Οι κοινωνικοί επιστήμονες θα δρούσαν ανήθικα αν χρησιμοποιούσαν το φωτοστέφανο της «επιστήμης» για να προσδώσουν στα σημερινά πορίσματα των ειδικοτήτων τους το καθεστώς καλά θεμελιωμένων φυσικών θεωριών. Όταν η εφαρμογή κάποιων θεωριών (στις κοινωνικές και φυσικές επιστήμες) μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ανθρώπινη ζωή, έχουμε την ηθική ευθύνη να παραδεχόμαστε τον επισφαλή χαρακτήρα των θεωριών και να προχωρούμε στην εφαρμογή τους με επιφυλακτικότητα.

Οι περισσότερες από τις παραπάνω σκέψεις ισχύουν για τη συμπεριφορά, τόσο των φυσικών, όσο και των κοινωνικών επιστημόνων. Τα παραπάνω παραδείγματα, όπως και πολλά άλλα, καταρρίπτουν τον ισχυρισμό ότι είναι δυνατός ένας

σαφής διαχωρισμός των γεγονότων και των αξιών, και ότι μόνο τα γεγονότα ενδιαφέρουν την επιστήμη, όχι οι αξίες· ακόμη και όταν περιορίζουμε την ισχύ του στις κοινωνικές επιστήμες εν αντιθέσει προς τις φυσικές. Επιπλέον, εφόσον η φύση των αξιών και οι αξιολογικές κρίσεις έχουν κεντρική σημασία για την ανθρώπινη κοινωνική ζωή, το ενδιαφέρον για την κατανόησή τους φαίνεται να εαποτελεί συγκροτητικό στοιχείο των κοινωνικών επιστημών.

11.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Το πρόβλημα με το οποίο ξεκίνησε αυτό το κεφάλαιο ήταν εάν μπορεί να υπάρξει μια *επιστήμη* της ανθρώπινης συμπεριφοράς κατά το πρότυπο των φυσικών επιστημών. Στην πορεία του κεφαλαίου εξετάσαμε ορισμένες καταφατικές και αρνητικές απαντήσεις σε αυτό το ερώτημα, δείξαμε όμως μεγαλύτερη συμπάθεια στη φυσιοκρατική θέση. Οι ενστάσεις της ερμηνειοκρατίας και της κριτικής θεωρίας κατά της δυνατότητας των κοινωνικών επιστημών δεν αντιλαμβάνονται ορθώς τους στόχους και τις μεθόδους των φυσικών επιστημών.

Ταυτόχρονα, είναι γεγονός ότι οι κοινωνικές επιστήμες προοδεύουν με πολύ αργό ρυθμό και ότι οι φυσιοκράτες δεν είναι σε θέση να δώσουν μια ικανοποιητική εξήγηση για αυτήν την αργοπορία. Η απάντηση ότι οι κοινωνικές επιστήμες είναι πολύ νεότερες και απλώς δεν έχουν προλάβει να προχωρήσουν, δεν είναι πολύ πειστική, διότι οι άνθρωποι ασχολούνται με αυτά τα ζητήματα όσον καιρό ασχολούνται και με τον φυσικό κόσμο. Η απάντηση ότι το αντικείμενο αυτών των επιστημών είναι πιο πολύπλοκο είναι και αυτή επισφαλής, εφόσον και η πολυπλοκότητα του φυσικού κόσμου είναι βέβαια μεγάλη. Εκείνο όμως που φαίνεται να αληθεύει είναι ότι ορισμένες πολυπλοκότητες μπορούν κατά κοινή ομολογία να αγνοηθούν στη συζήτηση νομοειδών γενικεύσεων στις φυσικές επιστήμες. Για παράδειγμα, μία απόφαση υιοθετήθηκε ευρέως τον δέκατο έβδομο αιώνα (αν και όχι εντελώς χωρίς διαφωνίες): να επικεντρωθεί η έρευνα στις «πρωτογενείς» ιδιότητες του υλικού κόσμου, όπως είναι η μάζα και η ταχύτητα, και να αγνοηθούν χάριν της επιστημονικής γνώσης ιδιότητες όπως το χρώμα, η γεύση, η οσμή, ο ήχος, και η αφή. Αυτή η απόφαση επέτρεψε πολύ μεγάλη πρόοδο των επιστημών. Οι πρωτογενείς ιδιότητες ήσαν ευκολότερα μετρήσιμες με τα συνήθη όργανα, κάτι που με τη σειρά του έφερε στο φως σχέσεις ικανές να εκφρασθούν με μαθηματικούς όρους.

Με την πρόοδο των στατιστικών τεχνικών, οι κοινωνικοί επιστήμονες μπόρεσαν να μετρήσουν και να ποσοτικοποιήσουν ορισμένα χαρακτηριστικά της κοινωνικής ζωής, καθώς και να μελετήσουν σημαντικές σχέσεις που υφίστανται μεταξύ διαφόρων ποσοτήτων· ωστόσο, απέχουμε ακόμη πολύ από μια συμφωνία σχετικά με τα χαρακτηριστικά της κοινωνικής ζωής που μπορούν να αγνοηθούν, έστω προσωρινά, όταν επιλέγουμε τα χαρακτηριστικά που θα ποσοτικοποιήσουμε. Στις κοινωνικές επιστήμες δεν είμαστε ποτέ τόσο σίγουροι όσο στις φυσικές

επιστήμες ότι αυτό που υπολογίζουμε ή μετράμε είναι και το ουσιώδες για την κατανόηση του αντικειμένου. Η επιλογή μεταβλητών είναι στενά συνδεδεμένη με τους σκοπούς στους οποίους υπάγεται η μελέτη μας της ανθρώπινης συμπεριφοράς, και οι ίδιοι οι σκοποί είναι διαφορετικοί και σύνθετοι, έτσι ώστε να αμφιβάλλουμε συχνά αν έχουμε απομονώσει τις σημαντικές μεταβλητές. Είναι γνωστή η δυσκολία να εκφραστούν ποσοτικά οι αξιολογικές κρίσεις· οι ανθρώπινες προτιμήσεις δεν ακολουθούν πάντα τα αυστηρά κριτήρια που υποθέτει το πρότυπο ορθολογικότητας των οικονομολόγων. Η αβεβαιότητά μας σχετικά με αυτά τα θέματα ίσως είναι η κύρια αιτία της ανησυχίας που προκαλεί η αναζήτηση νομοτελειών στην κοινωνική επιστήμη. Επιπλέον, οι νόμοι που προτείνουν οι κοινωνικοί επιστήμονες εμφανίζονται συχνά αόριστοι ή τετριμμένοι, επειδή οι τελευταίοι επιλέγουν τις μεταβλητές τους πολύ συντηρητικά, όπως είναι σωστό.

Από τον δέκατο έβδομο αιώνα, η διατύπωση σχέσεων με ποσοτικούς όρους υπήρξε αναπόσπαστο μέρος της «επιστημονική γνώση». Γιατί η επιστήμη αποδίδει τόσο μεγάλη σημασία στις ποσοτικές σχέσεις εννοίας: Αυτό είναι επίσης ένα εξαιρετικά δύσκολο και ανεπαρκώς διερευνημένο ζήτημα, ωστόσο η απάντησή του φαίνεται εν μέρει να έγκειται στην ευκολία με την οποία διαβιβάζεται η ποσοτική πληροφορία. Η επιστημονική γνώση είναι ένα εγχείρημα που βασίζεται στη συνεργασία, γι' αυτό αναμένουμε ότι τα αποτελέσματα και οι ανακαλύψεις του ενός ερευνητή θα διαβιβασθούν και θα κατανοηθούν από τους άλλους με την ελάχιστη δυνατή ασάφεια. Όμως, όπως αναγνωρίζει και ο Μιλλ (1874, βιβλίο 6, κεφάλαιο 7), η πρόοδος των κοινωνικών επιστημών μπορεί να εμποδιστεί από αλόγιστες προσπάθειες εφαρμογής στην ανθρώπινη συμπεριφορά τεχνικών που έχουν δώσει καλά αποτελέσματα στις φυσικές επιστήμες, προτού αποφασίσουμε τι ακριβώς θα μετρήσουμε και τι θα παραβλέψουμε. Ώσπου να προχωρήσουμε προς την επίλυση αυτού του δύσκολου προβλήματος, ο στόχος της φυσιοκρατικής κοινωνικής επιστήμης θα παραμένει εν πολλοίς ανέφικτος.

Η φιλοσοφία των κοινωνικών επιστημών, όπως οι ίδιες οι κοινωνικές επιστήμες, είναι πολύ λιγότερο ανεπτυγμένη από τη φιλοσοφία των φυσικών επιστημών και τη φιλοσοφία των βιολογικών επιστημών. Η μικρότερη ανάπτυξη αυτού του πεδίου οφείλεται εν μέρει στο ότι δεν έχει δεχθεί την απαιτούμενη προσοχή από τους φιλοσόφους. Όμως παραδόξως, η φιλοσοφική επεξεργασία ίσως είναι σημαντικότερη για τις κοινωνικές επιστήμες παρά για τις πιο προηγμένες, διότι ο φιλοσοφικός στοχασμός για τις ανθρώπινες ικανότητες, ανάγκες και αξίες θα είναι ασφαλώς αναγκαίος για να ληφθούν εμπεριστατωμένες αποφάσεις σχετικά με την αναγωγή των πολύπλοκων χαρακτηρισμών του κοινωνικού κόσμου σε πιο απλές συνιστώσες, η οποία θα διαφυλάσσει όσες απ' αυτές θεωρούμε σημαντικότερες για τη γνώση του εαυτού μας ως κοινωνικού όντος. Η δυνατότητα μιας κοινωνικής επιστήμης που θα οικοδομηθεί σε βάσιμα φιλοσοφικά θεμέλια υπάρχει, και αξίζει την τεράστια προσπάθεια που απαιτείται για να μετατραπεί η δυνατότητα σε πραγματικότητα.

ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΣΥΖΗΤΗΣΙΝ

1. Πώς κρίνεται την ερμηνειοκρατική θέση ότι η σχέση μεταξύ λόγων και πράξεων δεν είναι αιτιοκρατική σχέση;
2. Ποιο είναι το νόημα του ισχυρισμού ότι οι κοινωνικές επιστήμες δεν είναι το ίδιο ανεπτυγμένες με τις φυσικές επιστήμες;
3. Ποια νομίζετε ότι είναι η καλύτερη εξήγηση για το γεγονός ότι οι κοινωνικές επιστήμες είναι λιγότερο ανεπτυγμένες;
4. Μία από τις κύριες αρχές της νεότερης φιλοσοφίας της επιστήμης (π.χ. του Λογικού Θετικισμού και του Λογικού Εμπειρισμού) είναι ότι η επιστήμη είναι ουδέτερη ως προς τις αξίες. Μπορεί να υπάρξει μια φιλοσοφία των κοινωνικών επιστημών που να είναι ουδέτερη ως προς τις αξίες; Να υπερασπίσετε την απάντησή σας έναντι ενδεχόμενων κριτικών.
5. Στο βιβλίο *Απόψεις* (1965b) και στο άρθρο «Εξήγηση στην Επιστήμη και την Ιστορία» (1962b), ο Χέμπελ υποστηρίζει τη θέση ότι οι εξηγήσεις της ανθρώπινης συμπεριφοράς έχουν τη μορφή εξήγησης μέσω επικαλυπτόντων νόμων. Συζητήστε με κριτικό τρόπο την άποψή του δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στο ερώτημα για το αν οι προτεινόμενοι νόμοι σε τέτοιες εξηγήσεις έχουν εμπειρικό περιεχόμενο.
6. Εξηγήστε γιατί οι υποστηρικτές της κριτικής θεωρίας φοβούνται ότι μια επιστήμη της ανθρώπινης συμπεριφοράς θα απειλούσε την αυτονομία.
7. Συζητήστε γιατί μπορεί (ή δεν μπορεί) να υπάρξει μια επιστήμη που να έχει ως αντικείμενό της άτομα με ελεύθερη βούληση. Στη συζήτησή σας, μην παραλείψετε να εξηγήσετε τι σημαίνει να έχει κανείς ελεύθερη βούληση.
8. Κρίνετε το ακόλουθο επιχείρημα κατά του ατομικισμού: «Οι άνθρωποι όταν βρίσκονται σε κοινωνικές ομάδες δεν σκέφτονται και δεν συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο όπως όταν λειτουργούν ως μεμονωμένα άτομα. Επομένως, οι ιδιότητες των κοινωνικών συναφειών δεν μπορούν να είναι αποτέλεσμα μόνο των σκέψεων και των πράξεων μεμονωμένων ατόμων» (Papineau 1978, 8).

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Τα τελευταία χρόνια έχει εκδοθεί μια σειρά από εισαγωγικά βιβλία για τη φιλοσοφία των κοινωνικών επιστημών τα οποία δεν απευθύνονται σε εξειδικευμένο κοινό. Παραθέτουμε μια επιλογή βιβλίων που περιέχουν χρήσιμες βιβλιογραφίες:

BRAYBROOKE, DAVID (1987), *Philosophy of Social Science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. Ο Μπρέιμπρουκ εξετάζει πολύ λεπτομερειακά τρεις

διαφορετικές προσεγγίσεις των κοινωνικών επιστημών: τη φυσιοκρατία, την ερμηνειοκρατία και την κριτική θεωρία.

LITTLE, DANIEL (1990), *Varieties of Social Explanation: An Introduction to the Philosophy of Social Science*. Boulder: Westview Press. Ο Λιτλ εξετάζει πολλά τρέχοντα παραδείγματα εξήγησης σε διάφορα πεδία των κοινωνικών επιστημών.

PAPINEAU, DAVID (1978), *For Science in the Social Sciences*. New York: St. Martin's Press. Ο Παπινώ, εξετάζοντας ορισμένα κεντρικά προβλήματα των κοινωνικών επιστημών, υπερασπίζεται τη φυσιοκρατική άποψη από τις επιθέσεις της ερμηνειοκρατίας και της κριτικής θεωρίας.

ROSENBERG, ALEXANDER (1988), *Philosophy of Social Science*. Boulder: Westview Press. Μια έξοχη εισαγωγή που σχετίζει θέματα των κοινωνικών επιστημών με κεντρικά ζητήματα της σύγχρονης φιλοσοφίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ABELSON, ROBERT P. (1981), "Psychological Status of the Script Concept," *American Psychologist 36*: 715-729.

ADAMS, ERNEST W. (1959), "The Foundations of Rigid Body Mecahnics and the Derivation of Its Laws from Those of Particle Mechanics," in Henkin, Suppes and Tarski, pp. 250-265.

ALLÉN, STURE (ed.) (1989), *Possible Worlds in Humanities, Arts and Sciences: Proceedings of Nobel Symposium* 65. Berlin: de Gruyter.

APEL, KARL-OTTO (1979), "Types of Social Science in the Light of Human Cognitive Interests," in Brown, pp. 3-50.

ARISTOTLE (1970), *Aristotelis Opera*. Volume 1. Edited by I. Bekker. Berlin: de Gruyter.

ARNTZENIUS, FRANK (1990), "Casual Paradoxes in Special Relativity," *The British Journal for the Philosophy of Science 41*: 223-243.

ASQUITH, PETER D. and THOMAS NICKLES (eds.) (1983), *PSA 1982*. Volume 2. East Lansing, MI: Philosophy of Science Association.

ATTNEAVE, FRED (1971), "Multistability in Perception," *Scientific American 225* (6): 62-71.

AUSTIN, D. F. (ed.) (1988), *Philosophical Analysis*. Dordrecht: Kluwer Academic.

AYALA, FRANCISCO J. (1982), *Population and Evolutionary Genetics: A Primer*. Menlo Park, CA: Benjamin/Cummings.

AYER, A. J. (1952), *Language, Truth, and Logic*. New York: Dover.

—— (1956), *The Problem of Knowledge*. New York: St. Martin's Press.

—— (ed.) (1959), *Logical Positivism*. New York: The Free Press.

BACHELARD, GASTON (1984), *The New Scientific Spirit*. Translated by Arthur Goldhammer. Boston: Beacon Press.

BALME, D. M. (1987), "Teleology and Necessity," in Gotthelf and Lennox, pp. 275-285.

BALZER, W. and C. M. DAWE (1986), "Structure and Comparison of Genetic Theories: (1) Classical Genetics; (2) The Reduction of Character-Factor Genetics to Molecular Genetics," *The British Journal for the Philosophy of Science 37*: 55-69 and 177-191.

BARKER, PETER and CECIL G. SHUGART (eds.) (1981), *After Einstein: Proceedings of the Einstein Centennial Celebration at Memphis State University*. Memphis, TN: Memphis State University Press.

BARNES, BARRY (1974), *Scientific Knowledge and Sociological Theory*. London: Routledge & Kegan Paul.

—— (1977), *Interests and the Growth of Knowledge*. London: Routledge & Kegan Paul.

BAUMRIN, BERNARD (ed.) (1963), *Philosophy of Science: The Delaware Seminar*. Volume 2. New York: Interscience.

BEATTY, JOHN (1984), "Chance and Natural Selection," *Philosophy of Science 51*: 183-211.

BEAUCHAMP, TOM L. and JAMES F. CHILDRESS (1989), *Principles of Biomedical Ethics*. 3rd ed. New York: Oxford University Press.

BECHTEL, WILLIAM (ed.) (1986a), *Integrating Scientific Disciplines*. Dordrecht: Martinus Nijhoff.

—— (1986b), "The Nature of Scientific Integration," in Bechtel, pp. 3-52.

BEINLICH, I.; H. SUERMONDT; R. CHAVEZ; and G. COOPER (1989), "The Alarm Monitoring System," in *Proceedings of the Second European Conference on Artificial Intelligence in Medicine*. London.

BERGER, PETER L. and THOMAS LUCKMANN (1967), *The Social Construction of Reality: A Treatise in the Sociology of Knowledge*. Garden City, NY: Anchor Books.

BEROFSKY, BERNARD (ed.) (1966), *Free Will arld Determinism*. New York: Harper & Row.

BLACK, MAX (ed.) (1950), *Philosophical Analysis: A Collection of Essays*. Ithaca: Cornell University Press.

—— (1954), *Problems of Analysis: Philosophical Essays*. Ithaca: Cornell University Press.

BLAKEMORE, COLIN and SUSAN GREENFIELD (eds.) (1987), *Mindwaves: Thoughts on Intelligence, Identity and Consciousness*. Oxford: Blackwell.

BLOCK, NED (ed.) (1980), *Readings in Philosophy of Psychology*. Volume 1. Cambridge, MA: Harvard University Press.

BLOOR, DAVID (1976), *Knowledge and Social Imagery*. London: Routledge & Kegan Paul.

—— (1981), "The Strengths of the Strong Programme," *Philosophy of the Social Sciences 11*: 199-213.

—— (1983), *Wittgenstein: A Social Theory of Knowledge*. New York: Columbia University Press.

BOAG, PETER T. and PETER R. GRANT ([1981] 1982), "Intense Natural Selection in a Population of Darwin's Finches (*Geospizinae*) in the Galápagos," in Maynard Smith, pp. 175-181. Originally appeared in *Science* 214: 82-85.

BODEN, MARGARET A. (1988), *Computer Models of Mind: Computational Approaches in Theoretical Psychology*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

BORN, MAX (1971), *The Born-Einstein Letters: Correspondence between Albert Einstein and Max and Nedwig Born from 1916 to 1955*. Translated by Irene Born. London: Macmillan.

BOURDIEU, PIERRE (1975), "The Specificity of the Scientific Field and the Social Conditions of the Progress of Reason," *Social Science Information 14* (6): 19-47.

—— (1977), *Outline of a Theory of Practice*. Translated by Richard Nice. Cambridge, England: Cambridge University Press.

BOWLER, PETER J. (1989), *Evolution: The History of an Idea*. Revised edition. Berkeley and

Los Angeles: University of California Press.
BRAITHWAITE, R. B. (1953), *Scientific Explanation: A Study of the Function of Theory, Probability and Law in Science*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
BRANDON, ROBERT N. (1978), "Adaptation and Evolutionary Theory," *Studies in History and Philosophy of Science 9*: 181-206. Reprinted in Sober (1984a), pp. 58-82.
—— (1981), "Biological Teleology: Questions and Explanations," *Studies in History and Philosophy of Science 12*: 91-105.
—— (1985), "Adaptation Explanations: Are Adaptations for the Good of Replicators or Interactors?" in Depew and Weber, pp. 81-96.
—— (1990), *Adaptation and Environment*. Princeton: Princeton University Press.
BRANDON, ROBERT N. and JOHN BEATTY (1984), "The Propensity Interpretation of 'Fitness'-No Interpretation Is No Substitute," *Philosophy of Science 51*: 342-347.
BRANDON, ROBERT N. and RICHARD M. BURIAN (eds.) (1984), *Genes, Organisms, Populations: Controversies over the Units of Selection*. Cambridge, MA: MIT Press.
BRAYBROOKE, DAVID (1987), *Philosophy of Social Science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
BRIDGMAN, P. W. (1927), *The Logic of Modern Physics*. New York: Macmillan.
BROAD, CHARLIE DUNBAR (1926), *The Philosophy of Francis Bacon*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
BROOKS, DANIEL R. and E. O. WILEY (1986), *Evolution as Entropy: Toward a Unified Theory of Biology*. Chicago: University of Chicago Press.
BROWN, S. C. (ed.) (1979), *Philosophical Disputes in the Social Sciences*. Atlantic Highlands, NJ: Humanities Press.
BRUNER, JEROME S. (1957), "On Perceptual Readiness," *Psychological Review 64*: 123-152.
—— (1973), *Beyond the Information Given: Studies in the Psychology of Knowing*. New York: Norton.
BRUNER, JEROME S. and CECILE C. GOODMAN (1947), "Value and Need as Organizing Factors in Perception," *The Journal of Abnormal and Social Psychology 42*: 33-44.
BRUNER, JEROME S. and MARY C. POTTER (1964), "Interference in Visual Recognition," *Science 144*: 424-425.
BURIAN, RICHARD M. (1983), " 'Adaptation'," in Grene, pp. 287-314.
BURKS, ARTHUR W. (1953), "The Presupposition Theory of Induction," *Philosophy of Science 20*: 177-197.
—— (1977), *Chance, Cause, Reason: An Inquiry into the Nature of Scientific Evidence*. Chicago: University of Chicago Press.
CAHN, STEVEN M. (ed.) (1977), *Classics of Western Philosophy*. Indianapolis: Hackett.
CARNAP, RUDOLF (1936), "Testability and Meaning," *Philosophy of Science 3*: 419-471.
—— (1937), *The Logical Synax of Language*. Translated by Amethe Smeaton. New York: Harcourt, Brace.
—— (1950), *Logical Foundations of Probability*. Chicago: University of Chicago Press.
—— (1956a), "Empiricism, Semantics, and Ontology," in Camap (1956 b), pp. 205-221.
—— (1956b), *Meaning arut Necessity: A Study in Semantics and Modal Logic*. 2d ed. Chicago: University of Chicago Press.
—— ([1950] 1962), *Logical Foundations of Probability*. 2d ed. New Preface. Chicago: University of Chicago Press.

—— (1963), "Replies and Systematic Expositions," in Schilpp, pp. 859-1013.

—— ([1928] 1967), *The Logical Structure of the World: Pseudoproblems in Philosophy*. Translated by Rolf A. George. Berkeley and Los Angeles: University of Califomia Press.

CARTWRIGHT, NANCY (1983), *How the Laws of Physics Lie*. Oxford: Clarendon Press.

CAUSEY, ROBERT L. (1977), *Unity of Science*. Dordrecht: Reidel.

CHISHOLM, RODERICK M. (1982), "Human Freedom and the Self," in Watson, pp. 24-35.

CHOMSKY, NOAM (1959), Review of *Verbal Behavior*, by B. F. Skinner. *Language 35*: 26-58.

CHRISTENSEN, DAVID (1983), "Glymour on Evidential Relevance," *Philosophy of Science 50*: 471-481.

CHURCHLAND, PATRICIA SMITH (1986), *Neurophilosophy: Toward a Unified Science of the Mind/Brain*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.

—— (1988), "The Significance of Neuroscience for Philosophy," *Trends in Neurosciences 11*: 304-307.

CHURCHLAND, PAUL M. (1979), *Scientific Realism and the Plasticity of Mind*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

—— (1981), "Eliminative Materialism and the Propositional Attitudes," *The Journal of Philosophy 78*: 67-90.

—— (1984), *Matter and Consciousness: A Contemporary Introduction to the Philosophy of Mind*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.

COHEN, R. S.; C. A. HOOKER; A. C. MICHALOS; and J. W. VAN EVRA (eds.) (1976), *PSA 1974*. Dordrecht: Reidel.

COLLINGWOOD, R. G. (1946), *The Idea of History*. Oxford: Oxford University Press.

COLLINS, H. M. (1985), *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*. Beverly Hills and London: Sage Publications.

COLODNY, ROBERT G. (ed.) (1962), *Frontiers of Science and Philosophy*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.

—— (ed.) (1965), *Beyond the Edge of Certainty: Essays in Contemporary Science and Philosophy*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

—— (ed.) (1970), *The Nature and Function of Scientific Theories*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.

—— (ed.) (1977), *Logic, Laws, and Life: Some Philosophical Complications*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.

COMMITTEE ON MODELS FOR BIOMEDICAL RESEARCH (1985), *Models for Biomedical Research: A New Perspective*. Washington, DC: National Academy Press.

CONVERSE, PHILIP E. (1986), "Generalization and the Social Psychology of 'Other Worlds'," in Fiske and Shweder, pp. 42-60.

COOPER, JOHN M. (1987), "Hypothetical Necessity and Natural Teleology," in Gotthelf and Lennox, pp. 243-274.

COPERNICUS, NICOLAUS (1976), *On the Revolutions of the Heavenly Spheres*. Translated by A. M. Duncan. New York: Barnes & Noble.

COTMAN, CARL W.; ROBERTA E. BRINTON; ALBERT GALABURDA; BRUCE MCEWEN; and DIANA M. SCHNEIDER (eds.) (1987), *The Neuro-Immune-Endocrine Connection*. New York: Raven Press.

CULP, SYLVIA and PHILIP KITCHER (1989), "Theory Structure amd Theory Change in

Contemporary Molecular Biology," *The British Journal for the Philisophy of Science 40*: 459-483.

CUSHING, JAMES T. and ERNAN MCMULLIN (eds.) (1989), *Philosophical Consequences of Quantum Theory: Reflections on Bell's Theorem*. Notre Dame: University of Notre Dame Press.

CUTLAND, NIGEL (1980), *Computability: An Introduction to Recursive Function Theory*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

DARDEN, LINDLEY and NANCY MAULL (1977), "Interfield Theories," *Philosophy of Science 44*: 43-64.

DARWIN, CHARLES (1887), *The Life and Letters of Charles Darwin, Including an Autobiographical Chapter*. 3rd ed. Volume 2. Edited by Francis Darwin. London: Murray.

—— ([1892] 1958), *The Autobiography of Charles Darwin and Selected Letters*. Edited by Francis Darwin, New York: Dover.

—— ([1872] 1962), *The Origin of Species by Means of Natural Selection: or, The Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. 6th ed. New York: Collier.

—— ([1859] 1964), *On the Origin of Species: A Facsimile of the First Edition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

DAVIDSON, DONALD (1980), *Essays on Actions and Events*. Oxford: Clarendon Press.

—— (1984), *Inquiries into Truth and Interpretation*. Oxford: Clarendon Press.

DAWES, ROBYN M. (1988), *Rational Choice in an Uncertain World*. San Diego: Harcourt Brace Jovanovich.

DAWKINS, RICHARD (1982), *The Extended Phenotype: The Gene as the Unit of Selection*. Oxford: Freeman.

DENNET, DANIEL, C. (1981), *Brainstorms: Philosophical Essays on Mind and Psychology*. Cambridge, MA: MIT Press.

—— (1987), *The Intentional Stance*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.

DEPEW, DAVID J. and BRUCE H. WEBER (eds.) (1985), *Evolution at a Crossroads: The New Biology and the New Philosophy of Science*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.

DEVITT, MICHAEL (1984), *Realism and Truth*. Princeton: Princeton University Press.

DEWITT, BRYCE S. and NEILL GRAHAM (eds.) (1973), *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics*. Princeton: Princeton University Press.

DOBZHANSKY, THEODOSIUS (1970), *Genetics of the Evolutionary Process*. New York: Columbia University Press.

DREYFUS, HUBERT L. (1972), *What Computers Can't Do: A Critique of Artificial Reason*. New York: Harper & Row.

DUHEM, PIERRE ([1906] 1954), *The Aim and Structure of Physical Theory*. Translated by Philip P. Wiener. Princeton: Princeton University Press.

DUMMETT, MICHAEL (1978), *Truth and Other Enigmas*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

DUNN, J. MICHAEL and GEOFFREY HELLMAN (1986) "Dualling: A Critique of an Argument of Popper and Miller," *The British Journal for the Philosophy of Science 37*: 220-223.

DURKHEIM, EMILE ([1897] 1951), *Suicide: A Study in Sociology*. Translated by John A. Spaulding and George Simpson. New York: The Free Press.

EARMAN, JOHN (ed.) (1983), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Volume 10, *Testing Scientific Theories*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

—— (1986), *A Primer on Determinism*. Dordrecht: Reidel.

—— (1989), *World Enough and Space-Time: Absolute versus Relational Theories of Space and Time*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.

EARMAN, JOHN and JOHN NORTON (1987), "What Price Spacetime Substantivalism: The Hole Story," *The British Journal for the Philosophy of Science 38*: 515-525.

EARMAN, JOHN; CLARK GLYMOUR; and JOHN STACHEL (eds.) (1977), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Volume 8, *Foundations of Space-Time Theories*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

EDIDIN, ARON (1983), "Bootstrapping without Bootstraps," in Earman, pp. 43-54.

EELLS, ELLERY (1985), "Problems of Old Evidence," *Pacific Philosophical Quarterly 66*: 283-302.

EINSTEIN, ALBERT ([1916] 1952a), "The Foundation of the General Theory of Relativity," in Lorentz, Einstein, Minkowski and Weyl, pp. 109-164.

—— ([1905] 1952b), "On the Electrodynamics of Moving Bodies," in Lorentz, Einstein, Minkowski and Weyl, pp. 35-65.

—— ([1921] 1954a), "Geometry and Experience," in Einstein (1954b), pp. 232-246.

—— (1954b), *Ideas and Opinions*. New York: Bonanza.

—— ([1917] 1954c), *Relativity: The Special and the General Theory*. 15th ed. Translated by Robert W. Lawson. New York: Crown.

—— ([1922] 1956), *The Meaning of Relativity*. 5th ed. Translated by Edwin Plimpton Adams, Ernst G. Straus and Sonja Bargmann. Princeton: Princeton University Press.

—— ([1948] 1971), "Quantum Mechanics and Reality," in Born, pp. 168-173.

EINSTEIN, A.; B. PODOLSKY; and N. ROSEN (1935), "Can Quantum-Mechanical Description of Reality Be Complete?" *Physical Review 47*: 777-780. Reprinted in Wheeler and Zurek (1983), pp. 138-141.

ELSTER, JON (1983), *Explaining Technical Change: A Case Study in the Philosophy of Science*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

ENDLER, JOHN A. (1986), *Natural Selection in the Wild*. Princeton: Princeton University Press.

ENGEL, GEORGE L. (1977), "The Need for a New Medical Model: A Challenge for Biomedicine," *Science 196*: 129-136.

—— (1981), "The Clinical Application of the Biopsychosocial Model," *The Journal of Medicine and Philosophy 6*: 101-123.

ENGLEHARDT, JR., H. TRISTRAM (1986), "From Philosophy *and* Medicine to Philosophy *of* Medicine," *The Journal of Medicine and Philosophy 11*: 3-8.

EUCLID (1956), *The Thirteen Books of Euclid's Elements*. 2d ed. 3 volumes. Translated by Thomas L. Heath. New York: Dover.

FAUST, DAVID (1984), *The Limits of Scientific Reasoning*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

FEIGL, HERBERT (1950), "De Principiis Non Disputandum. . . ?" in Black, pp. 119-156.

—— (1953), "Notes on Causality," in Feigl and Brodbeck, pp. 408-418.

FEIGL, HERBERT and MAY BRODBECK (eds.) (1953), *Readings in the Philosophy of Science*. New York: Appleton-Century-Crofts.

FEIGL, HERBERT and GROVER MAXWELL (eds.) (1962), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Volume 3, *Scientific Explanation, Space, and Time*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

FEYERABEND, PAUL K. (1962), "Explanation, Reduction, and Empiricism," in Feigl and Maxwell, pp. 28-97.

—— (1963), "How to be a Good Empiricist–A Plea for Tolerance in Matters Epistemological," in Baumrin, pp. 3-39.

—— (1965), "Problems of Empiricism," in Colodny, pp. 145-260.

—— (1970), "Problems of Empiricism, Part II," in Colodny, pp. 275-353.

—— (1978), *Against Method*. London: Verso Press.

FEYNMAN, RICHARD (1985), *Surely You're Joking, Mr. Feynman*. New York: Norton.

FIELD, HARTRY (1973), "Theory Change and the Indeterminacy of Reference," *The Journal of Philosophy 70*: 462-481.

—— (1980), *Science Without Numbers: A Defence of Nominalism*. Princeton: Princeton University Press.

FINE, ARTHUR (1981), "Einstein's Critique of Quantum Theory: The Roots and Significance of EPR," in Barker and Shugart, pp. 147-158.

—— (1986), *The Shaky Game: Einstein, Realism, and the Quantum Theory*. Chicago: University of Chicago Press.

—— (forthcoming), "Indeterminism and Freedom of the Will," to appear in a *Festschrift* for Adolf Grünbaum. University of Konstanz Press and University of Pittsburgh Press.

FINE, ARTHUR and JARRETT LEPLIN (1989), *PSA 1988*. Volume 2. East Lansing, MI: Philosophy of Science Association.

FINE, ARTHUR and PETER MACHAMER (eds.) (1987), PSA 1986. East Lansing, MI: Philosophy of Science Association.

FISKE, DONALD W. and RICHARD A. SHWEDER (eds.) (1986), *Metatheory in Social Science: Pluralisms and Subjectivities*. Chicago: University of Chicago Press.

FLECK, LUDWIK ([1935] 1979), *Genesis and Development of a Scientific Fact*. Edited by Thaddeus J. Trenn and Robert K. Merton. Translated by Fred Bradley and Thaddeus J. Trenn. Chicago: University of Chicago Press.

FLOCK, HOWARD R. and ANTHONY MOSCATELLI (1964), "Variables of Surface Texture and Accuracy of Space Perceptions," *Perceptual and Motor Skills 19*: 327-334.

FODOR, JERRY A. (1968), *Psychological Explanation: An Introduction to the Philosophy of Psychology*. New York: Random House.

—— (1987), Psychosemantics: *The Problem of Meaning in the Philosophy of Mind*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.

FORSTROM, LEE A. (1977), "The Scientific Autonomy of Clinical Medicine," *The Journal of Medicine and Philosophy 2*: 8-19.

FOUCAULT, MICHEL (1978), *The History of Sexuality*. Volume 1. Translated by Robert Hurley. New York: Vintage.

FREGE, GOTTLOB (1972), *Conceptual Notation*, Edited by Terry Bynum. Oxford: Oxford University Press.

FREUD, SIGMUND ([1922] 1963a), "Certain Neurotic Mechanisms in Jealousy, Paranoia and Homosexuality," translated by Joan Riviere, in Freud (1963 b), pp. 160-170.

—— (1963b), *Sexuality and the Psychology of Love*. Edited by Philip Rieff. New York:

Collier Books.

—— ([1895] 1966a), "Project for a Scientific Psychology," in Freud (1966 b), pp. 295-359.

——([1886-1899] 1966b), *The Standard Edition of the Complete Psychological Works of Sigmund Freud.* Volume 1. Edited and translated by James Strachey. London: Hogarth Press.

FRIEDMAN, MICHAEL (1974), "Explanation and Scientific Understanding," *The Journal of Philosophy 71*: 5-19.

—— (1983), *Foundations of Space-Time Theories: Relativistic Physics and Philosophy of Science.* Princeton: Princeton University Press.

FROHLICH, CLIFF (1980), "The Physics of Somersaulting and Twisting," *Scientific American 242* (3): 154-164.

FROST, WILLIAM N.; GREGORY A. CLARK; and ERIC R. KANDEL (1988), "Parallel Processing of Short-term Memory for Sensitization in *Aplysia*," *Journal of Neurobiology 19*: 297-334.

FULLER, STEVE (1988), *Social Epistemology.* Bloomington, IN: Indiana University Press.

—— (1989), *The Philosophy of Science and Its Discontents.* Boulder: Westview Press.

GAIFMAN, HAIM (1979), "Subjective Probability, Natural Predicates and Hempel's Ravens," *Erkenntnis 14*: 105-147.

GAIFMAN, HAIM and MARC SNIR (1982), "Probabilities Over Rich Languages, Testing and Randomness," *The Jourrtal of Symbolic Logic 47*: 495-548.

GALISON, PETER (1987), *How Experiments End.* Chicago: University of Chicago Press.

GARBER, DANIEL (1983), "Old Evidence and Logical Omniscience in Bayesian Confirmation Theory," in Earman, pp. 99-131.

GARDINER, PATRICK (ed.) (1959), *Theories of History: Readings from Classical and Contemporary Sources.* New York: The Free Press.

GARDNER, MARTIN (1958), *Logic Machines and Diagrams.* New York: McGraw-Hill.

GEERTZ, CLIFORD (1975), T*he Interpretation of Cultures: Selected Essays.* London: Hutchinson.

GENESERETH, MICHAEL R. and NILS J. NILSSON (1987), *Logical Foundations of Artificial Intelligence.* Los Altos, CA: Morgan Kaufmann.

GEROCH, RBERT (1978), *General Relativity from A to B.* Chicago: University of Chicago Press.

GERVER, JOSEPH L. (1984), "A Possible Model for a Singularity without Collisions in the Five Body Problem" *Journal of Differential Equations 52*: 76-90.

GHISELIN, MICHAEL T. (1969), *The Triumph of the Darwinian Method.* Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

GIBBS, J. WILLARD ([1902] 1960), *Elementary Principles in Statistical Mechanics, Developed with Especial Reference to the Rational Foundation of Thermodynamics.* New York: Dover.

GIBSON, JAMES J. (1950), *The Perception of the Visual World.* Boston: Houghton Mifflin.

—— (1966), *The Senses Considered as Perceptual Systems.* Boston: Houghton Mifflin.

—— (1979), *The Ecological Approach to Visual Perception.* Boston: Houghton Mifflin.

GIERE, RONALD N. (1988), *Explaining Science: A Cognitive Approach.* Chicago: University of Chicago Press.

GILLIES, DONALD (1986), "In Defense of the Popper-Miller Argument," *Philosophy of*

Science 53: 110-113.

GILLIGAN, CAROL (1982), *In a Different Voice: Psychological Theory and Women's Development*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

GLEICK, JAMES (1987), *Chaos: Making a New Science*. New York: Viking.

GLYMOUR, CLARK (1977), "Indistinguishable Space-Times and the Fundamental Group," in Earman, Glymour and Stachel, pp. 50-60.

—— (1980), *Theory and Evidence*. Princeton: Princeton University Press.

—— (1983), "Revisions of Bootstrap Testing," *Philosophy of Science 50*: 626-629.

—— (1991), "The Mathematics of Discovery and the Hierarchies of Knowledge," *Minds aud Machines 1*: 75-95.

GLYMOUR, CLARK and KEVIN KELLY (forthcoming), *Logic, Computation and Discovery*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

GLYMOUR, CLARK; RICHARD SCHEINES: PETER SPIRTES; and KEVIN KELLY (1987), *Discovering Causal Structure: Artificial Intelligence, Philosophy of Science, and Statistical Modeling*. Orlando: Academic Press.

GOODENOUGH, WARD H. (1957), "Cultural Anthropology and Linguistics," in *Georgetown University Monograph Series on Language and Linguistics 9*: 167-173.

GOODMAN, NELSON (1955), *Fact, Fiction, and Forecast*. lst ed. Cambridge, MA: Harvard University Press.

—— (1978), *Ways of Worldmaking*. Indianapolis: Hackett.

GORRY, G. ANTHONY and G. OCTO BARNETT (1968), "Experience with a Model of Sequential Diagnosis," *Computers in Biomedical Research 1*: 490-507.

GOOTHELF, ALLAN (1987), "Aristotle's Conception of Final Causality," in Gotthelf and Lennox, pp. 204-242.

GOTTHELF, ALLAN and JAMES G. LENNOX (eds.) (1987), *Philosophical Issues in Aristotle's Biology*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

GREGORY, RICHARD L. (1990), *Eye and Brain: The Psychology of Seeing*. 4th ed. Princeton: Princeton University Press.

GRENE, MAJORIE (ed.) (1983), *Dimensions of Darwinism: Themes and Counterthemes in Twentieth-Century Evolutionary Theory*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

GROBSTEIN, CLIFFORD (1965), *The Strategy of Life*. San Francisco: Freeman.

GROSS, LLEWELLYN (ed.) (1959), *Symposium on Sociological Theory*. Evanston, IL.: Row, Peterson.

GRÜNBAUM, ADOLF (1973), *Philosophical Problems of Space and Time*. 2d ed. Dordrecht: Reidel.

—— (1984), *The Foundations of Psychoanalysis: A Philosophical Critique*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

GUYER, PAUL (1987), *Kant and the Claims of Knowledge*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

HABER, RALPH NORMAN (ed.) (1968), *Contemporary Theory and Research in Visual Perception*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

—— (ed.) (1969a), *Information-Processing Approaches to Visual Perception*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

—— (1969b), "Nature of the Effect of Set on Perception," in Haber, pp. 326-339.

HACKING, IAN (1975), *The Emergence of Probability: A Philosophical Study of Early Ideas about Probability, Induction and Statistical Inference*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

—— (1981a), "Lakatos's Philosophy of Science," in Hacking, pp. 128-143.

—— (ed.) (1981b), *Scientific Revolutions*. Oxford: Oxford University Press.

—— (1983), *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

HAMILTON, EDITH and HUNTINGTON CAIRNS (eds.) (1961), *The Collected Dialogues of Plato Including the Letters*. Translated by Lane Cooper and others. New York: Pantheon Books.

HANSON, EARL D. (1981), *Understanding Evolution*. New York: Oxford University Press.

HANSON, NORWOOD RUSSELL (1958), *Patterns of Discovery: An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

HARDY, G. H. ([1908] 1959), "Mendelian Proportions in a Mixed Population," in Peters, pp. 60-62.

HEIDEGGER, MARTIN ([1927] 1962), *Being and Time*. Translated by John Macquarrie and Edward Robinson. New York: Harper.

HELLMAN, GEOFFREY (1982a), "Einstein and Bell: Strengthening the Case for Microphysical Randomness," *Synthese 53*: 445- 60.

—— (1982b), "Stochastic Einstein-Locality and the Bell Theorems," *Synthese 53*: 461-504.

HEMPEL, CARL G. (1942), "The Function of General Laws in History," *The Journal of Philosophy 39*: 35-48. Reprinted in Hempel (1965b), pp. 231-243.

—— (1945), "Studies in the Logic of Confirmation," *Mind 54*: 1-26, 97-121. Reprinted in Hempel (1965b), pp. 3-46, with a 1964 Postscript added.

—— (1959), "The Logic of Functional Analysis," in Gross, pp. 271-307. Reprinted in Hempel (1965b), pp. 297-330.

—— (1962a), "Deductive-Nomological vs. Statistical Explanation," in Feigl and Maxwell, pp. 98-169.

—— (1962b), "Explanation in Science and in History," in Colodny, pp. 7-33.

—— (1965a), "Aspects of Scientific Explanation," in Hempel, pp. 331-496.

—— (1965b), *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*. New York: The Free Press.

—— (1966), *Philosophy of Natural Science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

—— (1988), "Provisoes: A Problem Concerning the Inferential Function of Scientific Theories," *Erkermtnis 28*: 147-164.

HEMPEL, CARL G. and PAUL OPPENHEIM (1948), "Studies in the Logic of Explanation," *Philosophy of Science 15*: 135-175. Reprinted in Hempel (1965b), pp. 245-290, with a 1964 Postscript added.

HENKIN, LEON; PATRICK SUPPES; and ALFRED TARSKI (eds.) (1959), *The Axiomatic Method, with Special Reference to Geometry and Physics*. Amsterdam: North-Holland

HERSCHEL, JOHN ([1830] 1987), *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*. Chicago: University of Chicago Press.

HILBERT, DAVID ([1908] 1971), *Foundations of Geometry*. Translated by Leo Unger. Lasalle, IL: Open Court.

HINTIKKA, JAAKKO and PATRICK SUPPES (eds.) (1966), *Aspects of Inductive Logic*.

Amsterdam: North-Holland.

HOBART, R. E. (1966), "Free Will as Involving Determination and Inconceivable Without It," in Berofsky, pp. 63-95.

HOCHBERG, JULIAN E. (1968), "In the Mind's Eye," in Haber, pp. 309-331.

—— (1978), *Perception*. 2d ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

HOLMES, FREDERIC LAWRENCE (1985), *Lavoisier and the Chemtstry of Life: An Exploration of Scientific Creativity*. Madison, WI: University of Wisconsin Press.

HOMANS, GEORGE C. (1967), *The Nature of Social Science*. New York. Harcourt, Brace & World.

HOOKER, C. A. (1981), "Towards a General Theory of Reduction. Part I: Historical and Scientific Setting. Part II: Identity in Reduction. Part III: Cross-Categorial Reduction," *Dialogue 20*: 38-59, 201-236, 496-529.

HORWICH, PAUL (1982), *Probability and Evidence*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

—— (1987), *Asymmetries in Time: Problems in the Philosophy of Science*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.

—— (1990), *Truth*. Oxford: Blackwell.

HOWSON, COLIN (1984), "Bayesianism and Support by Novel Facts," *The British Journal for the Philosophy of Science 35*: 245-251.

HUGHES, R. I. G. (1989), *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

HULL, CLARK L.; CARL I. HOVLAND; ROBERT T. ROSS; MARSHALL HALL; DONALD T. PERKINS; and FREDERIC B. FITCH (1940), *Mathematico-Deductive Theory of Rote Learning: A Study iu Scientific Methodology*. New Haven: Yale University Press.

HULL, DAVID L. (1974), Philosophy of Biological Science. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

—— (1976), "Informal Aspects of Theory Reduction," in Cohen, Hooker, Michalos and van Evra, pp. 653-670.

—— (1981a), "Reduction and Genetics," *The Journal of Medicine and Philosophy 6*: 125-143.

—— (1981b), "Units of Evolution: A Metaphysical Essay," in Jensen and Harré, pp. 23-44.

—— (1983), *Darwin and His Critics: The Reception of Darwin's Theory of Evolution by the Scientific Community*. Chicago: University of Chicago Press.

—— (1988), *Science as a Process: An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science*. Chicago: University of Chicago Press.

HUME, DAVID (1748), *An Enquiry Concerning Human Understanding*. Many editions available.

—— ([1739-1740] 1978), *A Treatise of Human Nature*. Edited by L. A. Selby-Bigge. 2d ed. Oxford: Clarendon Press.

HUMPHREYS, PAUL (1981), "Aleatory Explanations," *Synthese 48*: 225-232.

JACQUARD, ALBERT (1974), *The Genetic Structure of Populations*. Translated by D. and B. Charlesworth. New York: Springer-Verlag.

JARRETT, JON P. (1984), "On the Physical Significance of the Locality Conditions in the Bell Arguments," *Noûs 18*: 569-589.

JEFFREY, RICHARD C. (1969), "Statistical Explanation vs. Statistical Inference," in Rescher, pp. 104-113. Reprinted in Salmon, Jeffrey and Greeno (1971), pp. 19-28.

—— (1983), "Bayesianism with a Human Face," in Earman, pp. 133-156.

—— (1984), Response to "A Proof of the Impossibility of Inductive Probability," by Karl R. Popper and David Miller. *Nature 310*: 433.

JEFFREYS, SIR HAROLD (1957), *Scientific Inference*. 2d ed. Cambridge: Cambridge University Press.

JENKIN, FLEEMING ([1867] 1983), Review of *On the Origin of Species*, by Charles Darwin. In Hull, pp. 303-350.

JENSEN, U. J. and R. HARRÉ (eds.) (1981), *The Philosophy of Evolution*. Brighton, Sussex: Harvester Press.

JOHNSON-LAIRD, P. N. (1983), *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

JOHNSTON, RICHARD F. (ed.) (1978), *Annual Review of Ecology and Systematics*. Volume 9. Palo Alto, CA: Annual Reviews.

JONSEN, ALBERT R. and STEPHEN TOULMIN (1988), *The Abuse of Casuistry: A History of Moral Reasoning*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

The Journal of Medicine and Philosophy. Dordrecht: Reidel.

KAHNEMAN, DANIEL; PAUL SLOVIC; and AMOS TVERSKY (eds.) (1982), *Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

KANDEL, ERIC R. (ed.) (1987a), *Molecular Neurobiology in Neurology and Psychiatry*. New York: Raven Press.

—— (1987b), "Preface: Molecular Neurobiology and the Proper Study of Humankind," in Kandel, pp. vii-ix.

KANDEL, ERIC R. and JAMES H. SCHWARTZ (eds.) (1985), *Principles of Neural Science*. 2d ed. New York: Elsevier.

KANDEL, ERIC R.; VINCENT F. CASTELLUCCI; PHILIP GOELET; and SAMUEL SCHACHER (1987), "Cell-Biological Interrelationships between Short-Term and Long-Term Memory," in Kandel, pp. 111-132.

KANT, IMMANUEL ([1787] 1865), *Critique of Pure Reason*. Translated by Norman Kemp Smith. New York: St. Martin's Press.

KELLY, KEVIN (1996), *The Logic of Reliable Inquiry*.

KELLY, KEVIN and CLARK GLYMOUR, "Inductive Inference from Theory Laden Data," *Journal of Philosophical Logic*.

KEMENY, JOHN G. and PAUL OPPENHEIM (1956), "On Reduction," *Philosophical Studies 7*: 6-19.

KITCHER, PATRICIA (1990): *Kant's Transcendental Psychology*. New York: Oxford University Press.

KITCHER, PHILIP (1976), "Explanation, Conjunction, and Unification," *The Journal of Philosophy 73*: 207-212.

—— (1981), "Explanatory Unification," *Philosophy of Science 48*: 507-531.

—— (1984), "1953 and All That. A Tale of Two Sciences," *The Philosophical Review 93*: 335-373.

—— (1985a), "Darwin's Achievement," in Rescher, pp. 127-189.

—— (1985b), *Vaulting Ambition: Sociobiology and the Quest for Human Nature*. Cambridge, MA: MIT Press.

—— (1989), "Explanatory Unification and the Causal Structure of the World," in Kitcher

and Salmon, pp. 410-505.

KITCHER, PHILIP and WESLEY C. SALMON (eds.) (1989), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Volume 13, *Scientific Explanation*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

KOESTLER, ARTHUR and J. R. SMYTHIES (eds.) (1969), *Beyond Reductionism: New Perspectives in the Life Sciences*. Boston: Beacon Press.

KÖRNER, S. (ed.) (1957), *Observation and Interpretation: A Symposium of Philosophers and Physicists*. London: Butterworths Scientific Publications.

KOSSLYN, STEPHEN MICHAEL (1980), *Image and Mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

KUFFLER, STEPHEN W.; JOHN G. NICHOLLS; and A. ROBERT MARTIN (1984), *From Neuron to Brain: A Cellular Approach to the Function of the Nervous System*. 2d ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates.

KUHN, THOMAS S. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.

—— (1970), *The Structure of Scientific Revolutions*. 2d ed. Chicago: University of Chicago Press.

—— (1983), "Commensurability, Comparability, Communicability," in Asquith and Nickles, pp. 669-688.

—— (1989), "Possible Worlds in History of Science," in Allén, pp. 9-32.

LAKATOS, IMRE (1970), "Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes," in Lakatos and Musgrave, pp. 91-195.

—— (1981), "History of Science and Its Rational Reconstructions," in Hacking, pp. 107-127.

LAKATOS, IMRE and ALAN MUSGRAVE (eds.) (1970), *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

LAKOFF, GEORGE (1987), *Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal about the Mind*. Chicago: University of Chicago Press.

LA METTRIE, JULIEN OFFRAY DE ([1915] 1988), *Man a Macine*. Lasalle, IL: Open Court.

LANGLEY, PAT; HERBERT A. SIMON; GARY L. BRADSHAW; and JAN M. ZYTKOW (1987), *Scientific Discovery: Computational Explorations of the Creative Process*. Cambridge, MA: MIT Press.

LAPLACE, PIERRE-SIMON (1820), *Théorie Analytique des Probabilités*. 3rd ed. Paris: V. Courcier.

—— ([1814] 1951), *A Philosophical Essay on Probabilities*. Translated by Frederick Wilson Truscott and Frederick Lincoln Emory. New York: Dover.

LATOUR, BRUNO (1987), *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

—— (1990), "Postmodern? No, Simply Amodern! Steps Towards an Anthropology of Science," *Studies in History and Philosophy of Science 21*: 145-171.

LATOUR, BRUNO and STEVE WOOLGAR (1986), *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. Princeton: Princeton University Press.

LAUDAN, LARRY (1977), *Progress and Its Problems: Toward a Theory of Scientific Growth*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

—— (1981), "A Problem-Solving Approach to Scientific Progress," in Hacking, pp. 144-155.

—— (1984), *Science and Values: An Essay on the Aims of Science and Their Role in Scientific Debate*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

LEHNINGER, ALBERT L. (1971), *Bioenergetics: The Molecular Basis of Biological Energy Transformations*. 2d. ed. Menlo Park, CA: Benjamin/Cummings.

LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM (1970), *Philosophical Papers and Letters*. 2d ed. Edited and Translated by Leroy E. Loemker. Dordrecht: Reidel.

LENNOX, JAMES G. (1985), "Plato's Unnatural Teleology," in O'Meara, pp. 195-218.

LEPLIN, JARETT (ed). (1984), *Scientific Realism*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

LERMAN, HANNAH (1986), *A Mote in Freud's Eye: From Psychoanalysis to the Psychology of Women*. New York: Springer Verlag.

LEVINS, RICHARD (1966), "The Strategy of Model Building in Population Biology," *American Scientist 54*: 421-431. Reprinted in Sober (1984a), pp. 18-27.

LEVY, S.; R. HERBERMAN; M. LIPPMAN; and T. D'ANGELO (1987), "Correlation of Stress Factors with Sustained Depression on Natural Killer Cell Activity and Predicted Prognosis in Patients with Breast Cancer," *Journal of Clinical Oncology 5*: 348-353.

LEVY, SANDRA M.; JERRY LEE; CAROLINE BAGLEY; and MARC LIPPMAN (1988), "Survival Hazards Analysis in First Recurrent Breast Cancer Patients: Seven-year Follow-up," *Psychosomatic Medicine 50*: 520-528.

LEWIN, BENJAMIN (1990), *Genes IV*. Oxford: Oxford University Press.

LEWIS, CLARENCE IRVING ([1929] 1956)), *Mind and the World-Order: Outline of a Theory of Knowledge*. New York: Dover.

LINDSAY, R. K.; B. BUCHANAN; E. FEIGENBAUM; and J. LEDERBERG (1980), *Applications of Artificial Intelligence for Organic Chemistry: The DENDRAL Project*. New York: McGraw-Hill.

LITTLE, DANIEL (1990), *Varieties of Social Explanation: An Introduction to the Philosophy of Social Science*. Boulder: Westview Press.

LLOYD, CHRISTOPHER (1986), *Explanation in Social History*. New York: Blackwell.

LOCKE, JOHN ([1690] 1924), *An Essay Concerning Human Understanding*. Abridged and edited by A. S. Pringle-Pattison. Oxford: Clarendon Press.

LORENTZ, H. A.; A. EINSTEIN; H. MINKOWSKI; and H. WEYL ([1923] 1952), *The Principle of Relativity: A Collection of Original Memoirs on the Special and General Theory of Relativity*. Translated by W. Perrett and G. B. Jeffery. New York: Dover.

LYNCH, MICHAEL (1985), *Art and Artifact in Laboratory Science: A Study of Shop Work and Shop Talk in a Reseach Laboratory*. London: Routledge & Kegan Paul.

MACINTYRE, ALASDAIR C. (1984), *After Virtue: A Study in Moral Theory*. 2d ed. Notre Dame: University of Notre Dame Press.

MACKIE, J. (1974), *The Cement of the Universe: A Study of Causation*. Oxford: Clarendon Press.

MALAMENT, DAVID (1977a), "Casual Theories of Time and the Conventionality of Simultaneity," *Noûs 11*: 293-300.

—— (1977b), "Observationally Indistinguishable Space-times," in Earman, Glymour and Stachel, pp. 61-80.

MALCOLM, JANET (1984), *In the Freud Archives*. New York: Knopf.

MANNHEIM, KARL (1936), *Ideology and Utopia: An Introduction to the Sociology of*

Knowledge. Translated by Louis Wirth and Edward Shils. London: Paul, Trench, Trubner & Co.

MASSON, JEFFERY MOUSSAIEFF (91284), *The Assault on Truth: Freud's Suppression of the Seduction Theory*. New York: Farrar, Straus & Giroux.

MAXWELL, GROVER and ROBERT M. ANDERSON, JR. (eds.) (1975), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Volume 6, *Induction, Probability, and Confirmation*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

MAXWELL, JAMES CLERK ([1876] 1952), *Matter and Motion*. New York: Dover.

MAYNADRD SMITH, JOHN (1972), *The Theory of Evolution*, 2d ed. Baltimore: Penguin.

—— (1978), "Optimization Theory in Evolution," in Johnston, pp. 31-56. Reprinted in Sober (1984a), pp. 289-315.

—— (ed.) (1982), *Evolution Now: A Century After Darwin*. San Francisco: Freeman.

—— (1983), "Current Controversies in Evolutionary Biology," in Grene, pp. 273-286.

MAYR, ERNST (1942), *Systematics and the Origin of Species from the Viewpoint of Zoologist*. New York: Columbia University Press.

—— (1970), *Populations, Species, and Evolution: An Abridgment of* Animal Species and Evolution. Cambridge, MA: Belknap Press of Harvard University Press.

—— (1982), *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*. Cambridge, MA: Belknap Press of Harvard University Press.

McGEER, PATRICK L.; JOHN ECCLES; and EDITH G. McGEER (1987), *Molecular Neurobiology of the Mammalian Brain*. 2d ed. New York: Plenum Press.

McLAUGHLIN, ROBERT (ed.) (1982), *What? Where? When? Why? Essays on Induction. Space and Time, Explanation*. Dordrecht: Reidel.

MENDEL, GREGOR ([1865] 1966), "Experiments on Plant Hybrids," translated by Eva R. Sherwood, in Stern and Sherwood, pp. 1-48.

MILL, JOHN STUART (1874), *A System of Logic, Ratiocinative and Inductive: Being a Connected View of the Principles of Evidence and the Methods of Scientific Investigation*. 8th ed. New York: Harper & Brothers.

—— ([1861] 1979), *Utilitarianism*. Edited by George Sher. Indianapolis: Hackett.

MILLER, RANDOLPH A.; HARRY E. POPLE, JR.; and JACK D. MYERS (1982), "*Internist-I*, an Experimental Computer-Based Diagnostic Consultant for General Internal Medicine," *The New England Journal of Medicine 307*: 468 76.

MILLER, RICHARD W. (1987), *Fact and Method: Explanation, Confirmation and Reality in the Natural and the Social Sciences*. Princeton: Princeton University Press.

MINKOWSKI, H. ([1908] 1952), "Space and Time," in Lorentz, Einstein, Minkowski and Weyl, pp. 73-91.

MITCHELL, SANDRA D. (1987), "Competing Units of Selection?: A Case of Symbiosis," *Philosophy of Science 54*: 351-367.

MOORE, GEORGE EDWARD ([1903] 1962), *Principia Ethica*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

MORGENBESSER, SIDNEY (ed.) (1967), *Philosophy of Science Today*. New York Basic Books.

MUNSON, RONALD (1981), "Why Medicine Cannot Be a Science," *The Journal of Medicine and Philosophy 6*: 183-208.

MURDOCK, GEORGE PETER (1949), *Social Structure*. New York: Macmillan.

MURPHY, GREGORY L. and DOUGLAS L. MEDIN (1985), "The Role of Theories in Conceptual Coherence," *Psychological Review 92*: 289-316.

NAGEL, ERNEST (1949), "The Meaning of Reduction in the Natural Sciences," in Stauffer, pp. 97-135.

—— (1961), *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*. New York: Harcourt, Brace & World.

THE NATIONAL COMMISSION FOR THE PROTECTION OF HUMAN SUBJECTS OF BIOMEDICAL AND BEHAVIORAL RESEARCH (1978), *The Belmont Report: Ethical Principles and Guidelines for the Protection of Human Subjects of Research*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

NEISSER, ULRIC (1976), *Cognition and Reality: Principles and Implications of Cognitive Psychology*. San Francisco: Freeman.

NEWTON, ISAAC ([1687] 1962), *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Volume 1. Translated by Andrew Motte; revised by Florian Cajori. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

NORTON JOHN (1989), "The Hole Argument," in Fine and Leplin, pp. 56-64.

NOZICK, ROBERT (1981), *Philosophical Explanations*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

OLBY, ROBERT C. (1966), *Origins of Mendelism*. London: Constable.

O'MEARA, DOMINIC J . (ed.) (1985), *Platonic Investigations*. Washington, DC: Catholic University of America Press.

OSHERSON, DANIEL N.; MICHAEL STOB; and SCOTT WEINSTEIN (1986), *Systems That Learn: An Introduction to Learning Theory for Cognitive and Computer Scientists*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.

PAPINEAU, DAVID (1978), *For Science in the Social Sciences*. New York: St. Martin's Press.

PAULI, W. ([1921] 1958), *Theory of Relativity*. Translated by G. Field. New York: Pergamon Press.

PELLEGRINO, EDMUND D. (1976), "Philosophy of Medicine: Problematic and Potential," *The Journal of Medicine and Philosophy 1*: 5-31.

—— (1986), "Philosophy of Medicine: Towards a Definition," *The Journal of Medicine and Philosophy 11*: 9-16.

PELLEGRINO, EDMUND D. and DAVID C. THOMASMA (1981), *A Philosophical Basis of Medical Practice: Toward a Philosophy and Ethic of the Healing Professions*. New York: Oxford University Press.

PETERS, JAMES A. (ed.) (1959), *Classic Papers in Genetics*. Engelwood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. *Philosophy of Science* (1984). Volume 51, number 2. *Special Issue: Philosophy of Biology*.

PIAGET, JEAN ([1926] 1959), *The Language and Thought of the Child*. 3rd ed. Translated by Marjorie and Ruth Gabain. London: Routledge & Kegan Paul.

PIANKA, ERIC R. (1974), *Evolutionary Ecology*. New York: Harper & Row.

PICKERING, ANDREW (1984), *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics*. Edinburgh: Edinburgh University Press.

PITT JOSEPH C. (ed.) (1988), *Theories of Explanation*. New York: Oxford University Press.

PLANC, MAX (1932), *Der Kausalbegriff in der Physik*. Leipzig: Johann Ambrosius Barth.

PLATO (1900-1903), *Platonis Opera*. Volumes 1-5. Edited by J. Burnet. Oxford: Oxford

University Press.
POINCARÉ, HENRI (1907), *Science and Hypothesis*. Translated by William John Greenstreet. London: Walter Scott.
POPPER, KARL R. (1957a), "The Aim of Science," *Ratio 1*: 24-35.
—— (1957b), "The Propensity Interpretation of the Calculus of Probability, and the Quantum Theory," in Körner, pp. 65-70.
—— ([1935] 1959), *The Logic of Scientific Discovery*. New York: Basic Books.
—— (1960), "The Propensity Interpretation of Probability," *The British Journal for the Philosophy of Science 10*: 25-42.
—— (1963), *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. London: Routledge & Kegan Paul.
—— (1972a), "Conjectural Knowledge: My Solution of the Problem of Induction," in Popper, pp. 1-31.
—— (1972b), *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach*. Oxford: Clarendon Press.
—— (1982), *The Open Universe: An Argument for Indeterminism*. Totowa, NJ: Rowman & Littlefield.
POPPER, KARL R. and DAVID MILLER (1983), "A Proof of the Impossibility of Inductive Probability," *Nature 302*: 687-688.
PROVINE, WILLIAM B. (ed.) (1971), *The Origins of Theoretical Population Genetics*. Chicago: University of Chicago Press.
PUTNAM, HILARY (1965), "Trial and Error Predicates and the Solution to a Problem of Mostowski," *The Journal of Symbolic Logic 30*: 49-57.
—— (1981), *Reason, Truth, and History*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
QUINE, W.V. (1960), *Word and Object*. Cambridge, MA: MIT Press.
—— (1961), *From a Logical Point of View: 9 Logico-Philosophical Essays*. 2d ed. Cambridge, MA: Harvard University Press.
—— (1969a), "Epistemology Naturalized," in Quine, pp. 69-90.
—— (1969b), *Ontological Relativity and Other Essays*. New York: Columbia University Press.
RAILTON, PETER (1981), "Probability, Explanation, and Information," *Synthese 48*: 233-256.
REICHENBACH, HANS (1938), *Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*. Chicago: University of Chicago Press.
—— (1949), *The Theory of Probability: An Inquiry into the Logical and Mathematical Foundations of the Calculus of Probability*. 2d ed. Translated by Ernest H. Hutten and Maria Reichenbach. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
—— (1956), *The Direction of Time*. Edited by Maria Reichenbach. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
—— ([1928] 1957), *The Philosophy of Space and Time*. Translated by Maria Reichenbach and John Freund. New York: Dover.
—— ([1924] 1969), *Axiomatization of the Theory of Relativity*. Translated and edited by Maria Reichenbach. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
RESCHER, NICHOLAS (ed.) (1969), *Essays in Honor of Carl G. Hempel*. Dordrecht: Reidel.
—— (ed.) (1985), *Reason and Rationality in Natural Science: A Group of Essays*. Lanham, MD: University Press of America.

ROBB, ALFRED A. (1914), *A Theory of Time and Space*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

—— (1921), *The Absolute Relations of Time and Space*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

RORTY, RICHARD (1979), *Philosophy and the Mirror of Nature*. Princeton University Press.

ROSENBERG, ALEXANDER (1985), *The Structure of Biological Science*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

—— (1988), *Philosophy of Social Science*. Boulder: Westview Press.

ROSINSKI, RICHARD R. (1977), *The Development of Visual Perception*. Santa Monica, CA: Goodyear.

RUBEN, DAVID-HILLEL (1985), *The Metaphysics of the Social World*. London: Routledge & Kegan Paul.

RUSE, MICHAEL (1976), "Reduction in Genetics," in Cohen, Hooker, Michalos and van Evra, pp. 633-651.

RUSE, MICHAEL (1979), *The Darwinian Revolution*. Chicago: University of Chicago Press.

RUSSELL, BERTRAND (1948), *Human Knowledge: Its Scope and Limits*. New York: Simon & Schuster.

—— (1956a), *Logic and Knowledge: Essays, 1901-1950*. Edited by Robert Charles Marsh. New York: Macmillan.

—— ([1918] 1956b), "The Philosophy of Logical Atomism," in Russell, pp. 177-281.

—— ([1912] 1959), *The Problems of Philosophy*. New York: Oxford University Press.

—— ([1914] 1960), *Our Knowledge of the External World*. 2d. ed. New York: New American Library.

RUSSELL, BERTRAND and ALFRED NOATH WHITEHEAD (1925), *Principia Mathematica*. 1st ed. Cambridge, England: Cambridge University Press.

SAHLINS, MARSHALL D. and ELMAN R. SERVICE (eds.) (1960), *Evolution and Culture*. Ann Arbor: University of Michigan Press.

SALMON, WESLEY C. (1967), *The Foundations of Scientific Inference*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.

—— (1973), "Confirmation," *Scientific American 228* (5): 75-83.

—— (1975), "Confirmation and Relevance," in Maxwell and Anderson, pp. 3-36.

—— (1977), "The Philosophical Significance of the One-Way Speed of Light," *Noûs 11*: 253-292.

—— (1978a), "Unfinished Business: The Problem of Induction," *Philosophical Studies 33*: 1-19.

—— (1978b), "Why Ask 'Why'? An Inquiry Concerning Scientific Explanation," *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association 51*: 683-705.

—— (1980), *Space, Time, and Motion: A Philosophical Introduction*. 2d ed. Minneapolis: University of Minnesota Press.

—— (1981), "Rational Prediction," *The British Journal for the Philosophy of Science 32*: 115-125.

—— (1982), "Comets, Pollen and Dreams: Some Reflections on Scientific Explanation," in McLaughlin, pp. 155-178.

—— (1984), *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*. Princeton: Princeton University Press.

—— (1989), "Four Decades of Scientific Explanation," in Kitcher and Salmon, pp. 3-219.
—— (1990), *Four Decades of Scientific Explanation*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
SALMON, WESLEY C.; RICHARD C. JEFFREY; and JAMES G. GREENO (1971), *Statistical Explanation and Statistical Relevance. Pittsburgh*: University of Pittsburgh Press.
SANDERS, WILLIAM T. and BARBARA J. PRICE (1968), *Mesoamerica: The Evolution of a Civilization*. New York: Random House.
SARKAR, SAHOTRA (1989), "Reductionism and Molecular Biology: A Reappraisal." Ph.D. Dissertation, University of Chicago.
—— (forthcoming), "Models of Reduction and Categories of Reductionism," *Synthese*.
SCHAFFNER, KENNETH F. (1967), "Approaches to Reduction," *Philosophy of Science 34*: 137-147.
—— (1969), "Correspondence Rules," *Philosophy of Science 36*: 280-290.
—— (1972), *Nineteenth-Century Aether Theories*. Oxford: Pergamon Press.
—— (1976), "Reductionism in Biology: Problems and Prospects," in Cohen, Hooker, Michalos and van Evra, pp. 613-632.
—— (1977), "Reduction, Reductionism, Values, and Progress in the Biomedical Sciences," in Colodny, pp. 143-171.
—— (1980), "Theory Structure in the Biomedical Sciences," *The Journal of Medicine and Philosophy 5*: 57-97.
—— (ed.) (1985), *Logic of Discovery of Diagnosis in Medicine*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
—— (1986), "Exemplar Reasoning about Biological Models and Diseases: A Relation Between the Philosophy of Medicine and Philosophy of Science," *The Journal of Medicine and Philosophy 11*: 63-80.
—— (1987), "Computerized Implementation of Biomedical Theory Structures: An Artificial Intelligence Approach," in Fine and Machamer, pp. 17-32.
—— (1993), *Discovery and Explanation in Biology and Medicine*. Chicago: University of Chicago Press.
SCHIFF, WILLIAM (1965), "Perception of Impending Collision: A Study of Visually Directed Avoidant Behavior," *Psychological Monographs: General and Applied 79 (11)*: 1-26.
SCHILPP, PAUL ARTHUR (ed.) (1963), *The Philosophy of Rudolf Carnap*. Lasalle, IL: Open Court.
SCRIVEN, MICHAEL (1959a), "Explanation and Prediction in Evolutionary Theory," *Science 130*: 477-482.
—— (1959b), "Truisms as the Grounds for Historical Explanations," in Gardiner, pp. 443-475.
—— (1962), "Explanations, Predictions, and Laws," in Feigl and Maxwell, pp. 170-230.
SEARLE, JOHN (1984), *Minds, Brains, and Science*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
—— (1987), "Minds and Brains Without Programs," in Blakemore and Greenfield, pp. 208-233.
SHAPERE, DUDLEY (1974), "Scientific Theories and Their Domains," in Suppe, pp. 518-565.

SHAPIN, STEVEN and SIMON SCHAFFER (1985), *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton: Princeton University Press.

SHELDRAKE, RUPERT (1981), *A New Science of Life: The Hypothesis of Formative Causation*. Los Angeles: Tarcher.

SHEPPARD, P. M. (1975), *Natural Selection and Heredity*. 4th ed. London: Hutchinson.

SIMON, HERBERT A. (1977), *Models of Discovery and Other Topics in the Methods of Science*. Boston: Reidel.

SIMPSON, GEORGE GAYLORD (1964), *This View of Life: The World of an Evolutionist*. New York: Harcourt, Brace, & World.

SKINNER, B. F. (1953), *Science and Human Behavior*. New York: Macmillan.

—— (1972), *Beyond Freedom and Dignity*. New York Bantam/Vintage.

SKLAR, LAWRENCE (1967), "Types of Inter-Theoretic Reduction," *The British Journal of the Philosophy of Science 18*: 109-124.

—— (1974), *Space, Time, and Spacetime*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

SNEED, JOSEPH D. (1971), *The Logical Structure of Mathematical Physics*. Dordrecht: Reidel.

SOBER, ELLIOTT (ed.) (1984a), *Conceptual Issues in Evolutionary Biology: An Anthology*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.

—— (1984b), *The Nature of Selection: Evolutionary Theory in Philosophical Focus*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.

SPIRTES, PETER LAURENCE (1981), "Conventionalism and the Philosophy of Henri Poincaré." Ph.D. Dissertation, University of Pittsburgh.

SPIRTES, PETER; CLARK GLYMOUR; and RICHARD SCHEINES (forthcoming), *Causality, Prediction and Search*. New York: Springer-Verlag.

STAUFFER, ROBERT C. (ed.) (1949), *Science and Civilization*. Madison, WI; University of Wisconsin Press.

STERN, CURT and EVA R. SHERWOOD (eds.) (1966), *The Origins of Genetics: A Mendel Source Book*. San Francisco: Freeman.

STIGLER, STEPHEN M. (1986), *The History of Statistics: The Measurement of Uncertainty Before 1900*. Cambridge: MA: Belknap Press of Harvard University Press.

STRAWSON, P. F. (1952a), "Inductive Reasoning and Probability," in Strawson, pp. 233-263.

—— (1952b), *Introduction to Logical Theory*. London: Methuen.

SUPPE, FREDERICK (ed.) (1974), *The Structure of Scientific Theories*. Urbana: University of Illinois Press.

—— (1989), *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*. Chicago: University of Chicago Press.

SUPPES, PATRICK (1957), *Introduction to Logic*. Princeton: Van Nostrand.

—— (1966), "A Bayesian Approach to the Paradoxes of Confirmation," in Hintikka and Suppes, pp. 198-207.

—— (1967), "What Is a Scientific Theory?" in Morgenbesser, pp. 55-67.

—— (1970), *A Probabilistic Theory of Causality*. Amsterdam: North-Holland.

TAYLOR, EDWIN F. and JOHN ARCHIBALD WHEELER (1966), *Spacetime Physics*. San Francisco: Freeman.

Theoretical Medicine. Dordrecht: Reidel.

VAN FRAASSEN, BAS C. (1980), *The Scientific Image*. Oxford: Clarendon Press.

—— (1983), "Theory Comparison and Relevant Evidence," in Earman, pp. 27-42.

—— (1988), "The Problem of Old Evidence," in Austin, pp. 153-165.

VAN HEIJENOORT, JEAN (ed.) (1967), *From Frege to G del: A Source Book in Mathematical Logic*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

VAN HERIK, JUDITH (1982), *Freud on Femininity and Faith*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

VAN INWAGEN, PETER (1982), "The Incompatibility of Free Will and Determinism," in Watson, pp. 46-58.

VENN, JOHN (1866), *The Logic of Chance: An Essay on the Foundations and Province of the Theory of Probability, with Especial Reference to its Application to Moral and Social Science*. 1st ed. London: Macmillan.

—— ([1888] 1962), *The Logic of Chance*. 4th ed. New York: Chelsea.

VIRCHOW, R. (1849), "Wissenschaftliche Methode und therapeutische Standpunkte," *Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und für klinische Medicin 2*: 37.

VISION, GERALD (1988), *Modern Anti-Realism and Manufactured Truth*. London: Routledge.

WAINWRIGHT, S. A.; W. D. BIGGS; J. D. CURREY; and J. M. GOSLINE (1982), *Mechanical Design in Organisms*. Princeton: Princeton University Press.

WALD, ROBERT M. (1984), *General Relativity*. Chicago: University of Chicago Press.

WATSON, GARY (ed.) (1982), *Free Will*. Oxford: Oxford University Press.

WATSON, JAMES D., NANCY H. HOPKINS; JEFFREY W. ROBERTS; JOAN ARGETSINGER STEITZ; and ALAN M. WEINER (1987), *Molecular Biology of the Gene*. 4th ed. Two volumes. Menlo Park, CA: Benjamin/Cummings.

WATSON, JOHN B. (1919), *Psychology from the Standpoint of a Behaviorist*. Philadelphia: Lippincott.

WEBER, BRUCE H.; DAVID J. DEPEW; and JAMES D. SMITH (eds.) (1988), *Entropy, Information, and Evolution: New Perspectives on Physical and Biological Evolution*. Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.

WEISS, PAUL A. (1969), "The Living System: Determinism Stratified," in Koestler and Smythies, pp. 3-42.

WEIZENBAUM, JOSEPH (1976), *Computer Power and Human Reason: From Judgment to Calculation*. San Francisco: Freeman.

WEYL, HERMANN ([1949] 1963), *Philosophy of Mathematics aud Natural Science*. Translated by Olaf Helmer. New York: Atheneum.

WHEELER, JOHN ARCHIBALD and WOJCIECH HUBERT ZUREK (eds.) (1983), *Quantum Theory and Measurement*. Princeton: Princeton University Press.

WHEWELL, WILLIAM (1837), *History of the Inductive Scieuces*. London: Parker.

WIGNER, EUGENE P. (1970), "On Hidden Variables and Quantum Mechanical Probabilities," *American Journal of Physics 38*: 1005-1009.

WILF, HERBERT S. (1986), *Algorithms aud Complexity*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

WILLIAMS, DONALD CARY (1947), *The Ground of Induction*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

WILLIAMS, GEORGE C. (1966), *Adaptation and Natural Selection: A Critique of Some*

Current Evolutionary Thought. Princeton: Princeton University Press.

WILLIAMS, JUANITA H. (1977), *Psychology of Women: Behavior in a Biosocial Context*. New York: Norton.

WILSON, DAVID SLOAN (1984), "Individual Selection and the Concept of Structured Demes," in Brandon and Burian, pp. 272-291.

WIMSATT, WILLIAM C. (1976), "Reductive Explanation: A Functional Account," in Cohen, Hooker, Michalos and van Evra, pp. 671-710.

WINCH, PETER (1958), *The Idea of a Social Science and Its Relation to Philosophy*. London: Routledge & Kegan Paul.

WINNIE, JOHN A. (1970), "Special Relativity Without One-Way Velocity Assumptions," *Philosophy of Science 37*: 81-99, 223-238.

—— (1977), "The Causal Theory of Space-time," in Earman, Glymour and Stachel, pp. 134-205.

WITTGENSTEIN, LUDWIG (1953), *Philosophical Investigations*. Translated by G. E. M. Anscombe. Oxford: Blackwell.

—— ([1922] 1955), *Tractatus Logico-Philosophicus*. London: Routledge & Kegan Paul.

WOHWILL, JOACHIM F. (1963), "Overconstancy in Distance Perception as a Function of the Texture of the Stimulus Field and Other Variables," *Perceptual and Motor Skills 17*: 831-846.

WOOLGAR, STEVE (1988), *Science: The Very Idea*. London: Tavistock.

WRIGHT, CRISPIN (1980), *Wittgenstein on the Foundations of Mathematics*. London: Duckworth.

WRIGHT, LARRY (1976), *Teleological Explanatious: An Etiological Analysis of Goals and Functions*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

ZARIN, DEBORAH A. and STEPHEN G. PAUKER (1984), "Decision Analysis as a Basis for Medical Decision Making: The Tree of Hippocrates," *The Journal of Medicine and Philosophy 9*:181-213.

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΝΟΜΑΤΩΝ

Αβογκάντρο (Avogadro), 67
Αγιάλα, Φρανσίσκο (Ayala, Francisco), 418
Αινστάιν, Αλβέρτος (Einstein, Albert), 249
Άκερμαν, Τόμας (Ackermann, Thomas), 152, 161
Άμπελσον, Ρόμπερτ (Abelson, Robert), 499
Αντόρνο, Τέοντορ (Adorno, Theodor), 588
Άπελ, Κάρλ-Όττο (Apel, Karl-Otto), 588-589
Αρίσταρχος, 200
Αριστοτέλης, 11, 100, 359, 411-413, 415, 483
Αρντσένιους, Φράνκ (Arntzenius, Frank), 338
Άτνηβ, Φρέντ (Attneave, Fred), 498

Βάιλ, Χέρμαν (Weyl, Hermann), 40, 574, 158, 266
Βάινμπεργκ, Γ. (Weinberg, W.), 384, 417, 427
Βάις, Πόλ (Weiss, Paul), 438
Βάιτσενμπάουμ, Τζόζεφ (Weizenbaum, Joseph), 487
Βεν, Τζον (Venn, John), 100
Βίγκνερ, Ούγκεν (Wigner, Eugene), 352
Βίρτσοου, Ρ. (Virchow, R), 432, 435
Βίτκενσταϊν, Λούντβιχ (Wittgenstein, Ludwig), 113, 187, 201

Γαλιλαίος (Galileo), 21, 38, 206, 301, 334, 336
Γιούελ, Γουίλιαμ (Whewell, William), 377
Γιόχανσεν (Johannsen, W.), 378
Γκάιφμαν, Χάιμ (Gaifman, Haim), 121
Γκάλισον, Π. Λ. (Galison, P.L.), 240, 242
Γκάρμπερ, Ντάνιελ (Garber, Daniel), 129-130
Γκέντελ, Κουρτ (Gödel, Kurt), , 152, 176
Γκίλις, Ντόναλντ (Gillies, Donald), 128-129
Γκιμπς, Τζόσια Γουίλαρντ (Gibbs, Josiah Willard), 148
Γκίμπσον, Τζ. Τζ. (Gibson, J.J.), 501-502, 504-505, 507
Γκιρ, Ρόναλντ (Giere, Ronald), 164
Γκιρτς, Κλίφορντ (Geertz, Clifford), 573-574
Γκλάικ, Τζέιμς (Gleick, James), 325
Γκλύμουρ, Κλαρκ (Glymour, Clark), 66, 68
Γκόρυ, Αντονυ (Gorry, G. Antony), 553-554
Γκόσσε, Φίλιπ (Gosse, Phillip), 142
Γκούντμαν, Νελσων (Goodman, Nelson), 136, 177
Γκραντ, Πήτερ (Grant, Peter), 397-398
Γκρέγκορυ, Ρίτσαρντ (Gregory, Richard), 496-498
Γκρέυ, Αζα (Grey, Asa), 415
Γκρύνμπάουμ, Αντολφ (Grunbaum, Adolf), 487-488
Γουάιτχεντ, Αλφρεντ Νόρθ (Whitehead, Alfred North), 154, 184
Γουάτσον, Τζέιμς (Watson, James), 447,

461, 491
Γουίλσον, Ντέιβιντ Σλόαν (Wilson, David Sloan), 407, 427
Γουίμσατ, Γουίλιαμ (Wimsatt, William), 439, 447-448, 459-460, 463-464
Γουίνυ, Τζον (Winnie, John), 265
Γούλγκαρ, Στίβ (Woolgar, Steve), 246
Γουότκινς (Watkins), 443

Δαρβίνος, Κάρολος (Darwin, Charles), 11, 374-376, 396, 399, 407, 416

Edidin, Aron, 68
Έϊγιερ, Α. Τζ. (Ayer, A.J.), 176
Ένγκελ, Τζορτζ (Engel, George), 435, 437, 471, 477-478
Ένγκλεχαρντ, Τρίστραμ (Englehardt, Jr., H. Tristram), 432, 473
Ευκλείδης, 256, 314, 510

Ζίτκοφ, Γιαν (Zytkow, Jan), 548

Ήρμαν, Τζον (Earman, John), 310

Καλπ, Σύλβια (Culp, Silvia), 465
Κανιτζάρο, Στανισλάο (Cannizzaro, Stanislao), 547-548
Καντ, Ιμάνιουελ (Kant, Immanuel), 145, 147, 176
Κάντελ, Ερικ (Kandel, Eric R.), 478
Κάντορ, Γκέοργκ (Cantor, Georg), 514, 517, 527
Κάρναπ, Ρούντολφ (Carnap, Rudolf), 194
Καρτέσιος, Ρενέ (Descartes, Rene), 206, 485
Καρτράϊτ, Νάνσι (Cartwright, Nancy), 186
Κέλλυ, Ντέιβιντ (Kelly, Kevin), 176-177
Κέπλερ, Γιοχάνες (Kepler, Johannes), 16
Κίτσερ, Φίλιπ (Kitcher, Philip), 176, 478
Κλάιν, Φέλιξ (Klein, Felix), 276
Κλαρκ, Σάμιουελ (Clark, Samuel), 311, 491
Κόλινγουντ, Ρ. (Collingwood, R. G.), 570, 589
Κονβέρς, Φίλιπ (Converse, Philip), 581, 584
Κοπέρνικος (Copernicus), 139, 200, 226, 252
Κουάιν, Γ.Φ.Ο. (Quine, W.V.O.), 162
Κουν, Τόμας (Kuhn, Thomas), 132, 168, 200, 202-203, 443
Κρέτσμαν, Εριχ (Kretschmann, Erich), 266
Κρόνεκερ, Λεοπόλντ (Kronecker, Leopold), 514-515, 517

Λα Μετρί, Τζυλιέν ντε (La Mettrie, Julien de), 512
Λαβουαζιέ, Αντουαν (Lavoisier, Antoine), 241, 444
Λάιμπνιτς, Γκοτφριντ (Leibniz, Gottfried), 192, 318-319
Λακάν, Ζακ (Lacan, Jacques), 487
Λάκατος, Ιμρε (Lakatos, Imre), 183, 208-210
Λαμάρκ, Ζαν -Μπατιστ (Lamark, Jean Baptiste), 416
Λάνγκλευ, Πατ (Langley, Pat), 564
Λαουντάν Λάρυ (Laudan, Larry), 246
Λαπλάς, Πιερ-Σιμον ντε (Laplace, Pierre Simon de), 96
Λάρμορ, Τζοζεφ (Larmor, Joseph), 330
Λατούρ, Μπρουνό (Latour, Bruno), 246
Λέβυ, Σάντρα (Levy, Sandra), 472
Λέννοξ, Τζειμς (Lennox, James), 12, 26
Λιούιν, Μπέντζαμιν (Lewin, Benjamin), 461
Λιούις, Κ.Ι. (Lewis, C.I.), 153
Λοκ, Τζον (Locke, John), 167
Λόρεντς (Lorentz, H.A.), 254, 295-296, 304, 328, 338
Λουλ, Ραμόν (Lull, Ramon), 511-512, 564

Μαγκουάιρ, Τζ. Ε (McGuire, J.E.), 179
Μάκαμερ, Πήτερ (Machamer, Peter), 483
Μάκιντάιρ, Αλασντάιρ (MacIntyre, Alasdair), 581
Μάλαμεντ, Ντέιβιντ (Malament, David), 250, 270, 305-309

Μάνσον, Ρόναλντ (Munson, Ronald G.), 478
Μάξγουελ, Τζέιμς-Κλαρκ (Maxwell, James Clerk), 39, 254, 323-324, 330, 336-338
Μαρκούσε, Χέρμπερτ (Marcuse, H.), 126, 312, 492, **588**
Μάυρ, Ερνστ (Mayr, Ernst), 418, 464
Μαχ, Ερνστ (Mach, Ernst), 190
Μέντελ, Γκρέγκορ (Mendel, Gregor), 381, 383
Μερέ (Mere, Chevalier de), 86, 89
Μέρντοκ, Τζορτζ (Murdock, George), 584
Μιλ, Τζον-Στιούαρτ (Mill, John Stuart), 475
Μίλερ, Ντέιβιντ (Miller, David), 127, 432
Μινκόβσκι, Χέρμαν (Minkowski, Hermann), 295
Μολιέρος, Ζαν Μπατίστ (Moliere, Jean Baptiste), 492, 498
Μόργκαν, Τ. (Morgan, T.H.), 378-379, 448
Μουρ, Τζορτζ Εντουαρντ (Moore, George Edward), 477
Μπάρνετ, Μακφάρλεϊν (Burnet, Macfarlain), 472
Μπάρνετ, Όκτο (Barnett, G. Octo), 472, 553-554
Μπάρνς, Μπάρι (Barnes, Barry), 221
Μπασελάρ, Γκαστόν (Bachelard, Gaston), 184, 200, 239
Μπέϊτσον, Γουίλιαμ (Bateson, William), 378
Μπέργκερ, Πήτερ (Berger, Peter), 236
Μπήβερ, Τόμας (Bever, Thomas), 493
Μπιουκάναν, Μπρούς (Buchanan, Bruce), 551
Μπίτυ, Τζόν (Beatty, John), 402-403, 418
Μπλούρ, Ντέιβιντ (Bloor, David), 221, 225
Μπόγκ, Πήτερ (Boag, Peter), 396-397
Μποσάμπ, Τόμ (Beauchamp, Tom), 474, 478
Μπόϋλ, Ρόμπερτ (Boyle, Robert), 16
Μπουρντιέ, Πιέρ (Bourdieu, Pierre), 239
Μπράντον, Ρόμπερτ (Brandon, Robert N.), 413
Μπράουερ, Λ. Ε. (Brouwer, L.E.), 192
Μπρέιθγουέητ, Ρ. (Braithwaite, R. B.), 12
Μπρέιμπρουκ, Ντέιβιντ (Braybrooke, David), 594
Μπρεντάνο, Φράντς (Brentano, Franz), 512
Μπρίτζμαν, Πέρσυ (Bridgeman, Percy), 140
Μπρόουντ, Τ. Ν. (Broad, C.D.), 74
Μπρούκε, Έρνστ (Brucke, Ernst), 512
Μπρούμπεργκερ, Συλβέν (Bromberger, Sylvain), 22
Μπρούνερ, Τζέρομ (Bruner, Jerome), 494-496
Νάγκελ, Ερνεστ (Nagel, Ernest), 12, 442-443, 445, 447, 459, 462, 466, 477-478
Νεύτων, Ισαάκ (Newton, Sir Isaac), 292, 397
Νικό, Ζαν (Nicod, Jean), 61
Νιούμαν, Οσκαρ (Newman, Oscar), 581, 584-585
Νόρτον, Τζον (Norton, John), 311, 548
Νόυμαν, Τζ. Φον (Newmann, J. von), 345, 581
Νόυρατ, Οττο (Neurath, Otto), 187, 191
Νταν, Μίκαελ (Dunn, J. Michael), 129
Ντάου, Κ.Μ. (Dawe, C.M.), 439
Ντε Βρις, Ούγκο (De Vries, Hugo), 379
Ντε Φινέτι (De Finetti), 123
Ντέηβιντσον, Ντόναλντ (Davidson, Donald), 162
Ντένετ, Ντάνιελ (Dennett, Daniel C.), 486
Ντομπζάνσκι, Θεοδόσιος (Dobzhansky, Theodosius), 417
Ντρέυφους, Χιούμπερτ (Dreyfus, Hubert), 487
Ντρίς, Χάνς (Driesch, Hans), 438
Ντυέμ, Πιέρ (Duhem, Pierre), 169-170, 190, 263
Ντυλόν, Π. Λ (Dulong, P.L.), 140
Ντυμά, Ζαν Μαρί (Dumas, Jean Marie), 140
Ντυρκέμ, Εμίλ (Durkheim, Emile), 585-586
Όλμπυ, Ρόμπερτ (Olby, Robert), 447-448

Όπενχάιμ, Πώλ (Oppenheim, Paul), 28
Οσιάντερ, Α. (Osiander, A), 156

Πάνετ, Ρ. (Punnett, R.C.), 381, 383
Πάουλινγκ, Λίνους (Paouling, Linus), 31
Παπινώ, Νταίιβιντ (Papineau, David), 578-579, 595
Πασκάλ, Μπλέζ (Pascal, Blaise), 86
Πάτναμ, Χίλαρυ (Putnam, Hilary), 160, 176
Πεάνο, Τζιουζέπε (Peano, Giuseppe), 518-519, 528, 562, 154
Πελεγρίνο (Pellegrino), 431, 434
Περς, Τσαρλς-Σάντερς (Peirce, Charles Saunders), 104, 496
Πετί, Α.Τ. (Petit, A.T.), 159, 167
Πιαζέ, Ζαν (Piaget, Jean), 495
Πίκερινγκ, Άντριου (Pickering, Andrew), 227, 240, 242
Πίντς, Τρέβορ (Pinch, Trevor), 227
Πίτς, Βάλτερ (Pitts, Walter), 513
Πλανκ, Μαξ (Planck, Max), 319-320, 364
Πολάνυϊ, Μάικλ (Polanyi, Michael), 239
Ποντόλσκυ, Μπόρις (Podolsky, Boris), 346, 362
Πόππερ, Σερ Καρλ (Popper, Sir Karl), 137
Πότερ, Μέρι (Potter, Mary), 496
Πουανκαρέ, Ανρί (Poincare, Henri), 140, 150, 257-258
Πρωταγόρας, 226

Ράδερφορντ, Ε. (Rutherford, E.), 132, 542, 544
Ράιλ, Γκίλμπερτ (Ryle, Gilbert), 574
Ράιλτον, Πήτερ (Railton, Peter), 44
Ράιχενμπαχ, Χανς (Reichenbach, Hans), 166
Ράσελ, Μπέρντραντ (Russell, Bertrand), 122, 124, 188, 484
Ρικέρ, Πωλ (Ricoeur, Paul), 487
Ρόζενμπεργκ, Αλεξάντερ (Rosenberg, Alexander), 373, 439, 443, 461
Ρομπ, Άλφρεντ Ρ. (Robb, Alfred R.), 265
Ρόουζεν, Νέιθαν (Rosen, Nathan), 346, 362
Ρόρτυ, Ρίτσαρντ (Rorty, Richard), 171

Σάιμον, Χέρμπερτ (Simon, Herbert), 513, 542, 487
Σάλμον, Μέριλι (Salmon, Merrillee), 565
Σάπες, Πάτρικ (Suppes, Patrick), 559, 120-122, 164
Σαπήρ, Νταντλευ (Shapere, Dudley), 444
Σάπι, Φρέντερικ (Suppe, Frederick), 164
Σάπιν, Στίβεν (Shapin, Steven), 226-231
Σάρκαρ, Σάχορτα (Sarkar, Sahorta), 464
Σάφερ, Σάιμον (Schaffer, Simon), 226-231
Σάφνερ, Κένεθ (Schafner, Kenneth), 373, 439, 443, 447, 467, 471
Σβαρτς, Τζέημς (Schwartz, James), 449, 451, 477
Σίμσον, Τζόρτζ (Simpson, George), 421, 438
Σκίνερ, Μ.Φ. (Skinner, B.F.), 587, 491-492, 497
Σκρίβεν, Μάικλ (Scriven, Michael), 25, 39
Σλίκ, Μόριτς (Schlick, Moritz), 249
Σνήντ, Τζόζεφ (Sneed, Joseph), 164, 442
Σόμπερ, Έλιοτ (Sober, Elliott), 409
Σπάιρτς, Πίτερ (Spirtes, Peter), 308
Σρέντινγκερ, Ε. (Schroedinger, E.), 342-343, 345, 366
Στρώσον, Π.Φ. (Strawson, P.F.), 76

Τβέρσκυ, Άμος (Tversky, Amos), 580
Τζένκιν, Φλημινγκ (Jenkin, Fleeming), 380, 419-420, 424, 426
Τζέφρυ, Ριτσαρντ (Jeffrey, Richard), 123, 127-130
Τιούρινγκ, Αλαν (Turing, Alan), 529-530
Τούλμιν, Στέφεν (Toulmin, Stephen), 156
Τσερτς, Αλόνζο (Church, Alonzo), 525-528, 195, 332
Τσέρτσλαντ, Πατρίτσια (Churchland, Patricia)
Τσέρτσλαντ, Πώλ (Churchland, Paul), 443
Τσίλντρες, Τζέιμς (Childress, James), 445
Τσίσολμ, Ρόντερικ (Chisholm, Roderick M.), 359
Τσόμσκυ, Νόαμ (Chomsky, Noam), 492

Φαϊεράμπεντ, Πωλ (Feyerabend, Paul),

216-218, 246, 443
Φαν Ινβάγκεν, Πίτερ (Van Inwagen, Peter), 361
Φαν Φράασεν, Μπας (Van Fraasen, Bas), 42-43, 164, 186
Φέιγκλ, Χέρμπερτ (Feigl, Herbert), 77, 319
Φέινμαν, Ριτσαρντ (Feynman, Richard), 163
Φερμά, Πιέρ ντε (Fermat, Pierre de), 86
Φίσερ, Ρόναλντ (Fisher, Ronald), 562
Φόντορ, Τζέρυ (Fodor, Jerry), 493
Φόρστρομ, Λη (Forstrom, Lee A.), 433
Φρέγκε, Γκότλομπ (Frege, Gottlob), 513-514, 517, 151-152, 158, 192
Φρίντμαν, Μάικλ (Friedman, Michael), 39-40, 147, 304, 469
Φρόιντ, Ζίγκμουντ (Freud, Sigmund), 512
Φροστ, Γουίλιαμ (Frost, William), 455

Χάιντεγκερ, Μάρτιν (Heidegger, Martin), 201, 239
Χάκινγκ, Ιαν (Hacking, Ian), 239
Χαλ, Ντέιβιντ (Hull, David), 210
Χάλλευ, Εντμουντ (Halley, Edmund), 13
Χάμπερμας, Γιούργκεν (Habermas, Jurgen), 588, 487
Χάνσον, Νόργουντ (Hanson, N.R.), 428
Χάρντυ, Τζ. (Hardy, G.H.), 562, 381, 384, 417, 427
Χέμπελ, Καρλ (Hempel, Carl G.), 12, 16-17, 28, 49, 61, 136
Χέρσελ, Τζον (Herschel, John), 377
Χέρτς, (Hertz, H.R.), 254
Χιούμ, Ντέιβιντ (Hume, David), 69, 137
Χολμς, Φρέντερικ (Holmes, Frederick), 240
Χόμανς, Τζοορτζ (Homans, George), 569
Χόμπαρτ (Hobart, R.E.)t, 357-358
Χομπς, Τόμας (Hobbes, Thomas), 192, 226
Χόργουιτς, Πώλ (Horwich, Paul), 121, 232
Χορκχάιμερ, Μαξ (Horkheimer, Max), 588
Χόυχενς, Κρίστιαν (Huygens, Christian), 86
Χόχμπεργκ, Τζούλιαν (Hochberg, Julian), 498

ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

A priori, 83
  απόδειξη, 516
  γνώση, 147-148, 154
  κανόνας, 80
  συλλογισμός, 71, 149
Αδράνεια, νόμος 145-46
Αδρανειακή κίνηση, 251-52, 289
Αιμοσφαιρίνη, 391, 412-13
Αϊνστάιν
  Αρχή της ισοδυναμίας, 301-02
  Σχετικιστική δυναμική, 218
Αισθήσεις, 500-505
Αιτιακή
  αλληλεπίδραση μεταξύ επιπέδων, 436
  γενίκευση, 458
  δομή, 560
    χωρόχρονου, 339
    χωρόχρονου Μινκόβσκι, 297-300
  εξήγηση, *βλ.* Εξήγηση, αιτιακή
  θεωρία, 383, 401
    χρόνου, 249-50, 265-70, 304-5, 314
  καμπύλη, 339
  κανονικότητα, 148
  μηχανισμός, 422
  μοντέλο, 376, 558
  νόμος, *βλ.* Νόμος, αιτιακός
  ρόλος, 167
  σύνδεση, 41, 71
    αναγκαία, 143
  σχέση, 48, 22-25, 40-41, 69-74, 406, 425, 444, 560, 565, 594
  Βλ. επίσης Ντετερμινισμός.
Αιτιότητα, 232, 578
  Αϊνστάιν, 354, 356
  αρχές Μάξγουελ, 324
  κοινωνική, 223-24, 585
  Νόμος Καθολικής Αιτιότητας του Κάντ, 147-49, 319-20
  πεποιθήσεων, 220-44, 586-87
  πρόβλημα του Χιούμ, 41
Ακτινολόγος, 398
Αλάθητο, 199
Άλγεβρα, 510
Αλγόριθμοι, 510-20, 525, 527-9, 562-3
  ανυπαρξία αυτών, 519
Αλήθεια, 144, 207, 212, 219, 231
  συνάρτηση, 79-80, 190
  υπερχρονική, 181
Αληθοφάνεια, 219
Αλλαγή
  εξελικτική, 387, 398-99, 409-10
    αιτία της, 398-99, 426-27
  κοινωνική, 590
Άλογο
  εξέλιξη δοντιών, 388-90, 403, 408, 414, 421-22
  εξέλιξη οπλών, 393-96, 406, 408, 411, 414, 422-27
Αλτρουισμός, 410
Άμεση επικύρωση κατά Χέμπελ, 64
Αμοιβαίως αποκλειόμενα, 87, 90-91
Αμφισημία των Ε-Σ εξηγήσεων, 28
Ανάγκη, 221
Αναγνώριση, 495
Αναγωγή, 187, 203, 431, 431-79, 586
  αιτιακό-μηχανικό μοντέλο, 461-68
  γενικό μοντέλο αναγωγής-αντικατάστασης ΓΑΑ, 443-46, 456, 462-68, 471, 476-77
  διαθεωρητική, 439
  επιστημική, 463
  επιστημονικού γεγονότος σε κοινωνικό γεγονός, 238, 244-45
  ιστορική προσέγγιση, 441-49
  και εξήγηση, 448, 468-71
  κλαδική, 446

κλασικής γενετικής στη μοριακή γενετική, 439
μεθοδολογική, 437, 477
μερικό μοντέλο, 459, 468
μοντέλο Νάγκελ, 442-43, 477
νου στον εγκέφαλο, 238, 439-441, 486
οντολογική, 228-29, 437, 477
προβλεπτικής ισχύος, 114
σολιψιστική, 186
στη νευροβιολογία, 456-61
χρόνου σε αιτιότητα, 249, 264-66
Αναδυτισμός, 438, 476
Ανακάλυψη, 174, 208, 235, 509, 547-8, 562
Αναλλοίωτη διάρκεια, 279
Αναλοίωτο υπό αντιστροφές χρονικού προσανατολισμού, 322
Αναλυτική αλήθεια, 147, 159
Αναμενόμενη χρησιμότητα, 554, 577-80
Αναπαραγωγική επιτυχία, 400, 402-04, 409, 418
διαφορική, 399, 402, 407
πραγματική, 403-04, 409
Αναπαράσταση
θεώρημα, 123
νοητική, 182
πραγματικότητας, 206
Ανάπτυγμα (υπόθεσης), 63
Ανάπτυξη, 495
ψυχοσεξουαλική, 489
Αναρχισμός, 215-19
Αναστοχαστικό κριτήριο, 222
Ανεξαρτησία του νου από τον κόσμο, 199
Ανεξαρτησία, 88-89, 396-97
αποτελέσματος, 352
διατάξεως, 352
Άνθρακας, 26
Ανθρώπινη, -α
ανάγκη, 226
δικαιώματα, 591
δραστηριότητα, 180, 228
Ανθρωπιστικές επιστήμες, 206
Ανθρωπολογία, 566, 570
γνωσιακή, 573
πολιτισμική, 170
συμβολική, 573
της επιστήμης, 182-4, 230-38
Ανθρωπομορφισμός, 11, 413-15, 486
Ανισότητες του Μπελ, 350-6, 360
Ανισοτροπία, 280
Ανοιχτά συστήματα, 333-36
Ανοσοποιητικό, -ή
επιτήρηση, 472
σύστημα, 435, 437, 473
Ανταλλαξιμότητα, 125
Αντανακλαστικό βραγχιο-σιφωνικής απόσυρσης, 451
Αντιαναγωγισμός, 438
Αντιβιοτικά, 432, 435
Αντιγεγονικό, -ή, -ές
λογική, 356
προσδιορισιμότητα, 356
υποθετικές αποφάνσεις, 19, 187, 581
Αντιεπαγωγικός κανόνας, 80, 117
Αντιεπαγωγισμός, 121
Αντιθεμελιωτισμός, 207, 215
Αντικειμενικότητα, 180-81, 196-97, 226, 233-34
Αντικείμενο,
γλώσσα, 192
κανονικό φυσικό, 185-86
Αντίκρουση, 55
Αντίληψη, 145-46, 182, 491, 494-96, 500-06
απόσταση, 503
κοινωνική διάσταση της, 164
Αντινομίες λόγου, 148-50, 160-62, 173
Αντιπροσωπευτικά δείγματα, 81, 418
Αντιρρεαλισμός, 234-5, 257, 263
Αντίφαση, 112
Αντλία κενού, 226
Ανώμαλη μετάπτωση του περιηλίου του Ερμή, 129-30
Ανωμαλία, 212-13
Αξιολογική κρίση, 592
Αξίωμα, 154-5, 516
Αξιώματα Πεάνο, 518-19, 528, 562
Αξιωματικοποίηση της σχετικότητας, 265-6
Απαίτηση μέγιστης εξειδίκευσης, 29
Άπειρη, -ο
διαιρετότητα, 149
σύνολο, 528
Απλότητα, 60
Αποβλεπτική κατάσταση, 225
Αποδεικτική αξία απολιθωμάτων, 142, 377, 388, 394, 421
διάστιξη, 398
Αποδεικτική βεβαιότητα, 212
Απόκριση, 527-29
Αποτέλεσμα, 96, 100, 104, 237
Απόφαση
θεωρία, 540,553, 560, 576-80
Απροσδιοριστία, 33-36, 250, 313-14, 357-59

και κβαντομηχανική, *βλ.* Κβαντομηχανική και απροσδιοριστία
στο επιχείρημα περί οπής, *βλ.* Επιχείρημα περί οπής
Απροσδιοριστία Χάιζενμπεργκ 172. *Βλ. επίσης* Κβαντομηχανική, πρόβλημα μέτρησης.
Απώθηση, 489
Άραβες μαθηματικοί, 510
Αριθμήσιμη προσθετικότητα, 123
Αριθμητική, 147-48, 511, 514-20
Αριθμός
θεωρία, 514-15
ορισμός, 185
πραγματικός, 271-72, 276, 279-84
ανισότροπη δομή, 272
πρώτος, 520
φυσικός, 151, 332, 514-20, 527
Aplysia, 450-59, 465-468, 470, 479-478
Αρμονικός ταλαντωτής, 163
Αρμοστικότητα, 386-87, 396-410, 427
ορισμός, 400-01
ως σχετική συχνότητα επιβίωσης, 386
Άρνηση, 37, 62
Αρχή επαληθευσιμότητας νοήματος, 155-59, 255
Αρχή
της αδιαφορίας, 98-100
της ανοχής, 187
της εξοικείωσης, 188
του Αποχρώντος Λόγου του Leibniz, 318
«Αρχή του ιδρυτή», 418
Αρχικές συνθήκες, 55, 457
Ασθένεια, 23, 433, 473
Ασθένεια Πάρκινσον, 440
Αστρολογία, 47, 75
Αστρονομία, 568
Ασυμβιβαστότητα, 357
Ασυμμετρία, 168, 179, 199-07, 211, 217, 226
Ασυνείδητο, 487-88
Ασυνέπεια, 218
Ατομικισμός, 587, 594
Ατομικό, -ή, -ές
βάρος, 67-8, 140, 159, 167, 548
γεγονός, 184, 189
θεωρία, 164
του Μπόρ, 169
του Ντάλτον, 169-0, 444
προτάσεις, 190-1
Ατομισμός, λογικός, 183, 188-194, 199
Ατύχημα Three Mile Island, 40
Αυτενέργεια, 66-68, 136, 544
Αυτοδιδασκαλία μηχανών, 541
Αυτοκαθορισμός, 476-77
Αυτοκτονία, 585-86
Αυτόματα πεπερασμένων καταστάσεων, 530, 531, 563
στοχαστικά, 530
Αυτονομία, 567, 570, 594
Αυτοσυζυγείς τελεστές, 344
Αφινική δομή, 293

AIDS, 40, 470, 472

Βαθμίδα υφής, 501-05
Βαθμός. *Βλ. επίσης* Επικύρωση, Επαγωγή.
επικύρωσης, 111-17, 194
πεποίθησης, 106-11
Βαρόμετρο, 23
Βάρος, 114, 115, 515. *Βλ. επίσης* Ατομικό βάρος, θεωρία του.
Βελτιστοποίηση, 393, 406, 422-25, 428
Βιοϊατρική επιστήμη, 434-39, 470, 476
βιοσυνθετικά μονοπάτια 413
βιοψυχοκοινωνικό υπόδειγμα, 435-37, 477
Βιολογία, 40, 103, 191, 232, 432-79, 490
βιοενεργητική 408, 414
βιοχημεία 417, 423, 456, 461, 477-8
Βιταλισμός, 11, 437, 477
Βιταμίνη C, 31-32, 36, 60
Βραδυόνια, 338

Γαλιλαϊκός
μετασχηματισμός, 336
νόμος προσθέσεων ταχυτήτων, 334
Γαλιλαίος, νόμος του, 21, 38
Γεγονός
γεγονικό συμβάν, 228
εξωτερικό έναντι εσωτερικού, 571
Γεγονότα, 189, 233-36
γενικά μη αναγώγιμα, 190
κοινωνικά, 171, 220, 231, 238
διαχείριση γεγονότων, 226-230
συγκεκριμένα, 16
Γενετική, 373, 393, 420-426, 439, 447
Γενετική παρέκκλιση, 374, 384-85, 418-19
Γενετική Πληθυσμών, 381, 393, 402, 406, 409-10, 417, 422, 426-27

Γενίκευση
εμπειρική, 320
επαγωγική, 70
καθολική, 16-17, 55, 126, 581
νομοειδής, 20, 48, 187, 578, 581, 592
πολυεπίπεδη, 458
στατιστική, 132
συμπτωματική, 20, 48, 590
Γενότυπος, 379, 383, 400, 422
συχνότητες, 384-86, 402, 406-09
Γεωγραφική
απομόνωση, 427
κατανομή, 420
Γεωλογία, 426, 589
Γεωμετρία, 102, 148, 162, 261, 263, 441, 514
ευκλείδεια, 76, 529, 140, 147, 150, 256-59, 288, 314, 510
κίνησης, 206
μη ευκλείδεια, 150-52, 256-57
χώρου, 249, 314. *Βλ. επίσης* Συντεταγμένη.
Γεωμετρικό αντικείμενο, 279-81
Γεωφυσική, 103
Γκέντελ, θεώρημα του, 517-18, 562
Γλώσσα, 227
αριθμητικοποιώντας τη, 517
διακανονισμένη, 185
διάλυση διά της καθημερινής γλώσσας, 75
θεμελιώδης, 191
μαθηματικής θεωρίας, 515-17
ουδέτερη παρατήρησιακή, 205
παιχνίδια, 224-26
παρατηρησιακή, 158. *Βλ. επίσης* Λεξιλόγιο, παρατηρησιακό.
πρωτοκόλλου, 191
Ράσσελ, 189, 226
τυπική, 150-51, 160. *Βλ. επίσης* Λογική.
φυσική, 175, 492
Γλωσσικό, -ή
αναπαράσταση, 237
δίκτυο, 202
πλαίσιο, 206
πρακτική, 236
Γλωσσολογία, δομιστική, 202
Γνώση
αναγκαία συνθήκη γνώσης, 146
αναπαράσταση, 541
ανάπτυξη γνώσης, 207-11
άπειρη, 144-45
δομή γνώσης, 484
εμπειρική, 154
κανονιστική, 220
μέσω περιγραφής και μέσω εξοικείωσης, 189
πραγμάτων καθ'εαυτά, 142, 145-46
υπόβαθρο, 94-95, 108, 164-65, 175, 423
ως κοινωνικά καθορισμένη, 220-38
Γνωσιακή δέσμευση, 188
Γνωσιακός, -ή
ανθρωπολογία. *Βλ.* Ανθρωπολογία γνωσιακή
γνωσιακή αξία, 205
κοινότητα, 222
νόημα, 194-97
στάση προς τη θεωρία, 212
στόχοι, 225
της επιστήμης, 212
τάξη, 223
ψυχολογία, *βλ.* Ψυχολογία, γνωσιακή
Γνωσιοκρατία, 491, 494-00, 505-7.
Γνωσιολογία, 173-4, 484
καντιανή, 153, 172. *Βλ. επίσης* Υπερβατολογικό.
Γονίδια, 378, 413, 442, 448
ανασυνδυασμός, 417-18
Γράφημα, 539
Γυμνή ιδιομορφία, 341

Δαίμονας του Λαπλάς, 329
Δαίμονας, νοητικό πείραμα, 144, 149, 160
Δαρβινική θεωρία της εξέλιξης. *Βλ.* Εξέλιξη, δαρβινική θεωρία.
Δαρβινισμός, 410, 416-17, 427
Δεδομένα αισθήσεων, 184-85
Δημιουργικότητα, 216
Διάγνωση, *βλ.* Ιατρικό διαγνωστικό σύστημα
Διαγωνοποιητική στρατηγική του Κάντορ, 517
Διαδικασιοκρατία, 140, 492
Διάζευξη, 64, 112, 185
Διακανονισμένη δραστηριότητα, 195
Διάκριση, 492
Διαλεκτική, 235
Διαμερισμός, 37-38
Διαπαραδειγματικό κριτήριο εξατομίκευσης προβλημάτων, 205
Διασκορπιστικά δυναμικά συστήματα, 327
Διαστημικό λεωφορείο Τσάλεντζερ, 40
Διασύνδεση νευρικού, ανοσοποιητικού

και ενδοκρινικού συστήματος, 471-73
Διαφορική
εξίσωση, 548
επιβίωση, 399
μεταβίβαση, 390
προσαρμογή, 390, 399, 402, 407
αρχή διαφορικής προσαρμογής, 407
Διαφορική μορφή πρώτης τάξης, 279
Διάψευση, 197,210, 420, 488
Δίκτυο ALARM, 397, 560-1
Διυποκειμενική συμφωνία, 191, 197, 234-35
Δοκιμή και λάθος, 82
Δομικές περιγραφές, 115
Δομικές σχέσεις, 403
Δραστηριότητα, κοινωνική 227
Δρεπανοκυτταρική αναιμία, 391-93, 406-09, 439
Δυϊσμός. *Βλ. επίσης* Αναγωγή.
καρτεσιανός, 345
κοινωνίας, 220
νου
σύμπαντος, 182
φύσεως
Δυνάμει άπειρη ακολουθία, 101
Δυνατός κόσμος, 319
Δυνατότητα διακρίβωσης, 103

DELPHI, 548
DENDRAL, 550-51
DNA, 40, 73, 442, 470
ανασυνδυασμός, 439

Εγγενείς μετρικές ικανότητες, 264
Εγγύτητα, 71
Εγκέφαλος, 487, 532, 561
σε δοχείο 143, 176
Εγκυρότητα, παραγωγική, *βλ.* Παραγωγική εγκυρότητα
Εγώ, 489-90
Έθιμο, 170,174
Εθνογραφία, 277, 573
Είδη, 413
Εικασία, 194-97
και κατάρριψη, 82, 196
Εκκρεμές του Φουκώ, 253
Έκλειψη, 3-4, 21, 23
Εκμάθηση, 441
αντιεπαγωγική, 117
από την εμπειρία, 113
θεωρία, 468
στην *Aplysia*, 449-56
συμπεριφορική, 492-93
υπολογιστική, 541
Ελαστικότητα, 257, 403
Ελεγξιμότητα, 487, 566
Ελεγχόμενο διπλά τυφλό πείραμα, 31-32, 60
Ελεύθερη βούληση, 565-66, 570, 586-89, 594
ασυμβιβαστότητα (ισχυρός ντετερμινισμός), 357
και δικονομία, 587
ντετερμινισμός και απροσδιοριστία, 357-59
υπερσυμβιβαστότητα (ισχυρή απροσδιοριστία), 357
Έλληνες, αρχαίοι, 179, 256, 483
Ελονοσία, 391-93, 412
Έμπειρα συστήματα, 549-558
βασισμένα σε κανόνες, 552
Εμπειρική υποστήριξη, 214-15, 374, 396-99. *Βλ. επίσης* Επικύρωση.
Εμπειρικό περιεχόμενο, 29, 199, 211-15, 579
Εμπειρισμός, 190-94, 239
κλασικός, 485
λογικός, xiv-xv, 183, 188-194, 249, 594
ριζικός, 217-19
Ενδεχόμενο, 95-96, 108-09
Ενδοκρινικό σύστημα, 437. *Βλ. επίσης* Διασύνδεση νευρικού, ανοσοποιητικού και ενδοκρινικού συστήματος.
Ενίσχυση, 491-92, 588
Ενοποίηση, *βλ.* Εξήγηση, ενοποιητική προσέγγιση
Ενότητα επιστήμης, 191
Ένστικτο, 490
Ένταση συγκεκριμένης πληροφορίας, 580
Εντελέχεια, 11
Εντροπία, 445
Ένυλο λεξικό, 237
Εξέλιξη, 374-430, 470, 589
δαρβινική, 374-430
δοκιμασία της εξέλιξης 393, 399-419
λαμαρκική, 416-17
νεο-δαρβινική, *βλ.* Νεο-δαρβινισμός
Εξέχουσα πληροφορία, 44
Εξήγηση, 7-14, 153, 207, 223, 549

αιτιακή, 40, 48, 222, 410, 414
μηχανιστική, 40-41, 45, 48, 141, 463, 469
αναπτυξιακή εξήγηση, 412
βασισμένη στην επιλογή 406, 413. *Βλ. επίσης* Εξήγηση, εξελικτική.
βιοχημική, 412
γενετική, 413
δυνάμει, 15
ενοποιητική προσέγγιση, 38-41, 46-47, 207, 469
εξελικτική, 242, 373-430. *Βλ. επίσης* Εξέλιξη.
ιδανική, 375, 404
εξηγητική ισχύς, 216
εξηγητική πληροφορία, 44
επαγωγικο-στατιστική, 17, 25-36, 42, 47-48
κριτική, 30-33
επικαλύπτων νόμος, 17, 48, 576-580, 588, 594
«επιστημική» προσέγγιση, 463
ιδανικό εξηγητικό κείμενο, 44
ιστορική, 374, 412, 420
καθιερωμένη άποψη, 30, 38-41, 47
καθολική σύλληψη εξήγησης, 39
μοριακής βιολογίας, 459-61
νομοτελειακή, 574
νόμων, 16, 38-41
οντική προσέγγιση εξήγησης, 465, 469
παραγωγικο-νομολογική, 13-17, 22-36, 48, 442, 469
προβλήματα, 22-25
παραγωγικο-στατιστική, 17, 25-27, 48
πραγματολογική ανάλυση εξήγησης, 41-44
post hoc, 209
στατιστική, 25-38
στις κοινωνικές επιστήμες, 47, 566, 569, 573-74, 576-80, 590, 594
συγκεκριμένων δεδομένων, 16, 38-41
συμμετρία πρόβλεψης, 28, 47
συμπεριφορική 492. *Βλ. επίσης* Συμπεριφορισμός.
σχετικοί παράγοντες εξήγησης, 37-38
σχήματα εξήγησης, 373-74
τελεολογική, 12, 374, 428
ως αναγωγή στο οικείο, 12-13
ως απάντηση σε ερωτήματα, 5-7, 420
ως επιχείρημα, 8-11, 38
Εξηγητέο, 7, 15-17, 38, 460, 468
Εξηγούν, 7, 11-12, 15-17, 29, 38, 51, 460
Εξιδανίκευση, 101
μαθηματική, 101
Εξουσία, 227
Επαγωγή, 8-11, 29, 52, 61, 194-97
απαισιόδοξη, 169
γενική, 122-23
δικαιολόγηση επαγωγής, 74, 78-79
πραγματολογική, 84
δικαίωση, 77, 84-85
ειδική, 122
κύρωση επαγωγής, 77
με απαρίθμηση, 80, 122, 125-26, 131-33
νέος γρίφος επαγωγής, 69, 78, 81,132
πρόβλημα επαγωγής, 81-82, 122
του Χιούμ, 51, 69-85, 103, 132, 136, 144,148
Επαγωγική
γενίκευση, 132
διαίσθηση, 78-82
ορθότητα, 10
πρακτική, 79
στήριξη 27, 51, 56, 113, 127-29, 194, 422. *Βλ. επίσης* Επικύρωση.
σχέση, 113
Επαγωγισμός, 127
Επαλήθευση, 194-97, 252-53
Επαληθευσιμότητα, 195
εμπειρική, 483-84
κριτήριο, 195, 249, 312, 314
Επανάσταση, xvi, 168, 174, 179, 196, 200, 201-08, 245, 325
Επιγένεση, 405, 461
Επιδημιολογία 391, 423
Επιθυμίες, 569
Επικαθορισμός, 230
Επικοινωνία, 228, 233
Επικυρώνει κατά Χέμπελ, 64, 134-35. *Βλ. επίσης* Επικύρωση, υποθετική-παραγωγική.
Επικύρωση, 51-137, 153, 157-60, 166, 168, 174, 180, 197-98, 212, 419-27, 545, 549, 582
ανεξάρτητη, 425
επαυξητική, 117-18, 128-29
κατά υψηλή πιθανότητα, 117
κριτήριο Νικό, 61
μέσω στιγμιοτύπων, 117, 131, 196
Μπεϊσιανή, *βλ.* Μπεϊσιανή επικύρωση
πιθανοκρατική προσέγγιση, 119
ποιοτική, 52-69, 86, 117-18

ποσοτική, 86
συνάρτηση της επικύρωσης, 116-17
υποθετική-παραγωγική, 54-69, 82, 86, 120, 127-31, 552
Επιλογή συγγενών, 410
Επίλυση γρίφων, 201-03
Επίλυση προβλημάτων, 212-15
αποτελεσματικότητα, 212
μοντέλο επιστημονικής προόδου, 200-06, 213
Επίπεδα συνάθροισης, 468
Επίρρωση, 82, 126, 180
«Επιστήμη» της δημιουργίας, 13, 47, 400
Επιστήμη
επιτυχία της, 74-75
ιστορική, 588
κανονική, 201, 204-05, 208
κοινωνική, 413, 558
επισφαλής χαρακτήρας της, 591
κρίση μέσα στην επιστήμη, 200-01, 206-07
μη ακριβής, 568, 586
φυσική, 515, 567-69, 580-83, 588, 592-95
ως ανθρώπινη δραστηριότητα, 219-45
ως γνωσιακή δραστηριότητα, 549
ως δραστηριότητα που διέπεται από κανόνες, 201, 216, 230
ως δυνατότητα επίλυσης γρίφων, 201-02, 206
ως εμπρόθετη δραστηριότητα, 243
ως καθολική, 197
Επιστημονικός, -ή
αλλαγή, 179-246, 428
ανάπτυξη, 213
γνώση, όρια της, 160-65
Επανάσταση, 179
κατανόηση, 3, 46-47
κοινότητα, 162, 199-201, 245
πολιτισμός, 179, 225, 232
πρακτική, 193-94, 199, 216, 230-31, 236-37, 239-44
αυτονομία της, 244-45
πρόοδος, 180-81, 204, 207-19, 246, 413, 427
προσεγγίσεις πριν από Κουν, 183-99
Επιτάχυνση, 320, 336
Επιτυχία προβλέψεων, 82
Επιτυχία
αναπαραγωγική, 399-40, 402-407, 409, 418
προσαρμοστική, 418
Επιφάνεια Κωσύ, 339-40
Επιχείρημα, 7-13
γενικό, 80
εμπειρικό, 146
επαγωγικό, 8-9
παραγωγικό, 8-9, 14
Επιχείρημα περί οπής, 250, 310-14, 342
Εποπτεία, 147
χρόνου, 147
Εργαλειοκρατία, 140, 163
Εργαστήριο, 227, 230-35, 238, 241-43
Ερέθισμα, 492-500, 504, 587
Ερευνητικό, -ή
παράδοση, 212-17, 448
πρόγραμμα, 207-16, 219-20, 448, 461
εκφυλιζόμενο, 208, 427
Ερμηνειοκρατία, 570-74, 588, 592, 594
Ερμηνευτική, 236, 487
Ερμής, 59, 129-131
Ερωτήσεις
με «πώς», «ποιο», «γιατί», 4-5, 42-43, 410-11
μεταφυσική, 187
που επιδιώκουν εξήγηση, 6, 42
Εσωτερικοποίηση, 236
Ετεροζυγωτής, 384, 405
πλεονέκτημα, 391, 423-24
Ετέρωση, 391
Ευαισθητοποίηση, 451-58, 464
Ευκλείδειος, *βλ. επίσης* Γεωμετρία, ευκλείδεια.
χώρος, 43, 281-284, 289, 291-93, 343
διδιάστατος, 281, 286
τριδιάστατος, 288, 328
Ευλογοφάνεια, 136
Ευρετική, 544, 549, 558, 561-62
αρνητική και θετική, 208-09
Εφαρμοσιμότητα, 103

Ζευγωτό συμβάν, 87
Ζήλια, 490, 507
Ζήτημα μεμονωμένης περίπτωσης, 103

Ηλεκτρομαγνητισμός, 169, 254
εξισώσεις Μάξγουελ, 323, 334
Ηλεκτρονική, 169
Ήλιο, 4-άτομα, 97
Ηρεμία, απόλυτη, 289, 314

Θεμελιωτισμός, 199
Θεολογία, 11, 46
Θερμαινόμενη πλάκα, 258-61
Θερμιδική θεωρία, 170, 172
Θερμοδυναμική, νόμοι, 40, 148, 217
Θερμότητα
  εξίσωση διάδοσης θερμότητας Φουριέ, 335
  θερμοχωρητικότητα, 140
Θεσμοποίηση, 219
Θετικισμός, λογικός xv, xvi, 150-55, 182-83, 193, 244, 249, 312, 484
Θεώρημα Τζέφρι, 127
Θεωρητικός μονισμός, 217
Θεωρία, 154, 237-38, 401, 439-41, 447, 561-62
  αναγωγή, 458. *Βλ. επίσης* Αναγωγή.
  ανταγωνιστική, 171, 208
  αξιολόγηση, 216
  αξιωματικοποιήσιμη, 66, 458, 520, 528
  αποκρίσιμη, 528
  ασύμβατη, 174
  δομή της, 145
  εναλλακτική, 140
  έναντι παρατήρησης, 200. *Βλ. επίσης* Λεξιλόγιο, θεωρητικό και παρατηρησιακό.
  επιλογή, 183, 194, 205
  επιτυχία της, 420
  καθιερωμένη αντίληψη, 157-161, 166-73, 183
  κοινωνική, 184, 219-20, 223, 244-45
  περιεχόμενο, 140-41
  πλήρης, 346-47, 350, 518, 529
  πολλαπλασιασμός, 218
  σημασιολογική θεώρηση, 164, 270, 442, 464
  στατιστική, 417
  φορτισμένη από θεωρία, 168, 203, 239
Θεωρία αποδείξεων, 516
Θεωρία επεξεργασίας πληροφοριών, 494-500
Θεωρία καύσης Λαβουαζιέ, 444
Θεωρία Μάξγουελ, 39
Θεωρία παιγνίων, 396, 408
Θεωρία συνόλων, 515-16

Ιατρική
  επιστημονικό καθεστώς ιατρικής, 431, 476, 477. *Βλ. επίσης* Αναγωγή.
  ηθική διάσταση, 473-75, 591
  σκοπός, 431-32
  φιλοσοφία ιατρικής, 431-79
  ως θεραπευτική πρακτική, 436-37
  ως κοινωνική επιστήμη, 432-35, 476
Ιατρικό διαγνωστικό σύστημα, 553-56
Ιδιοτιμή και ιδιοδιάνυσμα, 344-45, 350, 363, 366-69
Ινσουλίνη, 435
Ισοδυναμία
  Λάιμπνιτς, 312
  λειτουργική, 486
  λογική, 62-63
  υλική, 62
Ισοζύγιο Χάρντυ-Βαίνμπεργκ, 384, 417, 427
  απόδειξη, 385
Ισομερή, 550-51
Ισότητα των διαστημάτων, 260
Ιστορία, 566, 570
  ενός συστήματος, 321
    φυσικώς δυνατή, 321
  εξελικτική, 388
  της επιστήμης, 139, 211, 215, 244
Ιστορία προγόνων και απογόνων, 375
Ιστορική αφήγηση, 206
Ιστορική γενεαλογία, 425
Ιστορικισμός, 182-83, 205-07, 215-16, 224
Ισχυρό πρόγραμμα, 170, 203, 220-24, 230

Καθαρές έννοιες νόησης, 147
Κάθετη υπερεπιφάνεια, 295, 306, 307
Καθολικοί *όροι*, 189
Κανόνας
  άρνησης, 89
  γενικής προσθέσεως, 90
  γενικού πολλαπλασιασμού, 87
  ειδικής προσθέσεως, 87, 90, 384
  ειδικού πολλαπλασιασμού, 88, 384
  επαγωγής, 195
    στην παρατήρηση, 496
  ολικής πιθανότητας, 93
Κανόνας του Μπέις, 92-96, 105, 108-10, 117, 89-1, 131-4, 157, 552-6
  απόδειξη 94
Κανόνες και γνώμονες, 216-17, 572-74, 588-90
  πολιτισμικοί, 180-81, 572, 578-79
Καρδιακή προσβολή, 37-38, 436
Καρκίνος, 472-73

Καταβύθιση των προτέρων, 110, 127
Κατανόηση, 11
Κατασκευαστική αξιωματικοποίηση της θεωρίας της σχετικότητας, 264
Κατασκευαστισμός, 184-88
Καταστάσεις πραγμάτων και ύπαρξη, 70
Κατάσταση
ενός συστήματος, 321, 363
καταστασιακή περιγραφή, 112, 116
Καταχωρητική μηχανή, 331
Κατηγόρημα Γκούντμαν, 126-27
Κατηγορία αναφοράς, 37
Κβαντομηχανική, 26, 35, 172-73, 342-56, 362-69, 559
εξίσωση του Σρέντιγκερ, 342-46
ερμηνεία «πολλαπλών κόσμων», 345
και ανισότητες του Μπελ, 350-56
και απροσδιοριστία, 172, 343-46
και τοπικότητα, 349-50, 352-54
και χάος, 343
κατάρρευση υπερθέσης, 345
πληρότητα και μη πληρότητα, 347-352
πρόβλημα μέτρησης, 172, 345-46, 348-50
στατιστικός χαρακτήρας της, 581-82
χώρος Χίλμπερτ, 343-45
Κείμενο, 209, 244
Κλάσεις ποιοτήτων, 513
Κληρονομικότητα, 376-7, 380, 387, 390, 395, 427
ανάμιξη, 379-80
πολυγονιδιακή, 379
Κλίμακα, 276-80, 283, 307
Κλοιός βοηθητικών υποθέσεων, 210
Κοινό αίτιο, *βλ.* Ράιχενμπαχ, αρχή κοινού αιτίου
Κοινωνία 165, 168-71, 228
Κοινωνικές ομάδες, 594
Κοινωνικό κόστος, 586
Κοινωνικό συμβόλαιο κατά Ρώλς 474
Κοινωνικό φαινόμενο, 206-07, 219, 223-26, 229-230, 565, 590
κοινωνικός, 181-82, 191-93, 230-38. *Βλ. επίσης* Γνωσιοκρατία.
Κοινωνιολογία, 558, 566, 570
της γνώσης, 170, 182-83, 220-24
Κολεκτιβισμός, 565, 586-87
Κομήτης, 12-13
Κοσμικές γραμμές, 289, 297, 301, 306, 308, 338
Κοσμική Λογοκρισία, υπόθεση, 342
Κοσμολογία, 164, 588
Κόσμος
ιδεών, 141
φυσικός, 182
Κουάρκ, 66
Κουλόμπ, νόμος, 262-63
Κρίση, 132
Κριτήριο πραγματικότητας, 346-50, 368
Κριτική θεωρία, 570, 586-92, 594
Κυκλικό AMP (αδενοσινο-μονοφωσφορικό οξύ), 451-56
Κυκλικός συλλογισμός, 72
Κύκλος της Βιέννης, xv, 187, 193, 249, 484
Κυρίαρχο γονίδιο, 383

Λαϊκή ψυχολογία, 443, 476, 487
Λεβιάθαν, 227
Λειτουργική αξία, 423
Λειτουργικό
ιδιότητες, 408-15
πλεονέκτημα, 411, 414
Λειτουργισμός, 486-87
Λεξικό, 199-07
Λεξιλόγιο,
θεωρητικό, 53, 159-60, 162-63, 166-71, 191, 217
παρατηρησιακό, 53, 159-60, 168-70, 185, 191
Λογικά δυνατή κατάσταση αυτού του σύμπαντος, 112
Λογική
αλήθεια, 154
ανασυγκρότηση, 154
απλότητα, 197
ασυνέπεια, 217
γλωσσική προσέγγιση της γνώσης, 154
ορθότητα, 61
σύμβολο, 153
Λογική, 132, 185, 188, 197, 510, 514
βαθμών πεποίθησης, 106
επαγωγική, 80, 111, 123
μαθηματική, 514
της επιστήμης, 131-33, 151
Λογικισμός, 154
Λογισμός, 101, 512
Λόγοι, 570-72, 574-76, 594

LISP, 530

Μαγνητισμός, θεωρία, 583
Μάζα, 205, 218
φασματογραφία μάζας, 550
Μαθηματική θεωρία πληροφοριών Σάννον και Γουίβερ, 486
Μακροπρόθεσμα, 101, 162, 195
Μαντική, 75, 84
Μαρξισμός, 224
Ματιά του Θεού, 182
Μεθοδολογικός οικουμενισμός, 209
Μέθοδος, στατιστική, 425
Μείωση, 378
Μελανές οπές, 342
Μέντελ
γονίδια, 378, 380, 383, 461
νόμοι, 448
παράγοντες, 378-79, 383
πείραμα, 381-84
Μεταγλώσσα, 192, 232
Μετάλλαξη, 384-85, 413, 421
γενετική, 379, 409
Μεταμαθηματικά, 517
Μεταμοντερνισμός, 226
Μετανάστευση, 384-85, 418
Μετασχηματισμός 187
αδρανειακός, 290
Μετασχηματισμός Λόρεντς, 295-96
Μετάφραση, αποσπασματική, 202
Μεταφυσική, 11, 46, 191-92, 238, 319, 485, 514
Μέτρηση,
θεωρία μέτρησης, 547
πρότυπο, 515
Μετρική, 261-64, 276, 286-87, 293, 297-300, 302, 312-313
ευκλείδεια, 285-86, 293, 299
Μινκόβσκι, 297-300, 302
χρονική, 276, 279, 287, 294
χωρική, 262-64
Μετρικός τανυστής, 282
Μέτρο πεδίου, 115
Μη αντιπροσωπευτικά δείγματα, 81
Μη αντιστρεπτή θερμοδυναμική, 408
Μη γραμμική σχέση αλληλοορισμού, 99
Μη επαγωγική μέθοδος, 84
Μη ευκλείδεια γεωμετρία, *βλ.* Γεωμετρία, μη ευκλείδεια
Μη παρατηρήσιμες οντότητες, 54
Μη συνεκτικός, 106-07
Μη σωρευτική αλλαγή θεωρίας, 212
Μη-σχετική εξήγηση, 24-25, 32, 36-38
Μηχανή απεριόριστων καταχωρήσεων (URM), 525-26, 529-30, 539
Μηχανή Τιούρινγκ, 331, 520-25, 563
Μηχανική ανάλυση, 388-90, 393, 396, 407-408, 422
Μηχανική των ρευστών, 226
Μηχανικισμός, 322-23, 450
Μηχανισμός
εξελικτικός, 398
νοητικός, 489
ντετερμινιστικός, 356. *Βλ. επίσης* Ντετερμινισμός.
Μικροβιακή θεωρία ασθένειας, 432, 444
Μικροκοινωνιολογία, 227, 240-41
Μικροσκόπιο, 57
Μονάδα επιστημονικού επιτεύγματος, 204
Μονάδες πληροφορίας, 184
Μοντέλο
δημιουργίας ειδών, 426
θεωρία, 151, 442, 445
μιας θεωρίας, 163-165
παρατήρησης, 495
Μοριακή
βιολογία, 435, 440, 447, 461, 467-68
βιολογική εξήγηση, *βλ.* Εξήγηση, μοριακής βιολογίας
γενετική, 393, 423, 461
και ατομικά βάρη, *βλ.* Ατομικό βάρος, θεωρία
κινητική-μοριακή θεωρία αερίων, 40
νευροβιολογία, 477
προτάσεις, 190
Μορφές
αισθητηριακών εποπτειών χώρου και χρόνου, 147
ζωής, 201, 226-30
Μορφές επέκτασης, 504
Μπεϊσιανός, -ή, 108, 196
δίκτυα, 549-6
επικύρωση, 117-31
συλλογισμός, 432
Βλ. επίσης πιθανότητα, ερμηνεία Μπεϊσιανισμού, προσωποκεντρική θεωρία.
Μπόιλ, νόμος του, 16, 54-57, 59, 131, 542-43, 582
Μπουλ, άλγεβρα του, 486, 528, 538
Μπριούστερ, νόμος του, 447

Modus ponens, 77
Modus tollens, 77

Νέα φιλοσοφία της επιστήμης, *βλ.* Φιλοσοφία, επιστήμης
Νεο-δαρβινισμός, 380, 409, 427
και εξέλιξη, 387
και εξήγηση, 390
Νεο-δαρβινική σύνθεση, 427
Νεο-καντιανή παράδοση, 193
Νέος γρίφος επαγωγής, *βλ.* Επαγωγή, νέος γρίφος
Νευροβιολογία 435, 440, 456-61, 468, 471, 506
Νευροδιαβιβαστές, 451-52, 456
Νευροεπιστήμη, 439-440
Νευρολογικό σύστημα, 437
Νευρωνικό δίκτυο, 467, 512-13
Νεύρωση, 488
Νευτώνιο, -α
θεωρία, 217, 270
μάζα, 141, 205, 218, 320
μηχανική, 15, 83, 141, 148, 164-65, 252, 320-23,
σωματίδιο, 40, 320-23, 325, 333-34, 360
πλαίσιο, 205
σύνθεση, 38, 206
Νόημα, 166-168, 172, 188, 236-37, 571
αίτημα νοήματος, 159-60, 166, 169
νοηματική μεταβλητότητα, 168-70, 173
ολισμός, 168-71
ουσιοκρατική θεώρηση, 225
συνέχεια νοήματος, 198, 217-18
Νοησιαρχία, 497
Νοητικό πείραμα, 300-01, 317-20, 335, 347
Νόμοι Κέπλερ, 16-17, 21, 26, 38, 146, 206, 217, 542-43, 563
Νόμοι Νεύτωνα, 16, 21, 210, 215, 251-55, 323, 445, 457
βαρύτητας, 169, 318-22, 333-34, 548
για την κίνηση, 16, 320, 350
Νομολογικός ή νομοθετικός σκεπτικισμός, 570, 574, 580-86
Νόμος, 17-21, 44, 262-64, 441, 447, 548, 566
αιτιακός, 25
βαρύτητας, 146. *Βλ. επίσης* Νεύτωνας, νόμος βαρύτητας.
βασικός, 21
γενικός, 15, 29, 156, 468
εξελικτικού δυναμικού, 584
εξηγητέος, 17
καθολικός, 17, 27, 29, 126
παράγωγος, 21
πολιτισμικής διάχυσης, 584
πρόταση-δηλώνουσα-νόμο, 17
στατιστικός, 17, 27, 29, 103, 581
στοχαστικός, 417
της ανθρώπινης πράξης, 569, 580-86, 590
της σκέψης, 586
της φύσης, 320, 330, 360
αιτιακοί, 571-72, 574-75, 588-89
ψυχοφυσικοί, 575
του φύρδην-μίγδην, 415
φυσικοί, 259, 262, 361, 456, 512, 583, 588
Νόμος Αβογκάντρο, 67
Νόμος προέλευσης, 409
Νόμος ραδιενεργούς διάσπασης Ράδεφορντ-Σόντυ, 542
Νόμος της διατήρησης της στροφορμής, 15, 43, 73, 76
Νόμος του Ohm, 545, 547
Νόμος του Σνέλ, 447
Νους, 483
μηχανική φύση, 487, 512
φιλοσοφία του, 440, 486-87
Ντετερμινισμός, 33-36, 317-69
ισχυρός, 357
και ανοιχτά συστήματα, 333-36
και γενική θεωρία σχετικότητας, 317, 339-342
και ελευθερία βουλήσεως, 318, 357-60
και πρόβλεψη, 329-30, 339, 360
και προβλεψιμότητα, 331-33
και χάος, 323-29
Λαπλασιανός, 322, 337-39
στη γενική θεωρία της σχετικότητας, 317, 339
στην κβαντομηχανική, 317, 342-57, 362-69
στην κλασική φυσική, 315, 323-29, 336-337
τοπικός, 338
Ντετερμινισμός κατά Λαπλάς, 322, 336-39. *Βλ. επίσης* Ντετερμινισμός.

NSV, 347

Οικογενειακό σύμπλεγμα, 489
Οικονομία, 396, 558, 570, 593
Οικονομική υποδομή, 224
«Όλα επιτρέπονται», 215-19

Ολισμός, 166-71, 585. *Βλ. επίσης* Κολεκτιβισμός.
Ομάδα Βερολίνου, xv, 194
Ομοιομορφία φύσης, 73, 84-85
Ον
  δέον, διάκριση, 476-78
Οντολογία, 193, 238
Οντότητα, θεωρητική, 54, 237-8
Οπτική, 169, 447
  γεωμετρική οπτική, 217
  κυματική οπτική
Ορθά σχηματισμένος τύπος, 516
Ορθολογική
  ανασυγκρότηση, 187-88, 211, 467, 477
Ορθολογικότητα, 75-76, 226, 514
  θεωρία της, 538
Ορισμός, συστατικός, 187
Ορνιθολογία, 68, 120, 132
Ουδέτερη προσέγγιση, 222
Οφθαλμαπάτη Müller-Lyer, 496-97

Παγίωση, 134
Παγκόσμια δύναμη, 258-261
Παλαιοοικολογικά δεδομένα, 421
Παλιρροιολογία, 568
Παντογνωσία, λογική, 129
Παραγωγή, 8-11, 28, 59, 78-80
Παραγωγική, -ός
  αντίθεση, 129
  εκγυρότητα, 10, 58, 78
  λογική, 79, 106, 111, 460
  νομολογική εξήγηση (Π-Ν), *βλ.* Εξήγηση, παραγωγική-νομολογική.
  στατιστική εξήγηση (Π-Σ), *βλ.* Εξήγηση, παραγωγική στατιστική (Π-Σ).
  στήριξη, 129
  συλλογισμός, 464, 562
  σχέση, 113
Παραγωγισμός, 82-83
Παράγωγοι κανόνες, 88-96
Παράδειγμα, 168, 173-74, 199-207, 216, 219, 239, 398, 448, 468
  αλλαγή παραδείγματος, 200-01
  ασυμμετρία παραδειγμάτων, 202
Παράδοξο
  ένταξης συνόλων στον εαυτό τους, 185
  κορακιών, 61, 68-9, 120, 122, 131
  σχετικά με τα ταξίδια στο χρόνο, 342
Παράδοξο Γκούντμαν, 69, 120
Παράδοξο EPR (Αϊνστάιν-Ποντόλσκυ-Ρόουζεν), 346-50, 362-369
Παράδοξο Όλμπερ, 13
Παράδοση έναντι καινοτομίας, 243
Παραλλαγή, 376-82, 387, 395, 399, 427
  κληρονομική, 390, 399, 416
  πλεονεκτική, 376, 390, 409, 414
  τυχαία, 399, 416-15, 417, 427
Παράλληλη επεξεργασία, 454-57, 532. *Βλ. επίσης Aplysia.*
Παράνοια, 490
Παράξενος ελκυστής, 328
Παρατήρηση, 43, 60, 72, 132, 140, 166-68, 485
Πάρεση, 32-34
Πεδίο ορισμού μοντέλου 151. *Βλ. επίσης* Μοντέλα, θεωρία.
  θεωρίας, 447
Πεδίο, 184
  βαρυτικό, 300-03
  ηλεκτρομαγνητικό, 322
Πεδίο
  πρότασης, 112
  τεκμηρίου, 113
Πειθώ, 132, 203, 216, 233-34,.
Πείραμα, 229-38, 240-44, 444, 509-10, 569
Πείραμα επαναδιαταύρωσης, 383
Πείραμα EPR-Μπελ, 254, 356
Πείραμα Μάικελσον-Μόρλευ, 254
Πεποίθηση, 173, 180-1, 565, 569
  αιτίες της, 220-44, 587
  δικαιολόγηση, 129
  συνεπής, 107
Περί κινήσεως, θεωρία του Καρτέσιου, 206
Περιβάλλον, 376, 387, 388, 405, 408, 412, 421
  αλληλεπίδραση, 408
  ελονοσία, 393, 406
  ξηρασία, 398, 414
  ρόλος περιβάλλοντος στα αντιληπτικά βιώματα, 500-505
Πιθανότητα, 36, 51, 60, 86-137, 157, 195, 323, 557, 559
  αιτιακή ροπή, 104
  αξιώματα, 87-88, 96, 103, 123, 130, 384, 419
  απόλυτη, 121
  αριθμητική τιμή μιας πιθανότητας, 27
  επαγωγική, 111, 194
  επαυξητική, 121

ερμηνεία της 134
αποδεκτή, 96-117
κλασική, 96-100, 104
λογική, 111-17
προσωπική, 108-11
υποκειμενική, 105-111
ως συχνότητα, 100-04, 195
ως τάσης, 104-05
κατανομή, 530
λογική, 111
λογισμός πιθανοτήτων, 86, 104, 134, 486
μηδενική 163
προσωπική, 105-11
πρότερη, 36-37, 94, 108-09, 115, 120, 133
a priori, 115
μη μηδενική, 123
ύστερη, 37, 95-6, 108-09
φυσική, 105
Πλαίσιο, 224, 228, 240
ανακάλυψης, 198, 200
αξιολόγισης, 214
δικαιολόγισης, 196-98, 200
ιστορικό, 198, 206
κοινωνικό, 198, 228
νοητικό, 224-26
Πλατωνική μορφή, 184
Πλεοναστική θεωρία της αλήθειας, 175
Πληρότητα, 152, 346-47,350, 518-19
Πλουραλισμός, θεωρητικός, 217-19
Πολιτική, 168
Πολιτική επιστήμη, 558, 566, 570
Πολιτική Συγκρότηση, 226-30
Πολιτιστική υπερδομή, 224
Πολλαπλότητα, 281-82, 285, 288, 293, 299, 303, 312-13
Πολυπλοκότητα, 533, 537-40
αναμενόμενη, 540
εκθετική, 538
λογική, 162
πολυωνυμική, 538
Ποσειδώνας, 58
Ποσοδείκτες, 161-62
καθολικός, 61, 64, 111
υπαρκτικός, 51, 111
Πραγματικότητα, 230-32
εξωγλωσσική, 208
κοινωνική, 229
πολιτισμική, 181
ταυτόχρονη, 362-69
τεχνητή, 234
Πραγματισμός, 205, 232
Πραγματιστικός Μηχανισμός Κοινωνικής Συναίνεσης, 222
Πραγματολογική ανάλυση, 41
Πράξη, 571, 574 - 576, 594
Πρόβλεψη, 56, 69, 75, 83, 114, 153, 164, 329-31, 566-68, 573, 586, 590
ατομικών γεγονότων, 103
παρατηρησιακή, 86, 131
Πρόβλημα τερματισμού, 528
Προβολικότητα, 69, 123-24
κατά Χιούμ, 125-26
Πρόγραμμα
BACON, 541-49, 563
έρευνας, *βλ.* Ερευνητικό πρόγραμμα
Erlangen, 276
υπολογιστή, 522, 529
Χίλμπερτ, 518-19
Προδιαγραφόμενα φαινόμενα, 504-07
Προέκταση 101-02
Πρόθεση, 486, 571
Πρόοδος, *βλ.* Επιστημονική πρόοδος
Προπαγάνδα, 216
Προσανατολισμένο γράφημα, 559
Προσαρμογή, 374, 387, 398-399, 404-09, 410-15, 423-25
αφηρημένη θεωρία 407
Προσαρμοστική παραδοχή, 388
Προσαρμοστικό, -ή
γνώρισμα, 390, 420-421
επιτυχία, 418
ευκαιρία, 390
πλεονέκτημα, 393, 423-24
πρόβλημα, 393-4
πρόγραμμα, 396
Προσαρμοστικοί ορισμοί στη γεωμετρία, 258-61, 265.
Προσαρμοστικότητα μονάδων αλληλεπίδρασης, 409
Προσωπικότητα, θεωρία του Φρόιντ, 489
Πρόταση, -εις
νέα, 492-93
νομοειδής, 270
παρατηρησιακές, 162, 169, 190
πρωτοκόλλου, 184, 191, 199
Προτασιακός λογισμός, 486
Προτεραιότητα των απλών στοιχείων, 197
Πρωτογενείς ιδιότητες, 141-42, 592
Πτολεμαϊκή αστρονομία, 200
Πυθαγόρειο θεώρημα, 76, 257, 283

Πυκνή περιγραφή, 573
Πυκνότητα ατμών, 140

PASCAL, 530
Plasmodium falciparum, 391

Ραδιενεργός διάσπαση, 25-26, 35
Ρεαλισμός 139-177, 245, 249-50, 256-57
και χωρόχρονος **300-16**
πλατωνικός, 226
τοπικός, 237
ψυχολογικός, 500-05
Ρητορική, 168, 181, 203, 206, 216-18, 235

RNA, 465, 470

Σαϊεντολογία, 47
Σημασιολογία, 42-43, 188-89
Σηματική θεωρία, 265
Σκεπτικισμός, 73, 84, 148-50, 182
μεταφυσικός, 141-43, 145-48, 154-58, 160, 165
Σκεπτόμενη μηχανή, 494
Σπίνοι του Δαρβίνου, 396-99
Σταθερά του Πλάνκ, 364
Στατιστική, 592
Στοιχειώδης εμπειρία, 513
Στρεπτοκοκκικές μολύνσεις, 27-**30, 33**
Σύγκλιση, 102-03
των επαγωγών, 377
Συγκροτισμός, κοινωνικός, 207, 220-22, 233
Συγχρονική προοπτική, 183
Συγχρονισμένα ρολόγια, 269, 294-95, 300
Σύζευξη, 64, 87, 112, 190
μη σχετική, 37
σταθερή, 71
Σύμβαση, 249, 515
γεωμετρική, 140, 256-64
μέτρησης, 515-16
νοήματος, 159
συμβατιστική στρατηγική, **210**
της ταυτοχρονίας στη γενική σχετικότητα, 250, 264-70, 294-95, 304-305
Συμβατοκρατία, 586-87
Συμβίωση θεωρίας και πράξης, 240-41
Συμβόλαιο, κοινωνικό, 228
Συμμετρία, 284-87, 290, 306
αρχή, 222-23, 284-87, 291, 334
μετασχηματισμός, 284-87, 293, 304-05
Συμπεριφορά, 165, 592-3
αιτίες της, 567-76
γλωσσική, 41, 588
εκούσια, *βλ.* ελεύθερη βούληση
κανόνες της, 571-2, 580-6
κοινωνική διάσταση της, 490
ορθολογική, 576-0
πρόβλεψη της, 566-7
σωματική, 588
Συμπεριφορισμός, 487, 491-4, 500, 505-7, 587-91
Συμπλεκτική μηχανή, 532
Συμπληρωματικότητα, 172
Σύμπτωμα ασθένειας, 23
Συναγωγή, 8-11
αδιάβρωτη, 29
ενισχυτική, 70, 74
επαγωγική, 79, 82-83, 85
από το παρατηρηθέν στο απαρατήρητο, 74
μη-ενισχυτική, 70
παραγωγική, 74-75, 552
που διατηρεί αναγκαστικά την αλήθεια, 70, 80, 463
Συναίνεση, 175, 206-07. *Βλ. επίσης* διυποκειμενική συμφωνία.
κοινωνική, 222, 239
Συναισθήματα, 477, 489-90, 506
αιτιακή θεωρία, 489
Συναλλοίωτο, -η, 273-76, 303-09
γενική, 276-81, 287, 305
διάνυσμα, 279-80
μέγεθος, 279
ομάδα, 273, 276, 287
Λόρεντς, 304
Συνάρτηση, 511
αναδρομική, 520, 527
αριθμών, 526
Τιούρινγκ, 529-32
εκθετικά φραγμένη, 536
εκθετική, 538-39
μετρική, 116
πολυωνυμικά φραγμένη, 536-37
υπολογίσιμη, 499, 520-23, 525-26, 537
σε εκθετικό χρόνο, 537
σε πολυωνυμικό χρόνο, 536-37
Συνεκτικότητα βαθμών πεποίθησης, 108
Συνεπαγωγή, 185
λογική, 63, 87, 112

μερική, 111
υλική, 61
Συνέπεια, 80, 107, 112, 143, 217, 517, 518
Συνέπειες
αιτιολογήσεις βάσει συνεπειών, 298
παρατηρησιακού χαρακτήρα, 54, 254, 257-58, 262-64
Συνήθεια, 72-73
Συνθετικό *a priori*, 148-49, 159, 193
Συνθήκη
αντίστροφης συνεπαγωγής, 63
αντισυσχέτισης, 360
γενικευμένης συνδεσιμότητας, 442, 446, 462-63, 475
δυνατότητας παραγωγής, 443, 446, 463,
ειδικής συνεπαγωγής, 63, 118-19, 133
επάρκειας, 16
ισοδυναμίας, 62
λογικής συνεπαγωγής, 63
Μαρκόφ, 559-63
πληρότητας, 347
σύζευξης, 118
συνέπειας, 63
Σύνολο, 185
αντιπαραβολής, 43
Σύνταξη, 42, 184, 188, 192, 442
Συντελεστές, 239, 244
Συντελεστική εξαρτημένη εκμάθηση, 491
Συντεταγμένη, 271-84
γενική, 276-80, 299-300
καρτεσιανή, 284, 287
μετασχηματισμός, 272-87
πρότυπα, 272-276, 278-79, 287, 300
Συντηρητικά συστήματα, 327-29
Συνωνυμία, 157
Συσκευή εγγραφής, 233-34, 238
Σύστημα αναφοράς, 289
αδρανειακό, 289, 304-305, 335-36
Σύστημα
θεωρητικό, 218-19
συστατικό, 187
Συχνότητα
δυνατότητα διαπίστωσης ορίου συχνότητας, 103
σχετική, 100-04, 111, 195, 350
Σφαιρική προσέγγιση, 197-98, 215, 244
Σχέδιο, 374, 394, 417
Σχετικισμός, γνωσιολογικός, 168-74, 226, 507
Σχετικιστική κβαντική θεωρία πεδίου, 354
Σχετικότητα, 252-55, 287-93, 310-15
γενική θεωρία, 59, 129, 249, 264-66, 300-03, 310, 339-42, 515
εξισώσεις πεδίου Αϊνστάιν, 300-01, 303-04, 339
ειδική θεωρία, 169, 249, 264-65, 294-305, 311, 337-39
καθιερωμένη διατύπωση, 296
ταυτοχρονίας, 294-95
Σχήματα, 498-500, 507
Σχολή Εδιμβούργου, 220-21, 230, 242
Σωκράτης, 143
Σωματιδιακή θεωρία, 58
Σωματίδιο
επιταχυντής, 57, 167
θεμελιώδες, 163
Σωρευτική
διατήρηση, 198, 214, 216-19
πρόοδος, 183, 197

Summum bonum, 475

Ταυτολογία, 400, 428
Ταυτοχρονία, 249, 294-95, 307-09, 314
απομακρυσμένων γεγονότων, 249
πρότυπη, 307-09
στην ειδική σχετικότητα, 314
τοπολογική, 309
Ταχυόνια, 338
Ταχύτητα, 234
Τεθέν, 195
Τεκμήριο, 76-77, 94, 116, 166-68, 239, 420, 561
απροσδόκητο, 95
εμπειρικό, 52-54, 194
επαγωγικό, 76
κλινικό, 488
παρατηρησιακό, 110
πρόβλημα παλιού τεκμηρίου, 131, 135
προσδοκία εμφάνισης τεκμηρίου, 95
Τελεολογία, 410-15
Τελεονομική, 414
Τελεστής εύρους, 581-82
Τετράγωνο του Πάνετ, 383
Τέχνημα, 227-9
Τεχνητή νοημοσύνη, 455, 506, 508-64
Τεχνική, 565, 590, 593
Τηλεσκόπιο, 52, 57
Τοπικότητα, 352-53
Αϊνστάιν, 354-55. *Βλ. επίσης* Κβαντομηχανική.

στις φυσικές θεωρίες, 349-50
Τοπολογία χρόνου, χώρου και χωροχρονικών θεωριών, 281
Τροπικότητα, 238
ιστορική, 180
φυσική, 19
Τροχιά φωτός, 131
Τσερνομπίλ, 4-5
Τσερτς, θέση του, 332, 525-27
Τυπικό λογικό σύστημα, 441
Τυχαιότητα, 323-29, 399, 415-19
ανασυνδυασμοί, 419
διάταξης, 104

TETRAD 558-61

Υβρίδια, 382
Υλισμός, 322-23
Υπεραγωγοί, 132
Υπερβατολογισμός, 193
Υπερεπιφάνειες ταυτοχρονίας, 289, 291, 295, 300, 306, 307-08, 337-39
Υπερκυριαρχία, 391. *Βλ. επίσης* θέση Τσέρτς, Μηχανή Τιούρινγκ, Μηχανή απεριόριστων καταχωρήσεων, Υπολογισιμότητα - αποτελεσματική.
Υπόδειγμα, 147
Υπόδειγμα Σάπις-Ανταμς, 445
Υπόθεση, 54-69, 94, 108, 114-15, 131
βοηθητική, 57, 59, 66, 68, 131, 582
έλεγχος, 59, 419
επιτρέψιμη, 134
πρόβλημα εναλλακτικών υποθέσεων, 59
προηγούμενες επιτυχίες υπόθεσης, 82
στατιστική, 60, 86
Υποκαθορισμός, 162, 164, 174
Υποκειμενισμός, 174
Υπολογισιμότητα
αναλογική, 333
αποτελεσματική, 332-35
θεωρία της υπολογισιμότητας, 331-32, 529
ψηφιακή, 333
Υπολογιστής, 509-510, 561
αναλογία με το νου, 486
επιστήμη των υπολογιστών, 510
ψηφιακός, 494, 499, 510, 513, 522, 541
Υπολογιστικό
κόστος, 535
συστήματα, 532,539
Υποστασιοκρατία στις χωροχρονικές θεωρίες, 310-14
Υποστήριξη
εμπειρική 213-15, 374, 396-97. *Βλ. επίσης* Επικύρωση.
επαγωγική, 28, 51, 56, 113, 127-29, 194, 422. *Βλ. επίσης* Επικύρωση.
μερική, 111
Υποτελές γονίδιο, 409
Υποτροπή εγκληματιών, 557

Φαινομεναλισμός, 186, 191-92, 194
Φαινόμενο Ντόπλερ, 4
Φαινότυπος, 379, 393-95, 409-10, 423
Φεμινισμός, 488
Φιλοσοφία
μαθηματικών, 510, 514
της επιστήμης, xiii, xvii, 173-75, 211, 215-216, 561
νέα, xvii, 180, 184, 198-99, 239
καθιερωμένη άποψη της, xv-xvi, 183, 190-91, 194, 196-99, 239, 244-45, 458
κανονιστική, 165, 188
του νου, *βλ.* Νους, φιλοσοφία του
Φλόγιστον, 444
Φύση, ομοιομορφία της, 73, 84
Φυσικαλισμός, 183, 191-92
Φυσικαλιστική πλάνη, 477
Φυσική, 66, 142, 161-62, 169, 433, 437, 459, 490, 548, 548, 576
ατομική, 373. *Βλ. επίσης* Σωματίδιο, θεμελιώδες, Ατομικό βάρος, θεωρία.
κλασσική, 323, 333-34. *Βλ. επίσης* Νεύτωνια μηχανική.
Φυσικοποιημένη γνωσιολογία, 164-165
Φυσικός, -ή, -ό
επιλογή, 375, 377-78, 385, 387, 393-415, 427
αρχή του Δαρβίνου, 375-76
Γενετικό Μοντέλο, 387
μηχανισμός της, 399
λογάριθμος, 548
Φυσιοκρατία ή Φυσιοκρατική παράδοση, 566-70, 574, 576-80, 592
Φυσιολογία, 423, 494, 506
Φως, 58

αίτημα για την ταχύτητα του φωτός, 294
αποτελούμενο από
σωματίδια, 57, 339
κύμα, 58, 254
κώνος φωτός, 297-99, 306-09, 337-38, 354
σήμα, 251, 268
ταχύτητα, 73, 297
επιστροφής, 269

Χαμιλτονιανός τελεστής, 343
Χάος, θεωρία, 323-29, 334, 356
Χημεία, 40, 373, 433-34, 438, 442
Χιουμιανή, -ός
κανονικότητα, 222
σκεπτικιστής, 124
Χρονική προτεραιότητα, 71
Χρόνος,
γραμμική θεωρία, 272, 284, 288
ισότροπος, 268, 271, 284
σύγκρουσης (TC), 504
τομή, 339
Χρυσή σφαίρα, 18, 47, 583
Χρωμοσώματα, 378
Χώρος, 146
αδρανειακός, 253, 276-78, 294-95
απόλυτος, 251-55, 310
ομογενής, 284-5
ισότροπος, 286
σχετικός, 251-255
Χωροχρονική μήτρα, 182
Χωρόχρονος, 284, 287-96, 305, 310-14

Ψευδοεπιστήμη, 47
Ψυχανάλυση, 488-90
Ψυχή, 483, 485
Ψυχιατρική, 433, 440
Ψυχογλωσσολογία, 507
Ψυχοθεραπεία, αποτελεσματικότητα, 30-31, 36-37
Ψυχολογία, 191, 434, 442, 566, 570
γνωσιακή, 455, 509-10, 557
Gestalt, 484
Ψυχολογική
και κοινωνιολογική επίδραση, 132
προσδοκία, 41
συγκρότηση, 73

Ωφελιμισμός, 474