

Richard Dawkins

# Ο ΤΥΦΛΟΣ ΩΡΟΛΟΓΟΠΟΙΟΣ



Πρόλογος στην ελληνική έκδοση:  
Κώστας Κριμπάς

Η εξέλιξη διαμέσου της φυσικής επιλογής -η μη συνειδητή, αυτόματη, τυφλή, αλλά ουσιαστικά μη τυχαία διαδικασία που ανακαλύφθηκε από τον Δαρβίνο- δίνει τη μοναδική απάντηση στο μεγαλύτερο απ' όλα τα ερωτήματα: γιατί υπάρχουμε; Αυτό είναι το θέμα του *Τυφλού ωρολογοποιού*, του πιο πρόσφατου βιβλίου του Richard Dawkins. Γράφτηκε έντεκα χρόνια μετά το *Εγωιστικό γονίδιο* και έχει τιμηθεί με το βραβείο Faraday της Βασιλικής Εταιρείας του Λονδίνου (1990). Έχει γυριστεί σε τηλεοπτικό φιλμ από το BBC, το οποίο κέρδισε το βραβείο καλύτερης επιστημονικής ταινίας (1987). Έχει μεταφραστεί σε πάρα πολλές γλώσσες, και είναι παγκόσμιο μπεστ-σέλερ.

- «Ένα θαυμάσιο και πρωτότυπο βιβλίο· εξηγεί όλες τις όψεις της εξέλιξης με σαφήνεια και απαντά σε κάθε επιχείρημα των δημιουργιστών.»

*Isaac Asimov*

- «Μια εξαιρετική παρουσίαση της νεο-δαρβινικής θεωρίας, γραμμένη με αξιοθαύμαστη διαύγεια και εμπλουτισμένη με ολοζώντανα παραδείγματα.»

*The Times Education Supplement*



Ο Richard Dawkins γεννήθηκε το 1941. Σπούδασε στο Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης, και μετά την αποφοίτησή του έμεινε εκεί και εργάστηκε για τη διδακτορική διατριβή του με τον κάτοχο του βραβείου Νόμπελ ηθολόγο Νίκο Tinbergen. Από το 1967 ως το 1969 ήταν επίκουρος καθηγητής ζωολογίας στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας στο Μπέρκλεϋ. Το 1970 έγινε λέκτορας ζωολογίας στο Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης και επίτιμος καθηγητής του New College. Τώρα είναι καθηγητής στο Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης.

Richard Dawkins

# Ο ΤΥΦΛΟΣ ΩΡΟΛΟΓΟΠΟΙΟΣ

ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ:

Κώστας Κριμπάς

κάτοπτρο

Τίτλος πρωτοτύπου: The blind watchmaker

Copyright © Richard Dawkins, 1986

Πρώτη έκδοση: 1986 από Longman και 1988 από Penguin Books

Copyright © για την ελληνική γλώσσα: Εκδόσεις ΚΑΤΟΠΤΡΟ -

Αλέξ. Μάμαλης και Σία Ο.Ε.

Πρώτη έκδοση: Μάιος 1994

ISBN: 960-7023-59-5

Προλογικό σημείωμα στην ελληνική έκδοση: Κώστας Κριμπάς - Καθηγητής γενετικής στο Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Μετάφραση: Γιώργος Μπαρουξής

Επιμέλεια μετάφρασης, γλωσσική επιμέλεια και τυπογραφικές διορθώσεις: Γιώργος Κυριακόπουλος

Επιστημονική επιμέλεια: Λουκάς Μαργαρίτης - Καθηγητής κυτταρικής βιολογίας στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σπύρος Μανουσέλης - βιολόγος, Αλέκος Μάμαλης - φυσικός

Στοιχειοθεσία, σελιδοποίηση, φιλμ, μοντάζ: Legato

Εκτύπωση: Τετραχρωμία

Εκτύπωση εξωφύλλου: Χρ. Κιουρτσόγλου

Πλαστικοποίηση: Γ. Σκαλτσάς

Βιβλιοδεσία: Σπ. Σγαρδέλης

Κεντρική διάθεση: Εκδόσεις ΚΑΤΟΠΤΡΟ

Ισαύρων 10 και Δαφνομήλη, 114 71 Αθήνα

Τηλ.: 3643.272, 3645.098, Fax: 3641.864

Απαγορεύεται η ανατύπωση μέρους ή όλου του βιβλίου με οποιονδήποτε τρόπο χωρίς την έγγραφη άδεια των εκδοτών.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

<i>Προλογικό σημείωμα στην ελληνική έκδοση</i> .....	9
<i>Πρόλογος</i> .....	19
<i>Κεφάλαιο 1: Εξηγώντας το πολύ απίθανο</i> .....	27
<i>Κεφάλαιο 2: Καλός σχεδιασμός</i> .....	54
<i>Κεφάλαιο 3: Συσσωρεύοντας μικρές αλλαγές</i> .....	87
<i>Κεφάλαιο 4: Περιπλανήσεις στον ζωικό χώρο</i> .....	132
<i>Κεφάλαιο 5: Η δύναμη και τα αρχεία</i> .....	183
<i>Κεφάλαιο 6: Προέλευση και θαύματα</i> .....	224
<i>Κεφάλαιο 7: Δημιουργική εξέλιξη</i> .....	268
<i>Κεφάλαιο 8: Εκρήξεις και σπείρες</i> .....	307
<i>Κεφάλαιο 9: Στιγματίζοντας τη θεωρία της εστιγμένης ισορροπίας</i> .....	348
<i>Κεφάλαιο 10: Το μοναδικό σωστό δέντρο της ζωής</i> .....	396
<i>Κεφάλαιο 11: Καταδικασμένοι αντίπαλοι</i> .....	441
<i>Βιβλιογραφία</i> .....	491
<i>Παράρτημα</i> .....	497
<i>Ευρετήριο όρων και ονομάτων</i> .....	509

## ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ

---

**Ο *Τυφλός ωρολογοποιός* ως χαρακτηριστικό και σημαντικό έργο της αγγλικής εξελικτικής σχολής**

Ο *Τυφλός ωρολογοποιός* του Richard Dawkins (πρώτη έκδοση το 1986) είναι αναμφισβήτητα ένα εξαιρετο βιβλίο που πραγματεύεται τη φυσική επιλογή, δηλαδή το μηχανισμό με τον οποίο κατασκευάζονται πολύπλοκα όργανα και δομές στους ζωντανούς οργανισμούς, δομές άξιες θαυμασμού οι οποίες καθιστούν τους οργανισμούς αυτούς «προσαρμοσμένους» στις συνθήκες διαβίωσής τους. Η φυσική επιλογή αποτελεί τη λύση του περίπλοκου προβλήματος της γένεσης αυτών των κατασκευών, λύση η οποία καθιστά περιττή την προσφυγή σε μεταφυσικά δεκανίκια. Ο *Τυφλός ωρολογοποιός* είναι ένα ευχάριστο, στοχαστικό και συναρπαστικό κείμενο, γραμμένο για το ευρύ κοινό. Εξίσου ευχάριστα και επωφελώς διαβάζεται και από τους επαγγελματίες νεοδαρβινιστές εξελικτικούς. Ίσως θα έπρεπε να προσθέσω ότι είναι, μετά τον Δαρβίνο, το καλύτερο βιβλίο για τη φυσική και τη φυλετική επιλογή, αν δεν έβλεπε στις μέρες μας το φως πλήθος αξιόλογων βιβλίων για το ίδιο θέμα, από τους George Williams, Elliott Sober, Helena Cronin και άλλους πολλούς. Ορισμένα από αυτά τα βιβλία απευθύνονται μόνο στους ειδικούς. Πάντως, το βιβλίο του Dawkins και μέσα σ' αυτά κατέχει εξέχουσα θέση.

Δεν θέλω να μακρηγορήσω παρουσιάζοντας τον *Τυφλό ωρολογοποιό*: ο αναγνώστης, μόνος του, θα απολαύσει τη διαγωγή και

ευφή επιχειρηματολογία και ίσως θα γευτεί αυτή την αμβροσία που γεύονται όσοι διακονούν την εξελικτική: η επιστήμη είναι περισσότερο χώρος ιδεών, προτύπων (μοντέλων), ερμηνειών, παρά συσσώρευσης επιμέρους πειραματικών δεδομένων και παρατηρήσεων. Βέβαια, οι θεωρίες και οι ερμηνείες δεν πρέπει να αφήνονται ανεξέλεγκτες: είναι χρήσιμες στο βαθμό μόνο που εφάπτονται ικανοποιητικά των εμπειρικών δεδομένων.

Ο *Τυφλός ωρολογοποιός* είναι το τρίτο βιβλίο του Richard Dawkins. Το πρώτο, το *Εγωιστικό γονίδιο* (πρώτη έκδοση το 1976) έχει ήδη μεταφραστεί στα ελληνικά. Και σε εκείνο το έργο η επιλογή είναι ο πρωταγωνιστής, και η έννοια του εγωιστικού γονιδίου σύντομα πέρασε στα νοητικά σχήματα εκείνων των μοριακών βιολόγων που ενδιαφέρονται για την οργανική εξέλιξη.

Από την άλλη πλευρά, ξεσήκωσε οξείες κατακρίσεις από εκείνους τους εξελικτικούς που θεωρούν επικίνδυνη την κοινωνιοβιολογία, όπως τουλάχιστον παρουσιάστηκε από τον E.O. Wilson και τους πνευματικούς συνοδοιπόρους του. Η αντίθεσή τους αυτή έχει και ιδεολογική προέλευση, αφού θεωρούν δυνητικά επιβλαβείς τις κοινωνικές επιπτώσεις αυτού του είδους ερμηνειών, δηλαδή της πλήρους σχεδόν απόδοσης των κοινωνικών και πολιτισμικών φαινομένων σε γενετικές, δηλαδή κληρονομικές, αιτιολογίες και προδιαθέσεις. Έχω την εντύπωση πως, εν μέρει τουλάχιστον, οι κριτικές αυτές είναι άδικες και ότι δεν πρέπει να στερούμε από το δαρβινισμό τη δυνατότητα να ολοκληρωθεί, βέβαια ακολουθώντας προσεκτικά και όχι αυθαίρετα θήματα. Το δεύτερο βιβλίο του Dawkins, ο *Εκτεταμένος φαινότυπος* (πρώτη έκδοση το 1982) απευθύνεται μάλλον σε επαγγελματίες επιστήμονες, αλλά μπορεί να διαβαστεί και από το ευρύ κοινό. Αμφιβάλλω αν θα μεταφραστεί στη γλώσσα μας. Όλη η τριλογία του Dawkins είναι μια σειρά παρουσίασης των σημαντικών, κατά τη γνώμη μου, προβλημάτων της εξέλιξης που άμεσα σχετίζονται με, οφείλονται σε, και ερμηνεύονται από, την επιλογή. Κατά τούτο, λοιπόν, ο Dawkins δείχνει ότι είναι ένα λαμπρό μέλος τής αγγλικής σχολής των εξελικτικών, της Σχολής Fisher-Ford.

Ο R. Dawkins, λοιπόν, είναι Άγγλος. Γεννήθηκε το 1941, σπούδασε στην Οξφόρδη και εργάστηκε ερευνητικά με τον Νικο



Tinbergen, που υπήρξε ο πνευματικός του πατέρας. Ο Dawkins είναι ηθολόγος, όπως και ο δάσκαλός του. Ο Niko Tinbergen, μαζί με άλλους δύο ηθολόγους, τον Konrad Lorenz και τον Karl von Frisch, τιμήθηκαν από κοινού το 1973 με το βραβείο Νόμπελ για τη φυσιολογία και ιατρική. Είναι η πρώτη φορά (και μέχρι σήμερα η μόνη) που βραβεύτηκαν δαρβινιστές εξελικτικοί. Ήταν κι οι τρεις τους ηθολόγοι, ο von Frisch γνωστός για τις εργασίες του για τη «γλώσσα» των μελισσών, ο Lorenz για εκείνες με θέμα τις πάπιες και άλλα ζώα, αλλά και για τις φιλοναζιστικές του απόψεις, και ο Tinbergen για τις εργασίες του με αντικείμενο τους γλάρους. Ο Dawkins δίδαξε στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας στο Μπέρκλεϋ από το 1967 ως το 1969, και από το 1970 ως σήμερα διδάσκει στην Οξφόρδη.

Ο Dawkins ανήκει στον πνευματικό χώρο της αγγλικής σχολής, μιας εκ των τριών σημαντικών σχολών εξελικτικής (οι άλλες δύο είναι η ρωσοαμερικανική και η αμερικανοϊαπωνική). Τα μέλη της αγγλικής σχολής θεωρούν τους εαυτούς τους ως κατευθείαν πνευματικούς απογόνους του Καρόλου Δαρβίνου (και του A.R. Wallace). Μετά τους αρχηγέτες, ο αγγλικός χώρος βρήκε τον ταγό του στο πρόσωπο του μαθηματικού και βιολόγου σερ Ronald A. Fisher, ο οποίος έδωσε νέα πνοή στη *Στατιστική* και στη *Σχεδίαση Πειραμάτων*, κλάδους που παρέχουν τα απαραίτητα εργαλεία στον ερευνητή της βασικής ή της εφαρμοσμένης βιολογικής έρευνας. Χαρακτηριστικοί είναι οι τίτλοι των τριών σημαντικών βιβλίων του, *Statistical Methods for Research Workers*, πρώτη έκδοση το 1925, *The Design of Experiment*, πρώτη έκδοση το 1935, και, με τη συμβολή και του F. Yates, *Statistical Tables for Biological, Medical and Agricultural Research*, πρώτη έκδοση το 1938. Τα βιβλία αυτά έκαναν πολλές εκδόσεις μέχρι σήμερα. Ο Fisher, όμως, υπήρξε και εκείνος που πρώτος (αρχής γενομένης από το 1918) απέδειξε ότι η μεντελιανή γενετική όχι μόνο είναι συμβατή με τη δαρβινική εξέλιξη, αλλά και αποτελεί τον αναγκαίο, τον απαραίτητο μηχανισμό κληρονομικότητας που επιτρέπει την εξέλιξη διά της φυσικής επιλογής (*The Genetical Theory of Natural Selection*, πρώτη έκδοση το 1930). Με αυτό το βιβλίο του ο Fisher παίρνει τη θέση του αρχηγέτη της αγγλικής σχολής.

Ο Fisher είναι σε μεγάλο βαθμό εκείνος που με τους συνεργάτες του (ειδικά τον W.S. Gosset, γνωστό με το ψευδώνυμο «Student»), και αναλύοντας τα αποτελέσματα του Πειραματικού Σταθμού στο Rothamsted επινόησε ή επέβαλε, πάντως διηύρυνε, αρκετές στατιστικές έννοιες και τεχνικές, όπως των βαθμών ελευθερίας, της εκ των προτέρων θεσμοθέτησης ορίων πιθανότητας για στατιστικές δοκιμασίες, της τυχαιοποίησης των δειγμάτων ή των τεμαχίων κατά τη σχεδίαση πειραμάτων, αλλά κυρίως της ανάλυσης της διακύμανσης. Αυτή η τελευταία τεχνική είναι ιδιαίτερα σημαντική. Προϋποθέτει την παραδοχή ύπαρξης μιας φυσικής και αναπόφευκτης ποικιλότητας συνδεδεμένης με την ίδια τη φύση και οδηγεί στην απόρριψη αναλλοίωτων πλατωνικών προτύπων ή τύπων. Με αυτό το σημαντικό βήμα η αγγλική σχολή διαφοροποιείται από τους γάλλους στατιστικούς, πράγμα το οποίο ίσως εν τη γενέσει του προϋπήρχε στους άγγλους βιομέτρους που διέφεραν από τους γάλλους μαθηματικούς των πιθανοτήτων.

Ο Fisher, λοιπόν, είναι ο θεωρητικός της στατιστικής και ο επινοητής του νεοδαρβινισμού, αφού αυτός πρώτος ένωσε τη γενετική με το δαρβινισμό, διείδε ότι αυτές οι δύο επιστημονικές παραδόσεις όχι μόνο δεν είναι ασύμβατες, αλλά, αντίθετα, συμπληρωματικές. Ο Dawkins συχνά αναφέρεται σ' αυτόν, σε φράσεις του που συνόψισαν ή έδωσαν λύση σε πολύπλοκα ερευνητικά προβλήματα. Ο Fisher διαισθητικά, ή μάλλον μεγαλοφυώς, συνελάμβανε τη λύση ενός προβλήματος, λύση για τον ίδιο αυτονόητη: χρειάστηκε αργότερα η εργασία καλών μαθηματικών εξελικτικών για να αποδειχτεί πόσο δίκιο είχε σε πολλά ζητήματα ο αρχηγός της αγγλικής σχολής, ζητήματα τα οποία φαινόταν ότι έλυνε συνοπτικά και με αυθαίρετο τρόπο.

Παράλληλα με τον Fisher, πρέπει να μνημονευτούν τρεις άλλοι άγγλοι επιστήμονες. Ένας από αυτούς είναι ο σερ Julian S. Huxley. Ζωολόγος, εγγονός του T.H. Huxley, ένθερμου οπαδού του Δαρβίνου (που γι' αυτό χαρακτηρίστηκε ως το μπουλντόγκ του Δαρβίνου), υπήρξε κι αυτός θιασώτης του δαρβινισμού, και μάλιστα σε μια εποχή έκλειψής του. Συνέβαλε εξαιρετικά, αν και αργότερα από τον Fisher, στην επαναφορά του δαρβινισμού στο

προσκήνιο, και μάλιστα με σημαντικά βιβλία (το *Evolution, the Modern Synthesis*, πρώτη έκδοση 1942, και τον συλλογικό τόμο δοκιμίων σχεδόν του συνόλου των τότε εξελικτικών, τον οποίο εξέδωσε, το *The New Systematics*, πρώτη έκδοση το 1940). Ο Huxley είναι γνωστός και για άλλα επιτεύγματά του, την εξίσωση της αλλομετρικής αύξησης (εξίσωση J. Huxley-G. Teissier), την ουμανιστική του παιδεία και αντίληψη του κόσμου, που τον οδήγησε στη θέση του πρώτου Γενικού Διευθυντή της UNESCO, αλλά και από τον αδελφό του, το λογοτέχνη Aldous Huxley, συγγραφέα του *Θαυμαστό Νέου Κόσμου* και άλλων μυθιστορημάτων.

Ο δεύτερος που πρέπει να αναφερθεί είναι ο J.B.S. Haldane. Γιος διάσημου καθηγητή φυσιολογίας, ο Haldane υπήρξε πνεύμα ευφύεστατο, ανήσυχο και ευρείας ουμανιστικής παιδείας. Ως θεωρητικός και μαθηματικός επέλυσε πολλά προβλήματα σχετικά με τη γενετική των πληθυσμών και την εξελικτική θεωρία (μια σειρά μελετών του, το *A mathematical theory of natural and artificial selection*, δημοσιεύτηκε από το 1924 ως το 1934)· ως εκλαϊκευτής έγραψε άρθρα, δοκίμια και ένα βιβλίο που συνετέλεσαν στην ερμηνεία και την έκθεση των νεοδαρβινικών απόψεων (*The Causes of Evolution*, 1932)· ως μαρξιστής προσπάθησε να συνδυάσει την επιστήμη με τις μαρξικές απόψεις (στο *The Marxist Philosophy and the Science*, 1939, καθώς και στον πρόλογο για την αγγλική έκδοση του βιβλίου του F. Engels *The Dialectics of Nature*, πρώτη έκδοση 1940). Ο Haldane τελείωσε τη ζωή του στην Ινδία, όπου πολιτογραφήθηκε ως Ινδός, παραιτούμενος από την αγγλική του ιθαγένεια, για να διαμαρτυρηθεί για την παρουσία αμερικανικών βάσεων στη γενέθλια χώρα του. Μαζί με τον Fisher και τον Αμερικανό Sewall Wright θεωρείται ως ένας εκ των τριών θεωρητικών (μαθηματικών), που θεμελίωσαν τη νεοδαρβινική θεωρία.

Ο τρίτος Άγγλος, κάπως νεότερός τους, είναι ο E.B. Ford. Ο Ford έστρεψε την προσοχή του και αφιερώθηκε στη μελέτη του πεδίου, του υπαίθρου, της φύσης. Μελετώντας τις αγαπημένες του πεταλούδες (του γένους *Panaxia*) προσπάθησε να ενώσει τη γενετική των πληθυσμών (δηλαδή την εξελικτική γενετική) με



την οικολογία. Αυτή η ενοποίηση αναδεικνύεται και στον τίτλο του βιβλίου του *Ecological Genetics* (πρώτη έκδοση το 1964). Άλλα βιβλία του είναι τα *Moths*, 1955, και *Genetic Polymorphism*, 1965. Ο Ford είναι, σε μεγάλο βαθμό, υπεύθυνος για τη στροφή των άγγλων εξελικτικών σε εργασίες πεδίου. Αυτή η στροφή υποβοηθήθηκε από το παραδοσιακό ενδιαφέρον των Άγγλων για τη φύση, τουλάχιστον από τον καιρό του Δαρβίνου, ενδιαφέρον που ενδεχομένως πηγάζει από τις ενασχολήσεις των gentlemen farmers, των μελών της αριστοκρατικής τάξης που ζούσαν μακριά από τα αστικά κέντρα σε εξοχικές μεγαλοπρεπείς κατοικίες.

Πέραν αυτών των ηγετικών φυσιογνωμιών, η αγγλική σχολή περιλαμβάνει στην πνευματική ευρυχωρία της πολλούς και υψηλής στάθμης εξελικτικούς. Αναγκαστικά περιορίζομαι στην απλή αναγραφή των ονομάτων τους, γνωρίζοντας εκ των προτέρων ότι μόλις αυτό το κείμενο θα τυπώνεται, θα έχω θυμηθεί και τα ονόματα πολλών άλλων, τα οποία εκ παραδρομής παρέλειψα. Πρώτα πρέπει να μνημονεύσω τον C.H. Waddington, εμβρυολόγο, γενετιστή, εξελικτικό που κάπως ξεφεύγει από τον κύριο κορμό της σχολής, με τις προσωπικές του απόψεις. Επίσης τον P. Medawar, ανοσοβιολόγο, που τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ. Τον επίσης ιδιόμορφο για τις πρώιμες κοινωνιοβιολογικές του απόψεις κυτταρολόγο C.D. Darlington. Τον βιοστατιστικό και γενετιστή K. Mather, μαθητή του Fisher. Τον θεωρητικό οικολόγο R. May. Την ομάδα των μελετητών των χερσαίων και μη σαλιγκαριών A. Cain, Ph. Sheppard, B.C. Clarke, και Cameron, που προέρχονται κατευθείαν από τον Ford. Τους μελετητές του μελανισμού και του μιμητισμού των πεταλούδων, πλην του Sheppard, τον οποίο έχουμε ήδη αναφέρει, και τους H.B.D. Kettlewell, J.R.G. Turner και P. Brakefield. Τον έξοχο W. Hamilton, κάτοχο του βραβείου Inamori, ο οποίος με την επινόηση της έννοιας του διευρυμένου συντελεστή προσαρμογής προσέφερε για πρώτη φορά μια ικανοποιητική δαρβινική εξήγηση για το φαινόμενο του αλτρουισμού. Τον αλτρουισμό και τα κοινωνικά έντομα μελέτησε και ο ηθολόγος R.L. Trivers, οπαδός της κοινωνιοβιολογίας του αμερικανού E.O. Wilson, μελετητή επίσης

των κοινωνικών εντόμων. Στους ηθολόγους πρέπει να προστεθεί ο Desmond Morris, γνωστός στο ευρύτερο κοινό από τα βιβλία του *The Naked Ape*, πρώτη έκδοση 1967, και *The Human Zoo*, πρώτη έκδοση 1969, που μεταφράστηκαν στα ελληνικά. Ο Morris, φίλος του Dawkins, έχει εικονογραφήσει και τα εξώφυλλα του πρώτου και τρίτου βιβλίου του τελευταίου. Δεν πρέπει να παραλείψω τους μελετητές της φύσης των νησιών Γκαλαπάγκος και των σπίνων του Δαρβίνου, D. Lack και P. Grant. Από τους βοτανικούς, το μελετητή της ανθεκτικότητας των φυτών στα βαριά μέταλλα A.D. Bradshaw.

Ιδιαίτερη θέση στην αγγλική σχολή κατέχει και ο J. Maynard Smith, μαθητής του Haldane, του οποίου το βιβλίο για την εξέλιξη (*The Theory of Evolution*, πρώτη έκδοση το 1958) μεταφράστηκε στα ελληνικά δύο φορές, για δύο διαδοχικές εκδόσεις του. Ο John Maynard Smith είναι γνωστός για την εύστοχη χρήση της θεωρίας των παιγνίων των O.I. Morgenstern και J. von Neumann στην εξελικτική θεωρία, με την επινόηση των εξελικτικά σταθερών στρατηγικών.

Η αγγλική σχολή παρουσιάζει ιδιομορφίες που θα προσπαθήσω να σκιαγραφήσω. Κατ' αρχάς, η αγγλική σχολή ασχολείται και ενδιαφέρεται για τη φύση, για μελέτες πεδίου σε πλήθος βιολογικών υλικών. Η γενετική περνά σε δεύτερη μοίρα. Πρωταρχικός, αλλά και μοναδικός νοητικός πυρήνας είναι η έννοια της δαρβινικής επιλογής. Οι άγγλοι εξελικτικοί δεν χαρακτηρίζονται από αμφιθυμία: γι' αυτούς η επιλογή αποτελεί τον κύριο, αν όχι τον μοναδικό παράγοντα, μηχανισμό ή δύναμη που ωθεί, ερμηνεύει ικανοποιητικά και μέχρις εξαντλήσεως την εξελικτική διαδικασία. Οι άγγλοι εξελικτικοί δεν διστάζουν, δεν ορρωδούν, στην επέκταση και προβολή της δαρβινικής επιλογής ως τις έσχατες δυνατότητες εφαρμογής της. Γι' αυτό οι διαδικασίες βελτιστοποίησης αποτελούν τα νοητικά εργαλεία, τα οποία ευνοούν και οι κοινωνιοβιολογικές προβολές (δηλαδή η ερμηνεία κοινωνικών φαινομένων βάσει της επιλογής γενετικών σημάνσεων), τις θεμιτές ολοκληρώσεις αυτού του τρόπου σκέψης. Ο *Τυφλός ωρολογοποιός* αποτελεί το επιστέγασμα αλλά και την αρτιότερη έκφραση αυτού του τρόπου αντιμετώπισης της πραγματικότητας.

Η ρωσοαμερικανική σχολή, αντίθετα, σε ιδιάζοντα βαθμό, που ποικίλλει ανάλογα με την ομάδα στην οποία εκάστοτε αναφερόμαστε, παραδέχεται τη συνδρομή και άλλων παραγόντων ή διαδικασιών στη διαμόρφωση της εξελικτικής πορείας, όπως είναι οι τυχαίες διαδικασίες, η γενετική παρέκκλιση. Πρόκειται για μια παράδοση την αρχή της οποίας ανιχνεύουμε στον Ρώσο S.S. Chetverikov και την αναλυτική της έκθεση στον Αμερικανό Sewall Wright. Μια ιδιότυπη μορφή συρρίκνωσης της σημασίας της φυσικής επιλογής απαντάται στα μέλη μιας πνευματικής δυναστείας αμερικανών εξελικτικών, στο γενετιστή T.H. Morgan, στο μαθητή του H.J. Muller, και στο μαθητή του τελευταίου J. Crow. Η παράδοση αυτή οδηγεί στη σχολή της επιλεκτικής ουδετερότητας, δηλαδή στο ότι οι διάφορες ποικίλες μορφές των γενετικών σημάνσεων στο μοριακό επίπεδο, στο επίπεδο του DNA, είναι επιλεκτικά ουδέτερες. Σ' αυτή την ιαπωνική έκφανση της αμερικανικής σχολής οδηγούμαστε με τον Motoo Kimura, μαθητή του Crow. Η ιδιότυπη, για μας τους δυτικούς, αντίληψη της φύσης από τους Ιάπωνες επέτρεψε την άνθηση αυτής της σχολής στην Ιαπωνία και στους Ιαπώνοαμερικανούς: μνημονεύω λίγα ονόματα, των T. Ohta, T. Maruyama, T. Mukai και M. Nei.

Πάντως, η ρωσοαμερικανική σχολή παραμένει στενά συνδεδεμένη με το δαρβινισμό και την πίστη στη φυσική επιλογή. Από το δαρβινισμό και τη γενετική του Morgan προέρχονται πνευματικά οι γενάρχες της, ο S.S. Chetverikov, ο N. Timofeeff-Ressovsky, και κυριότατα ο Theodosius Dobzhansky. Από αυτή την εξάρτηση από τη γενετική πηγάζει και η στροφή της αμερικανικής σχολής στις εργαστηριακές έρευνες, αρχικά σε συσχέτιση με έρευνες πεδίου, με την πάροδο του χρόνου σε κάποια ανεξαρτησία από αυτές. Δηλαδή παρατηρείται μια συρρίκνωση μελετών υπαίθρου, μια έμφαση στο εργαστηριακό και πειραματικό τμήμα, κυρίως με την εφαρμογή ολοένα και πιο απαιτητικών και εκλεπτυσμένων τεχνικών, όπως η ηλεκτροφόρηση, ή μοριακών τεχνικών, με απόλυτη τον προσδιορισμό της ακολουθίας των βάσεων στο DNA. Οι πραγματικοί φυσιοδίφες φαίνεται σαν να «εκδιώκονται» από τα πανεπιστημιακά εργαστήρια και να βρίσκουν καταφύγιο και αποκούμπι στα μουσεία, ως ταξινόμοι, ή να με-



ταμφιέζονται σε οικολόγους. Στα πανεπιστήμια τα βιολογικά υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι καλά μελετημένοι γενετικά οργανισμοί (δροσόφιλα, βακτήρια, ιοί, ποντικοί κ.ά.). Η στροφή είναι στη γενετική πληθυσμών και όχι στην οικολογική γενετική.

Με τούτο δεν θέλω να πω ότι η αμερικανική σχολή, στο μέγιστο τμήμα της, ενδεχομένως και συνολικά, αφίσταται από το βασικό κλειδί του δαρβινισμού, τη φυσική επιλογή, για την ερμηνεία της εξελικτικής πορείας. Σ' αυτό το σημείο, στην παραδοχή δηλαδή ενός (ίσως όχι του μοναδικού) πρωτεύοντος ρόλου της φυσικής επιλογής βρίσκεται και η βασική ενότητα μεταξύ των δύο τουλάχιστον (πιθανότατα και των τριών) σχολών, τις οποίες διέκρινα. Αυτή η ενότητα διαφαίνεται και στο τελικό κεφάλαιο του βιβλίου του Dawkins. Η επιλογή αποτελεί όντως το κλειδί για την κατανόηση του κόσμου, τουλάχιστον του τμήματος του κόσμου που άμεσα μας αφορά και μας ενδιαφέρει. Μπορεί άλλα κομμάτια του να είναι εξίσου ή περισσότερο σημαντικά από θεωρητική άποψη, λόγου χάρη εκείνα που εξετάζει η κοσμολογία ή η φυσική των στοιχειωδέστατων τμημάτων της ύλης (των υψηλών ενεργειών). Αυτά όμως τα τμήματα βρίσκονται μακρύτερα από εμάς, στην προσπάθειά μας να κατανοήσουμε τη φύση και κυρίως τον άνθρωπο. Και για την κατανόηση του ανθρώπου, η επιστημονική προσέγγιση είναι κατ' ανάγκην αποκλειστικά δαρβινική.

Κώστας Κριμπάς  
Αθήνα, 1994

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Το βιβλίο αυτό γράφτηκε με την πεποίθηση ότι η ύπαρξή μας, που αποτελούσε κάποτε το μεγαλύτερο μυστήριο, έπαψε να είναι μυστήριο, γιατί πρόκειται για ένα ζήτημα που έχει πλέον λυθεί. Το διαλεύκαναν ο Δαρβίνος και ο Wallace –αν και θα συνεχίσουμε για αρκετό καιρό ακόμη να προσθέτουμε υποσημειώσεις στις λύσεις που πρότειναν. Έγραψα αυτό το βιβλίο επειδή είχα μείνει έκπληκτος από το γεγονός ότι υπάρχουν τόσοι άνθρωποι που όχι μόνο δεν γνωρίζουν την κομψή και θαυμάσια λύση αυτού του βαθύτατου προβλήματος, αλλά και, όσο απίστευτο κι αν φαίνεται, σε πολλές περιπτώσεις δεν γνωρίζουν καν ότι υπήρχε πρόβλημα!

Πρόκειται για το πρόβλημα του πολύπλοκου σχεδιασμού. Ο υπολογιστής στον οποίο γράφω αυτές τις λέξεις έχει ικανότητα αποθήκευσης πληροφοριών 64 χιλιοψηφιολέξεων (κάθε ψηφιολέξη χρησιμοποιείται για την αποθήκευση ενός χαρακτήρα κειμένου). Ο υπολογιστής σχεδιάστηκε συνειδητά και κατασκευάστηκε για κάποιο σκοπό. Ο εγκέφαλος με τον οποίο κατανοείτε αυτά που γράφω περιέχει μια σειρά από δέκα δισεκατομμύρια νευρώνες περίπου. Πολλά από αυτά τα δισεκατομμύρια νευρικά κύτταρα διαθέτουν περισσότερα από χίλια «ηλεκτρικά καλώδια» το καθένα, που τα συνδέουν με άλλους νευρώνες. Επιπλέον, στο μοριακό γενετικό επίπεδο, καθένα από τα τρισεκατομμύρια κύτταρα του σώματος περιέχει γύρω στις χίλιες φορές περισσότερες κωδικοποιημένες ψηφιακές πληροφορίες απ' όσες έχει ολόκληρος ο υπολογιστής μου. Την πολυπλοκότητα των ζωντανών οργανισμών συναγωνίζεται η κομψή αποτελεσματικότητα της σχεδιά-

σής τους. Αν κάποιος δεν συμφωνεί ότι ένας τόσο πολύπλοκος σχεδιασμός απαιτεί κάποια εξήγηση, τότε εγκαταλείπω την προσπάθεια. Ή μάλλον, όχι, δεν την εγκαταλείπω, γιατί ένας από τους στόχους μου σ' αυτό το βιβλίο είναι να δώσω μια αίσθηση της εκπληκτικής και θαυμαστής βιολογικής πολυπλοκότητας σε εκείνους που δεν την έχουν συνειδητοποιήσει. Αλλά, αφού παρουσιάσω το μυστήριο, ο άλλος κύριος στόχος μου είναι να το εξαφανίσω και πάλι, εξηγώντας τη λύση του.

Η εξήγηση είναι δύσκολη τέχνη. Μπορείς να εξηγήσεις κάτι με τέτοιο τρόπο ώστε ο αναγνώστης να καταλάβει τις λέξεις, αλλά μπορείς και να το εξηγήσεις έτσι που ο αναγνώστης να το αισθανθεί μέχρι το μεδούλι του. Για να πετύχεις τη δεύτερη μορφή εξήγησης, μερικές φορές δεν είναι αρκεί να παρουσιάσεις στον αναγνώστη τα σχετικά στοιχεία με αμερόληπτο τρόπο. Πρέπει να γίνεις ένας «συνήγορος» και να χρησιμοποιήσεις τα τεχνάσματα των συνηγόρων. Αυτό το βιβλίο δεν είναι μια αμερόληπτη επιστημονική πραγματεία. Υπάρχουν άλλα βιβλία σχετικά με το δαρβινισμό που μπορούν να θεωρηθούν αμερόληπτα, πολλά δε από αυτά είναι θαυμάσια και πληροφοριακά, και θα έπρεπε να διαβαστούν σε συνδυασμό με το δικό μου. Θα πρέπει να ομολογήσω, λοιπόν, ότι το βιβλίο που έχετε στα χέρια σας όχι μόνο δεν είναι αμερόληπτο, αλλά σε ορισμένα σημεία του έχει γραφτεί με τέτοιο πάθος που θα μπορούσε να προκαλέσει διάφορα σχόλια σε ένα επιστημονικό περιοδικό. Βέβαια, έχει ως στόχο να πληροφορήσει, ταυτόχρονα όμως θέλει να πείσει και, ακόμη, να εμπνεύσει. (Μπορεί κανείς να ορίζει τους στόχους του χωρίς έπαρση.) Σκοπός μου είναι να εμπνεύσω τον αναγνώστη, να του περιγράψω την ίδια μας την ύπαρξη σαν ένα μυστήριο που προκαλεί ρίγη. Ταυτόχρονα, θέλω να του επισημάνω το συναρπαστικό γεγονός ότι το μυστήριο αυτό έχει μια θαυμάσια, κομψή λύση. Επιπλέον, θέλω να πείσω τον αναγνώστη όχι απλώς ότι η δαρβινική κοσμοθεωρία *συμβαίνει* να είναι σωστή, αλλά ότι είναι η μοναδική γνωστή θεωρία που *θα μπορούσε, και* αρχίη, να λύσει το μυστήριο της ύπαρξής μας. Αυτό καθιστά τη θεωρία διπλά ικανοποιητική. Μπορεί κανείς να υποστηρίξει ότι ο δαρβινισμός ισχύει όχι μόνο στον πλανήτη μας, αλλά και σε όλο το σύμπαν, όπου υπάρχει ζωή.

Ωστόσο, από μια άποψη θέλω να διαχωρίσω τη θέση μου από τους επαγγελματίες δικηγόρους. Ένας δικηγόρος ή ένας πολιτικός πληρώνεται για να χρησιμοποιεί το «πάθος» και την πειθώ του προς όφελος ενός πελάτη ή ενός σκοπού στον οποίο μπορεί να μην πιστεύει ο ίδιος. Δεν το έχω κάνει ποτέ αυτό, ούτε και θα το κάνω. Μπορεί οι απόψεις μου να μην είναι πάντοτε σωστές, αλλά ενδιαφέρομαι με πάθος για την αλήθεια και δεν λέω ποτέ κάτι για το οποίο δεν πιστεύω ότι είναι σωστό. Θυμάμαι τον κλονισμό που είχα νιώσει όταν συμμετείχα σε μια δημόσια πανεπιστημιακή συζήτηση με δημιουργιστές. Στο δείπνο που παρατέθηκε μετά τη συζήτηση, καθόμουν δίπλα σε μια νεαρή κυρία που είχε εκφωνήσει μια σχετικά δυναμική ομιλία υπέρ του δημιουργισμού. Ήμουν σίγουρος ότι δεν πίστευε αυτά που είχε πει, κι έτσι της ζήτησα να μου ομολογήσει ειλικρινά γιατί είχε υποστηρίξει αυτή τη θέση. Αμέσως παραδέχτηκε ότι ήθελε απλώς να εξασκήσει τις ικανότητες της πειθούς της και ότι το έβρισκε πιο ενδιαφέρον να υπερασπίζεται μια θέση στην οποία δεν πίστευε. Όπως φαίνεται, σ' αυτές τις δημόσιες συζητήσεις οι διοργανωτές είναι εκείνοι που καθορίζουν ποια άποψη θα υποστηρίξει ο κάθε ομιλητής. Οι προσωπικές του πεποιθήσεις δεν έχουν καμία σημασία. Είχα κάνει πολύ δρόμο για να συμμετάσχω σ' αυτή τη δυσάρεστη δημόσια συζήτηση, επειδή πιστεύω στην αλήθεια της θέσης που μου ζήτησαν να υποστηρίξω. Όταν ανακάλυψα ότι οι υπόλοιποι συνομιλητές χρησιμοποιούσαν τη δημόσια συζήτηση σαν ένα μέσο για να παίζουν επιχειρηματολογικά παιχνίδια, αποφάσισα να μην ξαναμιλήσω σε τέτοιες εκδηλώσεις οι οποίες ενθαρρύνουν την ανειλικρινή υποστήριξη θέσεων που αφορούν την επιστημονική αλήθεια.

Για λόγους που δεν έχω καταφέρει να κατανοήσω απόλυτα, ο δαρβινισμός χρειάζεται μια τέτοια πειστική υπεράσπιση σε μεγαλύτερο βαθμό από άλλες, εξίσου αποδεδειγμένες αλήθειες άλλων επιστημονικών κλάδων. Πολλοί από μας δεν καταλαβαίνουμε την κβαντική θεωρία, ούτε τις θεωρίες της ειδικής και της γενικής σχετικότητας του Αϊνστάιν, αυτό όμως δεν μας κάνει να *εναντιωνόμαστε* σ' αυτές! Ο δαρβινισμός, σε αντίθεση με τον «*αϊνσταϊνισμό*», θεωρείται ανοιχτό πεδίο για επικριτές με

οποιοδήποτε βαθμό άγνοιας. Όπως είπε και ο Jacques Monod με μια οξυδερκή παρατήρησή του, ένα πρόβλημα με το δαρβινισμό είναι ότι όλοι νομίζουν πως τον καταλαβαίνουν. Είναι, πραγματικά, μια εκπληκτικά απλή θεωρία –παιδαριωδώς απλή, θα μπορούσε να πει κανείς, σε σύγκριση με τις έννοιες της φυσικής και των μαθηματικών. Ουσιαστικά, συνίσταται απλώς στην ιδέα ότι όπου υπάρχει κληρονομική ποικιλότητα, η μη τυχαία αναπαραγωγή έχει συνέπειες που είναι πολύ σημαντικές και εκτεταμένες αν υπάρξει αρκετός χρόνος ώστε να συσσωρευτούν. Εντούτοις, έχουμε πολλούς λόγους να πιστεύουμε ότι αυτή η απλότητα είναι μόνο φαινομενική. Μην ξεχνάτε ότι, όσο απλή κι αν φαίνεται η θεωρία, κανείς δεν τη σκέφτηκε πριν την προτείνουν ο Δαρβίνος και ο Wallace στα μέσα του 19ου αιώνα, σχεδόν 200 χρόνια μετά το έργο του Νεύτωνα *Principia* και πάνω από 2.000 χρόνια μετά τη μέτρηση της Γης από τον Ερατοσθένη. Πώς ήταν δυνατό να μην ανακαλυφθεί μια τόσο απλή ιδέα από στοχαστές του επιπέδου του Νεύτωνα, του Γαλιλαίου, του Καρτέσιου, του Leibnitz, του Hume και του Αριστοτέλη; Γιατί έπρεπε να γίνει αυτό από δύο δικτωριανούς φυσιοδίφες; Τι εμπόδιζε όλους τους προγενέστερους φιλοσόφους και μαθηματικούς να τη συλλάβουν; Και πώς είναι δυνατό μια τόσο σημαντική ιδέα να μην έχει αφομοιωθεί ακόμη από τη λαϊκή συνείδηση;

Θά 'λεγε κανείς ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος σχεδιάστηκε ειδικά με τέτοιο τρόπο ώστε να παρανοεί το δαρβινισμό και να δυσκολεύεται να τον πιστέψει. Ας αναφέρουμε, για παράδειγμα, το ζήτημα της «τύχης» που συχνά χαρακτηρίζεται, για έμφαση, *τυφλή τύχη*. Η μεγάλη πλειοψηφία των επικριτών του δαρβινισμού καταλήγει με μια σχεδόν ανάρμοστη θιασύνη στο εσφαλμένο συμπέρασμα ότι η εν λόγω θεωρία αναφέρεται αποκλειστικά και μόνο στο τυχαίο. Προφανώς, αν θεωρήσει κανείς το δαρβινισμό ως ισοδύναμο της προβολής του τυχαίου, και με το δεδομένο ότι η πολύπλοκη οργάνωση των ζωντανών οργανισμών αποτελεί το άκρο αντίθετο του τυχαίου, θα ήταν πολύ εύκολο να τον καταρρίψει! Ένας από τους σκοπούς μου είναι να διαλύσω αυτό το μύθο τον οποίο πολλοί πιστεύουν τόσο εύκολα, ότι δηλαδή ο δαρβινισμός είναι μια θεωρία «τύχης». Ένας άλλος λόγος για τον

οποίο έχουμε την τάση να μην πιστεύουμε το δαρβινισμό είναι ότι ο εγκέφαλός μας είναι κατασκευασμένος για να επεξεργάζεται γεγονότα που συμβαίνουν σε *χρονικές κλίμακες* ριζικά διαφορετικές από εκείνες που χαρακτηρίζουν την εξελικτική αλλαγή. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος μπορεί να αντιληφθεί διαδικασίες που χρειάζονται δευτερόλεπτα, λεπτά, χρόνια ή, το πολύ, δεκαετίες για να ολοκληρωθούν. Ο δαρβινισμός είναι μια θεωρία συσσωρευτικών αλλαγών που είναι τόσο αργές, ώστε για να ολοκληρωθούν χρειάζονται από χιλιάδες μέχρι εκατομμύρια δεκαετίες. Όλες οι διαισθητικές κρίσεις μας για το τι είναι πιθανό να συμβεί σε τέτοιες χρονικές περιόδους αποδεικνύονται εσφαλμένες κατά πολλές τάξεις μεγέθους. Ο εγκέφαλός μας, αυτό το καλοσυντονισμένο όργανο σκεπτικισμού και υποκειμενικής εκτίμησης των πιθανοτήτων διαφόρων καταστάσεων, μας δίνει αποτελέσματα που αποκλίνουν σε τεράστιο βαθμό από τα πραγματικά, επειδή ακριβώς είναι συντονισμένος –κατά ειρωνικό τρόπο, από την ίδια την εξέλιξη– να λειτουργεί μέσα στα χρονικά πλαίσια μίας ζωής, δηλαδή μερικών δεκαετιών. Χρειάζεται μια προσπάθεια της φαντασίας για να δραπετεύσει από τη φυλακή της οικείας χρονικής κλίμακας, μια προσπάθεια στην οποία θα προσπαθήσω να συμβάλω.

Ένας τρίτος λόγος για τον οποίο ο εγκέφαλός μας έχει την τάση να αντιστέκεται στο δαρβινισμό είναι η μεγάλη επιτυχία που έχουμε ως σχεδιαστές και δημιουργοί. Ο κόσμος μας είναι γεμάτος από κατορθώματα μηχανικών και έργα καλλιτεχνών. Έχουμε συνηθίσει απόλυτα την ιδέα ότι η περίπλοκη και κομψή οργάνωση είναι ένδειξη προμελετημένου και επεξεργασμένου σχεδιασμού. Αυτή είναι ίσως η κυριότερη αιτία της πίστης μας στην ύπαρξη μιας υπερφυσικής θεότητας, μιας πίστης διαδεδομένης στη συντριπτική πλειοψηφία των ανθρώπων που έζησαν ποτέ. Χρειάστηκε ένα πολύ μεγάλο άλμα της φαντασίας για να καταλάβουν ο Δαρβίνος και ο Wallace ότι, αντίθετα με κάθε διαίσθηση, υπάρχει και ένας άλλος τρόπος με τον οποίο ο πολύπλοκος «σχεδιασμός» μπορεί να προκύψει από την πρωτόγονη απλότητα, ένας τρόπος που, όταν τον καταλάβει κανείς, βλέπει ότι είναι πολύ πιο εύλογος. Πρόκειται για ένα άλμα της φαντασίας



τόσο μεγάλο, ώστε μέχρι και σήμερα ο πολύς κόσμος είναι απρόθυμος να το τολμήσει. Ο κύριος στόχος του παρόντος βιβλίου είναι ακριβώς να βοηθήσει τον αναγνώστη να πραγματοποιήσει αυτό το άλμα.

Είναι φυσικό κάθε συγγραφέας να ελπίζει ότι η επίδραση του βιβλίου του θα είναι διαρκής και όχι εφήμερη. Ωστόσο, κάθε δικηγόρος είναι υποχρεωμένος όχι μόνο να εκθέτει τα «διαχρονικά» επιχειρήματά του αλλά, επίσης, να απαντά στους σύγχρονους του δικηγόρους που υποστηρίζουν αντίθετες, ή φαινομενικά αντίθετες, απόψεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις, υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος μερικές από αυτές τις διαμάχες, όσο άγρια κι αν μαίνονται σήμερα, να φαίνονται τρομερά παρωχημένες έπειτα από μερικές δεκαετίες. Έχει επισημανθεί συχνά το παράδοξο γεγονός ότι η πρώτη έκδοση του έργου *The Origin of Species* (Η προέλευση των ειδών) διατυπώνει την εξελικτική θεωρία καλύτερα απ' ό,τι η έκτη έκδοση. Αυτό συνέβη γιατί στις μετέπειτα εκδόσεις ο Δαρβίνος αισθανόταν υποχρεωμένος να απαντήσει σε σύγχρονες κριτικές της πρώτης έκδοσης, κριτικές που τώρα φαίνονται τρομερά απαρχαιωμένες και, σε μερικά σημεία, παραπλανητικές. Εντούτοις, όσο μεγάλος κι αν είναι ο πειρασμός να αγνοήσει κανείς τις σύγχρονες επικρίσεις που γίνονται κατά καιρούς «της μόδας» –έστω κι αν υποσιάζεται ότι γρήγορα θα εκλείψουν–, δεν θα πρέπει να τις αφήσει αναπάντητες, για λόγους αθρότητας όχι μόνο προς τους ίδιους τους επικριτές αλλά και προς τους αναγνώστες τους, που σε αντίθετη περίπτωση θα παραμείνουν στην πλάνη. Έχω κάνει τις δικές μου εκτιμήσεις σχετικά με τα κεφάλαια του βιβλίου μου που θα αποδειχτούν εν τέλει εφήμερα γι' αυτόν ακριβώς το λόγο, αλλά η τελική κρίση επαφίεται στον αναγνώστη –και το χρόνο.

Έχω διαπιστώσει με λύπη ότι μερικές φίλες μου (ευτυχώς όχι πολλές) ενοχλούνται από το γεγονός ότι απευθύνω το βιβλίο «στον αναγνώστη» και αντιμετωπίζουν τη χρήση του αρσενικού γένους σαν να δείχνει κάποια πρόθεση αποκλεισμού του γυναικείου αναγνωστικού κοινού. Αν ήταν απαραίτητο να αποκλειστεί κάποιος (ευτυχώς δεν είναι) θα προτιμούσα να αποκλείσω τους άνδρες, αλλά όταν κάποτε δοκίμασα να αναφερθώ στην αφηρη-

μένη «αναγνώστρια», μια φεμινίστρια με κατηγορήσε για συγκαταβατικότητα. Θά 'πρεπε ίσως να λέω «ο αναγνώστης ή η αναγνώστρια». Αυτό είναι εύκολο να το κάνει κάποιος αν δεν τον ενδιαφέρει η γλώσσα –αν όμως δεν τον ενδιαφέρει η γλώσσα, τότε δεν του αξίζει να έχει αναγνώστες οποιουδήποτε φύλου. Σ' αυτό το βιβλίο, χρησιμοποιώ το συνηθισμένο αρσενικό γένος. Μπορεί να μιλώ για «τον αναγνώστη», αλλά δεν θεωρώ τους αναγνώστες μου αποκλειστικά και μόνο αρσενικού γένους, όπως και ένας Γάλλος δεν θεωρεί το τραπέζι ως κάτι το θηλυκό. Εδώ που τα λέμε, τις περισσότερες φορές θεωρώ ότι οι αναγνώστες μου είναι γυναίκες, αλλά αυτό είναι προσωπικό μου θέμα και δεν θα ήθελα να επιτρέψω σε τέτοια ζητήματα να επηρεάσουν τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιώ τη μητρική μου γλώσσα.

Ένα άλλο προσωπικό θέμα είναι οι ευχαριστίες που χρωστώ σε άτομα τα οποία με βοήθησαν στη συγγραφή αυτού του βιβλίου. Εκείνοι τους οποίους δεν μπορώ να αναφέρω θα καταλάβουν. Οι εκδότες μου δεν μου έκρυσαν τα ονόματα εκείνων που διάβασαν το βιβλίο πριν από την έκδοσή του και εξέφρασαν τη γνώμη τους. Έτσι, θέλω να αναφέρω ότι ωφελήθηκα σε μεγάλο βαθμό από τις παρατηρήσεις του John Krebs (και πάλι), του John Durant, του Graham Cairns-Smith, του Jeffrey Levinton, του Michael Ruse, του Anthony Hallam και του David Pye. Ο Richard Gregory είχε την ευγένεια να κρίνει το Κεφάλαιο 12, και η τελική μορφή του βιβλίου ωφελήθηκε από την ολοκληρωτική αφαίρεσή του. Ο Mark Ridley και ο Alan Grafen, που δεν είναι πια ούτε και επίσημα φοιτητές μου, αποτελούν, μαζί με τον Bill Hamilton, ηγετικές φυσιογνωμίες της ομάδας των συναδέλφων με τους οποίους διαρκώς συζητώ για το θέμα της εξέλιξης και από τις ιδέες των οποίων ωφελούμαι σχεδόν καθημερινά. Αυτοί, μαζί με την Pamela Wells, τον Peter Atkins και τον John Dawkins με βοήθησαν κρίνοντας και αξιολογώντας διάφορα κεφάλαια του βιβλίου. Η Sarah Bunney έκανε πολυάριθμες βελτιώσεις και ο John Gribbin διόρθωσε ένα σημαντικό σφάλμα. Ο Alan Grafen και ο Will Atkinson με συμβούλευσαν για τα προβλήματα που σχετίζονται με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, και η ομάδα της Apple Macintosh του Τμήματος Ζωολογίας είχε την ευγένεια

να μου επιτρέψει τη χρήση του εκτυπωτή λέιζερ για τη σχεδίαση των βιομορφών.

Για άλλη μια φορά ωφελήθηκα από τον ανελέητο δυναμισμό με τον οποίο ο Michael Rodgers, που τώρα εργάζεται στον εκδοτικό οίκο Longman, παρασέρνει τους πάντες στην πορεία του. Αυτός και η Mary Cunnane, του Norton, χρησιμοποίησαν επιδέξια το «γκάζι» (για το ηθικό μου) και το «φρένο» (για το χιούμορ μου) όπου χρειαζόταν το καθένα. Ένα μέρος του βιβλίου γράφτηκε στη διάρκεια μιας εκπαιδευτικής άδειας που μου χορηγήθηκε ευγενώς από το Τμήμα Ζωολογίας του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης. Τέλος, πρέπει να αναφέρω ένα χρέος που θα έπρεπε να είχα αναγνωρίσει και στα δύο προηγούμενα βιβλία μου, προς το σύστημα συμβούλων σπουδών της Οξφόρδης και τους πολλούς μαθητές μου στη ζωολογία, που με το πέρασμα των χρόνων με βοήθησαν να εξασκήσω τις λίγες ικανότητες που μπορεί να έχω στη δύσκολη τέχνη της εξήγησης.

Richard Dawkins  
Οξφόρδη, 1986

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

# ΕΞΗΓΩΝΤΑΣ ΤΟ ΠΟΛΥ ΑΠΙΘΑΝΟ

Εμείς τα ζώα είμαστε τα πιο πολύπλοκα αντικείμενα που υπάρχουν στο γνωστό σύμπαν. Το σύμπαν που γνωρίζουμε, βέβαια, δεν είναι παρά ένα ελάχιστο τμήμα του υπαρκτού σύμπαντος. Μπορεί να υπάρχουν σε άλλους πλανήτες αντικείμενα πιο πολύπλοκα από μας, και μερικά από αυτά μπορεί να γνωρίζουν ήδη την ύπαρξή μας. Αυτό όμως δεν αλλάζει το ζήτημα που θέλω να επισημάνω. Τα πολύπλοκα αντικείμενα, όπου κι αν βρίσκονται, αξίζουν δικαιωματικά ένα πολύ ιδιαίτερο είδος εξήγησης. Θέλουμε να ξέρουμε πώς δημιουργήθηκαν και γιατί είναι τόσο πολύπλοκα. Η εξήγηση, όπως θα υποστηρίξω παρακάτω, πρέπει να είναι σε γενικές γραμμές η ίδια για όλα τα πολύπλοκα αντικείμενα, σε όλα τα μέρη του σύμπαντος: η ίδια για μας, για τους χιμπαντζήδες, τα σκουλήκια, τις καρδιές και τα τέρατα από το διάστημα. Από την άλλη πλευρά, δεν θα είναι η ίδια για τα αντικείμενα που θα χαρακτηρίσω «απλά», όπως οι βράχοι, τα σύννεφα, οι ποταμοί, οι γαλαξίες και τα κουάρκ. Αυτά αποτελούν το αντικείμενο της φυσικής. Οι χιμπαντζήδες, οι σκύλοι, οι νυχτερίδες, οι κατσαρίδες, οι άνθρωποι, τα σκουλήκια, οι πικραλίδες, τα βακτήρια και οι εξωγήινοι από άλλους γαλαξίες αποτελούν το αντικείμενο της βιολογίας.

Η διαφορά ανάμεσα σ' αυτές τις δύο κατηγορίες αντικειμένων είναι η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού τους. Η βιολογία είναι η μελέτη των πολύπλοκων πραγμάτων που δίνουν την εντύπωση

ότι σχεδιάστηκαν για κάποιο σκοπό. Η φυσική είναι η μελέτη των απλών πραγμάτων που δεν μας βάζουν στον πειρασμό να τους αποδώσουμε έναν σκόπιμο σχεδιασμό. Με την πρώτη ματιά, διάφορα πράγματα που έχει φτιάξει ο άνθρωπος, όπως οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και τα αυτοκίνητα, φαίνεται να αποτελούν εξαιρέσεις. Είναι πολύπλοκα αντικείμενα και προφανώς έχουν σχεδιαστεί για κάποιο σκοπό, δεν είναι όμως ζωντανά, και αποτελούνται από μέταλλο και πλαστικό, όχι από σάρκα και οστά. Εντούτοις, σ' αυτό το βιβλίο θα τα θεωρήσουμε ως βιολογικά αντικείμενα.

Πιθανώς, η αντίδραση του αναγνώστη θα είναι να ρωτήσει: «Ναι, αλλά είναι *όντως* βιολογικά αντικείμενα;» Οι λέξεις είναι υπηρέτες μας και όχι αφέντες μας. Γενικά μας βολεύει να χρησιμοποιούμε τις λέξεις με διαφορετικές έννοιες σε διαφορετικές περιπτώσεις, ανάλογα με το σκοπό μας. Οι περισσότερες συνταγές μαγειρικής χαρακτηρίζουν τους αστακούς ψάρια. Πολλοί ζωολόγοι γίνονται πυρ και μανία με αυτό το χαρακτηρισμό, και επισημαίνουν ότι θα ήταν πιο δίκαιο αν οι αστακοί χαρακτηρίζαν τους ανθρώπους ψάρια, αφού τα ψάρια είναι πολύ πιο κοντινοί συγγενείς των ανθρώπων απ' ό,τι των αστακών. Και, αφού μιλάμε περί δικαιοσύνης και αστακών, θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι πρόσφατα ένα δικαστήριο κλήθηκε να αποφασίσει αν οι αστακοί είναι έντομα ή «ζώα» (από την απόφαση του δικαστηρίου θα προέκυπτε αν επιτρέπεται να τους θράζουν ζωντανούς). Από ζωολογική άποψη, οι αστακοί σίγουρα δεν είναι έντομα. Είναι ζώα, όμως ζώα είναι και τα έντομα και οι άνθρωποι. Δεν υπάρχει λόγος να θυμώνουμε επειδή κάποιοι χρησιμοποιούν με διαφορετικούς τρόπους τις λέξεις (αν και στη μη επαγγελματική μου ζωή είμαι απόλυτα διατεθειμένος να γίνω πυρ και μανία με τους ανθρώπους που θράζουν τους αστακούς ζωντανούς). Οι μάγειροι και οι δικηγόροι το βρίσκουν απαραίτητο να χρησιμοποιούν τις λέξεις με τους δικούς τους ιδιαίτερους τρόπους και το ίδιο κάνω κι εγώ σ' αυτό το βιβλίο. Δεν έχει σημασία αν τα αυτοκίνητα και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές είναι «όντως» βιολογικά αντικείμενα. Το θέμα είναι ότι αν βρισκόταν πάνω σε έναν πλανήτη ένα αντικείμενο με τέτοιο βαθμό πολυπλοκότητας,

δεν θα διστάζαμε να συμπεράνουμε ότι εκεί υπάρχει, ή υπήρχε κάποτε, ζωή. Οι μηχανές είναι άμεσα προϊόντα των έμβιων αντικειμένων. Η πολυπλοκότητα και ο σχεδιασμός τους οφείλεται στα έμβια αντικείμενα, και αποτελούν απόδειξη της ύπαρξης ζωής πάνω σε έναν πλανήτη. Το ίδιο ισχύει για τα απολιθώματα, τους σκελετούς και τα νεκρά σώματα.

Είπα παραπάνω ότι η φυσική είναι η μελέτη απλών αντικειμένων, και αυτό μπορεί να φανεί επίσης παράξενο με την πρώτη ματιά. Η φυσική φαίνεται να είναι μια πολύπλοκη επιστήμη, γιατί δυσκολευόμαστε να κατανοήσουμε τις έννοιές της. Ο εγκέφαλός μας είναι σχεδιασμένος για να καταλαβαίνει το κινήγι και τη συγκομιδή, το ζευγάρωμα και την ανατροφή των παιδιών, δηλαδή έναν κόσμο με αντικείμενα μεσαίου μεγέθους που κινούνται με μέτριες ταχύτητες σε τρεις διαστάσεις. Δεν διαθέτουμε τα απαραίτητα εφόδια για να κατανοήσουμε ούτε το πολύ μικρό και το πολύ μεγάλο, ούτε διάρκειες που μετριούνται σε τρισεκατομμυριοστά του δευτερολέπτου ή σε δισεκατομμύρια χρόνια, ούτε σωματίδια που δεν έχουν συγκεκριμένη θέση, ούτε δυνάμεις και πεδία που δεν μπορούμε να δούμε ή να αγγίξουμε και τα οποία αντιλαμβανόμαστε μόνο επειδή επηρεάζουν πράγματα τα οποία μπορούμε να δούμε ή να αγγίξουμε. Νομίζουμε ότι η φυσική είναι πολύπλοκη επειδή δυσκολευόμαστε να την καταλάβουμε και επειδή τα βιβλία της φυσικής είναι γεμάτα από δύσκολα μαθηματικά. Βασικά, όμως, τα αντικείμενα που μελετούν οι φυσικοί είναι απλά: σύννεφα αερίων ή μικροσκοπικών σωματιδίων, ή τμήματα ομοιόμορφης ύλης όπως οι κρύσταλλοι, με σχεδόν συνεχώς επαναλαμβανόμενους σχηματισμούς ατόμων. Δεν περιλαμβάνουν –τουλάχιστον με βιολογικά κριτήρια– πολύπλοκα λειτουργικά τμήματα. Ακόμη και τα μεγάλα φυσικά αντικείμενα, όπως τα άστρα, αποτελούνται από μια μάλλον περιορισμένη σειρά τμημάτων με διάταξη που είναι λίγο ως πολύ τυχαία. Η συμπεριφορά των φυσικών, μη βιολογικών αντικειμένων, είναι τόσο απλή, ώστε μπορούμε να την περιγράψουμε με τη γλώσσα των μαθηματικών που έχουμε στη διάθεσή μας, και γι' αυτόν ακριβώς το λόγο τα βιβλία της φυσικής είναι γεμάτα από μαθηματικά.

Τα βιβλία της φυσικής είναι πολύπλοκα, αλλά τα βιβλία, όπως

και τα αυτοκίνητα και οι υπολογιστές, είναι προϊόντα των βιολογικών αντικειμένων: των ανθρώπινων εγκεφάλων. Τα αντικείμενα και τα φαινόμενα που περιγράφει ένα βιβλίο φυσικής είναι πιο απλά απ' ό,τι ένα και μόνο κύτταρο στο σώμα του συγγραφέα του βιβλίου. Και ο συγγραφέας αποτελείται από τρισεκατομμύρια τέτοια κύτταρα, πολλά από τα οποία είναι διαφορετικά μεταξύ τους, οργανωμένα με απόλυτη ακρίβεια και πολύπλοκη αρχιτεκτονική σε μια λειτουργική μηχανή ικανή να γράψει ένα βιβλίο. Ο εγκέφαλός μας δεν είναι σε θέση να χειρίζεται ακραίες καταστάσεις πολυπλοκότητας, όπως ακριβώς δεν μπορεί να χειριστεί τις οριακές τιμές του μεγέθους ή άλλες οριακές τιμές της φυσικής. Κανείς δεν έχει επινοήσει ακόμη την απαραίτητη μαθηματική θεωρία για την περιγραφή της συνολικής δομής και της συμπεριφοράς ενός αντικειμένου όπως είναι ένας φυσικός, ή έστω και ένα από τα κύτταρα του σώματός του. Εκείνο που μπορούμε να κάνουμε είναι να κατανοήσουμε μερικές από τις γενικές αρχές λειτουργίας των έμβιων πραγμάτων και το λόγο της ύπαρξής τους.

Εδώ είχαμε αρχίσει την αναζήτησή μας. Θέλαμε να καταλάβουμε γιατί υπάρχουμε εμείς και όλα τα άλλα πολύπλοκα πράγματα. Τώρα μπορούμε να απαντήσουμε σ' αυτό το ερώτημα, σε γενικές γραμμές, έστω και αν δεν είμαστε σε θέση να κατανοήσουμε τις λεπτομέρειες της ίδιας της πολυπλοκότητας. Ας δώσουμε μια σχετική αναλογία: οι περισσότεροι από μας δεν καταλαβαίνουμε με λεπτομέρειες πώς λειτουργεί ένα αεροπλάνο. Είναι πιθανό ότι ακόμη κι αυτοί που το κατασκεύασαν δεν το καταλαβαίνουν πλήρως. Οι ειδικοί για τις μηχανές μπορεί να μη γνωρίζουν σε όλες τις λεπτομέρειες τη λειτουργία των φτερών, ενώ οι ειδικοί για τα φτερά μπορεί να καταλαβαίνουν μόνο αόριστα τη λειτουργία των μηχανών. Επιπλέον, ακόμη και οι ειδικοί για τα φτερά δεν γνωρίζουν το αντικείμενό τους με πλήρη μαθηματική ακρίβεια: δεν μπορούν να προβλέψουν ποια θα είναι η συμπεριφορά ενός φτερού σε στροβιλώδεις συνθήκες, παρά μόνο αν εξετάσουν ένα μοντέλο του φτερού σε αεροδυναμική σήραγγα ή αν το προσομοιώσουν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή —ό,τι θα μπορούσε να κάνει και ένας βιολόγος για να κατανοήσει ένα ζώο.



Αλλά, όσο ατελώς κι αν κατανοούμε ένα αεροπλάνο, όλοι γνωρίζουμε και καταλαβαίνουμε τη γενική διαδικασία με την οποία δημιουργήθηκε. Σχεδιάστηκε από ανθρώπους. Κατόπιν, άλλοι άνθρωποι έφτιαξαν τα εξαρτήματα με βάση αυτά τα σχέδια, και πολύ περισσότεροι άνθρωποι (με τη βοήθεια άλλων μηχανημάτων, σχεδιασμένων επίσης από ανθρώπους) βίδωσαν, κάρφωσαν ή συγκόλλησαν τα εξαρτήματα, στις σωστές τους θέσεις. Η διαδικασία με την οποία δημιουργήθηκε το αεροπλάνο δεν είναι μυστηριώδης για μας, γιατί κατασκευάστηκε από ανθρώπους. Η συστηματική συναρμολόγηση εξαρτημάτων σύμφωνα με ένα σκόπιμο σχέδιο είναι κάτι το οποίο γνωρίζουμε και καταλαβαίνουμε γιατί το έχουμε ζήσει άμεσα, έστω και μόνο από τα συναρμολογούμενα παιχνίδια με τα οποία παίζαμε όταν ήμαστε μικροί.

Τι γίνεται, όμως, με το ίδιο μας το σώμα; Κάθε άνθρωπος, όπως και ένα αεροπλάνο, είναι μια μηχανή, αλλά πολύ πιο πολύπλοκη. Άραγε, σχεδιαστήκαμε κι εμείς σε κάποια σχεδιαστήρια και τα εξαρτήματά μας συναρμολογήθηκαν από έναν επιδέξιο μηχανικό; Η απάντηση είναι αρνητική. Πρόκειται για μια απρόσμενη απάντηση, και έχει περάσει μόνο ένας αιώνας περίπου από τότε που τη γνωρίσαμε και την κατανοήσαμε. Όταν ο Κάρολος Δαρβίνος την ανέλυσε για πρώτη φορά, πολλοί είτε δεν ήθελαν είτε δεν μπορούσαν να την καταλάβουν. Κι εγώ ο ίδιος αρνήθηκα κατηγορηματικά να πιστέψω τη θεωρία του Δαρβίνου μόλις την άκουσα για πρώτη φορά, όταν ήμουν παιδί. Σχεδόν όλοι όσοι έζησαν κατά τη διάρκεια της ανθρώπινης ιστορίας μέχρι και το δεύτερο μισό του 19ου αιώνα, πίστευαν ακράδαντα το αντίθετο: τη θεωρία του Συνειδητού Σχεδιαστή. Πολλοί την πιστεύουν ακόμη, ίσως επειδή η γνήσια, δαρβινική εξήγηση της ύπαρξής μας εξακολουθεί, κατά παράξενο και απίστευτο τρόπο, να μην αποτελεί αναπόσπαστο μέρος ενός γενικού εκπαιδευτικού προγράμματος. Και σίγουρα, πολλοί έχουν καταλάβει εντελώς εσφαλμένα αυτή τη θεωρία.

Έχω δανειστεί τον ωρολογιοποιό του τίτλου του βιβλίου μου από μια φημισμένη πραγματεία ενός θεολόγου του 18ου αιώνα, του William Paley. Το βιβλίο του *Natural Theology - or Evidences of the Existence and Attributes of the Deity Collected from the*



*Appearances of Nature* (Φυσική θεολογία, ή αποδείξεις της ύπαρξης και ιδιότητες της θεότητας συλλεγμένες από τα φαινόμενα της φύσης), που εκδόθηκε το 1802, είναι η καλύτερη παρουσίαση του «Επιχειρήματος του Σχεδιασμού», που ήταν πάντοτε το ισχυρότερο επιχειρήμα για την ύπαρξη Θεού. Είναι ένα βιβλίο το οποίο θαυμάζω πολύ, γιατί ο συγγραφέας κατάφερε στην εποχή του αυτό που επιχειρώ κι εγώ τώρα. Υποστήριξε μια άποψη, πίστευε με πάθος στην ορθότητά της και κατέβαλε κάθε δυνατή προσπάθεια για να τη διατυπώσει όσο πιο καθαρά και πειστικά μπορούσε. Είχε τον προσήκοντα σεβασμό για την πολυπλοκότητα του έμβιου κόσμου και έβλεπε ότι απαιτεί ένα πολύ ιδιαίτερο είδος εξήγησης. Το μόνο στο οποίο έκανε λάθος –και, ομολογούμενως, ήταν ένα μεγάλο λάθος!– ήταν η ίδια η εξήγηση. Έδωσε την παραδοσιακή θρησκευτική απάντηση στο αίνιγμα, αλλά την εξέφρασε σαφέστερα και πειστικότερα από κάθε άλλον μέχρι τότε. Η αληθινή εξήγηση είναι εντελώς διαφορετική, και επρόκειτο να διατυπωθεί από έναν από τους πιο ρηζικέλεους στοχαστές όλων των εποχών, τον Κάρολο Δαρβίνο.

Ας δούμε πώς αρχίζει ο Paley τη *Φυσική θεολογία* του:

Ας υποθέσουμε ότι καθώς περπατώ στην ύπαιθρο χτυπώ το πόδι μου σε μια πέτρα και κάποιος με ρωτά πώς βρέθηκε εκεί αυτή η πέτρα. Θα μπορούσα να του απαντήσω ότι η πέτρα μπορεί κάλλιστα να βρισκόταν εκεί από καταβολής κόσμου –και δεν θα ήταν ίσως πολύ εύκολο να αποδείξω πόσο παράλογη είναι αυτή η απάντηση. Ας υποθέσουμε όμως τώρα ότι θρίσκω στο έδαφος ένα ρολόι και με ρωτούν πάλι πώς βρέθηκε το ρολόι εκεί. Δεν θα σκεφτόμουν, βέβαια, την απάντηση που έδωσα προηγουμένως, ότι το ρολόι μπορεί κάλλιστα να βρισκόταν εκεί από καταβολής κόσμου.

Ο Paley αναγνωρίζει τη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στα φυσικά υλικά αντικείμενα, όπως οι πέτρες, και στα σχεδιασμένα και κατασκευασμένα αντικείμενα, όπως τα ρολόγια. Συνεχίζει την πραγματεία του περιγράφοντας την ακρίβεια με την οποία είναι φτιαγμένα τα γρανάζια και τα ελατήρια ενός ρολογιού και τον πολύπλοκο τρόπο με τον οποίο έχουν συναρμολογηθεί. Αν βρί-

σκαμε στο έδαφος ένα αντικείμενο όπως το ρολόι, ακόμη και αν δεν ξέραμε πώς δημιουργήθηκε, η ίδια η ακρίβεια και η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού του θα μας ανάγκαζαν να συμπεράνουμε

ότι το ρολόι πρέπει να έχει κάποιο δημιουργό: ότι πρέπει να υπήρξε, σε κάποιο χρόνο και κάποιον τόπο, ένας κατασκευαστής ή κάποιοι κατασκευαστές, που το έφτιαξαν για το σκοπό ακριβώς τον οποίο εκπληρώνει, που κατανοούσαν τη χρήση του και σχεδίασαν σκόπιμα την κατασκευή του.

Κανένας λογικός άνθρωπος δεν μπορεί να διαφανήσει με αυτό το συμπέρασμα, διατείνεται ο Paley. Και όμως, αυτό ακριβώς κάνει ο άθεος όταν παρατηρεί τα έργα της φύσης, γιατί:

κάθε ένδειξη κατασκευής και κάθε εκδήλωση σχεδιασμού που υπήρχε στο ρολόι, υπάρχει και στα έργα της φύσης, με τη διαφορά ότι τα έργα αυτά είναι σε ανυπολόγιστο βαθμό περισσότερα και σπουδαιότερα.

Ο Paley υποστηρίζει την άποψή του με όμορφες και ευλαβικές περιγραφές των μηχανισμών της ζωής, όπως έχουν αποκαλυφθεί από την ανατομία, αρχίζοντας από το ανθρώπινο μάτι, ένα από τα αγαπημένα του παραδείγματα που θα χρησιμοποιούσε αργότερα και ο Δαρβίνος, και το οποίο εμφανίζεται πολλές φορές και στο ανά χειρας βιβλίο. Ο Paley συγκρίνει το μάτι με ένα προσχεδιασμένο όργανο όπως το τηλεσκόπιο και συμπεραίνει ότι «οι αποδείξεις που πείθουν ότι το μάτι κατασκευάστηκε σκόπιμα για την όραση είναι ακριβώς ίδιες με εκείνες που πείθουν ότι το τηλεσκόπιο κατασκευάστηκε για να τη βοηθάει». Το μάτι πρέπει να έχει ένα σχεδιαστή, όπως ακριβώς και το τηλεσκόπιο.

Το επιχείρημα του Paley διατυπώνεται με ένθερμη ειλικρίνεια και στηρίζεται στις καλύτερες βιολογικές γνώσεις που υπήρχαν κατά την εποχή του, αλλά είναι εσφαλμένο, ολοκληρωτικά εσφαλμένο. Η αναλογία ανάμεσα στο τηλεσκόπιο και στο μάτι, ανάμεσα στο ρολόι και στον ζωντανό οργανισμό, είναι λαθεμένη.

Παρ' όλες τις ενδείξεις για το αντίθετο, ο μοναδικός ωρολογοποιός στη φύση είναι οι τυφλές δυνάμεις της φυσικής, οι οποίες όμως λειτουργούν με έναν πολύ ιδιαίτερο τρόπο. Ένας ωρολογοποιός έχει προνοητικότητα: σχεδιάζει τα γρανάζια και τα ελατήρια, και οργανώνει τις συνδέσεις τους έχοντας έναν τελικό σκοπό στο νου του. Η φυσική επιλογή, η τυφλή, ασυνείδητη, αυτόματη διαδικασία που ανακάλυψε ο Δαρβίνος και η οποία ξέρουμε τώρα ότι αποτελεί την εξήγηση για την ύπαρξη της ζωής και τη φαινομενικά σκόπιμη μορφή της, δεν έχει κανένα σκοπό κατά νου. Δεν έχει καν νου. Δεν σχεδιάζει για το μέλλον. Δεν έχει καμία προνοητικότητα. Αν μπορούμε να πούμε ότι παίζει το ρόλο του ωρολογοποιού στη φύση, τότε πρόκειται για έναν τυφλό ωρολογοποιό.

Παρακάτω θα εξηγήσω όλα όσα ανέφερα και πολλά άλλα ακόμη. Αυτό που δεν θα κάνω όμως είναι να μειώσω το δέος και το θαυμασμό που προκαλούν τα έμβια «ρολόγια» τα οποία τόσο ενέπνευσαν τον Paley. Αντίθετα, θα προσπαθήσω να δείξω ότι σ' αυτό το σημείο ο Paley θα μπορούσε να προχωρήσει ακόμη περισσότερο. Πρέπει να πω ότι όσον αφορά το δέος που εμπνέουν τα έμβια ρολόγια είμαι εντελώς ανυποχώρητος. Αισθάνομαι να έχω περισσότερα κοινά στοιχεία με τον αιδεσιμότατο William Paley παρά με έναν διακεκριμένο σύγχρονο φιλόσοφο και γνωστό αθεϊστή με τον οποίο συζήτησα κάποτε γι' αυτό το θέμα σε ένα δείπνο. Του είπα ότι δεν θα μπορούσα να είμαι άθεος πριν από το 1859, τη χρονιά που εκδόθηκε η *Προέλευση των ειδών* του Δαρβίνου. «Και τι έχετε να πείτε για τον Hume;» με ρώτησε ο φιλόσοφος. «Πώς εξήγησε ο Hume την οργανωμένη πολυπλοκότητα του έμβιου κόσμου;» τον ρώτησα κι εγώ. «Δεν την εξήγησε», μου απάντησε ο φιλόσοφος. «Γιατί χρειάζεται κάποια ειδική «εξήγηση»»

Ο Paley ήξερε ότι το φαινόμενο αυτό χρειάζεται μια ειδική εξήγηση. Ο Δαρβίνος το ήξερε επίσης, και υπονιάζομαι ότι κατά βάθος το ήξερε και ο φίλος μου, ο φιλόσοφος. Αυτό θα προσπαθήσω να το αποδείξω. Όσο για τον David Hume, λέγεται μερικές φορές ότι αυτός ο μεγάλος σκώτος φιλόσοφος κατέρριψε το επιχείρημα του σχεδιασμού έναν αιώνα πριν από τον Δαρβίνο. Ως-

τόσο, αυτό που έκανε ο Hume ήταν να επικρίνει τη λογική τής χρησιμοποίησης του σχεδιασμού που παρατηρείται στη φύση ως θετικής ένδειξης για την ύπαρξη ενός Θεού. Δεν έδωσε καμία εναλλακτική εξήγηση για την ύπαρξη του σχεδιασμού· απλώς άφησε το θέμα ανοιχτό. Ένας άθεος πριν από τον Δαρβίνο θα μπορούσε να πει, ακολουθώντας το σκεπτικό του Hume: «Δεν έχω καμία εξήγηση για τον πολύπλοκο βιολογικό σχεδιασμό. Το μόνο που γνωρίζω είναι ότι η εξήγηση που αναφέρεται στην ύπαρξη ενός Θεού δεν είναι καλή, γι' αυτό πρέπει να περιμένουμε και να ελπίζουμε ότι κάποιος θα σκεφτεί μια καλύτερη». Αισθάνομαι έντονα ότι μια τέτοια θέση, αν και λογικά βάσιμη, θα άφηνε τον υποστηρικτή της ανικανοποίητο και ότι ο αθεϊσμός ήταν ίσως λογικά εφικτός κατά την προδαρβινική εποχή, αλλά με τη θεωρία του Δαρβίνου κατέστη δυνατό να είναι κανείς ένας διανοητικά ολοκληρωμένος αθεϊστής. Θέλω να πιστεύω ότι ο Hume θα συμφωνούσε σ' αυτό, αλλά μερικά από τα έργα του δείχνουν ότι μπορεί να είχε υποτιμήσει την πολυπλοκότητα και την ομορφιά του βιολογικού σχεδιασμού. Σ' αυτό τον τομέα ο φυσιοδίφης Κάρολος Δαρβίνος, ακόμη και κατά την παιδική του ηλικία, θα μπορούσε να του δείξει μερικά εντυπωσιακά παραδείγματα, αλλά ο Hume είχε πεθάνει 40 χρόνια πριν γραφτεί ο Δαρβίνος στο Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου, όπου φοίτησε και εκείνος.

Μέχρι εδώ έχω αναφερθεί πολλές φορές στην πολυπλοκότητα και τον παρατηρούμενο σχεδιασμό, σαν να είναι προφανές τι σημαίνουν αυτές οι λέξεις. Από μια άποψη, η σημασία τους είναι προφανής –οι περισσότεροι άνθρωποι έχουν μια διαισθητική αντίληψη για το τι σημαίνει πολυπλοκότητα. Εντούτοις, αυτές οι έννοιες, η πολυπλοκότητα και ο σχεδιασμός, είναι τόσο βασικές για το βιβλίο, ώστε πρέπει να προσπαθήσω να προσδιορίσω ακριβέστερα την αίσθηση που έχουμε συνήθως ότι τα πολύπλοκα και προφανώς σχεδιασμένα αντικείμενα έχουν κάτι το ιδιαίτερο.

Τι είναι, λοιπόν, ένα πολύπλοκο πράγμα; Από τι θα πρέπει να το αναγνωρίζουμε; Με ποια έννοια μπορούμε να πούμε ότι ένα ρολόι ή ένα αεροπλάνο ή ένα σκουλήκι ή ένας άνθρωπος είναι πολύπλοκα αντικείμενα, ενώ το φεγγάρι είναι ένα απλό αντικείμενο; Το πρώτο στοιχείο που μπορεί να σκεφτούμε ως μια απα-

ραϊτήτητα ιδιότητα ενός πολύπλοκου πράγματος, είναι ότι πρέπει να έχει ετερογενή δομή. Ένα κέικ ή ένα μπισκότο είναι απλά αντικείμενα, με την έννοια ότι, αν τα κόψουμε στη μέση, τα δύο τμήματα θα έχουν την ίδια εσωτερική σύσταση: ένα κέικ είναι ομογενές. Ένα αυτοκίνητο, όμως, είναι ετερογενές: αντίθετα με το κέικ, σχεδόν οποιοδήποτε τμήμα ενός αυτοκινήτου είναι διαφορετικό από άλλα τμήματα. Δύο μισά αυτοκίνητα δεν κάνουν ένα ολόκληρο αυτοκίνητο. Αυτή την ιδιότητα μπορούμε συχνά να την εκφράζουμε λέγοντας ότι ένα πολύπλοκο αντικείμενο, σε αντίθεση με ένα απλό, έχει πολλά τμήματα, και αυτά τα τμήματα είναι πολλών διαφορετικών ειδών.

Αυτή η ετερογένεια μπορεί να είναι μια αναγκαία συνθήκη, δεν είναι όμως και ικανή. Πολλά αντικείμενα αποτελούνται από διάφορα μέρη και είναι ετερογενή στην εσωτερική δομή τους, χωρίς να είναι πολύπλοκα με την έννοια με την οποία θέλω να χρησιμοποιήσω αυτό τον όρο. Το Λευκό Όρος, για παράδειγμα, αποτελείται από πολλά διαφορετικά είδη πετρωμάτων, που είναι όλα αναμειγμένα με τέτοιο τρόπο ώστε, αν κόβαμε το βουνό σε οποιοδήποτε σημείο, τα δύο τμήματα θα διέφεραν μεταξύ τους στην εσωτερική τους σύσταση. Το Λευκό Όρος έχει μια δομική ετερογένεια η οποία δεν υπάρχει σε ένα κέικ, αλλά και πάλι δεν είναι πολύπλοκο με την έννοια που αποδίδει στον όρο ένας βιολόγος.

Ας δοκιμάσουμε έναν άλλο δρόμο προσέγγισης στην αναζήτηση ενός ορισμού της πολυπλοκότητας, χρησιμοποιώντας τη μαθηματική έννοια της πιθανότητας. Ας υποθέσουμε ότι διατυπώνουμε τον εξής ορισμό: πολύπλοκο είναι ένα αντικείμενο του οποίου τα συστατικά μέρη είναι διαρρυθμισμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι απίθανο αυτή η διαρρύθμιση να έχει προκύψει τυχαία. Για να δανειστούμε μια αναλογία από έναν διακεκριμένο αστρονόμο, αν πάρουμε τα μέρη ενός αεροπλάνου και τα ανακατέψουμε στην τύχη, η πιθανότητα να συναρμολογηθεί ένα Μπόινγκ που να λειτουργεί είναι απειροελάχιστη. Υπάρχουν δισεκατομμύρια πιθανοί τρόποι συνδυασμού των τμημάτων ενός αεροπλάνου, αλλά μόνο ένας, ή πολύ λίγοι, δίνουν ένα πραγματικό αεροπλάνο. Προφανώς, υπάρχουν ακόμη περισσότεροι τρόποι «συνδυασμού» των τμημάτων ενός ανθρώπου.

Αυτός ο ορισμός της πολυπλοκότητας υπόσχεται περισσότερα, αλλά και πάλι κάτι λείπει. Θα μπορούσε να αντιτείνει κανείς ότι υπάρχουν εκατομμύρια τρόποι συνδυασμού των τμημάτων του Λευκού Όρους, αλλά μόνο ένας από αυτούς είναι το Λευκό Όρος. Τι είναι, λοιπόν, αυτό που κάνει το αεροπλάνο και τον άνθρωπο πολύπλοκα αντικείμενα, αφού το Λευκό Όρος είναι απλό; Οποιαδήποτε άτακτη συγκέντρωση διαφόρων τμημάτων είναι μοναδική και, εκ των υστέρων, βλέπουμε ότι είναι εξίσου απίθανη με οποιαδήποτε άλλη. Ο σωρός των παλιοσιδερικών σε ένα «νεκροταφείο» παλιών αεροπλάνων είναι μοναδικός. Δεν υπάρχουν ούτε καν δύο τέτοιοι σωροί που να είναι ίδιοι. Αν αρχίσει κανείς να πετά κομμάτια αεροπλάνων σε σωρούς, η πιθανότητα να σχηματιστεί η ίδια ακριβώς διάταξη σιδερικών δύο φορές είναι τόσο μικρή όσο και η πιθανότητα να σχηματιστεί ένα αεροπλάνο που να λειτουργεί. Γιατί λοιπόν να μην πούμε ότι ένας σωρός παλιοσιδερικών, το Λευκό Όρος ή η Σελήνη είναι εξίσου πολύπλοκα αντικείμενα με ένα αεροπλάνο ή ένα σκύλο, αφού σε όλες τις περιπτώσεις η διάταξη των ατόμων είναι «απίθανη»;

Ο συνδυασμός της κλειδαριάς του ποδηλάτου μου έχει 4.096 διαφορετικές θέσεις. Καθεμιά από αυτές είναι εξίσου «απίθανη», με την έννοια ότι αν γυρίσω τους τροχούς της κλειδαριάς στην τύχη, υπάρχει για καθεμιά από τις θέσεις εξίσου μικρή πιθανότητα να προκύψει. Μπορώ να γυρίσω τους τροχούς στην τύχη, να κοιτάξω τον αριθμό που προέκυψε και να αναφωνήσω εκ των υστέρων: «Εκπληκτικό. Οι πιθανότητες να εμφανιστεί αυτός ο αριθμός είναι 1 στις 4.096. Πρόκειται για ένα μικρό θαύμα!» Κάτι τέτοιο ισοδυναμεί με το να θεωρήσουμε ότι η συγκεκριμένη διάταξη των βράχων ενός βουνού, ή των κομματιών ενός σωρού παλιοσιδερικών, είναι «πολύπλοκη». Εντούτοις, μία από αυτές τις 4.096 θέσεις των τροχών της κλειδαριάς παρουσιάζει μια ενδιαφέρουσα μοναδικότητα: ο αριθμός 1207 είναι ο μοναδικός που ανοίγει την κλειδαριά. Η μοναδικότητα του 1207 δεν έχει καμία σχέση με την εκ των υστέρων γνώση: έχει προσδιοριστεί εκ των προτέρων από τον κατασκευαστή. Αν γύριζες τους τροχούς στην τύχη και ερχόταν το 1207 από την πρώτη φορά, θα μπορούσες να κλέψεις το ποδήλατο, κι αυτό θα μπορούσε πραγματικά να θεω-

ρηθεί ένα μικρό θαύμα. Αν είχες την ίδια τύχη σε κάποια από εκείνες τις κλειδαριές με συνδυασμό που έχουν τα χρηματοκιβώτια των τραπεζών, το θαύμα θα μπορούσε να θεωρηθεί πολύ μεγάλο, γιατί η πιθανότητα να συμβεί κάτι τέτοιο είναι μία σε πολλά εκατομμύρια, και θα μπορούσες να κλέψεις μια περιουσία.

Τώρα, για να επιστρέψουμε στην αναλογία μας, το να βρεις τον τυχερό αριθμό που ανοίγει το χρηματοκιβώτιο της τράπεζας αντιστοιχεί στο να πετάξεις τυχαία διάφορα κομμάτια μέταλλο και να συναρμολογηθεί από αυτά ένα Μπλίνγκ 747. Από όλα τα εκατομμύρια των μοναδικών και, σύμφωνα με την εκ των υστέρων γνώση, εξίσου απίθανων θέσεων της κλειδαριάς, μόνο μία την ανοίγει. Ομοίως, από όλα τα εκατομμύρια των μοναδικών και, σύμφωνα με την εκ των υστέρων γνώση, εξίσου απίθανων διατάξεων ενός σωρού μετάλλων, μόνο μία (ή πολύ λίγες) μπορεί να πετάξει. Η μοναδικότητα της διάταξης που πετάει, ή που ανοίγει το χρηματοκιβώτιο της τράπεζας, δεν έχει καμία σχέση με την εκ των υστέρων γνώση. Είναι καθορισμένη εκ των προτέρων. Ο κατασκευαστής της κλειδαριάς καθόρισε το συνδυασμό και τον είπε στο διευθυντή της τράπεζας. Η πτήση είναι μια ιδιότητα του αεροπλάνου που την καθορίζουμε εκ των προτέρων. Αν δούμε ένα αεροπλάνο στον αέρα μπορούμε να είμαστε βέβαιοι ότι δεν συναρμολογήθηκε με την τυχαία απόθεση μεταλλικών τμημάτων σε ένα σωρό, γιατί ξέρουμε ότι οι πιθανότητες να μπορεί να πετάξει ένα τέτοιο συνονθύλευμα μετάλλων είναι ανύπαρκτες.

Αν σκεφτούμε τώρα όλους τους πιθανούς τρόπους με τους οποίους θα μπορούσαν να διαταχθούν οι θράχοι του Λευκού Όρους στην περίπτωση που θα τους πετούσαμε τυχαία, θα διαπιστώσουμε ότι μόνο ένας από αυτούς θα σχημάτιζε το Λευκό Όρος όπως το γνωρίζουμε. Εντούτοις, το Λευκό Όρος όπως το γνωρίζουμε ορίζεται με βάση την εκ των υστέρων γνώση. Υπάρχει πολύ μεγάλος αριθμός διατάξεων των θράχων οι οποίες μπορούν να ονομαστούν «όρος», και οποιαδήποτε από αυτές τις διατάξεις θα μπορούσε να ονομαστεί «Λευκό Όρος». Δεν υπάρχει τίποτε το ιδιαίτερο στο συγκεκριμένο Λευκό Όρος που γνωρίζουμε, τίποτε που να καθορίζεται εκ των προτέρων, τίποτε που να αντιστοιχεί στην ικανότητα απογείωσης του αεροπλάνου ή στο άνοιγμα της



πόρτας του χρηματοκιβωτίου και στην πρόσβαση σε ένα τεράστιο χρηματικό ποσό.

Τι είναι αυτό που αντιστοιχεί στο άνοιγμα της πόρτας του χρηματοκιβωτίου ή στην πτήση του αεροπλάνου αν το αναγάγουμε στην περίπτωση ενός ζωντανού σώματος; Μερικές φορές, πρόκειται κυριολεκτικά για το ίδιο πράγμα. Τα χελιδόνια πετούν. Όπως έχουμε δει, δεν είναι εύκολο να αποθέσουμε τυχαία κάποια κομμάτια και να σχηματιστεί μια μηχανή που πετά. Αν έπαιρνε κανείς όλα τα κύτταρα ενός χελιδονιού και τα συνδύαζε τυχαία, η πιθανότητα να προκύψει ένα αντικείμενο που να μπορεί να πετά δεν διαφέρει πρακτικά από το μηδέν. Δεν πετούν όλα τα έμβια αντικείμενα, κάνουν όμως άλλα πράγματα, εξίσου απίθανα και εξίσου καθορίσιμα εκ των προτέρων. Οι φάλαινες δεν πετούν, αλλά κολυμπούν, και μάλιστα κολυμπούν με μια επιδεξιότητα αντιστοιχη με εκείνη που δείχνουν τα χελιδόνια στην πτήση. Η πιθανότητα να μπορεί να κολυπήσει ένα τυχαίο συνονθύλευμα κυττάρων φάλαινας, και πολύ περισσότερο να μπορεί να κολυπήσει με την ταχύτητα και την επιδεξιότητα μιας φάλαινας, είναι αμελητέα.

Σ' αυτό το σημείο, κάποιος αστομάτης φιλόσοφος (οι αετού έχουν πολύ καλή όραση –δεν μπορείς να φτιάξεις ένα μάτι αετού πετώντας στην τύχη φακούς και φωτοευαίσθητα κύτταρα) μπορεί να αρχίσει να μουρμουρίζει ότι το επιχείρημα είναι κυκλικό. Τα χελιδόνια πετούν αλλά δεν κολυμπούν, και οι φάλαινες κολυμπούν αλλά δεν πετούν. Μόνο εκ των υστέρων αποφασίζουμε αν θα κρίνουμε την επιτυχία του τυχαίου συνονθυλείματός μας στην κολύμβηση ή στην πτήση. Ας υποθέσουμε ότι συμφωνούμε να κρίνουμε την επιτυχία του συνονθυλείματος ως προς την ικανότητα  $x$  και αφήνουμε απροσδιόριστο το τι ακριβώς είναι το  $x$ , προκειμένου να το καθορίσουμε αφού έχουμε δοκιμάσει να «πετάξουμε» τυχαία τα κύτταρα. Μπορεί να αποδειχτεί ότι ο τυχαίος σωρός των κυττάρων έχει την ικανότητα να σκάβει στη γη όπως ο τυφλοπόντικας ή να αναρριχάται με επιδεξιότητα όπως ο πίθηκος. Μπορεί να κάνει γουίντ σέρφινγκ, να παίζει πιάνο ή να δίνει διαλέξεις. Ο κατάλογος θα μπορούσε να συνεχιστεί επ' άπειρον. Ή μήπως όχι;



Αν ο κατάλογος μπορούσε πραγματικά να συνεχιστεί επ' άπειρον, ο υποθετικός μου φιλόσοφος μπορεί να είχε δίκιο. Αν, όσο τυχαία κι αν πετούσαμε την ύλη, μπορούσαμε να πούμε συχνά και εκ των υστέρων ότι το επακόλουθο συννοητέυμα τα καταφέρει καλά σε κάτι, τότε θα ήταν αλήθεια ότι το παράδειγμα του χελιδονιού και της φάλαινας είναι παραπλανητικό. Ωστόσο, οι βιολόγοι μπορούν να προσδιορίσουν πολύ πιο συγκεκριμένα τι σημαίνει η φράση «τα καταφέρει καλά σε κάτι». Για να δεχτούμε ότι ένα αντικείμενο είναι ζώο ή φυτό, η ελάχιστη προϋπόθεση που απαιτούμε είναι ότι πρέπει να καταφέρει να ζει με κάποιο τρόπο (πιο συγκεκριμένα, ότι αυτό, ή τουλάχιστον κάποια μέλη του είδους του, ζουν για αρκετό διάστημα ώστε να αναπαραχθούν). Είναι αλήθεια ότι υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι ζωής: ένα ζώο μπορεί να πετά, να κολυμπά, να σκαρφαλώνει σε δέντρα, και ούτω καθεξής. Εντούτοις, *όσο πολλοί κι αν είναι οι τρόποι με τους οποίους ένα πλάσμα μπορεί να είναι ζωντανό, σίγουρα υπάρχουν πολύ περισσότεροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να είναι νεκρό, ή μάλλον να μην είναι ζωντανό*. Μπορεί να αποθέσουμε κύτταρα σε τυχαίους σχηματισμούς επανειλημμένα για ένα δισεκατομμύριο χρόνια: δεν θα σχηματιστεί ούτε μία φορά κάποια διάταξη που να πετάει ή να κολυμπάει ή να σκάβει στη γη ή να τρέχει ή να κάνει *οτιδήποτε*, έστω και αδέξια, μια διάταξη για την οποία θα μπορούσαμε να πούμε, έστω και κατά έναν πολύ γενικό και αόριστο τρόπο, ότι προσπαθεί να κρατήσει τον εαυτό της ζωντανό.

Η συζήτηση αυτή παρατράβηξε, και είναι καιρός να υπενθυμίσουμε στον εαυτό μας πώς αρχίσαμε να την αναπτύσσουμε. Αναζητούσαμε έναν τρόπο για να εκφράσουμε τι ακριβώς εννοούμε όταν χαρακτηρίζουμε ένα αντικείμενο πολύπλοκο. Προσπαθήσαμε να εντοπίσουμε ποια είναι αυτή η ιδιότητα την οποία διαθέτουν οι άνθρωποι, οι τυφλοπόντικες, τα σκουλήκια, τα αεροπλάνα και τα ρολόγια, αλλά που δεν την έχει ένα κέικ ή το Λευκό Όρος ή η Σελήνη. Η απάντηση στην οποία καταλήξαμε είναι ότι τα πολύπλοκα πράγματα έχουν μια ιδιότητα που μπορεί να καθοριστεί εκ των προτέρων και είναι εξαιρετικά απίθανο να την απέκτησαν εντελώς τυχαία. Στην περίπτωση των έμβιων αντικει-

μένων, η ιδιότητα που καθορίζεται εκ των προτέρων είναι κατά μια έννοια η «ικανότητα», η οποία μπορεί να εκφράζεται είτε με έναν συγκεκριμένο τρόπο όπως η πτήση, σε τέτοια μορφή που να τη θαυμάζει ένας αεροναυπηγός, είτε με έναν γενικότερο τρόπο, όπως η αποφυγή του θανάτου ή η διαιώνιση γονιδίων με την αναπαραγωγή.

Η αποφυγή του θανάτου είναι κάτι που απαιτεί προσπάθεια. Αν αφήσουμε το σώμα στην τύχη του –και αυτό συμβαίνει όταν πεθαίνει– τείνει να επανέλθει σε μια κατάσταση ισορροπίας με το περιβάλλον του. Αν μετρήσουμε κάποιο μέγεθος, όπως τη θερμοκρασία, την οξύτητα, την περιεκτικότητα σε νερό ή το ηλεκτρικό δυναμικό σε ένα έμβιο σώμα, θα διαπιστώσουμε ότι είναι πολύ διαφορετικό από το αντίστοιχο μέγεθος του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, το σώμα μας είναι συνήθως πιο θερμό από το περιβάλλον, και στα ψυχρά κλίματα είναι αναγκασμένο να εργάζεται σκληρά για να διατηρήσει αυτή τη διαφορά. Όταν πεθαίνουμε, η διεργασία αυτή σταματά, η διαφορά θερμοκρασίας αρχίζει να εξαλείφεται, και καταλήγουμε να έχουμε την ίδια θερμοκρασία με τον γύρω χώρο. Βέβαια, δεν εργάζονται όλα τα ζώα τόσο σκληρά για να αποφύγουν την εξίσωση της θερμοκρασίας του σώματός τους με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, αλλά σίγουρα όλα τα ζώα καταβάλλουν κάποια ανάλογη προσπάθεια. Για παράδειγμα, σε μια ξηρή περιοχή, τα ζώα και τα φυτά προσπαθούν να διατηρήσουν το υγρό περιεχόμενο των κυττάρων τους, εργάζονται ενάντια στη φυσική τάση που έχει το νερό να κινηθεί από το σώμα τους προς τον ξηρό εξωτερικό κόσμο. Αν αποτύχουν σ' αυτή την προσπάθεια, πεθαίνουν. Γενικότερα, αν τα έμβια αντικείμενα δεν εργαστούν δραστήρια για να αποτρέψουν αυτή την κίνηση του νερού, τελικά θα συγχωνευτούν με το περιβάλλον και θα πάψουν να υπάρχουν ως αυτόνομα όντα. Αυτό συμβαίνει όταν πεθαίνουμε.

Αν εξαιρέσουμε τις τεχνητές μηχανές, που έχουμε συμφωνήσει ήδη να τις θεωρούμε επίτιμα έμβια αντικείμενα, τα μη έμβια αντικείμενα δεν εργάζονται με την έννοια που αναφέραμε παραπάνω. Υπόκεινται στην επίδραση των δυνάμεων που τείνουν να τα φέρουν σε ισορροπία με το περιβάλλον τους. Το Λευκό Όρος,

βέβαια, υπάρχει εδώ και πολύ καιρό, και κατά πάσα πιθανότητα θα συνεχίσει να υπάρχει για αρκετό καιρό ακόμη, αλλά δεν καταβάλλει καμιά προσπάθεια για να διατηρήσει την ύπαρξή του. Όταν ένας θράχος φτάνει σε κατάσταση ακινησίας υπό την επίδραση της βαρύτητας, απλώς παραμένει εκεί. Δεν χρειάζεται να παραχθεί κάποιο έργο για να παραμείνει στη θέση του. Το Λευκό Όρος υπάρχει και θα συνεχίσει να υπάρχει μέχρι να εξαφανιστεί από τη φθορά ή μέχρι να το ισοπεδώσει κάποιος σεισμός. Δεν θα προσπαθήσει να επιδιορθώσει τις φθορές του ή να σηκωθεί όρθιο, όπως θα έκανε ένα έμβιο σώμα. Απλώς υπακούει στους συνηθισμένους νόμους της φυσικής.

Μήπως αυτό σημαίνει ότι τα έμβια αντικείμενα δεν υπακούουν στους νόμους της φυσικής; Και βέβαια όχι. Δεν υπάρχει λόγος να πιστεύουμε ότι οι νόμοι της φυσικής παραβιάζονται από τη ζωσα ύλη. Δεν υπάρχει κανένα υπερφυσικό στοιχείο, καμία «ζωτική ορμή» που ανταγωνίζεται τις θεμελιώδεις φυσικές δυνάμεις. Απλώς, αν χρησιμοποιήσουμε τους νόμους της φυσικής κατά έναν αφελή τρόπο για να κατανοήσουμε τη συμπεριφορά ενός *ολόκληρου* έμβιου σώματος, θα διαπιστώσουμε ότι δεν μπορούμε να προχωρήσουμε πολύ. Το σώμα είναι ένα πολύπλοκο αντικείμενο με πολλά συστατικά μέρη, και για να κατανοήσουμε τη συμπεριφορά του πρέπει να εφαρμόσουμε τους φυσικούς νόμους στα μέρη του, όχι στο σύνολο. Η συμπεριφορά του σώματος στο σύνολό του θα προκύψει ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των τμημάτων του.

Ας πάρουμε για παράδειγμα τους νόμους της κίνησης. Αν πετάξουμε ένα νεκρό πουλί στον αέρα, θα διαγράψει μια ωραία παραβολική τροχιά, όπως ακριβώς την περιγράφουν τα βιβλία της φυσικής, και κατόπιν θα πέσει στο έδαφος, όπου θα παραμείνει ακίνητο. Θα συμπεριφερθεί όπως πρέπει να συμπεριφέρεται ένα στερεό σώμα συγκεκριμένης μάζας που αντιμετωπίζει συγκεκριμένη αντίσταση από τον αέρα. Αν όμως πετάξουμε ένα ζωντανό πουλί στον αέρα, δεν θα διαγράψει παραβολική τροχιά, ούτε θα πέσει στο έδαφος: θα πετάξει, και μπορεί να αργήσει πολύ να αγγίξει ξανά τη γη. Ο λόγος είναι ότι το πουλί έχει μυς που λειτουργούν για να αντισταθούν στη βαρύτητα και τις άλλες φυ-

σικές δυνάμεις οι οποίες επιδρούν στο σώμα. Οι νόμοι της φυσικής εφαρμόζονται μέσα σε όλα τα κύτταρα των μυών. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι μύες κινούν τα φτερά με τέτοιο τρόπο ώστε το πουλί να παραμένει στον αέρα. Εδώ το πουλί δεν παραβιάζει το νόμο της βαρύτητας. Η βαρύτητα το έλκει συνεχώς προς τα κάτω, αλλά τα φτερά του παράγουν το απαραίτητο έργο –με την εφαρμογή των νόμων της φυσικής από τους μυς του– ώστε να διατηρηθεί σε πτήση παρά την επίδραση της βαρύτητας. Αν έχουμε την αφέλεια να το θεωρήσουμε απλώς ως μια ασυγκρότητη συσσώρευση ύλης με ορισμένη μάζα και αντίσταση στον αέρα, μπορεί να πιστέψουμε ότι το πουλί παραβιάζει έναν φυσικό νόμο. Μόνο αν θυμηθούμε ότι διαθέτει πολλά εσωτερικά μέρη, που όλα, στο δικό τους επίπεδο, υπακούουν στους φυσικούς νόμους, θα μπορούσαμε να κατανοήσουμε τη συμπεριφορά ολόκληρου του σώματος. Αυτό, φυσικά, δεν είναι μια ιδιαιτερότητα των έμβιων πραγμάτων. Ισχύει και για όλες τις μηχανές που είναι κατασκευασμένες από τον άνθρωπο, και είναι δυνατό να ισχύει ακόμη και για οποιοδήποτε πολύπλοκο αντικείμενο.

Αυτό με οδηγεί στο τελευταίο θέμα που θέλω να εξετάσω σε τούτο το μάλλον φιλοσοφικό κεφάλαιο, το πρόβλημα του τι εννοούμε με τη λέξη «εξήγηση». Είδαμε τι εννοούμε με την έκφραση «πολύπλοκο αντικείμενο». Αλλά τι είδους εξήγηση θα μας ικανοποιήσει αν αναρωτηθούμε πώς λειτουργεί μια πολύπλοκη μηχανή ή ένα πολύπλοκο έμβιο σώμα; Η απάντηση είναι εκείνη στην οποία καταλήξαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Αν θέλουμε να καταλάβουμε πώς λειτουργεί μια μηχανή ή ένα έμβιο σώμα, εξετάζουμε τα συστατικά του μέρη και μελετούμε πώς αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Αν υπάρχει κάποιο πολύπλοκο αντικείμενο που δεν καταλαβαίνουμε ακόμη, μπορούμε να το κατανοήσουμε με βύση τα απλούστερα μέρη του τα οποία ήδη καταλαβαίνουμε.

Αν ρωτήσω έναν μηχανικό πώς λειτουργεί μια ατμομηχανή, έχω μια αρκετά ακριβή ιδέα για το ποια θα ήταν γενικά η απάντηση που θα με ικανοποιούσε. Όπως και ο Julian Huxley, σίγουρα δεν θα εντυπωσιαζόμουν αν ο μηχανικός μου έλεγε ότι ωθείται από κάποια μυστηριώδη «κινητήρια δύναμη». Και αν άρχιζε μια

πληκτική συζήτηση υποστηρίζοντας ότι το όλον είναι κάτι περισσότερο από το απλό άθροισμα των μερών του, θα τον διέκοπτα λέγοντας «δεν με νοιάζουν όλα αυτά, πες μου πώς λειτουργεί». Εκείνο που θέλω να ακούσω είναι πώς αλληλεπιδρούν μεταξύ τους τα μέρη μιας μηχανής για να παραγάγουν τη συμπεριφορά ολόκληρης της μηχανής. Θα ήμουν διατεθειμένος αρχικά να δεχτώ μια εξήγηση που να στηρίζεται σε ορισμένα πολύ μεγάλα μέρη της μηχανής, η εσωτερική δομή και η συμπεριφορά των οποίων μπορεί να είναι από μόνη της αρκετά πολύπλοκη και, ακόμη, ανεξήγητη. Οι μονάδες μιας αρχικά ικανοποιητικής εξήγησης μπορεί να έχουν ονόματα όπως φλογothάλαμος, λέβητας, κύλινδρος, έμβολο, ρυθμιστής ατμού. Ο μηχανικός θα μου περιέγραφε τι κάνει καθεμία από αυτές τις μονάδες, χωρίς αρχικά να μου δώσει πλήρεις εξηγήσεις για τη λειτουργία τους. Θα το δεχόμουν αυτό προς στιγμή, χωρίς να τον ρωτήσω πώς εκτελεί κάθε μονάδα το συγκεκριμένο έργο της. Έχοντας ως δεδομένο ότι καθεμία από τις μονάδες εκτελεί το συγκεκριμένο έργο της, μπορώ στη συνέχεια να καταλάβω πώς αλληλεπιδρούν μεταξύ τους για να κάνουν ολόκληρη τη μηχανή να κινηθεί.

Φυσικά, θα βρισκόμουν τότε σε θέση να ρωτήσω πώς λειτουργεί το κάθε μέρος. Αφού δέχτηκα προηγουμένως το γεγονός ότι ο ρυθμιστής ατμού ελέγχει τη ροή του ατμού και αφού χρησιμοποίησα αυτό το γεγονός για να κατανοήσω τη συμπεριφορά ολόκληρης της ατμομηχανής, μπορώ τώρα να στρέψω την περιέργειά μου στον ίδιο το ρυθμιστή ατμού. Τώρα θέλω να καταλάβω πώς πετυχαίνει ο ρυθμιστής τη συγκεκριμένη συμπεριφορά του, με βάση τα δικά του εσωτερικά συστατικά μέρη. Υπάρχει μια ιεραρχία «υποεξαρτημάτων» μέσα σε εξαρτήματα. Εξηγούμε τη συμπεριφορά ενός εξαρτήματος ή ενός τμήματος σε οποιοδήποτε δεδομένο επίπεδο με βάση τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα υποεξαρτήματα, χωρίς να εξετάζουμε προς το παρόν την εσωτερική οργάνωση αυτών των υποεξαρτημάτων. Έτσι καταβαίνουμε στην ιεραρχία, προχωρώντας σε ολοένα και πιο στοιχειώδη επίπεδα, μέχρι να φτάσουμε σε μονάδες για τις οποίες δεν αισθανόμαστε πια την ανάγκη να κάνουμε ερωτήσεις. Για παράδειγμα, οι περισσότεροι από μας, καλώς ή κακώς, θεωρούμε ότι καταλαβαί-

νουμε τις ιδιότητες των άκαμπτων μεταλλικών ράβδων και δεχόμαστε να τις χρησιμοποιήσουμε ως μονάδες για να εξηγήσουμε κάποιες πιο πολύπλοκες μηχανές που τις περιλαμβάνουν.

Οι φυσικοί, βέβαια, δεν θεωρούν τις ιδιότητες των μεταλλικών ράβδων ως κάτι δεδομένο. Ρωτούν γιατί είναι άκαμπτες, και συνεχίζουν την κáθοδό τους στην ιεραρχία για αρκετά επίπεδα ακόμη, μέχρι να φτάσουν στα στοιχειώδη σωματίδια και τα κουάρκ. Ωστόσο, η ζωή είναι πολύ σύντομη για να μπορέσουμε όλοι μας να τους παρακολουθήσουμε. Για κάθε επίπεδο πολύπλοκης οργάνωσης, μπορούμε κανονικά να επιτύχουμε μια ικανοποιητική εξήγηση αν κατεβούμε ένα ή δύο επίπεδα από το αρχικό, αλλά όχι περισσότερα. Η συμπεριφορά ενός αυτοκινήτου εξηγείται με βάση τους κυλίνδρους, τα καρμπιρατέρ και τα μπουζί. Είναι αλήθεια ότι καθένα από αυτά τα εξαρτήματα βρίσκεται στην κορυφή μιας πυραμίδας εξηγήσεων σε κατώτερα επίπεδα. Εντούτοις, αν με ρωτούσατε πώς λειτουργεί ένα αυτοκίνητο και εγώ σας απαντούσα με βάση τους νόμους του Νεύτωνα, τους νόμους της θερμοδυναμικής και τα στοιχειώδη σωματίδια της ύλης, θα με χαρακτηρίζατε κάπως υπερβολικό και θα πιστεύατε ότι θέλω να σας μπερδέξω. Είναι αναμφίβολα σωστό ότι, κατά βάση, η συμπεριφορά ενός αυτοκινήτου πρέπει να εξηγηθεί με αναφορά στις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σε στοιχειώδη σωματίδια. Ωστόσο, είναι πολύ πιο χρήσιμο να την εξηγήουμε με βάση τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα έμβολα, τους κυλίνδρους και τα μπουζί.

Η συμπεριφορά ενός υπολογιστή μπορεί να εξηγηθεί με βάση τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις ηλεκτρονικές πύλες των ημιαγωγών. Η συμπεριφορά αυτών των πυλών, με τη σειρά της, εξηγείται από τους φυσικούς σε ακόμη κατώτερα επίπεδα οργάνωσης. Εντούτοις, στις περισσότερες περιπτώσεις, θα σπαταλούσατε άδικα το χρόνο σας αν προσπαθούσατε να καταλάβετε τη συμπεριφορά ολόκληρου του υπολογιστή ερευνώντας οποιοδήποτε από αυτά τα επίπεδα. Υπάρχουν πάρα πολλές ηλεκτρονικές πύλες και πάρα πολλές συνδέσεις ανάμεσά τους. Μια ικανοποιητική εξήγηση θα πρέπει να προκύπτει με βάση έναν υποφερτά μικρό αριθμό αλληλεπιδράσεων. Αυτός είναι και ο λόγος για τον ο-

ποίο, αν θέλουμε να καταλάβουμε τη λειτουργία του υπολογιστή, προτιμούμε μια προκαταρκτική εξήγηση που στηρίζεται σε πέντ' έξι περίπου κύρια εξαρτήματα: μνήμη, μονάδα επεξεργασίας, βοηθητική μνήμη, μονάδα ελέγχου, χειριστής εισόδου/εξόδου, κ.λπ. Αφού καταλάβουμε τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα κύρια εξαρτήματα, μπορεί μετά να θελήσουμε να διατυπώσουμε ερωτήσεις σχετικά με την εσωτερική οργάνωση αυτών των κύριων εξαρτημάτων. Μόνο οι εξειδικευμένοι μηχανικοί είναι πιθανό να κατεθούν μέχρι το επίπεδο των πυλών «AND» και των πυλών «NOR», και μόνο οι φυσικοί θα φτάσουν ακόμη πιο κάτω, στο επίπεδο της συμπεριφοράς των ηλεκτρονίων μέσα σε έναν ημιαγωγό.

Για όσους αγαπούν τους «-ισμούς», το καλύτερο όνομα για αυτό τον τρόπο κατανόησης της λειτουργίας των πραγμάτων είναι ίσως «ιεραρχικός αναγωγισμός». Αν διαβάζετε κουλτουριάρικα περιοδικά της μόδας, μπορεί να έχετε προσέξει ότι ο «αναγωγισμός» είναι ένα από εκείνα τα πράγματα –κάτι σαν τις αμαρτίες– που αναφέρονται μόνο από τους ανθρώπους που είναι εναντίον τους. Σε μερικούς κύκλους, το να πεις ότι είσαι αναγωγιστής μοιάζει λιγάκι σαν να παραδέχεσαι ότι τρώς μωρά. Ωστόσο, όπως ακριβώς κανείς δεν τρώει μωρά, έτσι και κανείς δεν είναι πραγματικά αναγωγιστής με την έννοια του όρου που αξίζει να θεωρηθεί καταδικαστέα. Ο ανύπαρκτος αναγωγιστής –εκείνος που όλοι είναι εναντίον του, αλλά υπάρχει μόνο στη φαντασία των επικριτών του– προσπαθεί να εξηγήσει τα πολύπλοκα πράγματα *απαιθείας με βάση τα μικρότερα δυνατά τμήματα*, και σε μερικές ακραίες μορφές του μίθου μπορεί να φτάσει στο σημείο να τα εξηγεί ως το *άθροισμα των μερών!* Ο ιεραρχικός αναγωγιστής, από την άλλη πλευρά, εξηγεί μια πολύπλοκη οντότητα σε οποιοδήποτε επίπεδο της οργανωτικής ιεραρχίας με βάση οντότητες που βρίσκονται μόνο ένα επίπεδο πιο κάτω στην ιεραρχία, οντότητες που κι αυτές είναι κατά πάσα πιθανότητα αρκετά πολύπλοκες ώστε να χρειάζονται περαιτέρω αναγωγή στα δικά τους συστατικά μέρη, και ούτω καθεξής. Εννοείται, βέβαια –αν και ο μυθικός, βρεφοφάγος αναγωγιστής υποτίθεται ότι το αρνείται αυτό–, ότι τα είδη των εξηγήσεων που είναι κατάλληλα για τα



υψηλά επίπεδα της ιεραρχίας είναι εντελώς διαφορετικά από τα είδη των εξηγήσεων που είναι κατάλληλα για τα κατώτερα επίπεδα. Γι' αυτό το λόγο εξηγούμε τα αυτοκίνητα με βάση τα καρμπιρατέρ και όχι τα κουάρκ. Αλλά ο ιεραρχικός αναγωγιστής πιστεύει ότι τα καρμπιρατέρ εξηγούνται με βάση μικρότερες μονάδες..., που κι αυτές με τη σειρά τους εξηγούνται με βάση κάποιες ακόμη μικρότερες μονάδες..., οι οποίες τελικά εξηγούνται με βάση τα μικρότερα στοιχειώδη σωματίδια. Ο αναγωγισμός, με αυτή την έννοια, είναι απλώς ένα άλλο όνομα που μπορούμε να δώσουμε στην εικρινή επιθυμία του ανθρώπου να κατανοήσει πώς λειτουργεί ο κόσμος.

Αρχίσαμε αυτό το κεφάλαιο ρωτώντας ποιο είδος εξήγησης των πολύπλοκων πραγμάτων θα μας ικανοποιούσε. Μόλις τώρα εξετάσαμε το ερώτημα από την άποψη του μηχανισμού: πώς λειτουργεί; Καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η συμπεριφορά ενός πολύπλοκου πράγματος θα πρέπει να εξηγηθεί με βάση τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα συστατικά του μέρη, που τα θεωρούμε ως διαδοχικά επίπεδα σε μια εύτακτη ιεραρχία. Εντούτοις, υπάρχει και ένα άλλο ερώτημα: πώς δημιουργήθηκαν τα πολύπλοκα πράγματα; Επειδή αυτό είναι το ερώτημα που απασχολεί κυρίως ολόκληρο το βιβλίο, δεν θα επεκταθώ ιδιαίτερα σ' αυτό το σημείο. Θα αναφέρω απλώς ότι ισχύει κι εδώ η ίδια γενική αρχή που ισχύει για την κατανόηση ενός μηχανισμού. Πολύπλοκο είναι ένα πράγμα του οποίου την ύπαρξη δεν τείνουμε να θεωρήσουμε «δεδομένη», γιατί είναι πολύ «απίθανη». Δεν θα μπορούσε να προκύψει από ένα τυχαίο συμβάν. Θα εξηγήσουμε την ύπαρξη του ως μια συνέπεια σταδιακών, συσσωρευτικών, βαθμιαίων μετασχηματισμών από απλούστερα πράγματα, από αρχέγονα αντικείμενα τα οποία είναι αρκετά απλά, ώστε να είναι δυνατό να έχουν δημιουργηθεί τυχαία. Όπως ακριβώς ένας «αναγωγισμός μεγάλου βήματος» δεν μπορεί να λειτουργήσει ως εξήγηση ενός μηχανισμού και πρέπει να αντικατασταθεί από μια σειρά μικρών βαθμιαίων καθόδων στα επίπεδα της ιεραρχίας, έτσι δεν μπορούμε να εξηγήσουμε ένα πολύπλοκο αντικείμενο θεωρώντας ότι δημιουργήθηκε με ένα και μοναδικό βήμα. Πρέπει και πάλι να καταφύγουμε σε μια σειρά μικρών βημάτων, που αυτή τη φορά είναι διαδοχικά διατεταγμένα μέσα στο χρόνο.

Στο θαυμάσια γραμμένο βιβλίο του *The Creation* (Η Δημιουργ-

γία), ο φυσικοχημικός του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης Peter Atkins γράφει:

Σας προσκαλώ σε ένα ταξίδι. Ένα νοητικό ταξίδι, που θα μας φέρει στις παρυφές του χώρου, του χρόνου και της κατανόησης. Στη διάρκεια του θα προσπαθήσω να σας πείσω πως δεν υπάρχει τίποτα που να μην μπορεί να κατανοηθεί ή να εξηγηθεί, και πως τα πάντα είναι εξαιρετικά απλά... Ένα μεγάλο μέρος του σύμπαντος δεν χρειάζεται καμιά απολύτως εξήγηση: οι ελέφαντες για παράδειγμα. Από τότε που τα μόρια έμαθαν να ανταγωνίζονται και να δημιουργούν παρόμοια μόρια, οι ελέφαντες και τα πράγματα που τους μοιάζουν, στον κατάλληλο χρόνο, θα βρεθούν να περιπλανιούνται στην ύπαιθρο.\*

Ο Atkins θεωρεί ότι η εξέλιξη των πολύπλοκων πραγμάτων –που αποτελεί και το θέμα αυτού του βιβλίου– είναι αναπόφευκτη από τη στιγμή που θα υπάρξουν οι κατάλληλες φυσικές συνθήκες. Ρωτά ποιες είναι οι ελάχιστες απαραίτητες φυσικές συνθήκες, ποιος είναι ο ελάχιστος σχεδιασμός που θα έπρεπε να εκπονήσει ένας πολύ τεμπέλης Δημιουργός, ώστε κάποια μέρα να δημιουργηθεί το σύμπαν, και αργότερα οι ελέφαντες και άλλα πολύπλοκα πράγματα. Η απάντηση, από τη δική του άποψη ως φυσικού επιστήμονα, είναι ότι ο Δημιουργός θα μπορούσε να είναι πάρα πολύ τεμπέλης. Οι θεμελιώδεις αρχέγονες μονάδες των οποίων την ύπαρξη πρέπει να δεχτούμε για να κατανοήσουμε τη δημιουργία των πάντων, είτε είναι κυριολεκτικά το τίποτα (σύμφωνα με μερικούς φυσικούς), ή (σύμφωνα με άλλους φυσικούς) είναι μονάδες υπέρτατης απλότητας –τόσο απλές ώστε δεν χρειάζεται να δεχτούμε κάτι τόσο μεγαλειώδες όσο η σκόπιμη Δημιουργία.

Ο Atkins υποστηρίζει ότι οι ελέφαντες και τα πολύπλοκα πράγματα δεν χρειάζονται καμιά εξήγηση. Ωστόσο, εκφράζει αυτή την άποψη επειδή είναι ένας φυσικός επιστήμονας που θεωρεί δεδομένη τη βιολογική θεωρία της εξέλιξης. Δεν εννοεί ότι κυριολεκτικά οι ελέφαντες δεν χρειάζονται εξήγηση. Εννοεί μάλλον ότι οι βιολόγοι μπορούν να εξηγήσουν την ύπαρξη των ελεφά-

\* Από το βιβλίο *Η Δημιουργία*, Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αθήνα 1988. (Σ.τ.μ.)

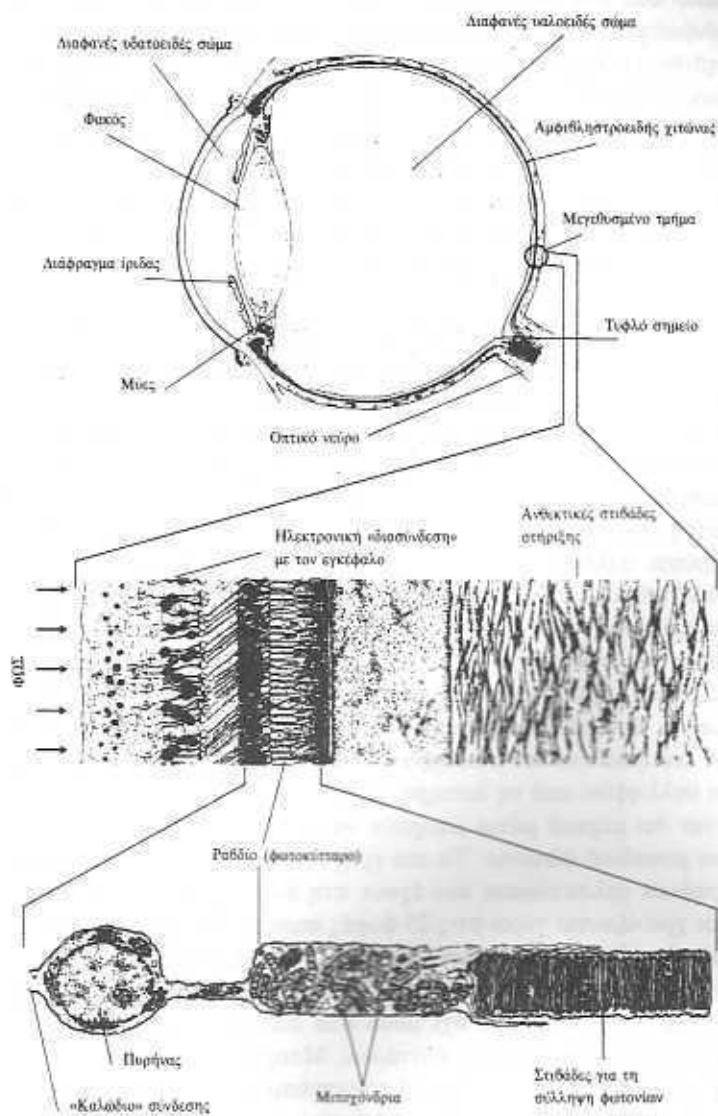
νων, με την προϋπόθεση ότι μπορούν να θεωρήσουν δεδομένα ορισμένα στοιχεία της φυσικής. Επομένως, ο στόχος του ως φυσικού είναι να δείξει ότι δικαιολογημένα θεωρούμε δεδομένα αυτά τα στοιχεία. Ομολογουμένως, αυτό καταφέρνει να το κάνει. Η δική μου θέση είναι συμπληρωματική. Είμαι βιολόγος και θεωρώ δεδομένα τα στοιχεία της φυσικής, τα στοιχεία του κόσμου της απλότητας. Οι φυσικοί δεν συμφωνούν ακόμη για το αν αυτά τα απλά στοιχεία έχουν κατανοηθεί ή όχι, αλλά αυτό δεν είναι δικό μου πρόβλημα. Ο στόχος μου είναι να εξηγήσω τους ελέφαντες και τον κόσμο των πολύπλοκων αντικειμένων με βάση τα απλά αντικείμενα που οι φυσικοί είτε έχουν κατανοήσει είτε επεξεργάζονται για να κατανοήσουν. Το πρόβλημα του φυσικού είναι εκείνο της πρώτης αρχής και των βασικών φυσικών νόμων. Το πρόβλημα του βιολόγου είναι εκείνο της πολυπλοκότητας. Ο βιολόγος προσπαθεί να εξηγήσει τη λειτουργία και την ύπαρξη των πολύπλοκων πραγμάτων με βάση τα απλοότερα πράγματα. Μπορεί να θεωρήσει ότι πέτυχε το στόχο του όταν φτάσει σε οντότητες τόσο απλές ώστε να μπορεί να τις παραπέμψει στους φυσικούς.

Γνωρίζω ότι ο ορισμός που έδωσα στο πολύπλοκο αντικείμενο –στατιστικά απίθανο σε μια κατεύθυνση που καθορίζεται χωρίς εκ των υστέρων γνώση– μπορεί να φαίνεται ιδιόμορφος, όπως και ο ορισμός της φυσικής ως «μελέτης της απλότητας». Αν προτιμάτε κάποιον άλλο ορισμό της πολυπλοκότητας, δεν θα είχα αντίρρηση να συμφωνήσω με αυτόν, για χάρη της συζήτησης. Εκείνο που με ενδιαφέρει, όμως, είναι ότι, όπως κι αν αποφασίσουμε να ονομάσουμε την ιδιότητα ενός πράγματος να είναι «στατιστικά απίθανο σε μια κατεύθυνση που καθορίζεται χωρίς εκ των υστέρων γνώση», η εν λόγω ιδιότητα είναι σημαντική και χρειάζεται μια ειδική προσπάθεια εξήγησης. Είναι η ιδιότητα που χαρακτηρίζει τα βιολογικά αντικείμενα, σε αντιδιαστολή με τα αντικείμενα της φυσικής. Το είδος της εξήγησης που θα βρούμε δεν πρέπει να έρχεται σε αντίθεση με τους νόμους της φυσικής. Πραγματικά, θα πρέπει να χρησιμοποιεί τους νόμους της φυσικής και τίποτε περισσότερο από αυτούς. Ωστόσο, θα τους χρησιμοποιεί με έναν ειδικό τρόπο που συνήθως δεν εξετάζεται

στα βιβλία της φυσικής. Αυτός ο ειδικός τρόπος είναι ο τρόπος του Δαρβίνου. Θα παρουσιάσω τη θεμελιώδη ουσία του στο Κεφάλαιο 3, ονομάζοντάς τον *συσσωρευτική επιλογή*.

Στο μεταξύ θέλω να ακολουθήσω τις σκέψεις του Paley και να τονίσω τη σοβαρότητα του προβλήματος που θα αντιμετωπίσει η εξήγησή μας, το εκπληκτικά τεράστιο εύρος της βιολογικής πολυπλοκότητας και την ομορφιά και κομψότητα του βιολογικού σχεδιασμού. Το Κεφάλαιο 2 αποτελεί μια εκτεταμένη ανάλυση ενός συγκεκριμένου παραδείγματος, του «ραντάρ» των νυχτερίδων, το οποίο ανακαλύφθηκε πολύ μετά την εποχή του Paley. Εδώ, δίνω ένα διάγραμμα (εικόνα 1) του ματιού –πόσο θα αγαπούσε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο ο Paley– με δύο διαδοχικές λεπτομερείς μεγεθύνσεις κάποιων τμημάτων του. Στο πάνω μέρος του σχήματος υπάρχει μια διατομή του ματιού. Αυτό το επίπεδο μεγέθυνσης δείχνει το μάτι ως ένα οπτικό όργανο. Είναι εμφανής η ομοιότητά του με μια φωτογραφική μηχανή. Το διάφραγμα της ίριδας μεταβάλλει συνεχώς το άνοιγμά του, που αντιστοιχεί στο λεγόμενο σχετικό άνοιγμα  $f$  μιας κάμερας. Ο φακός, που στην πραγματικότητα αποτελεί μέρος ενός σύνθετου συστήματος φακών, ευθύνεται για τις μεταβολές της εστίασης. Η εστίαση μεταβάλλεται με τη σύσφιξη του φακού από ειδικούς μυς (ή, στους χαμαιλέοντες, με τη μετατόπιση του φακού προς τα εμπρός ή προς τα πίσω, όπως και στη φωτογραφική μηχανή). Το είδωλο σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή χιτώνα, στο πίσω μέρος του οφθαλμού, όπου διεγείρει φωτοκύτταρα.

Το μεσαίο μέρος της εικόνας 1 δείχνει ένα μικρό τμήμα του αμφιβληστροειδούς χιτώνα σε μεγέθυνση. Το φως έρχεται από τα αριστερά. Τα φωτοευαίσθητα κύτταρα (φωτοκύτταρα) δεν είναι το πρώτο πράγμα που συναντά το φως –αυτά βρίσκονται βαθύτερα και είναι στραμμένα αντίθετα προς το φως. Αυτό το παράξενο χαρακτηριστικό θα το αναφέρουμε και πάλι παρακάτω. Το πρώτο πράγμα που συναντά το φως είναι η στιβάδα των γαγγλιακών κυττάρων που αποτελεί την «ηλεκτρονική διασύνδεση» ανάμεσα στα φωτοκύτταρα και στον εγκέφαλο. Τα γαγγλιακά κύτταρα κάνουν την προεπεξεργασία των πληροφοριών κατά διαφόρους πολύπλοκους τρόπους πριν τις διαβιβάσουν στον εγκέ-



Εικόνα 1.

φαλο και, από μια άποψη, ο χαρακτηρισμός «ηλεκτρονική διασύνδεση» δεν εκφράζει πλήρως τη λειτουργία τους. Ένα πιο σωστό όνομα θα ήταν ίσως «δορυφορικός υπολογιστής». Καλώδια από τα γαγγλιακά κύτταρα διατρέχουν ολόκληρη την επιφάνεια του αμφιβληστροειδούς, και, φτάνοντας στο «τυφλό σημείο», σχηματίζουν το κεντρικό καλώδιο προς τον εγκέφαλο, δηλαδή το οπτικό νεύρο. Υπάρχουν περίπου τρία εκατομμύρια γαγγλιακά κύτταρα στο στρώμα της «ηλεκτρονικής διασύνδεσης», τα οποία συγκεντρώνουν δεδομένα από 125 εκατομμύρια φωτοκύτταρα περίπου.

Στο κάτω μέρος του σχήματος υπάρχει ένα μεγεθυμένο φωτοκύτταρο, ένα ραβδίο. Καθώς κοιτάζετε τη λεπτή δομή αυτού του κυττάρου, θα πρέπει να έχετε υπόψη σας ότι όλη αυτή η πολυπλοκότητα επαναλαμβάνεται 125 εκατομμύρια φορές σε κάθε αμφιβληστροειδή. Επιπροσθέτως, ανάλογη πολυπλοκότητα επαναλαμβάνεται τρισεκατομμύρια φορές σε άλλα σημεία του σώματος. Ο αριθμός των 125 εκατομμυρίων φωτοκυττάρων είναι περίπου 5.000 φορές μεγαλύτερος από τον αριθμό των ξεχωριστών κόκκων σε μια καλής ποιότητας φωτογραφία περιοδικού. Οι πυκνωτές μεμβράνες στα δεξιά του φωτοκυττάρου είναι οι δομές που συλλέγουν το φως. Ο χωρισμός τους σε στρώματα αυξάνει την ικανότητα του φωτοκυττάρου να συλλαμβάνει φωτόνια, τα στοιχειώδη σωματίδια από τα οποία αποτελείται το φως. Αν ένα φωτόνιο δεν συλληφθεί από την πρώτη μεμβράνη, μπορεί να συλληφθεί από τη δεύτερη, και ούτω καθεξής. Το αποτέλεσμα είναι ότι μερικά μάτια μπορούν να αντιλαμβάνονται ακόμη και ένα μοναδικό φωτόνιο. Τα πιο γρήγορα και πιο ευαίσθητα φωτογραφικά γαλακτώματα που έχουν στη διάθεσή τους οι φωτογράφοι χρειάζονται γύρω στις 25 φορές περισσότερα φωτόνια για να «αντιληφθούν» ένα φωτεινό σημείο. Τα ρομβοειδή αντικείμενα στο μεσαίο τμήμα του κυττάρου είναι κυρίως μιτοχόνδρια. Τα μιτοχόνδρια υπάρχουν όχι μόνο στα φωτοκύτταρα αλλά και σε όλα σχεδόν τα άλλα είδη κυττάρων. Μπορούμε να πούμε ότι κάθε μιτοχόνδριο είναι ένα χημικό εργοστάσιο που, για να εφοδιάσει το κύτταρο με ενέργεια σε μορφή που να μπορεί να τη χρησιμοποιήσει, επεξεργάζεται πάνω από 700 διαφορετικές χημικές ουσί-

ες σε μακριές αλληλένδετες σειρές συναρμολόγησης που εκτείνονται πάνω στην επιφάνεια των πολύπτυχων εσωτερικών μεμβρανών του. Το σφαιρίδιο στο αριστερό μέρος της εικόνας 1 είναι ο πυρήνας. Κι αυτός επίσης υπάρχει σε όλα τα ζωικά και φυτικά κύτταρα. Κάθε πυρήνας, όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 5, περιέχει μια ψηφιακά κωδικοποιημένη βάση δεδομένων με περιεχόμενο πληροφοριών μεγαλύτερο από αυτό που υπάρχει και στους 30 τόμους της *Εγκυκλοπαίδειας Μπριτάνικα* μαζί. Και αυτό ισχύει για καθένα από τα κύτταρα του σώματος, όχι για όλα τα κύτταρα ενός σώματος μαζί.

Το ραβδί στο κάτω μέρος της εικόνας είναι ένα μοναδικό κύτταρο. Ο συνολικός αριθμός κυττάρων στο σώμα ενός ανθρώπου είναι περίπου 10 τρισεκατομμύρια. Όταν τρώτε μια μπριζόλα, μασάτε ποσότητα πληροφοριών που αντιστοιχεί σε περισσότερα από 100 δισεκατομμύρια αντίτυπα της *Εγκυκλοπαίδειας Μπριτάνικα*.



## ΚΑΛΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η φυσική επιλογή είναι ο τυφλός ωρολογοποιός: τυφλός, επειδή δεν βλέπει προς τα πού κατευθύνεται, δεν προσχεδιάζει τις συνέπειες, δεν έχει κάποιο σκοπό. Και όμως, τα ζωντανά αποτελέσματα της φυσικής επιλογής μάς καταπλήσσουν, γιατί μοιάζουν να έχουν σχεδιαστεί από έναν αριστοτέχνη ωρολογοποιό, και δημιουργούν μια ψευδαίσθηση σχεδιασμού και προγραμματισμού. Ο σκοπός του βιβλίου είναι να επιλύσει αυτό το παράδοξο με τρόπο που να ικανοποιεί τον αναγνώστη, και ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να εντυπωσιάσει ακόμη περισσότερο τον αναγνώστη, δείχνοντάς του πόσο έντονη είναι η ψευδαίσθηση του σχεδιασμού. Θα εξετάσουμε ένα συγκεκριμένο παράδειγμα και θα καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι ο Paley δεν είχε προσεγγίσει ούτε στο ελάχιστο την πολυπλοκότητα και την ομορφιά του σχεδιασμού που συναντούμε στη φύση.

Μπορούμε να πούμε ότι ένα έμβιο σώμα ή ένα όργανο είναι καλά σχεδιασμένο αν έχει ιδιότητες που μπορεί να του έδινε ένας ευφυής και έμπειρος μηχανικός για να πετύχει κάποιο σκοπό, όπως η πτήση, η κολύμβηση, η όραση, η διατροφή, η αναπαραγωγή, ή γενικότερα η προώθηση της επιβίωσης και της αντιγραφής των γονιδίων του οργανισμού. Δεν είναι απαραίτητο να θεωρήσουμε ότι ο σχεδιασμός ενός σώματος ή ενός οργάνου είναι ο καλύτερος που θα μπορούσε να επινοήσει ένας μηχανικός. Συχνά, ο καλύτερος δυνατός σχεδιασμός ενός μηχανικού είναι κατώτε-

ρος από τον καλύτερο σχεδιασμό κάποιου άλλου μηχανικού, ιδιαίτερα αν ο δεύτερος ζει σε μεταγενέστερη και, επομένως, πιο προηγμένη τεχνολογικά εποχή. Ωστόσο, οποιοσδήποτε μηχανικός μπορεί να αναγνωρίσει ένα αντικείμενο που έχει σχεδιαστεί για κάποιο σκοπό, έστω και αν ο σχεδιασμός δεν είναι καλός, και μπορεί συνήθως να καταλάβει ποιος είναι αυτός ο σκοπός μελετώντας απλώς τη δομή του αντικειμένου. Στο Κεφάλαιο 1 ασχοληθήκαμε κυρίως με φιλοσοφικά ζητήματα. Σ' αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσω ένα συγκεκριμένο υπαρκτό παράδειγμα που πιστεύω ότι θα εντυπωσίαζε οποιονδήποτε μηχανικό: το σόναρ (το «ραντάρ») των νυχτερίδων. Θα αρχίσω παρουσιάζοντας ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζει η «έμβια μηχανή». Κατόπιν, θα εξετάσω πιθανές λύσεις που μπορεί να έδινε στο πρόβλημα ένας καλός μηχανικός. Και, τέλος, θα περιγράψω τη λύση που εφάρμοσε η φύση. Φυσικά, οι νυχτερίδες είναι απλώς ένα παράδειγμα. Αν ένας μηχανικός εντυπωσιαστεί από τις νυχτερίδες, θα εντυπωσιαστεί και από αμέτρητα άλλα παραδείγματα σχεδιασμού έμβιων όντων.

Οι νυχτερίδες έχουν ένα πρόβλημα: πρέπει να κινούνται στο σκοτάδι. Κυνηγούν τη νύχτα, όταν δεν υπάρχει φως για να τις βοηθάει να βρίσκουν τη λεία τους και παράλληλα να αποφεύγουν τα εμπόδια. Θα μπορούσε να πει κανείς ότι, αν αυτό είναι πρόβλημα, το έχουν δημιουργήσει μόνες τους, αφού θα μπορούσαν να το αποφύγουν πολύ απλά αλλάζοντας τις συνήθειές τους και κυνηγώντας την ημέρα. Εντούτοις, την «οικονομία» της ημέρας την εκμεταλλεύονται ήδη σε μεγάλη έκταση άλλα πλάσματα, όπως τα πουλιά. Αν δεχτούμε ότι ένα είδος μπορεί να βρει τα προς το ζην τη νύχτα και ότι οι «θέσεις διατροφής» την ημέρα είναι πλήρως κατειλημμένες, η φυσική επιλογή ευνόησε τις νυχτερίδες που ζουν κυνηγώντας τη νύχτα. Παρεμπιπτόντως, η λύση του νυχτερινού κυνηγιού μπορεί παλιότερα να είχε χρησιμοποιηθεί από όλα τα θηλαστικά. Την εποχή που οι δεινόσαυροι κυριαρχούσαν στην οικονομία της ημέρας, μπορεί οι πρόγονοι των θηλαστικών να κατάφεραν να επιβιώσουν επειδή είχαν βρει τρόπους για να τρέφονται τη νύχτα. Μόνο μετά τη μυστηριώδη και μαζική εξαφάνιση των δεινοσαύρων, πριν από 65 εκατομμύ-

ρια χρόνια περίπου, μπόρεσαν οι πρόγονοί μας να αρχίσουν να κινούνται την ημέρα σε μεγάλους αριθμούς.

Επιστρέφοντας τώρα στις νυχτερίδες, βλέπουμε ότι έχουν ένα μηχανικό πρόβλημα: πώς να κινούνται και να βρίσκουν τη λεία τους χωρίς φως. Οι νυχτερίδες δεν είναι τα μοναδικά πλάσματα που αντιμετωπίζουν αυτή τη δυσκολία. Προφανώς, τα νυκτόβια έντομα με τα οποία τρέφονται, πρέπει επίσης να έχουν κάποιο τρόπο για να κινούνται τη νύχτα. Τα ψάρια που ζουν σε μεγάλα βάθη έχουν ελάχιστο ή και καθόλου φως, τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα, γιατί οι ακτίνες του ήλιου δεν μπορούν να διεισδύσουν ως εκεί. Επίσης, τα ψάρια και τα δελφίνια που ζουν σε πολύ λασπώδη νερά δεν μπορούν να δουν, γιατί, αν και υπάρχει φως, παρεμποδίζεται και σκεδάζεται από το χώμα που αιωρείται στο νερό. Υπάρχουν και πολλά άλλα σύγχρονα ζώα που ζουν κάτω από συνθήκες στις οποίες είναι δύσκολο ή αδύνατο να βλέπουν.

Τι θα μπορούσε, λοιπόν, να σκεφτεί ένας μηχανικός για να λύσει το πρόβλημα της κίνησης και των ελιγμών στο σκοτάδι; Η πρώτη λύση που θα σκεφτόταν ίσως θα ήταν η παραγωγή φωτός, η χρήση ενός φαναριού ή ενός προβολέα. Οι πυγολαμπίδες και μερικά ψάρια (συνήθως με τη βοήθεια ορισμένων βακτηρίων) έχουν τη δυνατότητα να παράγουν φως, αλλά φαίνεται ότι αυτή η διαδικασία απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Οι πυγολαμπίδες χρησιμοποιούν το φως τους για να προσελκύσουν συντρόφους και να ζευγαρώσουν. Η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται γι' αυτό το σκοπό δεν είναι απαγορευτικά μεγάλη: η μικροσκοπική λάμψη που εκπέμπει ένα αρσενικό μια σκοτεινή νύχτα, είναι ορατή για το θηλυκό από αρκετή απόσταση, αφού τα μάτια του θηλυκού εκτίθενται κάθεθειαν στην ίδια τη φωτεινή πηγή. Αν όμως ένα ον παρήγε φως για να μπορεί να κινείται μέσα στο σκοτάδι, θα χρειαζόταν πολύ περισσότερη ενέργεια, αφού τα μάτια του θα έπρεπε να εντοπίζουν την πολύ μικρή ποσότητα φωτός που θα ανακλούσε καθeti γύρω του. Επομένως, η φωτεινή πηγή, για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένας «προβολέας» που θα φωτίζει το δρόμο του ζώου, πρέπει να είναι σε τεράστιο βαθμό φωτεινότερη από εκείνη που θα χρειαζόταν για την παραγωγή ενός φωτεινού σήματος που να μπορούν να το βλέπουν οι άλλοι.

Πάντως, είτε η αιτία είναι η κατανάλωση ενέργειας είτε όχι, φαίνεται ότι, με την πιθανή εξαίρεση ορισμένων αλλόκοτων ψαριών που ζουν σε μεγάλο βάθος, κανένα άλλο ζώο εκτός από τον άνθρωπο δεν χρησιμοποιεί τεχνητό φως για να θρίσκει το δρόμο του.

Ποια άλλη λύση θα μπορούσε να θρει ένας μηχανικός; Οι τυφλοί άνθρωποι έχουν μερικές φορές την ικανότητα να αισθάνονται κατά έναν παράξενο τρόπο τα εμπόδια που βρίσκονται στο δρόμο τους. Η ικανότητα αυτή έχει πάρει το όνομα «όραση μέσω του προσώπου», γιατί οι τυφλοί αναφέρουν ότι μοιάζει λίγο με την αίσθηση της αφής πάνω στο πρόσωπο. Έχει αναφερθεί η περίπτωση ενός εντελώς τυφλού αγοριού που μπορούσε να τρέχει με το τρίκυκλό του με αρκετή ταχύτητα γύρω από το τετράγωνο του σπιτιού του, χρησιμοποιώντας την εν λόγω όραση. Τα πειράματα έδειξαν ότι στην πραγματικότητα η «όραση μέσω του προσώπου» δεν έχει καμιά σχέση με την αφή ή με το πρόσωπο, αν και η αίσθηση μπορεί να *παραπέμπεται* στο πρόσωπο, όπως συμβαίνει με τον πόνο ενός φανταστικού (ακρωτηριασμένου) μέλους. Τελικά, αποδείχτηκε ότι η αίσθηση της «όρασης μέσω του προσώπου» λειτουργεί με τη βοήθεια των αυτιών. Οι τυφλοί, χωρίς να το καταλαβαίνουν, χρησιμοποιούν στην πραγματικότητα την ηχώ από τα ίδια τους τα θήματα και από άλλους ήχους, για να αντιλαμβάνονται την παρουσία εμποδίων. Πριν ακόμη γίνει αυτή η ανακάλυψη, οι μηχανικοί είχαν ήδη φτιάξει όργανα που χρησιμοποιούσαν την ίδια αρχή, για να μετρούν, λόγω χάρη, το βάθος της θάλασσας κάτω από ένα πλοίο. Αφού εφευρέθηκε αυτή η τεχνική, ήταν θέμα χρόνου να την προσαρμόσουν οι σχεδιαστές όπλων στον εντοπισμό υποβρυχίων. Κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλη έκταση οι εν λόγω συσκευές, στις οποίες είχαν δοθεί κωδικές ονομασίες όπως Asdic (για τους Βρετανούς) και Sonar (για τους Αμερικανούς), καθώς και η αντίστοιχη τεχνολογία του Radar (για τους Αμερικανούς) ή του RDF (για τους Βρετανούς), η οποία χρησιμοποιεί την ανάκλαση ραδιοκυμάτων αντί για την ανάκλαση ηχητικών κυμάτων.

Οι πρωτοπόροι του σόναρ και του ραντάρ αγνοούσαν τότε

αυτό που σήμερα γνωρίζει όλος ο κόσμος: η νυχτερίδα, ή μάλλον η φυσική επιλογή δουλεύοντας με αντικείμενο τις νυχτερίδες, έχει τελειοποιήσει αυτό το σύστημα εδώ και δεκάδες εκατομμύρια χρόνια, και το «ραντάρ» τους επιτυγχάνει τέτοιους άθλους εντοπισμού και κίνησης μέσα στο χώρο, που θα άφηναν έναν μηχανικό άναυδο από θαυμασμό. Είναι λάθος να μιλάμε για το ραντάρ των νυχτερίδων, αφού δεν χρησιμοποιούν ραδιοκύματα. Το σύστημα των νυχτερίδων είναι σόναρ. Ωστόσο, οι μαθηματικές θεωρίες στις οποίες στηρίζεται το ραντάρ και το σόναρ είναι παρόμοιες, και οι επιστημονικές μας γνώσεις σχετικά με το τι ακριβώς κάνουν οι νυχτερίδες οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στο ότι εφαρμόσαμε τη θεωρία του ραντάρ σ' αυτές. Ο αμερικανός ζωολόγος Donald Griffin, που ήταν ο βασικός συντελεστής στην ανακάλυψη του συστήματος σόναρ των νυχτερίδων, επινόησε τον όρο «ηχοεντοπισμός» για να καλύψει την έννοια και του σόναρ και του ραντάρ, είτε η μέθοδος χρησιμοποιείται από ζώα είτε από ανθρώπινες κατασκευές. Στην πράξη, πάντως, ο όρος αυτός αναφέρεται κυρίως στο σόναρ των ζώων.

Σφάλουμε αν νομίζουμε ότι όλες οι νυχτερίδες είναι ίδιες. Μοιάζει κάπως σαν να δίνουμε το ίδιο όνομα στους σκύλους, τα λιοντάρια, τις νυφίτσες, τις αρκούδες, τις ύαινες, τα πάνδα και τις ενυδρίδες, απλώς και μόνο επειδή είναι όλα σαρκοφάγα. Υπάρχουν διαφορετικές ομάδες νυχτερίδων, που χρησιμοποιούν το σόναρ με ριζικά διαφορετικούς τρόπους και φαίνονται να το έχουν «εφεύρει» ξεχωριστά και ανεξάρτητα μεταξύ τους, όπως ακριβώς οι Βρετανοί, οι Γερμανοί και οι Αμερικανοί εφηύραν όλοι ανεξάρτητα το ραντάρ. Άλλωστε, δεν χρησιμοποιούν όλες οι νυχτερίδες συστήματα ηχοεντοπισμού. Οι φρουτοφάγες νυχτερίδες του Παλαιού Κόσμου έχουν καλή όραση και οι περισσότερες χρησιμοποιούν τα μάτια τους για να προσανατολίζονται μέσα στο περιβάλλον τους. Υπάρχουν όμως ένα ή δύο είδη φρουτοφάγων νυχτερίδων, όπως, για παράδειγμα, η *Rousettus*, που μπορούν να κινούνται στο απόλυτο σκοτάδι, όπου τα μάτια, όσο ικανά κι αν είναι, δεν βλέπουν. Οι νυχτερίδες αυτές χρησιμοποιούν σόναρ, που είναι όμως πολύ πιο απλό από το σόναρ των μικρότερων νυχτερίδων που γνωρίζουμε εδώ, στις εύκρατες περι-

οχές. Η *Rousettus* παράγει δυνατά και ρυθμικά «κλικ» με τη γλώσσα της καθώς πετάει, και ρυθμίζει την πορεία της μετρώοντας το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε κάθε «κλικ» και στην ηχώ του. Ένα μεγάλο ποσοστό των «κλικ» της *Rousettus* γίνεται αντιληπτό και από το ανθρώπινο αυτί (πράγμα που σημαίνει, εξ ορισμού, ότι τα «κλικ» αυτά είναι ήχοι και όχι υπέρηχοι: οι υπέρηχοι είναι ακριβώς το ίδιο πράγμα με τους ήχους, με τη διαφορά ότι η συχνότητά τους είναι πολύ υψηλή και γι' αυτό δεν τους συλλαμβάνει το ανθρώπινο αυτί).

Θεωρητικά, όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος ενός ήχου τόσο πιο ακριβή είναι τα αποτελέσματα του σόναρ. Αυτό συμβαίνει επειδή οι ήχοι χαμηλής συχνότητας έχουν μεγάλα μήκη κύματος, τα οποία δεν μπορούν να υποδείξουν τη διαφορά ανάμεσα σε αντικείμενα που βρίσκονται το ένα κοντά στο άλλο. Επομένως, εφόσον όλες οι άλλες παράμετροι είναι ίδιες, ένας πύραυλος που έχει σύστημα πτήσης βασισμένο στην ηχώ θα πρέπει, για καλύτερα αποτελέσματα, να παράγει ήχους υψηλής συχνότητας. Πραγματικά, οι περισσότερες νυχτερίδες χρησιμοποιούν ήχους εξαιρετικά υψηλής συχνότητας, τόσο υψηλής ώστε δεν μπορεί να τους ακούσει ο άνθρωπος, δηλαδή υπέρηχους. Αντίθετα με τη *Rousettus*, η οποία βλέπει πολύ καλά και χρησιμοποιεί αδιαμόρφωτους ήχους με σχετικά χαμηλή συχνότητα για να συμπληρώνει την καλή της όραση με κάποιο μικρό μέρος ηχοεντοπισμού, οι μικρότερες νυχτερίδες φαίνονται να είναι εξαιρετικά εξειληγμένες μηχανές ήχου. Έχουν πολύ μικρά μάτια, τα οποία, στις περισσότερες περιπτώσεις, μάλλον δεν βλέπουν πολλά πράγματα. Ζουν μέσα σε έναν κόσμο αντηχήσεων, και κατά πάσα πιθανότητα ο εγκέφαλός τους μπορεί να χρησιμοποιεί την ηχώ για να κατασκευάζει κάτι παρόμοιο με τις οπτικές εικόνες, αν και είναι σχεδόν αδύνατο για μας να φανταστούμε πώς μπορεί να είναι αυτές οι εικόνες. Οι ήχοι που παράγουν δεν είναι απλώς ελάχιστα υψηλότεροι από το ανώτατο όριο που μπορεί να ακούσει ο άνθρωπος, όπως συμβαίνει με ορισμένες σφυρίχτρες σκύλων. Σε πολλές περιπτώσεις, είναι σε τεράστιο βαθμό υψηλότεροι από τον υψηλότερο ήχο που έχει ακούσει ποτέ ή που μπορεί να φανταστεί ο άνθρωπος. Παρεμπιπτόντως, είναι εντυχές το γεγονός

ότι δεν μπορούμε να τους ακούσουμε, γιατί είναι τρομερά ισχυροί και, αν τους ακούγαμε, θα ήταν τόσο εκκωφαντικοί που δεν θα μας άφηναν να κοιμηθούμε τη νύχτα.

Αυτές οι νυχτερίδες μοιάζουν με μικρά κατασκοπευτικά αεροπλάνα, εφοδιασμένα με πολύπλοκο και προηγμένο εξοπλισμό. Ο εγκέφαλός τους είναι ένα καλοσυντονισμένο σύστημα από μικροσκοπικά ηλεκτρονικά κυκλώματα, προγραμματισμένα με το πολύπλοκο λογισμικό που είναι απαραίτητο για την αποκωδίκευση ενός κόσμου αντηχήσεων σε πραγματικό χρόνο. Τα πρόσωπά τους είναι συχνά παραμορφωμένα σε τερατώδη σχήματα που μας φαίνονται φρικτά μέχρι να καταλάβουμε τι είναι: θαυμαστά όργανα για την εκπομπή υπερήχων προς τις επιθυμητές κατευθύνσεις.

Αν και δεν μπορούμε να ακούσουμε απευθείας τους παλμούς των υπερήχων των νυχτερίδων, μπορούμε να πάρουμε μια ιδέα για το τι συμβαίνει χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο μηχάνημα μετάφρασης, έναν «εντοπιστή νυχτερίδων». Το μηχάνημα αυτό λαμβάνει τους παλμούς με ένα ειδικό μικρόφωνο υπερήχων και μετατρέπει τον κάθε παλμό σε ένα «κλικ» ή σε έναν τόνο που μπορούμε να ακούσουμε μέσω ακουστικών. Αν πάμε με έναν τέτοιο «εντοπιστή νυχτερίδων» σε ένα ξέφωτο όπου τρέφονται νυχτερίδες, θα ακούμε τότε εκπέμπεται κάθε ηχητικός παλμός, αλλά δεν θα μπορούμε να ακούσουμε τους ίδιους τους παλμούς. Αν η νυχτερίδα μας είναι μια *Myotis*, μια από τις συνηθισμένες μικρές καφετιές νυχτερίδες, θα ακούσουμε μια σειρά από «κλικ» με ρυθμό περίπου 10 ανά δευτερόλεπτο όταν η νυχτερίδα βρίσκεται σε πτήση ρουτίνας. Αυτή είναι η συχνότητα λειτουργίας ενός συνηθισμένου τηλετύπου ή ενός πολυβόλου Μπρεν.

Αυτό σημαίνει μάλλον ότι η εικόνα του κόσμου την οποία σχηματίζει η νυχτερίδα ανανεώνεται 10 φορές το δευτερόλεπτο. Η δική μας οπτική εικόνα ανανεώνεται συνεχώς, όσο κρατάμε ανοιχτά τα μάτια μας. Χρησιμοποιώντας ένα στροβοσκόπιο τη νύχτα, μπορούμε να δούμε πώς θα ήταν η εικόνα του κόσμου αν ανανεωνόταν σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Αυτό γίνεται μερικές φορές στις ντισκοτέκ και αποτελεί ένα εντυπωσιακό εφέ. Οι χορευτές εμφανίζονται σε μια σειρά από παγωμένες στάσεις,



σαν αγάλματα. Προφανώς, όσο πιο γρήγορα λειτουργεί το στροβοσκοπιο, τόσο περισσότερο η εικόνα πλησιάζει σ' αυτή μιας κανονικής, «συνεχούς» όρασης. Η «δειγματοληπτική» στροβοσκοπική όραση με ρυθμό περίπου 10 δειγμάτων ανά δευτερόλεπτο, δηλαδή με το ρυθμό που χρησιμοποιεί η νυχτερίδα σε πτήση ρουτίνας, δεν απέχει και πολύ από την κανονική «συνεχή» όραση, είναι όμως προβληματική αν θέλει κανείς να πιάσει στον αέρα μια μπάλα ή ένα έντομο.

Ωστόσο, όπως είπαμε, αυτός είναι ο δειγματοληπτικός ρυθμός του σόναρ της νυχτερίδας για μια συνηθισμένη αναγνωριστική πτήση. Όταν η *Myotis* αντιληφθεί ένα έντομο και μπει σε πτήση καταδίωξης, ο ρυθμός παραγωγής των «κλικ» αυξάνεται. Υπερβαίνει κατά πολύ το ρυθμό λειτουργίας ενός πολυβόλου και μπορεί να φτάσει σε ανώτατες τιμές 200 παλμών ανά δευτερόλεπτο καθώς η νυχτερίδα πλησιάζει τον κινούμενο στόχο. Για να μιμηθούμε αυτή την κατάσταση με το στροβοσκοπιο, θα πρέπει να αυξήσουμε το ρυθμό λειτουργίας του έτσι ώστε οι λάμπες να διαδέχονται η μία την άλλη δύο φορές πιο γρήγορα από τις εναλλαγές της ηλεκτρικής τάσης που παίρνουμε από τις πρίζες μας, τις οποίες θέβαια δεν αντιλαμβανόμαστε στη λάμψη μιας λάμπας φθορισμού. Προφανώς, δεν δυσκολευόμαστε να εκτελούμε όλες τις κανονικές οπτικές λειτουργίες μας, ακόμη και να παίζουμε σκουός ή πιנגκ-πονγκ, μέσα σε έναν οπτικό κόσμο που «πάλλεται» με τέτοια συχνότητα. Αν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο εγκέφαλος της νυχτερίδας σχηματίζει μια εικόνα του κόσμου ανάλογη με τις δικές μας οπτικές εικόνες, ο ρυθμός παραγωγής των παλμών και μόνο δείχνει ότι η ηχητική εικόνα της νυχτερίδας μπορεί να είναι τουλάχιστον εξίσου λεπτομερής και «συνεχής» με τη δική μας οπτική εικόνα. Φυσικά, μπορεί να υπάρχουν άλλοι λόγοι για τους οποίους δεν είναι τόσο λεπτομερής όσο η δική μας.

Αν οι νυχτερίδες είναι σε θέση να ανεβάζουν τον δειγματοληπτικό τους ρυθμό στους 200 παλμούς ανά δευτερόλεπτο, γιατί δεν τον διατηρούν συνεχώς; Αφού προφανώς το ηχητικό τους «στροβοσκοπιο» διαθέτει μηχανισμό ελέγχου του ρυθμού παραγωγής παλμών, γιατί δεν τον σταθεροποιούν στο μάξιμουμ, διατηρώντας

έτσι συνεχώς την αντίληψη του κόσμου που τους περιβάλλει στην πιο λεπτομερή μορφή της, ώστε να μπορούν να αντιμετωπίσουν οποιαδήποτε κατάσταση έκτακτης ανάγκης; Ένας λόγος είναι ότι αυτοί οι ταχείς ρυθμοί είναι κατάλληλοι μόνο για κοντινούς στόχους. Αν ο ρυθμός παραγωγής παλμών είναι ταχύς, ένας παλμός μπορεί να μερδευτεί με την ηχώ του προηγούμενου παλμού που επιστρέφει από έναν μακρινό στόχο. Ακόμη κι αν δεν συμβαίνει αυτό, κατά πάσα πιθανότητα υπάρχουν σοβαροί λόγοι οικονομίας που αναγκάζουν τη νυχτερίδα να μη διατηρεί συνεχώς τον μέγιστο ρυθμό παλμών. Η παραγωγή δυνατών παλμών υπερήχων είναι δαπανηρή σε ενέργεια, φθείρει τη φωνή και τα αυτιά, και ίσως απαιτεί πολύ χρόνο ώστε ο «υπολογιστής» της νυχτερίδας να εκτελέσει τους απαραίτητους υπολογισμούς. Ένας εγκέφαλος που επεξεργάζεται 200 ξεχωριστές αντηχήσεις ανά δευτερόλεπτο μπορεί να μην έχει τη δυνατότητα να σκεφτεί τίποτε άλλο. Ακόμη και ο ρυθμός των 10 παλμών ανά δευτερόλεπτο ίσως είναι αρκετά δαπανηρός, αλλά σίγουρα πολύ λιγότερο από τον μέγιστο ρυθμό των 200 παλμών ανά δευτερόλεπτο. Αν μια νυχτερίδα χρησιμοποιούσε παλμούς ταχύτερου ρυθμού στις πτήσεις ρουτίνας, θα κατέβαλλε ένα πρόσθετο τίμημα από άποψη ενέργειας, κ.λπ., που δεν θα το δικαιολογούσε η αυξημένη ακρίβεια του σόναρ. Όταν το μοναδικό κινούμενο αντικείμενο στη γύρω περιοχή είναι η ίδια η νυχτερίδα, οι διαδοχικές δειγματοληψίες που γίνονται κάθε δέκατο του δευτερολέπτου δείχνουν έναν κόσμο περίπου όμοιο με τον πραγματικό, ώστε δεν χρειάζεται να αυξηθεί ο ρυθμός τους. Όταν στον γύρω χώρο υπάρχει και κάποιο άλλο κινούμενο αντικείμενο, και ιδιαίτερα ένα ιπτάμενο έντομο που αλλάζει συνεχώς κατευθύνσεις σε μια απελπισμένη προσπάθεια να αποφύγει το διώκτη του, το πρόσθετο όφελος από την αύξηση του ρυθμού των δειγματοληψιών δικαιολογεί με το παραπάνω το αυξημένο ενεργειακό κόστος. Φυσικά, όσα αναφέρονται σ' αυτή την παράγραφο για τους παράγοντες του κόστους και της ωφέλειας είναι καθαρές εικασίες, αλλά είναι σχεδόν βέβαιο ότι κάτι τέτοιο συμβαίνει και στην πράξη.

Ο μηχανικός που επιχειρεί να σχεδιάσει μια αποτελεσματική συσκευή σόναρ ή ραντάρ συναντά γρήγορα ένα πρόβλημα που

οφείλεται στο γεγονός ότι οι παλμοί πρέπει να είναι τρομερά ισχυροί, γιατί, όταν εκπέμπεται ένας ήχος, το μέτωπο κύματός προχωρεί προς όλες τις κατευθύνσεις σαν μια σφαίρα που διογκώνεται. Η ένταση του ήχου μειώνεται, γιατί «κατανέμεται» σε ολόκληρη την επιφάνεια της σφαίρας. Το εμβαδόν κάθε σφαίρας είναι ανάλογο με το τετράγωνο της ακτίνας της. Επομένως, η μείωση της έντασης του ήχου σε οποιοδήποτε σημείο της σφαίρας είναι ανάλογη όχι με την απόσταση (την ακτίνα) αλλά με το τετράγωνο της απόστασης από την ηχητική πηγή, καθώς το μέτωπο κύματος προχωρεί και η σφαίρα διογκώνεται. Αυτό σημαίνει ότι ο ήχος εξασθενεί πολύ γρήγορα καθώς απομακρύνεται από την πηγή του, δηλαδή τη νυχτερίδα.

Όταν αυτός ο εξασθενημένος ήχος συναντήσει ένα αντικείμενο, λόγου χάρις μια μύγα, ανακλάται πάνω του. Αυτός ο ανακλώμενος ήχος απομακρύνεται τώρα με τη σειρά του από τη μύγα, με μέτωπο κύματος που επίσης επεκτείνεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Για τους ίδιους λόγους που αναφέραμε και για τον αρχικό ήχο, η έντασή του μειώνεται σε αναλογία με το τετράγωνο της απόστασης από τη μύγα. Όταν η ηχώ φτάσει στη νυχτερίδα, η μείωση της έντασής της είναι ανάλογη όχι με την απόσταση της μύγας από τη νυχτερίδα, ούτε καν με το τετράγωνο αυτής της απόστασης, αλλά με το τετράγωνο του τετραγώνου, δηλαδή την τέταρτη δύναμη της απόστασης. Αυτό σημαίνει ότι ο ήχος θα είναι πάρα πολύ αδύναμος. Το πρόβλημα μπορεί να ξεπεραστεί εν μέρει αν η νυχτερίδα εκπέμπει τον ήχο χρησιμοποιώντας κάτι αντίστοιχο με το μεγάφωνο, αυτό όμως μπορεί να γίνει μόνο αν γνωρίζει ήδη την κατεύθυνση προς την οποία βρίσκεται ο στόχος. Όπως κι αν έχει το πράγμα, για να μπορέσει η νυχτερίδα να λάβει μια αισθητή ηχώ από έναν μακρινό στόχο, ο ηχητικός παλμός που θα εκπέμπει πρέπει να είναι πάρα πολύ δυνατός και το όργανο που θα αντιληφθεί την ηχώ, το αυτί, πρέπει να είναι εξαιρετικά ευαίσθητο σε πολύ ασθενείς ήχους. Όπως είδαμε, συχνά τα «στριγγλίσματα» των νυχτερίδων είναι όντως πολύ δυνατά και τα αυτιά τους πολύ ευαίσθητα.

Ας δούμε λοιπόν τώρα ποιο είναι το πρόβλημα που θα συναντούσε ένας μηχανικός, αν προσπαθούσε να σχεδιάσει ένα μηχά-

νημα σαν τη νυχτερίδα. Αν το μικρόφωνο, ή το αυτί, είναι τόσο ευαίσθητο, διατρέχει μεγάλο κίνδυνο να υποστεί σοβαρές βλάβες από τους εξαιρετικά ισχυρούς εκπεμπόμενους ηχητικούς παλμούς. Είναι ανώφελο να προσπαθήσει να λύσει το πρόβλημα κάνοντας τους ήχους λιγότερο ισχυρούς, γιατί τότε η ηχώ τους θα ήταν τόσο ασθενική ώστε δεν θα ακουγόταν καθόλου. Επίσης, είναι ανώφελο να προσπαθήσει να καταπολεμήσει το νέο αυτό πρόβλημα καθιστώντας το μικρόφωνο (το «αυτί») πιο ευαίσθητο, γιατί τότε θα κινδύνευε ακόμη περισσότερο να υποστεί βλάβες από τους εκπεμπόμενους παλμούς, έστω και αν η έντασή τους ήταν ελάχιστα μειωμένη! Πρόκειται για ένα δίλημμα που δημιουργείται από τη δραματική διαφορά έντασης ανάμεσα στον εκπεμπόμενο ήχο και στην ηχώ που επιστρέφει, μια διαφορά που επιβάλλεται αναπόφευκτα από τους νόμους της φυσικής.

Ποια άλλη λύση θα μπορούσε να σκεφτεί ο μηχανικός; Όταν οι σχεδιαστές του ραντάρ στον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο συνάντησαν ένα ανάλογο πρόβλημα, βρήκαν μια λύση που την ονόμασαν ραντάρ «εκπομπής-λήψης». Τα σήματα του ραντάρ εκπέμπονται αναγκαστικά σε πολύ ισχυρούς παλμούς, οι οποίοι θα μπορούσαν να προκαλέσουν βλάβες στις πολύ ευαίσθητες κεραίες που περιμένουν για να λάβουν την ασθενή ηχώ τους. Το κύκλωμα «εκπομπής-λήψης» αποσυνδέει προσωρινά την κεραία λήψης λίγο πριν εκπεμφθεί ο παλμός και μετά την επανασυνδέει έγκαιρα, ώστε να λάβει την ηχώ.

Οι νυχτερίδες ανέπτυξαν την τεχνολογία εναλλαγής «εκπομπής-λήψης» πριν από πάρα πολύ καιρό, ίσως εκατομμύρια χρόνια πριν κατεβούν οι πρόγονοί μας από τα δέντρα. Το σύστημά τους λειτουργεί ως εξής: στα αυτιά των νυχτερίδων, όπως και στα δικά μας, ο ήχος μεταδίδεται από το τύμπανο στα «μικροφωνικά» ηχοευαίσθητα κύτταρα διαμέσου μιας γέφυρας που αποτελείται από τρία οστάρια, τα οποία ονομάζονται σφύρα, άκμονας και αναβολέας, εξαιτίας του ιδιότυπου σχήματός τους. Παρεμπιπτόντως, μπορούμε να πούμε ότι η συναρμολόγηση και η συνάρθρωση αυτών των τριών μικρών οστών είναι ακριβώς έτσι όπως θα τη σχεδιάζε ένας σύγχρονος μηχανικός ηχητικών συστημάτων υψηλής πιστότητας ώστε να επιτελούν την απαραίτητη λειτουργία

«προσαρμογής εμπέδησης» –αλλά αυτό είναι μια άλλη ιστορία. Εκείνο που έχει σημασία εδώ είναι ότι μερικές νυχτερίδες έχουν καλά ανεπτυγμένους μυς που συνδέονται με τον αναβολέα και τη σφύρα. Όταν συσπώνται οι εν λόγω μύες, τα οστά δεν μεταφέρουν τόσο αποτελεσματικά τον ήχο –είναι σαν να πνίγεις ένα megάφωνο πιέζοντας με τον αντίχειρά σου το δονούμενο διάφραγμα. Η νυχτερίδα μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτούς τους μυς για να «διακόψει» προσωρινά τη λειτουργία των αυτιών της. Οι μύες συσπώνται πριν από την εκπομπή κάθε παλμού, διακόπτοντας τη λειτουργία των αυτιών, ώστε να μην υποστούν βλάβη από τον δυνατό ήχο. Κατόπιν, χαλαρώνουν έτσι ώστε το αυτί να επανέρχεται έγκαιρα σε κατάσταση μέγιστης ευαισθησίας, για να δεχτεί την ηχώ που επιστρέφει. Αυτό το σύστημα εναλλαγής «εκπομπής-λήψης» είναι αποτελεσματικό μόνο όταν υπάρχει απόλυτος συγχρονισμός. Μια νυχτερίδα, η *Tadarida*, μπορεί να συσπά και να χαλαρώνει τους μυς εναλλαγής 50 φορές το δευτερόλεπτο, διατηρώντας τέλειο συγχρονισμό με τους παλμούς υπερήχων που εκπέμπει με ρυθμό πολυβόλου. Είναι ένα εκπληκτικό κατόρθωμα συγχρονισμού που θυμίζει ένα έξυπνο τέχνασμα το οποίο εφαρμόζοταν σε μερικά καταδιωκτικά αεροπλάνα κατά τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο. Τα πολυβόλα θρίσκονταν πίσω από την έλικα, αλλά οι βολές τους ήταν προσεκτικά συγχρονισμένες με την περιστροφή της, έτσι ώστε οι σφαίρες να περνούν πάντοτε ανάμεσα στα πτερύγιά της χωρίς ποτέ να τα χτυπούν και να τα καταστρέφουν.

Το επόμενο πρόβλημα που μπορεί να εντόπιζε ο μηχανικός μας είναι το εξής: αν η συσκευή σόναρ υπολογίζει την απόσταση των στόχων μετρώντας το διάστημα σιωπής που μεσολαβεί ανάμεσα στην εκπομπή ενός ήχου και στη λήψη της ηχούς –μέθοδος την οποία φαίνεται να χρησιμοποιεί η *Rousettus*–, τότε οι ήχοι πρέπει να εκπέμπονται σε πολύ σύντομους, κοφτούς παλμούς. Αν ο εκπεμπόμενος ήχος είχε μεγάλη διάρκεια, η εκπομπή του θα συνεχιζόταν όταν θα επέστρεφε η ηχώ και θα παρεμπόδιζε τη λήψη της ακόμη και αν πνιγόταν εν μέρει από τους μυς του συστήματος «εκπομπής-λήψης». Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι παλμοί που εκπέμπουν οι νυχτερίδες πρέπει να έχουν

πολύ μικρή διάρκεια. Ωστόσο, όσο πιο σύντομος είναι ένας ήχος, τόσο πιο δύσκολο είναι να τον κάνεις αρκετά ισχυρό ώστε να παραγάγει μια ανιχνεύσιμη ηχώ. Εδώ έχουμε άλλο ένα ατυχές δίλημμα που μας επιβάλλουν οι φυσικοί νόμοι. Δύο λύσεις θα ήταν δυνατό να ανακαλυφθούν από τους επινοητικούς μηχανικούς, και, πράγματι, αυτές ανακάλυψαν όταν συνάντησαν το ίδιο πρόβλημα, και πάλι στην ανάλογη περίπτωση του ραντάρ. Το ποια από τις δύο λύσεις είναι προτιμότερη εξαρτάται από το τι μας ενδιαφέρει περισσότερο: να μετρήσουμε σε ποια απόσταση βρίσκεται το αντικείμενο από το όργανο, ή να μετρήσουμε με ποια ταχύτητα κινείται ως προς αυτό; Η πρώτη λύση είναι γνωστή στους μηχανικούς με το όνομα «παλμικό ραντάρ».

Μπορούμε να φανταστούμε τα σήματα του ραντάρ σαν μια σειρά παλμών, αλλά κάθε παλμός έχει μία φέρουσα συχνότητα, όπως ονομάζεται. Αυτή είναι ανάλογη με το «ύψος» του παλμού ήχου ή υπερήχου. Οι ήχοι που εκπέμπουν οι νυχτερίδες, όπως είδαμε, έχουν ρυθμό παραγωγής δεκάδων ή εκατοντάδων παλμών ανά δευτερόλεπτο. Καθένας από αυτούς τους παλμούς έχει φέρουσα συχνότητα δεκάδων χιλιάδων ή εκατοντάδων χιλιάδων κύκλων ανά δευτερόλεπτο. Με άλλα λόγια, κάθε παλμός είναι ένα στρίγγλισμα υψηλής συχνότητας. Με τον ίδιο τρόπο, κάθε παλμός του ραντάρ είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό «στρίγγλισμα» από ραδιοκύματα με υψηλή φέρουσα συχνότητα. Το ειδικό χαρακτηριστικό του παλμικού ραντάρ είναι ότι δεν έχει σταθερή φέρουσα συχνότητα στη διάρκεια κάθε εκπεμπόμενου παλμού. Αντίθετα, η φέρουσα συχνότητα αυξομειώνεται κατά μία οκτάβα περίπου. Αν φανταστούμε το ηχητικό του αντίστοιχο, κάθε εκπομπή ραντάρ μοιάζει με ένα σφύριγμα θαυμασμού. Το πλεονέκτημα του παλμικού ραντάρ, σε αντιδιαστολή με τον παλμό σταθερής συχνότητας, είναι το εξής: δεν έχει σημασία αν ο αρχικός παλμός διαρκεί ακόμη όταν επιστρέφει η ηχώ, γιατί δεν θα υπάρξει σύγχυση των δύο ήχων μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει επειδή η ηχώ που λαμβάνεται κάθε στιγμή θα είναι ανάκλαση ενός προηγούμενου μέρους του παλμού, και επομένως θα έχει διαφορετική συχνότητα.

Οι σχεδιαστές ραντάρ έχουν αξιοποιήσει με πολύ καλό τρόπο

αυτή την έξυπνη τεχνική. Άραγε, υπάρχει κάποια ένδειξη ότι και οι νυχτερίδες την έχουν ανακαλύψει, όπως έχουν ανακαλύψει το σύστημα «εκπομπής-λήψης»; Ναι, υπάρχει. Πολλά είδη νυχτερίδων παράγουν κραυγές που το ύψος τους μεταβάλλεται, συνήθως κατά μία οκτάβα περίπου, στη διάρκεια κάθε κραυγής. Αυτές οι κυμαινόμενες κραυγές έχουν τη λεγόμενη διαμόρφωση συχνότητας. Φαίνονται να είναι αυτό ακριβώς που θα χρειάζονταν οι νυχτερίδες για να εκμεταλλευτούν την τεχνική του παλμικού ραβντάρ. Εντούτοις, τα στοιχεία που έχουμε συγκεντρώσει ως τώρα δείχνουν ότι οι νυχτερίδες χρησιμοποιούν αυτή την τεχνική όχι για να ξεχωρίσουν μια ηχώ από τον αρχικό ήχο που την παρήγαγε, αλλά για έναν πιο ειδικό και δύσκολο σκοπό: να ξεχωρίζουν τις αντηχήσεις μεταξύ τους. Μια νυχτερίδα ζει σε έναν κόσμο ανακλώμενων ήχων από κοντινά αντικείμενα, από μακρινά αντικείμενα και από αντικείμενα που βρίσκονται σε όλες τις ενδιάμεσες αποστάσεις, και πρέπει να ξεχωρίζει αυτούς τους ήχους μεταξύ τους. Αν υποθέσουμε πως εκπέμπει παλμούς με όλο και μικρότερη συχνότητα, ο διαχωρισμός των αντηχήσεων γίνεται αποτελεσματικά από το ύψος τους. Όταν μια ηχώ από ένα μακρινό αντικείμενο επιστρέψει στη νυχτερίδα, θα είναι πιο «παλιά» από μια ηχώ που επιστρέφει την ίδια στιγμή από ένα κοντινό αντικείμενο. Επομένως, θα έχει υψηλότερη συχνότητα. Όταν η νυχτερίδα δέχεται αλληλοσυγκρουόμενες ηχητικές αντανακλάσεις από πολλά αντικείμενα, μπορεί να εφαρμόσει έναν πρακτικό κανόνα: όσο πιο υψηλή είναι η συχνότητα, τόσο πιο μακριά βρίσκεται το αντικείμενο.

Η δεύτερη έξυπνη ιδέα που θα μπορούσε να συλλάβει ένας μηχανικός, ιδιαίτερα αν τον ενδιέφερε να μετρήσει την ταχύτητα ενός κινούμενου στόχου, θα ήταν να εκμεταλλευτεί αυτό που οι φυσικοί ονομάζουν μετατόπιση Doppler. Θα μπορούσαμε να το ονομάσουμε και «φαινόμενο του ασθενοφόρου», γιατί η πιο γνωστή του εκδήλωση είναι η ξαφνική πτώση του ύψους του ήχου που εκπέμπει η σειρήνα ενός ασθενοφόρου καθώς αυτό περνάει με ταχύτητα δίπλα μας. Η μετατόπιση Doppler παρατηρείται κάθε φορά που μια πηγή ήχου (ή φωτός ή κυμάτων οποιουδήποτε άλλου είδους) και ο δέκτης αυτού του ήχου βρίσκονται σε σχετι-



κή κίνηση ο ένας ως προς τον άλλο. Για να κατανοήσουμε το φαινόμενο είναι ευκολότερο να φανταστούμε την ηχητική πηγή να παραμένει ακίνητη και το δέκτη να κινείται προς αυτήν. Ας υποθέσουμε ότι η σειρήνα στη στέγη ενός εργοστασίου ηχεί συνεχώς, εκπέμποντας έναν απλό ήχο ορισμένης συχνότητας. Ο ήχος εκπέμπεται με τη μορφή μιας σειράς κυμάτων. Τα κύματα δεν φαίνονται, γιατί είναι κύματα πίεσης του αέρα. Αν μπορούσαμε να τα δούμε, θα έμοιαζαν με τους ομόκεντρους κύκλους που εξαπλώνονται όταν πετάμε μικρά πετραδάκια στο κέντρο μιας ήρεμης υδάτινης επιφάνειας. Φανταστείτε ότι πετάμε στο κέντρο μιας λίμνης πετραδάκια στη σειρά, με τέτοιο τρόπο ώστε τα κύματα να εκπέμπονται συνεχώς από το κέντρο προς τα έξω. Αν δέσουμε μια μικρή χάρτινη θάρκα σε κάποιο σταθερό σημείο της λίμνης, η θάρκα θα ανεβοκατεβαίνει ρυθμικά καθώς θα περνούν από κάτω της τα υδάτινα κύματα. Η συχνότητα με την οποία ανεβοκατεβαίνει η θάρκα αναλογεί στη συχνότητα του ήχου. Ας υποθέσουμε τώρα ότι η θάρκα, αντί να είναι δεμένη, πλέει στη λίμνη προς το κέντρο των κυκλικών κυμάτων. Η θάρκα θα συνεχίσει να ανεβοκατεβαίνει καθώς θα τη χτυπούν τα διαδοχικά μέτωπα κύματος, αλλά τώρα η συχνότητα με την οποία θα τα συναντά θα είναι μεγαλύτερη, αφού κινείται προς την πηγή των κυμάτων. Δηλαδή, η θάρκα θα ανεβοκατεβαίνει με ταχύτερο ρυθμό. Όταν όμως προσπεράσει την πηγή των κυμάτων και αρχίσει να απομακρύνεται προς την άλλη πλευρά, η συχνότητα με την οποία θα ανεβοκατεβαίνει, θα είναι προφανώς μικρότερη.

Για τον ίδιο λόγο, λοιπόν, αν τρέχουμε με μια (κατά προτίμηση αθόρυβη) μοτοσικλέτα προς τη σειρήνα του εργοστασίου, όσο πλησιάζουμε προς αυτήν το ύψος του ήχου της θα αυξάνεται. Ουσιαστικά, τα αυτιά μας συναντούν τα κύματα με πιο γρήγορο ρυθμό απ' ό,τι στην περίπτωση που θα παραμέναμε ακίνητοι. Σύμφωνα με το ίδιο επιχείρημα, όταν η μοτοσικλέτα μας προσπεράσει το εργοστάσιο και αρχίσει να απομακρύνεται από τη σειρήνα του, το ύψος του ήχου θα χαμηλώσει. Αν σταματήσουμε να κινούμαστε, θα ακούσουμε το ύψος του ήχου της σειρήνας όπως πραγματικά είναι, κάπου ανάμεσα στα δύο ύψη που ακούσαμε εξαιτίας της αλλοίωσης λόγω μετατόπισης Doppler.

Αυτό σημαίνει ότι αν γνωρίζουμε την ακριβή συχνότητα του ήχου της σειρήνας, είναι θεωρητικά δυνατό να βρούμε πόσο γρήγορα πλησιάζουμε ή απομακρυνόμαστε από αυτήν ακούγοντας απλώς τη φαινόμενη συχνότητα του ήχου και συγκρίνοντάς τη με τη γνωστή πραγματική συχνότητα.

Η ίδια αρχή ισχύει όταν η ηχητική πηγή κινείται και ο ακροατής παραμένει ακίνητος (αυτό συμβαίνει με τα ασθενοφόρα). Λένε –αν και φαίνεται απίθανο– ότι ο Christian Doppler έκανε μια επίδειξη αυτού του φαινομένου προσλαμβάνοντας μια μπάντα για να παίξει πάνω σε ένα ανοιχτό θαγόνι τρένου το οποίο πέρασε με μεγάλη ταχύτητα μπροστά από το κατάπληκτο ακροατήριό του. Εκείνο που έχει σημασία είναι η σχετική κίνηση και, όσον αφορά το φαινόμενο Doppler, είναι αδιάφορο αν θα θεωρήσουμε την ηχητική πηγή να κινείται σε σχέση με το δέκτη ή το δέκτη να κινείται σε σχέση με την ηχητική πηγή. Αν δύο τρένα κινούνται με ταχύτητα 200 χιλιομέτρων την ώρα σε παράλληλες γραμμές και προς αντίθετες κατευθύνσεις, όταν συναντηθούν, ο επιβάτης του ενός τρένου θα παρατηρήσει μια ιδιαίτερα εντυπωσιακή πτώση του ύψους του σφυρίγματος του άλλου, λόγω του φαινομένου Doppler, αφού η σχετική ταχύτητα των δύο τρένων θα είναι 400 χιλιόμετρα την ώρα.

Το φαινόμενο Doppler χρησιμοποιείται στα ραντάρ της τροχαίας για τον εντοπισμό των αυτοκινήτων που παραβιάζουν το όριο ταχύτητας. Μια ακίνητη συσκευή ραντάρ εκπέμπει ραδιοκύματα προς το δρόμο. Τα κύματα ανακλώνται από τα αυτοκίνητα που πλησιάζουν και καταγράφονται από έναν ειδικό δέκτη. Όσο πιο γρήγορα κινείται το αυτοκίνητο, τόσο μεγαλύτερη είναι η αλλαγή της συχνότητας λόγω της μετατόπισης Doppler. Συγκρίνοντας την εκπεμπόμενη συχνότητα με τη συχνότητα της ηχούς, η αστυνομία, ή μάλλον οι αυτόματες συσκευές της, μπορούν να υπολογίσουν την ταχύτητα κάθε αυτοκινήτου. Αν, όμως, η αστυνομία εκμεταλλεύεται αυτή την τεχνική για να υπολογίζει την ταχύτητα των αυτοκινήτων, δεν μπορούμε να υποθέσουμε ότι και οι νυχτερίδες τη χρησιμοποιούν για να υπολογίζουν την ταχύτητα των εντόμων με τα οποία τρέφονται;

Η απάντηση είναι θετική. Είναι γνωστό ότι οι μικρές νυχτερί-

δες που λέγονται ιπποσιδεριδες εκπέμπουν μακρόσυρτους ήχους σταθερής συχνότητας, αντί για κοφτά «κλικ» ή στριγγλίσματα με ελαττούμενη συχνότητα. Όταν λέω μακρόσυρτους, το εννοώ με τα κριτήρια των νυχτερίδων. Οι εν λόγω ήχοι διαρκούν λιγότερο από ένα δέκατο του δευτερολέπτου, και συχνά, όπως θα δούμε, στο τέλος κάθε ήχου υπάρχει ένα στρίγγλισμα διαφορετικής συχνότητας. Φανταστείτε αρχικά μια ιπποσιδεριδα να εκπέμπει ένα συνεχή «υπερηχητικό» βόμβο καθώς κινείται με μεγάλη ταχύτητα προς ένα ακίνητο αντικείμενο, όπως ένα δέντρο. Τα μέτωπα κύματος χτυπούν στο δέντρο με αυξημένη συχνότητα εξαιτίας της κίνησης της νυχτερίδας προς αυτό. Αν υπήρχε ένα μικρόφωνο πάνω στο δέντρο, αυτό θα «άκουγε» τον ήχο να έχει αυξημένο ύψος εξαιτίας της μετατόπισης Doppler που προκαλείται από την κίνηση της νυχτερίδας. Δεν υπάρχει μικρόφωνο, αλλά το κύμα που ανακλάται από το δέντρο θα έχει κι αυτό αυξημένο ύψος για τον ίδιο λόγο. Καθώς τα μέτωπα κύματος τώρα εξαπλώνονται από το δέντρο προς τη νυχτερίδα που πλησιάζει, η νυχτερίδα συνεχίζει να κινείται γοργά προς το μέρος τους. Επομένως, κατά τη λήψη της ηχούς από τη νυχτερίδα υπάρχει στη συχνότητά της μία ακόμη μετατόπιση Doppler προς τα πάνω. Η κίνηση της νυχτερίδας προκαλεί διπλή μετατόπιση Doppler, που η τιμή της αποτελεί ακριβή ένδειξη της ταχύτητας της νυχτερίδας ως προς το δέντρο. Άρα, συγκρίνοντας το ύψος της κραυγής της με το ύψος της ηχούς, η νυχτερίδα (ή μάλλον ο υπολογιστής του εγκεφάλου της) μπορεί, θεωρητικά, να υπολογίσει με πόση ταχύτητα κινείται προς το δέντρο. Αυτό δεν θα της έδειχνε ακριβώς πόσο μακριά βρίσκεται το δέντρο, μπορεί όμως και πάλι να είναι μια πολύ χρήσιμη πληροφορία.

Αν το αντικείμενο που ανακλά το κύμα δεν είναι ακίνητο, όπως το δέντρο, αλλά κινούμενο, όπως ένα έντομο, οι συνέπειες του φαινομένου Doppler είναι πιο πολύπλοκες. Εντούτοις, η νυχτερίδα θα μπορούσε και πάλι να υπολογίσει τη σχετική ταχύτητά της ως προς το στόχο της, μια πληροφορία που είναι απαραίτητη σε ένα εξελιγμένο σύστημα κατευθυνόμενης πτήσης όπως αυτό της νυχτερίδας. Μάλιστα, μερικές νυχτερίδες χρησιμοποιούν ένα τέχνασμα που είναι πιο ενδιαφέρον από την απλή εκπο-

μπή ήχων σταθερής συχνότητας και τη μέτρηση της συχνότητας των ανακλώμενων ήχων. Προσαρμόζουν προσεκτικά τη συχνότητα των εξερχόμενων ηχητικών σημάτων, έτσι ώστε να διατηρούν τη συχνότητα των αντηχήσεων σταθερή, αφού έχουν υποστεί τη μετατόπιση Doppler. Καθώς πετούν προς ένα κινούμενο έντομο, αλλάζουν συνεχώς το ύψος των κραυγών τους ψάχνοντας για αυτό που χρειάζεται ώστε να διατηρούν με σταθερό ύψος την ηχώ. Αυτό το έξυπνο τέχνασμα διατηρεί την ηχώ σε εκείνο το ύψος στο οποίο παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία τα αυτιά τους, πράγμα που είναι πολύ σημαντικό αφού οι ανακλώμενοι ήχοι έχουν μικρή ένταση. Έτσι μπορούν να συγκεντρώσουν τις πληροφορίες που τους χρειάζονται για τους υπολογισμούς Doppler, ελέγχοντας τη συχνότητα με την οποία είναι υποχρεωμένες να στριγγλίζουν ώστε να επιτυγχάνουν ηχώ σταθερής συχνότητας. Δεν ξέρω αν υπάρχουν ανθρώπινες συσκευές σόναρ ή ραντάρ που να χρησιμοποιούν αυτό το έξυπνο τέχνασμα. Αν όμως λάβουμε υπόψη μας ότι οι ιδέες σ' αυτό τον τομέα έχουν αναπτυχθεί από τις νυχτερίδες, θα στοιχημάτιζα ότι η απάντηση είναι θετική.

Όπως είναι φυσικό, αυτές οι δύο μάλλον διαφορετικές τεχνικές, δηλαδή η τεχνική της μετατόπισης Doppler και η τεχνική του παλμικού ραντάρ, είναι χρήσιμες για διαφορετικούς ειδικούς σκοπούς. Μερικές ομάδες νυχτερίδων ειδικεύονται στη μια τεχνική, άλλες στην άλλη. Υπάρχουν ορισμένες ομάδες που χρησιμοποιούν και τις δύο τεχνικές, εκπέμποντας ένα στρίγγλισμα διαμορφωμένης συχνότητας στο τέλος (ή μερικές φορές στην αρχή) ενός μακρόσυρτου ήχου με σταθερή συχνότητα και μεγάλη διάρκεια. Ένα άλλο περίεργο τέχνασμα των ιπποσιδεριδών νυχτερίδων αφορά τις κινήσεις των εξωτερικών πτερυγίων των αυτιών τους. Αντίθετα με τις άλλες νυχτερίδες, οι ιπποσιδεριδες κινούν τα εξωτερικά πτερύγια των αυτιών τους μπρος-πίσω με μεγάλη ταχύτητα. Μπορεί αυτή η πρόσθετη κίνηση της ηχοσυλλεκτικής επιφάνειας σε σχέση με το στόχο να προκαλεί χρήσιμες διαμορφώσεις της μετατόπισης Doppler, οι οποίες παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες. Όταν το πτερύγιο κινείται προς το στόχο, η φαινόμενη ταχύτητα της κίνησης αυξάνεται. Όταν κινείται προς τα

πίσω, απομακρυνόμενο από το στόχο, συμβαίνει το αντίστροφο. Ο εγκέφαλος της νυχτερίδας «γνωρίζει» προς ποια κατεύθυνση κινείται κάθε περὺγιο, και θεωρητικά μπορεί να εκτελέσει τους απαραίτητους υπολογισμούς για να εκμεταλλευτεί αυτή την πληροφορία.

Το δυσκολότερο ίσως πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι νυχτερίδες είναι ο κίνδυνος «παρεμβολής» από τις κραυγές των άλλων νυχτερίδων. Κάποια σχετικά πειράματα έδειξαν ότι είναι πολύ δύσκολο να παραπλανήσει κανείς τις νυχτερίδες εκπέμποντας ισχυρούς τεχνητούς υπερήχους. Εκ των υστέρων, αυτό θα μπορούσαμε να το θεωρήσουμε φυσικό. Οι νυχτερίδες πρέπει να έχουν λύσει εδώ και πολύ καιρό το πρόβλημα των παρεμβολών. Πολλά είδη νυχτερίδων ζουν σε τεράστιες ομάδες, μέσα σε σπηλιές που πρέπει να αποτελούν μια εκκωφαντική βαθέλ υπερήχων και αντηχήσεων. Και όμως, κάθε νυχτερίδα πετά με μεγάλη ταχύτητα μέσα στη σπηλιά, αποφεύγοντας τα τοιχώματα και τις άλλες νυχτερίδες σε απόλυτο σκοτάδι. Πώς καταφέρνει να στηρίζεται μόνο στις δικές της αντηχήσεις και να μην μπερδεύεται από τις αντηχήσεις των άλλων; Η πρώτη λύση που μπορεί να σκεφτόταν ένας μηχανικός θα ήταν κάποια κωδίκευση με βάση τη συχνότητα: κάθε νυχτερίδα μπορεί να έχει τη δική της προσωπική συχνότητα, όπως και οι διαφορετικοί ραδιοφωνικοί σταθμοί. Αυτό μπορεί να συμβαίνει σε κάποιο βαθμό, αλλά σίγουρα δεν είναι η μοναδική λύση του προβλήματος.

Δεν ξέρουμε ακόμη με βεβαιότητα πώς αποφεύγουν οι νυχτερίδες τις παρεμβολές από άλλες νυχτερίδες, αλλά έχουμε βρει ένα ενδιαφέρον στοιχείο από πειράματα στα οποία οι επιστήμονες προσπάθησαν να τις παραπλανήσουν. Αποδείχτηκε ότι μπορούμε να ξεγελάσουμε μερικές νυχτερίδες αν τους εκπέμψουμε τις δικές τους κραυγές με τεχνητή καθυστέρηση. Με άλλα λόγια, αν τους δώσουμε ψεύτικες αντηχήσεις των κραυγών τους. Μάλιστα, αν ρυθμίσουμε με προσοχή την ηλεκτρονική συσκευή που ελέγχει την καθυστέρηση της ψεύτικης αντήχησης, μπορούμε να κάνουμε μια νυχτερίδα να αποπειραθεί να προσγειωθεί σε ένα ανύπαρκτο, «φανταστικό» πλάτωμα ενός θράχου. Υποθέτω πως αυτό αντιστοιχεί με το να βλέπει κανείς τον κόσμο μέσα από ένα φακό.

Φαίνεται ότι οι νυχτερίδες χρησιμοποιούν ένα σύστημα που θα

μπορούσαμε να ονομάσουμε «φίλτρο παραδοξότητας». Κάθε διαδοχική ηχώ από τις κραυγές της ίδιας της νυχτερίδας παράγει μια εικόνα του κόσμου που είναι σύμφωνη με τις προηγούμενες εικόνες οι οποίες δημιουργήθηκαν από προγενέστερες ηχητικές αντανάκλασεις. Αν ο εγκέφαλος της νυχτερίδας ακούσει μια ηχώ από την κραυγή μιας άλλης νυχτερίδας και προσπαθήσει να την ενσωματώσει στην εικόνα του κόσμου που έχει σχηματίσει με προηγούμενες δικές της κραυγές, η εικόνα αυτή δεν θα έχει νόημα. Θα είναι σάμπως τα αντικείμενα του κόσμου να πήδησαν ξαφνικά σε διάφορες τυχαιές κατευθύνσεις. Τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου δεν συμπεριφέρονται με τέτοιο τρελό τρόπο, και έτσι ο εγκέφαλος μπορεί να αποκλείσει αυτή την ηχώ και να τη θεωρήσει θόρυβο χωρίς νόημα. Αν ένας πειραματιστής εκπέμπει προς τη νυχτερίδα τεχνητά καθυστερημένες ή επιταχυσμένες «αντηχήσεις» των δικών της κραυγών, οι ψεύτικες αντηχήσεις θα έχουν νόημα σε σχέση με την εικόνα του κόσμου που έχει σχηματίσει ως εκείνη τη στιγμή η νυχτερίδα. Οι πλαστές αντηχήσεις γίνονται δεκτές από το φίλτρο παραδοξότητας, γιατί είναι αληθοφανείς σε σχέση με τις προηγούμενες αντηχήσεις. Δείχνουν τα αντικείμενα να έχουν μετατοπιστεί σε μικρές μόνο αποστάσεις, κάτι που συμβαίνει με τα αντικείμενα του πραγματικού κόσμου. Ο εγκέφαλος της νυχτερίδας στηρίζεται στην παραδοχή ότι ο κόσμος που απεικονίζεται από έναν ηχητικό παλμό θα είναι ίδιος ή λίγο διαφορετικός από τον κόσμο που απεικονίζεται από προηγούμενους παλμούς. Για παράδειγμα, το έντομο στο οποίο επιτίθεται η νυχτερίδα μπορεί να έχει μετακινηθεί λίγο.

Υπάρχει ένα γνωστό δοκίμιο του φιλοσόφου Thomas Nagel με τίτλο «Τι νιώθει κανείς όντας νυχτερίδα».\* Το δοκίμιο δεν αφορά τόσο τις νυχτερίδες όσο το φιλοσοφικό πρόβλημα του να φανταζόμαστε πώς είναι να είμαστε οτιδήποτε δεν είμαστε. Το εν λόγω ζώο θεωρείται ιδιαίτερα χαρακτηριστικό παράδειγμα για ένα φιλόσοφο, γιατί πιστεύουμε ότι οι εμπειρίες μιας νυχτερίδας που ζει με το σύστημα ηχοεντοπισμού θα είναι εντελώς ξένες και

\* Το δοκίμιο βρίσκεται στο βιβλίο των Douglas R. Hofstadter και Daniel C. Dennett *Το εγώ της νόησης*, Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αθήνα 1993. (Σ.τ.μ.)

διαφορετικές από τις δικές μας. Αν θέλει κάποιος να βιώσει την εμπειρία μιας νυχτερίδας, θα ήταν τρομερά παραπλανητικό να μπει σε μια σπηλιά, να φωνάζει ή να χτυπήσει δυο κουτάλια μεταξύ τους, να χρονομετρήσει συνειδητά πόσο καθυστέρησε να επιστρέψει η ηχώ και να υπολογίσει από αυτό το στοιχείο πόσο μακριά πρέπει να βρίσκεται το τοίχωμα της σπηλιάς.

Αυτή η διαδικασία δεν δίνει την εικόνα του πώς νιώθει μια νυχτερίδα, όπως και η ακόλουθη διαδικασία δεν δίνει μια σωστή εικόνα του πώς είναι να βλέπεις ένα χρώμα: μετράς με ένα κατάλληλο όργανο το μήκος κύματος του φωτός που εισέρχεται στο μάτι, και αν είναι μεγάλο συμπεραίνεις ότι βλέπεις κόκκινο, αν είναι μικρό συμπεραίνεις ότι βλέπεις βιολετί ή μπλε. Το φως που ονομάζουμε κόκκινο έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος από το φως που ονομάζουμε μπλε. Τα διαφορετικά μήκη κύματος ενεργοποιούν διαφορετικά φωτοκύτταρα στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού – το κόκκινο φωτοκύτταρα ευαίσθητα στο κόκκινο, το μπλε φωτοκύτταρα ευαίσθητα στο μπλε. Ωστόσο, η υποκειμενική αίσθηση των χρωμάτων δεν περιέχει το παραμικρό ίχνος της έννοιας του μήκους κύματος. Το «τι νιώθει κανείς βλέποντας μπλε ή κόκκινο» δεν μπορεί να μας πληροφορήσει ποιο φως έχει το μεγαλύτερο μήκος κύματος. Αν έχει σημασία (συνήθως δεν έχει), είμαστε αναγκασμένοι να το απομνημονεύσουμε ή να βρούμε τη σχετική πληροφορία σε κάποιο βιβλίο (αυτό κάνω πάντοτε κι εγώ). Με τον ίδιο τρόπο, μια νυχτερίδα αντιλαμβάνεται τη θέση ενός εντόμου χρησιμοποιώντας αυτό που εμείς ονομάζουμε ηχώ. Εντούτοις, η νυχτερίδα, όταν αντιλαμβάνεται ένα έντομο, σίγουρα δεν σκέφτεται με βάση τις καθυστερήσεις των αντηχήσεων, όπως κι εμείς δεν σκεφτόμαστε με βάση τα μήκη κύματος όταν βλέπουμε το κόκκινο ή το μπλε χρώμα.

Πράγματι, αν ήμουν αναγκασμένος να επιχειρήσω το αδύνατο, δηλαδή να φανταστώ τι νιώθει κανείς όντας νυχτερίδα, θα έλεγα ότι ο ηχοεντοπισμός μπορεί να είναι για τις νυχτερίδες ό,τι η όραση για μας. Είμαστε τόσο οπτικά ζώα, ώστε δεν συνειδητοποιούμε πόσο πολύπλοκη διαδικασία είναι η όραση. Τα αντικείμενα υπάρχουν «εκεί έξω», και νομίζουμε ότι τα «βλέπουμε» εκεί έξω. Ωστόσο, υποψιάζομαι ότι στην πραγματικότητα η



οπτική μας αντίληψη είναι ένα πολύπλοκο μοντέλο υπολογιστή μέσα στον εγκέφαλο, κατασκευασμένο με βάση τις πληροφορίες που έρχονται από τον έξω κόσμο και μετασχηματίζονται μέσα στον εγκέφαλο σε μια μορφή με την οποία να μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Οι διαφορές στα μήκη κύματος του φωτός που έρχεται από τον έξω κόσμο κωδικεύονται ως διαφορές «χρώματος» στο υπολογιστικό μοντέλο του εγκεφάλου. Το σχήμα και άλλες ιδιότητες κωδικεύονται, με τον ίδιο περίπου τρόπο, σε μια μορφή που να μπορεί να τη χειριστεί ο εγκέφαλος. Η αίσθηση της όρασης για μας είναι πολύ διαφορετική από την αίσθηση της ακοής, αλλά αυτό δεν μπορεί να οφείλεται άμεσα στις φυσικές διαφορές μεταξύ του φωτός και του ήχου. Σε τελική ανάλυση, τόσο το φως όσο και ο ήχος μεταφράζονται από τα αντίστοιχα αισθητήρια όργανα στο ίδιο είδος νευρικών ώσεων. Είναι αδύνατο να διακρίνουμε, από τις φυσικές ιδιότητες μιας νευρικής ώσης, αν μεταφέρει πληροφορίες που έχουν σχέση με το φως, τον ήχο ή την οσμή. Ο λόγος για τον οποίο η όραση διαφέρει τόσο πολύ από την ακοή και την όσφρηση είναι ότι ο εγκέφαλος το βρίσκει πιο βολικό να χρησιμοποιεί διαφορετικά είδη εσωτερικών μοντέλων για τον οπτικό κόσμο, για τον κόσμο του ήχου και για τον κόσμο των οσμών. Η όραση και η ακοή διαφέρουν μεταξύ τους επειδή εμείς «χρησιμοποιούμε σε εσωτερικό επίπεδο» τις οπτικές και τις ηχητικές πληροφορίες με διαφορετικούς τρόπους και για διαφορετικούς σκοπούς. Οι διαφορές μεταξύ αυτών των δύο αισθήσεων δεν οφείλονται άμεσα στις φυσικές διαφορές μεταξύ του φωτός και του ήχου.

Ωστόσο, μια νυχτερίδα χρησιμοποιεί τις ηχητικές της πληροφορίες για τον ίδιο περίπου σκοπό που εμείς χρησιμοποιούμε τις οπτικές πληροφορίες. Χρησιμοποιεί τον ήχο, για να αντιλαμβάνεται τη θέση των αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο και για να ανανεώνει συνεχώς αυτή την αντίληψή της, όπως ακριβώς χρησιμοποιούμε κι εμείς το φως. Επομένως, η οργάνωση του εσωτερικού υπολογιστικού μοντέλου που χρειάζεται πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μπορεί να σχηματίζει την εσωτερική αναπαράσταση των μεταβαλλόμενων θέσεων των αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο. Έτσι, η μορφή την οποία θα πάρει η υποκει-

μενική εμπειρία ενός ζώου θα είναι συνάρτηση του εσωτερικού υπολογιστικού μοντέλου. Το εν λόγω μοντέλο θα έχει σχεδιαστεί, μέσα από τη διαδικασία της εξέλιξης, έτσι ώστε να είναι κατάλληλο για τη χρήσιμη εσωτερική αναπαράσταση του έξω κόσμου, ανεξάρτητα από τα φυσικά ερεθίσματα που έρχονται από τα έξω. Οι νυχτερίδες κι εμείς χρειαζόμαστε το ίδιο είδος εσωτερικού μοντέλου για την αναπαράσταση των θέσεων των αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο. Δεν έχει σημασία το γεγονός ότι οι νυχτερίδες συνθέτουν το δικό τους εσωτερικό μοντέλο με τη βοήθεια αντηχήσεων, ενώ εμείς συνθέτουμε το δικό μας με τη βοήθεια του φωτός. Οι εξωτερικές πληροφορίες μεταφράζονται και στις δύο περιπτώσεις στο ίδιο είδος νευρικών ώσεων καθώς διοχετεύονται στον εγκέφαλο.

Επομένως, το συμπέρασμά μου είναι ότι οι νυχτερίδες «βλέπουν» σε μεγάλο βαθμό με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο βλέπουμε κι εμείς, έστω κι αν χρησιμοποιούν ένα τόσο διαφορετικό φυσικό μέσο με το οποίο ο έξω κόσμος μεταφράζεται σε νευρικές ώσεις –υπερήχους αντί για φως. Οι νυχτερίδες μπορεί να χρησιμοποιούν ακόμη και τις αισθητηριακές εντυπώσεις που ονομάζουμε χρώμα για τους δικούς τους σκοπούς, για να αναπαριστούν διαφορές στον έξω κόσμο που δεν έχουν καμία σχέση με τις φυσικές ιδιότητες του μήκους κύματος, αλλά που παίζουν λειτουργικό ρόλο για τη νυχτερίδα, παρόμοιο με το ρόλο που έχουν τα χρώματα για μας. Μπορεί η επιφάνεια του σώματος των αρσενικών νυχτερίδων να έχει την κατάλληλη υφή, έτσι ώστε οι αντηχήσεις που ανακλώνται πάνω τους να γίνονται αντιληπτές από τις θηλυκές σαν υπέροχα χρώματα –το ηχητικό αντίστοιχο του πτερώματος ενός παραδείσιου πτηνού. Αυτό δεν το λέω με ασαφή και μεταφορική έννοια. Μπορεί η υποκειμενική αίσθηση που θιώνεται από μια θηλυκή νυχτερίδα όταν αντιλαμβάνεται μια αρσενική να είναι όντως, λόγου χάρη, έντονο κόκκινο –η ίδια αίσθηση που έχω εγώ όταν βλέπω ένα φλαμίνγκο. Ή, τουλάχιστον, η ηχητική εντύπωση που δίνει σε μια νυχτερίδα ο σύντροφός της μπορεί να μη διαφέρει από την οπτική εντύπωση που δίνει σε μένα ένα φλαμίνγκο περισσότερο απ' όσο διαφέρει η οπτική εντύπωση που μου δίνει ένα φλαμίνγκο από την οπτική

εντύπωση που έχει ένα φλαμίνγκο όταν βλέπει ένα άλλο φλαμίνγκο.

Ο Donald Griffin αφηγείται τι συνέβη το 1940, όταν αυτός και ο συνάδελφός του Robert Galambos ανακοίνωσαν για πρώτη φορά σε ένα εμβρόντητο συνέδριο ζωολόγων όσα είχαν ανακαλύψει για το σύστημα ηχοεντοπισμού της νυχτερίδας. Ένας διακεκριμένος επιστήμονας κυριεύτηκε από τέτοια αγανάκτηση και δυσπιστία, ώστε

άρπαξε τον Galambos από τους ώμους και άρχισε να τον τραντάζει, ενώ διαμαρτυρόταν ότι δεν είναι δυνατό να υποστηρίζει σοβαρά μια τέτοια εξωφρενική άποψη. Το ραντάρ και το σόναρ ήταν ακόμη άκρως απόρρητες εξελίξεις της στρατιωτικής τεχνολογίας και η ιδέα ότι οι νυχτερίδες μπορεί να χρησιμοποιούσαν ένα σύστημα έστω και ελάχιστα παρόμοιο με τους τελευταίους θριάμβους της ηλεκτρονικής μηχανικής φαινόταν στους περισσότερους όχι μόνο απίθανη αλλά και αποκρουστική.

Είναι εύκολο να κατανοήσουμε το σκεπτικισμό του διακεκριμένου επιστήμονα. Υπάρχει κάτι πολύ ανθρώπινο στην απροθυμία του να πιστέψει ένα τέτοιο ενδεχόμενο. Πράγματι, αυτό ακριβώς είναι: μια ανθρώπινη αντίδραση. Επειδή ακριβώς οι δικές μας ανθρώπινες αισθήσεις δεν μπορούν να κάνουν αυτό που κάνουν οι νυχτερίδες, δυσκολευόμαστε να το πιστέψουμε. Επειδή μπορούμε να το καταλάβουμε μόνο σε επίπεδο χρήσης τεχνητών οργάνων και μαθηματικών υπολογισμών πάνω στο χαρτί, δυσκολευόμαστε να φανταστούμε ότι ένα μικρό ζώο μπορεί να τα κάνει όλα αυτά μέσα στο κεφάλι του. Και όμως, οι μαθηματικοί υπολογισμοί που θα ήταν απαραίτητοι για να εξηγήσουμε τις αρχές της όρασης είναι εξίσου πολύπλοκοι και δύσκολοι, αλλά κανείς δεν δυσκολεύτηκε ποτέ να πιστέψει ότι τα ζώα μπορούν να βλέπουν. Ο λόγος για τον οποίο υπάρχει αυτό το διπλό κριτήριο, με αποτέλεσμα σε κάποιες περιπτώσεις να αισθανόμαστε δυσπιστία και σε άλλες όχι, είναι απλώς το γεγονός ότι έχουμε την ικανότητα της όρασης αλλά όχι του ηχοεντοπισμού.

Μπορώ να φανταστώ κάποιον άλλο κόσμο, στον οποίο τα

μέλη ενός συνεδρίου μορφωμένων και εντελώς τυφλών νυχτεριδοειδών όντων μένουν εμβρόντητα όταν ακούνε ότι μερικά ζώα που τα λένε άνθρωποι έχουν την απίστευτη ικανότητα να χρησιμοποιούν τις σιωπηλές ακτίνες που λέγονται «φως». Οι ακτίνες αυτές ανακαλύφθηκαν πρόσφατα και αποτελούν ακόμη αντικείμενο άκρως απόρρητων στρατιωτικών ερευνών. Αυτοί οι κατά τα άλλα ταπεινοί άνθρωποι είναι σχεδόν εντελώς κουφοί (έχουν μια υποτυπώδη αίσθηση ακοής και μπορούν ακόμη να αρθρώσουν μερικά πολύ αργά και μπάσα γρυλίσματα, αλλά χρησιμοποιούν αυτούς τους ήχους μόνο για στοιχειώδεις σκοπούς, όπως για να επικοινωνούν μεταξύ τους· δεν μπορούν να εντοπίσουν με αυτούς ούτε τα πιο ογκώδη αντικείμενα). Αντί για τον ηχοεντοπισμό έχουν δυο εξαιρετικά εξειδικευμένα όργανα, τα ονομαζόμενα «μάτια», με τα οποία αξιοποιούν τις «φωτεινές» ακτίνες. Η κύρια πηγή φωτεινών ακτίνων είναι ο ήλιος, και οι άνθρωποι έχουν την απίστευτη ικανότητα να εκμεταλλεύονται τις πολύπλοκες ανακλάσεις αυτών των ακτίνων πάνω στα αντικείμενα. Το μάτι τους περιέχει μια εξαιρετικά έξυπνη συσκευή, που ονομάζεται «φάκος», της οποίας το σχήμα αλλάζει με βάση ορισμένους πολύπλοκους μαθηματικούς υπολογισμούς, έτσι που να καμπυλώνει αυτές τις σιωπηλές ακτίνες με τέτοιο τρόπο, ώστε να σχηματίζεται μια ακριβής αμφιμονοσήμαντη απεικόνιση ανάμεσα στα αντικείμενα του κόσμου και στην «εικόνα» που απλώνεται πάνω σε ένα στρώμα κυττάρων του ματιού, τον «αμφιβληστροειδή χιτώνα». Τα κύτταρα αυτού του στρώματος έχουν τη μυστηριώδη ικανότητα να μετατρέπουν το φως σε ήχο (θα μπορούσε να πει κανείς) και να μεταβιβάζουν τις πληροφορίες τους στον εγκέφαλο. Οι μαθηματικοί μας έχουν αποδείξει ότι είναι θεωρητικά δυνατόν, αν κάνει κάποιος τους κατάλληλους εξαιρετικά πολύπλοκους υπολογισμούς, να κινείται με ασφάλεια μέσα στον κόσμο χρησιμοποιώντας αυτές τις φωτεινές ακτίνες. Η κίνησή του θα ήταν τόσο εύκολη και ασφαλής όσο και αν χρησιμοποιούσε τον συνηθισμένο τρόπο, τους υπερήχους—από μερικές απόψεις, μάλιστα, θα ήταν ακόμη πιο ασφαλής! Ωστόσο, ποιος θα το πίστευε ότι ένας ταπεινός άνθρωπος θα μπορούσε να εκτελέσει αυτούς τους πολύπλοκους υπολογισμούς;

Το σύστημα ηχοεντοπισμού των νυχτερίδων είναι ένα μόνο από τα χιλιάδες παραδείγματα που θα μπορούσα να δώσω για να υπογραμμίσω το φαινόμενο του καλού σχεδιασμού. Τα ζώα δίνουν την εντύπωση ότι έχουν σχεδιαστεί από έναν θεωρητικά καταρτισμένο και πρακτικά επινοητικό φυσικό ή μηχανικό, αλλά δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι οι ίδιες οι νυχτερίδες γνωρίζουν ή καταλαβαίνουν τη θεωρία με την ίδια έννοια που την καταλαβαίνει ένας φυσικός. Η νυχτερίδα πρέπει να θεωρηθεί ως το αντίστοιχο της *συσκευής* που χρησιμοποιεί η τροχαία για τη μέτρηση της ταχύτητας των διερχόμενων αυτοκινήτων και όχι του ανθρώπου που σχεδίασε αυτή τη συσκευή. Ο σχεδιαστής του ραντάρ της τροχαίας κατανόησε τη θεωρία του φαινομένου Doppler και εξέφρασε αυτή την κατανόηση με μαθηματικές εξισώσεις διατυπωμένες σαφέστατα πάνω στο χαρτί. Η κατανόηση του σχεδιαστή είναι ενσωματωμένη στη σχεδίαση της συσκευής, αλλά η ίδια η συσκευή δεν καταλαβαίνει πώς λειτουργεί. Η συσκευή περιέχει ηλεκτρονικά εξαρτήματα που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο, ώστε να συγκρίνουν αυτόματα δύο συχνότητες κυμάτων ραντάρ και να μετατρέπουν το αποτέλεσμα στις μονάδες που μας βολεύουν: χιλιόμετρα ανά ώρα. Οι απαραίτητοι υπολογισμοί είναι πολύπλοκοι, βρίσκονται όμως σαφώς μέσα στις δυνατότητες ενός μικρού κουτιού που έχει τα κατάλληλα ηλεκτρονικά εξαρτήματα συνδεδεμένα με τον σωστό τρόπο. Φυσικά, κάποιος συνειδητός εγκέφαλος πραγματοποίησε αυτές τις συνδέσεις (ή τουλάχιστον σχεδίασε το διάγραμμα των συνδέσεων), αλλά για τη λειτουργία της συσκευής δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός συνειδητού εγκεφάλου.

Η εμπειρία μας με την ηλεκτρονική τεχνολογία μάς οδηγεί στο να δεχόμαστε την ιδέα ότι ένα μηχανήμα χωρίς συνείδηση μπορεί να συμπεριφέρεται σαν να καταλαβαίνει πολύπλοκες μαθηματικές έννοιες. Αυτή η ιδέα μπορεί να μεταφερθεί άμεσα και στη λειτουργία των έμβιων «μηχανών». Η νυχτερίδα είναι μια μηχανή της οποίας τα εσωτερικά ηλεκτρονικά κυκλώματα έχουν τις απαραίτητες συνδέσεις ώστε οι μύες των πτητικών μεμβρανών της να κινούνται με τον κατάλληλο τρόπο για να πιάνει έντομα, όπως ένας μη συνειδητός πύραυλος πλήττει ένα αεροπλάνο στον

αέρα. Έως εδώ, η διαίσθησή μας, που στηρίζεται στην τεχνολογία, είναι σωστή. Εντούτοις, η εμπειρία μας με την τεχνολογία μάς οδηγεί επίσης στο να διακρίνουμε πίσω από τη δημιουργία ενός πολύπλοκου μηχανισμού τη νόηση ενός συνειδητού σχεδιαστή που ενεργεί με κάποια σκοπιμότητα. Αυτή η δεύτερη διασθητική αντίληψη είναι λαθεμένη στην περίπτωση των έμβιων μηχανών. Σ' αυτή την περίπτωση, ο «σχεδιαστής» είναι η ασυνείδητη φυσική επιλογή, ο τυφλός ωρολογοποιός.

Ελπίζω αυτές οι ιστορίες για νυχτερίδες να προκαλούν στον αναγνώστη το ίδιο δέος που προκαλούν και σε μένα, και που θα προκαλούσαν και στον William Paley, αν τις ήξερε. Ο στόχος μου, από μια άποψη, είναι πανομοιότυπος με εκείνον του Paley. Δεν θέλω να υποτιμήσει ο αναγνώστης τα εκπληκτικά έργα της φύσης και τα προβλήματα που συναντούμε στην προσπάθειά μας να τα εξηγήσουμε. Ο ηχοεντοπισμός στις νυχτερίδες, αν και άγνωστος την εποχή του Paley, θα εξυπηρετούσε το σκοπό του εξίσου αποτελεσματικά όπως και οποιοδήποτε από τα παραδείγματα που παραθέτει στο βιβλίο του για να ενισχύσει τα επιχειρήματά του. Ο Paley αναφέρεται σε ολόκληρο το σώμα, από το κεφάλι μέχρι τα πόδια, δείχνοντας ότι κάθε μέρος του, μέχρι και την τελευταία λεπτομέρεια, μοιάζει με το εσωτερικό ενός καλοσχεδιασμένου ρολογιού. Για να είμαι ειλικρινής, θα ήθελα να κάνω κι εγώ το ίδιο, γιατί υπάρχουν υπέροχα πράγματα για να περιγράψει κανείς και μου αρέσει πολύ να αφηγούμαι τέτοιες ιστορίες. Ωστόσο, δεν χρειάζεται να δίνουμε τόσο πολλά παραδείγματα. Ένα ή δύο αρκούν. Η θεωρία που μπορεί να εξηγήσει τον ηχοεντοπισμό των νυχτερίδων είναι ένας καλός υποψήφιος για να εξηγήσει οποιοδήποτε φαινόμενο στον κόσμο της ζωής, και αν η εξήγηση του Paley για οποιοδήποτε από τα παραδείγματά του ήταν λαθεμένη, δεν μπορεί να γίνει σωστή με τον πολλαπλασιασμό των παραδειγμάτων. Η θεωρία του Paley είναι ότι τα έμβια «ρολόγια» σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν από έναν αριστοτέχνη ωρολογοποιό. Η σύγχρονη θεωρία μας είναι ότι το έργο αυτό επιτελέστηκε σε βαθμιαία εξελικτικά στάδια από τη φυσική επιλογή.

Σήμερα οι θεολόγοι δεν μιλούν τόσο ξεκάθαρα όσο μιλούσε ο

Paley. Δεν αναφέρουν τους πολύπλοκους έμβιους μηχανισμούς για να υποστηρίξουν ότι είναι προφανές πως σχεδιάστηκαν, όπως ακριβώς ένα ρολόι, από κάποιο δημιουργό. Έχουν όμως την τάση να τους δείχνουν και να λένε «είναι αδύνατο να πιστέψει κανείς» ότι τέτοια πολυπλοκότητα, ή τέτοια τελειότητα, θα μπορούσε να προκύψει από τη φυσική επιλογή. Όποτε διαβάζω ένα σχόλιο αυτής της μορφής, μου έρχεται η διάθεση να γράψω στο περιθώριο του βιβλίου: «Μίλα μόνο για τον εαυτό σου». Υπάρχουν πολλά παρόμοια παραδείγματα (εγώ μέτρησα 35 σε ένα κεφάλαιο) σε ένα πρόσφατο βιβλίο με τίτλο *The Probability of God* (Η πιθανότητα του Θεού), του Hugh Montefiore, επισκόπου του Μπίρμιγχαμ. Θα χρησιμοποιήσω αυτό το βιβλίο για όλα μου τα παραδείγματα μέχρι το τέλος του κεφαλαίου, επειδή είναι μια ειλικρινής και τίμια προσπάθεια ενός ευπόληπτου και μορφωμένου συγγραφέα να εκσυγχρονίσει τη φυσική θεολογία. Όταν λέω τίμια, εννοώ τίμια. Αντίθετα με μερικούς συναδέλφους του θεολόγους, ο επίσκοπος Montefiore δεν φοβάται να ομολογήσει ότι το ερώτημα της ύπαρξης του Θεού πράγματι υφίσταται. Δεν καταφεύγει σε πονηρές υπεκφυγές του τύπου: «Ο χριστιανισμός είναι ένας τρόπος ζωής. Το ερώτημα της ύπαρξης του Θεού εξαλείφεται γιατί είναι μια πλάνη που δημιουργείται από τις ψευδαισθήσεις του ρεαλισμού». Ορισμένα μέρη του βιβλίου του αφορούν τη φυσική και την κοσμολογία, και αυτά δεν είμαι σε θέση να τα σχολιάσω. Το μόνο που μπορώ να πω είναι ότι φαίνεται πως βασίζεται σε έργα γνήσιων φυσικών και εύχομαι να είχε κάνει το ίδιο και στα μέρη που αναφέρονται στη βιολογία. Δυστυχώς, προτίμησε να συμβουλευτεί τα βιβλία του Arthur Koestler, του Fred Hoyle, του Gordon Rattray-Taylor και του Karl Popper! Ο επίσκοπος πιστεύει στην εξέλιξη, αλλά δεν μπορεί να πιστέψει ότι η φυσική επιλογή είναι επαρκής εξήγηση για την πορεία που έχει πάρει η εξέλιξη (εν μέρει επειδή, όπως και πολλοί άλλοι, υποπίπτει στο θλιβερό σφάλμα να θεωρεί τη φυσική επιλογή «τυχαία» και «χωρίς νόημα»).

Ο επίσκοπος χρησιμοποιεί κατά κόρον το επιχείρημα της προσωπικής δυσπιστίας, όπως θα μπορούσαμε να το ονομάσουμε. Μέσα σε ένα κεφάλαιο βρίσκονται με τη σειρά που τις παραθέτω, οι ακόλουθες φράσεις:



...δεν φαίνεται να υπάρχει εξήγηση με βάση τη δαρβινική θεωρία... Δεν είναι πιο εύκολο να εξηγήσουμε... Είναι δύσκολο να καταλάβουμε... Δεν είναι εύκολο να καταλάβουμε... Είναι εξίσου δύσκολο να εξηγήσουμε... Δεν το βρίσκω εύκολο να καταλάβω... Δεν το βρίσκω εύκολο να δω... Το βρίσκω δύσκολο να καταλάβω... δεν φαίνεται δυνατό να εξηγηθεί... Δεν βλέπω πώς... ο νεοδαρβινισμός δεν μπορεί να εξηγήσει πολλές από τις πολύπλοκες συμπεριφορές των ζώων... δεν είναι εύκολο να κατανοήσουμε πώς μια τέτοια συμπεριφορά θα μπορούσε να εξελιχθεί αποκλειστικά και μόνο μέσα από τη φυσική επιλογή... Είναι αδύνατο... Πώς μπορεί να εξελίχθηκε ένα τόσο πολύπλοκο όργανο... Δεν είναι εύκολο να δει κανείς... Είναι δύσκολο να καταλάβουμε...

Το επιχείρημα της προσωπικής δυσπιστίας είναι εξαιρετικά αδύναμο, όπως είχε επισημάνει και ο ίδιος ο Δαρβίνος. Σε μερικές περιπτώσεις στηρίζεται στην απλή άγνοια. Για παράδειγμα, ένα από τα γεγονότα που βρίσκει τόσο δύσκολο να καταλάβει ο επίσκοπος είναι το λευκό χρώμα της πολικής αρκούδας.

Όσο για την παραλλαγή, δεν είναι πάντοτε εύκολο να εξηγηθεί με βάση τις αρχές του νεοδαρβινισμού. Αν οι πολικές αρκούδες είναι το κυρίαρχο είδος στην Αρκτική, τότε δεν θα χρειαζόταν να αναπτύξουν αυτή τη λευκόχρωμη παραλλαγή.

Αυτό θα πρέπει να μεταφραστεί ως εξής:

Εγώ προσωπικά, απ' όσο μπορώ να καταλάβω, καθώς κάθομαι στο γραφείο μου, χωρίς να έχω επισκεφτεί ποτέ την Αρκτική, χωρίς να έχω δει ποτέ πολική αρκούδα σε άγρια κατάσταση, και έχοντας σπουδάσει κλασική λογοτεχνία και θεολογία, δεν κατάφερα ως τώρα να βρω κάποιο λόγο για τον οποίο οι πολικές αρκούδες μπορεί να ωφελούνται από το γεγονός ότι είναι λευκές.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, γίνεται παραδεκτό ότι μόνο τα ζώα που είναι λεία άλλων ζώων χρειάζονται παραλλαγή. Ο επίσκοπος παραβλέπει το γεγονός ότι και τα αρπακτικά ζώα ωφελούνται επίσης όταν μπορούν να κρυφτούν από τη λεία τους. Οι

πολικές αρκούδες κυνηγούν φώκιες που ξεκουράζονται στον πάγο. Αν η φώκια δει την αρκούδα να πλησιάζει από μακριά, μπορεί να ξεφύγει. Υποψιάζομαι ότι αν ο επίσκοπος φανταστεί μια φαιά αρκούδα να προσπαθεί να πλησιάσει μια φώκια πάνω στο χιόνι χωρίς να γίνει αντιληπτή, θα βρει αμέσως την απάντηση στο πρόβλημά του.

Το επιχείρημα της πολικής αρκούδας μπορεί να καταρριφθεί πολύ εύκολα, αλλά, από μια σημαντική άποψη, δεν είναι αυτό το θέμα. Ακόμη και αν η μεγαλύτερη αυθεντία του κόσμου δεν μπορεί να εξηγήσει κάποιο παράξενο βιολογικό φαινόμενο, αυτό δεν σημαίνει ότι είναι ανεξήγητο. Πολλά μυστήρια παρέμεναν ανεξήγητα για αιώνες, μέχρι τελικά να διαλευκανθούν. Μπορώ να πω ότι οι περισσότεροι σύγχρονοι βιολόγοι δεν θα δυσκολεύονταν να ερμηνεύσουν και τα 35 παραδείγματα του επισκόπου με βάση τη θεωρία της φυσικής επιλογής, αν και δεν είναι όλα τους τόσο απλά όσο οι πολικές αρκούδες. Εντούτοις, εδώ δεν δοκιμάζουμε την ανθρώπινη επινοητικότητα. Ακόμη κι αν βρίσκαμε ένα παράδειγμα που δεν θα μπορούσαμε να το εξηγήσουμε, δεν θα ήταν συνετό να βγάλουμε πολύ βιαστικά και γενικά συμπεράσματα από τη δική μας ανικανότητα. Ο ίδιος ο Δαρβίνος ήταν πολύ σαφής σ' αυτό το σημείο.

Υπάρχουν και πιο σοβαρές μορφές του επιχειρήματος της προσωπικής δυσπιστίας, μορφές που δεν στηρίζονται απλώς και μόνο στην άγνοια ή την έλλειψη επινοητικότητας για την ανεύρεση κάποιας εξήγησης. Μια μορφή του επιχειρήματος χρησιμοποιεί άμεσα την τρομερή αίσθηση δέους και θαυμασμού που αισθανόμαστε όλοι όταν βλέπουμε εξαιρετικά πολύπλοκους μηχανισμούς, όπως τη λεπτομερή τελειότητα του συστήματος ηχοεντοπισμού που διαθέτουν οι νυχτερίδες. Το επιχείρημα υπονοεί ότι κάτι τόσο υπέροχο δεν είναι δυνατό να εξελίχθηκε με τη φυσική επιλογή. Ο επίσκοπος παραθέτει και επιδοκιμάζει ορισμένες σκέψεις του G. Bennett σχετικά με τον ιστό της αράχνης:

Είναι αδύνατο για κάποιον που έχει παρακολουθήσει την εργασία [της αράχνης] για πολλές ώρες να θεωρήσει ότι ούτε οι αράχνες αυτού του είδους ούτε οι πρόγονοί τους ήταν οι αρχιτέκτονες του

ιστού, ή ότι ο ιστός θα μπορούσε να δημιουργηθεί βήμα προς βήμα μέσα από τυχαίες παραλλαγές. Θα ήταν τόσο παράλογο όσο και το να υποθέσουμε ότι οι πολύπλοκες και ακριβείς αναλογίες του Παρθενώνα δημιουργήθηκαν με την τυχαία απόθεση κομματιών μαρμάρου σε σωρούς.

Δεν είναι καθόλου αδύνατο. Αυτό πιστεύω ακράδαντα, και πρέπει να πω ότι έχω κάποια πείρα στις αράχνες και τους ιστούς τους.

Ο επίσκοπος συνεχίζει με το ανθρώπινο μάτι, θέτοντας μια ρητορική ερώτηση στην οποία πιστεύει ότι δεν υπάρχει απάντηση: «Πώς μπορεί να εξελίχθηκε ένα τόσο πολύπλοκο όργανο;» Αυτό δεν είναι επιχείρημα, είναι απλώς άλλη μια έκφραση δυσπιστίας. Πιστεύω ότι η διαισθητική δυσπιστία την οποία όλοι μπαίνουμε στον πειρασμό να αισθανθούμε για τα όργανα άκρας τελειότητας και περιπλοκής, όπως τα ονόμαζε ο Δαρβίνος, οφείλεται σε δύο λόγους. Κατ' αρχάς, δεν έχουμε διαισθητική αντίληψη του τεράστιου χρονικού διαστήματος που είναι διαθέσιμο για τις εξελικτικές αλλαγές. Οι περισσότεροι επικριτές της φυσικής επιλογής δέχονται ότι μπορεί να επιφέρει κάποιες μικρές αλλαγές, όπως το σκούρο χρώμα που εξελίχθηκε σε διάφορα είδη λεπιδόπτερων μετά τη βιομηχανική επανάσταση. Ωστόσο, αφού το δεχτούν αυτό, επισημαίνουν πόσο μικρή είναι η συγκεκριμένη αλλαγή. Όπως υπογραμμίζει ο επίσκοπος Montefiore, το σκούρο λεπιδόπτερο δεν είναι ένα *νέο είδος*. Συμφωνώ ότι η αλλαγή αυτή είναι μικρή και ότι δεν μπορεί να συγκριθεί με την εξέλιξη του ματιού ή του ηχοεντοπισμού. Από την άλλη πλευρά, όμως, τα λεπιδόπτερα χρειάστηκαν μόνο εκατό χρόνια για να κάνουν αυτή την αλλαγή. Το χρονικό διάστημα των εκατό χρόνων φαίνεται μεγάλο για μας, επειδή υπερβαίνει τη διάρκεια της ζωής μας. Για ένα γεωλόγο, όμως, είναι γύρω στις χίλιες φορές μικρότερο από το χρονικό διάστημα που μπορεί συνήθως να μετρήσει!

Τα μάτια δεν απολιθώνονται, και έτσι δεν ξέρουμε πόσο χρόνο χρειάστηκε ο δικός μας τύπος ματιού για να εξελιχθεί στη σημερινή του πολυπλοκότητα και τελειότητα από το τίποτε, αλλά το διαθέσιμο χρονικό διάστημα είναι αρκετές εκατοντάδες

εκατομμύρια χρόνια. Σκεφτείτε, σαν σύγκριση, την αλλαγή που επέφερε ο άνθρωπος σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα με τη γενετική επιλογή των σκύλων. Μέσα σε μερικές εκατοντάδες, ή το πολύ χιλιάδες χρόνια, φτάσαμε από το λύκο στα πεκινουά, τα μπουλντόγκ, τα τσιουάουα και τα σκυλιά του Αγίου Βερνάρδου. Μπορεί όμως να πείτε ότι όλες αυτές οι ράτσες εξακολουθούν να είναι σκυλιά· δεν μετατράπηκαν σε διαφορετικό «είδος» ζώου. Ναι, αν σας παρηγορεί να παίζετε έτσι με τις λέξεις, μπορείτε να τα αποκαλέσετε όλα σκυλιά. Σκεφτείτε όμως το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί. Ας θεωρήσουμε ότι το συνολικό χρονικό διάστημα που χρειάστηκαν όλες αυτές οι ράτσες σκυλιών για να εξελιχθούν από το λύκο αντιστοιχεί σε ένα συνηθισμένο βήμα. Τότε, στην ίδια κλίμακα, πόσο θα έπρεπε να περπατήσουμε για να γυρίσουμε στη Λούση και τους ομοίους της, τα παλαιότερα ανθρώπινα απολιθώματα που χωρίς καμία αμφιβολία περπατούσαν σε όρθια στάση; Η απάντηση είναι γύρω στα 3,2 χιλιόμετρα. Και πόσο θα έπρεπε να περπατήσουμε για να επιστρέψουμε στην αρχή της εξέλιξης πάνω στη Γη; Η απάντηση είναι ότι θα έπρεπε να διασχίσουμε με τα πόδια ολόκληρη τη διαδρομή από το Λονδίνο ως τη Βαγδάτη. Σκεφτείτε τη συνολική ποσότητα αλλαγής που απαιτείται για να περάσουμε από το λύκο στο τσιουάουα και κατόπιν πολλαπλασιάστε τη με τον αριθμό των βημάτων ανάμεσα στο Λονδίνο και στη Βαγδάτη. Αυτό θα σας δώσει κάποια διαισθητική ιδέα της ποσότητας αλλαγής που μπορούμε να περιμένουμε στην πραγματική φυσική επιλογή.

Η δεύτερη αιτία της εύλογης δυσπιστίας που μας προκαλεί η εξέλιξη των εξαιρετικά πολύπλοκων οργάνων, λόγου χάρη, των ματιών του ανθρώπου και των αυτιών της νυχτερίδας, είναι μια διαισθητική εφαρμογή της θεωρίας των πιθανοτήτων. Ο επίσκοπος Montefiore παραθέτει τα σχόλια του C.E. Raven για τους κούκους. Οι κούκοι γεννούν τα αυγά τους στις φωλιές άλλων πουλιών, τα οποία αναλαμβάνουν εν αγνοία τους το ρόλο του θετού γονέα. Όπως συμβαίνει και σε πολλές άλλες περιπτώσεις, η βιολογική προσαρμογή του κούκου δεν είναι απλή αλλά πολλαπλή. Οι κούκοι έχουν πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά που τους καθιστούν ικανούς να ζήσουν με παρασιτικό τρόπο. Για

παράδειγμα, η μητέρα έχει τη συνήθεια να γεννά στις φωλιές άλλων πουλιών, και το μωρό έχει τη συνήθεια να πετάει τα νεογέννητα του άλλου πουλιού έξω από τη φωλιά. Και οι δύο συνήθειες βοηθούν τον κούκο να πετύχει στην παρασιτική ζωή του. Και ο Raven συνεχίζει:

Είναι φανερό ότι καθεμιά από τις συνθήκες που εντάσσονται σ' αυτή την ακολουθία είναι ουσιώδης για την επιτυχία του όλου. Εντούτοις, καθεμιά από μόνη της είναι άχρηστη. Όλο αυτό το «τέλειο έργο» θα πρέπει να επιτευχθεί ταυτόχρονα. Οι πιθανότητες να προκύψει τυχαία μια τέτοια σειρά συμπτώσεων, όπως αναφέραμε ήδη, είναι απειροελάχιστες.

Επιχειρήματα όπως αυτό είναι κατ' αρχήν πιο αξιόλογα από όσα στηρίζονται στην απλή δυσπιστία. Η μέτρηση της στατιστικής πιθανότητας ενός γεγονότος αποτελεί τον σωστό τρόπο για να εκτιμήσουμε πόσο πιστευτό είναι. Πραγματικά, πρόκειται για μια μέθοδο που θα χρησιμοποιήσουμε αρκετές φορές και σ' αυτό το βιβλίο. Ωστόσο, πρέπει να εφαρμόζεται σωστά! Το επιχείρημα του Raven έχει δύο σφάλματα. Πρώτον, υπάρχει η γνωστή –και, θα πρέπει να προσθέσω, μάλλον εκνευριστική– σύγχυση της φυσικής επιλογής με το «τυχαίο». Το τυχαίο είναι οι μεταλλάξεις. Η φυσική επιλογή, όμως, είναι ακριβώς το αντίθετο του τυχαίου. Δεύτερον, απλούστατα *δεν είναι σωστό* ότι κάθε συνθήκη από μόνη της είναι άχρηστη. Δεν είναι αλήθεια ότι ολόκληρη η τέλεια διεργασία προσαρμογής πρέπει να επιτευχθεί ταυτόχρονα. Δεν είναι αλήθεια ότι κάθε μέρος είναι απαραίτητο για την επιτυχία του όλου. Ένα απλό, στοιχειώδες, ημιτελές μάτι ή αυτί ή σύστημα ηχοεντοπισμού ή σύστημα παρασιτισμού του κούκου, κ.λπ., είναι καλύτερο από το τίποτε. Χωρίς μάτι είσαι εντελώς τυφλός. Με μισό μάτι μπορεί τουλάχιστον να είσαι σε θέση να αντιληφθείς τη γενική κατεύθυνση της κίνησης ενός αρπακτικού ζώου, έστω και αν δεν μπορείς να εστιάσεις και να σχηματίσεις ευκρινή εικόνα. Μια τέτοια ιδιότητα μπορεί να καθορίσει τη διαφορά ανάμεσα στη ζωή και στο θάνατο. Αυτά τα θέματα θα τα εξετάσουμε και πάλι, με περισσότερες λεπτομέρειες, στα δύο επόμενα κεφάλαια.

## ΣΥΣΣΩΡΕΥΟΝΤΑΣ ΜΙΚΡΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ

Είδαμε ότι τα έμβια πράγματα είναι εξαιρετικά απίθανα και πολύ «καλοσχεδιασμένα» για να έχουν εμφανιστεί τυχαία. Πώς εμφανίστηκαν, τότε; Η απάντηση -η απάντηση του Δαρβίνου- είναι: με σταδιακούς, βαθμιαίους μετασχηματισμούς από απλές αφετηρίες, από αρχέγονες οντότητες που ήταν αρκετά απλές ώστε να έχουν εμφανιστεί τυχαία. Κάθε διαδοχική αλλαγή στη βαθμιαία εξελικτική διαδικασία ήταν αρκετά απλή, *σε σχέση με τον προκάτοχό της*, ώστε να μπορεί να εμφανιστεί τυχαία. Ωστόσο, η διαδοχή των συσσωρευτικών βημάτων ως σύνολο αποτελεί μια διαδικασία κάθε άλλο παρά τυχαία, αν σκεφτούμε την πολυπλοκότητα του τελικού αποτελέσματος σε σχέση με την αφετηρία. Η συσσωρευτική διαδικασία κατευθύνεται από τη μη τυχαία επιβίωση. Ο σκοπός του κεφαλαίου είναι να δείξει τη δύναμη που έχει αυτή η *συσσωρευτική επιλογή*, επειδή ακριβώς αποτελεί μια θεμελιωδώς μη τυχαία διαδικασία.

Αν περπατήσετε σε μια παραλία με βότσαλα, θα παρατηρήσετε ότι δεν έχουν τυχαία διάταξη. Τα μικρότερα συνήθως τείνουν να συγκεντρώνονται σε συγκεκριμένες ζώνες που διατρέχουν το μήκος της παραλίας, ενώ τα μεγαλύτερα καταλαμβάνουν διαφορετικές ζώνες ή λωρίδες. Τα βότσαλα είναι διαχωρισμένα, διατεταγμένα, επιλεγμένα. Μια φυλή που ζει κοντά στην παραλία μπορεί να απορήσει με αυτή την ένδειξη διάταξης στον κόσμο και να αναπτύξει κάποιο μύθο για να την εξηγήσει, αποδίδοντάς την

ίσως στη νόηση ενός Μεγάλου Πνεύματος που βρίσκεται στον ουρανό και του αρέσει η τάξη. Εμείς μπορεί να χαμογελάσουμε υπεροπτικά ακούγοντας αυτή την προληπτική ιδέα και να εξηγήσουμε ότι η διάταξη δημιουργείται στην πραγματικότητα από τις τυφλές δυνάμεις της φύσης, σ' αυτή την περίπτωση από τα κύματα. Τα κύματα δεν έχουν σκοπούς και προθέσεις, δεν έχουν νόηση, ούτε τους αρέσει η τάξη. Απλώς μετακινούν τα θότσαλα, και τα μεγάλα θότσαλα αντιδρούν σ' αυτή τη μετακίνηση με διαφορετικό τρόπο από τα μικρά, με αποτέλεσμα να καταλήγουν σε διαφορετικά σημεία της παραλίας. Έτσι, μια μικρή ποσότητα τάξης προκύπτει από την αταξία, χωρίς να την έχει σχεδιάσει καμιά νόηση.

Τα κύματα και τα θότσαλα αποτελούν ένα απλό παράδειγμα συστήματος που παράγει αυτόματα μη τυχαιότητα. Ο κόσμος είναι γεμάτος από τέτοια συστήματα. Το απλούστερο παράδειγμα που μπορώ να θρω είναι μια τρέπα. Μόνο τα αντικείμενα που είναι μικρότερα από αυτή μπορούν να περάσουν από μέσα της. Αυτό σημαίνει ότι αν υπάρχει μια τυχαία συλλογή αντικειμένων πάνω από την τρέπα και κάποια δύναμη αρχίσει να τα τρανιάζει και να τα μετακινεί τυχαία, έπειτα από λίγο τα αντικείμενα πάνω και κάτω από την τρέπα θα έχουν διαχωριστεί κατά μη τυχαίο τρόπο. Στο χώρο κάτω από την τρέπα θα βρίσκονται αντικείμενα μικρότερα από αυτήν, ενώ από πάνω της θα έχουν μείνει τα μεγαλύτερα. Η ανθρωπότητα, φυσικά, έχει εκμεταλλευτεί εδώ και πολύ καιρό αυτή την απλή αρχή για την παραγωγή μη τυχαιότητας, με τη χρήσιμη συσκευή που είναι γνωστή ως κόσκινο.

Το ηλιακό μας σύστημα αποτελεί μια σταθερή διάταξη πλανητών, κομητών και μεσοπλανητικής ύλης σε τροχιά γύρω από τον Ήλιο, και είναι ένα από τα πολλά παρόμοια τροχιακά συστήματα στο σύμπαν. Όσο πιο κοντά στον Ήλιο του βρίσκεται ένας πλανήτης, τόσο πιο γρήγορα πρέπει να κινείται για να εξουδετερώσει την έλξη και να παραμένει σε σταθερή τροχιά. Υπάρχει μόνο μία ταχύτητα στην οποία μπορεί να κινηθεί ο πλανήτης για να διατηρήσει την τροχιά του. Αν κινούνταν με οποιαδήποτε άλλη ταχύτητα, ή θα απομακρυνόταν στο διάστημα ή θα προσέκρουε στον Ήλιο ή θα έμπαινε σε άλλη τροχιά. Εξετάζοντας τους



πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος διαπιστώνουμε ότι όλοι τους κινούνται ακριβώς με τη σωστή ταχύτητα ώστε να παραμένουν στη σταθερή τους τροχιά γύρω από τον Ήλιο. Ένα εκπληκτικό θαύμα πρόνοιας και σχεδιασμού; Όχι, πρόκειται απλώς για ένα ακόμη φυσικό «κόσκινο». Είναι προφανές ότι όλοι οι πλανήτες που βλέπουμε να εκτελούν τροχιά γύρω από τον Ήλιο πρέπει να κινούνται με τη σωστή ταχύτητα για να παραμένουν στην τροχιά τους, αφού αλλιώς δεν θα τους βλέπαμε, επειδή δεν θα βρίσκονταν σ' αυτή τη θέση! Ακόμη, είναι εξίσου προφανές ότι αυτό δεν αποτελεί ένδειξη συνειδητού σχεδιασμού· πρόκειται απλώς για άλλο ένα είδος κόσκινου.

Το «κόσκινο» σ' αυτό το επίπεδο απλότητας δεν είναι από μόνο του αρκετό για να εξηγήσει τις τεράστιες ποσότητες μη τυχαίας τάξης που παρατηρούμε στα έμβια πράγματα –ούτε κατά διάνοια αρκετό. Θυμηθείτε την αναλογία της κλειδαριάς με τους συνδυασμούς. Το είδος της μη τυχειότητας που μπορεί να παραχθεί από το απλό «κοσκίνισμα» αντιστοιχεί περίπου με το να ανοίξουμε μια κλειδαριά συνδυασμού που έχει μόνο έναν τροχό με αριθμούς: είναι εύκολο να βρεθεί ο σωστός αριθμός στην τύχη. Από την άλλη πλευρά, το είδος της μη τυχειότητας που βλέπουμε στα έμβια συστήματα ισοδυναμεί με μια γιγάντια κλειδαριά συνδυασμών που έχει σχεδόν αμέτρητους τροχούς με αριθμούς. Η παραγωγή ενός βιολογικού μορίου όπως η αιμοσφαιρίνη (η κόκκινη χρωστική του αίματος) με απλό κοσκίνισμα, θα ισοδυναμούσε με το να πάρουμε όλα τα αμινοξέα που αποτελούν τους δομικούς λίθους της αιμοσφαιρίνης και να τα ανακατένουμε στην τύχη, ελπίζοντας ότι το μόριο της αιμοσφαιρίνης θα σχηματιστεί εκ νέου εντελώς τυχαία. Η ποσότητα τύχης που θα χρειαζόταν για ένα τέτοιο κατόρθωμα είναι αδιανόητη και έχει χρησιμοποιηθεί από τον Isaac Asimov και άλλους σαν ένα αξιοπερίεργο και εντυπωσιακό στοιχείο.

Το μόριο της αιμοσφαιρίνης αποτελείται από τέσσερις αλυσίδες αμινοξέων πλεγμένες μεταξύ τους. Ας δούμε τη μία μόνο από αυτές τις τέσσερις αλυσίδες. Αποτελείται από 146 αμινοξέα. Στα έμβια αντικείμενα υπάρχουν 20 διαφορετικά είδη αμινοξέων. Ο αριθμός των δυνατών διατάξεων 20 διαφορετικών πραγμάτων σε

αλυσίδες με 146 «κρίκους» είναι ασύλληπτα μεγάλος, και ο Ασίπρον τον ονομάζει «αριθμό της αιμοσφαιρίνης». Είναι εύκολο να υπολογίσουμε την τιμή του, αλλά αδύνατο να συνειδητοποιήσουμε το μέγεθός του. Ο πρώτος κρίκος της αλυσίδας των 146 θέσεων μπορεί να είναι οποιοδήποτε από τα 20 δυνατά αμινοξέα. Ο δεύτερος κρίκος μπορεί και πάλι να είναι οποιοδήποτε από τα 20 αμινοξέα, επομένως ο αριθμός των δυνατών αλυσίδων με 2 κρίκους είναι  $20 \times 20$ , δηλαδή 400. Ο αριθμός των δυνατών αλυσίδων με 3 κρίκους είναι  $20 \times 20 \times 20$ , δηλαδή 8.000. Ο αριθμός των δυνατών αλυσίδων με 146 κρίκους είναι το 20 πολλαπλασιασμένο επί τον εαυτό του 146 φορές. Ο αριθμός αυτός είναι ασύλληπτα μεγάλος. Το ένα εκατομμύριο γράφεται με μία μονάδα ακολουθούμενη από 6 μηδενικά. Για το ένα δισεκατομμύριο γράφουμε τη μονάδα ακολουθούμενη από 9 μηδενικά. Ο αριθμός που αναζητούμε, ο «αριθμός της αιμοσφαιρίνης», είναι κατά προσέγγιση ίσος με τη μονάδα ακολουθούμενη από 190 μηδενικά! Το αντίστροφο αυτού του αριθμού εκφράζει την πιθανότητα να σχηματιστεί το μόριο της αιμοσφαιρίνης κατά τύχη. Ας τονίσουμε, μάλιστα, ότι ένα μόριο αιμοσφαιρίνης αντιπροσωπεύει απειροελάχιστο ποσοστό της πολυπλοκότητας του έμβιου σώματος. Προφανώς, το απλό «κοσκίνισμα» από μόνο του δεν μπορεί ούτε κατά διάνοια να παραγάγει την ποσότητα τάξης που συναντούμε στο έμβιο αντικείμενο. Το κοσκίνισμα είναι ένα ουσιαστικά στατικό για την παραγωγή της έμβιας τάξης, αλλά απέχει πολύ από το να μπορεί να την εξηγήσει εξ ολοκλήρου. Χρειάζεται και κάτι άλλο. Για να το εξηγήσω αυτό, θα πρέπει να κάνω μια διάκριση ανάμεσα στην επιλογή «ενός θήματος» και στη «συσσωρευτική» επιλογή. Τα απλά κόσκινα που εξετάσαμε ως τώρα σ' αυτό το κεφάλαιο είναι όλα παραδείγματα επιλογής απλού θήματος. Η έμβια οργάνωση είναι προϊόν της συσσωρευτικής επιλογής.

Η ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στην επιλογή ενός θήματος και στη συσσωρευτική επιλογή είναι η εξής: στην επιλογή ενός θήματος, η διαλογή ή η επιλογή των αντικειμένων –είτε είναι θότσαλα είτε στιδήποτε άλλο– γίνεται μόνο μία φορά. Από την άλλη πλευρά, στη συσσωρευτική επιλογή τα αντικείμενα «αναπαράγονται», ή υπάρχει κάποιος άλλος τρόπος με τον οποίο τα

αποτελέσματα του ενός κοσκινίσματος μεταβιβάζονται σε ένα επόμενο κοσκίνισμα, τα αποτελέσματα του οποίου μεταβιβάζονται και πάλι σε ένα επόμενο κοσκίνισμα, και ούτω καθεξής. Τα αντικείμενα υποβάλλονται σε επιλογή διαλογής για πολλές διαδοχικές «γενιές». Το τελικό προϊόν μιας γενιάς επιλογής είναι η αφετηρία για την επόμενη γενιά επιλογής, και ούτω καθεξής: αυτή η διαδικασία συνεχίζεται για πολλές γενιές. Είναι φυσικό να δανειζόμαστε λέξεις όπως «αναπαράγονται» και «γενιά», οι οποίες μας θυμίζουν τα έμβια αντικείμενα, γιατί αυτά είναι τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα αντικειμένων που συμμετέχουν σε μια διαδικασία συσσωρευτικής επιλογής. Μπορεί στην πράξη να είναι τα μοναδικά με αυτή την ιδιότητα. Προς το παρόν, όμως, δεν θέλω να θεωρήσω δεδομένο αυτό το στοιχείο και να παρακάμψω το ερώτημα.

Μερικές φορές τα σύννεφα, καθώς οι άνεμοι τους δίνουν τυχαία σχήματα και μορφές, καταλήγουν να μοιάζουν με γνωστά αντικείμενα. Μια πολυδημοσιευμένη φωτογραφία την οποία τράβηξε ο πιλότος ενός μικρού αεροπλάνου δείχνει ένα σύννεφο που μοιάζει κάπως με το πρόσωπο του Ιησού να κοιτάζει από τον ουρανό. Όλοι μας έχουμε δει σύννεφα που μας θυμίζουν κάτι: έναν ιππόκαμπο, λόγου χάρη, ή ένα χαμογελαστό πρόσωπο. Αυτές οι ομοιότητες έχουν δημιουργηθεί με επιλογή ενός θήματος, δηλαδή μέσα από μία και μοναδική σύμπτωση. Κατά συνέπεια, δεν είναι πολύ εντυπωσιακά. Η ομοιότητα των ζωδίων με τα ζώα από τα οποία έχουν πάρει το όνομά τους (Σκορπιός, Λέων, κ.λπ.) είναι πολύ μικρή, όσο μικρή είναι και η ακρίβεια των προβλέψεων των αστρολόγων. Η ομοιότητα δεν μας εντυπωσιάζει, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των βιολογικών προσαρμογών που προκύπτουν από τη συσσωρευτική επιλογή. Χαρακτηρίζουμε παράξενη, απίστευτη ή εντυπωσιακή την ομοιότητα, για παράδειγμα, ενός φυλλοφάγου εντόμου με ένα φύλλο ή μιας μάντεως με ένα μπουκέτο ροζ λουλουδιών. Η ομοιότητα ενός σύννεφου με μια νυφίτσα είναι απλώς διασκεδαστική, κάτι που μόλις αξίζει τον κόπο να δείξουμε στο σύντροφό μας. Επιπλέον, είναι πολύ πιθανό να αλλάξουμε γνώμη για το τι ακριβώς μας θυμίζει το σύννεφο.

- Άμιελ.* Βλέπεις εκείνο το σύννεφο που μοιάζει σχεδόν με καμήλα;
- Πολώνιος.* Μα την πίστη μου, είναι πραγματικά σαν καμήλα.
- Άμιελ.* Εμένα μου φαίνεται ότι μοιάζει με νυφίτσα.
- Πολώνιος.* Το πάνω μέρος του είναι σαν της νυφίτσας.
- Άμιελ.* Ή μήπως μοιάζει με φάλανα;
- Πολώνιος.* Μοιάζει πολύ με φάλανα.

Δεν ξέρω ποιος ήταν ο πρώτος που είπε ότι ένας πίθηκος ο οποίος χτυπά στην τύχη τα πλήκτρα μιας γραφομηχανής θα μπορούσε, αν είχε αρκετό χρόνο στη διάθεσή του, να γράψει όλα τα έργα του Σαίξπηρ. Το σημαντικό στοιχείο εδώ είναι, φυσικά, η φράση «αν είχε αρκετό χρόνο στη διάθεσή του». Ωστόσο, ας περιορίσουμε λίγο το έργο του πιθήκου μας. Ας υποθέσουμε ότι πρέπει να γράψει, όχι όλα τα έργα του Σαίξπηρ, αλλά μόνο τη σύντομη φράση «Εμένα μου φαίνεται ότι μοιάζει με νυφίτσα» (στα αγγλικά, «Methinks it is like a weasel»). Θα τον διευκολύνουμε ακόμη περισσότερο, δίνοντάς του μια γραφομηχανή με περιορισμένο πληκτρολόγιο, που να έχει μόνο τα 26 (κεφαλαία) γράμματα (της αγγλικής γλώσσας) και το πλήκτρο του διαστήματος. Πόσο χρόνο θα χρειαστεί για να γράψει αυτή τη μικρή πρόταση;

Η πρόταση έχει 28 γράμματα, επομένως ας θεωρήσουμε ότι ο πίθηκος κάνει μια σειρά από συγκεκριμένες «δοκιμές», χτυπώντας κάθε φορά 28 πλήκτρα. Αν γράψει τη φράση σωστά, το πείραμα τελειώνει. Αν όχι, του επιτρέπουμε άλλη μια «δοκιμή» των 28 χαρακτήρων. Δεν γνωρίζω κανέναν πίθηκο, ευτυχώς όμως η εντεκάμηνη κόρη μου είναι ένα πεπειραμένο σύστημα παραγωγής τυχαίων δεδομένων και έπαιξε με μεγάλη προθυμία το ρόλο του πιθήκου-δακτυλογράφου. Νά τι έγραψε στον υπολογιστή:

UMMK JK CDZZ F ZD DSDSKSM  
 S SS FMCV PU I DDRGLKDXRRDO  
 RDTE QDWFEDVIOY UDSKZWDCCVYT  
 H CHVY NMGNBAYTDFCCVD D  
 RCDFFFFYRM N DFSKD LD K WDWK

## JKAUIZMZI UXDKIDISFUMDKUDXI

Η κόρη μου είναι εξαιρετικά πολυάσχολη, έτσι αναγκάστηκα να εισαγάω στον υπολογιστή ένα πρόγραμμα που προσομοιώνει ένα μωρό ή έναν πίθηκο που γράφει στην τύχη:

WDLDMNLT DTJBKWIRZREZLMQCO P  
 Y YVMOKZPGJXWVHGLAWFVCHQYOPY  
 MWR SWTNUXMLCDLEUBXTQHNZVJQF  
 FU OVAODVYKDGXDEKYVMOGGS VT  
 HZQZDSFZIHIVPHZPETPWVOVPMZGF  
 GEWRGZRPBCTPGQMCKHFDBGW ZCCF

Και ούτω καθεξής. Δεν είναι δύσκολο να υπολογίσουμε πόσο χρόνο θα χρειαστεί ο υπολογιστής (ή ένα μωρό ή ένας πίθηκος) για να γράψει στην τύχη τη φράση METHINKS IT IS LIKE A WELSEL. Σκεφτείτε ποιος είναι ο συνολικός αριθμός των φράσεων αυτού του μήκους που θα μπορούσε να γράψει ο πίθηκος ή το μωρό ή ο υπολογιστής. Είναι ο ίδιος υπολογισμός που κάναμε και για την αιμοσφαιρίνη, και μας δίνει εξίσου μεγάλο αποτέλεσμα. Στην αγγλική γλώσσα υπάρχουν 27 γράμματα (μετρώντας και το «διάστημα» σαν ένα γράμμα) που μπορούν να καταλάβουν την πρώτη θέση. Επομένως, η πιθανότητα να γράψει ο πίθηκος το σωστό πρώτο γράμμα, δηλαδή το (M), είναι μία στις 27. Ως εκ τούτου, η πιθανότητα να βρει το δεύτερο γράμμα (E) με την προϋπόθεση ότι έχει επίσης πετύχει το πρώτο γράμμα (M), είναι  $1/27 \times 1/27$ , δηλαδή  $1/729$ . Η πιθανότητα να γράψει σωστά την πρώτη λέξη (METHINKS) είναι  $1/27$  για καθένα από τα οκτώ γράμματα, δηλαδή είναι  $(1/27) \times (1/27) \times (1/27) \dots$  κ.λπ., οκτώ φορές, ή  $(1/27)$  στην 8η δύναμη. Η πιθανότητα να γράψει σωστά ολόκληρη τη φράση των 28 χαρακτήρων είναι  $(1/27)$  στην 28η δύναμη, δηλαδή  $(1/27)$  πολλαπλασιασμένο με τον εαυτό του είκοσι οκτώ φορές. Η πιθανότητα αυτή είναι πολύ πολύ μικρή, περίπου 1 στα 10 δωδεκάκις εκατομμύρια (η μονάδα ακολουθούμενη από 40 μηδενικά). Με άλλα λόγια, η φράση που ζητούμε θα αργήσει πολύ να γραφτεί, για να μην αναφερθούμε στα άπαντα του Σαίξπηρ.

Όλα αυτά αφορούν την επιλογή των τυχαίων παραλλαγών με ένα θήμα. Τι γίνεται όμως με τη συσσωρευτική επιλογή; Πόσο πιο αποτελεσματική μπορεί να είναι; Πολύ πιο αποτελεσματική, περισσότερο ίσως απ' όσο θα νομίζαμε στην αρχή –μολονότι αυτό γίνεται σχεδόν προφανές αν το σκεφτούμε καλύτερα. Χρησιμοποιούμε και πάλι τον πύθηκο-υπολογιστή μας, αλλά με μια κρίσιμη διαφορά στο πρόγραμμα. Ξεκινάει και πάλι επιλέγοντας μια τυχαία σειρά από 28 γράμματα, όπως και πριν:

WDLMNLT DTJBKWIRZREZLMQCO P

Κατόπιν, αρχίζει να «αναπαράγει», έχοντας ως αφετηρία αυτή την τυχαία φράση. Την επαναλαμβάνει πολλές φορές, αλλά με κάποιο τυχαίο σφάλμα –«μετάλλαξη»– σε κάθε επανάληψη. Ο υπολογιστής εξετάζει τις μεταλλαγμένες χωρίς νόημα φράσεις, τους «απόγονους» της αρχικής φράσης, και επιλέγει εκείνη που, *έστω και σε ελάχιστο βαθμό*, μοιάζει περισσότερο με τη φράση-στόχο, *METHINKS IT IS LIKE A WEASEL*. Σ' αυτή την περίπτωση, από την επόμενη «γενιά» επιλέχθηκε η φράση:

WDLTMNLT DTJBSWIRZREZLMQCO P

Όχι και πολύ μεγάλη βελτίωση! Εντούτοις, η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Παράγονται και πάλι μεταλλαγμένοι «απόγονοι» από τη φράση και επιλέγεται ένας νέος «νικητής». Αυτό συνεχίζεται για κάθε διαδοχική γενιά. Έπειτα από 10 γενιές, η φράση που επιλέχθηκε για «αναπαγωγή» ήταν:

MDLDMNLS ITJISWHRZREZ MECS P

Έπειτα από 20 γενιές ήταν:

MELDINLS IT ISWPRKE Z WECSEL

Ήδη το μάτι φαντάζεται ότι βλέπει μια ομοιότητα με τη φράση-στόχο. Έπειτα από 30 γενιές δεν υπάρχει αμφιβολία:

## METHINGS IT ISWLIKE B WECSEL

Η γενιά 40 μας φέρνει σε απόσταση ενός γράμματος από το στόχο:

## METHINKS IT IS LIKE I WEASEL

Ο στόχος επιτυγχάνεται τελικά στην 43η γενιά. Μια δεύτερη εκτέλεση του προγράμματος άρχισε με την τυχαία φράση

## Y YVMQKZPFJXWVHGLAWFVCHQXYOPY,

πέρασε από τις εξής αλλαγές (παραθέτω και πάλι τη φράση μόνο κάθε δέκατης γενιάς):

Y YVMQKSPFTXWSHLIKEFV HOYSPY  
 YETHINKSPITXISHLIKEFA WQYSEY  
 METHINKS IT ISSLIKE A WEFSEY  
 METHINKS IT ISBLIKE A WEASES  
 METHINKS IT ISJLIKE A WEASEO  
 METHINKS IT IS LIKE A WEASEP

και έφτασε στη φράση-στόχο στην 64η γενιά. Σε μια τρίτη εκτέλεση, το πρόγραμμα άρχισε με τη φράση:

## GEWRGZRPBCTPGQMCKHFDBGW ZCCF

και έφτασε στο METHINKS IT IS LIKE A WEASEL έπειτα από 41 γενιές επιλεκτικής «αναπαραγωγής».

Το ακριβές χρονικό διάστημα που χρειάστηκε ο υπολογιστής για να φτάσει στο στόχο δεν έχει σημασία. Αν θέλετε να ξέρετε, ολοκλήρωσε την πρώτη δοκιμή όσο είχα βγει για μεσημεριανό φαγητό. Χρειάστηκε γύρω στη μισή ώρα. (Οι φανατικοί των υπολογιστών μπορεί να θεωρήσουν αυτό το διάστημα αδικαιολόγητα μεγάλο. Ο λόγος είναι ότι το πρόγραμμα ήταν γραμμένο σε BASIC, μια πολύ απλή γλώσσα προγραμματισμού, που δεν είναι



γρήγορη. Όταν το ξανάγραψα σε Pascal, χρειάστηκε 11 δευτερόλεπτα.) Οι υπολογιστές είναι λίγο πιο γρήγοροι από τους πιθήκους σ' αυτά τα πράγματα, αλλά αυτή η διαφορά δεν παίζει σημαντικό ρόλο. Εκείνο που έχει σημασία είναι η διαφορά ανάμεσα στο χρονικό διάστημα που απαιτήθηκε με τη *συσσωρευτική* επιλογή και στο διάστημα που θα χρειαζόταν ο ίδιος υπολογιστής, λειτουργώντας με την ίδια ταχύτητα, για να φτάσει στη φράση-στόχο αν χρησιμοποιούσε την άλλη διαδικασία, της *επιλογής ενός βήματος*: περίπου 1 εννεάκις εκατομμύριο χρόνια (η μονάδα ακολουθούμενη από 30 μηδενικά). Αυτό το χρονικό διάστημα είναι περίπου 1 πεντάκις εκατομμύριο φορές (η μονάδα ακολουθούμενη από 18 μηδενικά) μεγαλύτερο από την ηλικία του σύμπαντος. Ουσιαστικά, θα ήταν πιο σωστό να πούμε ότι, σε σύγκριση με το χρονικό διάστημα που θα χρειαζόταν για να γράψει τη φράση-στόχο ένας πιθήκος ή ένας υπολογιστής προγραμματισμένος να παράγει τυχαία γράμματα, η μέχρι τώρα ηλικία του σύμπαντος είναι μια αμελητέα ποσότητα, τόσο μικρή ώστε θα μπορούσε κάλλιστα να θρίσκειται μέσα στα όρια του σφάλματος για έναν τέτοιο πρόχειρο υπολογισμό. Αντίθετα, το χρονικό διάστημα που χρειάστηκε ο υπολογιστής για να φτάσει στον ίδιο στόχο δουλεύοντας τυχαία αλλά με τον περιορισμό της *συσσωρευτικής επιλογής* είναι μιας τάξης μεγέθους την οποία μπορούν να κατανοήσουν οι άνθρωποι, κάπου ανάμεσα στα 11 δευτερόλεπτα και στο χρονικό διάστημα που χρειάζεται κανείς για να φάει.

Υπάρχει λοιπόν μεγάλη διαφορά ανάμεσα στη *συσσωρευτική* επιλογή (στην οποία κάθε βελτίωση, όσο μικρή κι αν είναι, χρησιμοποιείται ως βάση για μελλοντικό «χτίσιμο») και στην επιλογή ενός βήματος (στην οποία κάθε νέα «δοκιμή» αποτελεί επιστροφή στην αρχή). Αν η εξελικτική διαδικασία ήταν υποχρεωμένη να στηριχτεί στην επιλογή ενός βήματος, δεν θα έφτανε ποτέ πουθενά. Αν, όμως, υπήρχε ένας τρόπος με τον οποίο οι τυφλές δυνάμεις της φύσης θα μπορούσαν να δημιουργήσουν τις απαραίτητες συνθήκες ώστε να λειτουργήσει η *συσσωρευτική* επιλογή, τα αποτελέσματα μπορεί να ήταν παράξενα και θαυμάσια. Πραγματικά, αυτό ακριβώς συνέβη στον πλανήτη μας, κι εμείς οι

ίδιοι είμαστε ένα από τα πιο πρόσφατα, και ίσως το πιο παράξενο και θαυμαστό από αυτά τα αποτελέσματα.

Είναι εκπληκτικό το γεγονός ότι διαβάζουμε ακόμη βιβλία στα οποία υπολογισμοί σαν εκείνον που κάναμε για το μόριο της αιμοσφαιρίνης χρησιμοποιούνται ως επιχειρήματα *εναντίον* της θεωρίας του Δαρβίνου. Οι άνθρωποι που το κάνουν αυτό, και που συχνά μπορεί να είναι ειδικοί στον δικό τους τομέα –την αστρονομία ή οτιδήποτε άλλο– φαίνονται να πιστεύουν ειλικρινά ότι ο δαρβινισμός εξηγεί την οργάνωση των έμβιων όντων με βάση μόνο το τυχαίο, δηλαδή την «επιλογή ενός θήματος». Αυτή η πεποίθηση, ότι η δαρβινική εξέλιξη είναι «τυχαία», δεν είναι απλώς λαθεμένη· είναι εντελώς αντίθετη με την αλήθεια. Το τυχαίο είναι ένα δευτερεύον συστατικό στη συνταγή του Δαρβίνου. Το πιο σημαντικό συστατικό είναι η συσσωρευτική επιλογή, που είναι στην ουσία της *μη* τυχαία.

Στα σύννεφα δεν μπορεί να εφαρμοστεί συσσωρευτική επιλογή. Δεν υπάρχει κανένας μηχανισμός με τον οποίο να μπορούν τα σύννεφα που έχουν κάποια συγκεκριμένα σχήματα να γεννούν θυγατρικά σύννεφα που να τους μοιάζουν. Αν υπήρχε τέτοιος μηχανισμός, αν ένα σύννεφο που μοιάζει με νυφίτσα ή καμήλα μπορούσε να παράγει μια σειρά από άλλα με το ίδιο περίπου σχήμα, θα ήταν δυνατό να λειτουργήσει η συσσωρευτική επιλογή. Φυσικά, μερικές φορές, τα σύννεφα χωρίζονται και σχηματίζουν «θυγατρικά» σύννεφα, αλλά αυτό δεν είναι αρκετό για τη συσσωρευτική επιλογή. Ένα άλλο απαραίτητο στοιχείο είναι ότι οι «απόγονοι» πρέπει να μοιάζουν στους «γονείς τους» *περισσότερο* απ' όσο μοιάζουν σε οποιονδήποτε άλλο «γονέα» του «πληθυσμού». Προφανώς, αυτό το ζωτικό στοιχείο παρανοείται από μερικούς φιλοσόφους που τα τελευταία χρόνια έχουν ενδιαφερθεί για τη θεωρία της φυσικής επιλογής. Επιπλέον, οι πιθανότητες που έχει κάθε σύννεφο να επιβιώσει και να παραγάγει αντίγραφα του εαυτού του πρέπει να εξαρτώνται από το σχήμα του. Μπορεί σε κάποιον μακρινό γαλαξία να υπάρχουν τέτοιες συνθήκες, και το αποτέλεσμα, αν έχουν περάσει αρκετά εκατομμύρια χρόνια, να είναι μια αιθέρια, αέρινη μορφή ζωής. Αυτό θα γινόταν ίσως ένα καλό διήγημα επιστημονικής φαντασίας –θα μπορούσε να λέγε-

ται *Το Λευκό Σύννεφο*-, αλλά για τον δικό μας σκοπό είναι πιο εύκολο να κατανοήσουμε ένα μοντέλο υπολογιστή σαν εκείνο που χρησιμοποιήσαμε για την προσομοίωση του πιθήκου που «γράφει» τα έργα του Σαίξπηρ.

Μολονότι το μοντέλο του πιθήκου-Σαίξπηρ είναι χρήσιμο αν θέλουμε να εξηγήσουμε τη διαφορά ανάμεσα στην επιλογή ενός θήματος και στη συσσωρευτική επιλογή, είναι ταυτόχρονα παραπλανητικό από ορισμένες σημαντικές απόψεις. Μια από αυτές είναι ότι σε κάθε γενιά επιλεκτικής «αναπαραγωγής» οι μεταλλαγμένες φράσεις-απόγονοι κρίνονται με βάση την ομοιότητά τους προς έναν *μακρινό ιδανικό* στόχο, τη φράση *METHINKS IT IS LIKE A WEASEL*. Η ζωή δεν είναι έτσι. Η εξέλιξη δεν έχει κανέναν μακροπρόθεσμο στόχο, καμία απώτερη τέλεια κατάσταση που να λειτουργεί ως κριτήριο επιλογής, αν και η ανθρώπινη ματαιοδοξία τρέφει την παράλογη ιδέα ότι το είδος μας είναι ο τελικός στόχος της εξέλιξης. Στην πραγματικότητα, το κριτήριο επιλογής είναι πάντοτε *βραχυπρόθεσμο*: ή η απλή επιδίωξη ή, γενικότερα, η *αναπαραγωγική επιτυχία*. Αν φαίνεται εκ των υστέρων να έχει επιτευχθεί έπειτα από πολλούς αιώνες κάτι που μοιάζει με πρόοδο προς κάποιον *μακρινό στόχο*, αυτό είναι πάντοτε μια συμπτωματική συνέπεια της βραχυπρόθεσμης επιλογής σε πολλές γενιές. Ο «ωρολογοποιός», δηλαδή η συσσωρευτική φυσική επιλογή, δεν αποβλέπει στο μέλλον και δεν έχει κανέναν μακροπρόθεσμο στόχο.

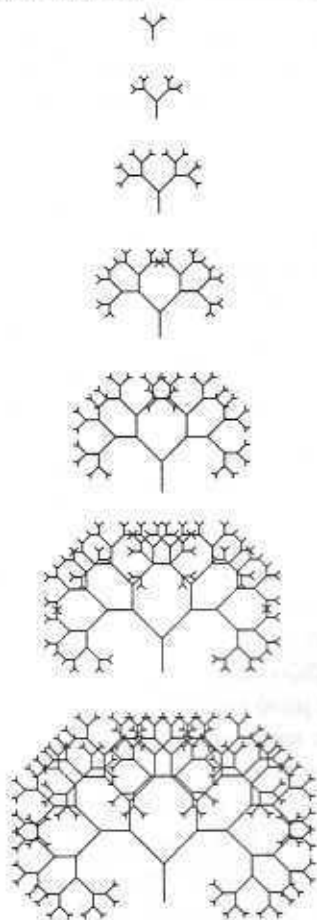
Μπορούμε να τροποποιήσουμε το μοντέλο υπολογιστή, ώστε να λαμβάνει υπόψη του αυτό το στοιχείο. Μπορούμε ακόμη να το κάνουμε πιο ρεαλιστικό και από άλλες πλευρές. Τα γράμματα και οι λέξεις είναι καθαρά ανθρώπινες εκδηλώσεις, γι' αυτό θα ήταν προτιμότερο να δώσουμε στον υπολογιστή την εντολή να παράγει εικόνες. Έτσι, μπορεί να δούμε να εξελίσσονται ζωομορφα σχήματα με τη συσσωρευτική επιλογή μεταλλαγμένων μορφών. Δεν θα προκαθορίσουμε το αποτέλεσμα ενσωματώνοντας στο πρόγραμμα κάποιες συγκεκριμένες αρχικές εικόνες ζώων. Θέλουμε τα σχέδια του υπολογιστή να προκύψουν αποκλειστικά ως αποτέλεσμα της συσσωρευτικής επιλογής τυχαίων μεταλλάξεων.

Στη ζωή, η μορφή κάθε ζώου παράγεται μέσα από την εμβρυϊκή ανάπτυξη. Η εξέλιξη συντελείται επειδή σε διαδοχικές γενιές υπάρχουν ανεπαισθητες διαφορές στην εμβρυϊκή ανάπτυξη. Αυτές οι διαφορές οφείλονται σε μεταβολές (μεταλλάξεις, δηλαδή το τυχαίο στοιχείο της διαδικασίας για το οποίο μίλησα) των γονιδίων που ελέγχουν την ανάπτυξη. Επομένως, στο μοντέλο υπολογιστή πρέπει να έχουμε κάτι αντίστοιχο με την εμβρυϊκή ανάπτυξη και τα γονίδια που μπορούν να μεταλλάσσονται. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να ικανοποιήσουμε αυτές τις προϋποθέσεις σε ένα μοντέλο υπολογιστή. Διάλεξα έναν από αυτούς και έγραψα ένα πρόγραμμα που τον ενσωμάτωσε. Θα περιγράψω τώρα αυτό το μοντέλο, γιατί πιστεύω ότι είναι αποκαλυπτικό. Αν δεν ξέρετε τίποτε από υπολογιστές, να θυμάστε απλώς ότι είναι μηχανές που κάνουν αυτό ακριβώς που τους λες, αλλά που συχνά σε εκπλήσσουν με το αποτέλεσμα. Ένας κατάλογος εντολών για έναν υπολογιστή ονομάζεται πρόγραμμα.

Η εμβρυϊκή ανάπτυξη αποτελεί μια τρομερά πολύπλοκη διαδικασία που είναι αδύνατο να προσομοιωθεί ρεαλιστικά σε έναν μικρό υπολογιστή. Πρέπει να την αποδώσουμε με κάποια απλουστευμένη αναλογία. Πρέπει να βρούμε έναν απλό κανόνα σχεδιασμού εικόνων που θα μπορεί εύκολα να τον υπακούει ο υπολογιστής και ο οποίος θα μεταβάλλεται σύμφωνα με την επίδραση κάποιων «γονιδίων». Ποιον σχεδιαστικό κανόνα θα διαλέξουμε; Τα εγχειρίδια της επιστήμης των υπολογιστών περιγράφουν συχνά τη δύναμη του λεγόμενου «αναδρομικού» προγραμματισμού δίνοντας ως παράδειγμα μια απλή τεχνική που θυμίζει τη δένδροειδή ανάπτυξη. Ο υπολογιστής αρχίζει σχεδιάζοντας μια κατακόρυφη γραμμή. Μετά, η γραμμή χωρίζεται σε δύο διακλαδώσεις. Έπειτα, καθεμιά από τις διακλαδώσεις χωρίζεται σε δύο υποδιακλαδώσεις. Κατόπιν, καθεμιά από τις υποδιακλαδώσεις χωρίζεται σε υπο-υποδιακλαδώσεις, και ούτω καθεξής. Ο προγραμματισμός αυτός ονομάζεται «αναδρομικός», επειδή ο ίδιος κανόνας (σ' αυτή την περίπτωση ο κανόνας της διακλάδωσης) εφαρμόζεται σε όλα τα σημεία του αναπτυσσόμενου δέντρου. Όσο μεγάλο κι αν γίνει το δέντρο, ο ίδιος κανόνας διακλάδωσης θα συνεχίσει να εφαρμόζεται στις άκρες όλων των κλαδιών του.

Ο αριθμός των υπο-υποδιακλάδωσεων που επιτρέπουμε να αναπτυχθούν πριν διακοπεί η διαδικασία ονομάζεται «βάθος» της αναδρομής. Η εικόνα 2 δείχνει τι συμβαίνει όταν δώσουμε σε έναν υπολογιστή την εντολή να εφαρμόζει τον ίδιο ακριβώς κανόνα σχεδιασμού, προχωρώντας όμως σε διάφορα βάθη αναδρομής. Στα υψηλά επίπεδα αναδρομής το σχέδιο γίνεται εξαιρετικά πολύπλοκο, μπορείτε όμως να δείτε στην εικόνα 2 ότι παράγεται πάντοτε από τον ίδιο πολύ απλό κανόνα διακλάδωσης. Φυσικά, αυτό ακριβώς συμβαίνει και σε ένα πραγματικό δέντρο. Το πρότυπο διακλάδωσης μιας βελανιδιάς ή μιας μηλιάς φαίνεται πολύπλοκο, αλλά δεν είναι. Ο βασικός κανόνας διακλάδωσης είναι πολύ απλός, επειδή όμως εφαρμόζεται επαναληπτικά στις αναπτυσσόμενες άκρες ολόκληρου του δέντρου (τα κλαδιά αναπτύσσουν υποκλαδιά, μετά κάθε υποκλαδί αναπτύσσει υπο-υποκλαδιά, και ούτω καθεξής), το δέντρο καταλήγει να είναι μεγάλο και φουντωτό.

Η αναδρομική διακλάδωση είναι επίσης μια καλή αναλογία της εμβρυϊκής ανάπτυξης φυτών και ζώων γενικά. Δεν εννοώ ότι τα έμβρυα των ζώων μοιάζουν με δέντρα που διακλαδίζονται: κάθε άλλο. Ωστόσο, όλα τα έμβρυα αναπτύσσονται με την κυτταρική διαίρεση. Τα κύτταρα διαιρούνται πάντοτε σε δύο θυγατρικά κύτταρα, και τα γονίδια ασκούν πάντοτε την τελική τους επίδραση στο σώμα επηρεάζοντας τοπικά τα κύτταρα και τα πρότυπα διακλάδωσης της κυτταρικής διαίρεσης. Τα γονίδια ενός ζώου δεν αποτελούν ποτέ ένα γενικό σχέδιο για όλο το σώμα. Όπως θα δούμε, μοιάζουν περισσότερο με συνταγή παρά με αυστηρά καθορισμένο σχέδιο, και μάλιστα με μια συνταγή που εφαρμόζεται όχι από το αναπτυσσόμενο έμβρυο στο σύνολό του, αλλά από κάθε κύτταρο ή από κάθε τοπική ομάδα διαιρούμενων κυττάρων. Δεν αρνούμαι ότι το έμβρυο, και αργότερα ο ενήλικος, έχει μια συνολική μορφή μεγάλης κλίμακας. Αυτή όμως η συγκεκριμένη μορφή προκύπτει ως αποτέλεσμα των πολλών μικρών και τοπικών κυτταρικών επιδράσεων που ασκούνται σε όλο το αναπτυσσόμενο σώμα, και αυτές οι τοπικές επιδράσεις συνίστανται κατά κύριο λόγο σε διακλαδώσεις δύο κατευθύνσεων που έχουν τη μορφή κυτταρικών διαιρέσεων. Τα γονίδια ασκούν τις επιδράσεις τους στο ενήλικο σώμα επηρεάζοντας αυτά τα τοπικά συμβάντα.



Εικόνα 2.

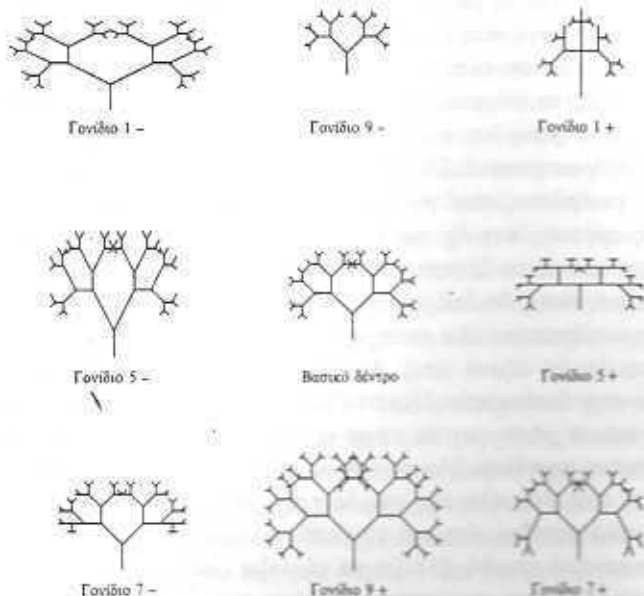
Ο απλός κανόνας της διακλάδωσης που χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό δέντρων φαίνεται να είναι μια καλή αναλογία της εμβρυϊκής ανάπτυξης. Έτσι, τον «κλείνουμε» σε μια μικρή υπολογιστική διαδικασία, της δίνουμε τον τίτλο ΑΝΑΠΤΥΞΗ, και ετοιμαζόμαστε να την ενσωματώσουμε σε ένα μεγαλύτερο πρόγραμμα, που το τιτλοφορούμε ΕΞΕΛΙΞΗ. Το πρώτο μας βήμα για τη δημιουργία αυτού του μεγαλύτερου προγράμματος είναι να

στρέψουμε την προσοχή μας στα γονίδια. Από τι θα αντιπροσωπεύονται τα «γονίδια» στο μοντέλο μας; Στην πραγματική ζωή, τα γονίδια κάνουν δύο πράγματα. Επηρεάζουν την ανάπτυξη και μεταβιβάζονται στις μελλοντικές γενιές. Στα πραγματικά ζώα και φυτά υπάρχουν δεκάδες χιλιάδες γονίδια, εμείς όμως θα περιοριστούμε να χρησιμοποιήσουμε εννέα στο μοντέλο μας. Καθένα από αυτά αντιπροσωπεύεται μέσα στον υπολογιστή από έναν αριθμό, τον οποίο θα ονομάσουμε *τιμή* του γονιδίου. Η τιμή ενός συγκεκριμένου γονιδίου μπορεί να είναι, για παράδειγμα, 4 ή -7.

Πώς θα κάνουμε αυτά τα γονίδια να επηρεάζουν την ανάπτυξη; Υπάρχουν πολλές λειτουργίες που θα μπορούσαν να επιτελούν. Η βασική ιδέα είναι ότι πρέπει να ασκούν κάποια μικρή ποσοτική επίδραση στον κανόνα σχεδιασμού, δηλαδή στην ΑΝΑΠΤΥΞΗ. Για παράδειγμα, ένα γονίδιο μπορεί να επηρεάζει τη γωνία των διακλαδώσεων· ένα άλλο το μήκος κάποιου συγκεκριμένου κλαδιού. Μια άλλη προφανής λειτουργία που μπορεί να επιτελεί ένα γονίδιο είναι να επηρεάζει το βάθος της αναδρομής, δηλαδή τον αριθμό των διαδοχικών διακλαδώσεων. Αυτό το έργο το ανέθεσα στο Γονίδιο 9. Επομένως, μπορείτε να θεωρήσετε ότι η εικόνα 2 παρουσιάζει επτά συγγενικούς οργανισμούς που διαφέρουν μεταξύ τους μόνο ως προς το Γονίδιο 9, ενώ από όλες τις άλλες απόψεις είναι πανομοιότυποι. Δεν θα περιγράψω λεπτομερώς τι κάνει καθένα από τα άλλα οκτώ γονίδια. Μπορείτε να πάρετε μια γενική ιδέα για το είδος των επιδράσεων που ασκούν μελετώντας την εικόνα 3. Στη μέση της εικόνας βλέπουμε το βασικό δέντρο, ένα από εκείνα της εικόνας 2. Γύρω από το κεντρικό δέντρο υπάρχουν άλλα οκτώ. Είναι όλα ίδια με αυτό, μόνο που ένα διαφορετικό γονίδιο στο καθένα έχει αλλάξει, έχει «μεταλλαχθεί». Για παράδειγμα, το σχήμα στα δεξιά του κεντρικού δέντρου δείχνει τι συμβαίνει όταν μεταλλάσσεται το Γονίδιο 5 με την αύξηση της τιμής του κατά 1. Αν υπήρχε περισσότερος χώρος, θα ήθελα να παρουσιάσω έναν κύκλο 18 μεταλλαγμένων δέντρων γύρω από το κεντρικό. Ο λόγος για τον οποίο θέλω 18 είναι ότι υπάρχουν εννέα γονίδια και το καθένα μπορεί να μεταλλαχθεί είτε προς τα «πάνω» (η τιμή του αυξάνει κατά 1) είτε προς τα «κάτω» (η τιμή του μειώνεται κατά 1). Έτσι, ένας κύκλος από



18 δέντρα θα ήταν αρκετός για να δείξει *όλα τα δυνατά μεταλλάγματα* ενός θήματος που μπορούν να προκύψουν από το κεντρικό δέντρο.



Εικόνα 3.

Καθένα από αυτά τα δέντρα έχει τον δικό του μοναδικό «γενετικό τύπο», τις αριθμητικές τιμές των εννέα γονιδίων του. Δεν δίνω αυτούς τους γενετικούς τύπους, γιατί δεν θα σήμαιναν τίποτε από μόνοι τους. Το ίδιο ισχύει και για τα πραγματικά γονίδια. Τα γονίδια αποκτούν κάποια σημασία όταν μεταφράζονται, μέσα από την πρωτεϊνοσύνθεση, σε κανόνες ανάπτυξης για το έμβryo. Ομοίως, στο μοντέλο υπολογιστή, οι αριθμητικές τιμές των εννέα γονιδίων αποκτούν ένα νόημα μόνο όταν μεταφράζονται σε κανόνες ανάπτυξης για το πρότυπο διακλάδωσης του δέντρου. Ωστόσο, μπορείτε να πάρετε μια ιδέα για το τι κάνει το κάθε γονίδιο *συγκρίνοντας* τα σώματα δύο οργανισμών που γνωρίζετε ότι διαφέρουν ως προς ένα ορισμένο γονίδιο. Αν συγκρίνετε, για

παράδειγμα, το βασικό δέντρο στη μέση της εικόνας με τα δύο δέντρα δεξιά και αριστερά του, θα πάρετε μια ιδέα για το τι κάνει το Γονίδιο 5.

Αυτή ακριβώς τη μέθοδο ακολουθούν και οι γενετιστές. Κανονικά, δεν ξέρουν πώς επηρεάζονται τα έμβρυα από τα γονίδια, ούτε γνωρίζουν τον πλήρη γενετικό τύπο ενός ζώου. Εντούτοις, συγκρίνοντας τα σώματα δύο ενήλικων ζώων που είναι γνωστό ότι *διαφέρουν* μόνο σε ένα συγκεκριμένο γονίδιο, μπορούν να δουν τι επίδραση ασκεί. Τα πράγματα όμως είναι πιο πολύπλοκα, γιατί οι επιδράσεις των γονιδίων αλληλεπηρεάζονται με πολύπλοκους τρόπους και όχι με απλή πρόσθεση. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και με τα δέντρα του υπολογιστή, και μάλιστα σε μεγάλο βαθμό, όπως θα δείξουν οι επόμενες εικόνες.

Θα προσέξετε ότι όλα τα σχήματα είναι συμμετρικά ως προς τον κατακόρυφο άξονά τους. Αυτός είναι ένας περιορισμός που επέβαλα στη διαδικασία ΑΝΑΠΤΥΞΗ, εν μέρει για αισθητικούς λόγους και εν μέρει για να κάνω «οικονομία» στον αριθμό των απαραίτητων γονιδίων. (Αν τα γονίδια δεν ασκούσαν κατοπτρική επίδραση στις δύο πλευρές του δέντρου, θα χρειαζόμασταν δύο διαφορετικά γονίδια, ένα για την κάθε πλευρά.) Τέλος, επέβαλα τον περιορισμό επειδή ήλπιζα να εξελίξω ζωόμορφα σχήματα, και τα σώματα των περισσότερων ζώων είναι συμμετρικά. Για τον ίδιο λόγο, από τώρα και στο εξής θα πάψω να αποκαλώ αυτά τα σχήματα «δέντρα» και θα τα ονομάζω «σώματα» ή «βιομορφές». Τον όρο «βιομορφές» τον επινόησε ο Desmond Morris για τα ζωόμορφα σχήματα που εμφανίζονται στους υπερρεαλιστικούς του πίνακες. Οι εν λόγω πίνακες έχουν ξεχωριστή θέση στην καρδιά μου, γιατί ένας από αυτούς έγινε εξώφυλλο για το πρώτο μου βιβλίο. Ο Desmond Morris ισχυρίζεται ότι οι βιομορφές του «εξελίσσονται» μέσα στο νου του και ότι η εξέλιξή τους μπορεί να ανιχνευτεί στους διαδοχικούς του πίνακες.

Ας επιστρέψουμε τώρα στις βιομορφές του υπολογιστή και τον κύκλο των 18 δυνατών μεταλλάξεων, από τις οποίες βλέπουμε τις οκτώ αντιπροσωπευτικές στην εικόνα 3. Αφού κάθε μέλος του κύκλου απέχει ένα μόνο μεταλλακτικό βήμα από την κεντρική βιομορφή, είναι εύκολο να θεωρήσουμε αυτά τα σώματα ως παι-

διά του κεντρικού γονέα. Έτσι, έχουμε την αναλογία που μας χρειάζεται για την ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ, μια διαδικασία που μπορούμε να την εκφράσουμε όπως και την ΑΝΑΠΤΥΞΗ, με ένα άλλο μικρό πρόγραμμα του υπολογιστή, το οποίο θα ενσωματώσουμε στο μεγάλο μας πρόγραμμα, την ΕΞΕΛΙΞΗ. Κατ' αρχάς θα πρέπει να επισημάνουμε ότι δεν υπάρχει φύλο· η αναπαραγωγή είναι μονογονική. Γι' αυτό θεωρώ τις βιομορφές θηλυκές, αφού τα άφυλα ζώα, όπως η αφίδα, έχουν σχεδόν πάντοτε θηλυκή μορφή. Επίσης, οι μεταλλάξεις του προγράμματος υπακούουν σε έναν περιορισμό: κάθε φορά συμβαίνει μόνο μία. Ένα παιδί διαφέρει από το γονέα του σε ένα μόνο από τα εννέα γονίδια. Επιπλέον, όλες οι μεταλλάξεις συμβαίνουν με την πρόσθεση του +1 ή του -1 στην τιμή του αντίστοιχου γονικού γονιδίου. Αυτές είναι αυθαίρετες συμβάσεις: θα μπορούσε να είναι διαφορετικές και η προσομοίωση να παραμένει βιολογικά ρεαλιστική.

Δεν ισχύει όμως το ίδιο για το ακόλουθο χαρακτηριστικό του μοντέλου, που ενσωματώνει μια θεμελιώδη αρχή της βιολογίας. Το σχήμα κάθε παιδιού δεν προκύπτει άμεσα από το σχήμα του γονέα. Κάθε παιδί παίρνει το σχήμα του από τις τιμές των δικών του εννέα γονιδίων (αυτά επηρεάζουν γωνίες, αποστάσεις, και ούτω καθεξής), τα οποία προέρχονται από τα εννέα γονίδια του γονέα του. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και στη ζωή. Αυτό που μεταβιβάζεται από γενιά σε γενιά δεν είναι το σώμα, αλλά τα γονίδια. Τα γονίδια επηρεάζουν την εμβρυϊκή ανάπτυξη του σώματος στο οποίο βρίσκονται. Κατόπιν, τα ίδια αυτά γονίδια είτε μεταβιβάζονται στην επόμενη γενιά είτε όχι. Η φύση τους δεν επηρεάζεται από τη συμμετοχή τους στη σωματική ανάπτυξη, αλλά η πιθανότητα να μεταβιβαστούν σε επόμενες γενιές μπορεί να επηρεαστεί από την επιτυχία του σώματος που βοήθησαν να δημιουργηθεί. Γι' αυτό, στο μοντέλο υπολογιστή είναι σημαντικό οι δύο διαδικασίες που ονομάσαμε ΑΝΑΠΤΥΞΗ και ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ να γραφτούν ως δύο ανεξάρτητα «στεγανά» τμήματα. Πράγματι, είναι στεγανά, με τη μοναδική διαφορά ότι η ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ μεταβιβάζει γονίδια στην ΑΝΑΠΤΥΞΗ, όπου επηρεάζουν τους κανόνες ανάπτυξης. Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ οπωσδήποτε δεν μεταβιβάζει τιμές γονιδίων στην ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ – αυτό θα ισοδυναμούσε με «λαμαρκισμό» (βλ. Κεφάλαιο 11).

Έχουμε δημιουργήσει, λοιπόν, τις δύο ενότητες, την ΑΝΑΠΤΥΞΗ και την ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ. Η ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ μεταβιβάζει στις επόμενες γενιές γονίδια, τα οποία είναι δυνατό να υποστούν μετάλλαξη. Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ παίρνει τα γονίδια που παρέχει η ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ σε κάθε συγκεκριμένη γενιά και τα μεταφράζει σε σχεδιασμό, και επομένως σε εικόνα ενός σώματος στην οθόνη του υπολογιστή. Τώρα ήρθε η στιγμή να εισαγάγουμε τις δύο ενότητες στο μεγάλο πρόγραμμα, την ΕΞΕΛΙΞΗ.

Η ΕΞΕΛΙΞΗ συνίσταται ουσιαστικά σε μια ατέλειωτη επανάληψη της ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗΣ. Σε κάθε γενιά, η ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ παίρνει τα γονίδια που της παρέχονται από την προηγούμενη γενιά και τα περνά στην επόμενη, αλλά με κάποια μικρά τυχαία σφάλματα, δηλαδή τις μεταλλάξεις. Μια μετάλλαξη είναι απλώς η πρόσθεση του αριθμού +1 ή -1 στην τιμή ενός γονιδίου που επιλέγεται τυχαία. Αυτό σημαίνει ότι καθώς περνούν οι γενιές η συνολική ποσότητα γενετικής διαφοράς από τον αρχικό πρόγονο μπορεί να γίνει πολύ μεγάλη, συσσωρευτικά, αν και επιτυγχάνεται με ένα μικρό βήμα κάθε φορά. Εντούτοις, παρόλο που οι μεταλλάξεις είναι τυχαίες, η συσσωρευτική αλλαγή που παρατηρείται με το πέρασμα των γενεών δεν είναι τυχαία. Οι απόγονοι σε οποιαδήποτε γενιά διαφέρουν από το γονέα τους προς τυχαίες κατευθύνσεις. Ωστόσο, το ποιος από αυτούς τους απογόνους επιλέγεται για να περάσει στην επόμενη γενιά δεν είναι τυχαίο. Σ' αυτό το σημείο υπεισέρχεται η δαρβινική επιλογή. Το κριτήριο της επιλογής δεν είναι τα ίδια τα γονίδια αλλά το σώμα, το σχήμα του οποίου επηρεάζεται από τα γονίδια μέσω της ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ.

Τα γονίδια κάθε γενιάς, εκτός από το γεγονός ότι ΑΝΑΠΑΡΑΓΟΝΤΑΙ, μεταβιβάζονται επίσης στην ΑΝΑΠΤΥΞΗ, η οποία αναπτύσσει το αντίστοιχο σώμα στην οθόνη, ακολουθώντας τους δικούς της αυστηρά καθορισμένους κανόνες. Για κάθε γενιά, απεικονίζεται στην οθόνη μια ολόκληρη σειρά «παιδιών» (δηλαδή σωμάτων της επόμενης γενιάς). Όλα αυτά είναι μεταλλάγματα του ίδιου γονέα και διαφέρουν από αυτόν σε ένα μόνο γονίδιο το καθένα. Αυτός ο πολύ ταχύς ρυθμός μεταλλάξεων είναι ένα σαφώς μη βιολογικό χαρακτηριστικό του μοντέλου μας. Στην πραγ-

ματικότητα, οι πιθανότητες μετάλλαξης ενός γονιδίου είναι συχνά λιγότερες από μία στο εκατομμύριο. Ο λόγος για τον οποίο ενσωματώσαμε στο μοντέλο τόσο ταχύ ρυθμό μεταλλάξεων είναι ότι η παραγωγή σωμάτων στην οθόνη του υπολογιστή γίνεται για να την παρακολουθούν άνθρωποι, και οι άνθρωποι δεν έχουν την υπομονή να περιμένουν ένα εκατομμύριο γενιές για να δουν μια μετάλλαξη!

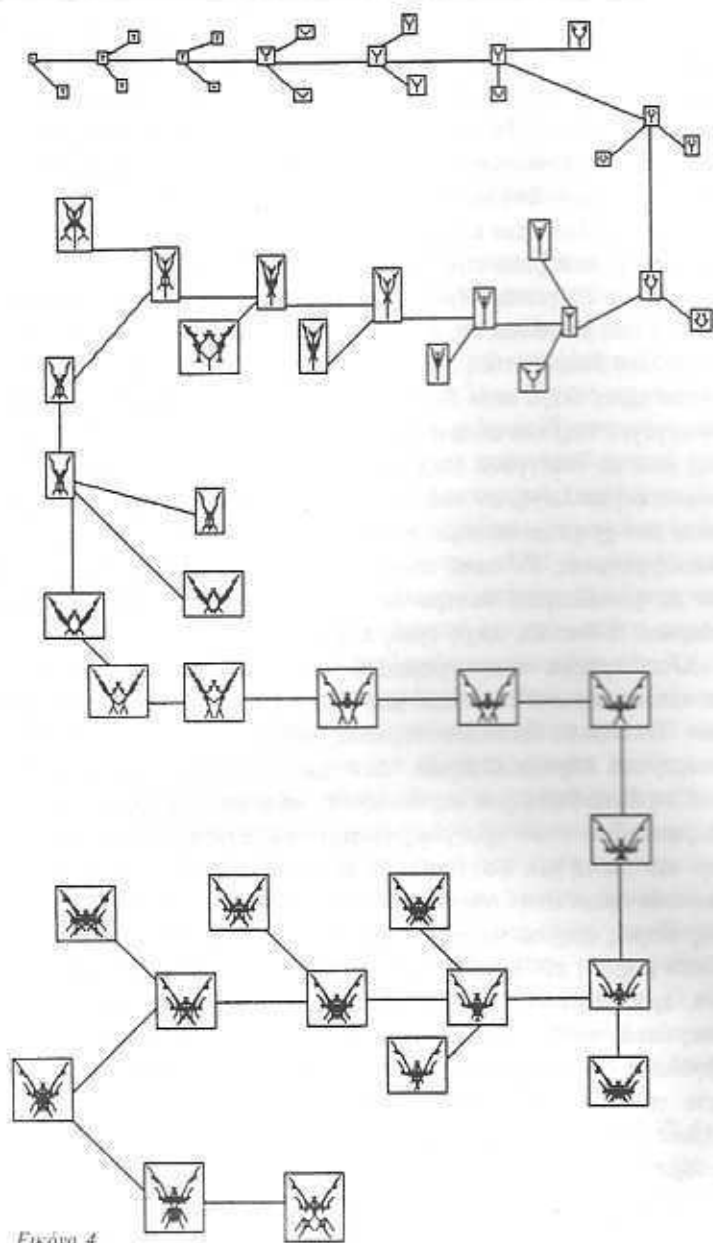
Το ανθρώπινο μάτι αναλαμβάνει ενεργό ρόλο σ' αυτή τη διαδικασία. Είναι ο παράγοντας επιλογής. Εξετάζει τους απογόνους και επιλέγει έναν για αναπαραγωγή. Ο επιλεγμένος απόγονος γίνεται τότε ο γονέας της επόμενης γενιάς, και μια σειρά από δικά του μεταλλαγμένα παιδιά εμφανίζονται ταυτόχρονα στην οθόνη. Σ' αυτή την περίπτωση, το ανθρώπινο μάτι ενεργεί όπως ακριβώς και στην περίπτωση των διασταυρώσεων καθαρόαιμων σκύλων ή τριανταφυλλιών. Με άλλα λόγια, το μοντέλο μας είναι σαφώς ένα μοντέλο τεχνητής και όχι φυσικής επιλογής. Το κριτήριο της «επιτυχίας» δεν είναι το άμεσο κριτήριο της επιβίωσης, όπως ισχύει στη φυσική επιλογή. Στη γνήσια φυσική επιλογή, αν ένα σώμα διαθέτει ό,τι είναι απαραίτητο για να επιβιώσει, επιδιώνουν ταυτόχρονα και τα γονίδια του, αφού βρίσκονται μέσα του. Έτσι, τα γονίδια που επιδιώνουν τείνουν, αυτόματα, να είναι αυτά που δίνουν στο σώμα τις ιδιότητες οι οποίες το βοηθούν να επιβιώσει. Από την άλλη πλευρά, στο μοντέλο υπολογιστή το κριτήριο επιλογής δεν είναι η επιβίωση αλλά η ικανότητα του σώματος να «αρέσει» στο ανθρώπινο μάτι. Όχι αναγκαστικά να αρέσει με έναν αόριστο και τυχαίο τρόπο, γιατί μπορούμε να επιλέγουμε συστηματικά με βάση κάποια ιδιότητα, όπως «ομοιότητα με την κλαίουσα ιτιά». Η πείρα μου όμως μου έχει δείξει ότι ο ανθρώπινος επιλογέας ενεργεί πιο συχνά με βάση το καπρίτσιο και τον σκορτουνισμό. Ωστόσο, κι αυτός ο τρόπος ενέργειας μοιάζει με ορισμένα είδη φυσικής επιλογής.

Ο άνθρωπος ορίζει στον υπολογιστή ποιος από τη σειρά των απογόνων θα χρησιμοποιηθεί για την αναπαραγωγή της επόμενης γενιάς. Τα γονίδια του επιλεγμένου σώματος μεταβιβάζονται στην ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ και αρχίζει η διαδικασία παραγωγής της νέας γενιάς. Αυτή η διαδικασία, όπως άλλωστε και η πραγματική

εξέλιξη, συνεχίζεται επ' άπειρον. Κάθε γενιά βιομορφών απέχει ένα μόνο μεταλλακτικό βήμα από την προηγούμενη και την επόμενη. Ωστόσο, έπειτα από 100 γενιές ΕΞΕΛΙΞΗΣ, οι βιομορφές μπορεί να έχουν οποιαδήποτε από τις μορφές που απέχουν 100 μεταλλακτικά βήματα από τον αρχικό πρόγονο. Και σε 100 μεταλλακτικά βήματα, πολλά μπορεί να συμβούν.

Ποτέ μου δεν είχα φανταστεί πόσο πολλά, όταν άρχισα να παίζω για πρώτη φορά με το φρεσκογραμμένο πρόγραμμα της ΕΞΕΛΙΞΗΣ. Το βασικό στοιχείο που με εξέπληξε ήταν ότι οι βιομορφές μπορεί να πάσουν πολύ γρήγορα να μοιάζουν με δέντρα. Η βασική δομή της διακλάδωσης δύο κατευθύνσεων υπάρχει πάντοτε, αλλά παύει να διακρίνεται εύκολα, καθώς οι γραμμές διασταυρώνονται ξανά και ξανά, δημιουργώντας συμπαγείς χρωματιστές μάζες (που εμφανίζονται ασπρόμαυρες στις τυπωμένες εικόνες). Η εικόνα 4 δείχνει μια συγκεκριμένη εξελικτική ιστορία που καλύπτει όχι περισσότερες από 29 γενιές. Ο πρόγονος είναι ένα μικροσκοπικό ον, μια απλή κουκκίδα. Αν και το σώμα τού προγόνου είναι μια κουκκίδα, σαν ένα θακτήριο στον αρχέγονο βούρκο, υπάρχει μέσα της η δυνατότητα της διακλάδωσης με βάση το ίδιο ακριβώς πρότυπο του κεντρικού δέντρου που βλέπουμε στην εικόνα 3. Απλώς, το Γονίδιο 9 που περιέχει του δίνει εντολή να διακλασθεί μηδέν φορές! Όλα τα πλάσματα που εικονίζονται κατάγονται από την κουκκίδα, αλλά, για να μη γεμίσει η σελίδα με σχήματα, δεν τύπωσα όλους τους απογόνους που είδα. Τύπωσα μόνο το επιτυχημένο παιδί κάθε γενιάς (δηλαδή το γονέα της επόμενης γενιάς) και μία ή δύο από τις μη επιτυχημένες αδελφές του. Έτσι, η εικόνα δείχνει βασικά μόνο την κύρια γραμμή εξέλιξης, που καθοδηγήθηκε από την αισθητική μου επιλογή. Φαίνονται επίσης όλα τα στάδια της κύριας εξελικτικής γραμμής.

Ας εξετάσουμε με συντομία τις πρώτες γενιές της κύριας γραμμής εξέλιξης στην εικόνα 4. Η κουκκίδα παίρνει το σχήμα Υ στη γενιά 2. Στις επόμενες δύο γενιές το Υ γίνεται μεγαλύτερο. Κατόπιν, τα κλαδιά γίνονται λίγο καμπυλωτά και θυμίζουν σφεντόνα. Στη γενιά 7, η καμπύλωση γίνεται εντονότερη, έτσι που οι δύο διακλαδώσεις σχεδόν συναντιούνται. Στη γενιά 8, οι διακλα-



Εικόνα 4



δώσεις γίνονται μεγαλύτερες και η καθεμιά αποκτά δύο μικρές προεξοχές. Στη γενιά 9 αυτές οι προεξοχές χάνονται και πάλι, και επιμηκύνεται η λαβή της σφεντόνας. Η γενιά 10 μοιάζει με διατομή άνθους. Τα καμπυλωτά πλευρικά κλαδιά μοιάζουν με πέταλα που περικλείουν μια κεντρική προεξοχή η οποία μοιάζει με το «στίγμα». Στη γενιά 11, το ίδιο σχήμα άνθους έχει γίνει πιο μεγάλο και λίγο πιο περίπλοκο.

Δεν θα συνεχίσω την περιγραφή. Η εικόνα μιλάει μόνη της, και για τις 29 γενιές. Προσέξτε ότι κάθε γενιά είναι λίγο διαφορετική από το γονέα της και από τις αδελφές της. Αφού, λοιπόν, είναι λίγο διαφορετική από το γονέα της, εύκολα συμπεραίνουμε ότι θα είναι «λίγο πιο» διαφορετική από τους παππούδες της (και τα εγγόνια της) και ακόμη πιο διαφορετική από τους προπάππους της (και τα δισέγγονά της). Αυτό ακριβώς συμβαίνει με τη *συσσωρευτική* επιλογή, αν και, εξαιτίας του ταχέως ρυθμού μεταλλάξεων που χρησιμοποιούμε, την έχουμε επιταχύνει σε εξωπραγματικούς ρυθμούς. Γι' αυτό το λόγο, η εικόνα 4 μοιάζει περισσότερο με γενεαλογικό δέντρο *ειδών* παρά με γενεαλογικό δέντρο ατόμων. Η βασική αρχή όμως παραμένει η ίδια.

Όταν έγραφα το πρόγραμμα, δεν είχα φανταστεί ότι θα παρήγε τίποτε περισσότερο από μια ποικιλία δεντρόμορφων σχημάτων. Ήλπιζα να δω κλαίουσες ιτιές, κέδρους, λεικές, φύκια, ίσως ακόμη και κέρατα ελαφιών. Δεν ήμουν προετοιμασμένος, ούτε από τη διαίσθησή μου ως βιολόγου, ούτε από τα 20 χρόνια πείρας που έχω στον προγραμματισμό υπολογιστών, ούτε και από την πιο τρελή μου φαντασία, να δω ποτέ τα σχήματα που τελικά εμφανίστηκαν στην οθόνη. Δεν θυμάμαι σε ποιο ακριβώς σημείο της σειράς άρχισα να συνειδητοποιώ ότι ήταν δυνατό να εξελιχθούν μορφές που μοιάζουν με έντομα. Κάνοντας μια τρελή εικασία, άρχισα να αναπαράγω τη μια γενιά μετά την άλλη επιλέγοντας όποιο παιδί έμοιαζε περισσότερο με έντομο. Η έκπληξή μου μεγάλωνε όσο παρατηρούσα την εξελισσόμενη ομοιότητα. Βλέπετε τα τελικά αποτελέσματα στο κάτω μέρος της εικόνας 4. Βέβαια, έχουν οκτώ πόδια όπως οι αράχνες και όχι έξι όπως τα έντομα, αλλά ακόμη κι έτσι το αποτέλεσμα είναι εκπληκτικό! Δεν μπορώ να σας κρύψω την εξαλλη χαρά που ένιωσα όταν είδα

πρώτη φορά αυτά τα υπέροχα πλάσματα να εμφανίζονται μπροστά στα μάτια μου. Άκουσα να ηχούν καθαρά μέσα μου οι πρώτες θριαμβευτικές συγχορδίες του *Τάδε έφη Ζαρατούστρα* (του μουσικού θέματος της ταινίας 2001: *Οδύσσεια του Διαστήματος*). Δεν μπορούσα να φάω, κι εκείνη τη νύχτα τα έντομά «μου» πετούσαν πίσω από τα κλειστά μου βλέφαρα καθώς προσπαθούσα να κοιμηθώ.

Υπάρχουν στην αγορά ηλεκτρονικά παιχνίδια στα οποία ο παίκτης έχει την ψευδαίσθηση ότι περιπλανιέται σε έναν υπόγειο λαβύρινθο με σαφή αν και πολύπλοκη διαρρύθμιση: εκεί συναντά δράκοντες, μινώταυρους και άλλους μυθικούς αντιπάλους. Σ' αυτά τα παιχνίδια τα τέρατα είναι μάλλον λίγα. Έχουν σχεδιαστεί όλα από τον προγραμματιστή, όπως και η διαρρύθμιση του λαβυρίνθου. Στο παιχνίδι της εξέλιξης (είτε στον υπολογιστή είτε στην πραγματικότητα), ο παίκτης (ή παρατηρητής) νιώθει το ίδιο συναίσθημα. Αισθάνεται σαν να περιπλανιέται μέσα σε ένα λαβύρινθο με διαδρόμους που διακλαδίζονται, αλλά ο αριθμός των πιθανών διαδρομών είναι σχεδόν άπειρος: επίσης, τα τέρατα που συναντά κανείς δεν έχουν προσχεδιαστεί και γι' αυτό η μορφή τους είναι απρόβλεπτη. Στις περιπλανήσεις μου μέσα στη Χώρα των βιομορφών, συνάντησα βραγχιόποδα, ναούς των Αζτέκων, παράθυρα γοθικών εκκλησιών, καγκουρό σχεδιασμένα από ιθαγενείς της Αυστραλίας και, σε μια αξιομνημόνευτη περίπτωση που δεν κατάφερα όμως να επαναλάβω, μια αρκετά πειστική καρικατούρα του καθηγητή της λογικής του Winchester College. Η εικόνα 5 είναι μια άλλη μικρή συλλογή από τρόπαια, που όλα αναπτύχθηκαν με τον ίδιο τρόπο. Θέλω να τονίσω ότι αυτά τα σχήματα δεν είναι εντυπώσεις ζωγράφων. Δεν έχουν υποβληθεί σε καμιά επεξεργασία. Τα βλέπουμε όπως ακριβώς τα σχεδίασε ο υπολογιστής καθώς εξελίχθηκαν μέσα από το πρόγραμμα. Ο ρόλος του ανθρώπινου ματιού περιοριζόταν στην επιλογή κάποιας βιομορφής ανάμεσα στους τυχαία μεταλλαγμένους απογόνους πολλών διαδοχικών γενεών συσσωρευτικής εξέλιξης.

Τώρα έχουμε ένα πολύ πιο ρεαλιστικό μοντέλο της εξέλιξης από εκείνο με τους πιθήκους και τα έργα του Σαίξπηρ. Εντούτοις, το μοντέλο των βιομορφών είναι ακόμη ανεπαρκές. Μας δείχνει

τη δύναμη της συσσωρευτικής επιλογής να παράγει μια σχεδόν ατέλειωτη ποικιλία οιονεί βιολογικών μορφών, αλλά χρησιμοποιεί τεχνητή επιλογή και όχι φυσική. Η επιλογή γίνεται από το ανθρώπινο μάτι. Άραγε θα μπορούσαμε να απαλλαγούμε από αυτό το ρόλο και να αναθέσουμε στον ίδιο τον υπολογιστή την επιλογή, με βάση κάποιο βιολογικά ρεαλιστικό κριτήριο; Αυτό είναι πιο δύσκολο απ' όσο μπορεί να φαίνεται, και αξίζει να αφιερώσουμε λίγο χρόνο για να εξηγήσουμε γιατί.



Πατέλιος

Άνθρωπος με  
καπέλο

Σεληνόκατος



Ζυγός ακριβείας

Προϊνμή  
θρυγάνου

Σκορπιός



Ποντίκι ακροβάτης



Υία

Κατασκευαστής  
ΤσιφολίΔιαστηροφάνη  
σπιλά

Μελισσοκυλούδο



Κεφαλόποδο με κελύφος



Έκτοπος



Αίλουρι



Πορταλί



Αράχνη



Νυχτερίδα

Εικόνα 5.

Είναι πάρα πολύ εύκολο να επιλέγουμε με βάση έναν γενετικό τύπο, αρκεί να μπορούμε να διαβάσουμε τα γονίδια όλων των ζώων. Ωστόσο, η φυσική επιλογή δεν επιλέγει κατευθείαν τα γονίδια, αλλά τα αποτελέσματα της δράσης των γονιδίων στο σώμα, αποτελέσματα που ονομάζονται φαινότυποι. Το ανθρώπινο μάτι τα καταφέρνει καλά στην επιλογή φαινοτύπων, κάτι που φαίνεται και από τις πολυάριθμες ράτσες σκύλων, βοοειδών και

περιστεριών, και επίσης, ας μου επιτραπεί να πω, από τα σχήματα της εικόνας 5. Για να κάνουμε τον υπολογιστή να επιλέγει κατευθείαν τους φαινοτύπους, θα έπρεπε να γράψουμε ένα πολύ περίπλοκο και εξελιγμένο πρόγραμμα αναγνώρισης μορφών. Τέτοια προγράμματα υπάρχουν και χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση τυπωμένων ή ακόμη και χειρόγραφων γραμμάτων. Είναι όμως δύσκολα προγράμματα που αντιπροσωπεύουν την αιχμή της πληροφορικής και χρειάζονται πολύ μεγάλους και γρήγορους υπολογιστές. Δεν θα έκανα τον κόπο να γράψω ένα τέτοιο πρόγραμμα αναγνώρισης ακόμη και αν δεν βρισκόταν πέρα από τις ικανότητες μου ως προγραμματιστή, και πέρα από τις δυνατότητες του μικρού μου υπολογιστή, που έχει μνήμη 64 χιλιοψηφιδόλεξεων. Το έργο αυτό επιτελείται καλύτερα από το ανθρώπινο μάτι σε συνεργασία –κι αυτό είναι πιο σημαντικό– με τον υπολογιστή των 10 δισεκατομμυρίων νευρώνων που έχουμε μέσα στο κεφάλι μας.

Δεν θα ήταν δύσκολο να δώσουμε στον υπολογιστή την εντολή να επιλέγει κάποιο αόριστο γενικό χαρακτηριστικό, όπως για παράδειγμα, βιομορφές που είναι ψηλές και αδύνατες ή κοντές και χοντρές, ή που έχουν καμπύλες ή μυτερές προεξοχές, ή ακόμη και βιομορφές με διακόσμηση ροκοκό. Μια μέθοδος θα ήταν να προγραμματίσουμε τον υπολογιστή έτσι ώστε να θυμάται τα είδη των ιδιοτήτων που έχουν ευνοήσει οι άνθρωποι στο παρελθόν και να ασκεί μια συνεχή επιλογή του ίδιου γενικού είδους στο μέλλον. Ωστόσο, αυτό δεν μας βοηθά να πλησιάσουμε σε μια προσομοίωση της φυσικής επιλογής. Το σημαντικό είναι ότι η φύση δεν χρειάζεται υπολογισμούς για να κάνει την επιλογή της, εκτός από ειδικές περιπτώσεις, όπως όταν τα θηλυκά παγόνια επιλέγουν τα αρσενικά. Στη φύση, ο συνηθισμένος παράγοντας επιλογής είναι απλός και ξεκάθαρος: ο θάνατος. Φυσικά, οι λόγοι για τους οποίους κάποιος οργανισμός επιβιώνει είναι κάθε άλλο παρά απλοί. Γι' αυτό και η φυσική επιλογή μπορεί να φτιάξει ζώα και φυτά τόσο εξαιρετικής πολυπλοκότητας. Εντούτοις, ο ίδιος ο θάνατος είναι κάτι πολύ απλό και ευθύ. Ο μη τυχαίος θάνατος είναι το μόνο που χρειάζεται η φύση για την επιλογή των φαινοτύπων και, επομένως, των γονιδίων που περιέχουν.

Για να προσομοιώσουμε τη φυσική επιλογή στον υπολογιστή με έναν ενδιαφέροντα τρόπο, θα πρέπει να ξεχάσουμε τη διακόσμηση ροκοκό και όλες τις άλλες ιδιότητες που ορίζονται οπτικά. Θα πρέπει να συγκεντρώσουμε την προσοχή μας στην προσομοίωση του μη τυχαίου θανάτου. Οι βιομορφές μέσα στον υπολογιστή θα πρέπει να αλληλεπιδρούν με ένα εχθρικό περιβάλλον. Κάποιο στοιχείο του σχήματός τους θα πρέπει να καθορίζει αν θα επιβιώσουν ή όχι μέσα σ' αυτό. Στην ιδανική περίπτωση, το εχθρικό περιβάλλον θα πρέπει να περιέχει διάφορες εξελισσόμενες βιομορφές: «αρπακτικά», «θηράματα», «παράσιτα», «ανταγωνιστές». Το συγκεκριμένο σχήμα μιας βιομορφής-θηράματος θα πρέπει να καθορίζει πόσο κινδυνεύει να συλληφθεί, για παράδειγμα, από συγκεκριμένες αρπακτικές βιομορφές. Αυτά τα κριτήρια κινδύνου δεν πρέπει να έχουν δοθεί από τον προγραμματιστή. Θα πρέπει να αναδύονται από μόνα τους, με τον ίδιο τρόπο που αναδύονται και τα ίδια τα σχήματα. Τότε η εξέλιξη στον υπολογιστή θα «απογειωνόταν» πραγματικά, γιατί θα υπήρχαν οι απαραίτητες προϋποθέσεις για έναν αυτοεπισχυόμενο «ανταγωνισμό εξοπλισμών» (βλ. Κεφάλαιο 7), και δεν τολμώ να κάνω υποθέσεις για το πού θα μπορούσε να οδηγήσει. Δυστυχώς, νομίζω ότι είναι πέρα από τις ικανότητές μου ως προγραμματιστή να δημιουργήσω έναν τέτοιο τεχνητό κόσμο.

Αν κάποιος έχει τις ικανότητες να το κάνει, είναι οι προγραμματιστές που επινοούν εκείνα τα θορυβώδη και ανούσια «πολεμικά» παιχνίδια, τα παράγωγα των «Διαστημικών εισβολέων». Αυτά τα προγράμματα προσομοιώνουν έναν ψεύτικο κόσμο. Ο κόσμος αυτός έχει συγκεκριμένη γεωγραφία, συχνά σε τρεις διαστάσεις, καθώς και ταχεία χρονική διάσταση. Διάφορα όντα κινούνται μέσα στον προσομοιωμένο τρισδιάστατο χώρο, συγκρούονται μεταξύ τους, πυροβολούν το ένα το άλλο και αλληλοκαταπίνονται με αηδιαστικούς ήχους. Η προσομοίωση μπορεί να είναι τόσο επιτυχημένη, ώστε ο παίκτης να έχει την ψευδαίσθηση ότι αποτελεί και ο ίδιος μέρος του τεχνητού κόσμου. Φαντάζομαι ότι το αποκορύφωμα αυτών των προγραμμάτων είναι εκείνα που χρησιμοποιούνται στους ειδικούς θαλάμους για την εκπαίδευση πιλότων για αεροσκάφη και διαστημόπλοια. Εντούτοις, ακόμη κι

αυτά τα προγράμματα είναι απλούστατα σε σύγκριση με αυτό που θα έπρεπε να γραφτεί για να προσομοιωθεί ένας αναδυόμενος ανταγωνισμός εξοπλισμών ανάμεσα σε αρπακτικές βιομορφές και σε βιομορφές-θηράματα, ενσωματωμένος σε ένα πλήρες, τεχνητό οικοσύστημα. Σίγουρα όμως κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει. Αν υπάρχει ανάμεσα στους αναγνώστες κάποιος επαγγελματίας προγραμματιστής ή προγραμματίστρια που θα ήθελε να συνεργαστούμε γι' αυτό το σκοπό, ας επικοινωνήσει μαζί μου.

Εν τω μεταξύ, υπάρχει κάτι άλλο που είναι πολύ πιο εύκολο και που σκοπεύω να το δοκιμάσω όταν έρθει το καλοκαίρι. Θα τοποθετήσω τον υπολογιστή σε ένα σκιερό μέρος του κήπου. Η οθόνη του είναι έγχρωμη και έχω ήδη μια μορφή του προγράμματος η οποία χρησιμοποιεί μερικά ακόμη «γονίδια» που ελέγχουν το χρώμα, με τον ίδιο γενικό τρόπο με τον οποίο τα άλλα εννέα γονίδια ελέγχουν το σχήμα. Θα αρχίσω με μια λίγο ως πολύ συμπαγή βιομορφή με ζωηρά χρώματα. Ο υπολογιστής θα προβάλλει στην οθόνη του μια σειρά από μεταλλαγμένους απογόνους της εν λόγω βιομορφής που θα διαφέρουν από αυτή στο σχήμα και/ή στη χρωματική διάταξη. Πιστεύω ότι οι μέλισσες, οι πεταλούδες και άλλα έντομα θα πετούν πάνω στην οθόνη και θα «επιλέγουν» ένα συγκεκριμένο σημείο της. Όταν θα καταγράφεται ένας ορισμένος αριθμός επιλογών, ο υπολογιστής θα καθαρίζει την οθόνη, θα παράγει μια νέα γενιά από τη βιομορφή που θα έχει επιλεγεί με αυτό τον τρόπο και θα προβάλλει την επόμενη γενιά μεταλλαγμένων απογόνων.

Έχω σοβαρές ελπίδες ότι, έπειτα από μεγάλο αριθμό γενεών, τα έντομα θα προκαλέσουν την εξέλιξη λουλουδιών στην οθόνη του υπολογιστή. Αν το κάνουν αυτό, τα λουλούδια του υπολογιστή θα έχουν εξελιχθεί κάτω από την ίδια ακριβώς πίεση επιλογής που προκάλεσε και την εξέλιξη πραγματικών λουλουδιών. Ένα στοιχείο που με ενθαρρύνει είναι το γεγονός ότι, όπως είναι γνωστό, τα έντομα συχνά πετούν πάνω στα φορέματα των γυναικών, όπου υπάρχουν ζωηρά χρώματα. Με ενθαρρύνουν επίσης και ορισμένα πιο συστηματικά σχετικά πειράματα που έχουν δημοσιευτεί. Μια εναλλακτική πιθανότητα, την οποία βρίσκω ακόμη πιο συναρπαστική, είναι ότι τα έντομα μπορεί να προκαλέ-

σουν την εξέλιξη εντομοειδών σχημάτων. Υπάρχει ένα σχετικό προηγούμενο, γι' αυτό και έχω ελπίδες: οι μέλισσες στο παρελθόν προκάλεσαν την εξέλιξη της λεγόμενης οφρύος της απιοφόρου, της μελισσόμορφης ορχιδέας. Οι κηφήνες, έπειτα από πολλές γενιές συσσωρευτικής εξέλιξης της ορχιδέας, οδήγησαν στην επιλογή του μελισσόμορφου σχήματος, επειδή προσπαθούσαν να συνουσιαστούν με τα λουλούδια κι έτσι μετέφεραν γύρη. Φανταστείτε χρωματιστό το «μελισσολούλουδο» της εικόνας 5. Δεν θα σας άρεσε αν ήσαστε μέλισσα;

Από την άλλη πλευρά, ο βασικός λόγος που με κάνει απαισιόδοξο είναι ότι η όραση των εντόμων λειτουργεί με πολύ διαφορετικό τρόπο απ' ό,τι η δική μας. Οι οθόνες των υπολογιστών είναι φτιαγμένες για τα μάτια των ανθρώπων και όχι των μελισσών. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι, παρόλο που τόσο εμείς όσο και οι μέλισσες –καθένας με τον δικό του διαφορετικό τρόπο– βλέπουμε ότι η οφρύς μοιάζει με μέλισσα, οι μέλισσες μπορεί να μη βλέπουν καθόλου τις εικόνες που σχηματίζονται στην οθόνη ενός υπολογιστή. Μπορεί να βλέπουν μόνο 625 γραμμές σάρωσης! Παρ' όλα αυτά, αξίζει τον κόπο να δοκιμάσω. Μέχρι να εκδοθεί αυτό το βιβλίο, θα ξέρω την απάντηση.

Σύμφωνα με μια δημοφιλή στερεότυπη φράση, δεν μπορούμε να πάρουμε από έναν υπολογιστή περισσότερα απ' όσα του δίνουμε. Σε άλλες διατυπώσεις του ίδιου ισχυρισμού τονίζεται ότι οι υπολογιστές κάνουν μόνο αυτό ακριβώς που τους λέμε και, επομένως, δεν είναι ποτέ δημιουργικοί. Αυτό είναι σωστό μόνο κατά μια ισοπεδωτικά επιπόλαιη έννοια –με την ίδια έννοια θα λέγαμε ότι ο Σαίξπηρ δεν έγραψε ποτέ τίποτε περισσότερο από αυτά που του έμαθε ο πρώτος του δάσκαλος: λέξεις, Προγραμματίσα την ΕΞΕΛΙΞΗ στον υπολογιστή, αλλά δεν σχεδίασα τα έντομά «μου», ούτε το σκορπιό, ούτε το Σπίτφαιρ, ούτε τη σεληνάκατο. Δεν είχα την παραμικρή ιδέα ότι θα εμφανιστούν. Είναι αλήθεια, βέβαια, ότι τα μάτια μου έκαναν τις επιλογές που καθοδηγούσαν την εξέλιξη, αλλά σε κάθε στάδιο ήμουν περιορισμένος σε μια χούφτα απογόνους που μου προσέφεραν οι τυχαίες μεταλλάξεις, και η «στρατηγική» των επιλογών μου ήταν ομορποτυπική, αυθαίρετη και βραχυπρόθεσμη. Δεν προσπαθούσα να φτά-



σω σε κανέναν απότερο στόχο, και το ίδιο ισχύει για τη φυσική επιλογή.

Θα ήθελα να επιμείνω σ' αυτό το σημείο, μιλώντας για τη μοναδική φορά κατά την οποία *προσπάθησα* να επιτύχω έναν απότερο στόχο. Πρώτα πρέπει να ομολογήσω κάτι —έτσι κι αλλιώς, κατά πάσα πιθανότητα θα το έχετε ήδη μαντέψει. Η εξελικτική ιστορία της εικόνας 4 είναι μια ανασυγκρότηση. Δεν ήταν αυτή η πρώτη φορά που είδα τα έντομά «μου». Όταν εμφανίστηκαν αρχικά, κάτω από τους θριαμβευτικούς ήχους των πνευστών, δεν υπήρχε τρόπος να καταγράψω τα γονίδια τους. Τα σχήματα βρίσκονταν μπροστά μου, στην οθόνη του υπολογιστή, αλλά ήταν απρόσιτα, δεν μπορούσα να αποκρυπτογραφήσω τα γονίδια τους. Άφησα τον υπολογιστή αναμμένο, ενώ έσπαγα το κεφάλι μου για να βρω έναν τρόπο να τα γράψω στη μνήμη του εντούτοις, ήταν αδύνατο. Τα γονίδια βρίσκονταν κρυμμένα πολύ βαθιά, όπως είναι και στην πραγματικότητα. Μπορούσα να εκτυπώσω εικόνες των σωμάτων των εντόμων, αλλά είχα χάσει τα γονίδια τους. Στη συνέχεια τροποποίησα αμέσως το πρόγραμμα, ώστε στο μέλλον να διατηρεί ένα αρχείο με τους γενετικούς τύπους των βιομορφών, αλλά ήταν πια αργά. Είχα χάσει τα έντομά μου.

Βάλλθηκα να τα «ξαναβρώ». Είχαν εξελιχθεί μια φορά, έτσι φανταζόμουν ότι θα μπορούσα να τα εξελίξω και πάλι. Περιπλανιόμουν στη Χώρα των βιομορφών, διασχίζοντας μια απέραντη έκταση από παράξενα όντα και πράγματα, αλλά δεν μπορούσα να βρω τα έντομά μου. Ήξερα ότι πρέπει να ήταν κάπου εκεί. Γνώριζα τα γονίδια από τα οποία είχε ξεκινήσει η αρχική εξέλιξη. Είχα μια εικόνα των σωμάτων τους. Είχα ακόμη και μια εικόνα της εξελικτικής σειράς των σωμάτων που οδηγούσαν από την αρχική κουκκίδα στα έντομά μου με μικρές σταδιακές αλλαγές. Δεν ήξερα όμως τον γενετικό τους τύπο.

Νόμιζα ότι θα ήταν αρκετά εύκολο να ξαναβρώ τη συγκεκριμένη εξελικτική διαδρομή, αλλά δεν ήταν. Ο λόγος —στον οποίο θα επανέλθω αργότερα— είναι ο αστρονομικός αριθμός των δυνατών βιομορφών που μπορεί να προσφέρει μια εξελικτική διαδρομή με αρκετό μήκος, ακόμη και όταν υπάρχουν μόνο εννέα γονίδια. Σ' αυτό το προσκύνημά μου στη Χώρα των βιομορφών, πλη-

σίασα αρκετές φορές σε έναν πρόδρομο των εντόμων μου, αλλά παρά τις προσπάθειες που κατέβαλα στο θέμα της επιλογής, η εξέλιξη ακολουθούσε ένα δρόμο που αποδεικνυόταν λαθεμένος. Κάποια στιγμή όμως, έπειτα από πολλές εξελικτικές περιπλανήσεις μου, κατάφερα τελικά να τα στριμώξω – και η αίσθηση του θριάμβου δεν ήταν μικρότερη απ' ό,τι την πρώτη φορά. Δεν ήξερα (και εξακολουθώ να μην ξέρω) αν αυτά τα έντομα είναι ακριβώς ίδια με τα αρχικά ή αν παρουσιάζουν απλώς μια επιφανειακή «σύγκλιση» (βλ. στο επόμενο κεφάλαιο). Ωστόσο, ακόμη και μια τέτοια σύγκλιση μου ήταν αρκετή. Αυτή τη φορά δεν έκανα το ίδιο λάθος: έγραψα τον γενετικό τύπο και τώρα μπορώ να «εξελιξώ» έντομα όποτε θέλω.

Παραδέχομαι ότι η όλη περιγραφή έχει γίνει κάπως δραματική, αλλά το κάνω για να τονίσω κάτι σημαντικό. Το θέμα είναι ότι αν και εγώ προγραμματίσα τον υπολογιστή, λέγοντάς του λεπτομερώς τι να κάνει, δεν σχεδίασα τα ζώα που εξελίχθηκαν και ξαφνιάστηκα εντελώς όταν είδα για πρώτη φορά τις πρόδρομες μορφές τους. Ο έλεγχος της εξέλιξης ήταν τόσο δύσκολος, ώστε όταν θέλησα να επαναλάβω μια συγκεκριμένη εξελικτική διαδρομή αποδείχτηκε ότι ήταν σχεδόν αδύνατο. Πιστεύω ότι δεν θα κατάφερα να ξαναβρώ τα έντομά μου αν δεν είχα εκτυπώσει μια εικόνα *όλης της σειράς* των εξελικτικών προδρόμων τους, αλλά, ακόμη και τότε, η διαδικασία ήταν δύσκολη και χρειάστηκε πολλή δουλειά. Σας φαίνεται παράξενο το ότι ο προγραμματιστής δεν έχει τη δυνατότητα να ελέγξει ή να προβλέψει την πορεία της εξέλιξης στον υπολογιστή; Μήπως σημαίνει ότι κάτι το μυστηριώδες, ή μυστικιστικό, συμβαίνει μέσα στον υπολογιστή; Και θέβαια όχι. Ούτε και υπάρχει τίποτε το μυστικιστικό στην εξέλιξη των πραγματικών ζώων και φυτών. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο υπολογιστή για να επιλύσουμε το παράδοξο και ταυτόχρονα να μάθουμε κάποια στοιχεία για τη διαδικασία της πραγματικής εξέλιξης.

Σ' αυτό το σημείο θα προτρέξω, για να πω ότι η επίλυση του παραδόξου θα αποδειχτεί ότι είναι η εξής: υπάρχει ένα σαφές σύνολο βιομορφών, που η καθεμιά τους έχει τη δική της μοναδική θέση μέσα σε έναν μαθηματικό χώρο. Βρίσκεται μόνιμα εκεί,

με την έννοια ότι, αν ξέρουμε τον γενετικό της τύπο, μπορούμε να τη βρούμε αμέσως. Επιπλέον, οι γείτονές της σ' αυτό το είδος του χώρου είναι βιομορφές που διαφέρουν από αυτή κατά ένα μόνο γονίδιο. Τώρα που γνωρίζω τον γενετικό τύπο των εντόμων μου, μπορώ να τα αναπαράγω κατά βούληση και μπορώ ακόμη να δώσω στον υπολογιστή την εντολή να οδηγήσει στην εξέλιξη προς αυτές τις βιομορφές από οποιαδήποτε αυθαίρετη αφετηρία. Όταν αναπτύσσεις για πρώτη φορά ένα νέο ον με τεχνητή επιλογή στο μοντέλο υπολογιστή, αισθάνεσαι ότι πρόκειται για μια δημιουργική διαδικασία. Και έτσι είναι. Εντούτοις, στην πραγματικότητα, εκείνο που κάνεις είναι ότι *βρίσκεις* το ον, γιατί, κατά μια μαθηματική έννοια, βρίσκεται ήδη στη θέση του στον γενετικό χώρο των βιομορφών. Ο λόγος για τον οποίο η ανάπτυξη ενός νέου όντος αποτελεί αληθινά δημιουργική διαδικασία είναι ότι η ανεύρεση οποιοδήποτε συγκεκριμένου όντος είναι εξαιρετικά δύσκολη, απλώς και μόνο επειδή η Χώρα των βιομορφών είναι πάρα πολύ μεγάλη και ο συνολικός αριθμός των όντων που περιλαμβάνει είναι σχεδόν άπειρος. Είναι αδύνατο να ψάχνεις άσκοπα και τυχαία. Πρέπει να υιοθετήσεις μια πιο αποτελεσματική –δημιουργική– ερευνητική διαδικασία.

Μερικοί πιστεύουν ότι οι υπολογιστές που παίζουν σκάκι λειτουργούν δοκιμάζοντας όλους τους δυνατούς συνδυασμούς κινήσεων. Αυτό τους παρηγορεί όταν τους νικάει ένας υπολογιστής, η πεποίθησή τους όμως είναι εντελώς λαθεμένη. Υπάρχουν πάρα πολλές δυνατές κινήσεις στο σκάκι. Ο χώρος έρευνας υπερβαίνει κατά δισεκατομμύρια φορές τα όρια μέσα στα οποία θα μπορούσε να είναι επιτυχημένη μια τυφλή αναζήτηση. Η τέχνη της δημιουργίας ενός καλού προγράμματος σκακιού στηρίζεται στην εξεύρεση αποτελεσματικών μεθόδων που επιτρέπουν στον υπολογιστή να «κόβει δρόμο» μέσα στο χώρο έρευνας. Η συσσωρευτική επιλογή, είτε πρόκειται για την τεχνητή επιλογή ενός μοντέλου υπολογιστή είτε για τη φυσική επιλογή στον πραγματικό κόσμο, είναι μια αποτελεσματική διαδικασία αναζήτησης και οι συνέπειές της θυμίζουν σε μεγάλο βαθμό τη λειτουργία της δημιουργικής νοημοσύνης. Αυτή ήταν σε τελική ανάλυση η ουσία του επιχειρήματος του σχεδιασμού το οποίο προέβαλε ο William

Paley. Από τεχνική άποψη, όταν παίζουμε το παιχνίδι των βιομορφών στον υπολογιστή, εκείνο που κάνουμε είναι να *βρίσκουμε ζώα που, με μια μαθηματική έννοια, περιμένουν την ανακάλυψή τους*. Αυτή η αναζήτηση δίνει την αίσθηση καλλιτεχνικής δημιουργίας. Η αναζήτηση σε έναν μικρό χώρο που περιέχει μερικές μόνο οντότητες δεν δίνει απαραίτητα την αίσθηση μιας δημιουργικής διαδικασίας. Αυτό συμβαίνει με το παιδικό παιχνίδι «βρες το δαχτυλίδι». Το να αναποδογυρίζουμε πράγματα στην τύχη ελπίζοντας ότι θα βρούμε το αντικείμενο που αναζητούμε έχει συνήθως αποτέλεσμα όταν ο ερευνώμενος χώρος είναι μικρός. Καθώς ο χώρος έρευνας μεγαλώνει, χρειάζονται όλο και πιο εξελιγμένες μέθοδοι αναζήτησης. Και όταν ο χώρος έρευνας είναι επαρκώς μεγάλος, οι αποτελεσματικές μέθοδοι δεν διαφέρουν σε τίποτε από τη γνήσια δημιουργικότητα.

Τα βιομορφικά μοντέλα υπολογιστή προβάλλουν τη σπουδαιότητα αυτών των θεμάτων και αποτελούν μια ερευνητική γέφυρα ανάμεσα στις ανθρώπινες δημιουργικές διαδικασίες, όπως ο προγραμματισμός μιας επιτυχημένης στρατηγικής στο σκάκι, και στην εξελικτική δημιουργικότητα της φυσικής επιλογής, του τυφλού ωρολογοποιού. Για να το δούμε σαφέστερα αυτό, πρέπει να δώσουμε στη Χώρα των βιομορφών τη μορφή ενός μαθηματικού «χώρου», μιας απέραντης αλλά εύτακτης έκτασης μορφολογικής ποικιλίας όπου κάθε ον βρίσκεται στη σωστή του θέση και περιμένει να ανακαλυφθεί. Τα 17 όντα της εικόνας 5 δεν έχουν διαταχθεί με καμιά ιδιαίτερη σειρά στη σελίδα. Στη Χώρα των βιομορφών όμως το καθένα καταλαμβάνει τη δική του μοναδική θέση, που καθορίζεται από τον γενετικό του τύπο, και περιβάλλεται από τους δικούς του συγκεκριμένους γείτονες. Όλα τα όντα της Χώρας των βιομορφών έχουν συγκεκριμένη χωρική σχέση μεταξύ τους. Τι σημαίνει αυτό; Τι νόημα μπορούμε να προσδώσουμε στη θέση ενός όντος;

Ο χώρος για τον οποίο μιλάμε είναι γενετικός χώρος. Μέσα σ' αυτόν, κάθε ζώο έχει τη δική του θέση. Οι κοντινοί γείτονες είναι ζώα που διαφέρουν μεταξύ τους κατά μία μόνο μετάλλαξη. Στην εικόνα 3, το βασικό δέντρο, που βρίσκεται στο κέντρο, το περιβάλλουν 8 από τους 18 άμεσους γείτονές του στον γενετικό

χώρο. Οι 18 γείτονες ενός ζώου είναι τα 18 διαφορετικά είδη παιδιών που μπορεί να παραγάγει και τα 18 διαφορετικά είδη γονέων από τα οποία θα μπορούσε να έχει προέλθει, με βάση τους κανόνες του μοντέλου υπολογιστή. Στο επόμενο βήμα, κάθε ζώο έχει 324 γείτονες ( $18 \times 18$ , αν αγνοήσουμε τις ανάστροφες μεταλλάξεις, για να απλουστεύσουμε την κατάσταση). Αυτοί οι 324 γείτονες είναι το σύνολο των δυνατών εγγονών, παππούδων, θείων και ανιψιών του ζώου. Προχωρώντας άλλο ένα βήμα, διαπιστώνουμε ότι κάθε ζώο έχει 5.832 γείτονες ( $18 \times 18 \times 18$ ), το σύνολο των δυνατών δισέγγωνων, προπάππων, πρώτων ξαδέρφων, κ.λπ.

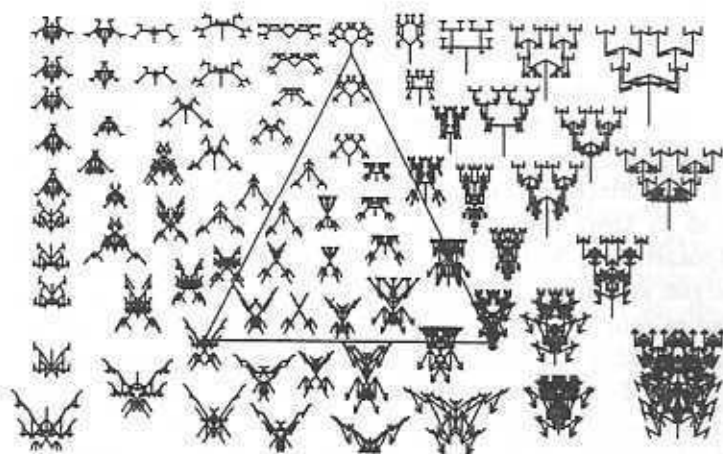
Για ποιο λόγο θα πρέπει να εισαγάγουμε την έννοια του γενετικού χώρου; Σε τι μας βοηθάει; Η απάντηση είναι ότι μας παρέχει έναν τρόπο για να κατανοήσουμε την εξέλιξη ως μια σταδιακή, συσσωρευτική διαδικασία. Σε οποιαδήποτε γενιά, σύμφωνα με τους κανόνες του μοντέλου υπολογιστή, είναι δυνατό να κινηθούμε μόνο κατά ένα βήμα μέσα στον γενετικό χώρο. Σε 29 γενιές δεν μπορούμε να απομακρυνθούμε περισσότερο από 29 βήματα από τον αρχικό πρόγονο. Κάθε εξελικτική ιστορία αποτελεί μια συγκεκριμένη διαδρομή ή τροχιά μέσα στον γενετικό χώρο. Για παράδειγμα, η εξελικτική ιστορία που καταγράφεται στην εικόνα 4 είναι μια συγκεκριμένη ελικοειδής τροχιά η οποία συνδέει μια κουκκίδα με ένα έντομο, περνώντας από 28 ενδιάμεσα βήματα. Αυτό ακριβώς εννοώ όταν μιλώ μεταφορικά για περιπλάνηση μέσα στη Χώρα των βιομορφών.

Ήθελα να αναπαραστήσω αυτό τον γενετικό χώρο με τη μορφή μιας εικόνας. Το πρόβλημα είναι ότι οι εικόνες είναι δισδιάστατες. Ο γενετικός χώρος μέσα στον οποίο υπάρχουν οι βιομορφές δεν είναι δισδιάστατος. Δεν είναι καν τρισδιάστατος. Είναι ένας χώρος εννέα διαστάσεων! [Σε σχέση με τα μαθηματικά, καλό θα είναι να θυμόμαστε ότι δεν πρέπει να μας τρομάζουν. Στην πραγματικότητα, δεν είναι τόσο δύσκολα όσο τα παρουσιάζουν μερικές φορές οι αρχιερείς τους. Κάθε φορά που αισθάνομαι να πτοούμαι από κάποια μαθηματική έννοια, θυμάμαι το απόφθεγμα του Silvanus Thompson από το βιβλίο του *Calculus Made Easy* (Μάθετε εύκολα τον απειροστικό λογισμό): «Αυτό που μπορεί να

κάνει ένας βλάκας, μπορεί να το κάνει και ένας άλλος».] Αν είχαμε τη δυνατότητα να σχεδιάσουμε σε εννέα διαστάσεις, θα μπορούσαμε να αντιστοιχίσουμε μία διάσταση σε ένα γονίδιο. Η θέση ενός συγκεκριμένου ζώου (λόγου χάρη, του σκορπιού, της νυχτερίδας ή του εντόμου) προσδιορίζεται μέσα στον γενετικό χώρο από την αριθμητική τιμή των εννέα γονιδίων του. Η εξελικτική αλλαγή συνίσταται σε μια κίνηση βήμα προς βήμα μέσα στο χώρο εννέα διαστάσεων. Η γενετική διαφορά ανάμεσα σε ένα ζώο και σε ένα άλλο, και επομένως ο χρόνος που χρειάστηκε για να εξελιχθεί, καθώς και η δυσκολία της εξέλιξης από το ένα στο άλλο, καθορίζονται από την απόσταση που τα χωρίζει μέσα στο χώρο εννέα διαστάσεων.

Δυστυχώς, δεν μπορούμε να σχεδιάσουμε σε εννέα διαστάσεις. Προσπάθησα να βρω έναν τρόπο για να παρακάμψω αυτό το πρόβλημα και να σχεδιάσω μια δισδιάστατη εικόνα που να δίνει σε κάποιο βαθμό την αίσθηση της κίνησης από σημείο σε σημείο μέσα στον γενετικό χώρο των βιομορφών. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να γίνει αυτό, και διάλεξα έναν που τον ονομάζω «τέχνασμα του τριγώνου». Κοιτάζτε την εικόνα 6. Στις γωνίες τού τριγώνου υπάρχουν τρεις αυθαίρετα επιλεγμένες βιομορφές. Στην κορυφή βρίσκεται το βασικό δέντρο και στην αριστερή γωνία ένα από τα έντομά «μου», ενώ το ον στα δεξιά δεν έχει όνομα, αλλά το διάλεξα γιατί μου άρεσε. Καθεμιά από αυτές τις βιομορφές έχει τον δικό της γενετικό τύπο, ο οποίος καθορίζει τη δική της μοναδική θέση μέσα στον γενετικό χώρο εννέα διαστάσεων.

Το τρίγωνο βρίσκεται πάνω σε ένα δισδιάστατο «επίπεδο» που κόβει τον υπερόγκο εννέα διαστάσεων (μην ξεχνάτε, αυτό που μπορεί να κάνει ένας βλάκας μπορεί να το κάνει και ένας άλλος). Το επίπεδο μοιάζει με ένα κομμάτι τζαμιού που το χώνουμε μέσα σε ζελέ. Πάνω στο τζάμι είναι σχηματισμένο το τρίγωνο καθώς και μερικές από τις βιομορφές των οποίων οι γενετικοί τύποι τους δίνουν το δικαίωμα να βρίσκονται στο συγκεκριμένο επίπεδο. Τι ακριβώς είναι εκείνο που τους παρέχει αυτό το δικαίωμα; Για να απαντήσουμε στο ερώτημα, θα χρησιμοποιήσουμε τις τρεις βιομορφές που βρίσκονται στις γωνίες του τριγώνου, τις οποίες ονομάζουμε βιομορφές αναφοράς.

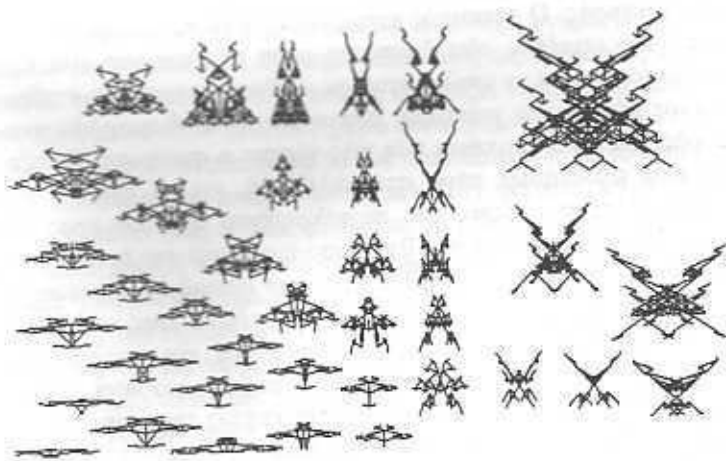


Εικόνα 6.

Θυμηθείτε ότι η όλη ιδέα της «απόστασης» μέσα στον γενετικό «χώρο» προκύπτει από το γεγονός ότι οι γενετικά όμοιες βιομορφές είναι κοντινοί γείτονες, ενώ οι γενετικά διαφορετικές βιομορφές είναι μακρινοί γείτονες. Σ' αυτό το συγκεκριμένο επίπεδο, οι αποστάσεις υπολογίζονται σε σχέση με τις τρεις βιομορφές αναφοράς. Ο γενετικός τύπος οποιουδήποτε δεδομένου σημείου του επιπέδου, είτε θρίσκεται μέσα στο τρίγωνο είτε έξω από αυτό, μπορεί να υπολογιστεί ως ο «βαρυκεντρικός ή σταθμισμένος μέσος» των γενετικών τύπων των τριών βιομορφών αναφοράς. Θα έχετε μαντέψει ήδη πώς γίνεται η στάθμιση. Βασίζεται στις αποστάσεις πάνω στη σελίδα, ή, για να είμαστε πιο ακριβείς, στην *εγγύτητα* του συγκεκριμένου σημείου προς τις τρεις βιομορφές αναφοράς. Έτσι, όσο πιο κοντά στο έντομο θρίσκεται ένα σημείο του επιπέδου, τόσο πιο εντομόμορφες είναι οι βιομορφές. Καθώς κινούμαστε πάνω στο επίπεδο προς το δέντρο, τα «έντομα» γίνονται λιγότερο εντομόμορφα και περισσότερο δεντρόμορφα. Στο κέντρο του τριγώνου τα ζώα –για παράδειγμα, η αράχνη με την επτάφωτη λυχνία στο κεφάλι της– αντιπροσωπεύουν διάφορους «γενετικούς συμβιβασμούς» που μοιάζουν και με τις τρεις βιομορφές αναφοράς.



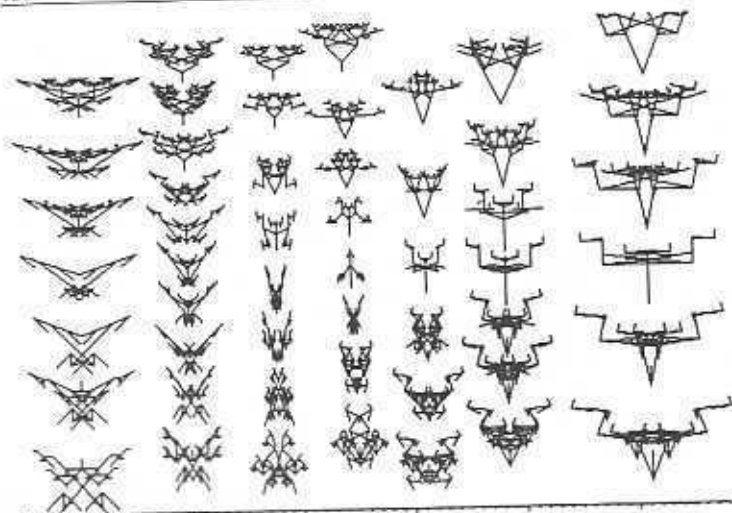
Ωστόσο, αυτή η περιγραφή δίνει μεγάλη σημασία στις τρεις βιομορφές αναφοράς. Οποσδήποτε, ο υπολογιστής τις χρησιμοποίησε για να υπολογίσει τον γενετικό τύπο κάθε σημείου του επιπέδου, στην πραγματικότητα όμως για το σκοπό αυτό θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε οποιαδήποτε τρία σημεία αναφοράς του επιπέδου· τα αποτελέσματα θα ήταν ακριβώς τα ίδια. Γι' αυτό το λόγο, στην εικόνα 7 δεν έχω σχηματίσει το τρίγωνο. Πρόκειται για το ίδιο είδος εικόνας με την εικόνα 6, μόνο που δείχνει ένα διαφορετικό επίπεδο. Το ίδιο έντομο αποτελεί το ένα από τα τρία σημεία αναφοράς, αυτή τη φορά εκείνο που βρίσκεται στα δεξιά. Τα άλλα σημεία αναφοράς σ' αυτή την περίπτωση είναι το Σπίτφαιρ και το μελισσολούλουδο, που εμφανίζονται στην εικόνα 5. Θα προσέξετε ότι και σ' αυτό το επίπεδο οι κοντινές βιομορφές μοιάζουν μεταξύ τους περισσότερο απ' ό,τι οι μακρινές. Για παράδειγμα, το Σπίτφαιρ είναι μέρος ενός «σμήνους» παρόμοιων αεροσκαφών που μοιάζουν να πετούν σε σχηματισμό. Επειδή το έντομο βρίσκεται και στα δύο επίπεδα, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αυτά τέμνονται. Σε σχέση με την εικόνα 6 το επίπεδο της εικόνας 7 έχει «περιστραφεί» γύρω από το έντομο.



Εικόνα 7.

Η παράλειψη του τριγώνου αποτελεί μια βελτίωση της μεθόδου μας, γιατί το τρίγωνο μας αποσπούσε την προσοχή. Έδινε αδικαιολόγητη έμφαση στα τρία συγκεκριμένα σημεία του επιπέδου. Έχουμε όμως να κάνουμε άλλη μια βελτίωση. Στις εικόνες 6 και 7, η απόσταση στο χώρο αντιπροσωπεύει γενετική απόσταση, οι κλίμακες όμως είναι παραμορφωμένες. Ένα εκατοστό προς τα πάνω δεν είναι αναγκαστικά ισοδύναμο με ένα εκατοστό προς τα δεξιά ή τα αριστερά. Για να διορθώσουμε αυτό το πρόβλημα, πρέπει να επιλέξουμε με προσοχή τις τρεις βιομορφές αναφοράς, έτσι ώστε οι γενετικές αποστάσεις μεταξύ τους να είναι ίσες. Αυτό ακριβώς κάναμε στην εικόνα 8. Και πάλι δεν δίνουμε το τρίγωνο. Τα τρία σημεία αναφοράς είναι ο σκορπιός της εικόνας 5, το έντομο και πάλι (έχουμε ξανά μια «περιστροφή» γύρω από αυτό), και η μάλλον μη περιγράψιμη βιομορφή στην κορυφή της εικόνας. Αυτές οι τρεις βιομορφές απέχουν 30 μεταλλάξεις η μια από την άλλη. Αυτό σημαίνει ότι η εξέλιξη από τη μια βιομορφή προς οποιαδήποτε από τις άλλες δύο γίνεται με την ίδια ευκολία. Και στις τρεις περιπτώσεις, πρέπει να πάρουμε ένα μίνιμουμ 30 γενετικών βημάτων. Οι μικρές κουκκίδες στο κάτω περιθώριο της εικόνας 8 αντιπροσωπεύουν μονάδες απόστασης μετρημένες σε γονίδια. Μπορούμε να πούμε ότι πρόκειται για έναν γενετικό «κανόνα». Ο κανόνας δεν ισχύει μόνο για την οριζόντια κατεύθυνση. Μπορούμε να τον γείρουμε προς οποιαδήποτε κατεύθυνση και να μετρήσουμε τη γενετική απόσταση, και επομένως τον ελάχιστο χρόνο εξέλιξης, ανάμεσα σε δύο οποιαδήποτε σημεία του επιπέδου. (Δυστυχώς, αυτό δεν ισχύει και πάνω στη σελίδα, γιατί ο εκτυπωτής του υπολογιστή παραμορφώνει τις αναλογίες, αλλά η παραμόρφωση αυτή είναι πολύ μικρή για να μας ενοχλήσει. Ωστόσο, σημαίνει ότι θα βρείτε ένα ελαφρώς εσφαλμένο αποτέλεσμα αν μετρήσετε απλώς τις κουκκίδες της κλίμακας.)

Αυτά τα δισδιάστατα επίπεδα που τέμνουν τον γενετικό χώρο εννέα διαστάσεων μάς δίνουν κάποια αίσθηση του τι σημαίνει να περιπλανιέται κανείς στη Χώρα των βιομορφών. Για να βελτιώσουμε αυτή την αίσθηση, θα πρέπει να θυμόμαστε ότι η εξέλιξη δεν περιορίζεται σε ένα επίπεδο. Σε μια αληθινή εξελικτική περιπλάνηση θα μπορούσατε οποιαδήποτε στιγμή να περάσετε σε ένα



Εικόνα 8.

άλλο επίπεδο, για παράδειγμα, από το επίπεδο της εικόνας 6 στο επίπεδο της εικόνας 7 (στην περιοχή του εντόμου, όπου τα δύο επίπεδα πλησιάζουν μεταξύ τους).

Είπα ότι ο «γενετικός κανόνας» της εικόνας 8 μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τον ελάχιστο χρόνο που θα χρειαζόταν για να προχωρήσει η εξέλιξη από ένα σημείο σε ένα άλλο. Αυτό ισχύει, δεδομένων των περιορισμών του αρχικού μοντέλου, εδώ όμως θα πρέπει να τονίσουμε τη λέξη *ελάχιστο*. Αφού το έντομο και ο σκορπιός απέχουν 30 γενετικές μονάδες μεταξύ τους, χρειάζονται μόνο 30 γενιές για να προχωρήσει η εξέλιξη από τη μια βιομορφία στην άλλη, με την προϋπόθεση ότι δεν θα κάνει ούτε μία λαθεμένη στροφή. Δηλαδή, με την προϋπόθεση ότι γνωρίζουμε τον γενετικό τύπο προς τον οποίο κατευθυνόμαστε και ξέρουμε επίσης πώς να κινηθούμε προς αυτόν. Στην πραγματική εξέλιξη, δεν υπάρχει τίποτε που να αντιστοιχεί με αυτή τη σκόπιμη κίνηση προς κάποιον απότερο γενετικό στόχο.

Ας χρησιμοποιήσουμε τώρα τις βιομορφές για να επιστρέψουμε σ' αυτό που επισημάναμε με τους πιθήκους που γράφουν Άμλετ: τη σημασία της σταδιακής, βαθμιαίας αλλαγής που υπάρχει στην εξέλιξη, σε αντιδιαστολή με την καθαρή τύχη. Θα αρχίσου-

με αλλάζοντας τις μονάδες του κανόνα που υπάρχει στο κάτω μέρος της εικόνας 8. Αντί να μετρούμε την απόσταση ως τον «αριθμό των γονιδίων που θα πρέπει να αλλάξουν με την εξέλιξη», θα τη μετρούμε ως τις «πιθανότητες να καλυφθεί η απόσταση, εντελώς τυχαία, με ένα και μοναδικό άλμα». Για να μελετήσουμε τη νέα κατάσταση, πρέπει να χαλαρώσουμε έναν από τους περιορισμούς που είχαμε ενσωματώσει στο παιχνίδι του υπολογιστή. Στο τέλος θα δούμε γιατί είχε συμπεριληφθεί αυτός. Ο εν λόγω περιορισμός ήταν ότι τα παιδιά «επιτρεπτόταν» να απέχουν κατά μία μόνο μετάλλαξη από τους γονείς τους. Με άλλα λόγια, επιτρεπτόταν να μεταλλαχθεί μόνο ένα γονίδιο κάθε φορά, και η τιμή του γονιδίου μπορούσε να αλλάξει μόνο κατά 1, προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Χαλαρώνοντας τον περιορισμό, επιτρέπουμε σε οποιονδήποτε αριθμό γονιδίων να μεταλλάσσονται ταυτόχρονα και να μπορούν να προσθέτουν στην τιμή τους οποιονδήποτε αριθμό, θετικό ή αρνητικό. Στην πραγματικότητα, αυτή η χαλάρωση είναι υπερβολικά μεγάλη, γιατί επιτρέπει στις γενετικές τιμές να κυμαίνονται από το μείον άπειρο έως το συν άπειρο. Ωστόσο, μπορούμε να δείξουμε αυτό που θέλουμε, αν περιορίσουμε τη διακύμανση των τιμών των γονιδίων σε μονοψήφιους αριθμούς, δηλαδή αν τους επιτρέψουμε να κυμαίνονται από -9 έως +9.

Έτσι, μέσα σε αυτά τα πλατιά όρια, επιτρέπουμε θεωρητικά στη μετάλλαξη να μεταβάλλει ταυτόχρονα οποιονδήποτε συνδυασμό των εννέα γονιδίων μέσα σε μία και μόνο γενιά. Επιπλέον, η τιμή κάθε γονιδίου μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί οσοδήποτε, αρκεί να μην περάσει στους διψήφιους αριθμούς. Τι σημαίνει αυτό; Σημαίνει ότι, θεωρητικά, η εξέλιξη μπορεί μέσα σε μία γενιά να πηδήσει από οποιοδήποτε σημείο της Χώρας των διαμορφών σε οποιοδήποτε άλλο. Όχι απλώς σε οποιοδήποτε σημείο του ίδιου επιπέδου, αλλά σε οποιοδήποτε σημείο ολόκληρου του υπερόγκου εννέα διαστάσεων. Αν, για παράδειγμα, θέλετε να πηδήσετε μεμιάς από το έντομο στην αλεπού της εικόνας 5, νά ποια είναι η συνταγή: προσθέτετε τους ακόλουθους αριθμούς στις τιμές των Γονιδίων 1 έως 9 αντίστοιχα: -2, 2, 2, -2, 2, 0, -4, -1, 1. Ωστόσο, αφού μιλάμε για τυχαία άλματα, όλα τα σημεία

της Χώρας των βιομορφών είναι εξίσου πιθανά ως προορισμοί αυτών των αλμάτων. Έτσι, είναι εύκολο να υπολογίσουμε ποια είναι η πιθανότητα να *μην* καταλήξει ένα εντελώς τυχαίο άλμα σε έναν οποιονδήποτε *συγκεκριμένο* προορισμό, ας πούμε στην αλεπού. Είναι απλώς ο συνολικός αριθμός των βιομορφών του χώρου. Όπως θα καταλάβατε, έχουμε και πάλι να κάνουμε με έναν από εκείνους τους αστρονομικούς αριθμούς. Υπάρχουν εννέα γονίδια και το καθένα από αυτά μπορεί να λάβει 19 διαφορετικές τιμές. Έτσι, ο συνολικός αριθμός των βιομορφών στις οποίες *θα μπορούσαμε* να μεταβούμε με ένα άλμα είναι το 19 πολλαπλασιασμένο με τον εαυτό του 9 φορές: 19 στην ενάτη δύναμη. Αυτό σημαίνει περίπου μισό τρισεκατομμύριο βιομορφές. Πρόκειται για ασήμαντο μέγεθος σε σχέση με τον «αριθμό της αιμοσφαιρίνης» του Asimov, αλλά και πάλι είναι ένας μεγάλος αριθμός. Αν αρχίζατε από το έντομο και πηδούσατε σαν τρελός ψύλλος μισό τρισεκατομμύριο φορές, θα μπορούσατε να περιμένετε πως θα φτάσετε κάποια στιγμή στην αλεπού.

Τι σχέση έχουν όλα αυτά με την πραγματική εξέλιξη; Υπογραμμίζουν για άλλη μια φορά τη σπουδαιότητα της *σταδιακής*, βαθμιαίας αλλαγής. Υπάρχουν εξελικτιστές που αρνούνται ότι αυτή η σταδιακή αλλαγή είναι απαραίτητη για την εξέλιξη. Οι υπολογισμοί μας για τις βιομορφές μάς δείχνουν ακριβώς ένα λόγο για τον οποίο αυτή είναι σημαντική. Όταν λέω ότι η εξέλιξη μπορεί να πηδήσει από το έντομο σε μια από τις άμεσα γειτονικές του βιομορφές, αλλά *όχι* να πηδήσει από το έντομο κατευθείαν στην αλεπού ή το σκορπιό, εννοώ το εξής: αν όντως συνέβαιναν τυχαία άλματα, τότε θα ήταν απόλυτα δυνατό να συντελεστεί ένα άλμα από το έντομο στο σκορπιό. Πραγματικά, θα ήταν *εξίσου* πιθανό με ένα άλμα από το έντομο σε έναν από τους άμεσους γείτονές του. Θα ήταν όμως εξίσου πιθανό με ένα άλμα σε οποιαδήποτε άλλη βιομορφή του χώρου. Και εδώ είναι το θέμα: οι βιομορφές του χώρου αριθμούν μισό τρισεκατομμύριο, και αν καμία από αυτές δεν είναι πιο πιθανή από τις άλλες ως προορισμός, η πιθανότητα να καταλήξει το άλμα σε μια οποιαδήποτε *συγκεκριμένη* βιομορφή είναι τόσο μικρή, ώστε να μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

Προσέξτε εδώ ότι δεν θα μας βοηθούσε να θεωρήσουμε πως υπάρχει μια ισχυρή μη τυχαία «πίεση επιλογής». Δεν θα είχε σημασία αν κάποιος υποσχόταν να σας δώσει μια ολόκληρη περιουσία σε περίπτωση που θα καταφέρατε με ένα τυχερό άλμα να πάτε στο σκορπιό. Οι πιθανότητες να πετύχετε το στόχο θα ήταν και πάλι μία στο μισό τρισεκατομμύριο. Αν όμως αντί να πηδήσετε, *περπατούσατε* ένα βήμα κάθε φορά και σας έδιναν ένα μικρό κέρμα ως ανταμοιβή όποτε κάνατε ένα βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση, θα φτάνατε στο σκορπιό σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Όχι απαραίτητα στον συντομότερο δυνατό χρόνο των 30 γενεών, αλλά οπωσδήποτε πολύ γρήγορα. Το άλμα θα μπορούσε *θεωρητικά* να σας φέρει πιο γρήγορα το έπαθλο – με ένα και μοναδικό πήδημα. Επειδή όμως υπάρχουν απειροελάχιστες πιθανότητες να φτάσετε στο στόχο, ο μόνος τρόπος για να τα καταφέρετε είναι να κάνετε μια σειρά από μικρά βήματα, το καθένα από τα οποία να στηρίζεται στη συσσωρευμένη επιτυχία των προηγούμενων.

Το ύφος μου στις προηγούμενες παραγράφους είναι ανοιχτό σε μια παρερμηνεία που θα πρέπει να αποκλεισθεί. Για άλλη μια φορά, μπορεί να δημιουργηθεί η εντύπωση ότι η εξέλιξη ασχολείται με απώτερους στόχους και κατευθύνεται προς οργανισμούς όπως οι σκορπιοί. Όπως είδαμε, αυτό δεν συμβαίνει ποτέ. Αν όμως δούμε το στόχο μας ως *στιδήποτε θα βελτίωσε τις πιθανότητες επιβίωσης*, το επιχείρημα στέκει και πάλι. Αν ένα ζώο είναι γονέας, πρέπει να τα καταφέρει να *επιζήσει τουλάχιστον μέχρι να ενηλικιωθεί*. Μπορεί ένα μεταλλαγμένο παιδί αυτού του γονέα να είναι ακόμη πιο ικανό στην επιβίωση. Αλλά αν ένα παιδί μεταλλαχθεί σε μεγάλο βαθμό, έτσι που να απομακρυνθεί πολύ από το γονέα του μέσα στον γενετικό χώρο, τι πιθανότητες υπάρχουν να τα καταφέρει καλύτερα από αυτόν. Η απάντηση είναι ότι υπάρχουν πολύ λίγες πιθανότητες. Και ο λόγος είναι εκείνος που είδαμε μόλις τώρα με το βιομορφικό μας μοντέλο. Αν το μεταλλακτικό άλμα που εξετάζουμε είναι πολύ μεγάλο, ο αριθμός των δυνατών προορισμών αυτού του άλματος είναι αστρονομικά μεγάλος. Και επειδή, όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 1, ο αριθμός των διαφορετικών τρόπων με τους οποίους ένας οργανισμός μπορεί

να είναι νεκρός είναι τόσο πολύ μεγαλύτερος από τον αριθμό των διαφορετικών τρόπων με τους οποίους μπορεί να είναι ζωντανός, υπάρχουν πάρα πολλές πιθανότητες αυτό το μεγάλο τυχαίο άλμα στον γενετικό χώρο να καταλήξει στο θάνατο. Ακόμη και ένα μικρό τυχαίο άλμα στον γενετικό χώρο είναι αρκετά πιθανό να έχει την ίδια κατάληξη. Όσο μικρότερο είναι το άλμα τόσο λιγότερο πιθανός είναι ο θάνατος και τόσο πιο πιθανό είναι το άλμα να οδηγήσει σε βελτίωση. Θα επανέλθουμε στο θέμα αυτό σε ένα άλλο κεφάλαιο.

Δεν θέλω να αντλήσω περισσότερα «διδάγματα» από τη Χώρα των βιομορφών. Ελπίζω να μην τα βρήκατε όλα αυτά υπερβολικά αφηρημένα. Υπάρχει ένας άλλος μαθηματικός χώρος, που είναι γεμάτος όχι με βιομορφές εννέα γονιδίων αλλά με ζώα από σάρκα και οστά, φτιαγμένα από δισεκατομμύρια κύτταρα που το καθένα περιέχει δεκάδες χιλιάδες γονίδια. Αυτός δεν είναι ο χώρος των βιομορφών, αλλά ο πραγματικός γενετικός χώρος. Τα πραγματικά ζώα που έζησαν και ζουν στη Γη αποτελούν ένα μικροσκοπικό υποσύνολο των θεωρητικών ζώων που θα ήταν δυνατό να υπάρξουν. Αυτά τα πραγματικά ζώα αποτελούν προϊόντα ενός πολύ μικρού αριθμού εξελικτικών τροχιών μέσα στον γενετικό χώρο. Η συντριπτική πλειοψηφία των θεωρητικών τροχιών μέσα στον ζωικό χώρο δημιουργεί απίθανα τέρατα. Τα πραγματικά ζώα είναι κουκκίδες εδώ κι εκεί ανάμεσα στα υποθετικά τέρατα, το καθένα στη δική του μοναδική θέση μέσα στον γενετικό υπερχώρο. Κάθε πραγματικό ζώο περιβάλλεται από μια μικρή ομάδα γειτόνων, οι περισσότεροι από τους οποίους δεν έχουν υπάρξει ποτέ. Μερικοί άλλοι, όμως, είναι οι πρόγονοι, οι απόγονοι και τα «ξεδέρφια» του.

Κάπου μέσα σ' αυτό τον τεράστιο μαθηματικό χώρο βρίσκονται οι άνθρωποι και οι ύαινες, οι αμοιβάδες και οι ορυκτερόποδες, τα σκουλήκια και τα καλαμάρια, οι δρόντες και οι δεινόσαυροι. Θεωρητικά, αν ήμασταν αρκετά ικανοί στη γενετική μηχανική, θα μπορούσαμε να κινηθούμε από οποιοδήποτε σημείο του γενετικού χώρου σε οποιοδήποτε άλλο. Από κάθε αφετηρία θα μπορούσαμε να κινηθούμε μέσα στο λαβύρινθο με τέτοιο τρόπο ώστε να αναδημιουργήσουμε τη δρόντη, τον τυραννόσαυρο και



τους τριλοβίτες, αρκεί να γνωρίζαμε ποια γονίδια πρέπει να μα-  
στορέψουμε, ποια τμήματα χρωμοσωμάτων να αναπαραγάγουμε,  
να αναστρέψουμε ή να εξαλείψουμε. Αμφιβάλλω αν θα μάθουμε  
ποτέ αρκετά πράγματα ώστε να κάνουμε κάτι τέτοιο, εντούτοις  
αυτά τα συμπαθητικά εξαφανισμένα πλάσματα βρίσκονται εκεί  
για πάντα, το καθένα στη δική του θέση μέσα στον απέραντο  
γενετικό υπερόγκο, και περιμένουν να *ανευρεθούν*, κάτι που θα  
μπορούσαμε να κάνουμε αν είχαμε τις απαραίτητες γνώσεις για  
να ακολουθήσουμε τη σωστή πορεία μέσα στο λαβύρινθο. Ίσως  
θα μπορούσαμε ακόμη και να *εξελίξουμε* μια ακριδή αναπαραγω-  
γή της δρόντης κάνοντας επιλεκτική αναπαραγωγή περιστεριών  
—αν και θά 'πρεπε να ζήσουμε ένα εκατομμύριο χρόνια για να  
ολοκληρώσουμε το πείραμα. Όταν όμως δεν μπορούμε να κάνου-  
με το ταξίδι στην πραγματικότητα, η φαντασία μας δεν είναι  
άσχημο υποκατάστατο. Για εκείνους που —όπως κι εγώ, άλλωσ-  
τε— δεν είναι μαθηματικοί, ο υπολογιστής μπορεί να γίνει ένας  
ισχυρός φίλος της φαντασίας. Οι υπολογιστές, όπως και τα μα-  
θηματικά, δεν επεκτείνουν μόνο τη φαντασία την παιθαρχούν,  
ταυτόχρονα, και την ελέγχουν.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

---

### ΠΕΡΙΠΛΑΝΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΖΩΙΚΟ ΧΩΡΟ

Όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 2, πολλοί δυσκολεύονται να πιστέψουν ότι κάτι σαν το μάτι, το αγαπημένο παράδειγμα του Paley, ένα τόσο πολύπλοκο και καλοσχεδιασμένο όργανο με τόσο πολλά αλληλένδετα ενεργά τμήματα, μπορεί να ξεκίνησε από κάποια απλή αρχή και να σχηματίστηκε με μια σταδιακή σειρά βαθμιαίων αλλαγών. Ας επανεξετάσουμε αυτό το πρόβλημα κάτω από το φως των νέων στοιχείων και συμπερασμάτων που μας έδωσαν οι βιομορφές. Απαντήστε στις ακόλουθες δύο ερωτήσεις:

1. Θα μπορούσε το ανθρώπινο μάτι να σχηματιστεί απευθείας, με ένα και μοναδικό βήμα, από μια κατάσταση στην οποία δεν υπήρχε καθόλου μάτι;
2. Θα μπορούσε το ανθρώπινο μάτι να σχηματιστεί απευθείας από ένα όργανο που ήταν λίγο διαφορετικό από αυτό, ένα όργανο που μπορούμε να ονομάσουμε X;

Η απάντηση στην πρώτη ερώτηση είναι οπωσδήποτε ένα κατηγορηματικό *όχι*. Οι πιθανότητες να μη συμβεί αυτό που αναφέρεται στην εν λόγω ερώτηση είναι πολλά δισεκατομμύρια περισσότερες από τα άτομα του σύμπαντος. Για να δημιουργηθεί το μάτι με ένα μόνο βήμα, θα χρειαζόταν ένα γιγαντιαίο και ολοκληρωτικά απίθανο άλμα μέσα στον γενετικό υπερχώρο. Η απά-

ντηση στη δεύτερη ερώτηση είναι εξίσου κατηγορηματικά *ναι*, με την προϋπόθεση να είναι αρκετά μικρή η διαφορά ανάμεσα στο σύγχρονο μάτι και στον άμεσο προκάτοχό του X, δηλαδή με την προϋπόθεση να βρίσκονται αρκετά κοντά μέσα στο χώρο όλων των δυνατών δομών. Αν η απάντηση στη δεύτερη ερώτηση για κάποιον συγκεκριμένο βαθμό διαφοράς είναι αρνητική, το μόνο που έχουμε να κάνουμε είναι να επαναλάβουμε την ερώτηση για μια μικρότερη διαφορά. Συνεχίζουμε να το κάνουμε αυτό μέχρι να βρούμε ένα βαθμό διαφοράς αρκετά μικρό ώστε να μας δώσει μια καταφατική απάντηση.

Το X *ορίζεται* ως κάτι που μοιάζει πολύ με το ανθρώπινο μάτι, κάτι που είναι αρκετά όμοιο με αυτό, ώστε το μάτι να μπορεί να έχει προκύψει από μία και μοναδική μεταβολή του X. Αν έχετε μια νοητική εικόνα του X και το βρίσκετε απίθανο ότι το ανθρώπινο μάτι θα μπορούσε να προέλθει απευθείας από αυτό, σημαίνει απλώς ότι έχετε διαλέξει λαθεμένο X. Κάντε τη νοητική εικόνα του X να μοιάζει όλο και περισσότερο με το ανθρώπινο μάτι, μέχρι να βρείτε ένα τέτοιο X που να θεωρείτε ότι μπορεί να είναι ο άμεσος προκάτοχος του ανθρώπινου ματιού. Πρέπει να υπάρχει ένα τέτοιο X για σας, ακόμη και αν είστε περισσότερο ή λιγότερο επιφυλακτικός από μένα σε μια τέτοια εκτίμηση!

Τώρα, αφού βρήκαμε ένα X για το οποίο η απάντηση στη δεύτερη ερώτηση είναι θετική, διατυπώνουμε την ίδια ερώτηση για το ίδιο το X. Με τους ίδιους συλλογισμούς πρέπει να συμπεράνουμε ότι το X θα μπορούσε να έχει προέλθει απευθείας και με μία μόνο μεταβολή από κάτι που είναι λίγο διαφορετικό από αυτό, και το οποίο μπορούμε να ονομάσουμε X'. Προφανώς μπορούμε στη συνέχεια να συνδέσουμε το X' με κάτι ελαφρώς διαφορετικό, το X'', και ούτω καθεξής. Παίρνοντας μια αρκετά μεγάλη σειρά από X, μπορούμε να φτάσουμε στο ανθρώπινο μάτι ξεκινώντας από κάτι *πολύ* διαφορετικό. Μπορούμε να «διανύσουμε» μεγάλη απόσταση μέσα στον «ζωικό χώρο», και η κίνησή μας θα είναι αποδεκτή με την προϋπόθεση ότι τα βήματα που θα κάνουμε να είναι αρκετά μικρά. Τώρα είμαστε σε θέση να απαντήσουμε σε μια τρίτη ερώτηση:

3. Υπάρχει μια συνεχής σειρά από  $X$  τα οποία συνδέουν το σύγχρονο ανθρώπινο μάτι με μια κατάσταση στην οποία δεν υπάρχει καθόλου μάτι;

Για μένα είναι σαφές ότι η απάντηση πρέπει να είναι θετική, με την προϋπόθεση να πάρουμε μια αρκετά μεγάλη σειρά από  $X$ . Μπορεί να θεωρήσετε ότι 1.000  $X$  είναι αρκετά, αλλά αν σας χρειάζονται περισσότερα θήματα για να θεωρήσετε ότι η μετάβαση από τη μια κατάσταση στην άλλη είναι εφικτή και εύλογη, χρησιμοποιήστε 10.000  $X$ . Και αν τα 10.000  $X$  δεν σας είναι αρκετά, πάρτε 100.000  $X$ , και ούτω καθεξής. Προφανώς, ο διαθέσιμος χρόνος επιβάλλει ένα ανώτατο όριο σ' αυτό το παιχνίδι, αφού υπάρχει μόνο ένα  $X$  σε κάθε γενιά. Στην πράξη, η ερώτησή μας ανάγεται σε μια άλλη: Έχει υπάρξει αρκετός χρόνος για να «χωρέσουν» οι απαραίτητες ενδιάμεσες γενιές; Δεν μπορούμε να πούμε με ακρίβεια πόσες γενιές χρειάζονται, εκείνο που ξέρουμε όμως είναι ότι ο γεωλογικός χρόνος είναι τρομερά μεγάλος. Για να σας δώσω μια ιδέα για την τάξη μεγέθους για την οποία μιλάμε, ο αριθμός των γενεών που μας χωρίζει από τους πρώτους προγόνους μας μετριάται σίγουρα σε δισεκατομμύρια. Αν έχουμε, λόγω χάρη, μια σειρά από εκατό εκατομμύρια  $X$ , μπορούμε να φανταστούμε μια εύλογη σειρά μικροσκοπικών βαθμιαίων αλλαγών που να συνδέει το ανθρώπινο μάτι σχεδόν με στιδήποτε!

Μέχρι εδώ, μέσα από μια διαδικασία λίγο ως πολύ αφηρημένων συλλογισμών, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι μπορούμε να φανταστούμε μια σειρά από  $X$  καθένα από τα οποία να είναι αρκετά όμοιο με τους γείτονές του ώστε να μπορεί εύλογα να μετατραπεί σε έναν από αυτούς, και που ολόκληρη αυτή η σειρά να συνδέει το ανθρώπινο μάτι με μια κατάσταση στην οποία δεν υπήρχε καθόλου μάτι. Δεν αποδείξαμε ακόμη ότι είναι εύλογο να υπήρξε πραγματικά αυτή η σειρά των  $X$ . Έχουμε να απαντήσουμε σε δύο ερωτήσεις ακόμη:

4. Αναφορικά με τη σειρά των υποθετικών  $X$  που συνδέουν το ανθρώπινο μάτι με την κατάσταση απουσίας ματιού, είναι εύλογο να συνέβησαν όλες οι απαραίτητες τυχαίες μεταλλάξεις

που θα δημιουργούσαν το κάθε μέλος της σειράς από τον προκάτοχό του;

Το ερώτημα αυτό αφορά περισσότερο την εμβρυολογία παρά τη γενετική και είναι εντελώς διαφορετικό από εκείνο που ανησυχούσε τον επίσκοπο του Μπίρμιγχαμ και άλλους. Οι μεταλλάξεις λειτουργούν τροποποιώντας τις υπάρχουσες διεργασίες εμβρυϊκής ανάπτυξης. Είναι τεκμηριωμένο ότι ορισμένες εμβρυϊκές διεργασίες μπορούν πολύ εύκολα να αλλάζουν προς ορισμένες κατευθύνσεις, παρά προς κάποιες άλλες. Θα επανέλθω σ' αυτό το θέμα στο Κεφάλαιο 11. Εδώ απλώς θα τονίσω και πάλι τη διαφορά ανάμεσα στη μικρή και στη μεγάλη αλλαγή. Όσο μικρότερη είναι η αλλαγή που συντελείται, τόσο μικρότερη είναι και η διαφορά ανάμεσα στο  $X''$  και στο  $X'$ , και τόσο πιο εύλογη εμβρυολογικά είναι η σχετική μετάλλαξη. Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε ότι σε καθαρά στατιστική βάση οποιαδήποτε συγκεκριμένη μεγάλη μετάλλαξη είναι από τη φύση της λιγότερο πιθανή από οποιαδήποτε συγκεκριμένη μικρή μετάλλαξη. Έτσι, όποια κι αν είναι τα προβλήματα που προκύπτουν από την τέταρτη ερώτηση, βλέπουμε ότι όσο μικρότερη κάνουμε τη διαφορά ανάμεσα σε οποιοδήποτε δεδομένο  $X'$  και  $X''$ , τόσο μικρότερα θα είναι τα προβλήματα. Πιστεύω ότι, εφόσον η διαφορά μεταξύ των γειτονικών ενδιάμεσων οργάνων της πορείας που οδηγεί στο μάτι είναι αρκετά μικρή, είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα συμβούν οι απαραίτητες μεταλλάξεις. Σε τελική ανάλυση, μιλάμε πάντοτε για μικρές ποσοτικές μεταβολές που συμβαίνουν σε μια προϋπάρχουσα εμβρυϊκή διεργασία. Μην ξεχνάτε ότι, όσο πολύπλοκο κι αν είναι το εμβρυολογικό καθεστώς σε οποιαδήποτε δεδομένη γενιά, κάθε μεταβολή του από μετάλλαξη μπορεί να είναι πολύ μικρή και απλή.

Τώρα μας μένει να απαντήσουμε μόνο σε μία τελευταία ερώτηση:

5. Αναφορικά με τη σειρά των  $X$  που συνδέουν το ανθρώπινο μάτι με την κατάσταση απουσίας ματιού, είναι εύλογο ότι κάθε μέλος της σειράς λειτουργούσε αρκετά καλά ώστε να

βοηθάει στην επιβίωση και την αναπαραγωγή των ζώων που το διέθεταν;

Κατά παράδοξο τρόπο, μερικοί πιστεύουν ότι η απάντηση σ' αυτή την ερώτηση είναι ένα αυτονόητο «όχι». Για παράδειγμα, παραθέτω ένα απόσπασμα από το βιβλίο του Francis Hitching (έκδοση 1982) με τίτλο *The Neck of the Giraffe or Where Darwin Went Wrong* (Ο λαιμός της καμηλοπάρδαλης, ή πού έκανε λάθος ο Δαρβίνος). Θα μπορούσα να αναφέρω τις ίδιες ουσιαστικά απόψεις από οποιοδήποτε φυλλάδιο των Μαρτύρων του Ιεχωβά, αλλά προτίμησα αυτό το βιβλίο γιατί ένας ευυπόληπτος εκδοτικός οίκος (η Pan Books Ltd) θεώρησε σωστό να το εκδώσει, παρόλο που περιείχε μεγάλο αριθμό σφαλμάτων τα οποία θα μπορούσε να εντοπίσει αμέσως ένας άνεργος βιολόγος ή ακόμη και ένας φοιτητής της βιολογίας, αν του είχαν ζητήσει να διαβάσει το χειρόγραφο. (Τα πιο διασκεδαστικά λάθη, αν μου επιτρέψετε να αναφέρω δύο, ήταν ότι ο συγγραφέας έχρισε ιππότη τον καθηγητή John Maynard Smith και ότι χαρακτηρίζει «αρχιερέα της μαθηματικής γενετικής» τον καθηγητή Ernst Mayr, τον αρχιεπίσκοπο της μαθηματικής γενετικής.)

Για να λειτουργήσει το μάτι, πρέπει να προηγηθεί μια ολόκληρη σειρά από τέλεια συντονισμένα θήματα (υπάρχουν και πολλά άλλα που συμβαίνουν ταυτόχρονα, αλλά ακόμη κι αυτή η υπεραπλουστευμένη περιγραφή είναι αρκετή για να δείξει τα προβλήματα της δαρβινικής θεωρίας). Το μάτι πρέπει να είναι καθαρό και υγρό, και διατηρείται σ' αυτή την κατάσταση με τη συνεργασία των δακρυϊκών αδένων και των βλεφάρων, ενώ οι βλεφαρίδες λειτουργούν επίσης ως ένα στοιχειώδες φίλτρο για τον ήλιο. Το φως περνά μέσα από ένα μικρό διαφανές τμήμα του προστατευτικού εξωτερικού περιβλήματος (του κερατοειδούς χιτώνα) και συνεχίζει την πορεία του περνώντας μέσα από ένα φακό ο οποίος το εστιάζει πάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Εκεί, 130 εκατομμύρια φωτοευαίσθητα ραβδία και κωνία προκαλούν φωτοχημικές αντιδράσεις που μετατρέπουν το φως σε ηλεκτρικές ώσεις. Περίπου ένα δισεκατομμύριο τέτοιες ώσεις μεταδίδονται κάθε δευτερόλεπτο (με έναν τρόπο που δεν έχουμε κατανοήσει ακό-

μη), για να φτάσουν στον εγκέφαλο, ο οποίος θα προβεί στις απαραίτητες ενέργειες.

Είναι φανερό ότι αν υπάρξει το παραμικρό πρόβλημα στην όλη διαδικασία –αν ο κερατοειδής χιτώνας είναι θολός ή αν η κόρη του ματιού δεν διασταλεί ή αν ο φακός χάσει τη διαφάνειά του ή αν η εστίαση δεν γίνει σωστά–, δεν σχηματίζεται μια αναγνωρίσιμη εικόνα. Το μάτι ή λειτουργεί ως σύνολο ή δεν λειτουργεί καθόλου. Επομένως, πώς μπορεί να εξελίχθηκε με αργές, σταθερές, απειροελάχιστες δαρβινικές βελτιώσεις; Άραγε, είναι δυνατό να συνέβησαν ταυτόχρονα χιλιάδες επί χιλιάδων από αυτές τις τυχερές μεταλλάξεις, ώστε να εξελίχθηκαν ταυτόχρονα ο φακός και ο αμφιβληστροειδής χιτώνας, αφού ο ένας δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς τον άλλο; Και τι αξία επιβίωσης μπορεί να έχει ένα μάτι που δεν βλέπει;

Αυτό το αξιοσημείωτο επιχείρημα διατυπώνεται πολύ συχνά, μάλλον επειδή πολλοί θέλουν να πιστέψουν το συμπέρασμα στο οποίο οδηγεί. Ας εξετάσουμε τον ισχυρισμό πως «αν υπάρξει το παραμικρό πρόβλημα στην όλη διαδικασία... αν η εστίαση δεν γίνει σωστά... δεν μπορεί να σχηματιστεί μια αναγνωρίσιμη εικόνα». Οι πιθανότητες να διαβάσετε αυτές τις λέξεις φορώντας γυαλιά δεν πρέπει να απέχουν πολύ από το 50%. Βγάλτε τα γυαλιά σας και κοιτάξτε γύρω σας. Συμφωνείτε ότι «δεν σχηματίζεται μια αναγνωρίσιμη εικόνα»; Αν είστε άντρας, υπάρχει περίπου 1 πιθανότητα στις 12 να έχετε αχρωματοψία. Μπορεί να έχετε αστιγματισμό. Μπορεί χωρίς τα γυαλιά η όρασή σας να είναι θολή. Ένας από τους πιο διακεκριμένους σύγχρονους θεωρητικούς εξελικτικούς (αν και δεν έχει χριστεί ακόμη ιππότης) καθαρίζει τόσο σπάνια τα γυαλιά του, ώστε, κατά πάσα πιθανότητα, η όρασή του είναι θολή ακόμη και όταν τα φοράει. Εντούτοις, μπορεί να κινείται μια χαρά και, όπως λέει ο ίδιος, παλιότερα έπαιζε σκουός, αν και έβλεπε καλά μόνο από το ένα μάτι. Αν χάσετε τα γυαλιά σας, μπορεί να ενοχληθούν οι φίλοι σας που δεν τους αναγνωρίσετε στο δρόμο. Αλλά και εσάς θα σας ενοχλούσε ακόμη περισσότερο αν κάποιος σας έλεγε: «Αφού τώρα η όρασή σου δεν είναι τέλεια, θα πρέπει να κυκλοφορείς με τα μάτια σου κλειστά μέχρι να ξαναβρείς τα γυαλιά σου». Κι όμως,



αυτό υποστηρίζει ουσιαστικά ο συγγραφέας αυτού του αποσπάσματος.

Ισχυρίζεται επίσης, σαν να είναι κάτι ολοφάνερο, ότι ο φακός δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς τον αμφιβληστροειδή χιτώνα, και αντίστροφα. Ποιος το λέει αυτό; Κάποια συγγενής μου έχει κάνει εγχείρηση καταρράκτη και στα δύο μάτια, και έτσι τα μάτια της δεν έχουν καθόλου φακούς. Χωρίς γυαλιά δεν μπορεί φυσικά να παίζει ρακέτες ή να κάνει σκοποβολή. Με έχει διαβεβαιώσει όμως ότι είναι πολύ καλύτερα να έχει κανείς μάτια χωρίς φακό παρά να μην έχει καθόλου μάτια. Ακόμη και χωρίς φακούς, μπορείς να καταλάβεις αν έχεις μπροστά σου έναν τοίχο ή έναν άνθρωπο. Αν ήσαστε ένα άγριο ζώο, θα μπορούσατε με το χωρίς φακό μάτι σας να αντιληφθείτε τη μορφή ενός αρπακτικού και την κατεύθυνση από την οποία πλησιάζει. Σε έναν πρωτόγονο κόσμο όπου μερικά πλάσματα δεν είχαν καθόλου μάτια ενώ άλλα είχαν μάτια χωρίς φακούς, τα δεύτερα θα θρίσκονταν από πολλές απόψεις σε πλεονεκτική θέση. Και υπάρχει μια συνεχής σειρά από X τέτοια ώστε κάθε απειροελάχιστη βελτίωση στην ευκρίνεια της εικόνας, αρχίζοντας από ένα εντελώς θολό οπτικό πεδίο και φτάνοντας στην τέλεια ανθρώπινη όραση, να αυξάνει τις πιθανότητες επιβίωσης του οργανισμού.

Στη συνέχεια του βιβλίου αναφέρεται ότι ο Stephen Jay Gould, ο γνωστός παλαιοντολόγος του Πανεπιστημίου του Χάρβαρντ, είχε πει:

Αποφεύγουμε το απόλυτα βάσιμο ερώτημα «σε τι ωφελεί έναν οργανισμό το να έχει το 5% ενός ματιού;» υποστηρίζοντας ότι το πλάσμα που διέθετε ένα τέτοιο υποτυπώδες όργανο δεν το χρησιμοποιούσε για να βλέπει.

Ένα αρχαίο ζώο που είχε το 5% ενός ματιού μπορεί πραγματικά να το χρησιμοποιούσε και για άλλους σκοπούς εκτός από την όραση, νομίζω όμως ότι είναι εξίσου πιθανό να το χρησιμοποιούσε για να έχει 5% όραση. Άλλωστε, δεν πιστεύω ότι αυτό το ερώτημα είναι απόλυτα βάσιμο. Μια όραση που έχει το 5% της απόδοσης της τέλει ανθρώπινης όρασης είναι πολύ χρήσιμη

σε σύγκριση με την ολοκληρωτική έλλειψή της. Για τους ίδιους λόγους, ακόμη και το 1% της τέλειας όρασης είναι καλύτερο από την παντελή τυφλότητα. Ομοίως, το 6% είναι καλύτερο από το 5%, το 7% καλύτερο από το 6%, και ούτω καθεξής, σε όλο το μήκος αυτής της βαθμιαίας και συνεχούς σειράς υποτυπωδών οπτικών οργάνων.

Αυτό το θέμα έχει προβληματίσει μερικούς ερευνητές που ασχολούνται με ζώα τα οποία προστατεύονται από τους εχθρούς τους με τον λεγόμενο «μιμητισμό». Τα φασμίδια μοιάζουν με κλαδιά κι έτσι σώζονται από τα πουλιά. Τα φυλλοφάγα έντομα μοιάζουν με φύλλα. Πολλά είδη πεταλούδας που τρώγονται, προστατεύονται επειδή μοιάζουν με άλλα είδη, που είναι επιβλαβή ή δηλητηριώδη. Αυτές οι ομοιότητες είναι πολύ πιο εντυπωσιακές από την ομοιότητα των σύννεφων με νυφίτσες. Σε πολλές περιπτώσεις είναι πιο εντυπωσιακές από την ομοιότητα των «δικών μου» εντόμων με τα αληθινά έντομα. Σε τελική ανάλυση, τα αληθινά έντομα έχουν έξι πόδια, όχι οκτώ! Η πραγματική φυσική επιλογή είχε στη διάθεσή της τουλάχιστον ένα εκατομμύριο φορές περισσότερες γενιές απ' όσες είχα εγώ, για να τελειοποιήσει την ομοιότητα.

Χρησιμοποιούμε τον όρο «μιμητισμός» σε αυτές τις περιπτώσεις όχι επειδή πιστεύουμε ότι τα ζώα μιμούνται συνειδητά κάποια άλλα πράγματα, αλλά επειδή η φυσική επιλογή έχει ευνοήσει εκείνα τα ζώα που το σώμα τους έμοιαζε με άλλα πράγματα, σε σημείο που να ξεγελά τους εχθρούς τους. Για να το πούμε διαφορετικά, οι πρόγονοι των φασμιδίων που δεν έμοιαζαν με κλαδιά δεν άφησαν απογόνους. Ο γερμανοαμερικανός γενετιστής Richard Goldschmidt είναι ο πιο διακεκριμένος από τους επιστήμονες που υποστηρίζουν ότι η αρχική εμφάνιση τέτοιων ομοιοτήτων δεν μπορεί να ευνοήθηκε από τη φυσική επιλογή. Ο Gould, που είναι θαυμαστής του Goldschmidt, έχει πει για τα έντομα που μιμούνται την κοπριά: «Μπορεί ένα ζώο να έχει κάποιο πλεονέκτημα επειδή μοιάζει κατά 5% με σθουριά;» Τελευταία, εξαιτίας κυρίως της επιρροής του Gould, έχει γίνει της μόδας η άποψη ότι η αξία του Goldschmidt δεν είχε αναγνωριστεί όσο ζούσε και πως έχει πολλά να μας διδάξει. Νά ένα δείγμα των συλλογισμών του:

Ο Ford κάνει λόγο... για οποιαδήποτε μετάλλαξη που κατά τύχη δίνει μια «μακρινή ομοιότητα» με ένα πιο προστατευμένο είδος, από την οποία μπορεί να προκύψει κάποιο πλεονέκτημα, οσοδήποτε μικρό. Εδώ πρέπει να ρωτήσουμε πόσο μακρινή μπορεί να είναι η ομοιότητα για να έχει επιλεκτική αξία. Μπορούμε πραγματικά να θεωρήσουμε ότι τα πουλιά και οι πίθηκοι, καθώς και οι μαντίδες (ή ίσως κάποια πολύ έξυπνα άτομα ανάμεσά τους), είναι τόσο θαυμάσιοι παρατηρητές ώστε να προσέξουν μια «μακρινή» ομοιότητα και να ξεγελαστούν από αυτήν; Νομίζω ότι αυτό θα ήταν υπερβολικό.

Αυτός ο σαρκασμός δεν ταιριάζει σε κάποιον που βρίσκεται σε ένα τόσο αβέβαιο έδαφος όσο αυτό στο οποίο βαδίζει ο Goldschmidt. *Θαυμάσιοι* παρατηρητές; Πολύ έξυπνα άτομα ανάμεσά τους; Θά 'λεγε κανείς ότι τα πουλιά και οι πίθηκοι *ωφελούνται* επειδή τους ξεγελά η μακρινή ομοιότητα! Θα ήταν προτιμότερο για τον Goldschmidt να πει: «Μπορούμε πραγματικά να θεωρήσουμε ότι τα πουλιά, κ.λπ. (ή κάποια πολύ ηλίθια άτομα ανάμεσά τους) είναι τόσο *κακοί* παρατηρητές;» Εντούτοις, εδώ υπάρχει ένα πραγματικό δίλημμα. Η αρχική ομοιότητα του προγονικού φασμιδίου με ένα κλαδί πρέπει να ήταν πολύ μακρινή. Θά 'πρεπε κάποιο πουλί να έχει πολύ κακή όραση για να ξεγελαστεί από αυτήν. Ωστόσο, η ομοιότητα ενός σύγχρονου φασμιδίου με ένα κλαδί είναι εκπληκτικά μεγάλη, αφού του μοιάζει και στις πιο ελάχιστες λεπτομέρειες, όπως είναι τα ψεύτικα μπουμπούκια και οι ουλές που έχει ένα κλαδί από παλιά κομμένα φύλλα. Τα πουλιά που έβαλαν τις τελευταίες «πινελιές» στην εξέλιξη αυτών των εντόμων, τρέγοντας επιλεκτικά όσα δεν έμοιαζαν τόσο πολύ με κλαδιά, πρέπει να είχαν εξαιρετικά καλή όραση. Πρέπει να ήταν πολύ δύσκολο να ξεγελαστούν, αλλιώς τα έντομα αυτά δεν θα είχαν εξελιχθεί σε τέλειους μίμους, θα είχαν παραμείνει σχετικά ατελείς μίμοι. Πώς μπορούμε να εξηγήσουμε αυτή τη φαινομενική αντίφαση;

Μια απάντηση υποστηρίζει ότι η όραση των πουλιών βελτιώθηκε κι αυτή μέσα στο ίδιο εξελικτικό χρονικό διάστημα στο οποίο βελτιώθηκε η παραλλαγή των εντόμων. Ίσως, για να αστετευούμε λίγο, ένα αρχαίο έντομο που έμοιαζε μόνο κατά 5% με

σθουνιά θα ξεγελούσε ένα αρχαίο πουλί που είχε μόνο 5% όραση. Αλλά δεν θέλω να δώσω μια τέτοια απάντηση. Πραγματικά, υπονιάζομαι ότι όλη η διαδικασία της εξέλιξης, από τη μακρινή ομοιότητα μέχρι τον σχεδόν τέλειο μιμητισμό, συντελέστηκε με μάλλον γρήγορο ρυθμό, και πολλές φορές σε διαφορετικές ομάδες εντόμων, στη διάρκεια ενός μεγάλου χρονικού διαστήματος στο οποίο η όραση των πουλιών ήταν περίπου τόσο καλή όσο είναι και σήμερα.

Μια άλλη απάντηση που έχει δοθεί στο δίλημμα είναι η εξής: μπορεί κάθε είδος πουλιού ή πιθήκου να έχει κακή όραση και να αντιλαμβάνεται μόνο ένα περιορισμένο χαρακτηριστικό του εντόμου. Μπορεί ένα αρπακτικό είδος να προσέχει μόνο το χρώμα, ένα άλλο μόνο το σχήμα, ένα άλλο μόνο την υφή, και ούτω καθεξής. Έτσι, ένα έντομο που μοιάζει με κλαδί από μία μόνο περιορισμένη άποψη θα ξεγελάσει ένα είδος αρπακτικού, έστω και αν το τρώνε όλα τα άλλα. Καθώς προοδεύει η εξέλιξη, όλο και περισσότερα στοιχεία ομοιότητας προστίθενται στο ρεπερτόριο των εντόμων. Η τελική πολύπλευρη τελειότητα του μιμητισμού έχει δημιουργηθεί από τη συνολική φυσική επιλογή που ασκείται από πολλά διαφορετικά αρπακτικά είδη. Κανένα από αυτά δεν βλέπει ολόκληρη την τελειότητα του μιμητισμού, την οποία αντιλαμβάνεται μόνο ο άνθρωπος.

Εδώ υπονοείται ότι μόνο εμείς είμαστε αρκετά «έξυπνοι» για να δούμε το μιμητισμό σε όλη του τη μεγαλοπρέπεια. Ο ανθρώπινος νομισμός αυτής της άποψης δεν είναι ο μοναδικός λόγος που με κάνει να προτιμώ μια άλλη εξήγηση, δηλαδή ότι όσο καλή κι αν είναι η όραση ενός αρπακτικού υπό ορισμένες συνθήκες, μπορεί να είναι πολύ κακή υπό άλλες συνθήκες. Πραγματικά, όλοι μας γνωρίζουμε καλά, από προσωπική μας εμπειρία, ολόκληρο το φάσμα από την πολύ κακή μέχρι την εξαιρετική όραση. Αν με το φως της ημέρας κοιτάζω κατευθείαν ένα φασμίδιο που βρίσκεται σε απόσταση 20 εκατοστών από τη μύτη μου, δεν θα ξεγελαστώ από την παραλλαγή του. Θα προσέξω τα μακριά του πόδια που αγκαλιάζουν τον περιγύρμα του κορμού. Μπορεί να δω την αφύσικη συμμετρία που δεν θα υπήρχε σε ένα πραγματικό κλαδί. Αν όμως εγώ, με τα ίδια μάτια και τον ίδιο

εγκέφαλο, περπατώ σε ένα δάσος το σούρουπο, μπορεί κάλλιστα να μην καταφέρω να διακρίνω οποιοδήποτε έντομο με μουντό χρώμα από τα κλαδιά που αφθονούν γύρω μου. Ακόμη, η εικόνα του εντόμου ίσως πέσει στην άκρη του αμφιβληστροειδούς χιτώνα μου και όχι στην κεντρική περιοχή του, όπου η όραση είναι πιο οξεία. Επίσης, είναι πιθανό το έντομο να βρίσκεται σε απόσταση 50 μέτρων, κι έτσι η εικόνα του πάνω στον αμφιβληστροειδή μου να είναι μικροσκοπική. Επιπροσθέτως, το φως μπορεί να είναι τόσο λιγοστό, ώστε να μην μπορώ να δω σχεδόν τίποτε.

Στην πραγματικότητα, δεν έχει σημασία πόσο μικρή και πόσο μακρινή είναι η ομοιότητα του εντόμου με το κλαδί: πρέπει να υπάρχει πάντοτε κάποιο επίπεδο λυκόφωτος, κάποια απόσταση από το μάτι ή κάποιος βαθμός απόσπασης της προσοχής τού αρπακτικού, ώστε ακόμη και ένα πολύ καλό μάτι να ξεγελαστεί από τη μακρινή ομοιότητα. Αν δεν βρίσκετε ικανοποιητική αυτή την εξήγηση για ένα συγκεκριμένο παράδειγμα που έχετε φανταστεί, μειώστε απλώς το φανταστικό φως ή απομακρυνθείτε από το φανταστικό αντικείμενο! Το θέμα είναι ότι πολλά έντομα πρέπει να σώθηκαν ακόμη και λόγω μιας εξαιρετικά μικρής ομοιότητας με ένα κλαδί ή ένα φύλλο ή μια σθουριά, σε περιπτώσεις που βρίσκονταν μακριά από το αρπακτικό, ή που ήταν σούρουπο, ή που είχε ομίχλη, ή που κάποιο δεκτικό θηλυκό είχε τραβήξει την προσοχή του αρπακτικού. Και πολλά έντομα ακόμη σώθηκαν, ίσως από τον ίδιο ακριβώς εχθρό, χάρη στην εκπληκτική τους ομοιότητα με ένα κλαδί, σε περιπτώσεις που ο εχθρός συνέβη να τα δει από σχετικά μικρή απόσταση και με καλό φωτισμό. Το σημαντικό στοιχείο που πρέπει να έχουμε υπόψη μας σχετικά με την ένταση του φωτός, την απόσταση του εντόμου από τον εχθρό, την απόσταση της εικόνας από το κέντρο του αμφιβληστροειδούς και άλλους παρόμοιους παράγοντες είναι ότι πρόκειται για *συνεχείς* μεταβλητές. Μεταβάλλονται κατά ανεπαισθητες ποσότητες, καλύπτοντας όλο το φάσμα από την άκρα μη ορατότητα μέχρι την άκρα ορατότητα. Αυτές οι συνεχείς μεταβλητές επιφέρουν συνεχή και σταδιακή εξέλιξη.

Το πρόβλημα του Richard Goldschmidt –το οποίο ανήκε σε μια σειρά προβλημάτων που τον έκαναν να καταφύγει, κατά το

μεγαλύτερο μέρος της επαγγελματικής του ζωής, στην ακραία θέση ότι η εξέλιξη προχωρεί με μεγάλα άλματα και όχι με μικρά βήματα— αποδεικνύεται τελικά ότι δεν είναι πρόβλημα. Παρεμπιπτόντως, αποδείξαμε επίσης για άλλη μια φορά ότι μια όραση 5% είναι καλύτερη από την ανυπαρξία όρασης. Η απόδοση της όρασής μου στις άκρες του αμφιβληστροειδούς είναι κατά πάσα πιθανότητα μικρότερη ακόμη και από το 5% της απόδοσής της στο κέντρο του αμφιβληστροειδούς, με όποιον τρόπο κι αν θελήσουμε να μετρήσουμε την απόδοση. Παρ' όλα αυτά, μπορώ να αντιληφθώ με την άκρη του ματιού μου την ύπαρξη ενός μεγάλου φορτηγού ή λεωφορείου. Αφού πηγαίνω κάθε μέρα στη δουλειά μου με ποδήλατο, αυτό το γεγονός μπορεί κάλλιστα να μου έχει σώσει τη ζωή. Έχω προσέξει τη διαφορά που υπάρχει τις βροχερές μέρες όταν φοράω καπέλο. Η απόδοσή της όρασής μου στο σκοτάδι πρέπει να είναι πολύ μικρότερη και από το 5% της απόδοσής της στο φως. Εντούτοις, πολλοί πρόγονοί μας πρέπει να σώθηκαν διακρίνοντας μέσα στη νύχτα, έστω και με αυτή τη μικρή απόδοση, κάτι επικίνδυνο, όπως ίσως ένα αρπακτικό ζώο ή έναν γκρεμό.

Όλοι μας ξέρουμε από προσωπική πείρα —για παράδειγμα, από τις σκοτεινές νύχτες— ότι υπάρχει μια συνεχής σειρά «οπτικής απόδοσης» με ανεπαίσθητη διαβάθμιση που καλύπτει όλο το φάσμα από την ολοκληρωτική τυφλότητα μέχρι την τέλεια όραση και ότι κάθε βήμα σ' αυτή τη σειρά παρέχει σημαντικά οφέλη. Κοιτάζοντας τον κόσμο μέσα από ένα ζευγάρι κιάλια με ρυθμιζόμενη εστίαση, μπορούμε να πειστούμε ότι υπάρχει μια διαβαθμισμένη σειρά ποιότητας εστίασης στην οποία κάθε βήμα αποτελεί βελτίωση σε σχέση με το προηγούμενο. Στρέφοντας προοδευτικά το κουμπί ρύθμισης του χρώματος μιας έγχρωμης τηλεόρασης, μπορούμε να πειστούμε ότι υπάρχει και πάλι μια διαβαθμισμένη σειρά σταδιακής βελτίωσης από την ασπρόμαυρη μέχρι την πλήρως έγχρωμη εικόνα. Το διάφραγμα της ίριδας που ανοίγει και κλείνει την κόρη του ματιού μάς βοηθάει να μην τυφλωνόμαστε από το δυνατό φως και ταυτόχρονα μας επιτρέπει να βλέπουμε στο μισοσκοτάδο. Όλοι έχουμε αισθανθεί πώς θα ήταν αν δεν είχαμε το διάφραγμα της ίριδας, όταν μας τυφλώνουν στιγμιαία

τα φανάρια ενός αυτοκινήτου που έρχεται από την αντίθετη κατεύθυνση. Όσο δυσάρεστη, ή ακόμη και επικίνδυνη κι αν είναι αυτή η «τύφλωση», δεν σημαίνει ότι σ' αυτή την κατάσταση παύει να λειτουργεί ολόκληρο το μάτι! Ο ισχυρισμός ότι «το μάτι λειτουργεί είτε στο σύνολό του είτε καθόλου» αποδεικνύεται ότι είναι όχι απλώς λαθεμένος, αλλά ολοφάνερα λαθεμένος για όποιον εξετάσει έστω και επί 2 δευτερόλεπτα τη δική του εμπειρία.

Ας επιστρέψουμε στην πέμπτη ερώτηση. Αναφορικά με τη σειρά των Χ που συνδέουν το ανθρώπινο μάτι με την κατάσταση απουσίας ματιού, είναι εύλογο ότι κάθε μέλος της λειτουργούσε αρκετά καλά ώστε να βοηθάει την επιβίωση και την αναπαραγωγή των ζώων που το διέθεται. Είδαμε πόσο ανόητη είναι η παραδοχή των αντιεξελικτιστών, ότι η απάντηση σ' αυτό το ερώτημα είναι ένα προφανές όχι. Μπορούμε όμως να απαντήσουμε καταφατικά; Αυτό είναι λιγότερο προφανές νομίζω όμως ότι μπορούμε. Είναι σαφές ότι η ύπαρξη ενός μέρους του ματιού είναι καλύτερη από την πλήρη απουσία ματιών. Επιπλέον, μπορούμε να βρούμε μια σειρά ενδιάμεσων καταστάσεων σε σύγχρονα ζώα. Αυτό, βέβαια, δεν σημαίνει ότι οι εν λόγω σύγχρονες ενδιάμεσες καταστάσεις αντιπροσωπεύουν πραγματικά αρχαίες μορφές οπτικών οργάνων, δείχνει όμως ότι τα όργανα ενδιάμεσου σχεδιασμού μπορούν να λειτουργήσουν.

Μερικοί μονοκύτταροι οργανισμοί έχουν ένα φωτοευαίσθητο σημείο με ένα μικρό πέτασμα χρωστικής ουσίας πίσω του. Το πέτασμα το προφυλάσσει από το φως που έρχεται από μία διεύθυνση, πράγμα που δίνει στον οργανισμό κάποια «ιδέα» για την κατεύθυνση του φωτός. Στους πολυκύτταρους οργανισμούς, διάφορα είδη σκουληκιών και μερικά οστρακοειδή έχουν μια παρόμοια διάταξη, αλλά τα φωτοευαίσθητα κύτταρα με το πέτασμα της χρωστικής ουσίας πίσω τους βρίσκονται μέσα σε μια μικρή κυπελλόμορφη εσοχή. Αυτό παρέχει στον οργανισμό μεγαλύτερη δυνατότητα εντοπισμού της κατεύθυνσης, αφού κάθε κύτταρο προφυλάσσεται επιλεκτικά από τις φωτεινές ακτίνες που εισέρχονται στην εσοχή από τη δική του πλευρά. Αν φανταστούμε μια συνεχή σειρά που ξεκινάει από ένα επίπεδο στρώμα φωτοευαί-



σθητων κυττάρων, περνά σε μια ρηχή κυπελλόμορφη εσοχή και καταλήγει σε μια βαθιά κυπελλόμορφη εσοχή, κάθε βήμα σ' αυτή τη σειρά, όσο μικρό (ή μεγάλο) κι αν είναι, θα αποτελεί μια οπτική βελτίωση. Τώρα, αν κάνουμε την εσοχή πολύ βαθιά και μεγαλώσουμε τα χείλη της, έτσι ώστε σχεδόν να συναντηθούν, τελικά θα καταλήξουμε σε μια κάμερα χωρίς φακό. Υπάρχει, λοιπόν, μια συνεχώς διαβαθμισμένη σειρά οργάνων από τη ρηχή κυπελλόμορφη εσοχή μέχρι την κάμερα (βλ. για παράδειγμα, τις πρώτες επτά γενιές της εξελικτικής σειράς στην εικόνα 4).

Ένας σκοτεινός θάλαμος με μία μικρή τρύπα στη μια έδρα του (φωτογραφική μηχανή χωρίς φακό) σχηματίζει ευκρινή εικόνα. Όσο πιο μικρό είναι το άνοιγμα της κάμερας τόσο πιο ευκρινής (αλλά σκοτεινή) είναι η εικόνα, ενώ όσο πιο μεγάλο είναι το άνοιγμα τόσο πιο φωτεινή (αλλά θολή) γίνεται η εικόνα. Το μαλάκιο *ναυτίλος*, ένα μάλλον παράξενο ον που θυμίζει καλαμάρι και ζει μέσα σε κέλυφος όπως οι αμμωνίτες, οι οποίοι έχουν πλέον εκλείψει (βλ. το «κεφαλόποδο με κέλυφος» στην εικόνα 5), έχει δυο μάτια χωρίς φακούς (όπως ο σκοτεινός θάλαμος που περιγράψαμε). Το μάτι έχει βασικά το ίδιο σχήμα με το δικό μας, αλλά δεν υπάρχει φακός και η κόρη είναι απλώς μια τρύπα που επιτρέπει στο νερό της θάλασσας να εισέρχεται στο κοίλο εσωτερικό του. Στην πραγματικότητα, ο *ναυτίλος* είναι ένα αίνιγμα. Γιατί, μέσα στις εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια που πέρασαν από τότε που οι πρόγονοί του απέκτησαν για πρώτη φορά το χωρίς φακό μάτι, δεν κατάφερε να ανακαλύψει την αρχή τού φακού; Το πλεονέκτημα του φακού είναι ότι επιτρέπει στην εικόνα να είναι ταυτόχρονα ευδιάκριτη και φωτεινή. Το ανησυχητικό στοιχείο με το ναυτίλο είναι ότι τα χαρακτηριστικά του αμφιβληστροειδούς χιτώνα του δείχνουν ότι θα ωφελούνταν πραγματικά, άμεσα και σε μεγάλο βαθμό, από ένα φακό. Μοιάζει με ένα ηχητικό σύστημα υψηλής πιστότητας που διαθέτει εξαιρετικό ενισχυτή, αλλά είναι συνδεδεμένο με ένα πικάπ που έχει φθαρμένη βελόνα. Το όλο σύστημα χρειάζεται μια συγκεκριμένη μικρή αλλαγή. Μέσα στον γενετικό υπερχώρο, ο *ναυτίλος* μοιάζει να στέκεται δίπλα σε μια προφανή και άμεση βελτίωση, αλλά δεν κάνει το μικρό βήμα που είναι απαραίτητο για να την πετύχει.

Γιατί; Το γεγονός αυτό ανησυχεί τον Michael Land του Πανεπιστημίου του Σάσσεξ, τη μεγαλύτερη αυθεντία σε ό,τι αφορά τα μάτια των ασπόνδυλων ζώων, και ανησυχεί επίσης και μένα. Ποια είναι η αιτία; Ότι οι απαραίτητες μεταλλάξεις δεν μπορούν να συμβούν λόγω του τρόπου με τον οποίο αναπτύσσονται τα έμβρυα του ναυτίλου; Δεν θέλω να το πιστέψω, αλλά δεν έχω και κάποια καλύτερη εξήγηση. Πάντως, η περίπτωση του ναυτίλου δείχνει καθαρά ότι ένα μάτι χωρίς φακό είναι καλύτερο από την ανυπαρξία ματιών.

Όταν έχεις μια κυπελλόμορφη εσοχή για μάτι, η κάλυψη του ανοίγματος της με οποιοδήποτε σχεδόν υλικό που είναι περίπου κυρτό και περίπου διαφανές, ή ακόμη και ημιδιαφανές, αποτελεί βελτίωση, γιατί ένα τέτοιο υλικό έχει κάποιες ιδιότητες παρόμοιες με αυτές του φακού. Συλλέγει φως από όλη του την επιφάνεια και το συγκεντρώνει σε μια μικρή περιοχή του αμφιβληστροειδούς. Από τη στιγμή που θα υπάρχει ένας τέτοιος υποτυπώδης πρωτοφακός, μπορεί να γίνει μια συνεχώς διαβαθμισμένη σειρά βελτιώσεων που θα αυξήσουν το πάχος και τη διαφάνειά του και θα μειώσουν την παραμόρφωση της εικόνας, με αποτέλεσμα να καταλήξει στη μορφή που όλοι αναγνωρίζουμε ως αληθινό φακό. Οι συγγενείς του ναυτίλου, τα καλαμάρια και τα χταπόδια, έχουν έναν πραγματικό φακό που μοιάζει πολύ με τον δικό μας, αν και οι πρόγονοί τους σίγουρα ανέπτυξαν την αρχή στην οποία στηρίζεται το μάτι-κάμερα εντελώς ανεξάρτητα από μας. Παρεμπιπτόντως, ο Michael Land πιστεύει ότι τα μάτια χρησιμοποιούν εννέα βασικές αρχές για το σχηματισμό της εικόνας και ότι οι περισσότερες από αυτές εξελίχθηκαν πολλές φορές ανεξάρτητα. Για παράδειγμα, η αρχή του παραβολικού ανακλαστήρα διαφέρει ριζικά από το δικό μας μάτι-κάμερα (ο άνθρωπος χρησιμοποιεί αυτή την αρχή στα ραδιοτηλεσκόπια και στα μεγαλύτερα οπτικά τηλεσκόπια, γιατί είναι πιο εύκολο να κατασκευαστεί ένας μεγάλος καθρέφτης παρά ένας μεγάλος φακός), και «επινοήθηκε» ανεξάρτητα από διάφορα μαλάκια και καρκινοειδή. Άλλα καρκινοειδή έχουν σύνθετο μάτι όπως τα έντομα (στην πραγματικότητα, μια σειρά από πολλά μικροσκοπικά μάτια), ενώ άλλα μαλάκια, όπως είδαμε, έχουν μάτι-κάμερα με φακό που μοιάζει με τον

δικό μας ή μάτι-κάμερα χωρίς φακό. Για καθέναν από αυτούς τους τύπους ματιού, υπάρχουν στάδια που αντιστοιχούν σε ενδιάμεσες εξελικτικές καταστάσεις και που ακόμη παρατηρούνται σε διάφορα σύγχρονα ζώα.

Η αντιεξελικτική προπαγάνδα είναι γεμάτη από υποτιθέμενα παραδείγματα πολύπλοκων συστημάτων που «δεν θα μπορούσαν» να έχουν διαμορφωθεί περνώντας από μια σταδιακή σειρά ενδιάμεσων καταστάσεων. Αυτό αποτελεί συχνά μία ακόμη μορφή του μάλλον αξιολύπητου «επιχειρήματος της προσωπικής δυσπιστίας» που συναντήσαμε στο Κεφάλαιο 2. Για παράδειγμα, στο *Ο λαιμός της καμηλοπάρδαλης*, αμέσως μετά το τμήμα που αναφέρεται στο μάτι, ο συγγραφέας μιλά για τον βραχίνο, ο οποίος

εκτοξεύει ένα θανάσιμο μείγμα υδροκινόνης και υπεροξειδίου του υδρογόνου στο πρόσωπο του εχθρού του. Αυτές οι δύο χημικές ουσίες, όταν αναμειχθούν, κυριολεκτικά εκρήγνυνται. Έτσι ο βραχίνος, για να τις αποθηκεύσει μέσα στο σώμα του, έχει αναπτύξει έναν χημικό αναστολέα που τις κάνει αβλαβείς. Τη στιγμή κατά την οποία εκτοξεύει το υγρό από την ουρά του, προσθέτει έναν αντιαναστολέα που κάνει το μείγμα και πάλι εκρηκτικό. Η αλυσίδα των γεγονότων που θα μπορούσε να οδηγήσει στην εξέλιξη μιας τόσο πολύπλοκης, συντονισμένης και λεπτής διαδικασίας δεν μπορεί να εξηγηθεί βιολογικά πάνω σε μια απλή θάση βαθμιαίων μεταβολών. Η παραμικρή μεταβολή της χημικής ισορροπίας θα είχε ως αποτέλεσμα μια φυλή από βραχίνους που εκρήγνυνται.

Ένας συνάδελφός μου βιοχημικός είχε την καλοσύνη να μου δώσει ένα μπουκάλι υπεροξειδίου του υδρογόνου καθώς και τόση υδροκινόνη που θα έφτανε για 50 βραχίνους. Τώρα θα ανακατέψω τις δύο ουσίες. Σύμφωνα με τα παραπάνω, θα πρέπει να εκραγούν στο πρόσωπό μου. Νά το, λοιπόν...

Ακόμη εδώ είμαι. Έχυσα το υπεροξειδίο του υδρογόνου πάνω στην υδροκινόνη και δεν συνέβη απολύτως τίποτε. Το μείγμα ούτε καν ζεστάθηκε. Φυσικά, το ήξερα ότι δεν θα γινόταν έκρηξη· δεν είμαι τόσο ανόητος! Ο ισχυρισμός ότι «αυτές οι δύο χημικές ουσίες, όταν αναμειχθούν, κυριολεκτικά εκρήγνυνται»,

είναι απλούστατα λαθεμένος, αν και επαναλαμβάνεται πολύ συχνά στη φιλολογία των δημιουργιστών. Παρεμπιπτόντως, αν είστε περιέργοι σχετικά με τον βραχίνο, νά τι ακριβώς συμβαίνει: είναι αλήθεια ότι το εν λόγω έντομο εκτοξεύει κατά των εχθρών του ένα τρομερά καυτό μείγμα υπεροξειδίου του υδρογόνου και υδροκινόνης. Εντούτοις, το υπεροξείδιο του υδρογόνου και η υδροκινόνη δεν αντιδρούν βίαια όταν έρχονται σε επαφή, εκτός αν προστεθεί ένας καταλύτης. Και αυτό ακριβώς κάνει ο βραχίνος. Όσον αφορά τους εξελικτικούς προδρόμους αυτού του συστήματος, το υπεροξείδιο του υδρογόνου και διάφορα είδη κίνησης χρησιμοποιούνται για άλλους σκοπούς στις χημικές διεργασίες του σώματος. Οι πρόγονοι του βραχίνου απλώς μεταχειρίστηκαν με διαφορετικό τρόπο κάποιες χημικές ουσίες που υπήρχαν έτσι κι αλλιώς. Η εξέλιξη λειτουργεί συχνά μ' αυτό τον τρόπο.

Στην ίδια σελίδα όπου γίνεται η αναφορά στον βραχίνο, υπάρχει το ερώτημα: «Σε τι θα ωφελούσε... μισός πνεύμονας; Η φυσική επιλογή σίγουρα θα εξαφάνιζε τα όντα που θα διέθεταν τέτοια αλλόκοτα χαρακτηριστικά· δεν θα τα διατηρούσε». Σε έναν υγιή ενήλικο άνθρωπο, ο καθένας από τους δύο πνεύμονες χωρίζεται σε 300 περίπου εκατομμύρια μικροσκοπικά διαμερίσματα, τις πνευμονικές κυψελίδες, τα οποία βρίσκονται στις απολήξεις των βρόγχων (ενός συστήματος από διακλαδιζόμενους σωλήνες). Η δομή των βρόγχων μοιάζει με τη βιομορφή του δέντρου στο κάτω μέρος της εικόνας 2, του προηγούμενου κεφαλαίου. Σ' αυτό το δέντρο, ο αριθμός των διαδοχικών διακλαδώσεων, που καθορίζεται από το Γονίδιο 9, είναι 8, και ο αριθμός των απολήξεων των κλαδιών είναι 2 στην όγδοη δύναμη, δηλαδή 256. Καθώς κινούμαστε προς τα κάτω στη σελίδα, στην εικόνα 2, ο αριθμός των απολήξεων διπλασιάζεται διαδοχικά. Για να φτάσουμε στις 300 εκατομμύρια απολήξεις χρειάζονται μόνο 29 διαδοχικοί διπλασιασμοί. Προσέξτε ότι υπάρχει μια συνεχής κλιμάκωση από τη μία ως τις 300 εκατομμύρια μικροσκοπικές κυψελίδες, όπου το κάθε θήμα πραγματοποιείται με μία πρόσθετη διακλάδωση (που ισοδυναμεί με ένα διπλασιασμό). Η μετάβαση από την αρχική στην τελική κατάσταση μπορεί να επιτευχθεί μέσα

σε 29 διακλαδώσεις, τις οποίες μπορούμε, κάπως αφελώς, να τις φανταστούμε σαν ένα μεγαλοπρεπή περίπατο 29 βημάτων μέσα στον γενετικό χώρο.

Το αποτέλεσμα όλων αυτών των διακλαδώσεων είναι ότι η εσωτερική επιφάνεια κάθε πνεύμονα έχει εμβαδόν που φτάνει τα 60 τετραγωνικά μέτρα. Το εμβαδόν αποτελεί σημαντική μεταβλητή για τον πνεύμονα, γιατί αυτό καθορίζει το ρυθμό με τον οποίο μπορεί να προσληφθεί το οξυγόνο και να αποβληθεί το διοξείδιο του άνθρακα. Ένα χαρακτηριστικό του εμβαδού είναι ότι αποτελεί *συνεχή* μεταβλητή. Δεν είναι από εκείνα τα πράγματα που ή τα έχεις ή δεν τα έχεις, δηλαδή μπορείς να έχεις κάτι περισσότερο ή κάτι λιγότερο. Το εμβαδόν των πνευμόνων, περισσότερο από πολλά άλλα πράγματα, προσφέρεται για μια *βαθμιαία* σταδιακή αλλαγή, από τα 0 μέχρι τα 60 τετραγωνικά μέτρα.

Υπάρχουν πολλά χειρουργημένα άτομα που ζουν μόνο με έναν πνεύμονα και μερικά από αυτά έχουν μόνο το ένα τρίτο του κανονικού συνολικού εμβαδού των πνευμόνων. Μπορεί να περπατούν, αλλά δεν περπατούν πολύ μακριά, ούτε πολύ γρήγορα. Αυτό είναι το θέμα. Η βαθμιαία μείωση του εμβαδού των πνευμόνων δεν ασκεί μια απόλυτη επίδραση του τύπου «όλα ή τίποτα». Πρόκειται για μια βαθμιαία, συνεχώς μεταβαλλόμενη επίδραση που καθορίζει το πόσο μακριά και πόσο γρήγορα μπορεί να περπατήσει κανείς. Η ακόμη, μια βαθμιαία, συνεχώς μεταβαλλόμενη επίδραση που καθορίζει την αναμενόμενη διάρκεια ζωής. Ο θάνατος δεν έρχεται ξαφνικά όταν το εμβαδόν των πνευμόνων πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο! Απλώς γίνεται βαθμιαία πιο πιθανός καθώς το εμβαδόν των πνευμόνων μειώνεται κάτω από τη βέλτιστη τιμή (και, επίσης, καθώς αυξάνει πάνω από την ίδια βέλτιστη τιμή, για διαφορετικούς λόγους, που έχουν σχέση με τη σπατάλη).

Είναι σχεδόν σίγουρο ότι οι πρώτοι πρόγονοί μας που ανέπτυξαν πνεύμονες ζούσαν μέσα στο νερό. Μπορούμε να πάρουμε μια ιδέα για το πώς μπορεί να ανέπνεαν, αν μελετήσουμε τα σύγχρονα ψάρια. Τα περισσότερα σύγχρονα ψάρια αναπνέουν μέσα στο νερό με βράγχια, υπάρχουν όμως πολλά είδη που ζουν σε θρόμικα βαλτώδη νερά που συμπληρώνουν αυτή τη μορφή αναπνοής

παίρνοντας αέρα από την επιφάνεια. Χρησιμοποιούν το εσωτερικό του στόματος σαν έναν υποτυπώδη πρωτοπνεύμονα, και αυτή η κοιλότητα διευρύνεται μερικές φορές και γίνεται ένα αναπνευστικό θυλάκιο πλούσιο σε αιμοφόρα αγγεία. Όπως έχουμε δει, δεν είναι δύσκολο να φανταστούμε μια συνεχή σειρά από Χ που να συνδέει ένα τέτοιο θυλάκιο με ένα διακλαδιζόμενο δίκτυο από 300 εκατομμύρια θυλάκια, όπως αυτό που υπάρχει σε έναν σύγχρονο ανθρώπινο πνεύμονα.

Είναι ενδιαφέρον το γεγονός ότι πολλά σύγχρονα ψάρια έχουν παραμείνει στο ένα και μοναδικό θυλάκιο, και το χρησιμοποιούν για εντελώς διαφορετικό σκοπό. Το θυλάκιο αυτό, αν και κατά πάσα πιθανότητα αρχικά χρησίμευε ως πνεύμονας, στην πορεία της εξέλιξης έγινε η νηκτική κύστη, ένα έξυπνο σύστημα με το οποίο το ψάρι διατηρεί την υδροστατική του ισορροπία. Ένα ζώο χωρίς νηκτική κύστη είναι λίγο πιο βαρύ από το νερό, κι έτσι βουλιάζει. Γι' αυτό οι καρχαρίες είναι υποχρεωμένοι να κολυμπούν συνεχώς, ώστε να μη βυθίζονται. Ένα ζώο με μεγάλα αεροθυλάκια μέσα του, σαν τον άνθρωπο με τα μεγάλα πνευμόνια του, τείνει να ανεβαίνει στην επιφάνεια. Κάπου στο μέσο αυτού του συνεχούς, βρίσκεται ένα ζώο με νηκτική κύστη που έχει ακριβώς το σωστό μέγεθος, ώστε ούτε να βουλιάζει ούτε να υψώνεται στην επιφάνεια, αλλά να επιπλέει χωρίς καμιά προσπάθεια, ισορροπώντας στο υδάτινο περιβάλλον του. Αυτό είναι το τέχνασμα που έχουν τελειοποιήσει τα σύγχρονα ψάρια, εκτός από τους καρχαρίες. Έτσι, δεν σπαταλούν ενέργεια στην προσπάθειά τους να μη βουλιάζουν. Τα πτερύγια και η ουρά τους είναι ελεύθερα για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης και τη γρήγορη προώθηση. Τα ψάρια αυτά δεν εξαρτώνται πια από τον εξωτερικό αέρα για να γεμίζουν την κύστη, αλλά έχουν ειδικούς αδένες που παρασκευάζουν αέριο. Χρησιμοποιώντας αυτούς τους αδένες, καθώς και άλλα μέσα, ρυθμίζουν με ακρίβεια τον όγκο του αερίου μέσα στην κύστη, έτσι ώστε να διατηρούνται σε υδροστατική ισορροπία.

Υπάρχουν αρκετά είδη σύγχρονων ψαριών που μπορούν να βγουν από το νερό. Ένα ακραίο παράδειγμα είναι ο ανάβας, η «αναρριχώμενη» πέρκα της Ινδίας, που δεν μπαίνει σχεδόν καθό-

λου στο νερό. Η πέρκα αυτή έχει αναπτύξει ανεξάρτητα ένα εντελώς διαφορετικό είδος πνεύμονα από εκείνο των προγόνων μας: έναν αεροθύλακα που περιβάλλει τα θράγγια. Άλλα ψάρια ζουν βασικά μέσα στο νερό, αλλά επιχειρούν και σύντομες εξόδους. Μάλλον αυτό έκαναν και οι πρόγονοί μας. Ένα χαρακτηριστικό αυτών των εξόδων είναι ότι η διάρκειά τους μπορεί να μεταβάλλεται κατά συνεχή τρόπο, φτάνοντας μέχρι και το μηδέν. Αν ήσαστε ένα ψάρι που βασικά ζει και αναπνέει μέσα στο νερό, αλλά που μερικές φορές βγαίνει και στη στεριά, ίσως για να περάσει από μια λακούβα νερού σε μια άλλη λίγο παρακάτω, ώστε να επιζήσει από την ξηρασία, μπορεί να σας ωφελούσε όχι απλώς μισός πνεύμονας, αλλά ακόμη και ένα εκατοστό του. Δεν έχει σημασία πόσο μικρός είναι αυτός ο αρχέγονος πνεύμονας, αφού θα υπάρχει κάποιο χρονικό διάστημα έξω από το νερό που το ψάρι θα μπορεί να το αντέξει επειδή έχει τον πνεύμονα, και αφού το εν λόγω διάστημα είναι λίγο μεγαλύτερο από εκείνο που θα άντεχε χωρίς αυτόν. Ο χρόνος είναι κι αυτός μια συνεχής μεταβλητή. Δεν υπάρχει καμιά απόλυτη διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στα ζώα που αναπνέουν στο νερό και στα ζώα που αναπνέουν στον αέρα. Διάφορα ζώα μπορεί να περνούν το 99% του χρόνου τους στο νερό, ή το 98%, ή το 97%, και ούτω καθεξής, μέχρι και το 0%. Σε κάθε θήμα αυτού του φάσματος, ακόμη και μια ανεπαίσθητη αύξηση της εσωτερικής επιφάνειας του πνεύμονα θα ήταν ένα πλεονέκτημα. Υπάρχει συνέχεια, δηλαδή δυνατότητα βαθμιαίας μεταβολής, σε όλο το εύρος του φάσματος.

Σε τι ωφελεί μισό φτερό; Και πώς άρχισαν να διαμορφώνονται τα φτερά; Πολλά ζώα πηδούν από κλαδί σε κλαδί, και μερικές φορές πέφτουν στο έδαφος. Ιδιαίτερα στα μικρά ζώα, ολόκληρη η επιφάνεια του σώματος παρουσιάζει αντίσταση στον αέρα και βοηθάει στο άλμα, ή ανακόπτει την πτώση, λειτουργώντας σαν μια υποτυπώδης αεροτομή. Οποιαδήποτε αύξηση του λόγου της επιφάνειας του σώματος προς το βάρος του θα βοηθούσε, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί, λόγω χάρη, με πτερόγια δέρματος που αναπτύσσονται στις γωνίες των αρθρώσεων. Από εδώ και πέρα, υπάρχει μια συνεχής σειρά διαβαθμίσεων μέχρι τα φτερά αερολίπησης και επομένως και τα κινούμενα φτερά. Εί-



ναι προφανές ότι υπήρχαν αποστάσεις στις οποίες δεν μπορούσαν να πηδήσουν τα αρχαία ζώα με τα πρωτόγονα φτερά. Ωστόσο, είναι εξίσου προφανές ότι, *όσο* μικρές ή *όσο* υποτυπώδεις κι αν ήταν αυτές οι επιφάνειες που έδιναν στα ζώα την αντίσταση στον αέρα, πρέπει να υπήρχε *κάποια* απόσταση, *όσο* μικρή κι αν ήταν, που το ζώο μπορούσε να τη διανύσει με το πτερύγιο, αλλά όχι χωρίς αυτό.

Επίσης, αν τα πρώτα πτερύγια είχαν σκοπό να ανακόψουν την πτώση του ζώου, δεν μπορεί να πει κανείς ότι «κάτω από ένα ορισμένο μέγεθος τα πτερύγια θα ήταν εντελώς άχρηστα». Και πάλι, δεν έχει σημασία πόσο μικρά ήταν τα πρώτα πτερύγια, ούτε πόσο λίγο έμοιαζαν με φτερά. Πρέπει να υπάρχει κάποιο ύψος, *ας* το ονομάσουμε *υ*, τέτοιο ώστε το ζώο που θα έπεφτε από αυτό να έσπαγε το λαιμό του, ενώ θα επιζούσε έστω και μετά θίας αν έπεφτε από ένα λίγο μικρότερο ύψος. Σ' αυτή την κρίσιμη ζώνη, οποιαδήποτε βελτίωση στην ικανότητα που είχε η επιφάνεια του σώματος να παρουσιάζει αντίσταση στον αέρα και να ανακόπτει την πτώση, *όσο* μικρή κι αν ήταν, μπορεί να καθόριζε τη διαφορά ανάμεσα στη ζωή και στο θάνατο. Έτσι, η φυσική επιλογή θα ευνοήσει τα μικρά, πρωτόγονα πτερύγια. Όταν αυτά τα μικρά πτερύγια γίνουν μέρος του τυπικού εξοπλισμού του ζώου, το κρίσιμο ύψος *υ* γίνεται λίγο μεγαλύτερο. Τώρα μία ακόμη μικρή αύξηση τους μεγέθους των πτερυγίων θα καθορίζει τη διαφορά ανάμεσα στη ζωή και στο θάνατο. Και ούτω καθεξής, μέχρι να αναπτυχθούν κανονικά φτερά.

Υπάρχουν σήμερα ζώα που αντιπροσωπεύουν θαυμάσια όλα τα μέρη αυτού του συνεχούς. Υπάρχουν βάτραχοι με μεγάλες μεμβράνες ανάμεσα στα δάχτυλα των ποδιών οι οποίες τους βοηθούν να ολισθαίνουν στον αέρα, δεινόσαυρα φίδια με πεπλατυσμένο σώμα που παρουσιάζει αντίσταση στον αέρα, σαύρες με πτερύγια κατά μήκος του σώματός τους, και αρκετά διαφορετικά είδη θηλαστικών που διασχίζουν τον αέρα με μεμβράνες οι οποίες απλώνονται ανάμεσα στα μέλη τους, δείχνοντάς μας με ποιον τρόπο πρέπει να ξεκίνησαν οι νυχτερίδες. Αντίθετα απ' ό,τι γράφεται στα βιβλία των δημιουργιστών, όχι μόνο τα ζώα με «μισό φτερό» είναι συνηθισμένα, αλλά εξίσου συνηθισμένα είναι και

τα ζώα με ένα τέταρτο του φτερού, με τρία τέταρτα του φτερού, και ούτω καθεξής. Η ιδέα ενός «πτητικού συνεχούς» γίνεται ακόμη πιο πειστική αν θυμηθούμε ότι τα πολύ μικρά ζώα τείνουν να αιωρούνται απαλά στον αέρα, όποιο κι αν είναι το σχήμα τους. Ο λόγος για τον οποίο θεωρώ πειστικό αυτό το επιχείρημα είναι ότι μας δίνει ένα συνεχές απειροελάχιστων διαβαθμίσεων από το μικρό μέχρι το μεγάλο μέγεθος.

Η ιδέα των απειροελάχιστων αλλαγών που συσσωρεύονται σε πολλά διαδοχικά βήματα είναι πολύ σημαντική και μπορεί να εξηγήσει μια τεράστια σειρά φαινομένων που σε διαφορετική περίπτωση θα παρέμεναν ανεξήγητα. Ποια είναι η προέλευση του δηλητηρίου των φιδιών; Πολλά ζώα δαγκώνουν, και το σάλιο όλων των ζώων περιέχει πρωτεΐνες που, αν εισέλθουν σε ένα τραύμα, μπορεί να προκαλέσουν αλλεργική αντίδραση. Ακόμη και το δάγκωμα των λεγόμενων μη δηλητηριωδών φιδιών μπορεί να προκαλέσει οδυνηρή αντίδραση σε μερικά άτομα. Έτσι έχουμε και πάλι μια συνεχή, διαβαθμισμένη σειρά από το συνηθισμένο σάλιο μέχρι το θανατηφόρο δηλητήριο.

Από πού προέρχονται τα αυτιά; Η επιφάνεια του δέρματος αντιλαμβάνεται τις δονήσεις αν έρθει σε επαφή με δονούμενα αντικείμενα. Αυτό είναι ένα φυσικό αποτέλεσμα της αίσθησης της αφής. Η φυσική επιλογή μπορεί πολύ εύκολα να ενίσχυσε σταδιακά αυτή την ικανότητα μέχρι που η μεμβράνη να έγινε αρκετά ευαίσθητη ώστε να μπορεί να συλλαμβάνει πολύ μικρές δονήσεις με την επαφή. Σ' αυτό το στάδιο, θα ήταν αρκετά ευαίσθητη ώστε να μπορεί να συλλαμβάνει και δονήσεις των μορίων του αέρα, αν ήταν αρκετά ισχυρές ή αν η ηχητική πηγή θρυσκόταν αρκετά κοντά. Έτσι, η φυσική επιλογή θα ευνοούσε την εξέλιξη ειδικών οργάνων – των αυτιών – για τη σύλληψη δονήσεων του αέρα από όλο και μεγαλύτερες αποστάσεις. Είναι εύκολο να δούμε ότι κι εδώ έχουμε μια συνεχή τροχιά βαθμιαίων βελτιώσεων. Πώς άρχισε ο ηχοεντοπισμός; Κάθε ζώο που έχει την ικανότητα της ακοής μπορεί να ακούσει και αντηχήσεις. Οι τυφλοί άνθρωποι συχνά μάθαιναν να τις χρησιμοποιούν. Μια στοιχειώδης μορφή αυτής της ικανότητας σε αρχαία θηλαστικά θα αποτελούσε πρόσφορη «πρώτη ύλη» πάνω στην οποία θα μπορούσε να

οικοδομήσει η φυσική επιλογή, φτάνοντας με βαθμιαία βήματα στην υψηλή τελειότητα των νυχτερίδων.

Η όραση με απόδοση 5% είναι καλύτερη από την απουσία όρασης. Η ακοή με απόδοση 5% είναι καλύτερη από την ανυπαρξία ακοής. Η ικανότητα πτήσης με απόδοση 5% είναι καλύτερη από την ανικανότητα πτήσης. Είναι απόλυτα πιστευτό ότι κάθε όργανο που βλέπουμε σήμερα αποτελεί το προϊόν μιας ομαλής τροχιάς μέσα στον ζωικό χώρο, μιας τροχιάς που, σε κάθε ενδιάμεσο στάδιό της, βοηθούσε στην επιβίωση και την αναπαραγωγή. Κάθε φορά που έχουμε ένα X σε ένα πραγματικό ζωντανό ζώο, όπου X είναι κάποιο όργανο τόσο πολύπλοκο ώστε να είναι αδύνατο να διαμορφώθηκε τυχαία με ένα μοναδικό βήμα, τότε, σύμφωνα με τη θεωρία της εξέλιξης μέσω της φυσικής επιλογής, πρέπει να συμπεράνουμε ότι ένα τμήμα του X είναι προτιμότερο από την ανυπαρξία του X, ότι δύο τμήματα του X πρέπει να είναι καλύτερα από ένα, και ότι ένα πλήρες X πρέπει να είναι καλύτερο από εννέα δέκατα του X. Δεν δυσκολεύομαι καθόλου να δεχτώ ότι αυτοί οι συλλογισμοί ισχύουν για τα μάτια, τα αυτιά (ακόμη και των νυχτερίδων), τα φτερά, τα καμουφλαρισμένα έντομα που μιμούνται κάποιο στοιχείο του περιβάλλοντος, τα δόντια των φιδιών, το κεντρί στις διάφορες μορφές του, τη συμπεριφορά τού κοίκου και όλα τα άλλα παραδείγματα που παρελαύνουν στην αντιεξελικτική προπαγάνδα. Χωρίς αμφιβολία, υπάρχουν άφθονα πιθανά X για τα οποία αυτοί οι συλλογισμοί δεν ισχύουν, πολλές πιθανές εξελικτικές διαδρομές για τις οποίες οι ενδιάμεσες καταστάσεις δεν θα ήταν βελτιώσεις σε σχέση με τους προκατόχους τους. Αλλά αυτά τα X δεν υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο.

Ο Δαρβίνος είχε γράψει (στην *Προέλευση των ειδών*):

Αν μπορούσε να αποδειχτεί ότι υπάρχει ένα οποιοδήποτε πολύπλοκο όργανο που δεν είναι δυνατό να σχηματίστηκε από πολυάριθμες, διαδοχικές, μικρές τροποποιήσεις, η θεωρία μου θα κατέρρεε ολοσχερώς.

Έπειτα από 125 χρόνια, γνωρίζουμε πολύ περισσότερα πράγματα για τα ζώα και τα φυτά απ' όσα γνώριζε ο Δαρβίνος στην εποχή

του, και ακόμη δεν ξέρω ούτε μία περίπτωση στην οποία ένα πολύπλοκο όργανο δεν θα μπορούσε να έχει σχηματιστεί με πολυάριθμες διαδοχικές μικρές τροποποιήσεις. Πιστεύω ότι δεν θα βρεθεί ποτέ μια τέτοια περίπτωση. Οπωσδήποτε, το όργανο θα πρέπει να είναι *πραγματικά* πολύπλοκο και, όπως θα δούμε σε κατοπινά κεφάλαια, θα πρέπει επίσης να δώσουμε τη σωστή έννοια στη λέξη «μικρές». Πάντως, αν ποτέ βρεθεί ένα τέτοιο όργανο, θα πάψω να πιστεύω στο δαρβινισμό.

Μερικές φορές η ιστορία των βαθμιαίων, ενδιάμεσων σταδίων είναι καθαρά γραμμένη στο σχήμα σύγχρονων ζώων, και φτάνει στο σημείο να παίρνει τη μορφή φανερόν ατελειών στον τελικό σχεδιασμό τους. Ο Stephen Gould, στο εξαιρετικό έργο του με τίτλο *The Panda's Thumb* (Το έκτο δάχτυλο του πάνδα), γράφει ότι η εξέλιξη μπορεί να βρει πιο ισχυρή υποστήριξη στις χαρακτηριστικές ατέλειες που υπάρχουν στο σχεδιασμό διαφόρων ζώων παρά στην τελειότητα άλλων σχεδιασμένων. Θα δώσω δύο μόνο σχετικά παραδείγματα.

Τα ψάρια που ζουν στον πυθμένα της θάλασσας θα ωφελούνταν αν ήταν επίπεδα και το σώμα τους μπορούσε να κινείται ξυστά πάνω από τα περιγράμματα των αντικειμένων. Υπάρχουν δύο πολύ διαφορετικά είδη επίπεδων ψαριών που ζουν στον πυθμένα της θάλασσας και έχουν αναπτύξει το σχήμα τους με εντελώς διαφορετικούς τρόπους. Τα σελάγια, συγγενείς των καρχαριών, έχουν γίνει επίπεδα με τον προφανή, θα λέγαμε, τρόπο. Το σώμα τους επεκτάθηκε προς τα πλάγια και σχημάτισε μεγάλα «φτερά». Μοιάζουν με καρχαρίες που τους πάτησε οδοστρωτήρας, αλλά το σώμα τους παραμένει συμμετρικό και «με τη σωστή πλευρά προς τα πάνω». Η πλατίσσα, η γλώσσα, ο ιπλόγλωσσος και οι συγγενείς τους είναι ψάρια που έχουν γίνει επίπεδα με διαφορετικό τρόπο. Είναι οστεϊχθίες (με νηκτική κύστη), και συγγενεύουν με τη ρέγγα, την πείστροφα, κ.λπ., ενώ δεν έχουν καμία απολύτως σχέση με τους καρχαρίες. Οι οστεϊχθίες, αντίθετα με τους καρχαρίες, έχουν κατά κανόνα την έντονη τάση να γίνονται επίπεδοι κατά τον κατακόρυφο άξονα. Μια ρέγγα, για παράδειγμα, έχει «ύψος» μεγαλύτερο από το πλάτος της. Χρησιμοποιεί ολόκληρο το κατακόρυφα πεπλατυσμένο σώμα της σαν

κολυμβητική επιφάνεια και το κινεί κυματοειδώς μέσα στο νερό καθώς κολυμπά. Επομένως, όταν οι πρόγονοι της πλατέσσας και της γλώσσας κατέφυγαν στον πυθμένα της θάλασσας, ήταν φυσικό να «ξαπλώνουν» με το ένα τους πλευρό και όχι με την κοιλιά, όπως οι πρόγονοι του σελαχιού. Αυτό όμως δημιουργούσε το πρόβλημα ότι το ένα μάτι έβλεπε πάντοτε προς την άμμο και ήταν ουσιαστικά άχρηστο. Η δυσκολία ξεπεράστηκε από την εξέλιξη με τη «μετατόπιση» του κάτω ματιού, έτσι ώστε να βρεθεί στην επάνω πλευρά.

Βλέπουμε αυτή τη διαδικασία της μετατόπισης να επαναλαμβάνεται στην ανάπτυξη όλων των μικρών πλευρονηκτών. Οι μικροί πλευρονήκτες, στην αρχή της ζωής τους, κολυμπούν κοντά στην επιφάνεια και είναι συμμετρικοί και πεπλατυσμένοι κατά τον κατακόρυφο άξονα, όπως οι ρέγγες. Κατόπιν όμως το κρανίο αρχίζει να αναπτύσσεται με έναν παράξενο, ασύμμετρο, διαστρεβλωμένο τρόπο, έτσι που το ένα μάτι, για παράδειγμα το αριστερό, περνά πάνω από την κορυφή του κεφαλιού και καταλήγει στην άλλη πλευρά. Τότε το ψάρι «ξαπλώνει» στον πυθμένα, με τα δύο του μάτια να κοιτάζουν προς τα πάνω: ένα παράξενο πλάσμα, που θυμίζει σύλληψη του Πικάσσο. Παρεμπιπτόντως, μερικοί πλευρονήκτες «ξαπλώνουν» από τη δεξιά πλευρά, άλλοι από την αριστερή, και άλλοι και από τις δύο.

Το σχήμα του κρανίου ενός πλευρονήκτη μαρτυρεί την προέλευσή του. Η ίδια η ατέλειά του είναι ισχυρή απόδειξη της αρχαίας ιστορίας του, μιας ιστορίας βαθμιαίων αλλαγών και όχι σκόπιμου σχεδιασμού. Κανένας λογικός σχεδιαστής δεν θα μπορούσε να συλλάβει ένα τέτοιο τερατούργημα, αν είχε τη δυνατότητα να δημιουργήσει έναν πλευρονήκτη από την αρχή στο σχεδιαστήριό του. Υποψιάζομαι ότι οι περισσότεροι λογικοί σχεδιαστές θα υιοθετούσαν μια λύση όπως αυτή που ακολούθησε το σελάχι. Αλλά η εξέλιξη δεν ξεκινάει ποτέ από την αρχή. Πρέπει να βασιστεί στις μορφές ζωής που ήδη υπάρχουν. Στην περίπτωση των προγόνων του σελαχιού, οι μορφές αυτές ήταν οι καρχαρίες, οι οποίοι γενικά δεν είναι πεπλατυσμένοι πλευρικά, όπως συμβαίνει με τους οστεϊχθύς (π.χ. τις ρέγγες). Αντίθετα, είναι ήδη ελάχιστα πεπλατυσμένοι κατά τον οριζόντιο άξονα. Αυτό

σημαίνει ότι όταν κάποιοι αρχαίοι καρχαρίες κατέφυγαν για πρώτη φορά στον πυθμένα της θάλασσας, υπήρξε μια ομαλή πορεία μέχρι το σχήμα του σελαχιού, όπου το κάθε ενδιάμεσο στάδιο αποτελούσε μια μικρή βελτίωση, για τις συνθήκες του πυθμένα, σε σχέση με το αμέσως προηγούμενο στάδιο, όπου η πλάτυνση ήταν λιγότερη.

Από την άλλη πλευρά, όταν κατέφυγε στον πυθμένα ο πρόγονος της πλατέσσας και του ιππόγλωσσου, που ήταν πεπλατυσμένος κατά τον κατακόρυφο άξονα, όπως οι ρέγγες, βρήκε καλύτερο το να «ξαπλώνει» στο πλάι παρά να ισορροπεί με αστάθεια στην ακμή της κοιλιάς του! Αν και η εξελικτική πορεία του θα τον οδηγούσε στις πολύπλοκες και ίσως «δαπανηρές» παραμορφώσεις που χρειάζονταν για να έχει δύο μάτια από τη μία πλευρά, και παρόλο που η πεπλατυσμένη μορφή του σελαχιού μπορεί τελικά να ήταν η καλύτερη και για τους οστεϊχθύς, φαίνεται ότι οι ενδιάμεσες μορφές που ακολούθησαν αυτή την εξελικτική πορεία δεν τα κατάφερναν τόσο καλά βραχυπρόθεσμα όσο οι μορφές που «ξάπλωναν» στο πλευρό. Αυτές οι δεύτερες μορφές «εφάρμοζαν» στον πυθμένα με πολύ μεγαλύτερη ευκολία. Μέσα στον γενετικό υπερχώρο υπάρχει μια ομαλή τροχιά που συνδέει τους αρχαίους οστεϊχθύς με τους πλευρονήκτες που «ξαπλώνουν» στο πλευρό και έχουν παραμορφωμένα κrania. Δεν υπάρχει όμως καμιά ομαλή τροχιά που να συνδέει αυτούς τους προγόνους των οστεϊχθύων με τους πλευρονήκτες που «ξαπλώνουν» με την κοιλιά κάτω. Αυτές οι υποθέσεις δεν πρέπει να αντιπροσωπεύουν όλη την αλήθεια, γιατί υπάρχουν μερικοί οστεϊχθύς που έχουν αναπτύξει το επίπεδο σχήμα τους με συμμετρικό τρόπο, όπως το σελάχι. Μπορεί οι δικοί τους πρόγονοι να ήταν ήδη ελαφρά πεπλατυσμένοι για κάποιον άλλο λόγο.

Το δεύτερο παράδειγμα μιας εξελικτικής πορείας που δεν συνέβη επειδή οι ενδιάμεσες μορφές μειονεκτούσαν, παρόλο που το τελικό αποτέλεσμα μπορεί να ήταν καλύτερο, αφορά τον αμφιβληστροειδή χιτώνα των ματιών μας (καθώς και όλων των άλλων σπονδυλωτών). Το οπτικό νεύρο, όπως και όλα τα άλλα νεύρα, μοιάζει με ένα καλώδιο αρτηριακού κυκλώματος, μια δέσμη από ξεχωριστά «μονωμένα» σήματα, τα οποία στη συγκεκριμένη πε-

ρίπτωση φτάνουν περίπου τα τρία εκατομμύρια. Το καθένα από αυτά οδηγεί από ένα κύτταρο του αμφιβληστροειδούς στον εγκέφαλο. Μπορούμε να τα φανταστούμε σαν σύρματα που οδηγούν από μια συστοιχία τριών εκατομμυρίων φωτοκυττάρων (για την ακρίβεια, τριών εκατομμυρίων σταθμών αναμετάδοσης που συγκεντρώνουν πληροφορίες από έναν ακόμη μεγαλύτερο αριθμό φωτοκυττάρων), στον υπολογιστή που θα επεξεργαστεί αυτές τις πληροφορίες στον εγκέφαλο. Τα εν λόγω σύρματα συγκεντρώνονται από όλο τον αμφιβληστροειδή και σχηματίζουν μια δέσμη, η οποία είναι το οπτικό νεύρο του ματιού.

Οποιοσδήποτε μηχανικός θα υπέθετε ότι τα φωτοκύτταρα θα ήταν στραμμένα προς το φως, με τα σύρματά τους να έχουν κατεύθυνση προς τα πίσω, για να φτάσουν στον εγκέφαλο. Θα έβαζε τα γέλια αν κάποιος του έλεγε ότι τα φωτοκύτταρα θα μπορούσαν να είναι γυρισμένα με το πίσω μέρος τους προς το φως και τα σύρματά τους να ξεκινούν από την πλευρά που δέχεται το φως. Και όμως, αυτό ακριβώς συμβαίνει στον αμφιβληστροειδή όλων των σπονδυλωτών. Κάθε φωτοκύτταρο είναι ουσιαστικά συνδεδεμένο ανάποδα, με το σύρμα του να προεξέχει από την πλευρά που είναι στραμμένη προς το φως. Το σύρμα διασχίζει την επιφάνεια του αμφιβληστροειδούς μέχρι να φτάσει στο σημείο όπου περνά από ένα άνοιγμα του χιτώνα (το λεγόμενο «τυφλό σημείο»), για να ενωθεί με το οπτικό νεύρο. Αυτό σημαίνει ότι το φως, αντί να μπορεί να φτάσει ελεύθερα στα φωτοκύτταρα, είναι αναγκασμένο να περάσει μέσα από ένα δάσος συρμάτων, με αποτέλεσμα να υφίσταται κάποια εξασθένιση και παραμόρφωση. (Κατά πάσα πιθανότητα, το φως δεν επηρεάζεται πολύ, ανεξάρτητα από αυτό όμως, η βασική αρχή αυτής της διάταξης θα ενοχλούσε οποιονδήποτε μεθοδικό μηχανικό!)

Δεν γνωρίζω ποια ακριβώς είναι η εξήγηση για αυτή την παράξενη κατάσταση, αφού τα σχετικά εξελικτικά θέματα έχουν συμβεί πριν από πάρα πολύ καιρό. Ωστόσο, θα έβαζα στοίχημα ότι είχε κάποια σχέση με την τροχιά ή τη διαδρομή που θα έπρεπε να διανυθεί μέσα στον γενετικό υπερχώρο, με αφετηρία κάποιο αρχαίο όργανο που ήταν ο πρόγονος του ματιού, για να στραφεί ο αμφιβληστροειδής από τη σωστή του πλευρά. Μάλ-



λον υπάρχει μια τέτοια υποθετική τροχιά, αλλά, όταν τέθηκε σε εφαρμογή σε ζώα που αντιπροσώπευαν τα ενδιάμεσα στάδια, αποδείχτηκε μειονεκτική –προσωρινά μειονεκτική, αλλά αυτό ήταν αρκετό. Οι ενδιάμεσες μορφές έβλεπαν ακόμη χειρότερα από τους ατελείς προγόνους τους, και δεν έχει καμία σημασία το γεγονός ότι έχτιζαν μια καλύτερη όραση για τους μακρινούς απογόνους τους! Εκείνο που έχει σημασία είναι η επιβίωση εδώ και τώρα.

Σύμφωνα με το «νόμο του Dollo» η εξέλιξη είναι μη αντιστρέψιμη. Αυτός ο κανόνας συγγέεται συχνά με διάφορες ιδεαλιστικές ανοησίες για το αναπόφευκτο της προόδου, που κι αυτές συνδέονται με άλλες ανοησίες αδαών, σύμφωνα με τις οποίες η εξέλιξη «παραβιάζει τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής». (Όσοι ανήκουν στο 50% του μορφωμένου πληθυσμού που, σύμφωνα με τον μυθιστοριογράφο C.P. Snow, γνωρίζει τι είναι ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής, θα καταλάβουν ότι δεν παραβιάζεται από την εξέλιξη περισσότερο απ' ό,τι παραβιάζεται από την ανάπτυξη ενός βρέφους.) Δεν υπάρχει καμία συγκεκριμένη αιτία για να μην επιτρέπεται η αντιστροφή των γενικών τάσεων της εξέλιξης. Αν για ένα διάστημα η εξέλιξη ακολουθεί μια τάση προς τα μεγάλα κέρατα, στη συνέχεια μπορεί εξίσου εύκολα να ακολουθήσει μια τάση προς μικρότερα κέρατα. Ουσιαστικά, ο νόμος του Dollo τονίζει πόσο στατιστικά απίθανο είναι να ακολουθηθεί η ίδια εξελικτική τροχιά δύο φορές (ή, γενικότερα, οποιαδήποτε συγκεκριμένη τροχιά), προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Ένα και μόνο μεταλλακτικό θήμα μπορεί εύκολα να αντιστραφεί, αλλά για μεγαλύτερους αριθμούς μεταλλακτικών θημάτων, ακόμη και στην περίπτωση των βιομορφών με τα εννέα μόνο γονίδια, ο μαθηματικός χώρος όλων των δυνατών τροχιών είναι τόσο μεγάλος ώστε η πιθανότητα να καταλήξουν στο ίδιο σημείο δύο διαφορετικές τροχιές γίνεται απειροελάχιστη. Αυτό ισχύει ακόμη περισσότερο για τα πραγματικά ζώα, που ο αριθμός των γονιδίων τους είναι σε τεράστιο βαθμό μεγαλύτερος από εκείνο των βιομορφών του υπολογιστή. Ο νόμος του Dollo δεν έχει τίποτε το μυστηριώδες ή το μυστικιστικό, ούτε και είναι κάτι που μπορούμε να δοκιμάσουμε και να αποδείξουμε στη φύση. Απλώς προκύπτει από τους στοιχειώδεις νόμους των πιθανοτήτων.

Για τον ίδιο ακριβώς λόγο, είναι εντελώς απίθανο να διανυθεί δύο φορές η ίδια ακριβώς εξελικτική διαδρομή. Και φαίνεται εξίσου απίθανο, για τους ίδιους στατιστικούς λόγους, να συγκλίνουν δυο εξελικτικές γραμμές στο ίδιο ακριβώς σημείο, ενώ έχουν ξεκινήσει από διαφορετικές αφετηρίες.

Για τους παραπάνω λόγους, είναι ακόμη πιο εντυπωσιακό, ως τεκμήριο της δύναμης της φυσικής επιλογής, το γεγονός ότι στη φύση υπάρχουν πολυάριθμα παραδείγματα στα οποία ανεξάρτητες γραμμές εξέλιξης έχουν ξεκινήσει από πολύ διαφορετικές αφετηρίες και δίνουν την εντύπωση ότι συγκλίνουν σε σημεία που φαίνονται σε μεγάλο βαθμό να είναι πανομοιότυπα. Όταν όμως τα εξετάσουμε λεπτομερώς, διαπιστώνουμε ότι η σύγκλιση δεν είναι απόλυτη –θα ήταν ανησυχητικό αν συνέβαινε αυτό. Οι διαφορετικές γραμμές εξέλιξης μαρτυρούν την ανεξάρτητη προέλευσή τους σε πολλές λεπτομέρειες. Για παράδειγμα, τα μάτια των χταποδιών μοιάζουν πολύ με τα δικά μας, αλλά τα στυράματα που συνδέονται με τα φωτοκύτταρα δεν ξεπροβάλλουν από την πλευρά που δέχεται το φως, όπως συμβαίνει με τα δικά μας. Από αυτή την άποψη, τα μάτια των χταποδιών είναι πιο «λογικά» σχεδιασμένα. Έχουν φτάσει σε ένα παρόμοιο εξελικτικό σημείο ξεκινώντας από μια πολύ διαφορετική αφετηρία. Και το γεγονός αυτό φανερώνεται από τέτοιες λεπτομέρειες.

Τέτοιες επιφανειακά συγκλίνουσες ομοιότητες είναι συχνά εξαιρετικά εντυπωσιακές, και γι' αυτό θα αφιερώσω το υπόλοιπο κεφάλαιο σε μερικές από αυτές. Δείχνουν με εξαιρετικό τρόπο τη δύναμη που έχει η φυσική επιλογή να καταλήγει σε καλοσχεδιασμένα συστήματα. Ωστόσο, το γεγονός ότι οι φαινομενικά παρόμοιοι σχεδιασμοί διαφέρουν μεταξύ τους από άλλες απόψεις μαρτυρεί την ανεξάρτητη εξελικτική τους προέλευση και τη διαφορετική τους ιστορία. Η βασική συλλογιστική είναι ότι, αν ένας σχεδιασμός είναι αρκετά καλός ώστε να εξελιχθεί μία φορά, η ίδια σχεδιαστική αρχή είναι αρκετά καλή για να εξελιχθεί και δεύτερη φορά, από διαφορετικές αφετηρίες και σε διαφορετικά μέρη του ζωικού βασιλείου. Η καλύτερη απόδειξη γι' αυτό είναι το παράδειγμα καλού σχεδιασμού που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω: ο ηχοεντοπισμός.

Οι περισσότερες γνώσεις μας για τον ηχοεντοπισμό προέρχονται από τις νυχτερίδες (και τα αντίστοιχα ανθρώπινα όργανα). Αυτό το σύστημα όμως υπάρχει και σε μερικά άλλα ζώα. Χρησιμοποιείται από δύο τουλάχιστον διαφορετικές ομάδες πτηνών και έχει οδηγηθεί σε πολύ υψηλό επίπεδο ανάπτυξης στα δελφίνια και τις φάλαινες. Επιπλέον, είναι σχεδόν σίγουρο ότι «ανακαλύφθηκε» ανεξάρτητα από δύο τουλάχιστον διαφορετικές ομάδες νυχτερίδων. Τα πτηνά που χρησιμοποιούν ηχοεντοπισμό είναι τα γκουατσάρο της Νότιας Αμερικής και τα οι κολλοκάλιες της Άπω Ανατολής, τα πουλιά που οι φωνιές τους χρησιμοποιούνται για σούπα. Και τα δύο αυτά είδη πουλιών φτιάχνουν τις φωνιές τους βαθιά μέσα σε σπηλιές όπου υπάρχει ελάχιστο ή και καθόλου φως, και πετούν στο σκοτάδι χρησιμοποιώντας την ηχώ από τα ηχητικά «κλικ» που παράγουν. Και στις δύο περιπτώσεις οι ήχοι είναι αισθητοί και από τους ανθρώπους, δηλαδή δεν είναι υπέρηχοι όπως τα πιο εξειδικευμένα «κλικ» των νυχτερίδων. Πραγματικά, κανένα από τα δύο είδη πουλιών δεν έχει αναπτύξει τον ηχοεντοπισμό σε τέτοιο επίπεδο τελειότητας όσο οι νυχτερίδες. Τα «κλικ» των πουλιών δεν έχουν διαμόρφωση συχνότητας, ούτε και είναι κατάλληλα για τον υπολογισμό της ταχύτητας με τη μέθοδο της μετατόπισης Doppler. Τα πουλιά κάνουν μάλλον αυτό που κάνει και η νυχτερίδα *Rousettus*, δηλαδή χρονομετρούν το διάστημα της σιωπής που μεσολαθεί μεταξύ καθενός «κλικ» και της ηχούς του.

Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να είμαστε απόλυτα βέβαιοι ότι τα δύο είδη πουλιών επινόησαν τον ηχοεντοπισμό ανεξάρτητα από τις νυχτερίδες και ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Οι συλλογισμοί που μας οδηγούν σ' αυτό το συμπέρασμα χρησιμοποιούνται συχνά από τους εξελικτιστές. Εξετάζουμε τα χιλιάδες είδη πτηνών και παρατηρούμε ότι η πλειονότητά τους δεν χρησιμοποιεί ηχοεντοπισμό. Τον χρησιμοποιούν μόνο δύο απομονωμένα μικρά γένη πουλιών, τα οποία δεν έχουν κανένα άλλο κοινό στοιχείο εκτός από το γεγονός ότι ζουν και τα δύο σε σπηλιές. Μολονότι πιστεύουμε ότι όλα τα πτηνά και οι νυχτερίδες πρέπει να έχουν έναν κοινό πρόγονο, αν ακολουθήσουμε την εξελικτική τους γραμμή για αρκετό χρόνο προς τα πίσω, αυτός ο κοινός

πρόγονος ήταν επίσης κοινός πρόγονος όλων των θηλαστικών (συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου) και όλων των πτηνών. Η συντριπτική πλειοψηφία των θηλαστικών και των πτηνών δεν χρησιμοποιεί ηχοεντοπισμό και είναι εξαιρετικά πιθανό να μην τον χρησιμοποιούσε ούτε ο κοινός πρόγονός τους. (Επίσης, ο κοινός αυτός πρόγονος δεν πετούσε –η πτήση είναι μία ακόμη τεχνολογία που αναπτύχθηκε ανεξάρτητα αρκετές φορές.) Από αυτό έπεται ότι η τεχνολογία του ηχοεντοπισμού αναπτύχθηκε από τις νυχτερίδες και τα πτηνά ανεξάρτητα, όπως αναπτύχθηκε ταυτόχρονα από τους βρετανούς, τους αμερικανούς και τους γερμανούς επιστήμονες. Οι ίδιοι συλλογισμοί, αλλά σε μικρότερη κλίμακα, μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ούτε ο κοινός πρόγονος του γκουατσάρου και της κολλοκάλιας χρησιμοποιούσε ηχοεντοπισμό και ότι αυτά τα δύο γένη ανέπτυξαν την ίδια τεχνολογία ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

Ωστόσο, ακόμη και ανάμεσα στα θηλαστικά, οι νυχτερίδες δεν είναι η μοναδική ομάδα που ανέπτυξε ανεξάρτητα την τεχνολογία του ηχοεντοπισμού. Αρκετά διαφορετικά είδη θηλαστικών, όπως για παράδειγμα η μυγαλή, ο αρουραίος και η φώκια, φαίνεται ότι χρησιμοποιούν τις αντηχήσεις σε κάποιο περιορισμένο βαθμό, όπως κάνουν και οι τυφλοί άνθρωποι, αλλά τα μόνα ζώα που φτάνουν τις νυχτερίδες σ' αυτό τον τομέα είναι τα κητώδη. Τα κητώδη χωρίζονται σε δύο κύριες ομάδες, τα οδοντοκητώδη και τα μυστακοκητώδη. Και οι δύο ομάδες, φυσικά, είναι θηλαστικά που κατάγονται από χερσαίους προγόνους και μπορεί κάλλιστα να «επινόησαν» τον τρόπο ζωής των κητωδών ανεξάρτητα η μια από την άλλη, ξεκινώντας από διαφορετικούς προγόνους. Τα οδοντοκητώδη περιλαμβάνουν τους φουσητήρες, τις όρκες και τα διάφορα είδη δελφινιών, που κυνηγούν σχετικά μεγάλα θηράματα, όπως ψάρια και καλαμάρια, πιάνοντάς τα μέσα στις σιαγόνες τους. Αρκετά οδοντοκητώδη, από τα οποία έχουν πλήρως μελετηθεί μόνο τα δελφίνια, έχουν αναπτύξει εξελιγμένα συστήματα ηχοεντοπισμού.

Τα δελφίνια εκπέμπουν γρήγορες σειρές από «κλικ» υψηλής συχνότητας, που μερικά είναι αισθητά από τον άνθρωπο και μερικά είναι υπέρηχοι. Είναι πιθανό ότι η θολωτή προεξοχή που

υπάρχει στο μπροστινό μέρος του κεφαλιού των δελφινιών -κατά παράξενη σύμπτωση μοιάζει με τη θολωτή προεξοχή του ραντάρ στα αεροσκάφη Nimrod- έχει κάποια σχέση με την εκπομπή σημάτων σόναρ προς τα εμπρός, αλλά η ακριβής λειτουργία της δεν έχει κατανοηθεί ακόμη. Όπως και στην περίπτωση των νυχτερίδων, υπάρχει ένας σχετικά αργός ρυθμός εκπομπής των κλικ, που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί «ρυθμός περιπολίας», ο οποίος μπορεί να επιταχυνθεί και να φτάσει σε ένα δόμπο τετρακοσίων κλικ το δευτερόλεπτο όταν το ζώο πλησιάζει το θήραμά του. Ακόμη όμως και ο «αργός» ρυθμός είναι αρκετά ταχύς. Τα δελφίνια των ποταμών που ζουν σε λασπώδη νερά είναι ίσως οι πιο επιδέξιοι ηχοεντοπιστές, αλλά πειράματα έχουν δείξει ότι και μερικά δελφίνια της ανοιχτής θάλασσας τα καταφέρνουν επίσης πολύ καλά. Ένα δελφίνι του Ατλαντικού, ο φουσητήρας, μπορεί να διακρίνει κύκλους, τετράγωνα και τρίγωνα (όλα με το ίδιο εμβαδόν) χρησιμοποιώντας μόνο το σόναρ του. Αν του δοθούν δύο στόχοι, μπορεί να καταλάβει ποιος βρίσκεται πλησιέστερα ακόμη και όταν η διαφορά ανάμεσά τους είναι μόνο 3 εκατοστά σε συνολική απόσταση 6,5 περίπου μέτρων. Μπορεί να αντιληφθεί μια ατσάλινη σφαίρα με το μισό μέγεθος από την μπάλα τού γκολφ σε απόσταση 64 μέτρων. Αυτή η απόδοση δεν είναι τόσο καλή όσο της ανθρώπινης όρασης με καλό φως, είναι όμως μάλλον καλύτερη από την ανθρώπινη όραση με το φως της σελήνης.

Έχει προταθεί η ενδιαφέρουσα θεωρία ότι τα δελφίνια έχουν τη δυνατότητα να ανταλλάσσουν εύκολα «νοητικές εικόνες» μεταξύ τους. Για να το κάνουν αυτό θα έπρεπε απλώς να χρησιμοποιήσουν τις εξαιρετικά εύπλαστες φωνές τους, ώστε να μιμηθούν τους ήχους που θα παρήγε η χηιά από ένα συγκεκριμένο αντικείμενο. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσαν να μεταδίδουν το ένα στο άλλο τη νοητική εικόνα ενός αντικειμένου. Δεν υπάρχει καμιά ένδειξη για την εγκυρότητα αυτής της υπέροχης εικασίας. Θεωρητικά, οι νυχτερίδες θα μπορούσαν να κάνουν το ίδιο, τα δελφίνια όμως φαίνονται πιθανότεροι υπονήφιοι για τη χρησιμοποίηση ενός τέτοιου συστήματος, γιατί είναι γενικά πιο κοινωνικά ζώα. Μάλλον είναι επίσης «πιο έξυπνα», αλλά αυτό δεν

αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση. Τα όργανα που θα ήταν απαραίτητα για την επικοινωνία με ηχητικές εικόνες δεν είναι πιο πολύπλοκα από αυτά που έχουν ήδη και οι νυχτερίδες και τα δελφίνια για τον ηχοεντοπισμό. Και φαίνεται να υπάρχει ένα ομαλό, βαθμιδωτό συνεχές από τη χρήση της φωνής για την παραγωγή αντιλήψεων ως τη χρήση της για την απομίμηση αντιλήψεων.

Έτσι, δύο τουλάχιστον ομάδες νυχτερίδων, δύο ομάδες πουλιών, τα οδοντοκτητώδη και ίσως αρκετά άλλα είδη θηλαστικών σε μικρότερο βαθμό, έχουν συγκλίνει όλα ανεξάρτητα στην τεχνολογία του σόναρ μέσα στα τελευταία εκατό εκατομμύρια χρόνια. Δεν μπορούμε να ξέρουμε αν είχαν αναπτύξει ανεξάρτητα την ίδια τεχνολογία και ζώα που τώρα έχουν εξαφανιστεί (οι πετροδάκτυλοι ίσως!).

Μέχρι τώρα δεν έχουν βρεθεί έντομα ούτε ψάρια που να χρησιμοποιούν σόναρ, υπάρχουν όμως δύο εντελώς διαφορετικές ομάδες ψαριών, μία στη Νότια Αμερική και μία στην Αφρική, που έχουν αναπτύξει ένα κάπως παρόμοιο σύστημα πλοήγησης. Το σύστημα αυτό, που φαίνεται να είναι εξίσου καλά εξελιγμένο, μπορεί να θεωρηθεί ότι δίνει μια παρόμοια λύση στο ίδιο πρόβλημα. Πρόκειται για τα ασθενώς ηλεκτροφόρα ψάρια. Η λέξη «ασθενώς» τα διαφοροποιεί από τα ισχυρώς ηλεκτροφόρα ψάρια, που χρησιμοποιούν ηλεκτρικά πεδία όχι για να ρυθμίζουν την πορεία τους αλλά για να εξουδετερώσουν τη λεία τους. Παρεμπιπτόντως, η τεχνική αυτή έχει επινοηθεί ανεξάρτητα από αρκετές άσχετες ομάδες ψαριών, όπως για παράδειγμα από τα ηλεκτροφόρα «χέλια» (που δεν είναι γνήσια χέλια αλλά το σχήμα τους συγκλίνει προς εκείνο των γνήσιων χελιών) και από τις ηλεκτροφόρες ρίνες.

Τα ασθενώς ηλεκτροφόρα ψάρια της Νότιας Αμερικής και της Αφρικής δεν έχουν σχέση μεταξύ τους, αλλά ζουν και τα δύο στο ίδιο είδος νερού, το καθένα στη δική του ήπειρο, δηλαδή σε νερό τόσο λασπώδες, ώστε να μην μπορεί να λειτουργήσει η όραση. Η φυσική αρχή που εκμεταλλεύονται –τα ηλεκτρικά πεδία μέσα στο νερό– είναι για τη δική μας εμπειρία ακόμη πιο ξένη από το σύστημα των νυχτερίδων και των δελφινιών. Ο άν-

θρωπος έχει τουλάχιστον μια υποκειμενική ιδέα για το τι είναι η ηχώ, αλλά δεν έχουμε καμία υποκειμενική αίσθηση για το πώς μπορεί να είναι η αισθητηριακή αντίληψη ενός ηλεκτρικού πεδίου. Δεν γνωρίζαμε καν την ύπαρξη του ηλεκτρισμού μέχρι πριν από δύο αιώνες. Έτσι, δεν μπορούμε ως άνθρωποι να φανταστούμε την εμπειρία των ηλεκτροφόρων ψαριών, μπορούμε όμως, με βάση τις γνώσεις της φυσικής, να την κατανοήσουμε.

Όταν τρώμε ένα ψάρι, είναι εύκολο να δούμε ότι οι μύες σε κάθε πλευρά του είναι διατεταγμένοι σε μια σειρά από τμήματα, μια συστοιχία από μυϊκές μονάδες. Στα περισσότερα ψάρια αυτοί οι μύες συσπώνται διαδοχικά και δίνουν στο σώμα την κυματοειδή κίνηση που το ωθεί προς τα εμπρός. Στις δύο κατηγορίες ηλεκτροφόρων ψαριών, οι εν λόγω μύες αποτελούν «συστοιχία» με την έννοια του ηλεκτρισμού. Κάθε τμήμα («στοιχείο») τής συστοιχίας παράγει μια διαφορά δυναμικού. Αυτές οι διαφορές δυναμικού βρίσκονται εν σειρά κατά μήκος του ψαριού, έτσι ώστε, σε ένα ισχυρώς ηλεκτροφόρο ψάρι, όπως το ηλεκτροφόρο χέλι, ολόκληρη η συστοιχία να παράγει τάση μέχρι και 650 volt με ρεύμα έντασης 1 amp. Ένα ηλεκτροφόρο χέλι μπορεί να αφήσει αναίσθητο έναν άνθρωπο. Τα ασθενώς ηλεκτροφόρα ψάρια δεν χρειάζονται υψηλή διαφορά δυναμικού ή ρεύμα μεγάλης έντασης για το σκοπό τους, που είναι μόνο η συγκέντρωση πληροφοριών.

Η αρχή του ηλεκτροεντοπισμού, όπως έχει ονομαστεί, έχει κατανοηθεί αρκετά καλά στο επίπεδο της φυσικής, αλλά βέβαια όχι και στο επίπεδο του τι νιώθει κανείς όντας ηλεκτροφόρο ψάρι. Η ακόλουθη περιγραφή ισχύει τόσο για τα αφρικανικά όσο και για τα νοτιοαμερικανικά ασθενώς ηλεκτροφόρα ψάρια –τόσο μεγάλη είναι η σύγκλιση μεταξύ τους. Το ρεύμα ρέει από το μισό μπροστινό μέρος του ψαριού προς το νερό, σε γραμμές που καμπυλώνονται προς τα πίσω, και επιστρέφουν στην ουρά του ψαριού. Στην πραγματικότητα δεν είναι διακριτές «γραμμές» αλλά ένα συνεχές «πεδίο», ένα αόρατο κουκούλι ηλεκτρισμού που περιβάλλει το ψάρι. Ωστόσο, μας είναι πιο εύκολο να φανταζόμαστε μια δέσμη καμπυλωμένων γραμμών που εξέρχονται από το ψάρι μέσα από μια σειρά από «φινιστρίνια» τα οποία βρίσκονται



στο μπροστινό μέρος του σώματός του. Οι γραμμές εξαπλώνονται μέσα στο νερό και καταλήγουν πάλι στο ψάρι, στην άκρη της ουράς του. Σε κάθε «φινιστρίνι» υπάρχει κάτι που ισοδυναμεί με ένα μικροσκοπικό βολτόμετρο, το οποίο παρακολουθεί το δυναμικό σ' αυτό. Αν δεν υπάρχουν αντικείμενα γύρω από το ψάρι, οι γραμμές είναι ομαλές καμπύλες και τα μικροσκοπικά βολτόμετρα σε κάθε φινιστρίνι καταγράφουν ένα δυναμικό που είναι «φυσιολογικό» για το συγκεκριμένο σημείο. Αν όμως εμφανιστεί κάποιο εμπόδιο στον γύρω χώρο, όπως ένας βράχος ή κάτι φαγώσιμο, οι γραμμές του ρεύματος που θα συναντήσουν το εμπόδιο παραμορφώνονται. Τότε μεταβάλλεται και το δυναμικό σε όλα τα «φινιστρίνια» των οποίων επηρεάζονται οι δυναμικές γραμμές, και τα αντίστοιχα βολτόμετρα καταγράφουν το γεγονός. Έτσι, θεωρητικά, ένας υπολογιστής θα μπορούσε να υπολογίσει το σχήμα των αντικειμένων γύρω από το ψάρι με βάση το δυναμικό που καταγράφει κάθε «φινιστρίνι». Φαίνεται ότι αυτό ακριβώς κάνει και ο εγκέφαλος του ψαριού. Και πάλι επισημαίνουμε ότι αυτό δεν σημαίνει ότι τα ψάρια ξέρουν μαθηματικά. Απλώς έχουν ένα όργανο που λύνει τις απαραίτητες εξισώσεις, όπως ακριβώς ο δικός μας εγκέφαλος λύνει ασυνειδήτητα εξισώσεις κάθε φορά που πιάνουμε μια μπάλα.

Για να μπορεί να λειτουργήσει το σύστημα του ηλεκτροεντοπισμού, πρέπει απαραίτητα το σώμα του ψαριού να είναι εντελώς άκαμπτο. Ο υπολογιστής στον εγκέφαλο του ψαριού δεν μπορεί να υπολογίσει τις πρόσθετες παραμορφώσεις που θα συνέβαιναν αν το σώμα του ψαριού κινούνταν κυματοειδώς όπως συμβαίνει στα συνηθισμένα ψάρια. Τα ηλεκτροφόρα ψάρια ανακάλυψαν αυτή την έξυπνη μέθοδο πλοήγησης δύο τουλάχιστον φορές, και εντελώς ανεξάρτητα, αλλά πλήρωσαν το τμήμα: αναγκάστηκαν να εγκαταλείψουν τη συνηθισμένη και εξαιρετικά αποδοτική μέθοδο κολύμβησης των ψαριών, στην οποία ολόκληρο το σώμα κινείται με οφιοειδείς κινήσεις. Τα ηλεκτροφόρα ψάρια έλυσαν το πρόβλημα διατηρώντας το σώμα τους άκαμπτο σαν ξύλο, ενώ για την κίνησή τους διαθέτουν ένα μακρύ πτερύγιο καθ' όλο το μήκος του σώματός τους. Έτσι, αντί να κινείται κυματοειδώς ολόκληρο το σώμα, κινείται μόνο το μακρύ πτερύ-

γιο. Η κίνηση του ψαριού είναι μάλλον αργή, αλλά φαίνεται ότι το κέρδος στον τομέα της πλοήγησης είναι πιο σημαντικό από τις απώλειες στην ταχύτητα κολύμβησης. Ένα συναρπαστικό στοιχείο είναι ότι τα ηλεκτροφόρα ψάρια της Νότιας Αμερικής έχουν βρει την ίδια σχεδόν λύση με τα αφρικανικά, αλλά όχι εντελώς. Η διαφορά είναι αποκαλυπτική. Και οι δύο ομάδες ανέπτυξαν ένα ενιαίο μακρύ πτερύγιο που διατρέχει ολόκληρο το μήκος του σώματος, αλλά στα αφρικανικά ψάρια βρίσκεται στην πλάτη ενώ στα νοτιοαμερικανικά βρίσκεται στην κοιλιά. Όπως έχουμε δει, αυτές οι διαφορές στις λεπτομέρειες είναι ένα πολύ χαρακτηριστικό γνώρισμα της συγκλίνουσας εξέλιξης. Φυσικά, είναι επίσης ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα του συγκλίνοντος σχεδιασμού, στην περίπτωση των συστημάτων που σχεδιάζονται από ανθρώπους.

Τα περισσότερα ασθενώς ηλεκτροφόρα ψάρια, τόσο στις αφρικανικές όσο και στις νοτιοαμερικανικές ομάδες, παράγουν τις ηλεκτρικές εκκενώσεις σε διακριτούς παλμούς, και γι' αυτό ονομάζονται «παλμικά» είδη, υπάρχει όμως και μια μειονότητα ειδών, και στις δύο ομάδες, που χρησιμοποιούν το σύστημα διαφορετικά και ονομάζονται «κυματικά» είδη. Δεν θα αναφερθώ περισσότερο σ' αυτή τη διαφορά. Το σημαντικό στοιχείο γι' αυτό το κεφάλαιο είναι ότι η διαφοροποίηση παλμών/κυμάτων εξελίχθηκε δύο φορές ανεξάρτητα, σε ομάδες ψαριών του Παλαιού και του Νέου Κόσμου που δεν είχαν καμία σχέση μεταξύ τους.

Ένα από τα πιο αλλόκοτα παραδείγματα συγκλίνουσας εξέλιξης αφορά τους λεγόμενους περιοδικούς τζίτζικες. Πριν φτάσουμε στο θέμα της σύγκλισης, θα πρέπει να δώσω πρώτα μερικές απαραίτητες πληροφορίες. Πολλά έντομα έχουν δύο διαφορετικά και σαφώς διαχωρισμένα στάδια στη ζωή τους: ένα νεανικό στάδιο διατροφής, στο οποίο περνούν σχεδόν όλη τη ζωή τους, και ένα σχετικά σύντομο στάδιο ενηλικίωσης και αναπαραγωγής. Για παράδειγμα, τα λεγόμενα εφήμερα περνούν το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους κάτω από το νερό με μορφή προνύμφης και θγαίνουν στον αέρα για μία μόνο μέρα, η οποία αντιπροσωπεύει ολόκληρη την ενήλικη ζωή τους. Μπορούμε να θεωρήσουμε την ενήλικη μορφή του εντόμου ως κάτι αντίστοιχο με τον ιπτάμενο

σπόρο ενός φυτού όπως ο σφένδαμος, ενώ η προνύμφη αντιστοιχεί στο κυρίως φυτό. Η διαφορά σ' αυτή την περίπτωση είναι ότι ο σφένδαμος παράγει πολλούς σπόρους και τους ελευθερώνει σε πολλούς διαδοχικούς κύκλους, ενώ η προνύμφη του εφήμερου δίνει μόνο ένα ενήλικο έντομο στο τέλος της δικής της ζωής. Επιστρέφοντας τώρα στους περιοδικούς τζιτζικες, μπορούμε να πούμε ότι αυτά τα έντομα έδωσαν μια ακραία μορφή στον τρόπο ζωής των εφήμερων. Οι ενήλικοι ζουν μόνο μερικές εβδομάδες, αλλά το «νεανικό» στάδιο (το στάδιο της «νύμφης») διαρκεί 13 χρόνια (σε μερικές ποικιλίες) ή 17 χρόνια (σε άλλες ποικιλίες). Οι ενήλικοι θγαίνουν στην επιφάνεια την ίδια σχεδόν στιγμή, αφού έχουν περάσει 13 (ή 17) χρόνια κάτω από τη γη. Κατά τις επιδρομές τζιτζικιών, που συμβαίνουν σε κάθε συγκεκριμένη περιοχή ακριβώς κάθε 13 (ή κάθε 17) χρόνια, εμφανίζεται ξαφνικά τεράστιος αριθμός εντόμων, πράγμα που είχε ως αποτέλεσμα να τους συγχέουν με τις «ακρίδες» στην Αμερική. Οι δύο ποικιλίες είναι γνωστές, αντίστοιχα, ως τζιτζικες δεκατριετούς κύκλου και τζιτζικες δεκαεπταετούς κύκλου.

Νά τώρα πιο είναι το αξιοσημείωτο γεγονός. Τελικά αποδείχτηκε ότι δεν υπάρχει μόνο ένα είδος τζιτζικα δεκατριετούς κύκλου και ένα είδος τζιτζικα δεκαεπταετούς κύκλου. Υπάρχουν τρία είδη, και το καθένα από αυτά έχει μια δεκαεπταετή και μια δεκατριετή ποικιλία ή φυλή. Ο διαχωρισμός σε μια φυλή δεκατριετούς κύκλου και μια φυλή δεκαεπταετούς κύκλου συνέβη ανεξάρτητα και όχι λιγότερο από τρεις φορές. Φαίνεται πως όλοι οι τζιτζικες, συγκλίνοντας στην εξέλιξη τους, απέφυγαν τους ενδιάμεσους κύκλους των 14, 15 και 16 ετών, όχι λιγότερες από τρεις φορές. Γιατί; Δεν ξέρουμε. Η μοναδική υπόθεση που έχει διατυπωθεί είναι ότι το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του 13 και του 17, σε αντιδιαστολή με το 14, το 15 και το 16, είναι ότι πρόκειται για πρώτους αριθμούς. Πρώτοι ονομάζονται οι αριθμοί που δεν διαιρούνται ακριβώς από κανέναν άλλο αριθμό εκτός από τον εαυτό τους και το 1. Σύμφωνα με αυτή την υπόθεση, οι τζιτζικες τη μια περίοδο κατακλύζουν την περιοχή και την άλλη απουσιάζουν ολοκληρωτικά, γι' αυτό και λιμοκτονούν οι εχθροί τους, ή τα παράσιτα από τα οποία κινδυνεύουν. Αν μεσολαβεί πρώτος

αριθμός ετών μεταξύ αυτών των επιδρομών, είναι πιο δύσκολο για τους εχθρούς να συγχρονίσουν τον δικό τους κύκλο ζωής. Για παράδειγμα, αν οι τζιτζικες έβγαιναν στην επιφάνεια κάθε 14 χρόνια, θα μπορούσε να τους απειλήσει ένα παράσιτο με επταετή κύκλο ζωής. Η εξήγηση αυτή είναι αλλόκοτη, όχι όμως πιο αλλόκοτη από το ίδιο το φαινόμενο. Δεν ξέρουμε τι το ιδιαίτερο έχουν τα 13 και τα 17 χρόνια. Εκείνο που έχει σημασία για το θέμα που εξετάζουμε είναι ότι αυτοί οι αριθμοί πρέπει να έχουν κάτι το ιδιαίτερο, γιατί σ' αυτούς συνέκλιναν ανεξάρτητα τρία διαφορετικά είδη τζιτζικιών.

Παραδείγματα σύγκλισης σε μεγάλη κλίμακα παρατηρούνται όταν δύο ή περισσότερες ήπειροι χωρίζονται μεταξύ τους για μεγάλο χρονικό διάστημα και ένα παράλληλο φάσμα «δεξιότητων» υιοθετείται από άσχετα μεταξύ τους ζώα σε καθεμιά από τις ηπείρους. Όταν λέω «δεξιότητες» εννοώ τρόπους εξεύρεσης τροφής, όπως το άνοιγμα λαγουμιών στη γη για σκουλήκια, το σκάψιμο για μυρμήγκια, το κυνήγι μεγάλων φωτοφάγων ζώων, και τη βρώση φύλλων από τα δέντρα. Ένα καλό παράδειγμα είναι η συγκλίνουσα εξέλιξη ενός ολόκληρου φάσματος δεξιότητων των θηλαστικών στις ξεχωριστές ηπείρους της Νότιας Αμερικής, της Αυστραλίας και του Παλαιού Κόσμου.

Αυτές οι ήπειροι δεν ήταν πάντοτε χωρισμένες. Επειδή η διάρκεια της ζωής μας μετριέται σε δεκαετίες και ακόμη και οι πολιτισμοί και οι δυναστείες μας μετριούνται μόνο σε αιώνες, έχουμε συνηθίσει να θεωρούμε το χάρτη του κόσμου και τα περιγράμματα των ηπείρων ως κάτι το σταθερό. Η θεωρία ότι οι ήπειροι μετατοπίζονται προτάθηκε πριν από πολύ καιρό, από τον γερμανό γεωφυσικό Alfred Wegener, αλλά ο περισσότερος κόσμος τον αντιμετώπισε με ειρωνεία, και η ορθότητα της άποψής του δεν έγινε αντιληπτή παρά μόνο μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Το γνωστό γεγονός ότι η Νότια Αμερική και η Αφρική μοιάζουν λίγο σαν χωρισμένα κομμάτια ενός παζλ θεωρούνταν απλώς μια διασκεδαστική σύμπτωση. Σε μια από τις ταχύτερες και πιο ολοκληρωτικές επαναστάσεις που έχει γνωρίσει ποτέ η επιστήμη, η πρώην αμφιλεγόμενη θεωρία της «μετατόπισης των ηπείρων» έχει γίνει τώρα παγκοσμίως δεκτή ως θεωρία των τε-

κτονικών πλακών. Οι αποδείξεις ότι οι ήπειροι έχουν μετατοπιστεί και ότι, για παράδειγμα, η Νότια Αμερική αποσπάστηκε πραγματικά από την Αφρική, είναι τώρα κυριολεκτικά συντριπτικές, αλλά το θέμα του βιβλίου δεν είναι η γεωλογία και γι' αυτό δεν θα αναφερθώ σ' αυτό το ζήτημα. Για μας το σημαντικό είναι ότι η χρονική κλίμακα στην οποία συντελείται η μετατόπιση των ηπείρων είναι η ίδια αργή χρονική κλίμακα στην οποία εξελίχθηκαν τα γενεαλογικά δέντρα των ζωικών ειδών και, αν θέλουμε να κατανοήσουμε την εξέλιξη των ζώων στις διάφορες ηπείρους, δεν μπορούμε να αγνοήσουμε τις μετατοπίσεις αυτών των ηπείρων.

Μέχρι και πριν από 100 εκατομμύρια χρόνια, λοιπόν, η Νότια Αμερική ήταν ενωμένη με την Αφρική στα ανατολικά και με την Ανταρκτική στα νότια. Η Ανταρκτική ήταν ενωμένη με την Αυστραλία, και η Ινδία με την Αφρική μέσω της Μαδαγασκάρης. Ουσιαστικά υπήρχε μία τεράστια νότια ήπειρος, την οποία τώρα ονομάζουμε Γκοντβάνα, αποτελούμενη από τη σημερινή Νότια Αμερική, Αφρική, Μαδαγασκάρη, Ινδία, Ανταρκτική και Αυστραλία ενωμένες. Υπήρχε επίσης μια ενιαία μεγάλη βόρεια ήπειρος που λεγόταν Λαυρασία και αποτελούνταν από τη σημερινή Βόρεια Αμερική, τη Γροιλανδία, την Ευρώπη και την Ασία (εκτός από την Ινδία). Η Βόρεια Αμερική δεν συνδεόταν με τη Νότια. Πριν από 100 εκατομμύρια χρόνια περίπου, οι εκτάσεις αυτές διασπάστηκαν και από τότε οι ήπειροι κινούνται αργά προς τις σημερινές τους θέσεις. (Φυσικά, θα συνεχίσουν να κινούνται και στο μέλλον.) Η Αφρική ενώθηκε με την Ασία μέσω της Αραβίας και έγινε μέρος της τεράστιας ηπείρου που ονομάζουμε τώρα Παλαιό Κόσμο. Η Βόρεια Αμερική απομακρύνθηκε από την Ευρώπη, η Ανταρκτική κινήθηκε νότια κι έφτασε στη σημερινή της θέση στον Νότιο Πόλο. Η Ινδία αποσπάστηκε από την Αφρική και διέσχισε τη θαλάσσια έκταση που ονομάζουμε τώρα Ινδικό Ωκεανό, για να πέσει τελικά πάνω στη νότια Ασία, προκαλώντας έτσι την ανύψωση των Ιμαλαίων. Η Αυστραλία απομακρύνθηκε από την Ανταρκτική μέσα στη θάλασσα και έγινε μια θαλάσσια ήπειρος απομακρυσμένη από όλες τις άλλες.

Αυτή η διάσπαση της μεγάλης νότιας ηπείρου, της Γκοντβά-

νας, άρχισε κατά την εποχή των δεινοσαύρων. Όταν η Νότια Αμερική και η Αυστραλία αποσπάστηκαν, γεγονός που αποτέλεσε την αρχή της μεγάλης περιόδου της απομόνωσής τους από τον υπόλοιπο κόσμο, μετέφεραν η καθεμιά το δικό της φορτίο δεινοσαύρων καθώς και άλλων λιγότερο κυρίαρχων ζώων που θα γίνονταν οι πρόγονοι των σημερινών θηλαστικών. Αργότερα, όταν για λόγους που δεν έχουμε καταλάβει και που αποτελούν το αντικείμενο πολλών γόνιμων υποθέσεων εξαφανίστηκαν οι δεινόσαυροι (με μοναδική εξαίρεση την ομάδα των δεινοσαύρων που τώρα ονομάζουμε πτηνά), αυτή η εξαφάνιση συνέβη σε όλο τον κόσμο. Αυτό άφησε ένα κενό στις «δεξιότητες» που ήταν ανοιχτές για τα χερσαία ζώα. Το κενό συμπληρώθηκε, μέσα σε διάστημα εκατομμυρίων ετών εξέλιξης, κυρίως από θηλαστικά. Το ενδιαφέρον στοιχείο για μας είναι ότι υπήρχαν τρία ανεξάρτητα κενά και συμπληρώθηκαν ανεξάρτητα από θηλαστικά στην Αυστραλία, τη Νότια Αμερική και τον Παλαιό Κόσμο.

Τα πρωτόγονα θηλαστικά που έτυχε να υπάρχουν στις τρεις περιοχές όταν οι δεινόσαυροι, λίγο-πολύ ταυτόχρονα, εγκατέλειψαν τις μεγάλες δεξιότητες της ζωής, ήταν όλα μάλλον μικρά και ασήμαντα, πιθανότατα νυκτόβια, και μέχρι τότε ζούσαν κάτω από την κυριαρχία των δεινοσαύρων. Θα μπορούσαν να έχουν εξελιχθεί προς ριζικά διαφορετικές κατευθύνσεις σ' αυτές τις τρεις περιοχές, και, σε κάποιο βαθμό, συνέβη και αυτό. Δεν υπάρχει κανένα ζώο στον Παλαιό Κόσμο που να μοιάζει με τον γιγάντιο εδαφόβιο θραδύποδα της Νότιας Αμερικής, που δυστυχώς έχει πια εξαφανιστεί. Επίσης, το μεγάλο φάσμα των θηλαστικών της Νότιας Αμερικής περιλάμβανε ένα γιγάντιο ινδικό χοιρίδιο που έχει κι αυτό εξαφανιστεί. Είχε το μέγεθος του σημερινού ρινόκερου, αλλά ήταν τρωκτικό. (Λέω του «σημερινού» ρινόκερου γιατί η πανίδα του Παλαιού Κόσμου περιλάμβανε έναν γιγάντιο ρινόκερο που είχε το μέγεθος διώροφου κτιρίου.) Ωστόσο, παρόλο που κάθε ήπειρος παρήγαγε τα δικά της μοναδικά θηλαστικά, η γενική πορεία της εξέλιξης ήταν ίδια και στις τρεις περιοχές. Σε όλες τις ηπείρους, τα θηλαστικά που υπήρχαν στην αρχή διακλαδώθηκαν με την εξέλιξη και παρήγαγαν έναν ειδικό για κάθε δεξιότητα, ο οποίος, σε πολλές περιπτώσεις, έμοιαζε εκπληκτικά

με τον αντίστοιχο ειδικό των άλλων δύο ηπειρών. Κάθε δεξιότητα –το σκάψιμο, το κυνήγι, η βοσκή στα λιβάδια, κ.λπ.– ήταν η κατάληξη ανεξάρτητων αλλά συγκλινουσών εξελικτικών διαδρομών σε δύο ή τρεις ξεχωριστές ηπείρους. Εκτός από αυτούς τους τρεις κύριους χώρους ανεξάρτητης συγκλίνουσας εξέλιξης, ορισμένα μικρότερα νησιά όπως η Μαδαγασκάρη έχουν τη δική τους ενδιαφέρουσα παράλληλη ιστορία, στην οποία όμως δεν θα αναφερθώ.

Αν εξαιρέσουμε τα παράξενα ωτόκα θηλαστικά της Αυστραλίας –τον πλατύποδα ορνιθόρρυγχο και την ακανθοφόρο έχιδνα– τα σύγχρονα θηλαστικά ανήκουν σε δύο μεγάλες ομάδες. Στα μαρσιποφόρα (που τα νεογέννητά τους είναι πολύ μικρά και παραμένουν για ένα διάστημα σε έναν ειδικό σάκο) και στα πλακουντοφόρα (όλα τα υπόλοιπα, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου). Τα μαρσιποφόρα κυριάρχησαν στην Αυστραλία και τα πλακουντοφόρα στον Παλιό Κόσμο, ενώ στη Νότια Αμερική οι δύο ομάδες έπαιζαν παράλληλους σημαντικούς ρόλους. Η εξέλιξη στη Νότια Αμερική περιπλέκεται από το γεγονός ότι αυτή η ήπειρος δεχόταν σποραδικά κύματα εισβολών από θηλαστικά της Βόρειας Αμερικής.

Αφού δώσαμε αυτές τις γενικές πληροφορίες, μπορούμε τώρα να εξετάσουμε τις ίδιες τις δεξιότητες και τα φαινόμενα σύγκλισης. Μια σημαντική δεξιότητα αφορά την εκμετάλλευση των μεγάλων βοσκότοπων που είναι γνωστοί ως λιβάδια, πάμπας, σαβάνες, κ.λπ. Αυτή τη δεξιότητα ασκούν οι ιππίδες (το κύριο αφρικανικό είδος των οποίων είναι η ζέβρα, ενώ η ποικιλία των ερήμων είναι ο γάιδαρος) και τα βοοειδή, όπως ο βορειοαμερικανικός βίσονας, που έχει κυνηγηθεί τόσο πολύ ώστε κοντεύει να εξαφανιστεί. Τα φυτοφάγα έχουν συνήθως πολύ μακρύ έντερο που περιέχει διάφορα είδη ζυμωτικών βακτηρίων, γιατί τα χόρτα είναι τροφή χαμηλής ποιότητας και απαιτείται πολλή χώνευση. Αντί να χωρίζουν τη διατροφή τους σε γεύματα, συνήθως τρώνε σχεδόν συνεχώς. Τεράστιες ποσότητες φυτικού υλικού περνούν όλη τη μέρα από μέσα τους, σαν ένα ποτάμι. Συχνά αυτά τα ζώα είναι πολύ μεγάλα και γενικά ζουν σε πολυμελείς αγέλες. Κάθε μεγάλο φυτοφάγο είναι ένα βουνό πολύτιμης τροφής για οποι-



δήποτε αρπακτικό ζώο μπορέσει να το σκοτώσει. Το αποτέλεσμα, όπως θα δούμε, είναι ότι έχει αναπτυχθεί μια ολόκληρη δεξιότητα για την επιτέλεση του δύσκολου έργου της σύλληψης και θανάτωσής τους. Τα ζώα που την έχουν αναπτύξει είναι οι θηρευτές. Στην πραγματικότητα, όταν λέω «μια» δεξιότητα, εννοώ μια ολόκληρη σειρά από «υποδεξιότητες»: τα λιοντάρια, οι λεοπαρδάλεις, οι κυναιλouroi, τα αγριόσκυλα και οι ύαινες κυνηγούν όλα με τον δικό τους εξειδικευμένο τρόπο. Οι ίδιες υποδιαιρέσεις υπάρχουν στα φυτοφάγα και σε όλες τις άλλες «δεξιότητες».

Τα φυτοφάγα έχουν οξείες αισθήσεις με τις οποίες βρίσκονται σε συνεχή επαγρύπνηση για αρπακτικά ζώα και συνήθως μπορούν να τρέχουν πολύ γρήγορα ώστε να τους ξεφεύγουν. Γι' αυτό το λόγο έχουν συχνά μακριά και λεπτά πόδια και συνήθως τρέχουν στις μύτες των δαχτύλων τους, που έχουν επιμηκυνθεί και ισχυροποιηθεί από την εξέλιξη. Τα νύχια στις άκρες αυτών των εξειδικευμένων δαχτύλων έχουν γίνει μεγάλα και σκληρά, και τα ονομάζουμε οπλές. Τα βοοειδή έχουν δύο μεγεθυμένα δάχτυλα στο άκρο κάθε ποδιού – είναι οι γνωστές «δίχτηλες» οπλές. Τα άλογα έχουν την ίδια περίπου κατασκευή με τη διαφορά ότι, ίσως από κάποια ιστορική σύμπτωση, αντί να τρέχουν σε δύο δάχτυλα, τρέχουν μόνο σε ένα, το οποίο προέρχεται από το δάχτυλο που ήταν αρχικά το μεσαίο από τα πέντε. Τα υπόλοιπα έχουν εξαφανιστεί σχεδόν εντελώς με την εξέλιξη, αν και καμιά φορά επανεμφανίζονται σε τερατόμορφες περιπτώσεις αταθισμού.

Η Νότια Αμερική, όπως είδαμε, ήταν απομονωμένη κατά την περίοδο στην οποία εξελίσσονταν οι ιππίδες και τα βοοειδή σε άλλα μέρη του κόσμου. Ωστόσο, έχει τους δικούς της μεγάλους βοσκότοπους και έτσι αναπτύχθηκαν και εκεί ξεχωριστές ομάδες μεγάλων φυτοφάγων που εκμεταλλεύονταν αυτό τον φυσικό πόρο. Υπήρχαν τεράστιοι Λεβιάθαν με μορφή ρινόκερου, που δεν είχαν όμως καμία σχέση με τους πραγματικούς ρινόκερους. Τα κρανία μερικών αρχαίων φυτοφάγων της Νότιας Αμερικής δείχνουν ότι είχαν «εφεύρει» την προβοσκίδα ανεξάρτητα από τους ελέφαντες. Μερικά έμοιαζαν με τις καμήλες, μερικά δεν έμοιαζαν

με κανένα άλλο (σημερινό) ζώο και άλλα θύμιζαν αλλόκοτες παραλλαγές σύγχρονων ζώων. Τα πόδια των λεγόμενων λιτόπτερων μοιάζουν σε απίστευτο βαθμό με των αλόγων, παρόλο που δεν έχουν καμία σχέση με αυτά. Η φαινομενική ομοιότητα ξεγέλασε έναν αργεντινικό ειδικό του 19ου αιώνα που νόμιζε –με απόλυτα κατανοητή εθνική υπερηφάνεια– ότι αυτά τα πλάσματα είναι οι πρόγονοι των αλόγων όλου του υπόλοιπου κόσμου. Στην πραγματικότητα, η ομοιότητα ήταν επιφανειακή και αποτελεί απλώς αποτέλεσμα εξελικτικής σύγκλισης. Η ζωή στους βοσκότοπους είναι περίπου ίδια σε όλο τον κόσμο, και έτσι οι ιππίδες και τα λιτόπτερνα ανέπτυξαν ανεξάρτητα τα ίδια χαρακτηριστικά, για να αντεπεξέλθουν στα προβλήματα της ζωής σ' αυτό το χώρο. Συγκεκριμένα, τα λιτόπτερνα, όπως και τα άλογα, έχασαν όλα τα δάχτυλα των ποδιών εκτός από το μεσαίο σε κάθε πόδι, το οποίο μεγεθύνθηκε αποτελώντας την κάτω άρθρωση του ποδιού, και ανέπτυξε οπλή. Το πόδι του λιτόπτερου είναι σχεδόν πανομοιότυπο με το πόδι του αλόγου, εντούτοις τα δύο ζώα έχουν μακρινή μόνο συγγένεια.

Στην Αυστραλία, τα ζώα της βοσκής, τα καγκουρό, είναι πολύ διαφορετικά. Τα καγκουρό έχουν την ίδια ανάγκη της γρήγορης κίνησης, αλλά την κάλυψαν με διαφορετικό τρόπο. Αντί να αναπτύξουν τον καλπασμό με τα τέσσερα πόδια στο υψηλό επίπεδο τελειότητας που τον ανέπτυξαν τα άλογα (και, πιθανόν, τα λιτόπτερνα), τα καγκουρό τελειοποίησαν έναν διαφορετικό τρόπο κίνησης: τα άλματα με τα δύο πόδια που υποβοηθούνται από μια μεγάλη ουρά, η οποία ρυθμίζει την ισορροπία. Είναι ανώφελο να εξετάσουμε ποιος από τους δύο τρόπους κίνησης είναι ο «καλύτερος». Είναι και οι δύο εξαιρετικά αποτελεσματικοί, αν το σώμα εξελιχθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να τους εκμεταλλευτεί στο έπακρο. Τα άλογα και τα λιτόπτερνα έτυχε να εκμεταλλευτούν τον καλπασμό με τα τέσσερα πόδια, και έτσι κατέληξαν να έχουν σχεδόν πανομοιότυπα πόδια. Τα καγκουρό έτυχε να εκμεταλλευτούν τα άλματα με τα δύο πόδια, και έτσι κατέληξαν να έχουν τα δικά τους μοναδικά (τουλάχιστον από την εποχή των δεινοσαύρων) δυνατά πίσω πόδια και την ουρά. Τα καγκουρό και τα άλογα έφτασαν σε διαφορετικό τελικό σημείο του «ζωικού χώρου», πι-

θανόν επειδή υπήρχε κάποια τυχαία διαφορά στις αφετηρίες τους.

Αν εξετάσουμε, τώρα, τα σαρκοφάγα ζώα που τρέφονται με τα φυτοφάγα, βρίσκουμε και εδώ μερικές συναρπαστικές συγκλίσεις. Στον Παλαιό Κόσμο γνωρίζουμε διάφορους μεγάλους κυνηγούς, όπως τους λύκους, τα σκυλιά, τις ύαινες και τα μεγάλα αιλουροειδή: λιοντάρια, τίγρεις, λεοπαρδάλεις και κυναϊλourous. Ένα μεγάλο αιλουροειδές που εξαφανίστηκε πρόσφατα είναι ο *σμιλόδους*, που πήρε το όνομά του από τους τεράστιους κυνόδοντες που προεξείχαν από την άνω σιαγόνα του, δημιουργώντας ένα τρομακτικό θέαμα όταν το ζώο άνοιγε το στόμα του. Μέχρι πρόσφατα δεν υπήρχαν γνήσια αιλουροειδή και κυνίδες στην Αυστραλία και τον Νέο Κόσμο (τα πούμα και οι ιαγουάροι έχουν εξελιχθεί πρόσφατα από τα αιλουροειδή του Παλαιού Κόσμου). Ωστόσο, και στις δύο αυτές ηπείρους, υπήρχαν αντίστοιχα μαρσιποφόρα. Στην Αυστραλία είχαμε τον *θυλακίνο*, ή μαρσιποφόρο «λύκο», που συχνά ονομάζεται και *λύκος της Τασμανίας*, γιατί εκεί επέζησε λίγο περισσότερο απ' ό,τι στην κυρίως Αυστραλία, και ο οποίος εξοντώθηκε με τραγικό τρόπο πολύ πρόσφατα. (Ζουν ακόμη άνθρωποι που θυμούνται τη σφαγή του σε τεράστιους αριθμούς επειδή ήταν «βλαβερό» ζώο, αλλά και για «σπορ»). Σήμερα υπάρχει μια μικρή ελπίδα να έχει επιζήσει στα πιο απομακρυσμένα μέρη της Τασμανίας, αλλά σε περιοχές που κι αυτές απειλούνται τώρα από την καταστροφή, με σκοπό την εξασφάλιση «απασχόλησης» για τους ανθρώπους.) Παρεμπιπτόντως, δεν πρέπει να συγχέουμε τον θυλακίνο με τον ντίνγκο, το αγριόσκυλο της Αυστραλίας, που είναι γνήσιος σκύλος και μεταφέρθηκε στην Αυστραλία πιο πρόσφατα, από τους αυτόχθονες. Κατά τη δεκαετία του 1930 γυρίστηκε μια ταινία που δείχνει τον τελευταίο γνωστό θυλακίνο να βαδίζει ασταμάτητα μέσα σε ένα κλουβί ζωολογικού κήπου. Είναι ένα ζώο που μοιάζει εκπληκτικά με σκύλο και η μαρσιποφόρα φύση του προδίδεται μόνο από τη στάση της λεκάνης και των πίσω ποδιών του, κάτι που μάλλον έχει σχέση με την ύπαρξη του μαρσίπου. Για κάθε άνθρωπο που αγαπά τα σκυλιά, είναι μια συγκινητική εμπειρία να βλέπει αυτή την εναλλακτική προσέγγιση στο σχεδιασμό του σκύλου, αυτό

τον εξελικτικό ταξιδιώτη που ακολούθησε έναν παράλληλο δρόμο ξέχωρα από εκείνον του σκύλου κατά τα τελευταία 100 εκατομμύρια χρόνια, αυτό τον εν μέρει οικείο αλλά εν μέρει εντελώς διαφορετικό σκύλο. Μπορεί αυτά τα ζώα να ήταν βλαβερά για τον άνθρωπο, ο άνθρωπος όμως ήταν ακόμη πιο βλαβερός γι' αυτά. Τώρα δεν υπάρχουν πια θυλακίνοι, ενώ υπάρχει υπερπληθυσμός ανθρώπων.

Στη Νότια Αμερική, επίσης, δεν υπήρχαν αληθινά αιλουροειδή και κυνίδες κατά τη μεγάλη περίοδο της απομόνωσης στην οποία αναφερόμαστε, αλλά, όπως και στην Αυστραλία, υπήρχαν αντίστοιχα μαρσιποφόρα. Το πιο θεαματικό ήταν ίσως ο *θυλακόσμυλος*, που ήταν ακριβώς όπως ο σμιλόδους του Παλαιού Κόσμου, ο οποίος εξαφανίστηκε πρόσφατα, μόνο που οι σιαγόνες του παρουσίαζαν ακόμη πιο τρομακτικό θέαμα. Το όνομά του δείχνει την επιφανειακή του ομοιότητα με το σμιλόδοντα και με το λύκο της Τασμανίας (θυλακίνο), αλλά από άποψη προέλευσης απέχει πολύ και από τους δύο. Βρίσκεται λίγο πιο κοντά στον θυλακίνο, γιατί και τα δύο ζώα είναι μαρσιποφόρα, αλλά έχουν αναπτύξει το σχεδιασμό του μεγάλου σαρκοφάγου ανεξάρτητα και σε διαφορετικές ηπείρους – ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, αλλά και από τα πλακουντοφόρα σαρκοφάγα, τα γνήσια αιλουροειδή και τους κυνίδες του Παλαιού Κόσμου.

Η Αυστραλία, η Νότια Αμερική και ο Παλαιός Κόσμος προσφέρουν πολυάριθμα άλλα παραδείγματα πολλαπλών εξελικτικών συγκλίσεων. Στην Αυστραλία υπάρχει ένας μαρσιποφόρος «τυφλοπόντικας» που είναι σχεδόν πανομοιότυπος με τους γνωστούς τυφλοπόντικες άλλων ηπείρων, μόνο που διαθέτει μάρσιπο. Ζει όπως και οι άλλοι τυφλοπόντικες και έχει κι αυτός πολύ δυνατά μπροστινά πόδια για να σκάβει το έδαφος. Στην Αυστραλία, επίσης, βρίσκουμε έναν μαρσιποφόρο ποντικό, αν και σ' αυτή την περίπτωση η ομοιότητα δεν είναι τόσο έντονη και το ζώο δεν ζει όπως ακριβώς οι ποντικοί. Η διατροφή με μυρμηγκία (όπου ο όρος «μυρμηγκία» περιλαμβάνει για ευκολία και τους τερμίτες, μία ακόμη περίπτωση σύγκλισης όπως θα δούμε) είναι μια δεξιότητα που αναπτύσσεται σε διάφορα συγκλίνοντα θηλαστικά. Μπορούμε να τα χωρίσουμε σ' αυτά που ανοίγουν λαγούμια στο

έδαφος, σ' αυτά που ανεβαίνουν σε δέντρα και σ' αυτά που κινούνται πάνω στο έδαφος. Στην Αυστραλία, όπως θα περιμέναμε, υπάρχει ένα μαρσιποφόρο μυρμηγκοφάγο ζώο. Λέγεται *μυρμηγκόβιος*, έχει μακρύ και λεπτό ρύγχος, για να χωράει στις φωλιές των μυρμηγκιών, και μακριά κολλώδη γλώσσα με την οποία μαζεύει τη λεία του. Ο *μυρμηγκόβιος* κινείται πάνω στο έδαφος. Στην ίδια ήπειρο, υπάρχει ένα ζώο που τρώει μυρμηγκία ανοίγοντας λαγούμια, η *ακανθοφόρος έχιδνα*, η οποία όμως δεν διαθέτει μάρσιπο. Ανήκει στην ομάδα των ωοτόκων θηλαστικών, των μονοτημάτων. Τα ζώα αυτά είναι τόσο μακρινά για μας ώστε, σε σύγκριση μαζί τους, τα μαρσιποφόρα μπορούν να θεωρηθούν κοντινά μας ξαδέρφια. Η *ακανθοφόρος έχιδνα* έχει μακρύ και μυτερό ρύγχος, αλλά τα αγκάθια που καλύπτουν το σώμα της την κάνουν να μοιάζει περισσότερο με το σκαντζόχοιρο παρά με τα τυπικά *μυρμηγκοφάγα* ζώα.

Η Νότια Αμερική θα μπορούσε κάλλιστα να έχει ένα μαρσιποφόρο ζώο που τρώει μυρμηγκία, μαζί με τον μαρσιποφόρο σμιλόδοντά της, αλλά η δεξιότητα της διατροφής με μυρμηγκία συνέβη να συμπληρωθεί από *πλακουντοφόρα* θηλαστικά. Το μεγαλύτερο από τα σημερινά ζώα που τρέφονται με *μυρμηγκία* είναι ο *μεγάλος μυρμηγκοφάγος* της Νότιας Αμερικής, που κινείται στο έδαφος και είναι ίσως ο καλύτερος ειδικός αυτού του τομέα σε όλο τον κόσμο. Όπως και ο *αυστραλιανός μαρσιποφόρος μυρμηγκόβιος*, έχει μακρύ και μυτερό ρύγχος –πέρα πολύ μακρύ και μυτερό σ' αυτή την περίπτωση– και πολύ μακριά κολλώδη γλώσσα. Στη Νότια Αμερική υπάρχει επίσης ένας μικρός *μυρμηγκοφάγος* που αναρριχάται στα δέντρα. Είναι κοντινός ξάδερφος του κοινού *μυρμηγκοφάγου* και μοιάζει σαν μια μικροσκοπική και λιγότερο ακραία μορφή του. Βρίσκουμε επίσης και μια τρίτη, ενδιάμεση μορφή. Αυτοί οι *μυρμηγκοφάγοι*, αν και είναι *πλακουντοφόρα* θηλαστικά, απέχουν πολύ από τα *πλακουντοφόρα* του Παλαιού Κόσμου. Ανήκουν σε μια μοναδική νοτιοαμερικανική τάξη που περιλαμβάνει τους *δασύποδες* (αρμαδίλους) και τους *θραδύποδες*. Αυτή η αρχαία *πλακουντοφόρα* τάξη συνυπήρχε με τα *μαρσιποφόρα* από τότε που απομονώθηκε η ήπειρος.

Στα ζώα του Παλαιού Κόσμου που τρέφονται με *μυρμηγκία*

περιλαμβάνονται και διάφορα είδη παγκολίνων που ζουν στην Αφρική και την Ασία. Αυτά ποικίλλουν, από μορφές που αναρριχώνται στα δέντρα μέχρι μορφές που σκάβουν στη γη και μοιάζουν όλες κάπως σαν κουκουνάκια έλατου με μυτερό ρύγχος. Επίσης, στην Αφρική ζει ο ορυκτερόπους, που έχει μερική εξειδίκευση στο σκάψιμο. Ένα χαρακτηριστικό που διακρίνει όλα τα μυρμηγκοφάγα ζώα, είτε είναι μαρσιποφόρα, είτε μονοτρήματα, είτε πλακουντοφόρα, είναι ο αξιοθαύμαστα χαμηλός μεταβολικός ρυθμός τους. Μεταβολικό ρυθμό ονομάζουμε την ένταση με την οποία «καίει» η χημική «φωτιά» του μεταβολισμού μέσα στο σώμα, και ο πιο εύκολος τρόπος για να μετρηθεί είναι η θερμοκρασία. Γενικά ο μεταβολικός ρυθμός στα θηλαστικά τείνει να εξαρτάται από το μέγεθος του σώματος. Τα μικρότερα ζώα τείνουν να έχουν υψηλότερο μεταβολικό ρυθμό, όπως ακριβώς οι μηχανές των μικρών αυτοκινήτων συνήθως είναι πιο πολύστροφες σε σύγκριση με εκείνες των μεγαλύτερων αυτοκινήτων. Ωστόσο, μερικά ζώα έχουν υψηλό μεταβολικό ρυθμό για το μέγεθός τους, ενώ τα μυρμηγκοφάγα ζώα, όποια κι αν είναι η καταγωγή και οι συγγενειές τους, τείνουν να έχουν πολύ χαμηλό μεταβολικό ρυθμό για το μέγεθός τους. Δεν ξέρουμε ποιο είναι το αίτιο, αλλά αυτή η εντυπωσιακή σύγκλιση υπάρχει σε ζώα που δεν έχουν κανένα άλλο κοινό στοιχείο πέρα από το ότι τρέφονται με μυρμηγκία, και έτσι είναι σχεδόν βέβαιο ότι το φαινόμενο συνδέεται με αυτή τους τη συνήθεια.

Όπως έχουμε δει, τα «μυρμηγκία» με τα οποία τρέφονται τα μυρμηγκοφάγα ζώα συχνά δεν είναι πραγματικά μυρμηγκία αλλά τερμίτες. Οι τερμίτες είναι γνωστοί και ως «λευκά μυρμηγκία», αλλά στην πραγματικότητα συγγενεύουν μάλλον με τις κατσαρίδες παρά με τα αληθινά μυρμηγκία, τα οποία συγγενεύουν με τις μέλισσες και τις σφήκες. Οι τερμίτες μοιάζουν επιφανειακά στα μυρμηγκία, επειδή μέσα από αυτή τη σύγκλιση έχουν υιοθετήσει παρόμοιες συνήθειες. Ίσως θα έπρεπε να πω παρόμοιες ομάδες συνθησιών, γιατί υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί κλάδοι της δεξιότητας των μυρμηγκιών και των τερμιτών, και τόσο τα μυρμηγκία όσο και οι τερμίτες έχουν υιοθετήσει τους περισσότερους από αυτούς τους κλάδους ανεξάρτητα. Όπως συμβαίνει συχνά με

τη συγκλίνουσα εξέλιξη, οι διαφορές είναι εξίσου αποκαλυπτικές με τις ομοιότητες.

Τόσο τα μυρμήγκια όσο και οι τερμίτες ζουν σε μεγάλες αποικίες που αποτελούνται κυρίως από στείρους, άπτερους εργάτες, αφοσιωμένους στην αποδοτική παραγωγή της φτερωτής και αναπαραγωγικής κάστας, η οποία στη συνέχεια πετά και ιδρύει νέες αποικίες. Μια ενδιαφέρουσα διαφορά είναι ότι στα μυρμήγκια οι εργάτες είναι όλοι στείρα θηλυκά, ενώ στους τερμίτες είναι στείρα αρσενικά και στείρα θηλυκά. Οι αποικίες, τόσο των μυρμηγκιών όσο και των τερμιτών, έχουν μία ή, μερικές φορές, αρκετές «βασίλισσες», που είναι μεγαλύτερες σε μέγεθος. Μερικές φορές (και στα μυρμήγκια και στους τερμίτες) το μέγεθος της βασίλισσας ξεπερνά σε τερατώδη βαθμό αυτό των εργατών. Και στα δύο είδη οι εργάτες μπορεί να περιλαμβάνουν και εξειδικευμένες κάστες, όπως τους στρατιώτες. Μερικές φορές, οι στρατιώτες είναι πραγματικές πολεμικές μηχανές (ιδιαίτερα με τα τεράστια σαγόνια που έχουν στην περίπτωση των μυρμηγκιών ή τα ειδικά «πυροβόλα» για χημικό πόλεμο στην περίπτωση των τερμιτών), ώστε δεν μπορούν να φάνε μόνοι τους και τους ταΐζουν οι εργάτες. Υπάρχουν συγκεκριμένα είδη μυρμηγκιών που μοιάζουν με συγκεκριμένα είδη τερμιτών. Για παράδειγμα, η συνήθεια της καλλιέργειας μυκήτων έχει εμφανιστεί ανεξάρτητα στα μυρμήγκια (στον Νέο Κόσμο) και στους τερμίτες (στην Αφρική). Τα μυρμήγκια (ή οι τερμίτες) μαζεύουν φυτικό υλικό που δεν το τρώνε τα ίδια, αλλά το μετατρέπουν σε «φουσκί» πάνω στο οποίο καλλιεργούν μύκητες, τους οποίους τρώνε. Οι μύκητες, και στις δύο περιπτώσεις, δεν αναπτύσσονται πουθενά αλλού εκτός από τις φωλιές των εν λόγω εντόμων. Μία ακόμη περίπτωση σύγκλισης είναι το γεγονός ότι η συνήθεια της καλλιέργειας μυκήτων έχει ανακαλυφθεί επίσης ανεξάρτητα (περισσότερο από μία φορά) από αρκετά είδη σκαθαριών.

Υπάρχουν ακόμη ενδιαφέρουσες συγκλίσεις ανάμεσα σε διαφορετικά είδη μυρμηγκιών. Οι περισσότερες αποικίες τους ζουν σε μια σταθερή φωλιά, φαίνεται όμως ότι μια αποικία μπορεί επίσης να ζήσει επιτυχώς περιπλανώμενη με τη μορφή ενός τεράστιου στρατού που λεηλατεί τα πάντα. Αυτή είναι η λεγόμενη



συνήθεια του «λεγεωνάριου» ή της περιπλάνησης. Προφανώς, όλα τα μυρμηγκια περιπλανιούνται και συγκεντρώνουν τροφή, αλλά τα περισσότερα είδη μεταφέρουν τα λάφυρά τους σε μια σταθερή φωλιά, όπου παραμένουν πάντοτε η βασίλισσα και τα αυγά. Το βασικό στοιχείο στη συνήθεια της περιπλάνησης είναι ότι οι στρατοί που σχηματίζονται από τα μυρμηγκια παίρνουν μαζί τους τη βασίλισσα και τα αυγά. Τα αυγά και οι προνύμφες μεταφέρονται στα σαγόνια των εργατών. Στην Αφρική, η συνήθεια του λεγεωνάριου αναπτύχθηκε από τους λεγόμενους δορύλους. Στην Κεντρική και Νότια Αμερική το αντίστοιχο είδος, οι εκίτωνες, μοιάζουν πολύ με τους δορύλους στις συνήθειες και την εμφάνιση, παρόλο που δεν έχουν πολύ στενή σχέση. Τα δύο είδη έχουν αναπτύξει τα χαρακτηριστικά της «στρατιωτικής» δεξιοτήτας ανεξάρτητα και από σύγκλιση.

Αυτά τα μυρμηγκια έχουν εξαιρετικά μεγάλες αποικίες, που αριθμούν μέχρι και ένα εκατομμύριο για τους εκίτωνες και μέχρι 20 εκατομμύρια για τους δορύλους. Και τα δύο είδη έχουν νομαδικές φάσεις που εναλλάσσονται με «στάσιμες» φάσεις, στις οποίες έχουν σχετικά σταθερά στρατόπεδα ή καταυλισμούς. Οι εκίτωνες και οι δορύλοι, ή μάλλον οι αποικίες τους, αν θεωρηθούν συλλογικά ως «αμοιβαδοειδείς» μονάδες, είναι τρομερά και ανελέητα αρπακτικά όντα στις αντίστοιχες ζούγκλες τους. Και τα δύο κατατεμαχίζουν οποιοδήποτε ζώο συναντήσουν στο δρόμο τους, και έχουν δημιουργήσει έναν τρομερό μύθο. Λέγεται πως, όταν πλησιάζει ένας στρατός μυρμηγκιών, οι χωρικοί σε διάφορα μέρη της Νότιας Αμερικής εγκαταλείπουν τις κατοικίες τους και επιστρέφουν αφού έχουν περάσει οι λεγεώνες, οι οποίες έχουν καθαρίσει όλες τις κατσαρίδες, τις αράχνες και τους σκορπιούς, ακόμη και από τις αχυρένιες σκεπές των σπιτιών. Θυμάμαι πως όταν ήμουν παιδί στην Αφρική φοβόμουν περισσότερο τους δορύλους παρά τα λιοντάρια ή τους κροκόδειλους. Αξίζει τον κόπο όμως να δούμε με κάποια προοπτική αυτή την τρομερή φήμη τους, παραθέτοντας τα λόγια του Edward O. Wilson, της μεγαλύτερης αυθεντίας του κόσμου στο θέμα των μυρμηγκιών και συγγραφέα του βιβλίου *Sociobiology* (Κοινωνιοβιολογία):

Σε σχέση με την ερώτηση που μου θέτουν πιο συχνά για τα μυρμήγκια, μπορώ να δώσω την ακόλουθη απάντηση: όχι, οι δορυλοί δεν είναι πραγματικά ο τρόμος της ζούγκλας. Η αποικία τους, βέβαια, είναι ένα «ζώο» που ζυγίζει πάνω από 20 κιλά, διαθέτει γύρω στα 20 εκατομμύρια στόματα και κεντριά, και αποτελεί σίγουρα το πιο τρομερό δημιούργημα του κόσμου των εντόμων, αλλά δεν δικαιολογεί τις φρικιαστικές ιστορίες που λέγονται γι' αυτήν. Σε τελική ανάλυση, το πλήθος των μυρμηγκιών καλύπτει γύρω στο ένα μέτρο εδάφους κάθε τρία λεπτά. Οποιοσδήποτε ποντικός, για να μην αναφερθούμε στον άνθρωπο ή στον ελέφαντα, μπορεί να παραμερίσει και να παρακολουθήσει με την άνεσή του όλη αυτή τη φρενίτιδα, ένα αντικείμενο όχι τόσο απειλητικό όσο παράξενο και αξιοθαύμαστο, το αποκορύφωμα μιας εξελικτικής ιστορίας που είναι τόσο διαφορετική από αυτή των θηλαστικών όσο μπορεί να συλλάβει κανείς σ' αυτό τον κόσμο.

Ως ενήλικος πια στον Παναμά έκανα ακριβώς αυτό: παραμέρισα και παρακολούθησα το αντίστοιχο των δορυλών που φοδόμουν όταν ήμουν παιδί στην Αφρική να περνά δίπλα μου σαν ένα πολύβουο ποτάμι, και μπορώ να επιβεβαιώσω το πόσο παράξενο και αξιοθαύμαστο ήταν το θέαμα. Για ολόκληρες ώρες οι λεγεώνες περνούσαν μπροστά μου, με τους εκίτηνες να περπατούν πάνω στο έδαφος, αλλά και ο ένας πάνω στον άλλο, ενώ εγώ περίμενα να δω τη βασίλισσα. Τελικά ήρθε, και η παρουσία της προκαλούσε δέος. Ήταν αδύνατο να δεις το σώμα της. Φαινόταν μόνο σαν ένα κινούμενο κύμα φρενίτιδας, μια αναδράζουσα περισταλτική σφαίρα μυρμηγκιών που περπατούσαν με πιασμένα τα άκρα τους. Βρισκόταν κάπου στη μέση αυτής της σφαίρας των εργατών, ενώ γύρω της πυκνές τάξεις στρατιωτών ήταν στραμμένες απειλητικά προς τα έξω. Οι στρατιώτες είχαν τα σαγόνια ανοιχτά, έτοιμοι να σκοτώσουν και να σκοτωθούν, για να σώσουν τη βασίλισσα. Συγχωρήστε την περιέργειά μου, αλλά ήθελα να τη δω: έσπρωξα τη σφαίρα των εργατών με ένα μακρύ ξύλο, σε μια μάταιη προσπάθεια να την αποκαλύψω. Αμέσως, 20 στρατιώτες βύθισαν τις δυνατές δαγκάνες τους μέσα στο ξύλο, ίσως για να μην το ξανααφήσουν ποτέ, ενώ δεκάδες άλλοι άρχισαν να ανεβαίνουν προς το χέρι μου, αναγκάζοντάς με να πετάξω το ξύλο.

Δεν κατάφερα να δω τη βασίλισσα, αλλά ήξερα ότι ήταν κάπου μέσα σ' αυτή την αναβράζουσα σφαίρα: η κεντρική τράπεζα δεδομένων, η αποθήκη του πρότυπου DNA ολόκληρης της αποικίας. Αυτοί οι στρατιώτες με τα ολάνοιχτα σαγόνια ήταν έτοιμοι να πεθάνουν για τη βασίλισσα, όχι επειδή αγαπούσαν τη μητέρα τους, όχι επειδή τους είχαν ενσταλάξει τα ιδανικά του πατριωτισμού, αλλά απλώς και μόνο επειδή ο εγκέφαλος και τα σαγόνια τους ήταν φτιαγμένα από γονίδια σφραγισμένα με το πρότυπο αποτύπωμα που μετέφερε μέσα της η βασίλισσα. Φέρονταν σαν γενναίοι στρατιώτες επειδή είχαν κληρονομήσει τα γονιδιά τους από μια μεγάλη σειρά προγονικών βασιλισσών των οποίων η ζωή, και τα γονίδια, είχαν σωθεί από στρατιώτες εξίσου γενναίους με αυτούς. Οι τωρινοί στρατιώτες είχαν κληρονομήσει από την τωρινή βασίλισσα τα ίδια γονίδια που είχαν κληρονομήσει εκείνοι οι παλιοί στρατιώτες από τις προγονικές βασίλισσες. Οι τωρινοί στρατιώτες προφύλασσαν τα πρότυπα αντίγραφα των ίδιων των οδηγιών που τους έκαναν να είναι φύλακες. Προφύλασσαν τη σοφία των προγόνων, την Κιβωτό της Διαθήκης. Αυτές οι παράξενες δηλώσεις θα εξηγηθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Ένωσα τότε το παράξενο και το θαυμαστό, μαζί με την αναβίωση μισοξεχασμένων φόβων, αλλά η αίσθηση αυτή μετασηματίστηκε και ενισχύθηκε από μια ώριμη κατανόηση που δεν την είχα ως παιδί στην Αφρική, μια κατανόηση του φαινομένου που έβλεπα μπροστά μου. Η αίσθηση ενισχύθηκε, επίσης, από τη γνώση ότι αυτές οι λεγόμενες είχαν φτάσει στο ίδιο εξελικτικό αποκορύφωμα όχι μία φορά αλλά δύο. Αυτό που έβλεπα δεν ήταν οι δορύλοι που στοιχείωναν τους παιδικούς μου εφιάλτες, όσο όμοιοι κι αν ήταν, αλλά οι μακρινοί τους ξάδερφοι από τον Νέο Κόσμο. Έκαναν ό,τι και οι δορύλοι, και για τους ίδιους λόγους. Είχε νυχτώσει πια και ξεκίνησα για το σπίτι μου νιώθοντας και πάλι σαν ένα παιδί πλημμυρισμένο από δέος, αλλά και χαρούμενος ταυτόχρονα μέσα στον νέο κόσμο της κατανόησης, που είχε παραγκωνίσει τους σκοτεινούς, αφρικανικούς φόβους.

## Η ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΤΑ ΑΡΧΕΙΑ

Έξω βρέχει DNA. Στην όχθη της διώρυγας της Οξφόρδης, στο κάτω μέρος του κήπου μου, υπάρχει μια μεγάλη ιτιά που έχει γεμίσει τον αέρα με χνουδατούς σπόρους. Δεν φυσάει, και οι σπόροι εξαπλώνονται προς όλες τις κατευθύνσεις. Και από τις δύο πλευρές της διώρυγας, ως εκεί που βλέπουν τα κιάλια μου, το νερό είναι άσπρο από επιπλέοντα λευκά στίγματα· είναι σίγουρο ότι θα έχουν στρωθεί και στο έδαφος, στην ίδια περίπου ακτίνα προς όλες τις κατευθύνσεις. Το χνούδι αποτελείται κυρίως από κυτταρίνη και είναι πολύ μεγαλύτερο από τη μικροσκοπική κάψα που περιέχει το DNA, τις γενετικές πληροφορίες. Αλλά αφού το εμπεριεχόμενο DNA είναι ένα μικρό μέρος του συνόλου, γιατί είπα ότι βρέχει DNA και όχι κυτταρίνη; Η απάντηση είναι ότι εκείνο που έχει σημασία είναι το DNA. Το χνούδι της κυτταρίνης, αν και πιο ογκώδες, δεν είναι παρά ένα αλεξίπτωτο που απορρίπτεται όταν εκτελέσει την αποστολή του. Όλο αυτό το σύστημα, το χνούδι, οι ιπτάμενοι σπόροι, το δέντρο και τα υπόλοιπα, είναι ένα βοήθημα για έναν και μόνο σκοπό, την εξαπλώση του DNA στη γύρω περιοχή. Όχι οποιοδήποτε DNA, αλλά ενός DNA του οποίου οι κωδικευμένοι χαρακτήρες δίνουν συγκεκριμένες εντολές για την κατασκευή ιτιών που θα εξαπλώσουν μια νέα γενιά χνουδατών σπόρων. Αυτοί οι ιπτάμενοι σπόροι εξαπλώνουν, κυριολεκτικά, οδηγίες για την ίδια την κατασκευή τους. Υπάρχουν επειδή οι πρόγονοί τους κατάφεραν να κάνουν

το ίδιο πράγμα. Έξω βρέχει εντολές. Βρέχει προγράμματα. Βρέχει αλγόριθμους για την ανάπτυξη δέντρων και την εξαπλώση χνουδωτών ιπτάμενων σπόρων. Αυτό δεν είναι μεταφορά· είναι η καθαρή αλήθεια. Δεν θα μπορούσαν να είναι πιο ξεκάθαρα τα πράγματα αν έβρεχε δισκέτες υπολογιστών.

Είναι ξεκάθαρο και είναι αληθινό, αλλά δεν πάει πολύς καιρός που έγινε κατανοητό. Πριν από μερικά χρόνια, αν ρωτούσατε ένα βιολόγο ποιο είναι το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των έμβιων όντων που τα διακρίνει από τα άβια, θα σας μιλούσε για μια ειδική ουσία που ονομάζεται πρωτόπλασμα. Το πρωτόπλασμα διέφερε από όλες τις άλλες ουσίες: ήταν ζωντανό, δονούμενο, παλλόμενο, «ευερέθιστο» (ένας αναχρονιστικός δασκαλιστικός τρόπος για να πούμε ότι αποκρίνεται στα ερεθίσματα). Αν παίρναμε ένα ζωντανό σώμα και το κόβαμε σε όλο και μικρότερα κομμάτια, τελικά θα καταλήγαμε σε τμήματα καθαρού πρωτοπλάσματος. Τον περασμένο αιώνα, ένα υπαρκτό αντίστοιχο του καθηγητή Challenger του Arthur Conan Doyle πίστευε ότι η «γλοβιγερινική ιλύς» στον πυθμένα της θάλασσας είναι καθαρό πρωτόπλασμα. Όταν ήμουν μαθητής, οι ηλικιωμένοι συγγραφείς εγχειριδίων έγραφαν ακόμη γι' αυτό, αν και εκείνη την εποχή πια θά 'πρεπε να ξέρουν ότι το θέμα είχε ξεπεραστεί. Σήμερα αυτή η λέξη δεν χρησιμοποιείται πια, έχει περιπέσει σε αχρηστία όπως το φλογιστό και ο αιθέρας. Οι ουσίες από τις οποίες αποτελούνται τα έμβια όντα δεν έχουν τίποτε το ιδιαίτερο. Τα έμβια όντα είναι συγκεντρώσεις μορίων, όπως και καθετί άλλο.

Το ιδιαίτερο στοιχείο που διακρίνει αυτά τα μόρια είναι ότι συναρμολογούνται με πολύ πιο πολύπλοκους τρόπους απ' ό,τι τα μόρια των άβιων αντικειμένων και ότι αυτή η συναρμολόγηση γίνεται με βάση συγκεκριμένα προγράμματα, δηλαδή σύνολα εντολών για το πώς πρέπει να συντελεστεί η ανάπτυξη, τις οποίες οι οργανισμοί μεταφέρουν μέσα τους. Μπορεί τα έμβια όντα να δονούνται, να πάλλονται, να είναι «ευερέθιστα» και να έχουν «ζωντανή» θερμότητα, αλλά όλες αυτές οι ιδιότητες αναδύονται συμπτωματικά. Εκείνο που βρίσκεται στον πυρήνα κάθε έμβιου αντικειμένου δεν είναι κάποια εσωτερική «φωτιά», ούτε η ζεστή ανάσα, ούτε η «σπίθα της ζωής». Είναι πληροφορίες, λέξεις,

εντολές. Αν θέλετε μια σχετική μεταφορά, μη σκέφτεστε φωτιές και σπιθές και ανάσες. Σκεφτείτε ένα δισκατομύριο διακριτούς, ψηφιακούς χαρακτήρες σκαλισμένους σε κρυσταλλικά στοιχεία. Αν θέλετε να κατανοήσετε τη ζωή, μη σκέφτεστε μια παλλόμενη και δονούμενη γέλη ή ιλύ· σκεφτείτε την τεχνολογία πληροφοριών. Αυτό υπονοούσα στο προηγούμενο κεφάλαιο, όταν είπα ότι η βασίλισσα των μυρμηγκιών είναι η κεντρική τράπεζα δεδομένων.

Η βασική προϋπόθεση για την ύπαρξη και λειτουργία μιας προηγμένης τεχνολογίας πληροφοριών είναι κάποιο μέσο αποθήκευσης με μεγάλο αριθμό θέσεων μνήμης. Κάθε θέση της μνήμης πρέπει να μπορεί να βρίσκεται σε μία συγκεκριμένη κατάσταση από μία σειρά σαφώς διακριτών καταστάσεων. Αυτό ισχύει τουλάχιστον για την ψηφιακή τεχνολογία πληροφοριών, που κυριαρχεί σήμερα στο χώρο της πληροφορικής. Υπάρχει και μια εναλλακτική τεχνολογία πληροφοριών, η αναλογική. Οι πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες σε έναν συνηθισμένο δίσκο γραμμοφώνου είναι αναλογικές –είναι αποτυπωμένες σε ένα κυματοειδές αυλάκι. Οι πληροφορίες οι οποίες υπάρχουν σε ένα δίσκο λέιζερ, που, δυστυχώς, συχνά λέγεται και compact disc (συμπαγής, ενιαίος δίσκος) –δυστυχώς, γιατί το όνομα αυτό είναι άστοχο και, επίσης, επειδή συνήθως προφέρεται λανθασμένα, με τον τόνο στη πρώτη συλλαβή–, είναι ψηφιακές και αποθηκεύονται σε μια σειρά από μικροσκοπικές εσοχές, καθενιά από τις οποίες είτε υπάρχει είτε δεν υπάρχει, χωρίς ενδιάμεσες καταστάσεις. Αυτό είναι το χαρακτηριστικό του ψηφιακού συστήματος: τα θεμελιώδη στοιχεία του είτε βρίσκονται σαφώς σε μια κατάσταση είτε σαφώς σε μια άλλη κατάσταση, χωρίς ημίμετρα και ενδιάμεσες ή συμβιβαστικές καταστάσεις.

Η τεχνολογία πληροφοριών των γονιδίων είναι ψηφιακή. Αυτό ανακαλύφθηκε από τον Gregor Mendel τον προηγούμενο αιώνα, αν και ο ίδιος δεν θα διατύπωνε έτσι την ανακάλυψή του. Ο Mendel έδειξε ότι τα χαρακτηριστικά που κληρονομούμε από τους δύο γονείς μας δεν συγχωνεύονται. Τα κληρονομούμε σε διακριτά και ανεξάρτητα «σωματίδια». Όσον αφορά το κάθε σωματίδιο, είτε το κληρονομούμε είτε όχι. Ο R.A. Fisher, ένας από

τους ιδρυτές του νεοδαρβινισμού, όπως έχει ονομαστεί σήμερα, έχει επισημάνει ότι το γεγονός της «σωματιδιακής» κληρονομικότητας ήταν πάντοτε ολοφάνερο, στον τομέα του φύλου. Κληρονομούμε χαρακτηριστικά από έναν αρσενικό και έναν θηλυκό γονέα, αλλά ο καθένας μας είναι είτε άντρας είτε γυναίκα, και όχι ερμαφρόδιτος. Κάθε μωρό που πρόκειται να γεννηθεί έχει περίπου ίσες πιθανότητες να κληρονομήσει το αρσενικό ή το θηλυκό φύλο, αλλά τελικά κληρονομεί μόνο το ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά, και δεν τα συνδυάζει. Τώρα ξέρουμε ότι το ίδιο ισχύει για όλα τα σωματίδια της κληρονομικότητας. Δεν συγχωνεύονται, αλλά παραμένουν διακριτά και χωρισμένα καθώς αναμειγνύονται ξανά και ξανά περνώντας από τη μια γενιά στην άλλη. Φυσικά, οι επιδράσεις που ασκούν οι γενετικές μονάδες στο σώμα δίνουν συχνά μια πολύ έντονη εντύπωση συγχώνευσης. Αν ένα ψηλό άτομο ζευγαρώσει με ένα κοντό, ή ένα μαύρο άτομο με ένα λευκό, οι απόγονοί τους είναι συχνά ενδιάμεσοι. Ωστόσο, η φαινομενική συγχώνευση ισχύει μόνο για τις επιδράσεις στο σώμα και οφείλεται στις αθροισμένες μικρές επιδράσεις μεγάλου αριθμού σωματιδίων. Τα ίδια τα σωματίδια παραμένουν διακριτά όταν περνούν στην επόμενη γενιά.

Η διάκριση ανάμεσα στη σύμμεικτη και στη σωματιδιακή κληρονομικότητα έχει διαδραματίσει πολύ σημαντικό ρόλο στην ιστορία των εξελικτικών ιδεών. Την εποχή του Δαρβίνου όλοι πίστευαν ότι η κληρονομικότητα αποτελούσε συγχώνευση (εκτός από τον Mendel, ο οποίος όμως ήταν απομονωμένος στο μοναστήρι του, και οι έρευνές του, δυστυχώς, έγιναν γνωστές μόνο μετά το θάνατό του). Ένας σκοτσέζος μηχανικός, ο Fleeming Jenkin, επισήμανε ότι το γεγονός (εκείνη την εποχή πίστευαν ότι είναι γεγονός) της σύμμεικτης κληρονομικότητας σχεδόν αποκλείει τη φυσική επιλογή ως μια εύλογη θεωρία εξέλιξης. Ο Ernst Mayr παρατηρεί, με μάλλον σκληρό τόνο, ότι το άρθρο του Jenkin «θασίζεται σε όλες τις συνηθισμένες προκαταλήψεις και παρανοήσεις των φυσικών επιστημόνων». Παρ' όλα αυτά, η θέση του Jenkin ανησυχούσε πολύ τον Δαρβίνο. Το επιχειρήμά του διατυπώνεται με γραφικό τρόπο σε μια παραβολή που αναφέρεται σε έναν λευκό ο οποίος ναυαγεί σε ένα νησί το οποίο κατοικείται από «νέγρους»:



ας θεωρήσουμε ότι έχει τα πλεονεκτήματα που μπορεί να διαθέτει ένας λευκός σε σχέση με έναν ιθαγενή· ας δεχτούμε ότι στον αγώνα για την επιβίωση οι πιθανότητές του να ζήσει μια μακρόχρονη ζωή είναι πολύ μεγαλύτερες από εκείνες των ιθαγενών αρχηγών· ωστόσο, από όλες αυτές τις παραδοχές δεν συνεπάγεται ότι ύστερα από έναν περιορισμένο ή απεριόριστο αριθμό γενεών οι κάτοικοι του νησιού θα είναι όλοι λευκοί. Ο ναυαγός μας πιθανότατα θα γίνει βασιλιάς· θα σκοτώσει πάρα πολλούς μαύρους στον αγώνα για την επιβίωση· θα έχει πολλές γυναίκες και παιδιά, ενώ πολλοί από τους υπηκόους του θα ζήσουν και θα πεθάνουν εργένηδες... Οι ιδιότητες του λευκού μας σίγουρα θα έτειναν σε μεγάλο βαθμό να τον διατηρήσουν σε καλή κατάσταση μέχρι τα γηρατειά, αλλά δεν θα ζούσε για αρκετές γενιές ώστε να μετατρέψει τους απογόνους των υπηκόων του σε λευκούς... Στην πρώτη γενιά θα υπάρχουν μερικές ντουζίνες έξυπνοι νεαροί μιγάδες, πολύ ανώτεροι σε μέση νοημοσύνη από τους νέγρους. Θα μπορούσαμε να περιμένουμε ότι, για μερικές γενιές, ο βασιλιάς θα ήταν λίγο-πολύ μελαμψός. Μπορεί όμως να πιστέψει κανείς ότι ολόκληρο το νησί θα αποκτήσει σταδιακά έναν λευκό, ή ακόμη και έναν μελαμψό πληθυσμό, ή ότι οι κάτοικοί του θα αποκτήσουν ενέργεια, θάρρος, εφευρετικότητα, υπομονή, αυτοέλεγχο, αντοχή, δηλαδή τις ιδιότητες χάρη στις οποίες ο ήρωάς μας σκότωσε τόσο πολλούς από τους προγόνους των μαύρων και γέννησε τόσο πολλά παιδιά; Δηλαδή, ότι θα αποκτήσουν εκείνες ακριβώς τις ιδιότητες που θα επέλεγε ο αγώνας για την επιβίωση, αν μπορούσε να επιλέξει οτιδήποτε.

Μη σας αποσπών την προσοχή οι ρατσιστικές αντιλήψεις περί ανωτερότητας των λευκών. Την εποχή του Jenkin και του Δαρβίνου, αυτές οι απόψεις ήταν τόσο αναμφισβήτητες όσο είναι σήμερα οι δικές μας αντιλήψεις ανωτερότητας για το βιολογικό μας είδος, οι οποίες αφορούν τα ανθρώπινα δικαιώματα, την ανθρώπινη αξιοπρέπεια και την ιερότητα της ανθρώπινης ζωής. Μπορούμε να διατυπώσουμε εκ νέου το επιχείρημα του Jenkin με πιο ουδέτερο τρόπο. Αν αναμειζουμε λευκή μπογιά με μαύρη μπογιά, θα πάρουμε γκριζα μπογιά. Αν αναμειζουμε γκριζα μπογιά με γκριζα μπογιά, δεν μπορούμε να ξαναπάρουμε ούτε το αρχικό λευκό ούτε το αρχικό μαύρο. Η ανάμειξη χρωμάτων δεν απέχει πολύ από την άποψη περί κληρονομικότητας που ίσχυε

πριν από τον Mendel. Άλλωστε, ακόμη και σήμερα η κληρονομικότητα θεωρείται συχνά από το ευρύ κοινό ως μια ανάμειξη «αίματος». Το επιχείρημα του Jenkin αφορά τη στασιμότητα. Καθώς προχωρούν οι γενιές, η παραδοχή της σύμμεκτης κληρονομικότητας μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ποικιλότητα πρέπει να εξαφανιστεί και να επέλθει μια κατάσταση στασιμότητας. Σιγά σιγά θα επικρατεί όλο και μεγαλύτερη ομοιομορφία. Τελικά, δεν θα απομείνει καμία ποικιλότητα για να την επεξεργαστεί η φυσική επιλογή.

Όσο αληθοφανές κι αν είναι αυτό το επιχείρημα, θα πρέπει να επισημάνουμε ότι δεν στρέφεται μόνο εναντίον της φυσικής επιλογής. Είναι περισσότερο ένα επιχείρημα ενάντιον ορισμένων αδιαμφισβήτητων γεγονότων που αφορούν την ίδια την κληρονομικότητα! Σαφώς δεν είναι αλήθεια ότι καθώς προχωρούν οι γενιές η ποικιλότητα εξαφανίζεται. Οι άνθρωποι δεν είναι πιο όμοιοι μεταξύ τους σήμερα απ' ό,τι ήταν την εποχή των προγόνων τους. Η ποικιλότητα διατηρείται. Υπάρχει πάντοτε μια δεξαμενή ποικιλότητας με την οποία μπορεί να εργαστεί η επιλογή. Αυτό επισημάνθηκε με μαθηματικό τρόπο το 1908 από τον W. Weinberg, και ανεξάρτητα από τον εκκεντρικό μαθηματικό G.H. Hardy, ο οποίος, παρεμπιπτόντως, όπως λένε, στοιχημάτισε κάποτε με ένα συνάδελφό του «μισή δεκάρα προς την παρουσία του μέχρι το θάνατό του, ότι ο ήλιος θα ανατείλει αύριο». Εντούτοις, χρειάστηκε να έρθει ο R.A. Fisher και οι συνάδελφοί του, οι ιδρυτές της σύγχρονης γενετικής πληθυσμών, για να αναπτύξουν την πλήρη απάντηση στο επιχείρημα του Fleeming Jenkin με βάση τη θεωρία της *σωματιδιακής* γενετικής του Mendel. Αυτό αποτελούσε ειρωνεία εκείνη την εποχή, γιατί, όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 11, οι κυριότεροι οπαδοί του Mendel στις αρχές του εικοστού αιώνα, θεωρούσαν τους εαυτούς τους αντιδαρβινιστές. Ο Fisher και οι συνεργάτες του έδειξαν ότι η δαρβινική επιλογή είναι λογική και το πρόβλημα του Jenkin επιλύεται με έναν πολύ κομψό τρόπο, αν εκείνο που αλλάζει κατά την εξέλιξη είναι η σχετική *συχνότητα* των διακριτών κληρονομικών σωματιδίων (των γονιδίων), το καθένα από τα οποία είτε υπάρχει είτε δεν υπάρχει σε ένα συγκεκριμένο σώμα. Ο δαρβινισμός μετά τον

Fisher ονομάζεται νεοδαρβινισμός. Η ψηφιακή του φύση δεν είναι ένα τυχαίο χαρακτηριστικό, και συμβαίνει να ισχύει επίσης για τη γενετική τεχνολογία πληροφοριών. Η ψηφιακή ιδιότητα είναι μάλλον μια απαραίτητη προϋπόθεση για να λειτουργήσει ο ίδιος ο δαρβινισμός.

Στη δική μας ηλεκτρονική τεχνολογία οι διακριτές ψηφιακές θέσεις έχουν μόνο δύο καταστάσεις, που γενικά συμβολίζονται με το 0 και το 1, αν και μπορούμε να τις χαρακτηρίσουμε, επίσης, ψηλό και χαμηλό, ανοιχτό και κλειστό, πάνω και κάτω. Το μόνο που έχει σημασία είναι να διακρίνονται η μία από την άλλη και η κατάστασή τους να μπορεί να «αναγνωστεί», ώστε να έχει κάποια επίδραση σε κάτι. Η ηλεκτρονική τεχνολογία χρησιμοποιεί διάφορα υλικά μέσα για την αποθήκευση των 1 και των 0, όπως μαγνητικούς δίσκους, μαγνητικές ταινίες, διάτρητες κάρτες, χαρτοταινίες και ολοκληρωμένα «τσιπ» που περιέχουν πολλές μικρές μονάδες ημιαγωγών.

Το κύριο μέσο αποθήκευσης πληροφοριών μέσα στους σπόρους της ιτιάς, στα μυρμηγκία και σε όλα τα άλλα ζωντανά κύτταρα δεν είναι ηλεκτρονικό αλλά χημικό. Βασίζεται στο γεγονός ότι ορισμένα είδη μορίων έχουν την ικανότητα να «πολυμερίζονται», δηλαδή να ενώνονται σχηματίζοντας μεγάλες αλυσίδες με απροσδιόριστο μήκος. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη πολυμερών. Για παράδειγμα, το πολυαιθυλένιο αποτελείται από μακριές αλυσίδες ενός μικρού μορίου που λέγεται αιθυλένιο, δηλαδή είναι πολυμερισμένο αιθυλένιο. Το άμυλο και η κυτταρίνη είναι πολυμερισμένα σάκχαρα. Μερικά πολυμερή, αντί να είναι ομοιόμορφες αλυσίδες που αποτελούνται ολόκληρες από ένα μικρό μόριο όπως το αιθυλένιο, είναι αλυσίδες που αποτελούνται από δύο ή περισσότερα διαφορετικά είδη μικρών μορίων. Από τη στιγμή που θα εισαχθεί σε μια πολυμερή αλυσίδα αυτή η ετερογένεια, η τεχνολογία πληροφοριών γίνεται μια θεωρητική δυνατότητα. Αν υπάρχουν δύο είδη μικρών μορίων στην αλυσίδα, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το ένα αντιπροσωπεύει το 0 και το άλλο το 1, και αμέσως μπορεί να αποθηκευτεί στην αλυσίδα οποιαδήποτε ποσότητα και οποιοδήποτε είδος πληροφοριών, με την προϋπόθεση να είναι αρκετά μεγάλο το μήκος της. Τα συγκε-

κριμένα πολυμερή που χρησιμοποιούνται από τα ζωντανά κύτταρα λέγονται πολυνουκλεοτίδια. Υπάρχουν δύο κύριες οικογένειες πολυνουκλεοτιδίων στα ζωντανά κύτταρα, που τις ονομάζουμε DNA και RNA για συντομία. Τόσο το DNA όσο και το RNA είναι ετερογενείς αλυσίδες, με τέσσερα διαφορετικά είδη νουκλεοτιδίων. Σ' αυτό το γεγονός έγκειται η δυνατότητα αποθήκευσης πληροφοριών. Η τεχνολογία πληροφοριών των ζωντανών κυττάρων, αντί να χρησιμοποιεί τις δύο καταστάσεις του 0 και του 1, χρησιμοποιεί τέσσερις, που γενικά τις συμβολίζουμε με τα γράμματα A, T, C και G. Κατ' αρχήν, υπάρχουν ελάχιστες διαφορές ανάμεσα σε μια ψηφιακή τεχνολογία πληροφοριών δύο καταστάσεων σαν τη δική μας και την τεχνολογία πληροφοριών τεσσάρων καταστάσεων του ζωντανού κυττάρου.

Όπως ανέφερα στο τέλος του Κεφαλαίου 1, ένα και μοναδικό ανθρώπινο κύτταρο έχει αρκετή χωρητικότητα πληροφοριών, ώστε να αποθηκεύσει και τους 30 τόμους της *Εγκυκλοπαίδειας Μπριτάννικα*, τρεις ή τέσσερις φορές. Δεν ξέρω ποια είναι η αντίστοιχη χωρητικότητα στην περίπτωση ενός σπόρου ιτιάς ή ενός μυρμηγκιού, αλλά θα είναι εξίσου εκπληκτική. Το DNA ενός μόνο σπόρου κρίνου ή ενός μόνο σπερματοζωαρίου σαλαμάνδρας έχει αρκετή χωρητικότητα για να αποθηκεύσει την *Εγκυκλοπαίδεια Μπριτάννικα* 60 φορές. Μερικά είδη των κακώς επωνομαζόμενων «πρωτόγονων» αμοιβάδων περιέχουν στο DNA τους πληροφορίες οι οποίες αντιστοιχούν σε 1.000 *Εγκυκλοπαίδειες Μπριτάννικα*.

Το παράξενο είναι ότι μόνο το 1% των γενετικών πληροφοριών που υπάρχουν, για παράδειγμα, στα ανθρώπινα κύτταρα φαίνεται να χρησιμοποιείται: περίπου το αντίστοιχο ενός τόμου της *Εγκυκλοπαίδειας Μπριτάννικα*. Κανείς δεν ξέρει γιατί υπάρχει το υπόλοιπο 99%. Σε ένα προηγούμενο βιβλίο πρότεινα την εξήγηση ότι αυτές οι πρόσθετες πληροφορίες μπορεί να είναι παρασιτικές και να εκμεταλλεύονται τις προσπάθειες του 1%, μια θεωρία που υιοθέτησαν πρόσφατα ορισμένοι μοριακοί βιολόγοι χρησιμοποιώντας το όνομα «εγωιστικό DNA». Ένα βακτήριο έχει 1.000 φορές περίπου μικρότερη χωρητικότητα πληροφοριών από ένα ανθρώπινο κύτταρο, και μάλλον χρησιμοποιεί όλες τις πλη-

ροφορίες του: δεν έχει χώρο για παράσιτα. Το DNA του θα είχε τη δυνατότητα να αποτυπώσει «μόνο» ένα αντίγραφο της Καινής Διαθήκης!

Οι σύγχρονοι γενετικοί μηχανικοί έχουν ήδη στη διάθεσή τους την απαραίτητη τεχνολογία για να γράψουν την Καινή Διαθήκη ή και οτιδήποτε άλλο στο DNA ενός βακτηρίου. Το «νόημα» των συμβόλων σε οποιαδήποτε τεχνολογία πληροφοριών είναι αυθαίρετο, και τίποτε δεν μας εμποδίζει να αντιστοιχίσουμε κάποιους συνδυασμούς –για παράδειγμα, τριπλέτες– από το αλφάβητο των 4 γραμμάτων του DNA, στα 26 γράμματα του δικού μας αλφάβητου. (Θα υπήρχε χώρος για όλα τα κεφαλαία και πεζά γράμματα, και για 12 σημεία στίξης.) Δυστυχώς, θα χρειαζόνταν περίπου πέντε ανθρώπινοι αιώνες για να γράψουμε την Καινή Διαθήκη σε ένα βακτήριο, γι' αυτό αμφιβάλλω αν θα κάνει κανείς τον κόπο. Ωστόσο, αν αυτό γινόταν, ο ρυθμός αναπαραγωγής των βακτηρίων είναι τόσο ταχύς, ώστε θα μπορούσαν να αναπαραχθούν 10 εκατομμύρια αντίτυπα της Καινής Διαθήκης μέσα σε μία μέρα. Θα ήταν το όνειρο των ιεραποστόλων, αν βέβαια οι άνθρωποι μπορούσαν να διαβάσουν το αλφάβητο του DNA. Δυστυχώς, όμως, τα γράμματά του είναι τόσο μικρά, ώστε και τα 10 εκατομμύρια αντίτυπα θα μπορούσαν να χορεύουν ταυτόχρονα πάνω στην επιφάνεια του κεφαλιού μιας καρφίτσας.

Η μνήμη των ηλεκτρονικών υπολογιστών χωρίζεται συνήθως σε ROM και σε RAM. Τα γράμματα ROM σημαίνουν Read Only Memory, δηλαδή «Μνήμη μόνο για ανάγνωση». Για να είμαστε πιο ακριβείς, είναι μια μνήμη του τύπου «γράψε μία φορά, διάβασε πολλές φορές». Η διάταξη των 0 και των 1 έχει αποτυπωθεί μια για πάντα πάνω της, από την κατασκευή της. Στη συνέχεια, παραμένει αναλλοίωτη σε όλη τη ζωή της μνήμης και οι πληροφορίες μπορούν να διαβαστούν όσες φορές θέλουμε. Το άλλο είδος μνήμης, τη RAM, μπορούμε όχι μόνο να το διαβάσουμε, αλλά και να γράψουμε σ' αυτό. Επομένως, η RAM μπορεί να κάνει ό,τι και η ROM, και ακόμη περισσότερα. Δεν θα αναφέρω τι σημαίνουν τα γράμματα RAM, γιατί το αρκτικόλεξο είναι μάλλον παραπλανητικό. Το θέμα με τη RAM είναι ότι μπορούμε να τοποθετήσουμε οποιαδήποτε διάταξη από 1 και 0 σε οποιοδήποτε

μέρος της μνήμης και όσες φορές θέλουμε. Το μεγαλύτερο μέρος της μνήμης ενός υπολογιστή είναι RAM. Καθώς γράφω αυτές τις λέξεις, πηγαίνουν κατευθείαν στη RAM του υπολογιστή. Το πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου που ελέγχει τη λειτουργία του βρίσκεται επίσης στη RAM –αν και, θεωρητικά, θα μπορούσαμε να το αποτυπώσουμε στη ROM, οπότε δεν θα άλλαζε ποτέ. Η ROM χρησιμοποιείται για ένα σταθερό ρεπερτόριο απαραίτητων προγραμμάτων που τα χρειαζόμαστε επανειλημμένως και που δεν θα μπορούσαμε να τα αλλάξουμε ακόμη κι αν το θέλαμε.

Το DNA είναι ROM. Μπορεί να διαβαστεί εκατομμύρια φορές, αλλά γράφεται μόνο μία φορά –όταν συγκροτείται κατά τη γέννηση του κυττάρου στο οποίο βρίσκεται. Το DNA στα κύτταρα οποιουδήποτε ατόμου είναι αποτυπωμένο μια για πάντα και δεν αλλάζει ποτέ στη διάρκεια της ζωής του ατόμου, εκτός από πολύ σπάνιες περιπτώσεις τυχαίας φθοράς. Μπορεί όμως να αντιγραφεί. Αντιγράφεται κάθε φορά που διαιρείται ένα κύτταρο. Η διάταξη των νουκλεοτιδίων A, T, C και G αντιγράφεται πιστά στο DNA καθενός από τα τρισεκατομμύρια νέα κύτταρα που δημιουργούνται καθώς μεγαλώνει ένα μωρό. Όταν συλλαμβάνεται ένα νέο άτομο, μια νέα και μοναδική διάταξη δεδομένων αποτυπώνεται για πάντα στη ROM του DNA, και αυτή θα το χαρακτηρίζει για όλη την υπόλοιπη ζωή του. Η ίδια διάταξη αντιγράφεται σε όλα τα κύτταρά του (εκτός από τα γενετικά κύτταρα, στα οποία αντιγράφεται ένα τυχαίο μισό του DNA του, όπως θα δούμε).

Όλες οι μνήμες του υπολογιστή, είτε είναι ROM είτε RAM, έχουν *διευθύνσεις*. Αυτό σημαίνει ότι κάθε θέση μέσα στη μνήμη έχει μια «ετικέτα» που συνήθως είναι ένας αριθμός (αν και αυτό αποτελεί μια αυθαίρετη παραδοχή). Είναι σημαντικό να καταλάβουμε τη διαφορά ανάμεσα στη *διεύθυνση* και στο *περιεχόμενο* μιας θέσης μνήμης. Κάθε θέση είναι γνωστή μέσα από τη *διεύθυνσή* της. Για παράδειγμα, αυτό το κεφάλαιο αρχίζει με τη φράση «Έξω δρέχει DNA». Τα δύο πρώτα γράμματα αυτής της φράσης, «Έξ», βρίσκονται αυτή τη στιγμή στις θέσεις 6446 και 6447 της μνήμης RAM του υπολογιστή μου, ο οποίος έχει συνολικά 65.536 θέσεις RAM. Κάποια άλλη στιγμή, το περιεχόμενο αυτών των δύο θέσεων θα είναι διαφορετικό. Το περιεχόμενο μιας θέ-

σης είναι ό,τι έχει γραφτεί πιο πρόσφατα σ' αυτήν. Κάθε θέση ROM έχει, επίσης, διεύθυνση και περιεχόμενο. Η διαφορά με τη RAM είναι ότι το περιεχόμενο στη ROM δεν αλλάζει ποτέ.

Το DNA είναι διατεταγμένο πάνω στα χρωμοσώματα, που μοιάζουν με μακριές ταινίες υπολογιστή. Όλο το DNA σε όλα μας τα κύτταρα έχει διευθύνσεις όπως συμβαίνει με τη ROM ενός υπολογιστή ή ακόμη και με μια ταινία υπολογιστή. Οι συγκεκριμένοι αριθμοί ή τα ονόματα που χρησιμοποιούμε για να προσδιορίσουμε μια συγκεκριμένη διεύθυνση είναι αυθαίρετα, όπως συμβαίνει και στη μνήμη του υπολογιστή. Εκείνο που έχει σημασία είναι ότι μια συγκεκριμένη θέση στο δικό μου DNA αντιστοιχεί επακριβώς σε μια συγκεκριμένη θέση στο δικό σας DNA: δηλαδή οι δύο θέσεις έχουν την ίδια διεύθυνση. Το περιεχόμενο της θέσης 321762 του δικού μου DNA μπορεί να είναι ή να μην είναι το ίδιο με το περιεχόμενο της δικής σας θέσης 321762, αλλά, τόσο στα δικά μου κύτταρα όσο και στα δικά σας, βρίσκεται στο ίδιο ακριβώς σημείο πάνω σε ένα συγκεκριμένο χρωμόσωμα. Δεν έχει σημασία το πού ακριβώς βρίσκεται ένα χρωμόσωμα μέσα στο κύτταρο. Πραγματικά, τα χρωμοσώματα κινούνται ελεύθερα μέσα στο υγρό του κυττάρου, με αποτέλεσμα να μετατοπίζονται, αλλά κάθε θέση πάνω στο χρωμόσωμα έχει μια συγκεκριμένη και ακριβή «διεύθυνση» που στηρίζεται στη γραμμική σειρά πάνω στο μήκος του χρωμοσώματος, όπως ακριβώς κάθε θέση πάνω σε μια ταινία υπολογιστή έχει τη δική της συγκεκριμένη διεύθυνση, ακόμη και αν αδειάσουμε την ταινία στο πάτωμα, αντί να την έχουμε τυλιγμένη στην μπομπίνα της. Όλοι οι άνθρωποι έχουν την ίδια σειρά *διευθύνσεων* του DNA, αλλά αυτές οι *διευθύνσεις* δεν έχουν απαραίτητα τα ίδια περιεχόμενα. Αυτός είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο διαφέρουμε ο ένας από τον άλλο.

Άλλα είδη δεν έχουν την ίδια σειρά *διευθύνσεων*. Οι χιμπαντζήδες, για παράδειγμα, έχουν 48 χρωμοσώματα, ενώ ο άνθρωπος 46. Αν θέλουμε να ακριβολογήσουμε, δεν είναι δυνατό να συγκρίνουμε τα περιεχόμενα διαφόρων *διευθύνσεων*, γιατί δεν υπάρχει αντιστοιχία από το ένα είδος στο άλλο. Ωστόσο, τα είδη που έχουν στενή σχέση μεταξύ τους, όπως οι χιμπαντζήδες και οι άνθρωποι, έχουν κοινά μεγάλα τμήματα *διαδοχικών περιεχομέ-*



νων που μπορούμε εύκολα να αναγνωρίσουμε ότι είναι ίδια, έστω και αν δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιήσουμε ακριβώς το ίδιο σύστημα διευθύνσεων για τα δύο είδη. Εκείνο που χαρακτηρίζει ένα είδος είναι ότι όλα τα μέλη του έχουν το ίδιο σύστημα διευθύνσεων για το DNA τους. Αν αγνοήσουμε μερικές ασήμαντες εξαιρέσεις, όλα τα μέλη ενός είδους έχουν τον ίδιο αριθμό χρωμοσωμάτων και κάθε θέση πάνω στο μήκος ενός χρωμοσώματος αντιστοιχεί με την ίδια θέση πάνω στο μήκος του αντιστοιχού χρωμοσώματος σε όλα τα άλλα μέλη του είδους. Εκείνο που μπορεί να διαφέρει ανάμεσα στα μέλη ενός είδους είναι το περιεχόμενο των εν λόγω θέσεων.

Οι διαφορές περιεχομένου στα διαφορετικά άτομα δημιουργούνται με τον ακόλουθο τρόπο (και εδώ θα πρέπει να τονίσω ότι μιλώ για είδη όπως το δικό μας, που αναπαράγονται αμφιγονικά). Τα σπερματοζωάρια και τα ωάρια του ανθρώπου περιέχουν 23 χρωμοσώματα. Κάθε διευθυνσιοδοτούμενη θέση σε ένα από τα σπερματοζωάριά μου αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη διευθυνσιοδοτούμενη θέση σε όλα τα άλλα σπερματοζωάριά μου και σε καθένα από τα ωάριά σας (ή τα σπερματοζωάριά σας). Όλα τα άλλα κύτταρά μου περιέχουν 46 χρωμοσώματα – μια διπλή σειρά. Οι ίδιες διευθύνσεις χρησιμοποιούνται δύο φορές σε καθένα από αυτά τα κύτταρα. Κάθε κύτταρο περιέχει δύο χρωμοσώματα με αριθμό 9, που το καθένα έχει τη δική του θέση 7230. Τα περιεχόμενα των δύο θέσεων μπορεί να είναι ίδια ή να μην είναι, κι αυτό ισχύει για όλα τα μέλη του είδους. Όταν ένα σπερματοζωάριο, με τα 23 του χρωμοσώματα, σχηματίζεται από ένα σωματικό κύτταρο με 46 χρωμοσώματα, παίρνει μόνο ένα από τα δύο αντίγραφα της κάθε διευθυνσιοδοτούμενης θέσης. Το ποιο από τα δύο θα πάρει μπορεί να θεωρηθεί τυχαίο. Το ίδιο ισχύει για τα ωάρια. Το αποτέλεσμα είναι ότι κάθε σπερματοζωάριο και κάθε ωάριο που παράγεται είναι μοναδικό από την άποψη του περιεχομένου της κάθε θέσης των χρωμοσωμάτων. Από την άλλη πλευρά, το σύστημα διευθύνσεων είναι πανομοιότυπο για όλα τα μέλη ενός είδους (με κάποιες ασήμαντες εξαιρέσεις που δεν χρειάζεται να μας απασχολήσουν). Όταν ένα σπερματοζωάριο γονιμοποιεί ένα ωάριο, δημιουργείται, φυσικά, μια πλήρης σειρά 46 χρωμοσωμά-

των. Στη συνέχεια, αυτά τα 46 χρωμοσώματα αντιγράφονται σε όλα τα κύτταρα του αναπτυσσόμενου εμβρύου.

Είπαμε ότι το περιεχόμενο της μνήμης ROM δεν μπορεί να γραφτεί παρά μόνο κατά την κατασκευή της. Το ίδιο ισχύει για το DNA των κυττάρων, εκτός από κάποια τυχαία σφάλματα που μπορεί να συμβούν μερικές φορές κατά την αντιγραφή. Υπάρχει όμως ένας τρόπος με τον οποίο μπορούν να καταγραφούν νέα στοιχεία στη συλλογική τράπεζα δεδομένων ROM ενός ολόκληρου είδους. Με το πέρασμα των γενεών, η μη τυχαία επιβίωση και η αναπαραγωγική επιτυχία των ατόμων μέσα σε ένα είδος ουσιαστικά «γράφει» βελτιωμένες οδηγίες επιβίωσης στη συλλογική γενετική μνήμη του είδους. Η εξελικτική αλλαγή σε ένα είδος συνίσταται σε μεγάλο βαθμό στις αλλαγές που συντελούνται στον υπάρχοντα αριθμό των αντιτύπων καθενός από τα διάφορα δυνατά περιεχόμενα κάθε θέσης του DNA, αλλαγές που συμβαίνουν με το πέρασμα των γενεών. Φυσικά, κάθε αντίγραφο πρέπει να θρίσκεται μέσα σε ένα σώμα. Εντούτοις, εκείνο που έχει σημασία στην εξέλιξη είναι οι αλλαγές στον αριθμό των εναλλακτικών δυνατών περιεχομένων κάθε διεύθυνσης μέσα στον πληθυσμό. Το σύστημα διευθύνσεων παραμένει το ίδιο, αλλά η στατιστική κατανομή των περιεχομένων κάθε θέσης αλλάζει καθώς περνούν οι αιώνες.

Σε πολύ αραιά χρονικά διαστήματα αλλάζει και το ίδιο το σύστημα διευθύνσεων. Οι χιμπαντζήδες έχουν 24 ζεύγη χρωμοσωμάτων, ενώ εμείς έχουμε 23. Ο άνθρωπος και ο χιμπαντζής έχουν έναν κοινό πρόγονο, κι αυτό σημαίνει ότι σε κάποια στιγμή, είτε στο δικό μας παρελθόν είτε στον χιμπαντζήδων, έγινε μια αλλαγή στον αριθμό των χρωμοσωμάτων. Ή εμείς χάσαμε ένα χρωμόσωμα (δύο από τα υπάρχοντα συγχωνεύτηκαν), ή οι χιμπαντζήδες απέκτησαν ένα επιπλέον (ένα από τα υπάρχοντα διασπάστηκε σε δύο). Πρέπει να υπήρξε τουλάχιστον ένα άτομο που είχε διαφορετικό αριθμό χρωμοσωμάτων από τους γονείς του. Υπάρχουν και άλλες σπάνιες αλλαγές σε ολόκληρο το γενετικό σύστημα. Όπως θα δούμε, ολόκληρα τμήματα κωδικών μπορεί καμιά φορά να αντιγραφούν σε εντελώς διαφορετικά χρωμοσώματα. Αυτό το ξέρουμε γιατί βρίσκουμε σκορπισμένες μέσα στα

χρωμοσώματα μεγάλες «αλυσίδες κειμένου» DNA που είναι πανομοιότυπες μεταξύ τους.

Όταν οι πληροφορίες που βρίσκονται σε μια θέση της μνήμης του υπολογιστή αναγνωστούν από τη συγκεκριμένη θέση, δύο πράγματα μπορεί να συμβούν. Οι πληροφορίες μπορεί να γραφτούν απλώς κάπου αλλού ή μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την επιτέλεση κάποιου «έργου». Αν οι πληροφορίες γραφτούν κάπου αλλού, σημαίνει απλώς ότι αντιγράφηκαν. Είδαμε ήδη ότι το DNA αντιγράφεται εύκολα από ένα κύτταρο σε ένα νέο κύτταρο και ότι τμήματά του DNA μπορούν να αντιγραφούν από ένα άτομο σε ένα άλλο άτομο, συγκεκριμένα στο παιδί του. Η περίπτωση της επιτέλεσης κάποιου «έργου» είναι πιο πολύπλοκη. Στους υπολογιστές, ένα είδος έργου είναι η εκτέλεση εντολών ενός προγράμματος. Στη ROM του υπολογιστή μου, οι θέσεις με αριθμούς 64489, 64490 και 64491, αν αναγνωστούν μαζί, περιέχουν μια ιδιαίτερη διάταξη περιεχομένων -0 και 1- που, όταν ερμηνεύονται ως εντολές, κάνουν το μικρό μεγάφωνο του υπολογιστή να θγάλει ένα «μπιπ». Αυτή η διάταξη είναι η 10101101 00110000 11000000. Η διάταξη δεν έχει κανένα ενδογενές χαρακτηριστικό που να παράγει θορύβους. Το περιεχόμενό της δεν δείχνει από μόνο του ότι προκαλεί αυτή τη λειτουργία του μεγαφώνου. Προκαλεί το «μπιπ» μόνο εξαιτίας της όλης συνδεσμολογίας του υπόλοιπου υπολογιστή. Με τον ίδιο τρόπο, οι διατάξεις του τετραγράμματος κώδικα του DNA έχουν κάποια αποτελέσματα, για παράδειγμα δίνουν ένα συγκεκριμένο χρώμα ματιών ή μια συμπεριφορά, αλλά αυτά τα αποτελέσματα δεν είναι ενδογενής ιδιότητα των ίδιων των διατάξεων δεδομένων του DNA· προκαλούνται από αυτές μόνο εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο αναπτύσσεται το υπόλοιπο έμβρυο, ο οποίος με τη σειρά του επηρεάζεται από τα αποτελέσματα των διατάξεων σε άλλα μέρη του DNA. Αυτή η αλληλεπίδραση ανάμεσα στα γονίδια θα είναι το κύριο θέμα του Κεφαλαίου 7.

Τα κωδικά σύμβολα του DNA, πριν μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν για οποιαδήποτε λειτουργία, πρέπει να μεταφραστούν σε ένα άλλο μέσο. Μεταγράφονται πρώτα, μέσα από μια ακριβή αντιστοίχιση, σε σύμβολα του RNA. Το RNA έχει επίσης ένα

αλφάβητο τεσσάρων γραμμάτων. Από εδώ, μεταφράζονται σε ένα διαφορετικό είδος πολυμερούς, που ονομάζεται πολυπεπτιδίο ή πρωτεΐνη. Μπορούμε επίσης να το ονομάσουμε πολυαμινοξύ, γιατί οι βασικές μονάδες του είναι αμινοξέα. Στα ζωντανά κύτταρα υπάρχουν 20 είδη αμινοξέων. Όλες οι βιολογικές πρωτεΐνες είναι αλυσίδες που αποτελούνται από αυτούς τους 20 βασικούς δομικούς λίθους. Αν και κάθε πρωτεΐνη είναι μια αλυσίδα αμινοξέων, οι περισσότερες από αυτές δεν παραμένουν μακριές και ινώδεις. Κάθε αλυσίδα συστρέφεται δημιουργώντας έναν πολύπλοκο «κόμπο», το ακριβές σχήμα του οποίου καθορίζεται από την ακολουθία των αμινοξέων. Επομένως, αυτό το σχήμα κόμπου δεν αλλάζει ποτέ για κάθε δεδομένη ακολουθία αμινοξέων. Η ακολουθία των αμινοξέων, με τη σειρά της, καθορίζεται με απόλυτη ακρίβεια από τα κωδικά σύμβολα που περιέχει ένα τμήμα DNA (μέσω του RNA, που λειτουργεί ως «μεσάζοντας»). Επομένως, κατά μία έννοια, το τρισδιάστατο συνεστραμμένο σχήμα μιας πρωτεΐνης καθορίζεται από τη μονοδιάστατη ακολουθία των κωδικών συμβόλων του DNA.

Η διαδικασία της μετάφρασης ενσωματώνει τον γνωστό «γενετικό κώδικα» των τριών γραμμάτων. Πρόκειται για ένα «λεξικό», στο οποίο καθεμιά από τις 64 ( $4 \times 4 \times 4$ ) δυνατές τριπλέτες των συμβόλων του DNA (ή του RNA) μεταφράζεται σε ένα από τα 20 αμινοξέα ή σε ένα σύμβολο που σημαίνει «σταμάτα να διαβάζεις». Υπάρχουν τρία τέτοια σημεία στίξης που σημαίνουν «σταμάτα να διαβάζεις». Πολλά από τα αμινοξέα κωδικεύονται όχι από μία αλλά από περισσότερες τριπλέτες (όπως μπορεί να μαντέψατε ήδη από το γεγονός ότι υπάρχουν 64 τριπλέτες και μόνο 20 αμινοξέα). Η όλη μετάφραση, από τη ROM του DNA με την αυστηρώς καθορισμένη ακολουθία μέχρι το ακριβές και αναλλοίωτο τρισδιάστατο πρωτεϊνικό σχήμα, είναι ένας εκπληκτικός άθλος ψηφιακής τεχνολογίας πληροφοριών. Σε επόμενα βήματα, τα γονίδια επηρεάζουν τα σώματα με τρόπους που παρουσιάζουν λιγότερο εμφανή ομοιότητα με τις λειτουργίες των υπολογιστών.

Κάθε ζωντανό κύτταρο, ακόμη και ένα απλό κύτταρο βακτηρίου, μοιάζει με ένα γιγάντιο χημικό εργοστάσιο. Οι διατάξεις του DNA, ή τα γονίδια, ασκούν τις επιδράσεις τους επηρεάζοντας την

πορεία των γεγονότων στο χημικό εργοστάσιο, κάτι που επιτυγχάνουν επιδρώντας στο τρισδιάστατο σχήμα των μορίων της πρωτεΐνης. Η λέξη «γιγάντιο» μπορεί να φαίνεται αταίριαστη για ένα κύτταρο, ιδιαίτερα αν θυμηθούμε ότι 10 εκατομμύρια κύτταρα βακτηρίων θα μπορούσαν να χωρέσουν πάνω στο κεφάλι μιας καρφίτσας. Ωστόσο, θα θυμάστε επίσης ότι καθένα από αυτά τα κύτταρα μπορεί να χωρέσει το κείμενο της Καινής Διαθήκης και, επιπλέον, είναι γιγάντιο αν λάβουμε υπόψη μας τον αριθμό των πολύπλοκων «μηχανών» που περιέχει. Κάθε μηχανή είναι ένα μεγάλο μόριο πρωτεΐνης, η σύνθεση του οποίου έχει συντελεστεί κάτω από την επίδραση ενός συγκεκριμένου τμήματος του DNA. Τα πρωτεϊνικά μόρια, που ονομάζονται ένζυμα, είναι μηχανές, με την έννοια ότι καθένα από αυτά προκαλεί την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης χημικής αντίδρασης. Κάθε είδος πρωτεϊνικής μηχανής παράγει το δικό του συγκεκριμένο χημικό προϊόν. Για να το κάνει αυτό, χρησιμοποιεί τις πρώτες ύλες που υπάρχουν μέσα στο κύτταρο, οι οποίες, κατά πάσα πιθανότητα, είναι προϊόντα άλλων πρωτεϊνικών μηχανών. Για να πάρουμε μια ιδέα σχετικά με το μέγεθος αυτών των πρωτεϊνικών μηχανών, μπορούμε να πούμε ότι η καθεμιά αποτελείται από 6.000 άτομα περίπου, ένας αριθμός που είναι πολύ μεγάλος για τα μοριακά επίπεδα. Υπάρχουν περίπου ένα εκατομμύριο τέτοιοι μεγάλοι μηχανισμοί μέσα σε ένα κύτταρο, και τα διαφορετικά είδη τους ξεπερνούν τις δύο χιλιάδες. Το καθένα είναι εξειδικευμένο να επιτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία μέσα στο χημικό εργοστάσιο, το κύτταρο. Τα χαρακτηριστικά χημικά προϊόντα αυτών των ενζύμων καθορίζουν το συγκεκριμένο σχήμα και τη συμπεριφορά του κυττάρου.

Αφού όλα τα κύτταρα του σώματος περιέχουν τα ίδια γονίδια, ίσως φαίνεται παράξενο που δεν είναι όλα ίδια μεταξύ τους. Το αίτιο αυτής της ανομοιοτητας είναι ότι στα διαφορετικά είδη κυττάρων *διαβάζονται* διαφορετικά υποσύνολα γονιδίων, ενώ τα υπόλοιπα αγνοούνται. Στα κύτταρα του ήπατος δεν διαβάζονται εκείνα τα μέρη της ROM του DNA που αφορούν την κατασκευή των κυττάρων των νεφρών, και αντίστροφα. Το σχήμα και η συμπεριφορά ενός κυττάρου εξαρτώνται από το ποια γονίδια του κυττάρου διαβάζονται και μεταφράζονται στα πρωτεϊνικά τους

προϊόντα. Αυτό με τη σειρά του εξαρτάται από τις χημικές ουσίες που υπάρχουν ήδη μέσα στο κύτταρο, πράγμα που εξαρτάται εν μέρει από τα γονίδια που έχουν διαβαστεί προηγουμένως στο κύτταρο και εν μέρει από τα γειτονικά κύτταρα. Όταν ένα κύτταρο διαιρείται σε δύο, τα θυγατρικά κύτταρα δεν είναι απαραίτητα όμοια μεταξύ τους. Για παράδειγμα, στο αρχικό γονιμοποιημένο ωάριο ορισμένες χημικές ουσίες συγκεντρώνονται στη μια μεριά του κυττάρου και άλλες στην άλλη. Όταν ένα τέτοιο πολωμένο κύτταρο διαιρείται, τα δύο θυγατρικά κύτταρα παίρνουν διαφορετικές χημικές ουσίες. Αυτό σημαίνει ότι στα θυγατρικά κύτταρα θα διαβαστούν διαφορετικά γονίδια και μ' αυτό τον τρόπο αρχίζει μια διαδικασία αυτοενισχυόμενης απόκλισης. Το τελικό σχήμα του σώματος, το μέγεθος των μελών, η συνδεσμολόγηση του εγκεφάλου, η χρονική διάταξη των προτύπων συμπεριφοράς, είναι άμεσες συνέπειες των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα σε διαφορετικά είδη κυττάρων, οι διαφορές των οποίων προέρχονται με τη σειρά τους από τα διαφορετικά γονίδια που διαβάζονται. Αυτές οι διαδικασίες απόκλισης είναι προτιμότερο να θεωρούνται ως τοπικά αυτόνομες κατά τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί η «αναδρομική» διαδικασία του προγράμματος του Κεφαλαίου 3, αντί να θεωρήσουμε ότι συντονίζονται από κάποιο μεγάλο κεντρικό σχέδιο.

Το «έργο» –με την έννοια με την οποία χρησιμοποιούμε τον όρο σ' αυτό το κεφάλαιο– είναι αυτό που οι γενετιστές ονομάζουν «φαινοτυπικές εκδηλώσεις» ενός γονιδίου. Το DNA επιδρά και καθορίζει τη μορφή του σώματος, το χρώμα των ματιών, τη μορφή των μαλλιών, την ένταση της επιθετικής συμπεριφοράς και χιλιάδες άλλες ιδιότητες, που ονομάζονται όλες φαινοτυπικές εκδηλώσεις. Το DNA ασκεί τις εν λόγω επιδράσεις αρχικά σε τοπικό επίπεδο, αφού διαβαστεί από το RNA και μεταφραστεί σε πρωτεϊνικές αλυσίδες, οι οποίες στη συνέχεια επηρεάζουν τη μορφή και τη συμπεριφορά του κυττάρου. Αυτός είναι ο ένας από τους δύο τρόπους με τους οποίους μπορούν να διαβαστούν οι πληροφορίες που περιέχει μια διάταξη DNA. Ο άλλος τρόπος είναι να αντιγραφεί σε έναν νέο κλώνο DNA. Αυτή είναι η αντιγραφή στην οποία αναφερθήκαμε προηγουμένως.

Υπάρχει μια θεμελιώδης διάκριση ανάμεσα σ' αυτούς τους δύο δρόμους μεταβίβασης των πληροφοριών του DNA, δηλαδή ανάμεσα στην κατακόρυφη και στην οριζόντια μεταβίβαση. Οι πληροφορίες μεταβιβάζονται κατακόρυφα στο DNA άλλων κυττάρων (τα οποία παράγουν άλλα κύτταρα) τα οποία παράγουν σπερματοζωάρια ή ωάρια. Έτσι, μεταβιβάζονται κατακόρυφα στην επόμενη γενιά και, κατόπιν, κατακόρυφα και πάλι, σε απροσδιόριστο αριθμό μελλοντικών γενεών. Αυτό θα το ονομάσω «αρχαιακό DNA», και είναι δυνητικά αθάνατο. Η διαδοχή των κυττάρων κατά μήκος των οποίων ταξιδεύει το αρχαιακό DNA ονομάζεται αναπαραγωγική σειρά. Η αναπαραγωγική σειρά είναι εκείνο το σύνολο των κυττάρων, μέσα σε ένα σώμα, που αποτελεί τον πρόγονο των σπερματοζωαρίων ή των ωαρίων, και επομένως αποτελεί τον πρόγονο των μελλοντικών γενεών. Το DNA μεταβιβάζεται επίσης *πλευρικά* ή οριζόντια: μεταβιβάζεται σε κύτταρα που δεν ανήκουν στην αναπαραγωγική σειρά, όπως, λόγω χάρη, στα κύτταρα του ήπατος ή του δέρματος. Μέσα σ' αυτά οι πληροφορίες του DNA μεταβιβάζονται στο RNA, και από αυτό σε πρωτεΐνες, ώστε να ασκηθούν διάφορες επιδράσεις στην εμβρυϊκή ανάπτυξη και επομένως και στην ενήλικη μορφή και τη συμπεριφορά του σώματος. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η οριζόντια μεταβίβαση και η κατακόρυφη μεταβίβαση αντιστοιχούν στα δύο υποπρογράμματα που ονομάσαμε ΑΝΑΠΤΥΞΗ και ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ στο Κεφάλαιο 3.

Η φυσική επιλογή αφορά τη διαφορετική επιτυχία που έχουν τα ανταγωνιστικά DNA στο να καταφέρουν να μεταβιβαστούν κατακόρυφα στα αρχεία του είδους. «Ανταγωνιστικά DNA» σημαίνει εναλλακτικά περιεχόμενα συγκεκριμένων διευθύνσεων στα χρωμοσώματα του είδους. Μερικά γονίδια είναι πιο επιτυχημένα από τα ανταγωνιστικά τους στο να παραμένουν στα αρχεία. Αν και η «επιτυχία» τελικά σημαίνει την *κατακόρυφη* μεταβίβαση στα αρχεία του είδους, το κριτήριο της επιτυχίας είναι συνήθως το *έργο* που ασκούν τα γονίδια στα σώματα διαμέσου της *οριζόντιας* τους μεταβίβασης. Κι αυτό το στοιχείο μοιάζει με το μοντέλο των βιομορφών του υπολογιστή. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι στις τίγρεις υπάρχει ένα συγκεκριμένο γονίδιο



που, μέσα από την οριζόντια επίδρασή του στα κύτταρα του σαγονιού, κάνει τα δόντια να είναι λίγο πιο κοφτερά από εκείνα που θα αναπτύσσονταν κάτω από την επίδραση ενός ανταγωνιστικού γονιδίου. Μια τίγρη με πιο κοφτερά δόντια μπορεί να σκοτώνει τη λεία της αποτελεσματικότερα απ' ό,τι μια κανονική τίγρη. Επομένως, έχει περισσότερους απογόνους· επομένως, μεταβιβάζει κατακόρυφα περισσότερα αντίτυπα του γονιδίου που δίνει κοφτερά δόντια. Βέβαια, ταυτόχρονα μεταβιβάζει και όλα τα άλλα γονιδιά της, αλλά μόνο το συγκεκριμένο «γονίδιο των κοφτερών δοντιών» θα βρίσκεται, κατά μέσο όρο, στα σώματα τίγρων με κοφτερά δόντια. Το ίδιο το γονίδιο ωφελείται, από την άποψη της κατακόρυφης μεταβίβασής του, λόγω της μέσης επίδρασης που ασκεί σε μια ολόκληρη σειρά σωμάτων.

Η απόδοση του DNA ως μέσου αρχειοθέτησης είναι εντυπωσιακή. Η ικανότητά του να διατηρεί ένα μήνυμα υπερβαίνει κατά πολύ την ικανότητα μιας πέτρινης πλάκας. Οι αγελάδες και οι μπιζελιές (καθώς και οι άνθρωποι) έχουν ένα σχεδόν πανομοιότυπο γονίδιο, το γονίδιο της ιστόνης H4. Το κείμενο του DNA που περιέχει αυτό το γονίδιο έχει μήκος 306 χαρακτήρων. Δεν μπορούμε να πούμε ότι βρίσκεται στην ίδια διαίθουση σε όλα τα είδη, γιατί δεν έχει νόημα να συγκρίνουμε ετικέτες διευθύνσεων ανάμεσα σε είδη. Μπορούμε όμως να πούμε ότι στις αγελάδες υπάρχει μια σειρά 306 χαρακτήρων που είναι σχεδόν πανομοιότυπη με μια σειρά 306 χαρακτήρων στις μπιζελιές. Οι αγελάδες και οι μπιζελιές διαφέρουν μεταξύ τους μόνο σε δύο χαρακτήρες από τους 306. Δεν γνωρίζουμε με ακρίβεια πριν από πόσο καιρό έζησε ο κοινός πρόγονος των αγελάδων και των μπιζελιών, αλλά τα απολιθώματα που έχουν βρεθεί δείχνουν ότι ήταν πριν από 1 με 2 δισεκατομμύρια χρόνια. Ας πούμε 1,5 δισεκατομμύριο χρόνια. Σε όλη τη διάρκεια αυτού του αφάνταστα μεγάλου (για τους ανθρώπους) χρονικού διαστήματος, καθεμιά από τις δύο γενεαλογικές σειρές που διακλαδίστηκαν από εκείνο τον μακρινό πρόγονο έχει διατηρήσει 305 από τους 306 χαρακτήρες (αυτό ισχύει κατά μέσο όρο: μπορεί η μία γενεαλογική σειρά να διατήρησε και τους 306 χαρακτήρες και η άλλη να διατήρησε 304). Τα γράμματα που χαράζονται πάνω σε ταφόπλακες δεν διαβάζονται

έπειτα από πολύ μικρό χρονικό διάστημα μερικών εκατοντάδων ετών.

Από μια άποψη, η διατήρηση του «κειμένου» της ιστόνης H4 είναι ακόμη πιο εντυπωσιακή γιατί, αντίθετα από τις πέτρινες πλάκες, το κείμενο δεν παραμένει στην ίδια υλική δομή. Αντιγράφεται ξανά και ξανά καθώς περνούν οι γενιές, σαν τις εβραϊκές γραφές που αντιγράφονταν τελετουργικά από γραμματείς κάθε 80 χρόνια, για να μη χαθούν τα κείμενα από τη φθορά. Είναι δύσκολο να υπολογίσουμε με ακρίβεια πόσες φορές αντιγράφηκε το κείμενο της ιστόνης H4 στη γενεαλογική σειρά που οδηγεί στις αγελάδες, ξεκινώντας από τον πρόγονο των αγελάδων και των μπιζελιών, αλλά μπορεί να φτάνει τις 20 δισεκατομμύρια φορές. Επίσης, είναι δύσκολο να βρούμε ένα μέτρο με το οποίο να συγκρίνουμε την πιστή διατήρηση περισσότερου από το 99% των πληροφοριών έπειτα από 20 δισεκατομμύρια διαδοχικές αντιγραφές. Μπορούμε να δοκιμάσουμε μια παραλλαγή του γνωστού παιχνιδιού «σπασμένο τηλέφωνο». Φανταστείτε 20 δισεκατομμύρια δακτυλογράφους να κάθονται στη σειρά. Η σειρά αυτή θα έκανε το γύρο της Γης 500 φορές. Ο πρώτος δακτυλογράφος γράφει μία σελίδα ενός κειμένου και τη δίνει στον διπλανό του. Αυτός την αντιγράφει και δίνει το αντίγραφο στον επόμενο, και ούτω καθεξής. Τελικά, το μήνυμα φτάνει στο τέλος της γραμμής και το διαβάζουμε (ή μάλλον το διαβάζουν οι απόγονοί μας έπειτα από 12.000 γενιές, αν θεωρήσουμε ότι όλοι οι δακτυλογράφοι έχουν την ταχύτητα μιας καλής γραμματέως). Πόσο πιστή θα είναι η απόδοση του αρχικού μηνύματος;

Για να απαντήσουμε σ' αυτό το ερώτημα, πρέπει να κάνουμε κάποια υπόθεση σχετικά με την ακρίβεια των δακτυλογράφων. Ας αντιστρέψουμε την ερώτηση. Πόσο καλός θά 'πρεπε να είναι κάθε δακτυλογράφος για να φτάσει την πιστότητα του DNA; Η απάντηση είναι σχεδόν γελοία. Κάθε δακτυλογράφος θα έπρεπε να έχει ποσοστό σφάλματων 1 προς ένα τρισεκατομμύριο περίπου. Δηλαδή, θα έπρεπε να είναι αρκετά ακριβής ώστε να κάνει ένα και μοναδικό σφάλμα αν δακτυλογραφούσε τη Βίβλο 250.000 φορές στη σειρά. Στην πραγματικότητα, μια καλή γραμματέας

έχει ποσοστό σφαλμάτων σχεδόν ένα σε κάθε σελίδα. Το ποσοστό αυτό είναι περίπου μισό δισεκατομμύριο φορές μεγαλύτερο από το ποσοστό σφαλμάτων του γονιδίου της ιστόνης H4. Αν εφαρμόζαμε τη διαδικασία των διαδοχικών δακτυλογραφήσεων που περιγράψαμε προηγουμένως, όταν το κείμενο θα έφτανε στον εικοστό μόλις δακτυλογράφο (επί συνόλου 20 δισεκατομμυρίων δακτυλογράφων), η πιστότητά του θα είχε μειωθεί στο 99% των αρχικών σωστών του γραμμάτων. Όταν θα έφτανε στο 10.000ο μέλος της σειράς, θα είχε επιζήσει λιγότερο από το 1% του αρχικού κειμένου. Το κείμενο θα έφτανε σ' αυτό το σημείο της σχεδόν ολοκληρωτικής παραφθοράς πριν ακόμη το αντιγράψει το 99,9995% των δακτυλογράφων.

Η παραπάνω σύγκριση ήταν κάπως παραπλανητική, αλλά κατά έναν ενδιαφέροντα και αποκαλυπτικό τρόπο. Με όσα είπα, έδωσα την εντύπωση ότι εκείνο που μετράμε είναι τα σφάλματα αντιγραφής. Ωστόσο, το «κείμενο» της ιστόνης H4 δεν αντιγραφόταν μόνο· παράλληλα υποβαλλόταν και στη διαδικασία της φυσικής επιλογής. Η ιστόνη έχει ζωτική σημασία για την επιβίωση. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή των χρομοσωμάτων. Μπορεί να έγιναν πολύ περισσότερα σφάλματα στην αντιγραφή της ιστόνης H4, αλλά οι μεταλλαγμένοι οργανισμοί να μην επέζησαν, ή τουλάχιστον να μην αναπαράχθηκαν. Για να καταστήσουμε δίκαιη τη σύγκριση, θα έπρεπε να θεωρήσουμε ότι στο κάθισμα κάθε δακτυλογράφου είναι στερεωμένο ένα όπλο με την κατάλληλη συνδεσμολογία, ώστε αν ο δακτυλογράφος κάνει ένα λάθος να εκτελείται επιτόπου και να παίρνει τη θέση του ένας εφεδρικός. (Οι ευαίσθητοι αναγνώστες μπορεί να προτιμήσουν να φανταστούν ένα κάθισμα με ειδικό ελατήριο που εκτοξεύει από τη θέση τους τους δακτυλογράφους που κάνουν λάθη, αλλά το όπλο δίνει μια πιο ρεαλιστική εικόνα της φυσικής επιλογής.)

Έτσι, αυτή η μέθοδος μέτρησης της διατήρησης του DNA, στην οποία μετράμε με βάση τον αριθμό των αλλαγών που έχει υποστεί στη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου, συνδυάζει τη γνήσια πιστότητα αντιγραφής με το «φιλτράρισμα» που επιβάλλει η φυσική επιλογή. Εμείς βλέπουμε μόνο τους απογόνους των επιτυχημένων αλλαγών του DNA. Προφανώς, οι αλλαγές που οδήγη-

σαν στο θάνατο δεν υπάρχουν πια. Μπορούμε να μετρήσουμε την πιστότητα αντίγραφής στην αρχή, πριν αρχίσει η φυσική επιλογή να επεξεργάζεται κάθε νέα γενιά γονιδίων; Ναι, αυτό το μέγεθος είναι το αντίστροφο του λεγόμενου ρυθμού μεταλλάξεων και μπορεί να μετρηθεί. Η πιθανότητα να αντιγραφεί εσφαλμένα οποιοδήποτε συγκεκριμένο γράμμα σε οποιαδήποτε περίπτωση αντιγραφής αποδεικνύεται ότι είναι λίγο μεγαλύτερη από 1 στο ένα δισεκατομμύριο. Η διαφορά ανάμεσα σ' αυτό το ποσοστό, που αντιπροσωπεύει το ρυθμό μεταλλάξεων, και στον χαμηλότερο ρυθμό με τον οποίο έχουν ενσωματωθεί αλλαγές στο γονίδιο της ιστόνης κατά τη διάρκεια της εξέλιξης, είναι ένα μέτρο της αποτελεσματικότητας της φυσικής επιλογής στη διατήρηση αυτού του αρχαίου κειμένου.

Η διατήρηση του γονιδίου της ιστόνης ανά τους γεωλογικούς αιώνες είναι ασυνήθιστη, ακόμη και με γενετικά κριτήρια. Άλλα γονίδια αλλάζουν με ταχύτερο ρυθμό, ίσως επειδή η φυσική επιλογή ανέχεται σε μεγαλύτερο βαθμό τις αλλαγές σ' αυτά. Για παράδειγμα, τα γονίδια που κωδικεύουν τις πρωτεΐνες οι οποίες είναι γνωστές ως ινωδοπεπτιδία μεταβάλλονται κατά την εξέλιξη με ρυθμό που προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό τον βασικό ρυθμό των μεταλλάξεων. Αυτό μάλλον σημαίνει ότι τα σφάλματα στις λεπτομέρειες κατασκευής αυτών των πρωτεϊνών (που ενεργοποιούνται κατά την πήξη του αίματος) δεν έχουν τόσο μεγάλη σημασία για τον οργανισμό. Τα γονίδια της αιμοσφαιρίνης έχουν ρυθμό μεταβολής που βρίσκεται ανάμεσα σε εκείνον της ιστόνης και των ινωδοπεπτιδίων. Φαίνεται ότι η φυσική επιλογή δείχνει μια ενδιάμεση ανοχή σ' αυτά τα σφάλματα. Η αιμοσφαιρίνη διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο αίμα και οι λεπτομέρειες της κατασκευής της είναι σημαντικές, αλλά υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές μορφές της που εκτελούν εξίσου καλά την αποστολή της.

Εδώ έχουμε μια κατάσταση που φαίνεται λίγο παράδοξη, μέχρι να τη σκεφτούμε καλύτερα. Τα μόρια που εξελίσσονται πιο αργά, όπως οι ιστόνες, είναι εκείνα που έχουν υποστεί την περισσότερη φυσική επιλογή. Τα ινωδοπεπτιδία είναι τα μόρια με την ταχύτερη εξέλιξη, γιατί η φυσική επιλογή τα αγνοεί σχεδόν εντελώς. Είναι ελεύθερα να εξελίσσονται ακολουθώντας το ρυθμό

των μεταλλάξεων. Ο λόγος για τον οποίο αυτό φαίνεται παράδοξο είναι ότι δίνουμε τόσο μεγάλη έμφαση στο ρόλο της φυσικής επιλογής ως κινητήριας δύναμης της εξέλιξης. Επομένως, όταν δεν υπάρχει φυσική επιλογή, περιμένουμε ότι δεν θα υπάρχει και εξέλιξη. Αντίστροφα, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η ισχυρή «επιλεκτική πίεση» οδηγεί σε ταχεία εξέλιξη. Εδώ όμως βλέπουμε ότι η φυσική επιλογή λειτουργεί ως τροχοπέδη. Ο βασικός ρυθμός εξέλιξης, όταν δεν υπάρχει φυσική επιλογή, είναι ο ταχύτερος δυνατός, που ισοδυναμεί με το ρυθμό των μεταλλάξεων.

Εντούτοις, η κατάσταση δεν είναι πραγματικά παράδοξη. Αν το σκεφτούμε προσεκτικά, θα δούμε ότι δεν θα μπορούσαν να είναι διαφορετικά τα πράγματα. Η εξέλιξη που συντελείται με τη φυσική επιλογή δεν μπορεί να είναι ταχύτερη από το ρυθμό των μεταλλάξεων, γιατί οι μεταλλάξεις είναι τελικά ο μοναδικός τρόπος με τον οποίο εισάγονται νέες ποικιλίες στο είδος. Το μόνο που μπορεί να κάνει η φυσική επιλογή είναι να δεχτεί ορισμένες από αυτές και να απορρίψει άλλες. Ο ρυθμός των μεταλλάξεων θέτει αναγκαστικά ένα ανώτατο όριο στο ρυθμό με τον οποίο μπορεί να προχωρήσει η εξέλιξη. Ουσιαστικά, η φυσική επιλογή ασχολείται κυρίως με την αποτροπή των εξελικτικών αλλαγών παρά με την καθοδήγησή τους. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι η φυσική επιλογή είναι μια καθαρά καταστροφική διαδικασία. Μπορεί να διαδραματίσει και εποικοδομητικό ρόλο, με διάφορους τρόπους που θα εξηγήσουμε στο Κεφάλαιο 7.

Ακόμη και ο ρυθμός των μεταλλάξεων είναι πολύ αργός. Αυτός είναι ένας διαφορετικός τρόπος για να πούμε ότι, ακόμη και χωρίς τη φυσική επιλογή, η απόδοση του κώδικα του DNA στην ακριβή διατήρηση των αρχείων του είναι πολύ εντυπωσιακή. Μια συντηρητική εκτίμηση είναι ότι, εφόσον δεν υπάρχει φυσική επιλογή, το DNA αντιγράφεται με τέτοια ακρίβεια, ώστε θα χρειάζονταν πέντε εκατομμύρια γενιές για να αντιγραφεί εσφαλμένα το 1% των χαρακτήρων. Το DNA ξεπερνά πάλι σε τεράστιο βαθμό τους υποθετικούς μας δακτυλογράφους, ακόμη και αν δεν υπάρχει φυσική επιλογή. Για να φτάσουν οι δακτυλογράφοι την ακρίβεια του DNA χωρίς φυσική επιλογή, θα έπρεπε να μπορούν να δακτυλογραφήσουν ολόκληρη την Καινή Διαθήκη κάνοντας

ένα μόνο λάθος. Δηλαδή, θα έπρεπε ο καθένας τους να είναι περίπου 450 φορές πιο ακριβής από μια μέση πραγματική γραμματέα. Αυτό το επίπεδο είναι προφανώς πολύ χαμηλότερο από τον προηγούμενο αριθμό του μισού δισεκατομμυρίου, που είναι ο παράγοντας κατά τον οποίο το γονίδιο της ιστόνης H4 μετά τη φυσική επιλογή είναι πιο ακριβές από μια μέση γραμματέα. Είναι όμως και πάλι ένας εντυπωσιακός αριθμός.

Ωστόσο, δεν ήμουν δίκαιος απέναντι στους δακτυλογράφους. Θεώρησα, ουσιαστικά, ότι δεν έχουν την ικανότητα να αντιλαμβάνονται τα λάθη τους και να τα διορθώνουν. Θεώρησα ότι δεν υπάρχουν καθόλου διορθώσεις. Στην πραγματικότητα, βέβαια, οι δακτυλογράφοι κάνουν διορθώσεις. Επομένως, η σειρά των δισεκατομμυρίων δακτυλογράφων δεν θα προκαλούσε τη φθορά του αρχικού μηνύματος με τον απλό τρόπο που περιέγραψα. Ο μηχανισμός αντιγραφής του DNA περιέχει ένα παρόμοιο και αυτόματο σύστημα διόρθωσης σφαλμάτων. Αν δεν το διέθετε, δεν θα μπορούσε ούτε καν να προσεγγίσει την εκπληκτική ακρίβεια που ανέφερα παραπάνω. Η διαδικασία αντιγραφής του DNA περιλαμβάνει διάφορους μηχανισμούς διόρθωσης, οι οποίοι είναι ακόμη πιο απαραίτητοι, γιατί τα γράμματα του DNA δεν είναι στατικά, σαν ιερογλυφικά σκαλισμένα σε γρανίτη. Αντίθετα μάλιστα, τα μόρια που κωδικοποιούν τις πληροφορίες είναι τόσο μικρά -θυμηθείτε όλες εκείνες τις Καινές Διαθήκες που χωρούν στο κεφάλι μιας καρφίτσας-, ώστε δέχονται συνεχείς «σπρωξιές» κατά τη θερμική κίνηση των μορίων. Έτσι, υπάρχει μια συνεχής ροή, μια ανανέωση των γραμμάτων του κειμένου. Περίπου 5.000 γράμματα του DNA φθείρονται καθημερινά σε κάθε ανθρώπινο κύτταρο και αντικαθίστανται αμέσως από ειδικούς μηχανισμούς επισκευής. Αν δεν υπήρχαν αυτοί οι μηχανισμοί και δεν λειτουργούσαν ακατάπαυστα, το κείμενο θα φθειρόταν συνεχώς. Οι διορθώσεις των νεοαντιγραφόμενων κειμένων είναι απλώς μια ειδική περίπτωση των συνηθισμένων επιδιορθώσεων. Αυτές ευθύνονται κυρίως για την εκπληκτική ακρίβεια και πιστότητα του DNA ως μέσου αποθήκευσης πληροφοριών.

Είδαμε ότι τα μόρια του DNA αποτελούν τον πυρήνα μιας εντυπωσιακής τεχνολογίας πληροφοριών. Μπορούν να συμπε-

κνώσουν με ακρίβεια τεράστια ποσότητα ψηφιακών πληροφοριών σε έναν πολύ μικρό χώρο, και είναι σε θέση να διατηρούν αυτές τις πληροφορίες –τα σφάλματα που γίνονται είναι εκπληκτικά λίγα, δεν παύουν όμως να υπάρχουν– για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, που μετρείται σε εκατομμύρια χρόνια. Πού μας οδηγούν όλα αυτά τα στοιχεία; Μας οδηγούν σε μια βασική αλήθεια σχετικά με τη ζωή πάνω στη Γη, την αλήθεια στην οποία αναφέρθηκα έμμεσα στην πρώτη παράγραφο του κεφαλαίου, όταν μιλούσα για τους σπόρους της ιτιάς. Συγκεκριμένα, ότι οι ζωντανοί οργανισμοί υπάρχουν για χάρη του DNA και όχι το αντίστροφο. Αυτό δεν είναι προφανές ακόμη, ελπίζω όμως να σας πείσω για την ορθότητα του ισχυρισμού μου. Τα μηνύματα που περιέχονται στα μόρια του DNA είναι σχεδόν αιώνια αν τα θεωρήσουμε με βάση τη χρονική κλίμακα μιας ανθρώπινης ζωής. Η ζωή των μηνυμάτων του DNA (παρ' όλες τις μεταλλάξεις που μπορεί να υποστούν) μετριούνται σε μονάδες που κυμαίνονται από εκατομμύρια μέχρι εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια. Μέσα σ' αυτό το χρονικό διάστημα μπορούν να χωρέσουν από 10.000 μέχρι ένα τρισεκατομμύριο ανθρώπινες ζωές. Κάθε οργανισμός πρέπει να θεωρηθεί ένα προσωρινό «όχημα» μέσα στο οποίο τα μηνύματα του DNA περνούν απειροελάχιστο χρόνο της δικής τους γεωλογικής ζωής.

Ο κόσμος είναι γεμάτος πράγματα που υπάρχουν!... Κανείς δεν μπορεί να αμφισβητήσει αυτό το γεγονός: μας οδηγεί όμως πουθενά; Τα πράγματα υπάρχουν είτε επειδή σχηματίστηκαν πρόσφατα είτε επειδή έχουν ιδιότητες που καθιστούσαν απίθανη την καταστροφή τους στο παρελθόν. Οι βράχοι δεν σχηματίζονται με μεγάλη συχνότητα, αλλά από τη στιγμή που θα σχηματιστούν είναι σκληροί και ανθεκτικοί, αλλιώς δεν θα ήταν βράχοι, θα ήταν άμμος. Πραγματικά, μερικοί έχουν μετατραπεί σε άμμο, και γι' αυτό υπάρχουν οι αμμουδιές! Αυτοί που υπάρχουν ως βράχοι είναι όσοι συμβαίνει να έχουν ανθεκτικότητα. Από την άλλη πλευρά, όταν βλέπουμε κάποιες δροσοσταλίδες ξέρουμε ότι υπάρχουν όχι επειδή είναι ανθεκτικές, αλλά επειδή σχηματίστηκαν πρόσφατα και δεν πρόλαβαν να εξατμιστούν. Επομένως, έχουμε δύο είδη «απαρξιμότητας»: το είδος των δροσοσταλίδων,



που μπορεί να περιγραφεί ως «πιθανό να σχηματιστούν, αλλά χωρίς πολλή ανθεκτικότητα», και το είδος των βράχων, που μπορεί να περιγραφεί ως «όχι πολύ πιθανό να σχηματιστούν, αλλά πολύ πιθανό να διαρκέσουν από τη στιγμή που υπάρχουν». Οι βράχοι έχουν ανθεκτικότητα και οι δροσοσταλίδες έχουν «παραγωγιμότητα».

Το DNA έχει τα καλύτερα χαρακτηριστικά και από τις δύο κατηγορίες. Τα ίδια τα μόρια του DNA, ως φυσικές οντότητες, μοιάζουν με τις δροσοσταλίδες. Κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες σχηματίζονται με ταχύ ρυθμό, αλλά κανένα τους δεν διαρκεί για πολύ, και όλα καταστρέφονται μέσα σε λίγους μήνες. Δεν είναι ανθεκτικά σαν τους βράχους, αλλά οι διατάξεις που φέρουν στις ακολουθίες των γραμμάτων τους είναι εξίσου ανθεκτικές με τους σκληρότερους βράχους. Έχουν τις απαραίτητες ιδιότητες που τους επιτρέπουν να υπάρχουν για εκατομμύρια χρόνια, και γι' αυτό εξακολουθούν να υπάρχουν και σήμερα. Η ουσιαστική διαφορά τους από τις δροσοσταλίδες είναι ότι οι νέες δροσοσταλίδες δεν γεννιούνται από τις παλιές. Αναμφίβολα, οι δροσοσταλίδες μοιάζουν μεταξύ τους, αλλά καθεμιά δεν μοιάζει με τις δικές της συγκεκριμένες «γονικές» δροσοσταλίδες. Αντίθετα με τα μόρια του DNA, δεν σχηματίζουν γενεαλογικές σειρές και, επομένως, δεν μπορούν να μεταβιβάσουν μηνύματα. Οι δροσοσταλίδες σχηματίζονται με αυτόματη γένεση, ενώ τα μηνύματα του DNA με την αντιγραφή.

Οι αυταπόδεικτες αλήθειες του τύπου «ο κόσμος είναι γεμάτος από αντικείμενα που έχουν τις ιδιότητες οι οποίες είναι απαραίτητες για να υπάρχουν στον κόσμο» είναι κοινότοπες, σχεδόν αστείες, μέχρι να τις εφαρμόσουμε σε ένα ιδιαίτερο είδος ανθεκτικότητας, την ανθεκτικότητα με τη μορφή γενεαλογικών σειρών από πολλαπλά αντίγραφα. Τα μηνύματα του DNA έχουν διαφορετικό είδος ανθεκτικότητας από εκείνη των βράχων και διαφορετικό είδος «παραγωγιμότητας» από εκείνη των δροσοσταλίδων. Για τα μόρια του DNA, η φράση «ιδιότητες οι οποίες είναι απαραίτητες για να υπάρχουν στον κόσμο» αποκτά ένα νόημα που είναι κάθε άλλο παρά προφανές και ταυτολογικό. Οι «ιδιότητες που είναι απαραίτητες για να υπάρχουν στον κόσμο» απο-

δεικνύεται ότι περιλαμβάνουν την ικανότητα κατασκευής μηχανών σαν εσάς και σαν εμένα, δηλαδή των πιο πολύπλοκων αντικειμένων που υπάρχουν στο γνωστό σύμπαν. Ας δούμε γιατί συμβαίνει αυτό.

Ουσιαστικά, ο λόγος είναι ότι οι ιδιότητες του DNA που περιγράψαμε αποτελούν τα βασικά χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα για οποιαδήποτε διαδικασία συσσωρευτικής επιλογής. Στα μοντέλα υπολογιστή του Κεφαλαίου 3, ενσωματώσαμε σκόπιμα στο πρόγραμμα τα βασικά χαρακτηριστικά της συσσωρευτικής επιλογής. Για να μπορέσει να συντελεστεί αυτή, πρέπει να εμφανιστούν κάποιες οντότητες που οι ιδιότητές τους περιλαμβάνουν αυτά τα βασικά χαρακτηριστικά. Ας δούμε τώρα ποια είναι. Σ' αυτή τη διερεύνηση θα έχουμε υπόψη μας ότι τα ίδια χαρακτηριστικά, τουλάχιστον σε κάποια στοιχειώδη μορφή, πρέπει να εμφανίστηκαν αυτόματα στο παρελθόν, αλλιώς δεν θα είχε αρχίσει η διαδικασία της συσσωρευτικής επιλογής και, επομένως, η ζωή. Εδώ δεν μιλάμε συγκεκριμένα για το DNA, αλλά για τα βασικά χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα ώστε να δημιουργηθεί ζωή οπουδήποτε στο σύμπαν.

Όταν ο προφήτης Ιεζεκιήλ βρισκόταν στην πεδιάδα των οστών προφήτεψε προς τα οστά και τα έκανε να ενωθούν. Μετά, προφήτεψε και πάλι, και έκανε να δημιουργηθούν γύρω τους σάρκα και νεύρα. Αλλά και πάλι δεν υπήρχε πνοή μέσα τους. Το ζωτικό χαρακτηριστικό, το συστατικό της ζωής, έλειπε. Σε έναν πλανήτη χωρίς ζωή υπάρχουν άτομα, μόρια και μεγαλύτερα συνάθροισμα ύλης που συγκρούονται και ενώνονται τυχαία, σύμφωνα με τους φυσικούς νόμους. Μερικές φορές οι φυσικοί νόμοι κάνουν τα άτομα και τα μόρια να ενωθούν, όπως ενώθηκαν τα οστά από τον Ιεζεκιήλ, και μερικές φορές τα διαχωρίζουν. Μπορεί να σχηματιστούν πολύ μεγάλα συγκροτήματα ατόμων και στη συνέχεια να διασπαστούν εκ νέου. Ωστόσο, εξακολουθεί να μην υπάρχει πνοή μέσα τους.

Ο Ιεζεκιήλ κάλεσε το πνεύμα από τους τέσσερις ανέμους, για να εμφυσήσει πνοή ζωής στα οστά. Ποιο είναι το ζωτικό χαρακτηριστικό που πρέπει να έχει ένας πλανήτης χωρίς ζωή, όπως ήταν αρχικά η Γη, για να έχει τη δυνατότητα τελικά να ζωντανέ-

πει, όπως συνέβη με τον πλανήτη μας. Δεν είναι η πνοή, δεν είναι ο άνεμος, ούτε και κανένα ελιξήριο. Δεν είναι μια ουσία αλλά μια ιδιότητα, η ιδιότητα της αυτοαντιγραφής. Αυτή είναι το βασικό γνώρισμα της συσσωρευτικής επιλογής. Πρέπει με κάποιον τρόπο, και ως συνέπεια των συνηθισμένων φυσικών νόμων, να δημιουργηθούν αυτοαντιγραφικές οντότητες, ή αντιγραφείς, όπως θα τους ονομάσω. Στη σύγχρονη ζωή αυτό το ρόλο τον αναλαμβάνουν σχεδόν ολοκληρωτικά τα μόρια του DNA, αλλά είναι δυνατό να τον αναλάβει και οτιδήποτε αντιγράφεται. Θα μπορούσαμε να εκφράσουμε την υποψία ότι οι πρώτοι αντιγραφείς στην πρωτόγονη Γη δεν ήταν τα μόρια του DNA. Είναι απίθανο να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο μόριο DNA χωρίς τη βοήθεια άλλων μορίων που κανονικά υπάρχουν μόνο μέσα σε ζωντανά κύτταρα. Οι πρώτοι αντιγραφείς ήταν κατά πάσα πιθανότητα πιο χονδροειδείς και πιο απλοί από το DNA.

Υπάρχουν δύο ακόμη απαραίτητα χαρακτηριστικά, τα οποία γενικά προκύπτουν αυτόματα από το πρώτο χαρακτηριστικό, την ίδια την αυτοαντιγραφή. Πρέπει κατά καιρούς να γίνονται λάθη σ' αυτήν. Ακόμη και το σύστημα του DNA κάνει κάποια σπάνια λάθη και είναι πιθανό οι πρώτοι αντιγραφείς πάνω στη Γη να ήταν πολύ πιο αναξιόπιστοι. Επίσης, μερικοί τουλάχιστον από τους αντιγραφείς θα πρέπει να ασκούν κάποια «δύναμη» στο ίδιο τους το μέλλον. Αυτό το τελευταίο χαρακτηριστικό δεν είναι τόσο μυστηριώδες όσο ακούγεται. Σημαίνει απλώς ότι μερικές ιδιότητες των αντιγραφέων πρέπει να ασκούν κάποια επίδραση στην πιθανότητα αντιγραφής τους. Αυτό, σε μια υποτυπώδη μορφή τουλάχιστον, είναι πιθανό να αποτελεί μια αναπόφευκτη συνέπεια των βασικών ιδιοτήτων της ίδιας της αυτοαντιγραφής.

Κάθε αντιγραφέας, λοιπόν, φτιάχνει αντίγραφα του εαυτού του. Κάθε αντίγραφο είναι ίδιο με το πρωτότυπο και έχει τις ίδιες ιδιότητες με αυτό. Ανάμεσα στις εν λόγω ιδιότητες, βέβαια, είναι και η ιδιότητα της παραγωγής (μερικές φορές με σφάλματα) περισσότερων αντιτύπων του εαυτού του. Έτσι, κάθε αντιγραφέας είναι δυνητικά ο «πρόγονος» μιας απροσδιόριστα μεγάλης σειράς απόγονων αντιγραφέων, που απλώνεται προς το μακρινό μέλλον και διακλαδίζεται για να παραγάγει, δυνητικά, έναν εξαι-

ρετικά μεγάλο αριθμό απόγονων αντιγραφών. Κάθε νέο αντίγραφο πρέπει να σχηματίζεται από διαθέσιμες πρώτες ύλες, από μικρότερους δομικούς λίθους που υπάρχουν στο περιβάλλον. Οι αντιγραφείς λειτουργούν μάλλον σαν ένα είδος καλουπιού ή προτύπου. Μικρότερα συστατικά πέφτουν όλα μαζί μέσα στο καλούπι, έτσι ώστε να σχηματιστεί ένα αντίγραφο του. Κατόπιν, το αντίγραφο απελευθερώνεται και είναι σε θέση να λειτουργήσει ως ανεξάρτητο καλούπι. Επομένως, έχουμε έναν δυνητικά αναπτυσσόμενο πληθυσμό αντιγραφών. Ο πληθυσμός δεν θα αναπτύσσεται επ' αόριστον, γιατί θα περιοριστεί η διάθεση των πρώτων υλών, δηλαδή των μικρότερων στοιχείων που μπαίνουν στο καλούπι.

Και τώρα εισάγουμε το δεύτερο χαρακτηριστικό στο επιχειρήματά μας. Μερικές φορές η αντιγραφή δεν θα είναι τέλεια. Θα συμβαίνουν και λάθη. Η πιθανότητα σφαλμάτων δεν μπορεί να εξαλειφθεί ολοκληρωτικά από οποιαδήποτε διαδικασία αντιγραφής, αν και η πιθανότητά τους μπορεί να περιοριστεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Αυτό προσπαθούν συνεχώς να επιτύχουν οι κατασκευαστές ηχητικών συσκευών υψηλής πιστότητας, και η διαδικασία αντιγραφής του DNA είναι, όπως είδαμε, εκπληκτικά αποτελεσματική στη μείωση των σφαλμάτων. Αλλά η σύγχρονη αντιγραφή του DNA είναι μια διαδικασία υψηλής τεχνολογίας, με πολύπλοκες τεχνικές ανεύρεσης και διόρθωσης των σφαλμάτων, οι οποίες έχουν τελειοποιηθεί από πολλές γενιές συσσωρευτικής επιλογής. Όπως είπαμε, οι πρώτοι αντιγραφείς μάλλον ήταν σχετικά χονδροειδείς και είχαν χαμηλή πιστότητα σε σύγκριση με το DNA.

Τώρα, ας επιστρέψουμε στον πληθυσμό των αντιγραφών και ας δούμε ποιο θα είναι το αποτέλεσμα των σφαλμάτων στην αντιγραφή. Προφανώς, αντί να έχουμε έναν ομοιόμορφο πληθυσμό από πανομοιότυπους αντιγραφείς, θα έχουμε έναν ανάμεικτο πληθυσμό. Κατά πάσα πιθανότητα, πολλά από τα προϊόντα των εσφαλμένων αντιγραφών δεν θα διαθέτουν την ιδιότητα της αυτοαντιγραφής που είχε ο «γονέας» τους. Εντούτοις, μερικά από αυτά θα τη διατηρούν, ενώ θα διαφέρουν από το γονέα τους σε κάποια άλλη ιδιότητα. Έτσι, μέσα στον πληθυσμό θα αναπαράγονται αντίγραφα των σφαλμάτων.

Όταν διαβάσετε τη λέξη «σφάλμα», θα πρέπει να διώξετε από το νου σας όλους τους αρνητικούς συνειρμούς. Απλώς σημαίνει σφάλμα από την άποψη της πιστής αντιγραφής. Μπορεί όμως να έχει ως αποτέλεσμα μια βελτίωση. Πιστεύω ότι πολλά υπέροχα νέα φαγητά ανακαλύφθηκαν επειδή ένας μάγειρας έκανε κάποιο λάθος στην προσπάθειά του να ακολουθήσει μια συνταγή. Στο βαθμό που μπορώ να ισχυριστώ ότι έχω ανακαλύψει ορισμένες πρωτότυπες επιστημονικές ιδέες, μερικές φορές τις συνέλαβα επειδή παρανόησα τις ιδέες κάποιων άλλων ή επειδή έκανα κάποιο λάθος ενώ τις διάβαζα. Για να επανέλθουμε στους αρχέγονους αντιγραφείς μας, ενώ τα περισσότερα σφάλματα αντιγραφής μάλλον είχαν ως αποτέλεσμα μια μειωμένη αντιγραφική αποτελεσματικότητα, ή και μια ολοκληρωτική απώλεια της αυτοαντιγραφικής ιδιότητας, μερικοί από τους «αλλοιωμένους» αντιγραφείς μπορεί να αποδείχτηκαν καλύτεροι στην αυτοαντιγραφή από το γονέα αντιγραφέα που τα παρήγαγε.

Τι σημαίνει «καλύτεροι»; Σε τελική ανάλυση, σημαίνει πιο ικανοί στην αυτοαντιγραφή, αλλά τι μπορεί να σημαίνει αυτό στην πράξη; Η ερώτησή μας οδηγεί στο τρίτο μας «χαρακτηριστικό». Όταν αναφέραμε την αντιγραφή ως μια διαδικασία αναπαραγωγής νέων μορίων από ένα καλούπι, είδαμε ότι το τελευταίο θήμα της διαδικασίας πρέπει να είναι η απελευθέρωση του νέου αντιγράφου από το καλούπι. Ο χρόνος που χρειάζεται για αυτή την απελευθέρωση επηρεάζεται από μια ιδιότητα που θα την ονομάσω «κολλητικότητα» του παλιού καλουπιού. Ας υποθέσουμε ότι στον πληθυσμό των αντιγραφέων, μέσα στον οποίο υπάρχει ποικιλία εξαιτίας παλιών σφαλμάτων αντιγραφής, μερικές ποικιλίες συμβαίνει να είναι πιο κολλώδεις από άλλες. Μια πολύ κολλώδης ποικιλία παραμένει προσκολλημένη στο νέο αντίγραφο για ένα μέσο χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από μία ώρα, πριν απελευθερωθεί το αντίγραφο και αρχίσει πάλι η διαδικασία της αντιγραφής. Μια λιγότερο κολλώδης ποικιλία απελευθερώνει το νέο αντίγραφο μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου μετά το σχηματισμό του. Ποια από τις δύο θα κυριαρχήσει στον πληθυσμό των αντιγραφέων; Δεν υπάρχει αμφιβολία για την απάντηση. Αν αυτή είναι η μοναδική ιδιότητα στην οποία διαφέρουν

οι δύο ποικιλίες, η κολλώδης θα έχει πολύ λιγότερους εκπροσώπους στον πληθυσμό. Η μη κολλώδης ποικιλία θα παράγει αντίγραφα με ρυθμό χίλιες φορές ταχύτερο από εκείνον της κολλώδους. Οι ποικιλίες με ενδιάμεση κολλητικότητα θα έχουν ενδιάμεσους ρυθμούς αυτοδιάδοσης. Έτσι, θα υπάρχει μια «εξελικτική τάση» προς τη μειωμένη κολλητικότητα.

Ένα παρόμοιο παράδειγμα στοιχειώδους φυσικής επιλογής έχει αναπαραχθεί στον δοκιμαστικό σωλήνα. Υπάρχει ένας ιός που ονομάζεται Q-βήτα, ο οποίος ζει σαν παράσιτο πάνω στο εντερικό βακτήριο *Escherichia coli*. Ο Q-βήτα δεν έχει δικό του DNA, περιέχει όμως έναν μοναδικό κλώνο του παρόμοιου μορίου RNA –ουσιαστικά αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από αυτόν. Το RNA μπορεί να αναπαραχθεί με τρόπο παρόμοιο με του DNA.

Στο φυσιολογικό κύτταρο, τα πρωτεϊνικά μόρια συντίθενται με βάση τις προδιαγραφές των σχεδίων του RNA. Αυτά είναι «αντίγραφα εργασίας» των πρωτότυπων σχεδίων που περιέχει το DNA και που διατηρούνται στα πολύτιμα αρχεία του κυττάρου. Ωστόσο, είναι θεωρητικά δυνατό να κατασκευαστεί μια ειδική μηχανή –ένα πρωτεϊνικό μόριο, όπως είναι και οι υπόλοιπες κυτταρικές μηχανές– που να σχηματίζει αντίγραφα του RNA από άλλα αντίγραφα του RNA. Μια τέτοια μηχανή ονομάζεται μόριο αντιγραφής του RNA. Το ίδιο το βακτηριακό κύτταρο φυσιολογικά δεν χρειάζεται αυτές τις μηχανές, και γι' αυτό δεν τις κατασκευάζει, αλλά, αφού η αντιγραφή είναι απλώς ένα μόριο πρωτεΐνης όπως και όλα τα άλλα, οι ευπροσάρμοστες πρωτεϊνο-παραγωγικές μηχανές του βακτηριακού κυττάρου μπορούν εύκολα να την παραγάγουν, όπως ακριβώς τα μηχανήματα και τα εργαλεία ενός εργοστασίου κατασκευής αυτοκινήτων μπορούν εύκολα, σε καιρό πολέμου, να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πυρομαχικών. Το μόνο που χρειάζεται είναι να δοθούν τα κατάλληλα σχεδιαγράμματα. Και αυτό ακριβώς κάνει ο ιός.

Το λειτουργικό μέρος του ιού είναι ένα σχέδιο RNA. Επιφανειακά, δεν διαφέρει σε τίποτε από τα άλλα σχεδιαγράμματα RNA που υπάρχουν μέσα στο κύτταρο και που έχουν παραχθεί από το πρότυπο DNA του βακτηρίου. Εντούτοις, αν διαβάσουμε τα «ψιλά γράμματα» του RNA του ιού, θα βρούμε κάτι γραμμένο εκεί. Τα

γράμματα αποτελούν ένα σχέδιο για την παραγωγή αντιγραφάσης του RNA, δηλαδή για την κατασκευή μηχανών που κατασκευάζουν κι άλλα αντίγραφα των ίδιων σχεδίων του RNA, τα οποία με τη σειρά τους κατασκευάζουν κι άλλες μηχανές που κατασκευάζουν κι άλλα αντίγραφα των σχεδίων, και ούτω καθεξής...

Έτσι, το εργοστάσιο καταλαμβάνεται από αυτά τα ιδιοτελή σχεδιαγράμματα. Από μια άποψη, «πήγαινε γυρεύοντας» να καταληφθεί. Αν ένα εργοστάσιο είναι γεμάτο μηχανήματα τόσο εξελιγμένα ώστε να μπορούν να κατασκευάσουν οτιδήποτε απαιτείται από ένα σχεδιάγραμμα, δεν είναι παράξενο να εμφανιστεί αργά ή γρήγορα ένα σχεδιάγραμμα που θα δίνει στα μηχανήματα την εντολή να κατασκευάσουν αντίγραφα του εαυτού του. Το εργοστάσιο γεμίζει από τέτοιες παρασιτικές μηχανές, που η καθεμιά παράγει νέα σχεδιαγράμματα για την κατασκευή κι άλλων όμοιων μηχανών που θα κατασκευάσουν κι άλλες όμοιες μηχανές. Τελικά, το άτυχο βακτήριο διαρρηγνύεται και απελευθερώνει εκατομμύρια ιούς που μολύνουν νέα βακτήρια. Αυτός είναι ο φυσιολογικός κύκλος ζωής του ιού στη φύση.

Ονόμασα την αντιγραφάση του RNA μηχανή και το RNA σχεδιάγραμμα. Και πραγματικά, έτσι είναι κατά μία έννοια (μια έννοια που θα αμφισβητήσουμε για διαφορετικούς λόγους σε ένα από τα επόμενα κεφάλαια). Ταυτόχρονα όμως είναι και μόρια, τα οποία οι χημικοί μπορούν να απομονώσουν, να τα διατηρήσουν σε δοκιμαστικούς σωλήνες και να τα τοποθετήσουν σε ράφια. Αυτό έκανε ο Sol Spiegelman και οι συνεργάτες του στην Αμερική, κατά τη δεκαετία του 1960. Κατόπιν, έβαλε τα δυο μόρια μαζί σε ένα διάλυμα και τότε συνέβη κάτι συναρπαστικό. Μέσα στον δοκιμαστικό σωλήνα, τα μόρια του RNA λειτούργησαν ως μήτρα για τη σύνθεση αντιγράφων του εαυτού τους, χάρη στην παρουσία της αντιγραφάσης του RNA. Τα εξαρτήματα και τα σχεδιαγράμματα είχαν αποσπαστεί από κύτταρα και είχαν αποθηκευτεί χωριστά το ένα από το άλλο. Μετά, μόλις βρέθηκαν μαζί και είχαν στη διάθεσή τους τα μικρά μόρια που χρειάζονται ως πρώτες ύλες, μέσα στο νερό, ξανάρχισαν και τα δύο τα «παλιά τους κόλπα», παρόλο που δεν θρίσκονταν πια μέσα σε ζωντανό κύτταρο αλλά σε δοκιμαστικό σωλήνα.



Δεν χρειάζεται παρά ένα μικρό θήμα για να φτάσουμε στη φυσική επιλογή και την εξέλιξη μέσα στο εργαστήριο. Εδώ έχουμε να κάνουμε με μια χημική έκδοση των βιομορφών του υπολογιστή. Η πειραματική μέθοδος συνίσταται βασικά στη χρήση μιας μεγάλης σειράς δοκιμαστικών σωλήνων που ο καθένας περιέχει ένα διάλυμα αντιγραφάσης του RNA καθώς και πρώτες ύλες, δηλαδή μικρά μόρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύνθεση του RNA. Κάθε δοκιμαστικός σωλήνας περιέχει τα εξαρτήματα και τις πρώτες ύλες, αλλά προς το παρόν δεν συμβαίνει τίποτε μέσα του, γιατί δεν υπάρχει ένα σχεδιάγραμμα στο οποίο να βασίσει τη λειτουργία του. Τώρα ρίχνουμε στον πρώτο δοκιμαστικό σωλήνα μια πολύ μικρή ποσότητα του ίδιου του RNA. Ο μηχανισμός της αντιγραφάσης αρχίζει αμέσως να λειτουργεί και κατασκευάζει άφθονα αντίγραφα των νεοεισαχθέντων μορίων του RNA, τα οποία εξαπλώνονται στον δοκιμαστικό σωλήνα. Στη συνέχεια, παίρνουμε μία σταγόνα του διαλύματος από τον πρώτο δοκιμαστικό σωλήνα και τη ρίχνουμε στον δεύτερο. Εκεί η διαδικασία επαναλαμβάνεται· κατόπιν, παίρνουμε μία σταγόνα από τον δεύτερο σωλήνα, τη ρίχνουμε στον τρίτο, και ούτω καθεξής.

Πότε πότε, επειδή συμβαίνουν κάποια τυχαία σφάλματα αντιγραφής, προκύπτει αυτόματα ένα κάπως διαφορετικό, μεταλλαγμένο μόριο RNA. Αν για οποιονδήποτε λόγο η νέα ποικιλία είναι ανταγωνιστικά ανώτερη από την παλιά -ανώτερη με την έννοια ότι, εξαιτίας της χαμηλής της «κολλητικότητας», αντιγράφεται πιο γρήγορα, ή από οποιαδήποτε άλλη άποψη πιο αποτελεσματικά- προφανώς θα εξαπλωθεί μέσα στον δοκιμαστικό σωλήνα όπου εμφανίστηκε, ξεπερνώντας σε αριθμό τον γονικό τύπο που την παρήγαγε. Κατόπιν, όταν πάρουμε μία σταγόνα του διαλύματος από αυτό τον δοκιμαστικό σωλήνα για να τη ρίξουμε στον επόμενο, στη σταγόνα αυτή θα επικρατεί η νέα μεταλλαγμένη ποικιλία. Αν εξετάσουμε τα RNA που εμφανίζονται σε μια μεγάλη σειρά δοκιμαστικών σωλήνων, θα παρατηρήσουμε ένα φαινόμενο που δεν μπορούμε παρά να το ονομάσουμε εξελικτική αλλαγή. Τις ανταγωνιστικά ανώτερες ποικιλίες του RNA που παράγονται έπειτα από αρκετές «γενιές» δοκιμαστικών σωλήνων μπο-

ρούμε να τις εμφιαλώσουμε και να τους δώσουμε ένα όνομα, για μελλοντική χρήση. Μια ποικιλία για παράδειγμα, που ονομάζεται V2, αντιγράφεται πολύ πιο γρήγορα από το φυσιολογικό RNA Q-θήτα, μάλλον επειδή το μόριό της είναι μικρότερο. Αντίθετα με το RNA Q-θήτα, δεν της χρειάζεται να περιέχει τα σχέδια για την παραγωγή αντιγραφάσης, επειδή η ουσία αυτή παρέχεται συνεχώς από τους πειραματιστές. Το RNA V2 χρησιμοποιήθηκε ως αφετηρία για ένα ενδιαφέρον πείραμα που έκανε ο Leslie Orgel και οι συνεργάτες του στην Καλιφόρνια, στο οποίο επέβαλαν στο RNA ένα «δύσκολο» περιβάλλον.

Οι επιστήμονες αυτοί πρόσθεσαν στους δοκιμαστικούς σωλήνες ένα δηλητήριο που ονομάζεται βρωμιούχο αιθίδιο, το οποίο παρεμποδίζει τη σύνθεση του RNA «μπλοκάροντας» τη λειτουργία των πρωτεϊνικών εξαρτημάτων. Ο Orgel και οι συνεργάτες του ξεκίνησαν με ένα αραιό διάλυμα του δηλητηρίου. Στην αρχή ο ρυθμός της σύνθεσης επιβραδύνθηκε από το δηλητήριο, έπειτα όμως από την εξέλιξη εννέα «γενεών» δοκιμαστικών σωλήνων, είχε επιλεγεί μια νέα ποικιλία RNA, που ήταν ανθεκτική στο δηλητήριο. Ο ρυθμός σύνθεσης του RNA μπορούσε τώρα να συγκριθεί με εκείνον του φυσιολογικού RNA V2 χωρίς την ύπαρξη δηλητηρίου. Τότε ο Orgel και οι συνεργάτες του διπλασίασαν τη συγκέντρωση του δηλητηρίου. Και πάλι ο ρυθμός σύνθεσης του RNA επιβραδύνθηκε, αλλά έπειτα από 10 περίπου μεταφορές σε διαδοχικούς δοκιμαστικούς σωλήνες είχε εξελιχθεί μια ποικιλία RNA με ανοσία ακόμη και στην υψηλότερη συγκέντρωση του δηλητηρίου. Στη συνέχεια η συγκέντρωση του δηλητηρίου διπλασιάστηκε και πάλι. Με αυτό τον τρόπο, με διαδοχικούς διπλασιασμούς, κατάφεραν να εξελίξουν μια ποικιλία RNA που μπορούσε να αυτοαντιγραφεί σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις βρωμιούχου αιθιδίου, 10 φορές μεγαλύτερες από εκείνη που είχε παρεμποδίσει τη σύνθεση του αρχικού γονικού RNA V2. Ονόμασαν αυτό το νέο ανθεκτικό RNA V40. Η εξέλιξη του V40 από το V2 χρειάστηκε περίπου 100 «γενιές» μεταφοράς σε διαδοχικούς δοκιμαστικούς σωλήνες (φυσικά, κατά τις μεταφορές από σωλήνα σε σωλήνα μεσολαβούσαν πολλές ενδιάμεσες γενιές αντιγραφής του RNA).

Ο Ogel διεξήγαγε επίσης πειράματα στα οποία δεν υπήρχε το ένζυμο, η αντιγραφάση. Διαπίστωσε ότι τα μόρια του RNA μπορούν να αντιγραφούν αυθόρμητα κάτω από αυτές τις συνθήκες, αλλά πολύ αργά. Φαίνεται ότι χρειάζονται κάποια άλλη καταλυτική ουσία, όπως ο ψευδάργυρος. Αυτό είναι σημαντικό, επειδή τις πρώτες μέρες της ζωής, όταν πρωτοεμφανίστηκαν οι αντιγραφείς, δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι υπήρχαν ένζυμα για να τους βοηθήσουν στην αντιγραφή. Κατά πάσα πιθανότητα, όμως, υπήρχε ψευδάργυρος.

Ένα πείραμα συμπληρωματικό προς το προηγούμενο έγινε πριν από μία δεκαετία στο εργαστήριο της σημαντικής γερμανικής σχολής που μελετούσε την προέλευση της ζωής κάτω από την καθοδήγηση του Manfred Eigen. Αυτοί οι επιστήμονες έριξαν στον δοκιμαστικό σωλήνα αντιγραφάση και δομικούς λίθους του RNA, αλλά δεν πρόσθεσαν στο διάλυμα το ίδιο το RNA. Παρ' όλα αυτά, μέσα στον δοκιμαστικό σωλήνα εξελίχθηκε αυτόματα ένα συγκεκριμένο μεγάλο μόριο RNA, και το ίδιο αυτό μόριο εξελίχθηκε ξανά και ξανά σε επόμενα ανεξάρτητα πειράματα! Ένας προσεκτικός έλεγχος έδειξε ότι δεν υπήρχε καμία πιθανότητα «μόλυνσης» των δοκιμαστικών σωλήνων από μόρια RNA. Αυτό το αποτέλεσμα είναι εκπληκτικό, αν λάβουμε υπόψη μας πόσο στατιστικά απίθανο είναι να εξελιχθεί αυτόματα το ίδιο μεγάλο μόριο δύο φορές. Είναι πολύ πιο απίθανο να συμβεί κάτι τέτοιο από το να γραφτεί τυχαία η φράση METHINKS IT IS LIKE A WEASEL. Όπως η φράση στο μοντέλο υπολογιστή, έτσι και το συγκεκριμένο ευνοούμενο μόριο RNA κατασκευάστηκε με σταδιακή συσσωρευτική εξέλιξη.

Η ποικιλία του RNA που παράχθηκε κατ' επανάληψη σ' αυτά τα πειράματα είχε το ίδιο μέγεθος και την ίδια δομή με τα μόρια που είχε παράγει ο Spiegelman. Ενώ όμως τα μόρια του Spiegelman είχαν εξελιχθεί με «εκφυλισμό» από το μεγαλύτερο Q-βήτα RNA, τα μόρια της ομάδας του Eigen είχαν αυτοσυντεθεί ξεκινώντας σχεδόν από το μηδέν. Αυτός ο συγκεκριμένος τύπος είναι καλά προσαρμοσμένος σε ένα περιβάλλον δοκιμαστικών σωλήνων στο οποίο υπάρχει έτοιμη αντιγραφάση. Γι' αυτό η συσσωρευτική επιλογή συνέκλινε προς αυτό τον τύπο ξεκινώ-

ντας από δύο πολύ διαφορετικές αφετηρίες. Τα μεγαλύτερα μόρια RNA Q-βήτα δεν είναι τόσο καλά προσαρμοσμένα σε ένα περιβάλλον δοκιμαστικών σωλήνων, είναι όμως καλύτερα προσαρμοσμένα στο περιβάλλον που παρέχουν τα κύτταρα του *E. coli*.

Πειράματα όπως τα παραπάνω μας βοηθούν να αντιληφθούμε τον εντελώς αυτόματο και μη σκόπιμο χαρακτήρα της φυσικής επιλογής. Οι «μηχανές» της αντιγραφής δεν «ξέρουν» γιατί παράγουν μόρια RNA: το γεγονός ότι τα παράγουν είναι απλώς ένα επακόλουθο του σχήματός τους. Και τα ίδια τα μόρια του RNA δεν καταστρώνουν κάποια στρατηγική για να διπλασιαστούν. Ακόμη και αν μπορούσαν να σκεφτούν, δεν υπάρχει κανένας φανερός λόγος που να παρέχει σε οποιαδήποτε σκεπτόμενη οντότητα κάποιο κίνητρο για να κατασκευάζει αντίγραφα του εαυτού της. Αν ήξερα πώς να κατασκευάσω αντίγραφα του εαυτού μου, δεν είμαι σίγουρος ότι θα έδινα σ' αυτό το εγχείρημα προτεραιότητα σε σχέση με όλα τα άλλα πράγματα που θέλω να κάνω: άλλωστε, γιατί να του δώσω; Αλλά τα κίνητρα είναι κάτι το άσχετο για τα μόρια. Απλώς η δομή του RNA του *ιού συμβαίνει* να είναι τέτοια ώστε να κάνει τον κυτταρικό μηχανισμό να παράγει αντίγραφά του. Και αν μια οντότητα, οπουδήποτε στο σύμπαν, συμβαίνει να έχει την ίδια ιδιότητα, τότε είναι φανερό ότι θα αρχίσουν αυτόματα να δημιουργούνται όλο και περισσότερα αντίγραφά της. Όχι μόνο αυτό: αφού τα αντίγραφα σχηματίζουν αυτόματα γενεαλογικές σειρές και καμιά φορά αντιγράφονται εσφαλμένα, οι μεταγενέστερες μορφές θα τείνουν να τα καταφέρνουν «καλύτερα» στην κατασκευή αντιγράφων τους απ' ό,τι οι προγενέστερες, εξαιτίας των ισχυρών διεργασιών της συσσωρευτικής επιλογής. Όλα είναι εντελώς απλά και γίνονται τελείως αυτόματα. Η εξέλιξη της όλης διαδικασίας αποδεικνύεται εκ των υστέρων τόσο προβλέψιμη, ώστε να καθίσταται σχεδόν αναπόφευκτη.

Ένα «επιτυχημένο» μόριο RNA μέσα σε δοκιμαστικό σωλήνα είναι επιτυχημένο εξαιτίας κάποιας άμεσης, ενδογενούς ιδιότητας του ίδιου του μορίου, μιας ιδιότητας που είναι ανάλογη με την «κολλητικότητα» του υποθετικού μου παραδείγματος. Ωστό-

σο, ιδιότητες όπως η «κολλητικότητα» είναι μάλλον πληκτικές. Αποτελούν στοιχειώδη χαρακτηριστικά του ίδιου του αντιγραφέα, χαρακτηριστικά που επηρεάζουν άμεσα την πιθανότητα αντιγραφής του. Τι γίνεται όμως αν ο αντιγραφέας επηρεάζει κάτι άλλο, που κι αυτό επηρεάζει κάτι άλλο, που κι αυτό με τη σειρά του επηρεάζει κάποιον τρίτο παράγοντα, και ούτω καθεξής... μέχρι τελικά να επηρεάζεται έμμεσα και η πιθανότητα αντιγραφής του αντιγραφέα; Βλέπουμε καθαρά ότι αν υπήρχαν τέτοιες μακριές αλυσίδες αιτίων και αιτιατών, η θεμελιώδης ταυτολογία θα ίσχυε και πάλι. Οι αντιγραφείς που συμβαίνει να έχουν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για να αντιγραφούν, θα καταλήξουν να κυριαρχούν στον κόσμο, όσο μακριά και έμμεσα κι αν είναι η αλυσίδα των αιτιακών σχέσεων μέσα από την οποία επηρεάζουν την πιθανότητα της αντιγραφής τους. Και, με την ίδια λογική, ο κόσμος θα γεμίσει τελικά από τους κρίκους αυτής της αλυσίδας αιτιακών σχέσεων. Θα δούμε αυτούς τους κρίκους και θα τους θαυμάσουμε.

Στους σύγχρονους οργανισμούς, τους βλέπουμε παντού. Είναι τα μάτια, το δέρμα, τα οστά, τα δάχτυλα, ο εγκέφαλος, τα ένστικτα. Όλα αυτά αποτελούν τα όργανα της αντιγραφής του DNA. Ο σχηματισμός τους προκαλείται από το DNA, με την έννοια ότι οι διαφορές στα μάτια, το δέρμα, τα οστά, τα ένστικτα, κ.λπ., προκαλούνται από διαφορές στο DNA. Ασκούν μια επίδραση στην αντιγραφή του DNA που τα προκάλεσε, με την έννοια ότι επηρεάζουν την επιβίωση και την αναπαραγωγή των σωμάτων τους -τα οποία περιέχουν το ίδιο DNA, και τη μοίρα των οποίων, επομένως, μοιράζεται και το DNA. Έτσι, το ίδιο το DNA ασκεί μια επίδραση στην ίδια του την αντιγραφή, μέσα από τις ιδιότητες των σωμάτων. Μπορούμε να πούμε ότι το DNA ασκεί μια δύναμη στο ίδιο του το μέλλον και ότι τα σώματα, με τα όργανά τους και τα πρότυπα της συμπεριφοράς τους, είναι τα μέσα άσκησης της εν λόγω δύναμης.

Όταν μιλάμε για δύναμη, αναφερόμαστε στις συνέπειες που προκύπτουν από τους αντιγραφείς και επηρεάζουν το ίδιο τους το μέλλον, όσο έμμεσες κι αν είναι αυτές. Δεν έχει σημασία πόσοι κρίκοι υπάρχουν στην αλυσίδα από το αίτιο μέχρι το αποτέλε-

σμα. Αν το αίτιο είναι μια αυτοαντιγραφική οντότητα, το αποτέλεσμα, όσο μακρινό και έμμεσο κι αν είναι, μπορεί να υποβληθεί στη διαδικασία της φυσικής επιλογής. Θα συνοψίσω αυτή τη γενική ιδέα αφηγούμενος μια συγκεκριμένη ιστορία για τους κάστορες. Είναι υποθετική στις λεπτομέρειές της, αλλά σίγουρα δεν μπορεί να απέχει πολύ από την αλήθεια. Κανείς δεν έχει ερευνήσει την ανάπτυξη των εγκεφαλικών συνδέσεων στους κάστορες, έχουν γίνει όμως σχετικές έρευνες σε άλλα ζώα, όπως τα σκουλήκια. Δανείζομαι τα συμπεράσματα αυτών των ερευνών και τα εφαρμόζω στους κάστορες, επειδή για πολλούς ανθρώπους είναι περισσότερο ενδιαφέροντα και συμπαθητικά ζώα απ' ό,τι τα σκουλήκια.

Ας υποθέσουμε ότι μεταλλάσσεται ένα γονίδιο ενός κάστορα. Αυτό σημαίνει απλώς ότι συμβαίνει μια αλλαγή σε ένα από τα δισεκατομμύρια γράμματα που περιέχει το κείμενο του DNA του, μια αλλαγή σε ένα συγκεκριμένο γονίδιο: ας το ονομάσουμε Γ. Καθώς ο νεαρός κάστορας μεγαλώνει, η αλλαγή αντιγράφεται, μαζί με όλα τα άλλα γράμματα του κειμένου, σε όλα τα κύτταρα του σώματός του. Τα περισσότερα από αυτά, δεν «διαβάζουν» το γονίδιο Γ· διαβάζουν μόνο τα γονίδια που αφορούν τη δική τους λειτουργία. Ωστόσο, το γονίδιο Γ διαβάζεται σε ορισμένα κύτταρα του αναπτυσσόμενου εγκεφάλου και μεταγράφεται σε αντίγραφα RNA. Τα «αντίγραφα εργασίας» του RNA κυκλοφορούν στο εσωτερικό των κυττάρων και τελικά μερικά από αυτά συναντούν τις μηχανές παραγωγής πρωτεϊνών που ονομάζονται ριβοσώματα. Τα ριβοσώματα διαβάζουν τα σχέδια του RNA και παράγουν νέα πρωτεϊνικά μόρια σύμφωνα με τις προδιαγραφές τους. Αυτά τα μόρια συστρέφονται σε ένα συγκεκριμένο σχήμα το οποίο καθορίζεται από την ακολουθία των αμινοξέων που περιέχουν, η οποία καθορίζεται, με τη σειρά της, από την κωδική ακολουθία του γονιδίου Γ στο DNA. Όταν το Γ μεταλλαχθεί, η αλλαγή προκαλεί μια κρίσιμη διαφορά στην ακολουθία των αμινοξέων που καθορίζεται από το γονίδιο Γ, και επομένως μεταβάλλεται και το συνεστραμμένο σχήμα του πρωτεϊνικού μορίου.

Αυτά τα ελαφρώς αλλοιωμένα μόρια πρωτεΐνης παράγονται μαζί από τις μηχανές παραγωγής πρωτεϊνών μέσα στα ανα-

πτυσσόμενα εγκεφαλικά κύτταρα. Στη συνέχεια, λειτουργούν με τη σειρά τους ως ένζυμα, δηλαδή ως μηχανές που παράγουν άλλες χημικές ενώσεις μέσα στα κύτταρα, τα προϊόντα των γονιδίων. Τα προϊόντα του γονιδίου Γ καταλήγουν στη μεμβράνη που περιβάλλει το κύτταρο και παρεμβάλλονται στις διεργασίες με τις οποίες το κύτταρο συνδέεται με άλλα κύτταρα. Εξαιτίας της ελαφράς αλλοίωσης των αρχικών σχεδίων του DNA, μεταβάλλεται ο ρυθμός παραγωγής ορισμένων χημικών ενώσεων της μεμβράνης. Αυτή η μεταβολή, με τη σειρά της, αλλάζει τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους ορισμένα αναπτυσσόμενα εγκεφαλικά κύτταρα. Έτσι, έχει συμβεί μια αδιόρατη αλλαγή στη συνδεσμολογία ενός ορισμένου τμήματος του εγκεφάλου του κάστορα, κάτι που ήταν μια έμμεση και πολύ μακρινή συνέπεια μιας αλλαγής του κειμένου του DNA.

Τώρα, αυτό το συγκεκριμένο τμήμα του εγκεφάλου του κάστορα, εξαιτίας της θέσης του μέσα στο συνολικό διάγραμμα συνδεσμολόγησης καθορίζει τη συμπεριφορά της κατασκευής φραγμάτων από το ξύλο. Φυσικά, κάθε φορά που κατασκευάζει ένα φράγμα, η συμπεριφορά του καθορίζεται από μεγάλα τμήματα του εγκεφάλου του, όταν όμως η μετάλλαξη Γ επηρεάζει αυτό το συγκεκριμένο τμήμα της συνδεσμολογίας του εγκεφάλου, η αλλαγή προκαλεί μια συγκεκριμένη μεταβολή της συμπεριφοράς. Κάνει τον κάστορα να κρατά το κεφάλι του πιο ψηλά πάνω από το νερό ενόσω κολυμπά κρατώντας ένα ξύλο στο στόμα του. Δηλαδή, πιο ψηλά από έναν κάστορα που δεν έχει μεταλλαχθεί. Έτσι, υπάρχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να μην ξεπλυθεί η λάσπη από το ξύλο κατά τη διάρκεια της μεταφοράς. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η «κολλητικότητα» του ξύλου, πράγμα που σημαίνει με τη σειρά του ότι, όταν ο κάστορας το τοποθετήσει στο φράγμα, το ξύλο έχει περισσότερες πιθανότητες να παραμείνει στη θέση του. Αυτό θα ισχύει για όλα τα ξύλα που τοποθετούνται από κάθε κάστορα που έχει αυτή τη συγκεκριμένη μετάλλαξη. Η αυξημένη κολλητικότητα των ξύλων είναι μια συνέπεια –μια πολύ έμμεση συνέπεια– της αλλαγής του κειμένου του DNA.

Η αυξημένη κολλητικότητα των ξύλων καθιστά το φράγμα πιο ανθεκτικό, δηλαδή είναι λιγότερο πιθανό να διαλυθεί. Η αν-



θεκτικότητα, με τη σειρά της, αυξάνει το μέγεθος της λίμνης που σχηματίζεται από το φράγμα και επομένως γίνεται πιο ασφαλής από τα αρπακτικά ζώα η κατοικία που υπάρχει στο κέντρο της λίμνης. Έτσι, ο αριθμός των απογόνων που ανατρέφονται από τον συγκεκριμένο κάστορα τείνει να αυξηθεί. Επομένως, αν εξετάσουμε ολόκληρο τον πληθυσμό των καστόρων, εκείνοι που διαθέτουν το μεταλλαγμένο γονίδιο θα τείνουν, κατά μέσο όρο, να αφήνουν περισσότερους απογόνους από εκείνους που δεν το διαθέτουν. Αυτοί οι απόγονοι θα τείνουν να κληρονομήσουν αντίγραφα του ίδιου μεταλλαγμένου γονιδίου από τους γονείς τους. Επομένως, η εμφάνισή του θα γίνεται όλο και πιο συχνή μέσα στον πληθυσμό καθώς θα περνούν οι γενιές. Τελικά θα επικρατήσει ολοκληρωτικά και δεν θα μπορεί πλέον να χαρακτηριστεί «μεταλλαγμένο». Τα φράγματα των καστόρων θα έχουν βελτιωθεί γενικά κατά έναν ακόμη βαθμό.

Δεν έχει σημασία το γεγονός ότι η συγκεκριμένη ιστορία είναι υποθετική και ότι οι λεπτομέρειες μπορεί να είναι λαθεμένες. Το φράγμα του κάστορα εξελίχθηκε από τη φυσική επιλογή, και επομένως τα πραγματικά γεγονότα δεν μπορεί να διαφέρουν πολύ από αυτά της ιστορίας μου, παρά μόνο στις πρακτικές λεπτομέρειες. Οι γενικές συνέπειες αυτής της άποψης για τη ζωή εξηγούνται και εξετάζονται στο βιβλίο μου *The Extended Phenotype* (Ο εκτεταμένος φαινότυπος), γι' αυτό δεν θα επαναλάβω εδώ τα επιχειρήματα. Θα προσέξατε ότι σ' αυτή την υποθετική ιστορία δεν υπάρχουν λιγότεροι από 11 κρίκοι στην αλυσίδα των αιτιακών σχέσεων που συνδέει το μεταλλαγμένο γονίδιο με την αύξηση των πιθανοτήτων επιβίωσης. Σε μια πραγματική περίπτωση μπορεί να υπάρχουν και περισσότεροι. Θεωρούμε πολύ σωστά ότι καθένας από αυτούς τους κρίκους, είτε πρόκειται για μια επίδραση που ασκείται στις χημικές αντιδράσεις μέσα στο κύτταρο, είτε για μια κατοπινή επίδραση στον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους τα κύτταρα του εγκεφάλου, είτε για μια ακόμη μεταγενέστερη επίδραση στη συμπεριφορά, είτε για μια τελική επίδραση στο μέγεθος της λίμνης, έχει ως αίτιο μια αλλαγή του DNA. Δεν θα είχε σημασία ακόμη και αν υπήρχαν 111 κρίκοι. Οποιαδήποτε επίδραση ασκείται από μια αλλαγή ενός γονιδίου

στην ίδια την πιθανότητα της αντιγραφής του αποτελεί πρόσφορο έδαφος για τη φυσική επιλογή. Πρόκειται για μια εντελώς απλή και θαυμάσια αυτόματη και «μη προμελετημένη» διαδικασία. Ένα τέτοιο φαινόμενο είναι σχεδόν αναπόφευκτο, από τη στιγμή που θα υπάρξουν τα θεμελιώδη συστατικά της συσσωρευτικής επιλογής: αντιγραφή, σφάλματα και δύναμη. Αλλά πώς έγινε αυτό; Πώς εμφανίστηκαν αυτά τα συστατικά στη Γη πριν υπάρξει ζωή; Στο επόμενο κεφάλαιο θα δούμε πώς μπορεί να απαντηθεί αυτό το δύσκολο ερώτημα.

## ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΘΑΥΜΑΤΑ

Τυχαίο, τύχη, σύμπτωση, θαύμα. Ένα από τα κύρια θέματα αυτού του κεφαλαίου είναι τα θαύματα και το τι ακριβώς εννοούμε με αυτή τη λέξη. Η θέση μου είναι ότι τα γεγονότα που συνήθως αποκαλούμε θαύματα δεν είναι υπερφυσικά, αλλά εμπίπτουν σε ένα φάσμα περισσότερο ή λιγότερο απίθανων φυσικών γεγονότων. Ένα θαύμα, με άλλα λόγια, αν συμβεί, είναι απλώς ένα γεγονός που οφείλεται σε καταπληκτική εύνοια της τύχης. Δεν ισχύει η διάκριση: φυσικά γεγονότα εναντίον θαυμάτων.

Υπάρχουν μερικά γεγονότα που είναι πολύ απίθανα ακόμη και να τα σκεφτόμαστε, αλλά αυτό δεν το γνωρίζουμε προτού κάνουμε τον σχετικό υπολογισμό. Και για να υπολογίσουμε, πρέπει να ξέρουμε πόσος χρόνος υπάρχει διαθέσιμος ή, γενικότερα, πόσες διαθέσιμες ευκαιρίες υπάρχουν για να συμβεί το γεγονός. Αν έχουμε στη διάθεσή μας άπειρο χρόνο ή άπειρες ευκαιρίες, τα πάντα είναι δυνατά. Οι μεγάλοι αριθμοί που συναντούμε στην αστρονομία και τα μεγάλα χρονικά διαστήματα που χαρακτηρίζουν τη γεωλογία, συνδυάζονται για να ανατρέψουν άρδην τις καθημερινές μας εκτιμήσεις για το τι μπορούμε να περιμένουμε ως φυσικό και τι πρέπει να χαρακτηριστεί θαύμα. Θα στηρίξω αυτή τη θέση χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο παράδειγμα που αποτελεί το άλλο κύριο θέμα αυτού του κεφαλαίου. Πρόκειται για το πρόβλημα της αρχής της ζωής πάνω στη Γη. Για να διατυπώσω με σαφήνεια τα επιχειρήματά μου, θα εξετάσω αυθαί-

ρετα μια συγκεκριμένη θεωρία για την αρχή της ζωής, αν και οποιαδήποτε από τις σύγχρονες σχετικές θεωρίες θα εξυπηρετούσε εξίσου καλά αυτό το σκοπό.

Μπορούμε να δεχτούμε μια ορισμένη ποσότητα τύχης στις εξηγήσεις μας, αρκεί η ποσότητα αυτή να μη γίνεται υπερβολική. Το ερώτημα είναι, *πόση*; Η τεράστια έκταση του γεωλογικού χρόνου μάς δίνει το δικαίωμα να δεχτούμε περισσότερες απίθανες συμπτώσεις απ' όσες θα επέτρεπε ένα δικαστήριο, αλλά ακόμη κι έτσι υπάρχουν κάποια όρια. Η συσσωρευτική επιλογή είναι το κλειδί για όλες τις σύγχρονες εξηγήσεις μας σχετικά με την προέλευση της ζωής. Αυτή συνδυάζει μια σειρά από τυχαία—σε αποδεκτά πλαίσια—γεγονότα (τυχαίες μεταλλάξεις), σε μια μη τυχαία ακολουθία, έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να δίνει την ψευδαίσθηση ότι είναι εξαιρετικά απίθανο, τόσο απίθανο, ώστε να μην μπορεί να έχει προκύψει ως προϊόν της τύχης και μόνο, ακόμη και αν δεχτούμε ένα χρονικό διάστημα εκατομμύρια φορές μεγαλύτερο από τη μέχρι τώρα ηλικία του σύμπαντος. Η συσσωρευτική επιλογή είναι το κλειδί, αλλά κάτι πρέπει να τη θέσει σε κίνηση, πράγμα που σημαίνει ότι δεν μπορούμε να ξεφύγουμε από την ανάγκη να δεχτούμε ένα τυχαίο γεγονός ενός θήματος στην αρχή της ίδιας της συσσωρευτικής επιλογής.

Αυτό το ζωτικό πρώτο θήμα είναι δύσκολο, γιατί στο βάθος του βρίσκεται κάτι που μοιάζει με παράδοξο. Οι διαδικασίες αντιγραφής που γνωρίζουμε χρειάζονται πολύπλοκους μηχανισμούς για να λειτουργήσουν. Όταν υπάρχει ένας μηχανισμός αντιγραφάσης, τα τμήματα του RNA θα εξελιχθούν, κατ' επανάληψη και κατά συγκλίνοντα τρόπο, προς το ίδιο τελικό στάδιο, ένα τελικό στάδιο που η πιθανότητα ύπαρξής του φαίνεται απειροελάχιστη, μέχρι να λάβουμε υπόψη μας τη συσσωρευτική επιλογή. Αλλά πρέπει να βοηθήσουμε αυτή τη συσσωρευτική επιλογή για να αρχίσει. Και δεν μπορεί να αρχίσει αν δεν προσφέρουμε έναν καταλύτη, όπως είναι ο μηχανισμός της αντιγραφάσης που είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτός ο καταλύτης είναι απίθανο να σχηματιστεί αυτόματα, αν δεν υπάρχει η καθοδήγηση άλλων μορίων RNA. Τα μόρια του DNA αντιγράφονται με τους πολύπλοκους μηχανισμούς του κυττάρου, και τα γραπτά κείμενα

αντιγράφονται με φωτοαντιγραφικά μηχανήματα, αλλά δεν μπορούν να αντιγραφούν αυτόματα, αν δεν υπάρχουν οι απαραίτητοι μηχανισμοί. Ένα φωτοαντιγραφικό μηχάνημα μπορεί να θγάλει φωτοαντίγραφα από τα ίδια τα σχέδια κατασκευής του, αλλά δεν μπορεί να δημιουργηθεί από μόνο του. Οι βιομορφές αντιγράφονται εύκολα μέσα στο περιβάλλον που παρέχει ένα κατάλληλο πρόγραμμα υπολογιστή, αλλά δεν μπορούν να συνθέσουν μόνες τους το σχετικό πρόγραμμα ούτε να κατασκευάσουν έναν υπολογιστή όπου αυτό θα εκτελεστεί. Η θεωρία του τυφλού ωρολογοποιού είναι πολύ ισχυρή, με την προϋπόθεση ότι μπορούμε να δεχτούμε την ύπαρξη της αντιγραφής και, επομένως, της συσσωρευτικής επιλογής. Ωστόσο, αφού η αντιγραφή χρειάζεται πολύπλοκους μηχανισμούς, και αφού ο μόνος γνωστός τρόπος σχηματισμού πολύπλοκων μηχανισμών είναι η συσσωρευτική επιλογή, αντιμετωπίζουμε ένα πρόβλημα.

Όπωςδήποτε, ο σύγχρονος κυτταρικός μηχανισμός, το σύστημα αντιγραφής του DNA και σύνθεσης των πρωτεϊνών, έχει όλα τα γνωρίσματα μιας εξαιρετικά εξελιγμένης και ειδικά κατασκευασμένης μηχανής. Είδαμε πόσο εκπληκτικά εντυπωσιακό είναι το DNA ως σύστημα ακριβούς αποθήκευσης δεδομένων. Στη δική του κλίμακα υπερσμίκρυνσης, παρουσιάζει το ίδιο επίπεδο πολυσύνθετου και πολύπλοκου σχεδιασμού με εκείνον που παρουσιάζει το ανθρώπινο μάτι σε μια πιο χονδροειδή κλίμακα. Όλοι όσοι έχουν σκεφτεί το θέμα συμφωνούν ότι ένας μηχανισμός τόσο πολύπλοκος όσο το ανθρώπινο μάτι δεν θα μπορούσε να σχηματιστεί με επιλογή ενός βήματος. Δυστυχώς, το ίδιο φαίνεται να ισχύει για μερικά τουλάχιστον τμήματα του κυτταρικού μηχανισμού με τον οποίο το DNA αυτοαντιγράφεται, και αυτό αληθεύει όχι μόνο για τα κύτταρα των προηγμένων πλασμάτων, όπως ο άνθρωπος και η αμοιβάδα, αλλά και για σχετικά πιο πρωτόγονα πλάσματα όπως τα βακτήρια και τα κυανοφύκη.

Έτσι, η συσσωρευτική επιλογή μπορεί να κατασκευάσει πολύπλοκότητα, ενώ η επιλογή ενός βήματος δεν μπορεί. Ωστόσο, η συσσωρευτική επιλογή αδυνατεί να λειτουργήσει αν δεν υπάρχει κάποιος ελάχιστος μηχανισμός αντιγραφής και αντιγραφέα, και ο μοναδικός μηχανισμός αντιγραφής που γνωρίζουμε φαίνεται

τόσο πολύπλοκος, ώστε είναι δυνατό να έχει προκύψει μόνο έπειτα από πολλές γενιές συσσωρευτικής επιλογής! Μερικοί πιστεύουν ότι αυτό είναι ένα θεμελιώδες ελάττωμα της θεωρίας του τυφλού ωρολογοποιού. Το θεωρούν ως την υπέρτατη απόδειξη ότι στην αρχή πρέπει να υπήρξε ένας σχεδιαστής, όχι ένας τυφλός ωρολογοποιός, αλλά ένας υπερφυσικός και διορατικός ωρολογοποιός. Οι άνθρωποι αυτοί υποστηρίζουν ότι ο Δημιουργός μπορεί να μην ελέγχει την καθημερινή διαδοχή των εξελικτικών γεγονότων· μπορεί να μη διαμόρφωσε την τίγρη και το πρόβατο, μπορεί να μην έφτιαξε τα δέντρα, αλλά να δημιούργησε τους αρχικούς μηχανισμούς του αντιγραφέα και της αντιγραφής, τον αρχικό μηχανισμό του DNA και των πρωτεϊνών, που κατέστησαν δυνατή τη συσσωρευτική επιλογή και, ως εκ τούτου, και την εξέλιξη.

Το επιχείρημα αυτό είναι ολοφάνερα αδύναμο –εδώ που τα λέμε, ματαιώνει τον ίδιο το σκοπό του. Η οργανωμένη πολυπλοκότητα είναι το φαινόμενο που δυσκολευόμαστε να εξηγήσουμε. Από τη στιγμή που μας επιτρέπεται να θεωρήσουμε δεδομένη την οργανωμένη πολυπλοκότητα, έστω και αν πρόκειται για την οργανωμένη πολυπλοκότητα του μηχανισμού αντιγραφής DNA/πρωτεϊνών, είναι σχετικά εύκολο να χρησιμοποιήσουμε αυτό το σύστημα για να εξηγήσουμε την παραγωγή μιας ακόμη μεγαλύτερης οργανωμένης πολυπλοκότητας. Πραγματικά, αυτό ακριβώς είναι το θέμα που μας απασχολεί στο μεγαλύτερο μέρος του διβλίου. Αλλά, φυσικά, ένας Θεός που έχει την ικανότητα να σχεδιάσει κάτι τόσο πολύπλοκο όσο η μηχανή αντιγραφής DNA/πρωτεϊνών πρέπει να είναι και ο ίδιος τουλάχιστον εξίσου πολύπλοκος και οργανωμένος –και ακόμη περισσότερο, αν θεωρήσουμε ότι έχει *επιπλέον* τη δυνατότητα να επιτελεί τέτοιες εξελιγμένες λειτουργίες όπως το να εισακούει προσευχές και να συγχωρεί αμαρτίες. Αν εξηγήσουμε την προέλευση της μηχανής DNA/πρωτεϊνών με την αναφορά σε έναν υπερφυσικό σχεδιαστή, δεν εξηγούμε απολύτως τίποτε, γιατί τότε παραμένει ανεξήγητη η προέλευση και η δημιουργία του σχεδιαστή. Σε μια τέτοια περίπτωση θα πρέπει να δώσουμε μια απάντηση του τύπου «ο Θεός υπήρχε πάντοτε», αλλά αν επιτρέψουμε στον εαυτό μας μια τέτοια «τε-

μπέλικη» διεξοδο, μπορούμε εξίσου αβίαστα να πούμε «το DNA υπήρχε πάντοτε» ή «η ζωή υπήρχε πάντοτε», και να τελειώνουμε.

Όσο πιο πολύ μπορέσουμε να αποφύγουμε τα θαύματα, τα καταπληκτικά απίθανα συμβάντα, τις φανταστικές συμπτώσεις, τα πολύ τυχαία γεγονότα, και όσο πιο διεξοδικά μπορέσουμε να αναλύσουμε τα μεγάλα τυχαία γεγονότα σε μια συσσωρευτική σειρά από μικρά τυχαία γεγονότα, τόσο πιο ικανοποιητική για τον λογικό νου θα είναι η εξήγησή μας. Αλλά σ' αυτό το κεφάλαιο ρωτάμε πόσο απίθανο, πόσο θαυμαστό, μπορεί να είναι το γεγονός που θα επιτρέψουμε στον εαυτό μας να δεχτεί ως βάση εξήγησης. Ποιο είναι το μεγαλύτερο γεγονός καθαρής και αμιγούς σύμπτωσης, ολοκληρωτικής και απόλυτης τύχης, που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στις θεωρίες μας και να είμαστε ακόμη σε θέση να πούμε ότι έχουμε μια ικανοποιητική εξήγηση της ζωής; Για να γράψει ένας πιθήκος τυχαία τη φράση «*Me-thinks it is like a weasel*», χρειάζεται πολύ μεγάλη ποσότητα τύχης, αλλά η ποσότητα αυτή δεν παύει να είναι μετρήσιμη. Υπολογίσαμε ότι οι πιθανότητες να συμβεί κάτι τέτοιο είναι μία στις δέκα δωδεκάκις εκατομμύρια ( $10^{40}$ , η μονάδα ακολουθούμενη από 40 μηδενικά). Κανείς δεν μπορεί να κατανοήσει ή να φανταστεί έναν τόσο μεγάλο αριθμό, και πρέπει να θεωρήσουμε αυτό το βαθμό απιθανότητας συνώνυμο με το αδύνατο. Αλλά όσο κι αν αδυνατούμε να κατανοήσουμε αυτά τα επίπεδα απιθανότητας, από την άλλη μεριά δεν πρέπει να μας τρομοκρατούν κιόλας. Ο αριθμός  $10^{40}$  είναι πολύ μεγάλος, μπορούμε όμως να τον γράψουμε και να τον χρησιμοποιήσουμε σε υπολογισμούς. Σε τελική ανάλυση, υπάρχουν ακόμη μεγαλύτεροι αριθμοί. Το  $10^{46}$ , για παράδειγμα, δεν είναι απλώς μεγαλύτερο. Για να πάρουμε το  $10^{46}$  πρέπει να προσθέσουμε το  $10^{40}$  στον εαυτό του ένα εκατομμύριο φορές. Τι θα γινόταν αν μπορούσαμε με κάποιον τρόπο να συγκεντρώσουμε μια ομάδα από  $10^{46}$  πιθήκους που ο καθένας θα είχε τη δική του γραφομηχανή; Κάποιος από αυτούς θα έγραφε τη φράση «*Me-thinks it is like a weasel*» και κάποιος άλλος θα έγραφε σχεδόν σίγουρα: «*Σκέφτομαι άρα υπάρχω*». Το πρόβλημα, βέβαια, είναι ότι δεν μπορούμε να συγκεντρώσουμε τόσο πολλούς πιθήκους. Ακόμη και αν όλη η ύλη του σύμπαντος μετατρέποταν σε πιθή-



κους, και πάλι δεν θα είχαμε αρκετούς. Το θαύμα τού να γράφει ένας πίθηκος στη γραφομηχανή «Methinks it is like a weasel» είναι ποσοτικά πολύ μεγάλο, *μετρήσιμα* πολύ μεγάλο για να το δεχτούμε στις θεωρίες μας σχετικά με το τι πραγματικά συμβαίνει στον κόσμο. Εντούτοις, δεν θα μπορούσαμε να το γνωρίζουμε αυτό, αν δεν κάναμε τους απαραίτητους υπολογισμούς.

Έτσι, υπάρχουν μερικά επίπεδα καθαρής τύχης που είναι όχι απλώς πολύ υψηλά για την περιορισμένη ανθρώπινη φαντασία μας, αλλά και για να τους επιτρέψουμε να υπεισέλθουν στους προσγειωμένους υπολογισμούς σχετικά με την αρχή της ζωής. Αλλά, για να επαναλάβουμε το αρχικό ερώτημα, πόσο υψηλό είναι το επίπεδο τύχης, πόσο μεγάλο το θαύμα που επιτρέπεται να δεχτούμε; Ας μην αποφύγουμε το ερώτημα απλώς και μόνο επειδή περιλαμβάνει μεγάλους αριθμούς. Είναι απόλυτα έγκυρο και μπορούμε τουλάχιστον να καταγράψουμε ποια στοιχεία πρέπει να γνωρίζουμε για να υπολογίσουμε την απάντηση.

Νά τώρα μια συναρπαστική σκέψη: η απάντηση στο ερώτημά μας –πόση τύχη επιτρέπεται να δεχτούμε στις εξηγήσεις μας– εξαρτάται από το αν ο πλανήτης μας είναι ο μοναδικός που έχει ζωή ή αν η ζωή αφθονεί παντού στο σύμπαν. Το μόνο που γνωρίζουμε με βεβαιότητα είναι ότι η ζωή έχει εμφανιστεί μία φορά, εδώ, σ' αυτό τον πλανήτη· δεν ξέρουμε όμως αν υπάρχει πουθενά αλλού στο σύμπαν. Είναι απόλυτα δυνατό να μην υπάρχει, αν και μερικοί υποστηρίζουν το αντίθετο, με βάση τον ακόλουθο συλλογισμό. (Πρώτα θα τον παραθέσω, και κατόπιν θα επιστημάνω το σφάλμα που εμπεριέχει.) Πιθανώς, στο σύμπαν υπάρχουν τουλάχιστον  $10^{20}$  (100 πεντάκις εκατομμύρια) κατάλληλοι πλανήτες. Γνωρίζουμε ότι η ζωή έχει εμφανιστεί εδώ, επομένως το φαινόμενο της εμφάνισής της δεν μπορεί να είναι τόσο πολύ απίθανο. Άρα, είναι σχεδόν αναπόφευκτο ότι μερικοί τουλάχιστον από αυτούς τους 100 πεντάκις εκατομμύρια πλανήτες έχουν ζωή.

Το σφάλμα του παραπάνω επιχειρήματος έγκειται στο συμπέρασμα ότι επειδή η ζωή έχει εμφανιστεί εδώ, δεν μπορεί να είναι τόσο πολύ απίθανη ως συμβάν. Θα προσέξατε ότι αυτό το συμπέρασμα εμπεριέχει την παραδοχή πως ό,τι συνέβη στη Γη είναι πιθανό να έχει συμβεί και αλλού στο σύμπαν, και αυτή η παραδο-

χή παρακάμπτει το ερώτημα στο οποίο προσπαθούμε να απαντήσουμε. Με άλλα λόγια, το στατιστικό επιχείρημα ότι πρέπει να υπάρχει ζωή και αλλού στο σύμπαν επειδή υπάρχει ζωή εδώ, εμπεριέχει ως παραδοχή αυτό ακριβώς που προσπαθεί να αποδείξει. Αυτό δεν σημαίνει πως το συμπέρασμά ότι η ζωή υπάρχει και αλλού στο σύμπαν είναι αναγκαστικά εσφαλμένο. Προσωπικά υποψιάζομαι ότι μάλλον είναι σωστό. Απλώς σημαίνει ότι το συγκεκριμένο επιχείρημα που μας οδήγησε σ' αυτό το συμπέρασμα δεν ήταν καθόλου επιχείρημα. Ήταν απλώς μια παραδοχή.

Για χάρη της συζήτησης, ας πάρουμε την εναλλακτική παραδοχή, ότι η ζωή έχει εμφανιστεί μόνο μία φορά σε όλη τη διάρκεια της ύπαρξης του σύμπαντος, και αυτό συνέβη στη Γη. Εδώ μπαίνουμε στον πειρασμό να απορρίψουμε αυτή την παραδοχή για έναν συναισθηματικό λόγο: μας θυμίζει μεσαιωνική νοοτροπία. Δεν σας θυμίζει την εποχή κατά την οποία η Εκκλησία δίδασκε ότι η Γη είναι το κέντρο του σύμπαντος και τα άστρα είναι μικρά φωτεινά σημεία που έχουν τοποθετηθεί στον ουρανό για τη δική μας τέρψη (ή, μια ακόμη πιο παράλογη και αλαζονική εξήγηση, ότι τα άστρα κάνουν τον κόπο να ασκούν αστρολογικές επιδράσεις στις ασήμαντες ζωές μας); Δεν αποτελεί έπαρση να πιστεύουμε ότι από τους δισεκατομμύρια δισεκατομμυρίων πλανήτες του σύμπαντος, ο δικός μας μικρός και ασήμαντος κόσμος, στη δική μας ασήμαντη γωνιά του ηλιακού συστήματος, στον δικό μας ασήμαντο Γαλαξία, διαθέτει το μοναδικό και αποκλειστικό χαρακτηριστικό της ζωής; Σε τελική ανάλυση, γιατί αυτό να ισχύει για τον «δικό μας» πλανήτη;

Χαίρομαι ολόψυχα που έχουμε ξεφύγει από τη στενοκεφαλία της μεσαιωνικής Εκκλησίας και, επιπλέον, απεχθάνομαι τους σύγχρονους αστρολόγους, αλλά πέρα απ' αυτό φοβάμαι πως όλα όσα είπαμε περί ασήμαντων πλανητών στην προηγούμενη παράγραφο δεν είναι παρά κενές ρητορείες. Είναι απόλυτα δυνατόν ο δικός μας ασήμαντος πλανήτης να είναι στην κυριολεξία ο μοναδικός που είχε ποτέ ζωή. Το θέμα είναι πως αν υπήρχε μόνο ένας πλανήτης που παρήγαγε ποτέ ζωή, τότε πρέπει υποχρεωτικά να είναι ο δικός μας πλανήτης, για τον πολύ βασίμο λόγο ότι υπάρχουμε «εμείς» και εξετάζουμε το ερώτημα! Αν η προέλευση της

ζωής είναι ένα τόσο απίθανο γεγονός, ώστε να συνέβη μόνο σε έναν πλανήτη μέσα στο σύμπαν, τότε αυτός ο πλανήτης πρέπει να είναι ο δικός μας. Επομένως, δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το γεγονός ότι στη Γη υπάρχει ζωή για να συμπεράνουμε ότι η ζωή πρέπει να είναι αρκετά πιθανή ώστε να έχει εμφανιστεί και σε έναν άλλο πλανήτη. Ένα τέτοιο επιχείρημα θα ήταν κυκλικό. Πρέπει να έχουμε κάποια ανεξάρτητα επιχειρήματα για το πόσο εύκολο ή δύσκολο είναι να εμφανιστεί ζωή σε έναν πλανήτη, ώστε να μπορέσουμε να απαντήσουμε στο ερώτημα του πόσοι άλλοι πλανήτες στο σύμπαν έχουν ζωή.

Ωστόσο, δεν είναι αυτό το ερώτημα με το οποίο αρχίσαμε. Το αρχικό μας ερώτημα ήταν ποια ποσότητα τύχης μπορούμε να δεχτούμε σε μια θεωρία για την αρχή της ζωής πάνω στη Γη. Είπα ότι η απάντηση εξαρτάται από το αν η ζωή έχει εμφανιστεί μόνο μία φορά ή πολλές φορές. Ας αρχίσουμε δίνοντας ένα όνομα στην πιθανότητα, όσο μικρή κι αν είναι, ότι η ζωή θα εμφανιστεί σε οποιονδήποτε τυχαία προσδιοριζόμενο πλανήτη κάποιου συγκεκριμένου τύπου. Ας ονομάσουμε αυτό τον αριθμό «πιθανότητα αυτόματης γένεσης» ή ΠΑΓ. Η ΠΑΓ είναι η πιθανότητα που θα βρούμε αν μελετήσουμε τα βιβλία της χημείας ή αν προκαλέσουμε ηλεκτρικές εκκενώσεις μέσα σε μείγματα ατμοσφαιρικών αερίων στο εργαστήριό μας και υπολογίσουμε τις πιθανότητες να εμφανιστούν αυτόματα αντιγραφικά μόρια σε μια τυπική πλανητική ατμόσφαιρα. Ας υποθέσουμε ότι η καλύτερη εκτίμησή μας για την ΠΑΓ είναι ένας εξαιρετικά μικρός αριθμός, ας πούμε ένα στο δισεκατομμύριο. Προφανώς, η πιθανότητα αυτή είναι τόσο μικρή, ώστε δεν έχουμε καμία ελπίδα να επαναλάβουμε ένα τόσο ασύλληπτα τυχερό και απίθανο γεγονός στα εργαστηριακά πειράματά μας. Ωστόσο, αν θεωρήσουμε –και μπορούμε να το κάνουμε αυτό για χάρη του επιχειρήματος– ότι η ζωή εμφανίστηκε μόνο μία φορά στο σύμπαν, συμπεραίνουμε ότι επιτρέπεται να δεχτούμε μια πολύ μεγάλη ποσότητα τύχης σε μια θεωρία (δηλαδή να δεχτούμε ένα πολύ απίθανο γεγονός), γιατί υπάρχουν πάμπολλοι πλανήτες όπου θα μπορούσε να είχε εμφανιστεί ζωή (πράγμα που καθιστά σε ανάλογο βαθμό απίθανο το γεγονός ότι εμφανίστηκε στη Γη). Αν υπάρχουν 100 πεντάκις εκατομμύρια

τέτοιοι πλανήτες, όπως υποστηρίζει μια σχετική εκτίμηση, ο αριθμός αυτός είναι 100 δισεκατομμύρια φορές μεγαλύτερος και από τον πολύ χαμηλό αριθμό που δεχτήκαμε ως ΠΑΓ. Για να κλείσουμε αυτό το επιχείρημα, η μέγιστη ποσότητα τύχης που μπορούμε να δεχτούμε πριν απορρίψουμε μια συγκεκριμένη θεωρία για την εμφάνιση της ζωής αντιστοιχεί σε 1 πιθανότητα στις  $N$ , όπου  $N$  είναι ο αριθμός των κατάλληλων πλανητών στο σύμπαν. Η λέξη «κατάλληλων» κρύβει πολλά, αλλά ας θεωρήσουμε ένα ανώτατο όριο της τάξης του 1 στα 100 πεντάκις εκατομμύρια για τη μέγιστη ποσότητα τύχης που μπορούμε να δεχτούμε με βάση αυτό το επιχείρημα.

Σκεφτείτε τι σημαίνει αυτό. Πηγαίνουμε σε έναν χημικό και του λέμε: θγάλε τα θιθλία σου και το κομπιουτεράκι σου· ζύσε τα μολύβια σου και ακόνισε την εξυπνάδα σου· γέμισε το κεφάλι σου με τύπους και τις φιάλες σου με μεθάνιο, αμμωνία, υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και όλα τα άλλα αέρια που μπορεί να υπάρχουν σε έναν αργέγονο πλανήτη χωρίς ζωή· ανακάτεψέ τα όλα μαζί· προκάλεσε ηλεκτρικές εκκενώσεις μέσα στις προσομοιωμένες σου ατμόσφαιρες και στείλε εκκενώσεις έμπνευσης στον εγκέφαλό σου· μεταχειρίσου όλες τις έξυπνες χημικές σου μεθόδους και δώσε μας την καλύτερη εκτίμησή σου για την πιθανότητα που υπάρχει να παραχθεί αυτόματα ένα αυτοαντιγραφικό μόριο σε έναν τυπικό πλανήτη. Ή, για να το πούμε αλλιώς, πόσο καιρό θά 'πρεπε να περιμένουμε ώσπου τα τυχαία χημικά γεγονότα σε έναν πλανήτη, οι τυχαίες θερμικές συγκρούσεις των ατόμων και των μορίων, να δημιουργήσουν ένα αυτοαντιγραφικό μόριο;

Οι χημικοί δεν γνωρίζουν την απάντηση σ' αυτό το ερώτημα. Οι περισσότεροι σύγχρονοι χημικοί μάλλον θα έλεγαν ότι θα πρέπει να περιμένουμε πολύ αν θεωρήσουμε ως κριτήριο τη διάρκεια της ανθρώπινης ζωής, αλλά ίσως όχι και τόσο πολύ αν το κριτήριό μας είναι ο κοσμολογικός χρόνος. Η ιστορία των απολιθωμάτων της Γης δείχνει ότι πρόκειται για διάστημα περίπου ενός δισεκατομμυρίου ετών –ενός «αιώνα», για να χρησιμοποιήσουμε έναν θολικό σύγχρονο όρο της γεωλογίας–, γιατί αυτό είναι περίπου το διάστημα που μεσολάβησε από το σχηματισμό

της Γης, πριν από 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου, μέχρι και την εποχή κατά την οποία εμφανίζονται οι πρώτοι απολιθωμένοι οργανισμοί. Αλλά το συμπέρασμα του επιχειρήματος που στηρίζεται στον αριθμό των πλανητών είναι ότι ακόμη και αν ο χημικός έλεγε πως, για να γίνει ένα «θαύμα», θα έπρεπε να περιμένουμε ένα πεντάκις εκατομμύριο χρόνια –πολύ περισσότερο από το χρονικό διάστημα κατά το οποίο υπάρχει το σύμπαν–, μπορούμε και πάλι να δεχτούμε ατάραχοι αυτή την ετυμηγορία. Υπάρχουν ίσως περισσότεροι από ένα πεντάκις εκατομμύρια διαθέσιμοι πλανήτες στο σύμπαν. Αν όλοι τους διαρκέσουν τόσο όσο η Γη, έχουμε να «παιξουμε» με ένα οκτάκις εκατομμύριο πλανητικά έτη. Αυτή η ποσότητα μας είναι υπεραρκετή! Έτσι, ένα θαύμα μεταφράζεται σε πρακτικούς αριθμούς μέσα από έναν πολλαπλασιασμό.

Το επιχείρημα αυτό περιέχει μια κρυφή παραδοχή. Εδώ που τα λέμε, περιέχει πολλές, αλλά υπάρχει μία συγκεκριμένη που θέλω να εξετάσω διεξοδικότερα. Αυτή είναι ότι από τη στιγμή που θα εμφανιστεί η ζωή (δηλαδή οι αντιγραφείς και η συσσωρευτική επιλογή), κινείται πάντοτε προς το σημείο όπου τα πλάσματά της εξελίσσονται αρκετά από άποψη νοημοσύνης ώστε να κάνουν υποθέσεις για την προέλευσή τους. Αν δεν είναι έτσι, πρέπει να μειώσουμε ανάλογα την εκτίμησή μας για την ποσότητα τύχης που μπορούμε να ενσωματώσουμε στη θεωρία μας. Για να είμαστε πιο ακριβείς, η μικρότερη πιθανότητα που μπορούν να δεχτούν οι θεωρίες μας για την προέλευση της ζωής σε οποιονδήποτε πλανήτη είναι ο αριθμός των διαθέσιμων πλανητών στο σύμπαν διαιρούμενος με τις πιθανότητες ότι η ζωή, από τη στιγμή που θα εμφανιστεί, θα εξελίξει σε αρκετό βαθμό τη νοημοσύνη, έτσι ώστε αυτή να κάνει κάποτε υποθέσεις για την ίδια της την προέλευση.

Μπορεί να σας φανεί λίγο παράξενο που ο παράγοντας «να εξελίξει σε αρκετό βαθμό τη νοημοσύνη ώστε αυτή να κάνει υποθέσεις για την ίδια της την προέλευση» μπορεί να έχει κάποιο ρόλο σ' αυτό τον υπολογισμό. Για να καταλάβετε γιατί συμβαίνει αυτό, ας πάρουμε μια εναλλακτική παραδοχή. Ας υποθέσουμε ότι η εμφάνιση της ζωής ήταν ένα πολύ πιθανό γεγονός,

αλλά ότι η μετέπειτα εμφάνιση της νοημοσύνης ήταν εξαιρετικά απίθανη και απαιτούσε πολύ μεγάλη «τύχη». Ας υποθέσουμε ότι η εμφάνιση της νοημοσύνης είναι τόσο απίθανη, ώστε συνέβη σε έναν μόνο πλανήτη του σύμπαντος, παρόλο που η ζωή εμφανίστηκε σε πολλούς πλανήτες. Τότε, αφού ξέρουμε ότι εμείς διαθέτουμε αρκετή νοημοσύνη ώστε να εξετάζουμε το ερώτημα, γνωρίζουμε ότι αυτός ο μοναδικός πλανήτης πρέπει να είναι η Γη. Ας υποθέσουμε τώρα ότι η εμφάνιση της ζωής και η εμφάνιση της νοημοσύνης (με δεδομένη την ύπαρξη ζωής), είναι και τα δύο, εξαιρετικά απίθανα γεγονότα. Τότε, η πιθανότητα ένας οποιοσδήποτε πλανήτης, όπως η Γη, να έχει την τύχη να εμφανίσει και τα δύο αυτά φαινόμενα θα ήταν το *γινόμενο* των δύο μικρών πιθανοτήτων, κι αυτή η πιθανότητα είναι πολύ μικρότερη.

Είναι σαν να έχουμε στη διάθεσή μας μια ορισμένη ποσότητα τύχης που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στη θεωρία μας για το πώς προέκυψε η ύπαρξή μας. Αυτή η ποσότητα έχει ανώτατο όριο τον αριθμό των κατάλληλων πλανητών στο σύμπαν. Έχοντας δεδομένη την ποσότητα τύχης, μπορούμε να την *ξοδέψουμε* σαν ένα περιορισμένο ποσόν κατανέμοντάς τη στα διάφορα τμήματα της εξήγησης που θα δώσουμε στην ύπαρξή μας. Αν χρησιμοποιήσουμε όλη σχεδόν την ποσότητα τύχης για να εξηγήσουμε πώς αρχίζει η ζωή σε έναν πλανήτη, τότε μας απομένει πολύ λιγότερη τύχη για τα επόμενα τμήματα της θεωρίας μας, όπως, για παράδειγμα, τη συσσωρευτική εξέλιξη του εγκεφάλου και της νοημοσύνης. Αν δεν χρησιμοποιήσουμε όλη τη διαθέσιμη ποσότητα τύχης στην εξήγησή μας για την εμφάνιση της ζωής, θα μας απομείνει κάποιο μέρος της για να το ξοδέψουμε στις εξηγήσεις της μετέπειτα εξέλιξης, αφού άρχισε να λειτουργεί η συσσωρευτική επιλογή. Αν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε το μεγαλύτερο μέρος της διαθέσιμης τύχης στη θεωρία για την εμφάνιση της νοημοσύνης, τότε δεν θα μας απομείνει πολλή για να ξοδέψουμε στην εξήγηση για την εμφάνιση της ζωής, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να βρούμε μια θεωρία που να καθιστά την εμφάνιση της ζωής σχεδόν αναπόφευκτη. Εναλλακτικά, αν δεν χρειαζόμαστε όλη τη διαθέσιμη ποσότητα τύχης γι' αυτά τα δύο στάδια της θεωρίας μας, μπορούμε ουσιαστικά να χρησιμοποιή-

σουμε το περίσσειμα για να δεχτούμε την ύπαρξη ζωής και αλλού στο σύμπαν.

Η προσωπική μου εκτίμηση είναι ότι, από τη στιγμή που θα αρχίσει να λειτουργεί κανονικά η συσσωρευτική επιλογή, πρέπει να δεχτούμε μια σχετικά μικρή ποσότητα τύχης στη μετέπειτα εξέλιξη της ζωής και της νοημοσύνης. Πιστεύω ότι η συσσωρευτική επιλογή, από τη στιγμή που θα αρχίσει, είναι μια αρκετά ισχυρή διαδικασία, ώστε να καταστήσει την εξέλιξη νοημοσύνης πιθανή, αν όχι αναπόφευκτη. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε, αν θέλουμε, να ξοδέσουμε σχεδόν όλη τη διαθέσιμη ποσότητα τύχης για να εξηγήσουμε την εμφάνιση της ζωής πάνω σε έναν πλανήτη. Επομένως, έχουμε στη διάθεσή μας ως ανώτατο όριο πιθανότητα 1 στα 100 πεντάκις εκατομμύρια (ή 1 προς τον αριθμό των κατάλληλων πλανητών που πιστεύουμε ότι υπάρχουν), για να ξοδέσουμε στη θεωρία μας για την εμφάνιση της ζωής. Αυτή είναι η μέγιστη ποσότητα τύχης που επιτρέπεται να δεχτούμε στη θεωρία μας. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να υποστηρίξουμε πως η ζωή άρχισε όταν, εντελώς τυχαία, δημιουργήθηκε ταυτόχρονα το DNA και ο πρωτεϊνικός μηχανισμός αντιγραφής του. Μπορούμε να επιτρέψουμε στον εαυτό μας την πολυτέλεια μιας τέτοιας υπερβολικής θεωρίας, με την προϋπόθεση ότι η πιθανότητα να συμβεί αυτή η σύμπτωση σε έναν πλανήτη δεν θα είναι μικρότερη από 1 στα 100 πεντάκις εκατομμύρια.

Αυτή η ποσότητα μπορεί να φαίνεται μεγάλη. Είναι μάλλον αρκετή για να καλύψει την αυτόματη εμφάνιση του DNA ή του RNA, δεν φτάνει όμως ούτε κατά διάνοια αν θελήσουμε να αποφύγουμε εντελώς τη διαδικασία της συσσωρευτικής επιλογής. Η πιθανότητα να «συναρμολογηθεί» ένα καλοσχεδιασμένο σώμα που να πετάει τόσο καλά όσο ένα χελιδόνι, ή να κολυπά τόσο καλά όσο ένα δελφίνι, ή να βλέπει τόσο καλά όσο ένα γεράκι, σε ένα και μοναδικό τυχερό συμβάν-επιλογή ενός θήματος- είναι 1 προς έναν αριθμό που είναι συντριπτικά μεγαλύτερος από τον αριθμό των ατόμων του σύμπαντος, και πολύ περισσότερο, βέβαια, από τον αριθμό των πλανητών του! Είναι, λοιπόν, σίγουρο ότι θα χρειαστούμε μεγάλη ποσότητα συσσωρευτικής επιλογής στις εξηγήσεις μας για την ύπαρξη της ζωής.



Ωστόσο, αν και έχουμε το δικαίωμα να ξοδέψουμε στη θεωρία μας μια μέγιστη ποσότητα τύχης που φτάνει, ίσως, σε μια πιθανότητα της τάξης του 1 στα 100 πεντάκις εκατομμύρια, έχω το προαίσθημα ότι δεν πρόκειται να χρειαστούμε παρά ένα μικρό κλάσμα αυτής της ποσότητας. Η εμφάνιση ζωής πάνω σε έναν πλανήτη μπορεί να είναι πολύ απίθανο γεγονός για τα καθημερινά ανθρώπινα κριτήρια ή για τα κριτήρια ενός χημικού εργαστηρίου, αλλά ταυτόχρονα το γεγονός αυτό μπορεί να είναι αρκετά πιθανό, ώστε να συνέβη όχι μόνο μία αλλά πολλές φορές σε όλο το σύμπαν. Μπορούμε να θεωρήσουμε το στατιστικό επιχείρημα του αριθμού των πλανητών ως ένα επιχείρημα εσχάτης ανάγκης. Στο τέλος του κεφαλαίου θα υποστηρίξω την παράδοση θέση ότι η θεωρία που αναζητούμε ίσως πρέπει να φαίνεται απίθανη στην υποκειμενική μας κρίση, ακόμη και μέχρι το σημείο να πλησιάζει το «θαύμα» (κι αυτό, εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο έχει διαμορφωθεί αυτή η υποκειμενική κρίση). Εντούτοις, είναι ακόμη λογικό να αρχίσουμε αναζητώντας τη θεωρία με τη μεγαλύτερη πιθανότητα. Αν η θεωρία ότι το DNA και ο αντιγραφικός μηχανισμός του εμφανίστηκαν αυτόματα είναι τόσο απίθανο ώστε να μας αναγκάζει να θεωρήσουμε πως η ζωή είναι πολύ σπάνια στο σύμπαν και μπορεί να είναι ακόμη και ένα μοναδικό γεγονός που συνέβη μόνο στη Γη, η πρώτη μας εναλλακτική λύση είναι να προσπαθήσουμε να βρούμε μια πιο πιθανή θεωρία. Επομένως, μπορούμε να διατυπώσουμε κάποιες εικασίες για σχετικά πιθανούς τρόπους με τους οποίους είναι δυνατό να άρχισε η συσσωρευτική επιλογή:

Η λέξη «εικασίες» έχει ορισμένες αρνητικές αποχρώσεις, οι οποίες όμως δεν πρέπει να μας ενοχλούν εδώ. Πραγματικά, δεν μπορούμε να ελπίζουμε για τίποτε άλλο από εικασίες, όταν τα γεγονότα για τα οποία μιλάμε συνέβησαν πριν από τέσσερα δισεκατομμύρια χρόνια και, επιπλέον, συνέβησαν σε έναν κόσμο που πρέπει να ήταν ριζικά διαφορετικός από αυτόν που γνωρίζουμε σήμερα. Για παράδειγμα, είναι σχεδόν βέβαιο ότι δεν υπήρχε ελεύθερο οξυγόνο στην ατμόσφαιρα. Μπορεί η χημική σύσταση του κόσμου να έχει αλλάξει, αλλά οι νόμοι της χημείας έχουν παραμείνει αναλλοίωτοι (γι' αυτό, άλλωστε, λέγονται και νόμοι).

Οι σύγχρονοι χημικοί γνωρίζουν αρκετά πράγματα γι' αυτούς, ώστε να μπορούν να εκφράσουν ορισμένες θάσιμες εικασίες που «περνούν» την αυστηρή δοκιμασία των χημικών νόμων. Δεν είναι δυνατό να κάνουμε ανεξέλεγκτες και ανεύθυνες εικασίες, αφήνοντας τη φαντασία μας να οργιάζει, όπως γίνεται στα μυθιστορήματα επιστημονικής φαντασίας που καταφεύγουν σε ενοχλητικές πανάκειες όπως «υπερπροωθητές», «χρονοδιαστρεβλώσεις» και «προωθητές άπειρης απιθανότητας». Οι περισσότερες από τις δυνατές εικασίες που μπορούν να προβληθούν για την αρχή της ζωής, παραβιάζουν τους νόμους της χημείας και μπορούν να αποκλειστούν ακόμη και αν κάνουμε πλήρη χρήση του βασικού στατιστικού μας επιχειρήματος για τους αριθμούς των πλανητών. Επομένως, οι προσεκτικές και επιλεκτικές εικασίες αποτελούν μια εποικοδομητική μέθοδο για την αναζήτηση της αλήθειας, αλλά χρειάζεται να είναι κανείς χημικός για να την εφαρμόσει.

Εγώ είμαι βιολόγος και όχι χημικός, αλλά πρέπει να στηριχτώ στα δεδομένα που μας παρέχουν οι χημικοί. Υπάρχουν διάφορες σχετικές θεωρίες, που είναι μάλιστα αρκετές σε αριθμό. Θα μπορούσα να σας τις παρουσιάσω όλες αμερόληπτα, και αυτό θα ήταν το πιο σωστό για ένα πανεπιστημιακό εγχειρίδιο, αλλά αυτό το βιβλίο δεν έχει τέτοιο χαρακτήρα. Η κεντρική ιδέα του *Τυφλού ωραλογοποιού* είναι ότι δεν χρειάζεται να δεχτούμε την ύπαρξη ενός σχεδιαστή για να κατανοήσουμε τη ζωή ή και οτιδήποτε άλλο στο σύμπαν. Εδώ μας ενδιαφέρει το είδος της λύσης που πρέπει να βρεθεί, εξαιτίας του είδους του προβλήματος που αντιμετωπίζουμε. Νομίζω ότι ο καλύτερος τρόπος για να το εξηγήσω αυτό δεν είναι να παρουσιάσω πολλές συγκεκριμένες θεωρίες, αλλά να εξετάσω μία από αυτές, εκθέτοντάς την ως παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο θα μπορούσε να λυθεί το βασικό πρόβλημα: πώς άρχισε η συσσωρευτική επιλογή.

Και τώρα, ποια θεωρία θα μπορούσα να διαλέξω ως αντιπροσωπευτικό παράδειγμα; Τα περισσότερα εγχειρίδια δίνουν το μεγαλύτερο βάρος στην οικογένεια των θεωριών που βασίζονται σε μια οργανική «αρχέγονη σούπα». Είναι πιθανό ότι η ατμόσφαιρα της Γης πριν από την εμφάνιση της ζωής έμοιαζε με εκείνη

άλλων πλανητών που δεν έχουν ζωή. Δεν υπήρχε οξυγόνο, ενώ, αντίθετα, υπήρχε άφθονο υδρογόνο και νερό, διοξειδίο του άνθρακα και πιθανότατα κάποια ποσότητα αμμωνίας, μεθανίου και άλλων απλών οργανικών αερίων. Οι χημικοί γνωρίζουν ότι ένα τέτοιο περιβάλλον, ελεύθερο από οξυγόνο, τείνει να υποβοηθεί την αυτόματη σύνθεση οργανικών ενώσεων. Έτσι, μέσα σε φιάλες αναδημιούργησαν σε μικροσκοπική κλίμακα τις συνθήκες της αρχέγονης Γης. Στη συνέχεια προκάλεσαν μέσα στις φιάλες ηλεκτρικούς σπινθήρες –που αποτελούν μια προσομοίωση των κεραυνών– και υπεριώδεις ακτινοβολίες, οι οποίες θα ήταν πολύ ισχυρότερες πριν η Γη αποκτήσει το στρώμα του όζοντος που την προστατεύει από τις ακτίνες του Ήλιου. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων ήταν συναρπαστικά. Μέσα στις φιάλες συντέθηκαν οργανικά μόρια, μερικά από τα οποία ανήκουν στους ίδιους γενικούς τύπους που συνήθως βρίσκονται μόνο μέσα σε έμβια αντικείμενα. Δεν εμφανίστηκε ούτε DNA ούτε RNA, εμφανίστηκαν όμως οι δομικοί λίθοι αυτών των μεγάλων μορίων, οι λεγόμενες πουρίνες και πυριμιδίνες. Εμφανίστηκαν επίσης οι δομικοί λίθοι των πρωτεϊνών, τα αμινοξέα. Ο κρίκος που λείπει ακόμη σ' αυτή την κατηγορία θεωριών είναι η προέλευση της αντιγραφής. Οι δομικοί λίθοι δεν ενώθηκαν μεταξύ τους για να σχηματίσουν μια αυτοαντιγραφική αλυσίδα όπως το RNA. Μπορεί κάποτε να το κάνουν κι αυτό.

Όπως και νά 'χει το πράγμα, όμως, δεν θα χρησιμοποιήσω τη θεωρία της οργανικής αρχέγονης σούπας για να παρουσιάσω το είδος της λύσης που πρέπει να αναζητήσουμε. Την είχα αναπτύξει στο πρώτο βιβλίο μου, στο *The Selfish Gene* (Το εγωιστικό γονίδιο),\* και έτσι σκέφτηκα να παρουσιάσω εδώ μια θεωρία που είναι λιγότερο του συρμού (αν και τελευταία έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος), και που πιστεύω ότι έχει τουλάχιστον κάποιες αποδεκτές πιθανότητες να είναι σωστή. Η τόλμη της είναι ελκυστική και παρουσιάζει με ωραίο τρόπο τις ιδιότητες που πρέπει να έχει κάθε ικανοποιητική θεωρία για την προέλευση της ζωής. Πρόκειται για τη θεωρία των «ανόργανων ορυκτών» του Graham

\* Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αθήνα 1989. (Σ.τ.μ.)

Cairns-Smith, ενός χημικού από τη Γλασκώβη. Την πρότεινε για πρώτη φορά πριν από 20 χρόνια και από τότε την ανέπτυξε και τη βελτίωσε σε τρία βιβλία του. Το τελευταίο, με τίτλο *Seven Clues to the Origin of Life* (Τα επτά ίχνη),\* αντιμετωπίζει την απαρχή της ζωής σαν ένα μυστήριο που χρειάζεται μια λύση τύπου Σέρλοκ Χολμς.

Η άποψη του Cairns-Smith για το μηχανισμό DNA/πρωτεΐνων είναι ότι μάλλον εμφανίστηκε σχετικά πρόσφατα, ίσως πριν από τρία δισεκατομμύρια χρόνια μόνο. Πιο πριν υπήρχαν πολλές γενιές συσσωρευτικής επιλογής που στηρίζονταν σε ορισμένες εντελώς διαφορετικές αντιγραφικές οντότητες. Από τη στιγμή που εμφανίστηκε το DNA, αποδείχτηκε τόσο αποτελεσματικό ως αντιγραφέας και ασκούσε τόσο ισχυρότερη επίδραση στην ίδια του την αντιγραφή, ώστε το αρχικό σύστημα αντιγραφής που το παρήγαγε απορρίφθηκε και ξεχάστηκε. Δηλαδή, σύμφωνα με αυτή την άποψη, ο σύγχρονος μηχανισμός του DNA εμφανίστηκε μεταγενέστερα και σφετερίστηκε το ρόλο του θεμελιώδους αντιγραφέα από έναν παλιότερο και πιο «πρωτόγονο» αντιγραφέα. Μπορεί μάλιστα να συνέβη μια ολόκληρη σειρά από τέτοιους σφετερισμούς, αλλά η αρχική διαδικασία αντιγραφής πρέπει να ήταν αρκετά απλή, ώστε να επήλθε μέσα από το συμβάν που έχω ονομάσει «επιλογή ενός βήματος».

Οι χημικοί διαιρούν την επιστήμη τους σε δύο κύριους κλάδους, την οργανική και την ανόργανη χημεία. Η οργανική είναι η χημεία ενός συγκεκριμένου στοιχείου, του άνθρακα. Η ανόργανη είναι όλα τα υπόλοιπα. Ο άνθρακας είναι σημαντικός και δικαιούται να έχει τον δικό του ιδιαίτερο κλάδο χημείας, εν μέρει επειδή η χημεία της ζωής είναι ολοκληρωτικά χημεία του άνθρακα και εν μέρει επειδή οι ίδιες εκείνες ιδιότητες που καθιστούν τη χημεία του άνθρακα κατάλληλη για τη ζωή την κάνουν επίσης κατάλληλη για βιομηχανικές διεργασίες, όπως εκείνες της βιομηχανίας των πλαστικών. Η ουσιώδης ιδιότητα των ατόμων του άνθρακα που τα κάνει τόσο κατάλληλα για τη ζωή και για τη βιομηχανική κατασκευή συνθετικών ουσιών είναι ότι ενώ-

\* Εκδόσεις Κάτοπτρο, Αθήνα 1991. (Σ.τ.μ.)

νονται μεταξύ τους και σχηματίζουν μια απεριόριστη ποικιλία από διαφορετικά είδη πολύ μεγάλων μορίων. Ένα άλλο στοιχείο που έχει μερικές παρόμοιες ιδιότητες είναι το πυρίτιο. Η χημεία της σύγχρονης γήινης ζωής στηρίζεται αποκλειστικά και μόνο στον άνθρακα, αυτό όμως μπορεί να μην ισχύει για όλο το σύμπαν και μπορεί να μην ισχύει πάντοτε στη Γη. Ο Cairns-Smith πιστεύει ότι η πρώτη ζωή πάνω στον πλανήτη μας βασιζόταν σε αυτοαντιγραφικούς ανόργανους κρυστάλλους όπως τα πυριτικά άλατα. Αν έχει δίκιο, πρέπει αργότερα να «κατέλαβαν» αυτό το ρόλο οι οργανικοί αντιγραφείς και, τελικά, το DNA.

Ο Cairns-Smith προβάλλει ορισμένα επιχειρήματα, για να στηρίζει αυτή την ιδέα της «κατάληψης». Λόγου χάρι, μια πέτρινη αφίδα είναι ένα σταθερό οικοδόμημα που μπορεί να στέκει για πολλά χρόνια, ακόμη κι αν δεν είναι στερεωμένη με τσιμέντο. Η οικοδόμηση μιας πολύπλοκης δομής από την εξέλιξη μοιάζει με την προσπάθειά μας να χτίσουμε μια τέτοια αφίδα χωρίς ενδιάμεση συγκολλητική ουσία, ενώ μας επιτρέπεται να αγγίζουμε μόνο μία πέτρα κάθε φορά. Αν το σκεφτούμε με έναν αφελή τρόπο, θα καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι δεν μπορεί να γίνει. Η αφίδα αποκτά τη σταθερότητά της μόνο όταν μπει στη θέση της η τελευταία πέτρα στην κορυφή της, ενώ τα ενδιάμεσα στάδιά της είναι ασταθή. Εντούτοις, είναι πολύ εύκολο να χτίσουμε την αφίδα αν μας επιτρέπεται όχι μόνο να προσθέτουμε πέτρες, αλλά και να αφαιρούμε. Αρχίζουμε φτιάχνοντας έναν σταθερό σωρό από πέτρες και μετά κατασκευάζουμε την αφίδα έτσι ώστε να στηρίζεται σ' αυτό το στέρεο θεμέλιο. Κατόπιν, όταν σχηματιστεί η αφίδα και μπει στη θέση της και η ζωτική πέτρα της κορυφής, μπορούμε να αφαιρέσουμε τις πέτρες που τη στηρίζαν και, με μια ελάχιστη τύχη, η αφίδα θα παραμείνει όρθια. Η κατασκευή του Στόουνχεντζ είναι ακατανόητη μέχρι να καταλάβουμε ότι οι κατασκευαστές του είχαν χρησιμοποιήσει κάποια σκαλωσιά ή ίσως κεκλιμένα επίπεδα από χώμα, τα οποία δεν υπάρχουν πια. Τώρα βλέπουμε μόνο το αποτέλεσμα, και πρέπει να συμπεράνουμε τη χρήση της ανύπαρκτης πια σκαλωσιάς ή κάποιου άλλου μέσου στήριξης. Με τον ίδιο τρόπο, το DNA και οι πρωτεΐνες είναι οι δύο στύλοι μιας σταθερής και κομψής αφί-



δας, η οποία παραμένει στη θέση της από τη στιγμή που υπάρχουν ταυτόχρονα όλα τα τμήματά της. Είναι δύσκολο να τη φανταστούμε να δημιουργείται από μια βαθμιαία διαδικασία, εκτός αν υπήρχε κάποια παλιότερη «σκαλωσιά» που τώρα έχει εξαφανιστεί τελείως. Αυτή η σκαλωσιά πρέπει να χτίστηκε επίσης από μια παλιότερη μορφή συσσωρευτικής επιλογής, για τη φύση της οποίας μόνο υποθέσεις μπορούμε να κάνουμε. Αλλά πρέπει να βασιζόταν σε αυτοαντιγραφικές οντότητες που είχαν τη δύναμη να επηρεάζουν το ίδιο τους το μέλλον.

Η υπόθεση του Cairns-Smith είναι ότι οι αρχικοί αντιγραφείς ήταν κρύσταλλοι από ανόργανα υλικά, όπως εκείνοι που υπάρχουν στην άργιλο και τη λάσπη. Ένας κρύσταλλος είναι μια μεγάλη εύτακτη σειρά από άτομα ή μόρια σε στερεά κατάσταση. Τα άτομα και τα μικρά μόρια, εξαιτίας ορισμένων ιδιοτήτων που καθορίζονται από το «σχήμα» τους, τείνουν από τη φύση τους να διατάσσονται με έναν σταθερό και εύτακτο τρόπο. Είναι σχεδόν σαν να «θέλουν» να συνενωθούν σε μια συγκεκριμένη μορφή, αλλά αυτή η ψευδαίσθηση είναι απλώς μια συνέπεια που προκύπτει ακούσια από τις ιδιότητές τους. Ο τρόπος με τον οποίο «προτιμούν» να διατάσσονται μεταξύ τους διαμορφώνει ολόκληρο τον κρύσταλλο. Αυτό επίσης σημαίνει ότι ακόμη και σε έναν μεγάλο κρύσταλλο, όπως το διαμάντι, οποιοδήποτε τμήμα του είναι πανομοιότυπο με οποιοδήποτε άλλο, με μοναδική εξαίρεση τα σημεία όπου υπάρχουν ψεγάδια. Αν μπορούσαμε να σμικρυνθούμε τόσο ώστε το μέγεθός μας να φτάσει στην ατομική κλίμακα, θα βλέπαμε σχεδόν ατέλειωτες σειρές από άτομα να απλώνονται μέχρι τον ορίζοντα σε ευθείες γραμμές, σαν σήραγγες γεωμετρικής επανάληψης.

Αφού εκείνο που μας ενδιαφέρει είναι η αντιγραφή, το πρώτο πράγμα που πρέπει να ξέρουμε είναι αν οι κρύσταλλοι έχουν την ικανότητα να αντιγράφουν τη δομή τους. Οι κρύσταλλοι αποτελούνται από πάμπολλα στρώματα ατόμων, και κάθε στρώμα στηρίζεται στο στρώμα που βρίσκεται από κάτω του. Τα άτομα (ή τα ιόντα, μια διαφορά που δεν χρειάζεται να μας απασχολήσει) κινούνται ελεύθερα όταν βρίσκονται σε ένα διάλυμα, αν όμως τύχει να συναντήσουν κάποιον κρύσταλλο, έχουν τη φυσική τάση να

μπουν στη θέση που τους αντιστοιχεί πάνω στην επιφάνειά του. Ένα διάλυμα συνηθισμένου αλατιού περιέχει ιόντα νατρίου και ιόντα χλωρίου που κινούνται ελεύθερα με έναν λίγο-πολύ χαοτικό τρόπο. Αντίθετα, ένας κρύσταλλος αλατιού είναι μια συγκροτημένη, εύτακτη σειρά από ιόντα νατρίου που εναλλάσσονται με ιόντα χλωρίου κάθετα το ένα προς το άλλο. Όταν τα ιόντα που αιωρούνται στο νερό συμβεί να πέσουν πάνω στη σκληρή επιφάνεια του κρυστάλλου, έχουν την τάση να κολλήσουν σ' αυτήν. Και κολλούν στα σωστά μέρη, έτσι ώστε να προστεθεί στον κρύσταλλο ένα νέο στρώμα, ακριβώς όπως το στρώμα που υπάρχει ήδη από κάτω. Έτσι, από τη στιγμή που θα αρχίσει να σχηματίζεται ένας κρύσταλλος, αναπτύσσεται, και κάθε στρώμα είναι ίδιο με αυτό που βρίσκεται απο κάτω του.

Μερικές φορές οι κρύσταλλοι αρχίζουν να σχηματίζονται αυτόματα μέσα σε ένα διάλυμα. Άλλες φορές χρειάζονται κάποιον κρυσταλλικό πυρήνα, «σπόρο», που μπορεί να είναι είτε σωματίδια σκόνης είτε μικροί κρύσταλλοι που προστίθενται στο διάλυμα. Ο Cairns-Smith μάς καλεί να εκτελέσουμε το ακόλουθο πείραμα. Διαλύουμε μεγάλη ποσότητα «ηγρο» των φωτογράφων (πενταένυδρο θειοθειικό νάτριο) σε πολύ καυτό νερό. Κατόπιν, αφήνουμε το διάλυμα να κρυώσει, προσέχοντας μην πέσει μέσα σκόνη. Το διάλυμα είναι τώρα «υπερκορεσμένο», έτοιμο να σχηματίσει κρυστάλλους, δεν υπάρχουν όμως οι βασικοί κρυσταλλικοί πυρήνες που θα θέσουν σε κίνηση τη διαδικασία. Παραθέτω το σχετικό απόσπασμα από το βιβλίο του Cairns-Smith.

Αφαιρέστε, προσεκτικά, το σκέπασμα από το ποτήρι και ρίξτε έναν μικροσκοπικό κρύσταλλο «ηγρο». Παρατηρήστε έκπληκτοι τι συμβαίνει: ο κρύσταλλος αρχίζει να αναπτύσσεται εμφανώς. Κάθε τόσο σπάει, και τα κομμάτια αναπτύσσονται επίσης... Πολύ γρήγορα το δοχείο γεμίζει κρυστάλλους από τους οποίους μερικοί έχουν μήκος αρκετά εκατοστά. Έπειτα από λίγα λεπτά σταματούν τα πάντα. Το μαγικό διάλυμα έχασε τη δύναμή του -αν, παρ' όλα αυτά, θέλετε άλλη μια παράσταση, απλώς ξαναθερμάνετε και ξαναψύζετε το ποτήρι... υπερκορεσμένο είναι το διάλυμα που περιέχει περισσότερη διαλυμένη ουσία απ' όση πρέπει... το ψυχρό υπερκορεσμένο διάλυμα,



κυριολεκτικά, δεν ήξερε τι να κάνει. Πήρε «οδηγίες» από την προσθήκη ενός κομματιού κρυστάλλου που είχε ήδη διατεταγμένες τις στοιχειώδεις μονάδες του (δισεκατομμύρια επί δισεκατομμυρίων μονάδες) κατά τον τρόπο που χαρακτηρίζει τους κρυστάλλους «hyro». Το διάλυμα έπρεπε να «γονιμοποιηθεί» από την παρουσία κρυσταλλικών πυρήνων.\*

Μερικές χημικές ουσίες έχουν τη δυνατότητα να κρυσταλλώνονται κατά δύο διαφορετικούς τρόπους. Για παράδειγμα, ο γραφίτης και το διαμάντι είναι κρυστάλλοι καθαρού άνθρακα. Τα άτομά τους είναι πανομοιότυπα. Οι δύο ουσίες διαφέρουν μεταξύ τους μόνο στη γεωμετρική διάταξη των ατόμων του άνθρακα στην καθεμιά. Στα διαμάντια, τα άτομα του άνθρακα είναι διατεταγμένα σε έναν καταπληκτικά σταθερό τετραεδρικό σχηματισμό. Γι' αυτό και τα διαμάντια είναι τόσο σκληρά. Στο γραφίτη, τα άτομα του άνθρακα είναι διατεταγμένα σε επίπεδα εξάγωνα που απλώνονται το ένα πάνω από το άλλο. Οι δεσμοί ανάμεσα στα στρώματα είναι ασθενικοί, με αποτέλεσμα να γλιστρούν το ένα πάνω στο άλλο· γι' αυτό, ο γραφίτης δίνει μια γλιστερή αίσθηση και χρησιμοποιείται ως λιπαντικό. Δυστυχώς, δεν μπορείτε να κρυσταλλώσετε διαμάντια ρίχνοντας τον κατάλληλο «σπόρο» σε ένα διάλυμα άνθρακα, όπως γίνεται με τον κρυστάλλο «hyro». Αν μπορούσατε, θα ήσαστε πλούσιοι -ή, μάλλον, δεν θα ήσαστε, γιατί ο καθένας θα μπορούσε να κάνει το ίδιο.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι έχουμε ένα υπερκορεσμένο διάλυμα κάποιας ουσίας που μοιάζει με το «hyro», από την άποψη ότι έχει την τάση να κρυσταλλώνεται, και μοιάζει επίσης με τον άνθρακα, από την άποψη ότι μπορεί να κρυσταλλώνεται κατά δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο ένας τρόπος μπορεί να μοιάζει κάπως με τον τρόπο του γραφίτη, όπου τα άτομα διατάσσονται σε στρώματα ώστε να σχηματίζουν μικρούς επίπεδους κρυστάλλους, ενώ ο άλλος τρόπος μάς δίνει ογκώδεις κρυστάλλους με το σχήμα των διαμαντιών. Τώρα προσθέτουμε ταυτόχρονα στο υπερκορεσμένο διάλυμά μας έναν μικροσκοπικό επίπεδο κρυστά-

\* Βλ. ελληνική έκδοση, *Τα επτά ίχνη*, σελ. 124-125. (Σ.τ.μ.)

λο και έναν μικροσκοπικό ογκώδη κρύσταλλο. Μπορούμε να περιγράψουμε τι θα συμβεί ακολουθώντας την περιγραφή του Cairns-Smith από το πείραμα με το «hyro». Παρακολουθούμε έκπληκτοι το αποτέλεσμα. Οι δύο κρύσταλλοι αναπτύσσονται μπροστά στα μάτια μας. Κατά διαστήματα σπάνε, αλλά τα κομμάτια αναπτύσσονται κι αυτά. Οι επίπεδοι κρύσταλλοι παράγουν έναν πληθυσμό από επίπεδους κρυστάλλους. Οι ογκώδεις κρύσταλλοι παράγουν έναν πληθυσμό από ογκώδεις κρυστάλλους. Αν το ένα είδος κρυστάλλου έχει την τάση να αναπτύσσεται και να σπάει πιο γρήγορα από το άλλο, θα έχουμε μπροστά μας μια απλή μορφή φυσικής επιλογής. Αλλά από τη διαδικασία εξακολουθεί να λείπει ένα βασικό συστατικό για να μας δώσει ένα φαινόμενο αντίστοιχο με την εξελικτική αλλαγή. Το συστατικό αυτό είναι η κληρονομική ποικιλότητα, ή κάτι αντίστοιχο. Αντί να έχουμε μόνο δύο τύπους κρυστάλλου, πρέπει να υπάρχει ένα ολόκληρο φάσμα από ποικιλίες που παρουσιάζουν ελαφρές παραλλαγές και σχηματίζουν γενεαλογικές σειρές με παρόμοιο σχήμα, και μερικές φορές «μεταλλάσσονται» και παράγουν νέα σχήματα. Έχουν οι πραγματικοί κρύσταλλοι κάτι που να αντιστοιχεί στην κληρονομική μετάλλαξη;

Η άργιλος, η λάσπη και τα πετρώματα αποτελούνται από μικροσκοπικούς κρυστάλλους. Τα υλικά αυτά αφθονούν στη Γη, και μάλλον αφθονούσαν πάντοτε. Αν κοιτάξουμε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο την επιφάνεια μερικών τύπων αργίλου και άλλων ορυκτών θα δούμε ένα εκπληκτικό και όμορφο θέαμα: κρύσταλλοι αναπτύσσονται μοιάζοντας με σειρές λουλουδιών ή κάκτων, κήπους από ανόργανα ροδοπέταλα, μικροσκοπικές σπείρες σαν διατομές σαρκώδους φυτού, αγκαθωτούς σωλήνες. Θα δούμε πολύπλοκα γωνιώδη σχήματα διπλωμένα με τρόπο που θυμίζει μια μικροσκοπική κρυσταλλική μορφή της γιαπωνέζικης τέχνης του οριγκάμι, ή άλλα, συστρεφόμενα, που μοιάζουν με περιττώματα σκουληκιών ή με ζουλιγμένη οδοντόπαστα. Τα σχήματα αυτά γίνονται ακόμη πιο εντυπωσιακά όταν μεγεθύνονται περισσότερο. Παρατηρώντας την ίδια τη θέση των ατόμων, βλέπουμε ότι η επιφάνεια του κρυστάλλου έχει την κανονικότητα ενός υφάσματος τουίντ με ύφανση «ψαροκόκαλο», μόνο που υπάρχουν ατέλει-



ες -κι αυτό είναι το ζωτικό στοιχείο. Στη μέση μιας επιφάνειας που έχει την ομοιόμορφη δομή του ψαροκόκαλου μπορεί να υπάρχει ένα μάκρωμα πανομοιότυπο με την υπόλοιπη έκταση, αλλά με τη διαφορά ότι είναι στραμμένο προς διαφορετική γωνία, έτσι που η ύφανση να έχει άλλη κατεύθυνση. Επίσης, η ύφανση μπορεί να έχει την ίδια κατεύθυνση, αλλά κάθε σειρά της να έχει «γλιστρήσει» μισή σειρά πιο κάτω από τη μία πλευρά. Όλοι σχεδόν οι κρύσταλλοι της φύσης έχουν τέτοιες ατέλειες. Και από τη στιγμή που θα εμφανιστεί μια ατέλεια, τείνει να αντιγραφεί καθώς σχηματίζονται νέα στρώματα κρυστάλλου.

Οι ατέλειες μπορούν να εμφανιστούν οπουδήποτε. Αν σας αρέσει να σκέφτεστε διάφορα μέσα που έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης πληροφοριών (εμένα πάντως μου αρέσει), σκεφτείτε τον τεράστιο αριθμό από διαφορετικές μορφές ατελειών που μπορούν να δημιουργηθούν στην επιφάνεια ενός κρυστάλλου. Όλοι εκείνοι οι υπολογισμοί που κάναμε, σχετικά με την καταγραφή της Καινής Διαθήκης στο DNA ενός μοναδικού βακτηρίου, μπορούν να επαναληφθούν και για οποιονδήποτε σχεδόν κρύσταλλο, με εξίσου εντυπωσιακά αποτελέσματα. Το πλεονέκτημα που έχει το DNA σε σχέση με τους φυσιολογικούς κρυστάλλους είναι ότι διαθέτει έναν τρόπο με τον οποίο μπορούν να αναγνωστούν οι πληροφορίες. Αν παραμερίσουμε το πρόβλημα της ανάγνωσης, μπορούμε εύκολα να επινοήσουμε έναν αυθαίρετο κώδικα σύμφωνα με τον οποίο οι ατέλειες στην ατομική δομή του κρυστάλλου θα αντιστοιχούν σε δυαδικούς αριθμούς. Τότε θα μπορούσαμε να συσσωρεύσουμε αρκετές Καινές Διαθήκες μέσα σε έναν ορυκτό κρύσταλλο που έχει το μέγεθος του κεφαλιού μιας καρφίτσας. Σε μια μεγαλύτερη κλίμακα, με αυτό τον τρόπο αποθηκεύονται ουσιαστικά οι μουσικές πληροφορίες στην επιφάνεια ενός δίσκου λέιζερ. Οι μουσικές νότες μετατρέπονται, από τον υπολογιστή, σε δυαδικούς αριθμούς. Μια ακτίνα λέιζερ χρησιμοποιείται για να χαράξει μια διάταξη από μικροσκοπικές ατέλειες στην εντελώς λεία επιφάνεια του δίσκου. Κάθε μικρή τρύπα που χαράσσεται αντιστοιχεί σε έναν δυαδικό αριθμό (1 ή 0, οι ετικέτες είναι αυθαίρετες). Όταν παίζουμε το δίσκο, μια άλλη ακτίνα λέιζερ «διαβάζει» τη διάταξη των ατελειών και ένας ειδικός υπολο-

γιστής που υπάρχει μέσα στη συσκευή μετατρέπει τους δυαδικούς αριθμούς σε ηχητικές δονήσεις, οι οποίες ενισχύονται, έτσι ώστε να τις ακούμε.

Οι δίσκοι λέιζερ χρησιμοποιούνται σήμερα κυρίως για τη μουσική, θα μπορούσαμε όμως να γράψουμε, σε έναν μόνο από αυτούς, ολόκληρη την *Εγκυκλοπαίδεια Μπριτάνικα* και να τη διαβάσουμε χρησιμοποιώντας την ίδια τεχνική. Τα ελαττώματα των κρυστάλλων στο ατομικό επίπεδο είναι πολύ μικρότερα από τις εσοχές που είναι χαραγμένες στην επιφάνεια ενός δίσκου λέιζερ, και έτσι οι κρύσταλλοι έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύσουν περισσότερες πληροφορίες σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Τα μόρια του DNA, που μας έχουν εντυπωσιάσει ήδη με την ικανότητά τους να αποθηκεύουν τεράστιο όγκο πληροφοριών, πλησιάζουν περισσότερο στο επίπεδο των κρυστάλλων. Οι κρύσταλλοι της αργίλου θα μπορούσαν θεωρητικά να αποθηκεύσουν κι αυτοί τις ίδιες τεράστιες ποσότητες πληροφοριών όπως το DNA ή οι δίσκοι λέιζερ, κανείς όμως δεν υποστηρίζει ότι έγινε ποτέ κάτι τέτοιο. Ο ρόλος της αργίλου και άλλων ορυκτών κρυστάλλων στη συγκεκριμένη θεωρία είναι ότι λειτούργησαν ως οι πρώτοι, «χαμηλής τεχνολογίας» αντιγραφείς, εκείνοι που αντικαταστάθηκαν τελικά από το υψηλής τεχνολογίας DNA. Οι κρύσταλλοι σχηματίζονται αυτόματα στα ύδατα του πλανήτη μας χωρίς τους πολύπλοκους «μηχανισμούς» που χρειάζεται το DNA και αναπτύσσουν κατά αυτόματο τρόπο ελαττώματα, μερικά από τα οποία μπορούν να αντιγραφούν σε επόμενα στρώματα. Αν έσπαγαν κάποια τμήματα ενός κρυστάλλου πάνω στα οποία υπήρχαν ορισμένα ελαττώματα, θα μπορούσαμε να φανταστούμε ότι τα κομμάτια αυτά θα ενεργούσαν ως «σπόροι» για την παραγωγή νέων κρυστάλλων, καθένας από τους οποίους θα «κληρονομούσε» τη διάταξη ελαττωμάτων του «γονέα» του.

Έτσι, δώσαμε μια υποθετική εικόνα ορυκτών κρυστάλλων στην αρχέγονη Γη, κρυστάλλων που παρουσιάζουν μερικές από τις ιδιότητες της αντιγραφής, του πολλαπλασιασμού, της κληρονομικότητας και των μεταλλάξεων που είδαμε ότι θα ήταν απαραίτητες για να αρχίσει μια μορφή συσσωρευτικής επιλογής. Λείπει όμως ακόμη το στοιχείο της «δύναμης»: η φύση των αντι-

γραφέων θα πρέπει με κάποιον τρόπο να επηρεάζει την ίδια την πιθανότητα της αντιγραφής τους. Όταν μιλούσαμε για αντιγραφείς σε αφηρημένο επίπεδο, είδαμε ότι η «δύναμη» μπορεί να είναι απλώς διάφορες άμεσες ιδιότητες του ίδιου του αντιγραφέα, ιδιότητες ενδογενείς, όπως η «κολλητικότητα». Σ' αυτό το στοιχειώδες επίπεδο η λέξη «δύναμη» φαίνεται να είναι αδόκιμη. Τη χρησιμοποιώ επειδή σε μετέπειτα στάδια της εξέλιξης μπορεί να μετατραπεί σε κάτι άλλο: για παράδειγμα, μπορεί να μετατραπεί στη δύναμη που έχουν τα δόντια του φιδιού να διαιωνίζουν (χάρη στις έμμεσες επιδράσεις που ασκούν στην επιθώση των φιδιών) κωδικευμένες εντολές του DNA για την κατασκευή δοντιών όπως του φιδιού. Είτε οι αρχικοί χαμηλής τεχνολογίας αντιγραφείς ήταν ορυκτοί κρύσταλλοι είτε οργανικοί άμεσοι πρόγονοι του ίδιου του DNA, το πιθανότερο είναι ότι η «δύναμη» που ασκούσαν ήταν άμεση και στοιχειώδης, όπως η κολλητικότητα. Τα εξελιγμένα επίπεδα δύναμης, όπως τα δόντια του φιδιού ή η μορφή των λουλουδιών της ορχιδέας, εμφανίστηκαν αργότερα.

Τι μπορεί να σημαίνει η λέξη «δύναμη» για μια άργιλο; Ποιες συμπτωματικές ιδιότητές της θα μπορούσαν να επηρεάσουν την πιθανότητα να εξαπλωθεί στη γύρω περιοχή η ίδια ποικιλία άργιλου; Η άργιλος αποτελείται από δομικούς λίθους όπως το πυριτικό οξύ και ορισμένα μεταλλικά ιόντα, τα οποία υπάρχουν σε διάλυση μέσα στα νερά των ποταμών. Προέρχονται από διάφορα πετρώματα που βρίσκονται κοντά στον ποταμό σε κάποιο σημείο της κοίτης του και τα οποία αποσπώνται και διαλύονται, με αποτέλεσμα τα υλικά τους να καταλήγουν στα νερά. Αν οι συνθήκες είναι κατάλληλες, από την κατάσταση διαλύματος στην οποία βρίσκονται κρυσταλλώνονται και σχηματίζουν άργιλο σε κάποιο άλλο σημείο της κοίτης. (Όσα αναφέρουμε εδώ ισχύουν περισσότερο για μικρά ρυάκια παρά για ανοιχτούς, ορμητικούς ποταμούς.) Το κατά πόσο ένας συγκεκριμένος τύπος αργιλικού κρυστάλλου καταφέρνει να σχηματιστεί, εξαρτάται, πέρα από διάφορους άλλους παράγοντες, από την ταχύτητα και τη μορφή ροής του νερού. Αλλά τα αποθέματα αργίλου μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη ροή του νερού. Αυτό το κάνουν αλλάζοντας (όχι σκόπιμα, βέβαια) το επίπεδο, το σχήμα και την υφή του εδάφους



πάνω στο οποίο κυλά το νερό. Ας πάρουμε για παράδειγμα μια ποικιλία αργίλου που έχει την ιδιότητα να αναδιαμορφώνει τη δομή του εδάφους με τέτοιο τρόπο ώστε να επιταχύνεται η ροή. Το αποτέλεσμα είναι ότι η άργιλος αυτή παρασύρεται και πάλι από το νερό. Αυτός ο τύπος αργίλου, εξ ορισμού, δεν είναι πολύ «επιτυχημένος». Μια άλλη μη επιτυχημένη άργιλος θα ήταν εκείνη που αλλάζει τη ροή με τέτοιο τρόπο ώστε να ευνοείται μια άλλη, «ανταγωνιστική» ποικιλία.

Φυσικά, δεν υποστηρίζουμε ότι η άργιλος «θέλει» να διατηρήσει την ύπαρξή της. Μιλάμε πάντοτε μόνο για τυχαίες συνέπειες, γεγονότα που προκύπτουν από ιδιότητες τις οποίες απλώς συμβαίνει να έχει ο αντιγραφείας. Ας εξετάσουμε την περίπτωση μιας άλλης ποικιλίας αργίλου. Αυτή συμβαίνει να επιβραδύνει τη ροή με τέτοιο τρόπο ώστε να ενισχύεται η μελλοντική εναπόθεση αργίλου του ίδιου είδους. Προφανώς, αυτή η δεύτερη ποικιλία θα τείνει να εξαπλωθεί, γιατί τυχαίνει να επηρεάζει τους ποταμούς «προς όφελός της». Δηλαδή, πρόκειται για μια «επιτυχημένη» ποικιλία αργίλου. Μέχρι τώρα όμως έχουμε να κάνουμε μόνο με επιλογή ενός βήματος. Θα μπορούσε εδώ να αρχίσει να λειτουργεί μια μορφή συσσωρευτικής επιλογής;

Για να προωθήσουμε λίγο ακόμη τις εικασίες μας, ας υποθέσουμε ότι μια ποικιλία αργίλου βελτιώνει τις ίδιες της τις πιθανότητες να εναποθεθεί φράζοντας τη ροή του νερού. Αυτή είναι μια ακούσια συνέπεια της ιδιαίτερης ατελούς δομής της αργίλου. Στα ρυάκια όπου υπάρχει αυτό το είδος αργίλου, θα σχηματίζονται μεγάλες, ρηχές λίμνες στάσιμου νερού πίσω από φράγματα, και η κύρια ροή του νερού θα εκτρέπεται σε μια νέα κοίτη. Σ' αυτές τις λίμνες θα εναποτίθενται περισσότερες ποσότητες από το ίδιο είδος αργίλου. Μια σειρά από τέτοιες ρηχές λίμνες θα σχηματιστεί κατά μήκος ενός ποταμού που συμβαίνει να έχει «μολυνθεί» από κρυσταλλικούς πυρήνες αυτής της αργίλου. Στη συνέχεια, επειδή η κύρια ροή του νερού θα έχει εκτραπεί, κατά τις θερμές εποχές οι ρηχές λίμνες θα τείνουν να αποξηραθούν. Η άργιλος θα στεγνώσει και θα ραγίσει από τον ήλιο, και τα ανώτερα στρώματά της θα παρασυρθούν από τον άνεμο με τη μορφή σκόνης. Κάθε σωματίδιο σκόνης θα έχει κληρονομήσει

τη χαρακτηριστική ελαττωματική δομή της γονικής αργίλου που δημιούργησε το φράγμα, τη δομή που της παρέσχε τις ιδιότητες οι οποίες οδήγησαν στη δημιουργία του φράγματος. Σε αντιστοιχία με τις γενετικές πληροφορίες που διασκορπίζονταν στη διάωρυγα από την ιτιά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η σκόνη μεταφέρει «οδηγίες» για την απόφραξη ρυακιών και την τελική δημιουργία περισσότερης σκόνης. Η σκόνη εξαπλώνεται σε μεγάλες αποστάσεις από τον άνεμο και υπάρχουν πολλές πιθανότητες κάποια σωματιδία της να πέσουν σε ένα άλλο ρυάκι, που μέχρι τότε δεν είχε «μολυνθεί» από τους «σπόρους» αυτής της αργίλου. Από τη στιγμή που το νέο ρυάκι θα μολυνθεί από αυτή τη σκόνη, θα αρχίσει να παράγει κρυστάλλους «αποφρακτικής» αργίλου, και θα αρχίσει και πάλι ο κύκλος της εναπόθεσης, απόφραξης, αποξηρανσης και διάθρωσης.

Θα παρακάμπαμε το βασικό μας ερώτημα αν αυτό το ονομάζαμε κύκλο «ζωής». Είναι όμως ένα είδος κύκλου και έχει, όπως και οι πραγματικοί κύκλοι ζωής, την ικανότητα να θέτει σε κίνηση τη διαδικασία της συσσωρευτικής επιλογής. Επειδή τα ρυάκια μολύνονται από «σπόρους» σκόνης που μεταφέρει ο αέρας από άλλα ρυάκια, μπορούμε να τα κατατάξουμε σε μια σειρά «προγόνων» και «απογόνων» ρυακιών. Η αργίλος που σχηματίζει τα φράγματα στο ρυάκι Β έφτασε εκεί με τη μορφή κρυστάλλων σκόνης που μεταφέρθηκαν με τον αέρα από το ρυάκι Α. Τελικά, οι λίμνες του ρυακιού Β θα αποξηρανθούν και θα δημιουργήσουν σκόνη, η οποία θα μολύνει τα ρυάκια Φ και Π. Αν θεωρήσουμε ως κριτήριο την πηγή της αποφρακτικής αργίλου, μπορούμε να κατατάξουμε τα ρυάκια σε «γενεαλογικά δέντρα». Κάθε μολυσμένο ρυάκι έχει ένα ρυάκι «γονέα», και μπορεί να έχει ένα ή περισσότερα «θυγατρικά» ρυάκια. Κάθε ρυάκι είναι ανάλογο με ένα σώμα, του οποίου η «ανάπτυξη» επηρεάζεται από τα «γονίδια» των «σπόρων» σκόνης, ένα σώμα που τελικά παράγει νέους «σπόρους» σκόνης. Κάθε «γενιά» του κύκλου αρχίζει όταν οι κρυσταλλικοί πυρήνες αποσπώνται από το γονικό ρυάκι με τη μορφή σκόνης. Η κρυσταλλική δομή κάθε σωματιδίου σκόνης αντιγράφεται από την αργίλο του γονικού ρυακιού και μεταβιβάζεται στο θυγατρικό ρυάκι, όπου



αναπτύσσεται και πολλαπλασιάζεται τελικά, νέοι «σπόροι» στέλνονται στο περιβάλλον.

Η προγονική κρυσταλλική δομή διατηρείται σε όλες τις γενιές, εκτός αν υπάρξει κατά καιρούς κάποιο σφάλμα στην ανάπτυξη του κρυστάλλου, κάποια αλλοίωση στη διάταξη των ατόμων. Τα επόμενα στρώματα του ίδιου κρυστάλλου θα αντιγράψουν το ίδιο ελάττωμα, και αν ο κρύσταλλος σπάσει στα δύο, θα παραγάγει έναν υποπληθυσμό αλλοιωμένων κρυστάλλων. Αν αυτή η αλλοίωση κάνει τον κρύσταλλο λιγότερο ή περισσότερο αποτελεσματικό ως προς τον κύκλο της απόφραξης, αποξήρασης και διάθρωσης, θα επηρεάσει τον αριθμό των αντιγράφων που θα έχει σε μεταγενέστερες «γενιές». Για παράδειγμα, οι αλλοιωμένοι κρύσταλλοι μπορεί να έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα διάσπασης («πολλαπλασιασμού»). Η άργιλος που σχηματίζεται από μεταλλαγμένους κρυστάλλους μπορεί για πολλούς και διάφορους λόγους να έχει μεγαλύτερες ικανότητες απόφραξης. Μπορεί να ραγίζει πιο εύκολα ενώ έχει εκτεθεί στην ίδια ποσότητα ήλιου. Μπορεί να θρυμματίζεται πιο εύκολα και να μετατρέπεται έτσι σε σκόνη. Μπορεί τα σωματίδια της σκόνης να παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση στον αέρα, όπως το χνουδι ενός σπόρου ιτιάς. Μερικοί τύποι κρυστάλλων μπορεί να προκαλέσουν μια θράχυνση του «κύκλου ζωής», επιταχύνοντας με αυτό τον τρόπο την «εξέλιξη» τους. Έτσι, θα υπάρχουν περισσότερες ευκαιρίες για να γίνουν οι διαδοχικές «γενιές» προοδευτικά «καλύτερες» στη μεταθίβαση της δομής τους σε επόμενες γενιές. Με άλλα λόγια, υπάρχουν πολλές δυνατότητες για να αρχίσει να λειτουργεί μια στοιχειώδης συσσωρευτική επιλογή.

Αυτά τα μικρά ταξίδια στο χώρο της φαντασίας, που αποτελούν προεκτάσεις αντίστοιχων «ταξιδιών» του Cairns-Smith, αφορούν μόνο ένα από τα πολλά διαφορετικά είδη «κύκλων ζωής» των ορυκτών οι οποίοι θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνηση τη συσσωρευτική επιλογή, ώστε να χαράξει το μνημειώδη δρόμο της. Υπάρχουν και άλλα είδη. Κάποιες άλλες ποικιλίες κρυστάλλων μπορεί να καταφέρνουν να περνούν σε νέα ρυάκια όχι με το θρυμματισμό τους σε «σπόρους» σκόνης, αλλά με το διαχωρισμό του ρυακιού σε πολλά μικρότερα ρυάκια που εξαπλώνονται και

τελικά συναντούν άλλα συστήματα ποταμών, τα οποία μολύνουν. Μερικές ποικιλίες μπορεί να σχηματίζουν καταρράκτες που φθείρουν γρηγορότερα τους βράχους και έτσι επιταχύνουν τη διάλυση των πρώτων υλών που απαιτούνται για την παραγωγή νέων ποσοτήτων αργίλου σε κάποιο άλλο σημείο της κοίτης. Μερικές μπορεί να προωθούνται κάνοντας δύσκολες τις συνθήκες για τις ποικιλίες που τις ανταγωνίζονται στη χρήση των πρώτων υλών. Άλλες μπορεί να γίνουν «αρπακτικές», με την έννοια ότι διασπών κάποιες ανταγωνιστικές τους ποικιλίες και χρησιμοποιούν τα συστατικά τους ως πρώτες ύλες. Μην ξεχνάτε ότι δεν υποστηρίζουμε πως όλα αυτά γίνονται «σκόπιμα», είτε στα παραδείγματα με την άργιλο είτε στην περίπτωση του σύγχρονου DNA. Απλώς ο κόσμος τείνει αυτόματα να γαμίζει από εκείνες τις ποικιλίες αργίλου (ή DNA) που *συμβαίνει να έχουν* ιδιότητες οι οποίες παρατείνουν την ύπαρξή τους και διευκολύνουν την εξάπλωσή τους στο περιβάλλον.

Ας περάσουμε τώρα στο επόμενο στάδιο του επιχειρήματος. Μερικές γενεαλογικές σειρές κρυστάλλων μπορεί να καταλύουν τη σύνθεση νέων ουσιών που βοηθούν τη μεταβίβασή τους στις επόμενες «γενιές». Αυτές οι δευτερεύουσες ουσίες δεν θα έχουν (τουλάχιστον στην αρχή) δικές τους σειρές προγόνων και απογόνων, αλλά θα παρασκευάζονται από την αρχή από κάθε γενιά πρωτογενών αντιγραφών. Μπορούμε να τις θεωρήσουμε ως εργαλεία που χρησιμοποιούν οι αντιγραφικές κρυσταλλικές γενεαλογικές σειρές, ως την απαρχή των πρωτόγονων «φαινοτύπων». Ο Cairns-Smith πιστεύει ότι τα οργανικά μόρια ήταν από τα κυριότερα μη αντιγραφικά «εργαλεία» των ανόργανων κρυσταλλικών αντιγραφών του. Τα οργανικά μόρια χρησιμοποιούνται συχνά στην ανόργανη χημική βιομηχανία για τις επιδράσεις που ασκούν στη ρευστότητα των υγρών και το μετασχηματισμό ή την ανάπτυξη ανόργανων σωματιδίων – με λίγα λόγια, ακριβώς για τις επιδράσεις που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την «επιτυχία» κάποιων γενεαλογικών σειρών αντιγραφικών κρυστάλλων. Για παράδειγμα, ένα αργιλικό ορυκτό που έχει το πολύ όμορφο όνομα μοντμοριλλονίτης τείνει να μετασχηματίζεται όταν υπάρχουν μικρές ποσότητες ενός οργανικού μορίου που έχει το όχι και τόσο

όμορφο όνομα «καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη». Από την άλλη πλευρά, πιο μικρές ποσότητες καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης έχουν ακριβώς το αντίθετο αποτέλεσμα, δηλαδή βοηθούν τα σωματίδια του μοντιμοριλλονίτη να παραμένουν κολλημένα μεταξύ τους. Οι ταννίνες, ένα άλλο είδος οργανικού μορίου, χρησιμοποιούνται στην άντληση του πετρελαίου, γιατί διευκολύνουν τις γεωτρήσεις μέσα στη λάσπη. Αν ο άνθρωπος χρησιμοποιεί οργανικά μόρια για να ρυθμίσει τη ροή της λάσπης και τη διαπερατότητά της από τα γεωτρήματα, δεν υπάρχει λόγος να μην εκμεταλλεύτηκαν τις ιδιότητές τους και τα αυτοαντιγραφόμενα ορυκτά μέσα από τη διαδικασία της συσσωρευτικής επιλογής.

Σε αυτό το σημείο, η θεωρία του Cairns-Smith βρίσκει μια πρόσθετη ενίσχυση. Άλλοι χημικοί, που υποστηρίζουν τις πιο συμβατικές θεωρίες, της οργανικής «αρχέγονης σούπας», δέχονται εδώ και πολύ καιρό ότι τα αργιλικά ορυκτά θα βοηθούσαν την εξέλιξη. Ας αναφέρουμε τα λόγια ενός από αυτούς (του D. M. Anderson): «Είναι γενικά αποδεκτό ότι μερικές –ίσως πολλές– από τις αβιοτικές χημικές αντιδράσεις και διεργασίες που οδήγησαν στην εμφάνιση αντιγραφικών μικροοργανισμών συνέβησαν πολύ νωρίς στην ιστορία της Γης και πολύ κοντά στις επιφάνειες αργιλικών ορυκτών και άλλων ανόργανων υποστρωμάτων». Ο Anderson συνεχίζει αναφέροντας πέντε «λειτουργίες» με τις οποίες τα αργιλικά ορυκτά θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην εμφάνιση της οργανικής ζωής, όπως για παράδειγμα, «η συγκέντρωση χημικών αντιδραστηρίων με την προσρόφηση». Δεν χρειάζεται να αναφέρουμε τις πέντε λειτουργίες εδώ, ούτε καν να τις κατανοήσουμε. Από τη δική μας άποψη, εκείνο που έχει σημασία είναι ότι καθεμιά από αυτές τις πέντε «λειτουργίες» των αργιλικών ορυκτών μπορεί να αντιστραφεί. Δηλαδή, δείχνει τη στενή σχέση που μπορεί να υπάρχει ανάμεσα στην οργανική χημική σύνθεση και στην επιφάνεια της αργίλου. Επομένως, αυτά τα στοιχεία ενισχύουν τη θεωρία ότι οι αργιλικοί αντιγραφείς συνέθεταν οργανικά μόρια και τα χρησιμοποιούσαν για τους δικούς τους σκοπούς.

Ο Cairns-Smith εξετάζει, με περισσότερες λεπτομέρειες απ' όσες θα μπορούσα να παραθέσω εδώ, τους τρόπους με τους οποί-



ους οι αργιλοκρυσταλλικοί αντιγραφείς του μπορεί να χρησιμοποιήσαν αρχικά τις πρωτεΐνες, τα σάκχαρα και, το σημαντικότερο, τα νουκλεϊκά οξέα, όπως το RNA. Προτείνει την άποψη ότι το RNA χρησιμοποιήθηκε αρχικά για καθαρά δομικούς σκοπούς, όπως οι ειδικοί χρησιμοποιούν τις ταννίνες στις γεωτρήσεις ή όπως χρησιμοποιούμε εμείς το σαπούνι και τα απορρυπαντικά. Τα μόρια τύπου RNA, επειδή έχουν μια «ραχοκοκαλιά» με αρνητικό φορτίο, θα έτειναν να καλύψουν την εξωτερική επιφάνεια των σωματιδίων της αργίλου. Αυτό όμως μας φέρνει σε χημικά θέματα που ξεφεύγουν από τα πλαίσια του διβλίου. Εκείνο που έχει σημασία για τον δικό μας σκοπό είναι ότι το RNA, ή κάτι σαν αυτό, υπήρχε για πολύ καιρό πριν γίνει αυτοαντιγραφικό. Όταν τελικά έγινε, αποτελούσε μια τεχνική που ανέπτυξαν τα ορυκτά κρυσταλλικά «γονίδια», για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα παρασκευής του RNA (ή κάποιου παρόμοιου μορίου). Ωστόσο, από τη στιγμή που εμφανίστηκε ένα νέο αυτοαντιγραφικό μόριο, άρχισε να λειτουργεί ένα νέο είδος συσσωρευτικής επιλογής. Οι νέοι αντιγραφείς αποτελούσαν αρχικά μια δευτερεύουσα ουσία, γρήγορα όμως αποδείχτηκαν πολύ πιο αποτελεσματικοί από τους αρχικούς κρυστάλλους, με αποτέλεσμα να επικρατήσουν. Συνέχισαν να εξελίσσονται και τελειοποίησαν τον κώδικα του DNA που γνωρίζουμε σήμερα. Οι αρχικοί ορυκτοί αντιγραφείς παραμερίστηκαν σαν μια φθαρμένη σκαλωσιά και η σύγχρονη ζωή εξελίχθηκε από έναν σχετικά πρόσφατο κοινό πρόγονο με ενιαίο ομοιόμορφο γενετικό σύστημα και με ομοιόμορφη, σε μεγάλο βαθμό, βιοχημεία.

Στο *Εγωιστικό γονίδιο* διατύπωσα την υπόθεση ότι μπορεί τώρα να βρισκόμαστε στα πρόθυρα μιας νέας γενετικής «κατάληψης». Οι αντιγραφείς DNA κατασκεύασαν «μηχανές επιβίωσης» για τον εαυτό τους: τα σώματα των ζωντανών οργανισμών, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου. Τα σώματα αυτά ανέπτυξαν, ως μέρος του «εξοπλισμού» τους, έναν ενσωματωμένο υπολογιστή: τον εγκέφαλο. Ο εγκέφαλος ανέπτυξε την ικανότητα να επικοινωνεί με άλλους εγκέφαλους διαμέσου της γλώσσας και των πολιτισμικών παραδόσεων. Ωστόσο, το νέο περιβάλλον της πολιτισμικής παράδοσης παρέσχε νέες δυνατότητες για την εμφάνιση

αυτοαντιγραφικών οντοτήτων. Οι νέοι αντιγραφείς δεν είναι DNA, ούτε αργίλικοί κρύσταλλοι. Είναι πρότυπα πληροφοριών που μπορούν να ευδοκιμήσουν μόνο μέσα σε εγκεφάλους ή σε τεχνητά προϊόντα των εγκεφάλων: βιβλία, ηλεκτρονικούς υπολογιστές, και ούτω καθεξής. Αλλά, δεδομένου ότι οι εγκεφαλοι, τα βιβλία και οι υπολογιστές υπάρχουν, αυτοί οι νέοι αντιγραφείς, τους οποίους ονόμασα μιμίδια, για να τους διακρίνω από τα γονίδια, μπορούν να διαδοθούν από εγκέφαλο σε εγκέφαλο, από εγκέφαλο σε βιβλίο, από βιβλίο σε εγκέφαλο, από εγκέφαλο σε υπολογιστή, από υπολογιστή σε υπολογιστή. Καθώς διαδίδονται, μπορεί ταυτόχρονα να αλλάζουν –να μεταλλάσσονται. Και μπορεί τα «μεταλλαγμένα» μιμίδια να ασκούν εκείνο το είδος της επίδρασης που εδώ ονομάζω «αντιγραφική δύναμη». Θυμηθείτε ότι ο όρος αυτός περιλαμβάνει οποιοδήποτε είδος επίδρασης επηρεάζει την πιθανότητα της ίδιας της διάδοσης των μιμιδίων. Η εξέλιξη κάτω από την επίδραση των νέων αντιγραφέων –η μιμιδική εξέλιξη– βρίσκεται στη βρεφική της ηλικία. Εκδηλώνεται στα φαινόμενα που ονομάζουμε «πολιτισμική εξέλιξη». Η πολιτισμική εξέλιξη είναι ταχύτερη κατά πολλές τάξεις μεγέθους από την εξέλιξη που βασίζεται στο DNA, γεγονός που μας επαναφέρει στην ιδέα της «κατάληψης». Και αν έχει αρχίσει η κατάληψη από ένα νέο είδος αντιγραφέα, μπορεί να προχωρήσει τόσο πολύ, ώστε να αφήσει πολύ πίσω τον πατέρα του, το DNA, (και τον παππού του, την άργιλο, αν ο Cairns-Smith έχει δίκιο). Αν συμβεί αυτό, μπορούμε να είμαστε βέβαιοι ότι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές θα περιλαμβάνονται στο «πακέτο».

Μήπως κάποια μέρα στο μακρινό μέλλον νοήμονες υπολογιστές θα διατυπώνουν εικασίες για τη χαμένη καταγωγή τους; Μπορεί κάποιος από αυτούς να ανακαλύψει την αιρετική αλήθεια, ότι ξεπήδησαν από μια μακρινή, παλαιότερη μορφή ζωής, η οποία είχε τις ρίζες της στην οργανική χημεία του άνθρακα και όχι στις ηλεκτρονικές αρχές των δικών τους σωμάτων, οι οποίες βασίζονται στο πυρίτιο; Μπορεί ένας Cairns-Smith ρομπότ να γράψει ένα βιβλίο με τίτλο *Ηλεκτρονική κατάληψη*; Άραγε θα ανακαλύψει και πάλι κάποιο ηλεκτρονικό αντίστοιχο της μεταφοράς της αψίδας και θα καταλάβει ότι οι υπολογιστές δεν θα

μπορούσαν να σχηματιστούν αυτόματα, αλλά πρέπει να προήλθαν από κάποια προγενέστερη διαδικασία συσσωρευτικής επιλογής; Θα προχωρήσει σε λεπτομέρειες και θα ανασυνθέσει το DNA σαν έναν πιθανό πρώτο αντιγραφέα, που έπεσε θύμα ηλεκτρονικής ιδιοποίησης; Θα είναι αρκετά οξυδερκής ώστε να υποθέσει ότι και το ίδιο το DNA μπορεί να παραγκώνισε κάποιους ακόμη πιο μακρινούς και πρωτόγονους αντιγραφείς, τους κρυστάλλους των ανόργανων πυριτικών αλάτων; Άραγε, αν έχει ποιητικές διαθέσεις, θα διακρίνει ακόμη και ένα είδος δικαιοσύνης στην τελική επιστροφή σε μια ζωή βασισμένη στο πυρίτιο, με το DNA να μην είναι τίποτε περισσότερο από ένα ενδιάμεσο στάδιο, έστω και αν διήρκεσε περισσότερο από τρεις (γεωλογικούς) «αιώνες»;

Όλα αυτά ανήκουν στο χώρο της επιστημονικής φαντασίας και μάλλον ακούγονται υπερβολικά, αλλά δεν έχει σημασία. Το σημαντικό είναι ότι η θεωρία του Cairns-Smith, καθώς και όλες οι άλλες θεωρίες για την προέλευση της ζωής, μπορεί να σας φαίνονται υπερβολικές και να δυσκολεύεστε να τις πιστέψετε. Νομίζετε ότι τόσο η θεωρία της αργίλου του Cairns-Smith, όσο και η πιο ορθόδοξη θεωρία της οργανικής αρχέγονης σούπας, είναι εντελώς απίθανες; Πιστεύετε ότι θα χρειαζόταν ένα πραγματικό θαύμα για να μπορέσουν τα άτομα που κινούνται τυχαία εδώ κι εκεί να ενωθούν για να σχηματίσουν ένα αυτοαντιγραφικό μόριο; Ε, λοιπόν, μερικές φορές το ίδιο αισθάνομαι κι εγώ. Ας εξετάσουμε όμως διεξοδικότερα το θέμα των θαυμάτων και της απιθανότητας. Με αυτό τον τρόπο θα δείξω κάτι παράδοξο που, γι' αυτόν ακριβώς το λόγο, είναι και πιο ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα, θα δείξω ότι θα έπρεπε να ανησυχήσουμε ως επιστήμονες αν η προέλευση της ζωής δεν φαινόταν απίθανη και θαυμαστή στην ανθρώπινη συνείδησή μας. Μια φαινομενικά (για τη συνηθισμένη ανθρώπινη συνείδηση) απίθανη και θαυμαστή θεωρία είναι ακριβώς το είδος της θεωρίας που θα πρέπει να αναζητήσουμε για το συγκεκριμένο θέμα της προέλευσης της ζωής. Αυτό το επιχείρημα, που ισοδυναμεί με μια εξέταση τού τι εννοούμε με τη λέξη «θαύμα», θα καλύψει το υπόλοιπο κεφάλαιο. Από μια άποψη, αποτελεί προέκταση του επιχειρήματος που αναφέραμε στην αρχή του, σχετικά με τα δισεκατομμύρια των πλανητών.



Τι εννοούμε, λοιπόν, όταν λέμε «θαύμα»; Ένα θαύμα είναι κάτι που συμβαίνει, αλλά είναι καταπληκτικά απρόσμενο. Αν ένα μάρμαρινο άγαλμα της Παναγίας κουνήσει ξαφνικά το χέρι του, θα το θεωρήσουμε θαύμα, γιατί όλη μας η εμπειρία και η γνώση μάς λέει ότι το μάρμαρο δεν έχει αυτή τη συμπεριφορά. Τώρα προφέρω τις λέξεις «να με χτυπήσει κεραυνός αυτή τη στιγμή». Αν με χτυπούσε κεραυνός την ίδια στιγμή, θα το θεωρούσαμε θαύμα. Στην πραγματικότητα όμως κανένα από αυτά τα δύο γεγονότα δεν χαρακτηρίζεται εντελώς αδύνατο από την επιστήμη. Θεωρούνται απλώς πολύ απίθανα –το κινούμενο άγαλμα πολύ πιο απίθανο από τον κεραυνό. Ο κεραυνός πλήττει ανθρώπους. Στον καθένα μας μπορεί να συμβεί, αλλά η πιθανότητα είναι πολύ χαμηλή σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή (αν και στο *Βιβλίο των ρεκόρ Guinness* υπάρχει μια φωτογραφία ενός άντρα από τη Βιρτζίνια, με το παρώνυμο «ανθρώπινο αλεξικέραυνο», ο οποίος αναρρώνει στο νοσοκομείο από το έβδομο χτύπημα από κεραυνό, έχοντας μια έκφραση ανήσυχης απορίας στο πρόσωπό του). Το μόνο θαυμαστό και απίθανο στοιχείο στην υποθετική μου ιστορία είναι η *σύμπτωση* του γεγονότος ότι με χτύπησε κεραυνός με τη λεκτική επίκληση του κεραυνού.

Η σύμπτωση σημαίνει πολλαπλασιασμένη απιθανότητα. Μια συντηρητική εκτίμηση της πιθανότητας να χτυπηθώ από κεραυνό σε ένα οποιοδήποτε λεπτό της ζωής μου είναι ίσως 1 στις 10 εκατομμύρια. Η πιθανότητα να επικαλεστώ έναν κεραυνό σε ένα οποιοδήποτε συγκεκριμένο λεπτό είναι επίσης πολύ μικρή. Πριν από λίγο το έκανα για πρώτη φορά μέσα στα 23.400.000 λεπτά που έχω ζήσει ως τώρα, και αμφιβάλλω αν θα το ξανακάνω ποτέ, επομένως ας πούμε ότι η πιθανότητα είναι 1 στις 25 εκατομμύρια. Για να υπολογίσουμε τη αρθρωτή πιθανότητα να συμβεί η σύμπτωση και των δύο γεγονότων σε ένα οποιοδήποτε συγκεκριμένο λεπτό, πρέπει να πολλαπλασιάσουμε τις δύο ξεχωριστές πιθανότητες. Με τους πρόχειρους υπολογισμούς μου, η πιθανότητα είναι 1 στις 250 τρισεκατομμύρια. Αν μου συνέβαινε μια σύμπτωση τέτοιου μεγέθους, θα τη χαρακτήριζα θαύμα και θα πρόσεχα τα λόγια μου στο μέλλον. Αλλά παρόλο που οι πιθανότητες να συμβεί είναι πολύ μικρές, μπορούμε και πάλι να τις υπολογίσουμε. Δεν είναι στην κυριολεξία μηδενικές.



Στην περίπτωση του μαρμάρινου αγάλματος, τα μόριά του ωθούν συνεχώς το ένα το άλλο, κινούμενα σε τυχαίες κατευθύνσεις. Οι ωθήσεις των διαφορετικών μορίων ακυρώνουν η μια την άλλη, και έτσι το χέρι του αγάλματος παραμένει ακίνητο. Αν όμως, από καθαρή σύμπτωση, όλα τα μόρια συνέβαινε να κινηθούν προς την ίδια κατεύθυνση ταυτοχρόνως, το χέρι θα κινούνταν. Αν στη συνέχεια αντέστρεφαν την κατεύθυνσή τους όλα μαζί, το χέρι θα κινούνταν αντίθετα. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατό να κουνήσει το χέρι του ένα μαρμάρينو άγαλμα. Είναι κάτι που μπορεί να συμβεί. Η πιθανότητα μιας τέτοιας σύμπτωσης είναι ασύλληπτα μικρή, αλλά όχι σε σημείο που να μην υπολογίζεται. Ένας συνάδελφός μου φυσικός είχε την ευγένεια να μου την υπολογίσει. Ο αριθμός είναι τόσο μεγάλος, ώστε ολόκληρη η ηλικία του σύμπαντος μέχρι τώρα δεν θα επαρκούσε για να γράψουμε όλα τα μηδενικά! Είναι θεωρητικά δυνατό για μια αγελάδα να πεδήσει πάνω από το φεγγάρι, και το γεγονός αυτό είναι εξίσου απίθανο περίπου με την κίνηση του αγάλματος. Το συμπέρασμα από αυτό το μέρος του επιχειρήματος είναι ότι μπορούμε να υπολογίσουμε πιθανότητες απίστευτα μικρές, τόσο μικρές, ώστε δεν θα μπορούσαμε ποτέ να τις θεωρήσουμε εύλογες, έστω και στη φαντασία μας.

Ας εξετάσουμε το θέμα τού τι θεωρούμε εύλογο. Τα γεγονότα που μπορούμε να θεωρήσουμε εύλογα αποτελούν μια στενή ζώνη στη μέση ενός πολύ ευρύτερου φάσματος, του φάσματος των δυνατών γεγονότων. Μερικές φορές η ζώνη αυτή είναι πιο στενή απ' όσο θα έπρεπε. Εδώ έχουμε μια αντιστοιχία με την περίπτωση του φωτός. Τα μάτια μας είναι φτιαγμένα έτσι ώστε να αντιλαμβάνονται μια στενή ζώνη ηλεκτρομαγνητικών συχνοτήτων (εκείνες που ονομάζουμε φως), κάπου στη μέση του φάσματος που εκτείνεται από τα μακρά ραδιοφωνικά κύματα μέχρι τις ακτίνες X. Δεν μπορούμε να δούμε τις ακτίνες που βρίσκονται έξω από τη στενή ζώνη του φωτός, μπορούμε όμως να κάνουμε υπολογισμούς γι' αυτές και να κατασκευάσουμε όργανα που τις αντιλαμβάνονται. Με τον ίδιο τρόπο, γνωρίζουμε ότι οι κλίμακες του μεγέθους και του χρόνου εκτείνονται και προς τις δύο κατευθύνσεις πολύ πέρα από τη ζώνη που μπορούμε να φανταστούμε. Ο

νους μας δεν μπορεί να αντιληφθεί τις μεγάλες αποστάσεις με τις οποίες ασχολείται η αστρονομία ή τις μικρές αποστάσεις με τις οποίες ασχολείται η ατομική φυσική, μπορούμε όμως να εκφράσουμε αυτές τις αποστάσεις με μαθηματικά σύμβολα. Ο νους μας δεν μπορεί να φανταστεί ένα χρονικό διάστημα όπως το πικοδευτερόλεπτο (ένα τρισεκατομμυριοστό του δευτερολέπτου), μπορούμε όμως να κάνουμε υπολογισμούς με πικοδευτερόλεπτα και να κατασκευάσουμε υπολογιστές που εκτελούν υπολογισμούς μέσα σε πικοδευτερόλεπτα. Ο νους μας δεν μπορεί να φανταστεί ένα χρονικό διάστημα όπως το ένα εκατομμύριο χρόνια, και πολύ περισσότερο τα διαστήματα των δισεκατομμυρίων χρόνων με τα οποία ασχολούνται συνήθως οι γεωλόγοι.

Όπως ακριβώς τα μάτια μας μπορούν να δουν μόνο εκείνη τη στενή ζώνη των ηλεκτρομαγνητικών συχνοτήτων την οποία έβλεπαν και οι πρόγονοί μας χάρη στον εξοπλισμό που τους προσέφερε η φυσική επιλογή, έτσι και ο εγκέφαλός μας είναι κατάλληλα κατασκευασμένος ώστε να μπορεί να χειρίζεται ορισμένες στενές ζώνες μεγέθους και χρόνου. Φαίνεται ότι οι πρόγονοί μας δεν είχαν λόγους να ασχοληθούν με μεγέθη και χρονικά διαστήματα που υπερβαίνουν τα στενά όρια των καθημερινών πρακτικών αναγκών, και έτσι ο εγκέφαλός μας δεν ανέπτυξε ποτέ την ικανότητα να τα φαντάζεται. Είναι ίσως σημαντικό το γεγονός ότι το μέγεθος του ίδιου μας του σώματος βρίσκεται στη μέση της ζώνης των μεγεθών που μπορούμε να φανταστούμε και η διάρκεια τη ζωής μας βρίσκεται περίπου στη μέση της ζώνης των χρονικών διαστημάτων που μπορούμε να φανταστούμε.

Μπορούμε να πούμε το ίδιο για τις απιθανότητες και τα θαύματα. Φανταστείτε μια διαβαθμισμένη κλίμακα απιθανοτήτων ανάλογη με την κλίμακα από τα άτομα ως τους γαλαξίες ή τη χρονική κλίμακα από τα πικοδευτερόλεπτα ως τους γεωλογικούς αιώνες. Πάνω σ' αυτή την κλίμακα σημειώνουμε διάφορα χαρακτηριστικά σημεία αναφοράς. Στην αριστερή άκρη της κλίμακας βρίσκονται τα γεγονότα που είναι σχεδόν βέβαια, όπως η πιθανότητα ότι ο ήλιος θα ανατείλει αύριο –το θέμα του στοιχήματος που είχε βάλει ο G.H. Hardy. Κοντά στην αριστερή άκρη της κλίμακας βρίσκονται τα γεγονότα που είναι ελαφρώς απίθανα,



όπως το να φέρεις εξάρες ρίχνοντας μόνο μία φορά δύο ζάρια. Οι πιθανότητες να συμβεί αυτό είναι 1 στις 36, και είναι κάτι που το έχουμε κάνει όλοι αρκετά συχνά. Προχωρώντας προς τη δεξιά άκρη του φάσματος, ένα άλλο χαρακτηριστικό σημείο αναφοράς είναι η πιθανότητα ενός «τέλειου μοιράσματος» στο μπριτζ, στο οποίο ο καθένας από τους τέσσερις παίχτες παίρνει όλα τα χαρτιά ενός από τα τέσσερα «χρώματα». Οι πιθανότητες να μη συμβεί αυτό είναι 2.235.197.406.895.366.368.301.559.999 προς 1. Ας ονομάσουμε αυτό τον αριθμό ένα «μπριτζ» και ας τον χρησιμοποιήσουμε ως μονάδα απιθανότητας. Αν προβλέπαμε κάτι με απιθανότητα ενός μπριτζ και το γεγονός αυτό συνέβαινε, θα έπρεπε να θεωρήσουμε ότι έγινε θαύμα, εκτός αν υποψιαζόμασταν κάποια απάτη –και αυτό είναι πιο πιθανό. Αλλά θα μπορούσε να συμβεί σε ένα τίμιο μοίρασμα των χαρτιών, και είναι πάρα πολύ πιθανότερο από το να κουνήσει το χέρι του ένα μαρμάρينو άγαλμα. Εντούτοις, όπως είδαμε, ακόμη και η κίνηση του χεριού του αγάλματος έχει τη δική της θέση μέσα στο φάσμα των γεγονότων που θα μπορούσαν να συμβούν. Η απιθανότητα αυτού του γεγονότος μπορεί να μετρηθεί, αν και για το σκοπό αυτό χρειάζονται μονάδες πολύ μεγαλύτερες από τα «γίγαμπριτζ». Ανάμεσα στις εξάρες και στο τέλειο μοίρασμα στο μπριτζ υπάρχει μια περιοχή από λιγότερο ή περισσότερο απίθανα γεγονότα που συμβαίνουν μερικές φορές. Σ' αυτά συμπεριλαμβάνονται το να χτυπηθεί κάποιος από κεραυνό, να κερδίσει ένα μεγάλο ποσό στο λαχείο, να βάλει την μπάλα στην τρύπα με μία μόνο προσπάθεια στο γκολφ, και ούτω καθεξής. Κάπου μέσα σ' αυτή την περιοχή υπάρχουν επίσης εκείνες οι συμπτώσεις που μας δημιουργούν μια παράξενη, ανατριχιαστική αίσθηση, όπως το να ονειρευτούμε ένα συγκεκριμένο πρόσωπο για πρώτη φορά μέσα σε δεκαετίες, και ξυπνώντας να μάθουμε ότι πέθανε εκείνη τη νύχτα. Αυτές οι παράξενες συμπτώσεις είναι πολύ εντυπωσιακές όταν συμβαίνουν σε μας ή σε κάποιο φίλο μας, αλλά η απιθανότητά τους μετριέται μόλις σε «πικομπριτζ».

Αφού κατασκευάσαμε αυτή τη μαθηματική κλίμακα των απιθανοτήτων με τα χαρακτηριστικά σημεία αναφοράς, ας φωτίσουμε τώρα με τη δέσμη ενός προβολέα εκείνη την υποπεριοχή της

κλίμακας με την οποία μπορούμε να αντεπεξέλθουμε στην καθημερινή μας σκέψη και επικοινωνία. Το πλάτος της δέσμης είναι ανάλογο με τη στενή περιοχή των ηλεκτρομαγνητικών συχνοτήτων που μπορούν να δουν τα μάτια μας ή με τη στενή περιοχή των μεγεθών και των χρονικών διαστημάτων που βρίσκονται κοντά στο δικό μας μέγεθος και στη δική μας διάρκεια ζωής, και τα οποία μπορούμε να φανταστούμε. Πάνω στο φάσμα των απιθανοτήτων, ο προβολέας φωτίζει μόνο μια στενή περιοχή, από την αριστερή άκρη του φάσματος (βεβαιότητα) μέχρι τα μικροθαύματα, όπως είναι η νίκη με μία βολή στο γκολφ ή ένα όνειρο που βγαίνει αληθινό. Υπάρχει όμως μια τεράστια περιοχή απιθανοτήτων που μπορούν να υπολογιστούν μαθηματικά και βρίσκονται πολύ έξω από την περιοχή που φωτίζει ο προβολέας.

Ο εγκέφαλός μας έχει διαμορφωθεί από τη φυσιχική επιλογή έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμά πιθανότητες και κινδύνους, όπως ακριβώς τα μάτια μας έχουν κατασκευαστεί έτσι ώστε να μπορούν να εκτιμούν το μήκος κύματος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Διαθέτουμε τα απαραίτητα εφόδια για να εκτελούμε νοητικούς υπολογισμούς κινδύνων και πιθανοτήτων, μέσα στην περιοχή που θα μας ήταν χρήσιμη στην ανθρώπινη ζωή. Μερικά τέτοια παραδείγματα θα ήταν οι πιθανότητες να μας καρφώσει ένας βούβαλος με τα κέρατά του αφού του ρίξουμε ένα βέλος, ή να μας χτυπήσει κεραυνός αν καταφύγουμε κάτω από ένα μοναχικό δέντρο κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας, ή να πνιγούμε αν προσπαθήσουμε να διασχίσουμε ένα ποτάμι. Αυτοί οι εύλογοι κίνδυνοι έχουν σχέση με τη διάρκεια της ζωής μας. Αν ήμασταν βιολογικά ικανοί να ζούμε ένα εκατομμύριο χρόνια, θα έπρεπε να εκτιμούμε πολύ διαφορετικά τους κινδύνους. Για παράδειγμα, δεν θα έπρεπε να περνάμε στα απέναντι πεζοδρόμια, γιατί αν κάποιος διασχίζει ένα δρόμο κάθε μέρα επί μισό εκατομμύριο χρόνια, είναι σίγουρο ότι θα τον χτυπήσει κάποιο όχημα.

Η εξέλιξη έχει εφοδιάσει τον εγκέφαλό μας με μια υποκειμενική αντίληψη των κινδύνων και των πιθανοτήτων η οποία είναι κατάλληλη για πλάσματα που η ζωή τους διαρκεί λιγότερο από έναν αιώνα. Οι πρόγονοί μας ήταν πάντοτε αναγκασμένοι να λαμβάνουν αποφάσεις που είχαν σχέση με κινδύνους και πιθανό-



τητες και γι' αυτό η φυσική επιλογή διαμόρφωσε τον εγκέφαλό μας έτσι ώστε να εκτιμά τις πιθανότητες με βάση τη σύντομη ζωή μας. Αν σε κάποιον πλανήτη υπήρχαν όντα που ζουν ένα εκατομμύριο αιώνες, η περιοχή των κινδύνων που θα μπορούσαν να αντιληφθούν θα εκτεινόταν πολύ περισσότερο προς τη δεξιά άκρη του συνεχούς. Τα πλάσματα αυτά θα θεωρούσαν φυσικό να συναντούν πότε πότε ένα τέλειο μοίρασμα στο μπριτζ, και δεν θα έμπαιναν στον κόπο ούτε καν να το γράψουν στους δικούς τους όταν θα τους συνέβαινε. Ωστόσο, ακόμη κι αυτά τα όντα θα τα έχαναν αν ένα μαρμάρινο άγαλμα κουνούσε το χέρι του, γιατί θα έπρεπε να ζήσουν πολλά δεκάκις εκατομμύρια χρόνια περισσότερο για να δουν ένα θαύμα αυτού του μεγέθους.

Τι σχέση έχουν όλα αυτά με τις θεωρίες για την προέλευση της ζωής; Αρχίσαμε την εξέταση αυτού του επιχειρήματος συμφωνώντας ότι η θεωρία του Cairns-Smith και η θεωρία της αρχέγονης σούπας ακούγονται λίγο υπερβολικές και απίθανες. Και φυσικά, γι' αυτό το λόγο, αισθανόμαστε την τάση να τις απορρίψουμε. Αλλά εδώ πρέπει να θυμηθούμε ότι είμαστε πλάσματα που ο εγκέφαλός τους είναι εφοδιασμένος με έναν προβολέα κατανοητών κινδύνων ο οποίος φωτίζει μια πάρα πολύ λεπτή περιοχή στην αριστερή άκρη του μαθηματικού συνεχούς των υπολογισιμων πιθανοτήτων. Η υποκειμενική μας κρίση για το τι φαίνεται πιθανό είναι άσχετη με το τι πραγματικά είναι πιθανό. Η υποκειμενική κρίση ενός εξωγήινου που ζει ένα εκατομμύριο αιώνες θα ήταν εντελώς διαφορετική. Αυτός θα θεωρούσε εντελώς αποδεκτό και πιθανό ένα γεγονός όπως η εμφάνιση του πρώτου αντιγραφικού μορίου την οποία αναφέρει η θεωρία κάποιου χημικού. Εμείς, αντίθετα, όντας περιορισμένοι από την εξέλιξη να κινούμαστε σε έναν κόσμο με διάρκεια μερικών δεκαετιών, θα πιστεύαμε ότι αυτό το ίδιο γεγονός είναι ένα εκπληκτικό θαύμα. Πώς μπορούμε να αποφασίσουμε ποια από τις δύο απόψεις –η δική μας ή του μακρόβιου εξωγήινου– είναι η σωστή;

Υπάρχει μια απλή απάντηση σ' αυτό το ερώτημα. Η άποψη του μακρόβιου εξωγήινου είναι η πιο σωστή αν θέλουμε να κρίνουμε κατά πόσο είναι εύλογη μια θεωρία όπως αυτή του Cairns-Smith ή η θεωρία της αρχέγονης σούπας. Ο λόγος είναι ότι και

οι δύο αυτές θεωρίες δέχονται πως ένα συγκεκριμένο γεγονός –η αυτόματη εμφάνιση μιας αυτοαντιγραφικής οντότητας– συμβαίνει μόνο μία φορά μέσα σε ένα δισεκατομμύριο χρόνια περίπου, μία φορά σε έναν (γεωλογικό) «αιώνα». Από τη δημιουργία της Γης μέχρι τα πρώτα βακτηριοειδή απολιθώματα έχει περάσει ενάμιση (γεωλογικός) «αιώνας». Για τον δικό μας εγκέφαλο, που μπορεί να συνειδητοποιήσει μόνο δεκαετίες, ένα γεγονός που συμβαίνει μόνο μία φορά ανά (γεωλογικό) «αιώνα» είναι τόσο σπάνιο, ώστε να μας φαίνεται σαν ένα τεράστιο θαύμα. Για τον μακρόβιο εξωγήινο, το ίδιο γεγονός θα φαίνεται λιγότερο απίθανο απ' όσο φαίνεται σε μας η ρίγη της μπάλας του γκολφ στην τρύπα με την πρώτη προσπάθεια –και οι περισσότεροι από μας μάλλον γνωρίζουν κάποιον που γνωρίζει κάποιον που έχει στείλει την μπάλα στην τρύπα με την πρώτη βολή. Όταν κρίνουμε θεωρίες για την προέλευση της ζωής, η υποκειμενική χρονική κλίμακα του μακρόβιου εξωγήινου είναι η πιο σχετική, γιατί είναι κατά προσέγγιση ίδια με τη χρονική κλίμακα που υπεισέρχεται στην εμφάνιση της ζωής. Η δική μας υποκειμενική κρίση για μια τέτοια θεωρία είναι λαθεμένη ίσως κατά έναν παράγοντα εκατό εκατομμυρίων.

Στην πραγματικότητα, η υποκειμενική μας κρίση μάλλον είναι λαθεμένη σε ακόμη μεγαλύτερο βαθμό. Είπαμε ότι η φύση έχει εφοδιάσει τον εγκέφαλό μας με τον κατάλληλο εξοπλισμό, ώστε να εκτιμά κινδύνους που συμβαίνουν μέσα σε μικρά χρονικά διαστήματα. Επιπλέον, όμως, αυτές οι εκτιμήσεις του περιορίζονται σε κινδύνους που αφορούν εμάς προσωπικά ή τον στενό κύκλο των προσώπων που γνωρίζουμε. Αυτό συμβαίνει επειδή ο εγκέφαλός μας δεν εξελίχθηκε κάτω από συνθήκες στις οποίες κυριαρχούσαν τα μαζικά μέσα ενημέρωσης. Σήμερα, η ύπαρξη αυτών των μέσων σημαίνει ότι, αν κάτι απίθανο συμβεί σε οποιονδήποτε, και σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου, θα διαβάσουμε γι' αυτό στις εφημερίδες ή στο *Βιβλίο των ρεκόρ Guinness*. Αν κάποιος ρήτορας, οπουδήποτε στον κόσμο, ζητούσε κατά τη διάρκεια της ομιλίας του να τον χτυπήσει κεραυνός αν λείει ψέματα, και αμέσως τον χτυπούσε ένας κεραυνός, θα το διαβάσαμε και θα εντυπωσιαζόμασταν. Αλλά υπάρχουν μερικά δισεκατομμύρια



άνθρωποι στον κόσμο στους οποίους θα μπορούσε να συμβεί μια τέτοια σύμπτωση, και επομένως η πιθανότητα δεν είναι τόσο μικρή όσο φαίνεται. Ο εγκέφαλός μας είναι διαμορφωμένος από τη φύση έτσι ώστε να εκτιμά τους κινδύνους των γεγονότων που συμβαίνουν σε μας τους ίδιους ή στις μερικές εκατοντάδες κατοίκους του μικρού κύκλου των χωριών από τα οποία μάθαιναν νέα οι πρόγονοί μας, με τη βοήθεια του ήχου των τυμπάνων. Όταν διαβάζουμε σε μια εφημερίδα για την απίστευτη σύμπτωση που συνέβη σε κάποιον στο Βαλπαράισο ή στη Βιρτζίνια, εντυπωσιαζόμαστε περισσότερο απ' όσο θα έπρεπε. Εντυπωσιαζόμαστε περισσότερο κατά έναν παράγοντα ίσως εκατό εκατομμυρίων, αν αυτή είναι η αναλογία ανάμεσα στον παγκόσμιο πληθυσμό που καλύπτουν τα σύγχρονα μέσα ενημέρωσης και στον πληθυσμό από τον οποίο μπορούσε να πληροφορηθεί νέα ο εγκέφαλος των προγόνων μας.

Αυτός ο «πληθυσμιακός υπολογισμός» έχει επίσης σχέση με τον τρόπο με τον οποίο κρίνουμε την πιθανότητα των θεωριών οι οποίες εξηγούν την εμφάνιση της ζωής πάνω στη Γη. Όχι εξαιτίας του πληθυσμού της Γης, αλλά εξαιτίας του πληθυσμού των πλανητών στο σύμπαν, του πληθυσμού των πλανητών όπου θα μπορούσε να εμφανιστεί ζωή. Αυτό είναι απλώς το επιχείρημα που συναντήσαμε παραπάνω σ' αυτό το κεφάλαιο, και έτσι δεν χρειάζεται να το επαναλάβουμε εδώ. Ας επιστρέψουμε στη νοητική εικόνα της διαβαθμισμένης κλίμακας των απίθανων γεγονότων με τα δύο σημεία αναφοράς, την πιθανότητα ενός τέλει μοιράσματος στο μπριτζ και την πιθανότητα να έρθουν εξάρες σε μία ρίψη δύο ζαριών. Πάνω σ' αυτή τη διαβαθμισμένη κλίμακα των «μπριτζ» και των «μικρομπριτζ», σημειώστε τα εξής τρία νέα σημεία: την πιθανότητα να εμφανιστεί ζωή σε έναν πλανήτη (μέσα σε ένα δισεκατομμύριο χρόνια, ας πούμε), αν δεχτούμε ότι η ζωή εμφανίζεται μία φορά σε κάθε ηλιακό σύστημα· την πιθανότητα να εμφανιστεί ζωή σε έναν πλανήτη αν η ζωή εμφανίζεται μία φορά σε κάθε γαλαξία· την πιθανότητα να εμφανιστεί ζωή σε έναν τυχαία επιλεγμένο πλανήτη αν η ζωή εμφανίστηκε μόνο μία φορά μέσα στο σύμπαν. Ονομάστε αυτά τα τρία σημεία **Ηλιακό Αριθμό**, **Γαλαξιακό Αριθμό** και **Συμπαντικό Αριθμό** αντίστοιχα.

Θυμηθείτε ότι υπάρχουν περίπου 10 δισεκατομμύρια γαλαξίες. Δεν γνωρίζουμε πόσα ηλιακά συστήματα υπάρχουν σε κάθε γαλαξία, γιατί βλέπουμε μόνο άστρα και όχι πλανήτες, προηγουμένως όμως χρησιμοποιήσαμε μια εκτίμηση ότι μπορεί να υπάρχουν 100 πεντάκις εκατομμύρια πλανήτες στο σύμπαν.

Όταν εκτιμούμε την απιθανότητα ενός γεγονότος που το δέχεται, για παράδειγμα, η θεωρία του Cairns-Smith, θα πρέπει να την εκτιμούμε όχι σε σχέση με το τι θεωρούμε υποκειμενικά πιθανό ή απίθανο, αλλά σε σχέση με αριθμούς όπως αυτοί οι τρεις, ο Ηλιακός, ο Γαλαξιακός και ο Συμπαντικός Αριθμός. Το ποιος από αυτούς τους τρεις αριθμούς είναι ο καταλληλότερος εξαρτάται από το ποια από τις τρεις ακόλουθες δηλώσεις θεωρούμε ότι θρίσκεται πλησιέστερα στην αλήθεια:

1. Η ζωή εμφανίστηκε μόνο σε έναν πλανήτη σε ολόκληρο το σύμπαν (και τότε αυτός ο πλανήτης, όπως είδαμε, πρέπει να είναι η Γη).
2. Η ζωή εμφανίζεται σε έναν μόνο πλανήτη σε κάθε γαλαξία (στον δικό μας Γαλαξία, ο τυχερός πλανήτης είναι η Γη).
3. Η εμφάνιση ζωής είναι ένα τόσο πιθανό γεγονός, ώστε τείνει να εμφανίζεται μία φορά σε κάθε ηλιακό σύστημα (και στο δικό μας ηλιακό σύστημα, ο τυχερός πλανήτης είναι η Γη).

Αυτές οι τρεις δηλώσεις αντιπροσωπεύουν τρεις απόψεις αναφοράς σχετικά με τη μοναδικότητα της ζωής. Η σωστή τιμή θρίσκεται πιθανότατα κάπου ανάμεσα στα άκρα που αντιπροσωπεύουν η Δήλωση 1 και η Δήλωση 3. Γιατί το λέω αυτό; Γιατί, συγκεκριμένα, θα πρέπει να αποκλείσουμε μια τέταρτη περίπτωση, ότι η εμφάνιση της ζωής είναι ένα γεγονός *πολύ πιο πιθανό* απ' ό,τι εκφράζει η Δήλωση 3; Το σχετικό επιχείρημα δεν είναι πολύ ισχυρό, αλλά θα το αναφέρω. Αν η εμφάνιση της ζωής ήταν ένα πολύ πιο πιθανό συμβάν απ' όσο δείχνει ο Ηλιακός Αριθμός, θα περιμέναμε να έχουμε συναντήσει

κάποια εξωγήινη μορφή ζωής –να την έχουμε συναντήσει, αν όχι με «σάρκα και οστά», τουλάχιστον στα ραδιοκύματα.

Συχνά επισημαίνεται το γεγονός ότι οι χημικοί έχουν αποτύχει στις προσπάθειές τους να επαναλάβουν την αυτόματη εμφάνιση ζωής στο εργαστήριο. Αυτό το στοιχείο χρησιμοποιείται επανειλημμένως σαν να αποτελεί τεκμήριο το οποίο καταρρίπτει τις θεωρίες που δοκιμάζουν οι χημικοί. Ωστόσο, μπορεί κανείς να υποστηρίξει ότι, αντίθετα, θα έπρεπε να ανησυχούμε αν οι χημικοί κατάφερναν με μεγάλη ευκολία να παραγάγουν ζωή μέσα στον δοκιμαστικό σωλήνα. Ο λόγος είναι ότι τα πειράματα των χημικών γίνονται για μερικά μόνο χρόνια και όχι για δισεκατομμύρια χρόνια, και ότι τα εκτελούν μόνο μια χούφτα χημικοί και όχι δισεκατομμύρια χημικοί. Αν αποδεικνυόταν ότι η αυτόματη εμφάνιση της ζωής είναι ένα γεγονός τόσο πιθανό ώστε να έχει συμβεί μέσα στις λίγες ανθρώπινες δεκαετίες κατά τις οποίες γίνονται τα πειράματα, τότε η ζωή θα έπρεπε να έχει εμφανιστεί πολλές φορές στη Γη και σε πλανήτες που βρίσκονται σε εμβέλεια ραδιοεπικοινωνίας με τον δικό μας. Φυσικά, όλα αυτά παρακάμπτουν ορισμένα σημαντικά ερωτήματα σχετικά με το αν οι χημικοί έχουν καταφέρει να αναπαραγάγουν πιστά τις συνθήκες που επικρατούσαν στην αρχέγονη Γη, αλλά ακόμη κι έτσι, με δεδομένο ότι δεν μπορούμε να απαντήσουμε σ' αυτά τα ερωτήματα, αξίζει τον κόπο να εξετάσουμε το επιχείρημα.

Αν η εμφάνιση της ζωής ήταν ένα πιθανό γεγονός για τα συνηθισμένα ανθρώπινα κριτήρια, τότε σε σημαντικό αριθμό πλανητών που βρίσκονται σε εμβέλεια ραδιοεπικοινωνίας θα έπρεπε να έχει αναπτυχθεί από κάποια όντα σχετική τεχνολογία εδώ και αρκετό καιρό (αν λάβουμε υπόψη μας ότι τα ραδιοφωνικά κύματα κινούνται με ταχύτητα 300.000 χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο), ώστε να έχουμε λάβει τουλάχιστον μία εκπομπή κατά τις δεκαετίες που έχουμε τον απαραίτητο εξοπλισμό. Ίσως υπάρχουν περίπου 50 άστρα που βρίσκονται σε εμβέλεια ραδιοεπικοινωνίας αν θεωρήσουμε ότι εκεί ζουν όντα που διαθέτουν τη σχετική τεχνολογία τουλάχιστον για όσο διάστημα τη διαθέτουμε κι εμείς. Αλλά τα 50 χρόνια δεν είναι παρά μια φευγαλέα στιγμή, και θα ήταν μεγάλη σύμπτωση αν οι εξελίξεις ενός άλλου πολιτι-

σμού ήταν τόσο συγχρονισμένες με του δικού μας. Αν συμπεριλάβουμε στον υπολογισμό μας εκείνους τους πολιτισμούς που είχαν ραδιοφωνική τεχνολογία πριν από 1.000 χρόνια, θα υπάρχουν περίπου ένα εκατομμύριο άστρα σε εμβέλεια ραδιοεπικοινωνίας (μαζί με όσους πλανήτες βρίσκονται σε τροχιά γύρω τους). Αν συμπεριλάβουμε και τους πολιτισμούς που είχαν ραδιοφωνική τεχνολογία εδώ και 100.000 χρόνια, μπαίνει μέσα στην ακτίνα επικοινωνίας ολόκληρος ο Γαλαξίας με τα τρισεκατομμύρια άστρα του. Φυσικά, τα εκπεμπόμενα σήματα θα εξασθενούσαν σε μεγάλο βαθμό αν διένυαν τόσο τεράστιες αποστάσεις.

Έτσι, φτάσαμε στο ακόλουθο παράδοξο. Αν μια θεωρία για την εμφάνιση της ζωής είναι αρκετά «εύλογη» ώστε να ικανοποιεί την υποκειμενική μας κρίση για το τι είναι πιθανό, τότε είναι *υπερβολικά* «εύλογη» για να εξηγήσει την έλλειψη ζωής στο σύμπαν όπως το παρατηρούμε. Σύμφωνα με αυτό το επιχείρημα, η θεωρία που αναζητούμε *πρέπει* να είναι τέτοια ώστε να φαίνεται απίθανη στη φαντασία μας, η οποία περιορίζεται από τα όρια του μεγέθους και του χρόνου της ζωής μας. Πάνω σ' αυτή τη βάση, τόσο η θεωρία του Cairns-Smith όσο και η θεωρία της αρχέγονης σούπας μάλλον κινδυνεύουν να αποδειχτούν λαθεμένες, επειδή οι διαδικασίες τις οποίες αναφέρουν είναι πιο εύλογες απ' όσο θα έπρεπε! Αφού τα είπα όλα αυτά, θα πρέπει να ομολογήσω ότι, επειδή υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα στους υπολογισμούς, δεν θα ανησυχούσα αν ένας χημικός κατάφερε να δημιουργήσει ζωή μέσα στον δοκιμαστικό σωλήνα!

Εξακολουθούμε να μη γνωρίζουμε πώς ακριβώς άρχισε η φυσική επιλογή στη Γη. Αυτό το κεφάλαιο είχε ένα μετριοπαθή σκοπό, να αναλύσει ποιο *είδος* θεωρίας θα μπορούσε να εξηγήσει με ποιον τρόπο πρέπει να εμφανίστηκε η ζωή πάνω στη Γη. Το γεγονός ότι δεν υπάρχει μια σαφής και αποδεκτή εξήγηση για την εμφάνιση της ζωής οπωσδήποτε δεν πρέπει να εκληφθεί ως πρόβλημα για τη δαρβινική κοσμοθεωρία, όπως γίνεται μερικές φορές –ίσως εξαιτίας κάποιων ευσεβών πόθων. Στα προηγούμενα κεφάλαια απορρίφθηκαν κάποια άλλα υποτιθέμενα προβλήματα, και στο επόμενο κεφάλαιο θα εξεταστεί ένα άλλο,

η άποψη ότι η φυσική επιλογή μπορεί μόνο να καταστρέφει και ποτέ να δημιουργεί.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

# ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Μερικές φορές επικρατεί η αντίληψη ότι η φυσική επιλογή είναι μια καθαρά αρνητική δύναμη που μπορεί να εξαλείφει «τέρατα» και αποτυχίες, αλλά δεν μπορεί να αυξήσει την πολυπλοκότητα, την ομορφιά και την αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού των οργανισμών. Σύμφωνα με αυτή την άποψη, η φυσική επιλογή απλώς αφαιρεί από αυτά που υπάρχουν ήδη, ενώ μια πραγματικά δημιουργική διαδικασία θα έπρεπε επίσης να προσθέτει. Μπορούμε να απαντήσουμε εν μέρει σ' αυτό το επιχείρημα εξετάζοντας ένα άγαλμα. Ο γλύπτης δεν προσθέτει τίποτε στον αρχικό όγκο του μαρμάρου, απλώς αφαιρεί, αλλά παρ' όλα αυτά τελικά δημιουργεί ένα όμορφο άγαλμα. Ωστόσο, αυτή η μεταφορά μπορεί να μας παραπλανήσει, γιατί μερικοί οδηγούνται κατευθείαν στο εσφαλμένο μέρος της –το γεγονός ότι ο γλύπτης είναι ένας συνειδητός σχεδιαστής– και δεν αντιλαμβάνονται το σημαντικό στοιχείο: το γεγονός ότι ο γλύπτης δουλεύει αφαιρώντας και όχι προσθέτοντας. Αλλά ακόμη και σ' αυτό το μέρος της μεταφοράς δεν πρέπει να υπερβάλλουμε. Η φυσική επιλογή μπορεί μόνο να αφαιρέσει, οι μεταλλάξεις όμως μπορούν να προσθέσουν. Υπάρχουν τρόποι με τους οποίους οι μεταλλάξεις και η φυσική επιλογή, λειτουργώντας σε συνδυασμό, μπορούν να οδηγήσουν κατά τη διάρκεια των μεγάλων διαστημάτων του γεωλογικού χρόνου στην οικοδόμηση μιας πολυπλοκότητας που έχει σχέση περισσότερο με την πρόσθεση παρά με την



αφαίρεση. Υπάρχουν δύο κύριοι τρόποι με τους οποίους μπορεί να γίνει αυτό. Ο πρώτος λέγεται «συμπροσαρμοζόμενοι γονότυποι» και ο δεύτερος «ανταγωνισμός εξοπλισμών». Οι δύο αυτοί τρόποι επιφανειακά διαφέρουν μεταξύ τους, αλλά ενώνονται κάτω από τους τίτλους της «συνεξέλιξης» και «του γονιδιακού περιβάλλοντος των γονιδίων».

Πρώτα η ιδέα των «συμπροσαρμοζόμενων γονοτύπων». Ένα γονίδιο ασκεί μια συγκεκριμένη επίδραση *μόνο* επειδή υπάρχει μια δομή στην οποία μπορεί να επιδράσει. Ένα γονίδιο δεν μπορεί να επηρεάσει τα κυκλώματα ενός εγκεφάλου, αν δεν υπάρχει ο εγκεφάλος. Και δεν θα υπάρχει εγκεφάλος, αν δεν υπάρχει ένα πλήρες αναπτυσσόμενο έμβρυο. Και δεν θα υπάρχει ένα πλήρες αναπτυσσόμενο έμβρυο, αν δεν υπάρχει ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα χημικών και κυτταρικών γεγονότων, που επηρεάζεται από πάρα πολλά άλλα γονίδια και πάρα πολλές άλλες μη γενετικές αιτιώσεις επιδράσεις. Οι συγκεκριμένες επιδράσεις που ασκούν τα γονίδια δεν είναι ενδογενείς ιδιότητές τους. Είναι ιδιότητες των εμβρυολογικών διεργασιών, *υφιστάμενων* διεργασιών των οποίων οι λεπτομέρειες μπορεί να *αλλάζουν* με την επίδραση των γονιδίων, που επενεργούν σε συγκεκριμένες θέσεις και σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές κατά την εμβρυϊκή ανάπτυξη. Είδαμε αυτή την περίπτωση, σε στοιχειώδη μορφή, στην ανάπτυξη των βιομορφών από τον υπολογιστή.

Από μια άποψη, μπορούμε να θεωρήσουμε τη διαδικασία της εμβρυϊκής ανάπτυξης ως ένα συνδυασμένο εγχείρημα που αναλαμβάνεται από χιλιάδες γονίδια μαζί. Τα έμβρυα δημιουργούνται από όλα τα γονίδια ενός οργανισμού, που λειτουργούν σε συνεργασία το ένα με το άλλο. Και τώρα φτάνουμε στο κλειδί που θα μας επιτρέψει να καταλάβουμε πώς επιτυγχάνονται αυτές οι συνεργασίες. Κατά τη φυσική επιλογή, τα γονίδια επιλέγονται πάντοτε με βάση την ικανότητά τους να ευδοκμήσουν στο περιβάλλον όπου βρίσκονται. Συχνά θεωρούμε ότι αυτό το περιβάλλον είναι ο έξω κόσμος, ο κόσμος των αρπакτικών και των καιρικών συνθηκών. Ωστόσο, από την άποψη του κάθε γονιδίου, το σημαντικότερο ίσως μέρος αυτού του περιβάλλοντος *είναι όλα τα άλλα γονίδια που συναντά*. Και πού «συναντά» άλλα γονίδια; Κυρί-

ως στα κύτταρα των διαδοχικών σωμάτων όπου βρίσκεται. Κάθε γονίδιο επιλέγεται με βάση την ικανότητά του να συνεργαστεί επιτυχώς με τον πληθυσμό των άλλων γονιδίων που είναι πιθανό να συναντήσει στα διάφορα σώματα.

Ο αληθινός πληθυσμός των γονιδίων, ο οποίος συνιστά το λειτουργικό περιβάλλον κάθε δεδομένου γονιδίου, δεν είναι απλώς το προσωρινό γονιδιακό σύνολο που συμβαίνει να έχει συγκεντρωθεί στα κύτταρα κάθε συγκεκριμένου οργανισμού. Τουλάχιστον στα είδη με αμφιγονική αναπαραγωγή είναι το σύνολο όλων των γονιδίων του πληθυσμού των οργανισμών που ζευγαρώνουν μεταξύ τους -η γονιδιακή «δεξαμενή». Σε κάθε δεδομένη στιγμή, κάθε συγκεκριμένο αντίγραφο ενός γονιδίου -με την έννοια ενός συγκεκριμένου συναθροίσματος ατόμων- πρέπει να βρίσκεται μέσα σε ένα κύτταρο ενός μέλους του είδους. Αλλά το σύνολο των ατόμων που αντιπροσωπεύει ένα αντίγραφο του γονιδίου δεν έχει μόνιμο ενδιαφέρον για μας. Το προσδόκιμο επιβίωσής του μετριέται μόλις σε μερικούς μήνες. Όπως έχουμε δει, το μακρόβιο γονίδιο που αποτελεί την εξελικτική μονάδα δεν είναι μια συγκεκριμένη φυσική δομή, αλλά οι αρχειακές πληροφορίες που αντιγράφονται από γενιά σε γενιά. Αυτός ο αντιγράφεας πληροφοριών έχει μια κατανεμημένη ύπαρξη. Βρίσκεται κατανεμημένος στο χώρο, ανάμεσα σε διαφορετικούς οργανισμούς, και είναι επίσης κατανεμημένος στο χρόνο, σε πολλές γενιές. Αν λάβουμε υπόψη μας αυτό τον παράγοντα της κατανομής, μπορούμε να πούμε ότι ένα γονίδιο «συναντά» ένα άλλο όταν βρεθούν και τα δύο στο ίδιο σώμα. Το ίδιο γονίδιο μπορεί να συναντήσει μια σειρά από άλλα γονίδια σε διαφορετικά σώματα και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, κατά τη διάρκεια της κατανεμημένης ύπαρξής του και της πορείας του μέσα στον γεωλογικό χρόνο. Επιτυχημένο θα είναι το γονίδιο που θα τα καταφέρει καλά στα περιβάλλοντα που του παρέχουν αυτά τα άλλα γονίδια, τα οποία είναι πιθανό να συναντήσει σε πολλά διαφορετικά σώματα. Το να τα «καταφέρει καλά» σ' αυτά τα περιβάλλοντα αντιστοιχεί με το να «συνεργάζεται» με τα άλλα γονίδια. Αυτό το βλέπουμε πιο άμεσα στην περίπτωση των βιοχημικών μονοπατιών.

Τα βιοχημικά μονοπάτια είναι ακολουθίες χημικών ουσιών που συνιστούν τα διαδοχικά στάδια κάποιας χρήσιμης διαδικασίας, όπως είναι η έκλυση ενέργειας ή η σύνθεση μιας σημαντικής ουσίας. Κάθε βήμα του μονοπατιού χρειάζεται ένα ένζυμο, ένα από εκείνα τα μεγάλα μόρια που έχει το απαραίτητο σχήμα ώστε να λειτουργεί σαν μια μηχανή σε ένα χημικό εργοστάσιο. Τα διάφορα βήματα του χημικού μονοπατιού χρειάζονται διαφορετικά ένζυμα. Μερικές φορές υπάρχουν δύο ή και περισσότερα εναλλακτικά χημικά μονοπάτια που καταλήγουν στο ίδιο χρήσιμο αποτέλεσμα. Μολονότι συμβαίνει αυτό, τα δύο μονοπάτια έχουν διαφορετικά ενδιάμεσα στάδια, που οδηγούν στο ίδιο τέλος, και συνήθως έχουν και διαφορετικές αφετηρίες. Και τα δύο μονοπάτια επιτελούν εξίσου καλά το έργο τους και δεν έχει σημασία ποιο θα χρησιμοποιηθεί. Το σημαντικό για κάθε συγκεκριμένο οργανισμό είναι να μην ακολουθήσει και τα δύο μονοπάτια μαζί, γιατί τότε θα δημιουργηθεί χημική σύγχυση και δεν θα επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι το Μονοπάτι 1 χρειάζεται τη διαδοχή ενζύμων Α1, Β1 και Γ1 για να συνθέσει μια επιθυμητή χημική ουσία, τη Δ, ενώ το Μονοπάτι 2 χρειάζεται τα ένζυμα Α2, Β2 και Γ2 για να φτάσει στο ίδιο αποτέλεσμα. Κάθε ένζυμο κατασκευάζεται από ένα συγκεκριμένο γονίδιο. Έτσι, για να μπορέσει ένα είδος να εξελίξει το σύστημα σύνθεσης του Μονοπατιού 1, πρέπει τα γονίδια που κωδικεύουν τα ένζυμα Α1, Β1 και Γ1 να συνεξελιχθούν. Για να εξελίξει ένα είδος το εναλλακτικό σύστημα σύνθεσης του Μονοπατιού 2, πρέπει, επίσης, τα γονίδια που κωδικεύουν τα ένζυμα Α2, Β2 και Γ2 να συνεξελιχθούν. Η εκλογή ανάμεσα σ' αυτές τις δύο συνεξελιξεις δεν γίνεται με προϋπάρχοντα σχεδιασμό. Συμβαίνει απλά επειδή το κάθε γονίδιο επιλέγεται χάρη στη συμβατότητά του με τα άλλα γονίδια που τυχαίνει να κυριαρχούν ήδη στον πληθυσμό. Αν ο πληθυσμός τυχαίνει να είναι ήδη πλούσιος σε γονίδια για τα ένζυμα Β1 και Γ1, θα δημιουργηθεί ένα κλίμα που θα ευνοεί το γονίδιο Α1 και όχι το Α2. Αντίστροφα, αν ο πληθυσμός είναι ήδη πλούσιος σε γονίδια για τα ένζυμα Β2 και Γ2, θα δημιουργηθεί ένα κλίμα στο οποίο η επιλογή θα ευνοεί το γονίδιο Α2 και όχι το Α1.

Τα πράγματα συνήθως δεν είναι τόσο απλά, αλλά θα έχετε καταλάβει τη βασική ιδέα: μια από τις σημαντικότερες όψεις του «κλίματος» μέσα στο οποίο ένα γονίδιο ευνοείται ή δεν ευνοείται είναι τα άλλα γονίδια που υπάρχουν ήδη σε μεγάλο αριθμό μέσα στον πληθυσμό, δηλαδή τα άλλα γονίδια με τα οποία είναι πιθανό να μοιραστεί ένα σώμα. Αφού το ίδιο θα ισχύει προφανώς και γι' αυτά τα «άλλα» γονίδια, έχουμε ομάδες γονιδίων που εξελίσσονται όλα με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνονται λύσεις συνεργασίας στα προβλήματα. Τα ίδια τα γονίδια δεν εξελίσσονται, απλώς επιβιώνουν ή αποτυγχάνουν να επιβιώσουν μέσα στη γονιδιακή δεξαμενή. Εκείνο που εξελίσσεται είναι η «ομάδα». Άλλες ομάδες μπορεί να επιτελούσαν εξίσου καλά το ίδιο έργο, ή και καλύτερα, αλλά από τη στιγμή που μια ομάδα θα αρχίσει να κυριαρχεί στη γονιδιακή δεξαμενή ενός είδους, έχει αυτόματα το πλεονέκτημα. Τότε είναι δύσκολο για μια ομάδα που αποτελεί μειονότητα να επιβληθεί, ακόμη και αν σε τελική ανάλυση θα επιτελούσε το ίδιο έργο πιο αποτελεσματικά. Η ομάδα της πλειονότητας παρουσιάζει μια αυτόματη αντίσταση στην αντικατάστασή της, απλώς και μόνο επειδή αποτελεί την πλειονότητα. Αυτό δεν σημαίνει ότι η ομάδα της πλειονότητας δεν μπορεί ποτέ να αντικατασταθεί –σ' αυτή την περίπτωση, η εξέλιξη θα σταματούσε: σημαίνει όμως ότι παρουσιάζει μια εγγενή αδράνεια.

Προφανώς, αυτό το επιχείρημα δεν περιορίζεται μόνο στη βιοχημεία. Θα μπορούσαμε να πούμε τα ίδια για ομάδες συμβατών γονιδίων που κατασκευάζουν τα διαφορετικά τμήματα του ματιού, του αυτιού, της μύτης, των μελών και όλων των συνεργαζόμενων τμημάτων του σώματος ενός ζώου. Τα γονίδια που κάνουν τα δόντια κατάλληλα για τη μάσηση κρέατος τείνουν να ευνοούνται σε ένα «κλίμα» στο οποίο κυριαρχούν γονίδια που καθιστούν το έντερο κατάλληλο για τη χώνευση κρέατος. Επίσης, τα γονίδια που δίνουν δόντια κατάλληλα για τη μάσηση φυτικής τροφής τείνουν να ευνοούνται σε ένα κλίμα όπου κυριαρχούν τα γονίδια που κάνουν το έντερο κατάλληλο για τη χώνευση φυτικής τροφής. Και στις δύο περιπτώσεις ισχύει και το αντίστροφο. Ομάδες «σαρκοφάγων γονιδίων» τείνουν να συνεξε-

λίσσονται, και ομάδες «φυτοφάγων» γονιδίων τείνουν επίσης να συνεξελίσσονται. Πραγματικά, από μια άποψη, μπορούμε να πούμε ότι τα περισσότερα από τα γονίδια ενός σώματος συνεργάζονται μεταξύ τους σαν ομάδα, γιατί στη διάρκεια του εξελικτικού χρόνου αυτά τα γονίδια (δηλαδή, τα προγονικά αντίγραφα αυτών των γονιδίων) έχουν αποτελέσει μέρος του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο η φυσική επιλογή έχει επηρεάσει τα άλλα. Αν ρωτήσουμε γιατί οι πρόγονοι του λιονταριού άρχισαν να τρώνε κρέας, ενώ οι πρόγονοι της αντιλόπης άρχισαν να τρώνε φυτά, η απάντηση είναι ότι αυτό μπορεί να οφείλεται αρχικά σε ένα τυχαίο γεγονός, με την έννοια ότι θα μπορούσε κάλλιστα να έχει συμβεί το αντίθετο. Από τη στιγμή όμως που η κάθε γενεαλογική σειρά άρχισε να συγκεντρώνει μια ομάδα γονιδίων που είχαν σχέση με το κρέας και όχι με τα φυτά, η διαδικασία ήταν αυτοενισχυόμενη. Επίσης, από τη στιγμή που η άλλη γενεαλογική σειρά άρχισε να δημιουργεί μια ομάδα γονιδίων που είχαν σχέση με τα φυτά και όχι με το κρέας, κι αυτή η διαδικασία ήταν επίσης αυτοενισχυόμενη, προς την άλλη κατεύθυνση.

Ένα από τα κύρια φαινόμενα που πρέπει να παρατηρήθηκαν στα πρώτα στάδια της εξέλιξης των ζωντανών οργανισμών ήταν μια αύξηση στον αριθμό των γονιδίων που συμμετείχαν σε τέτοιες συνεργασίες. Τα βακτήρια έχουν πολύ λιγότερα γονίδια απ' ό,τι τα ζώα και τα φυτά. Η αύξηση μπορεί να επήλθε μέσα από διάφορα είδη διπλασιασμού των γονιδίων. Θυμηθείτε ότι ένα γονίδιο είναι απλώς μια σειρά από κωδικευμένα σύμβολα, όπως ένας «φάκελος» σε ένα δίσκο υπολογιστή. Τα γονίδια μπορούν να αντιγραφούν σε διαφορετικά μέρη των χρωμοσωμάτων, όπως ακριβώς και οι φάκελοι του υπολογιστή μπορούν να αντιγραφούν σε διαφορετικά μέρη του δίσκου. Πάνω στο δίσκο που περιέχει αυτό το κεφάλαιο του βιβλίου υπάρχουν επίσημα μόνο τρεις φάκελοι. Όταν λέω «επίσημα» εννοώ ότι το λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή μου λέει ότι υπάρχουν μόνο τρεις φάκελοι. Μπορώ να του ζητήσω να διαβάσει έναν από αυτούς, και τότε θα μου παρουσιάσει έναν μονοδιάστατο πίνακα αλφαθητικών χαρακτήρων, στον οποίο συμπεριλαμβάνονται οι χαρακτήρες που διαβάζετε τώρα. Όλα φαίνονται πολύ τακτικά και οργα-

νομένα. Στην πραγματικότητα, όμως, πάνω στον ίδιο το δίσκο, η κατανομή του κειμένου είναι κάθε άλλο παρά τακτική και οργανωμένη. Αυτό μπορούμε να το δούμε αν ξεφύγουμε από την «πειθαρχία» του επίσημου λειτουργικού συστήματος του υπολογιστή και γράψουμε δικά μας προγράμματα με τα οποία να μπορούμε να αποκρυπτογραφήσουμε τι είναι πραγματικά γραμμένο πάνω στον κάθε τομέα του δίσκου. Τότε θα δούμε ότι οι τρεις φάκελοι μου είναι μοιρασμένοι σε τμήματα που βρίσκονται σκορπισμένα εδώ κι εκεί, μπερδεμένα μεταξύ τους αλλά και με κομμάτια παλιών φακέλων που έχω σθήσει εδώ και πολύ καιρό και τους έχω πια ξεχάσει. Κάθε συγκεκριμένο τμήμα μπορεί να εμφανιστεί –ίδιο, λέξη προς λέξη, ή με μικρές διαφορές– σε πέντε ή έξι διαφορετικά σημεία του δίσκου.

Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι ενδιαφέρον και αξίζει να κάνουμε μια παρέκβαση, γιατί εδώ έχουμε μια καλή αναλογία με τις γενετικές διαδικασίες. Όταν δίνουμε σε έναν υπολογιστή την εντολή να διαγράψει ένα φάκελο, φαίνεται να μας υπακούει. Εντούτοις, δεν διαγράφει πραγματικά το κείμενο του φακέλου. Απλώς διαγράφει όλους τους δείκτες που παραπέμπουν στον εν λόγω φάκελο. Είναι σαν να πούμε σε ένα βιβλιοθηκάριο να καταστρέψει τον *Εραστή της λαιδής Τσάπτερλν* και αυτός να σκίσει απλώς την κάρτα από τον κατάλογο της βιβλιοθήκης, αφήνοντας το ίδιο το βιβλίο στο ράφι. Για τον υπολογιστή αυτός είναι ένας πολύ οικονομικός τρόπος διαχείρισης, γιατί ο χώρος τον οποίο καταλάμβανε ο φάκελος που έχει διαγραφεί, είναι αυτόματα διαθέσιμος για άλλους φακέλους από τη στιγμή που θα αφαιρεθούν οι δείκτες του προηγούμενου. Θα ήταν σπατάλη χρόνου να γεμίσει το χώρο του παλιού φακέλου με κενά. Ο ίδιος ο παλιός φάκελος δεν θα χαθεί εντελώς παρά μόνο όταν όλος ο χώρος τον οποίο καταλάμβανε χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση νέων φακέλων.

Ωστόσο, αυτή η εκ νέου χρησιμοποίηση του χώρου γίνεται αποσπασματικά. Οι νέοι φάκελοι δεν έχουν ακριβώς το ίδιο μέγεθος με τους παλιούς. Όταν ένας υπολογιστής προσπαθεί να γράψει έναν νέο φάκελο στο δίσκο, ψάχνει για τον πρώτο διαθέσιμο χώρο, γράφει εκεί όσο από τον νέο φάκελο χωράει, μετά



ψάχνει για τον επόμενο διαθέσιμο χώρο, γράφει εκεί λίγο ακόμη, και ούτω καθεξής, ώσπου ολόκληρος ο φάκελος να γραφτεί κάπου πάνω στο δίσκο. Ο χειριστής έχει την ψευδαίσθηση ότι ο φάκελος είναι ένας ενιαίος, τακτικός πίνακας χαρακτήρων, γιατί ο υπολογιστής διατηρεί προσεκτικά τους δείκτες των διευθύνσεων όλων των τμημάτων των φακέλων που υπάρχουν σε διάφορα σημεία του δίσκου. Αυτοί οι δείκτες μοιάζουν με τις φράσεις που βλέπουμε στις εφημερίδες: «Συνεχίζεται στη σελίδα 24». Ο λόγος για τον οποίο υπάρχουν στο δίσκο πολλά αντίγραφα από κάθε τμήμα του κειμένου είναι ότι αν το κείμενο έχει διορθωθεί και ξαναδιορθωθεί πολλές δεκάδες φορές, όπως συμβαίνει με όλα μου τα κεφάλαια, κάθε διόρθωση θα έχει ως αποτέλεσμα ένα νέο γράψιμο του ίδιου (σχεδόν) κειμένου στο δίσκο. Φαινομενικά μπορεί να γράφεται ο ίδιος φάκελος, αλλά, όπως είδαμε, στην πραγματικότητα το κείμενο θα έχει διασκορπιστεί κατ' επανάληψη στα διαθέσιμα «κενά». Έτσι, πάνω στο δίσκο μπορεί να υπάρχουν πολλαπλά αντίγραφα κάθε τμήματος του κειμένου, κάτι που ισχύει πολύ περισσότερο αν ο δίσκος είναι παλιός και έχει χρησιμοποιηθεί πολλές φορές.

Το λειτουργικό σύστημα του DNA ενός είδους είναι πάρα πολύ παλιό, και υπάρχουν ενδείξεις ότι, σε μακροπρόθεσμη βάση, χρησιμοποιεί μια μέθοδο που είναι ίδια με τη μέθοδο εγγραφής των φακέλων από τον υπολογιστή. Μερικές από τις ενδείξεις για την ύπαρξη αυτής της ομοιότητας προέρχονται από το συναρπαστικό φαινόμενο των «ιντρονίων» και των «εξονίων». Την τελευταία δεκαετία ανακαλύφθηκε ότι κάθε «ενιαίο» γονίδιο –ενιαίο με την έννοια ότι αποτελεί ένα ενιαίο συνεχόμενο τμήμα κειμένου DNA– δεν βρίσκεται αποθηκευμένο ολόκληρο σε ένα σημείο. Αν διαβάσουμε τα κωδικευμένα γράμματα έτσι όπως εμφανίζονται κατά μήκος του χρωμοσώματος (δηλαδή αν ξεφύγουμε, όπως και στην περίπτωση του υπολογιστή, από την κειθαρχία του «λειτουργικού συστήματος»), θα βρούμε τμήματα που έχουν νόημα, τα εξόνια, να διαχωρίζονται από τμήματα που δεν έχουν νόημα, τα ιντρόνια. Κάθε «γονίδιο», με τη λειτουργική έννοια του όρου, βρίσκεται στην πραγματικότητα διασπασμένο σε μια ακολουθία τμημάτων (εξονίων) που χωρίζονται από χωρίς νόημα ι-

ντρόνια. Είναι σάμπως το κάθε εξόνιο να τελειώνει με ένα δείκτη που λέει «συνεχίζεται στη σελίδα 24». Έτσι, ένα πλήρες γονίδιο αποτελείται από μια ολόκληρη σειρά εξονίων, τα οποία συνενώνονται μεταξύ τους μόνο όταν διαβαστούν τελικά από το «επίσημο» λειτουργικό σύστημα που τα μεταφράζει σε πρωτεΐνες.

Πρόσθετες ενδείξεις προέρχονται από το γεγονός ότι τα χρωμοσώματα είναι γεμάτα από παλιά γενετικά κείμενα που δεν χρησιμοποιούνται πια, αλλά που έχουν ακόμη νόημα και αναγνωρίζονται. Για έναν προγραμματιστή ηλεκτρονικών υπολογιστών, η διάταξη της κατανομής αυτών των «γενετικών απολιθωμάτων» παρουσιάζει καταπληκτική ομοιότητα με τη διάταξη των κειμένων πάνω στην επιφάνεια ενός παλιού δίσκου που έχει χρησιμοποιηθεί πολλές φορές για διορθώσεις κειμένου. Σε μερικά ζώα, ένα μεγάλο ποσοστό του συνολικού αριθμού των γονιδίων δεν διαβάζεται ποτέ. Αυτά τα γονίδια είτε δεν έχουν καθόλου νόημα είτε είναι απαρχαιωμένα «απολιθώματα» γονιδίων.

Μερικές φορές, τα «απολιθώματα» κειμένων μπορεί να φανούν χρήσιμα, όπως διαπίστωσα όταν έγραφα αυτό το βιβλίο. Εξαιτίας ενός σφάλματος του υπολογιστή (για να είμαι δίκαιος, μπορεί να ήταν και ανθρώπινο σφάλμα) «σθήστηκε» από το δίσκο το Κεφάλαιο 3. Φυσικά, το ίδιο το κείμενο δεν είχε σθηστεί κυριολεκτικά. Το μόνο που είχε σαφώς σθηστεί ήταν οι δείκτες που έλεγαν πού αρχίζει και πού τελειώνει το κάθε «εξόνιο». Το «επίσημο» λειτουργικό σύστημα δεν μπορούσε να διαβάσει τίποτε, «ανεπίσημα» όμως μπορούσα να παίξω το παιχνίδι της γενετικής μηχανικής και να εξετάσω όλα τα κείμενα που υπήρχαν πάνω στο δίσκο. Αυτό που είδα ήταν ένα μπερδεμένο παζλ από τμήματα κειμένων, μερικά από τα οποία ήταν πρόσφατα, ενώ άλλα ήταν αρχαία «απολιθώματα». Συνδυάζοντας τα τμήματα του παζλ, μπόρεσα να συνθέσω και πάλι το κεφάλαιο. Βέβαια, στις περισσότερες περιπτώσεις δεν ήξερα ποια τμήματα ήταν πρόσφατα και ποια ήταν απολιθώματα. Αυτό όμως δεν είχε σημασία, γιατί, πέρα από κάποιες μικρολεπτομέρειες που καθιστούσαν απαραίτητη μια νέα διόρθωση, τα τμήματα ήταν ίδια. Έτσι, χρησιμοποίησα και πάλι μερικά τουλάχιστον από τα «απολιθώματα», ή τα απαρχαιωμένα «αντρόνια». Αυτά με έβγαλαν από τη δύσκολη

θέση στην οποία βρίσκόμεναι και δεν χρειάστηκε να ξαναγράψω ολόκληρο το κεφάλαιο.

Υπάρχουν ενδείξεις ότι και στα έμβια είδη τα «γονίδια-απολιθώματα» ενεργοποιούνται εκ νέου καμιά φορά και χρησιμοποιούνται ξανά, αφού έχουν παραμείνει σε λανθάνουσα κατάσταση για ένα εκατομμύριο χρόνια περίπου. Αν αναφερόμεναι σε λεπτομέρειες θα ξεφεύγαμε κατά πολύ από το κύριο θέμα αυτού του κεφαλαίου (μην ξεχνάτε ότι βρίσκομαστε ήδη σε μια παρέκβαση). Το βασικό σημείο ήταν ότι η συνολική γενετική χωρητικότητα ενός είδους μπορεί να αυξηθεί χάρη στο διπλασιασμό των γονιδίων. Ένας τρόπος με τον οποίο μπορεί να συμβεί αυτό είναι η εκ νέου χρησιμοποίηση παλιών «απολιθωμένων» αντιτύπων των υπαρχόντων γονιδίων. Υπάρχουν και άλλοι, πιο έμμεσοι τρόποι με τους οποίους τα γονίδια μπορούν να αντιγραφούν σε πολλά διαφορετικά σημεία των χρωμοσωμάτων, σαν φάκελοι που γράφονται σε διαφορετικά μέρη ενός δίσκου ή και σε διαφορετικούς δίσκους.

Οι άνθρωποι έχουν οκτώ ξεχωριστά γονίδια που ονομάζονται γονίδια σφαιρίνης (χρησιμοποιούνται, μεταξύ άλλων, για την παρασκευή αιμοσφαιρίνης), και βρίσκονται σε διάφορα ξεχωριστά χρωμοσώματα. Φαίνεται βέβαιαι ότι και τα οκτώ έχουν αντιγραφεί από ένα μοναδικό προγονικό γονίδιο σφαιρίνης. Πριν από 1,1 δισεκατομμύριο χρόνια περίπου, το προγονικό γονίδιο σφαιρίνης διπλασιάστηκε, σχηματίζοντας δύο γονίδια. Μπορούμε να χρονολογήσουμε αυτό το συμβάν επειδή έχουμε ανεξάρτητες ενδείξεις για το πόσο γρήγορα εξελίσσονται συνήθως οι σφαιρίνες (βλ. Κεφάλαια 5 και 11). Από τα δύο γονίδια που παράχθηκαν από αυτό τον αρχικό διπλασιασμό, το ένα έγινε ο πρόγονος όλων των γονιδίων που παρασκευάζουν αιμοσφαιρίνη στα σπονδυλωτά. Το άλλο έγινε ο πρόγονος όλων των γονιδίων που παρασκευάζουν μυοσφαιρίνες, μια συγγενική οικογένεια πρωτεϊνών, που λειτουργούν στους μυς. Διάφοροι μετέπειτα διπλασιασμοί παρήγαγαν τις λεγόμενες άλφα, βήτα, γάμα, δέλτα, έψιλον και ζήτα σφαιρίνες. Το συναρπαστικό είναι ότι μπορούμε να βρούμε ένα πλήρες γενεαλογικό δέντρο όλων των γονιδίων σφαιρίνης, και μάλιστα να αντιστοιχίσουμε ημερομηνίες σε όλα

τα σημεία απόκλισης (για παράδειγμα, η δέλτα και η θήτα σφαιρίνη χωρίστηκαν περίπου πριν από 40 εκατομμύρια χρόνια· οι έψιλον και οι γάμα σφαιρίνες πριν από 100 εκατομμύρια χρόνια). Ωστόσο, οι οκτώ σφαιρίνες, που είναι απόγονοι όλων αυτών των παλιών διακλαδώσεων σε μακρινούς προγόνους, εξακολουθούν να υπάρχουν όλες μέσα στον καθένα μας. Κατέληξαν σε διαφορετικά μέρη των χρωμοσωμάτων ενός προγόνου, και ο καθένας μας τις έχει κληρονομήσει στα δικά του διαφορετικά χρωμοσώματα. Τα μόρια μοιράζονται το ίδιο σώμα με τα μακρινά μοριακά ξαδέρφια τους. Είναι βέβαιο ότι έχουν συμβεί πολλοί τέτοιοι διπλασιασμοί σε πολλά σημεία των χρωμοσωμάτων και σε όλη τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου. Αυτό είναι ένα σημαντικό στοιχείο ως προς το οποίο η ζωή είναι πιο πολύπλοκη από τις βιομορφές του Κεφαλαίου 3. Αυτές είχαν όλες μόνο εννέα γονίδια. Εξελέγησαν με αλλαγές σ' αυτά τα εννέα γονίδια και ποτέ με αύξηση του αριθμού τους σε δέκα. Ακόμη και στα πραγματικά ζώα, αυτοί οι διπλασιασμοί είναι αρκετά σπάνιοι, ώστε να μην καταρρίπτεται η γενική αρχή ότι όλα τα μέλη ενός είδους έχουν το ίδιο «σύστημα διευθύνσεων» του DNA.

Ο διπλασιασμός μέσα στο είδος δεν είναι ο μοναδικός τρόπος με τον οποίο ο αριθμός των συνεργαζόμενων γονιδίων αυξήθηκε κατά την εξέλιξη. Ένα ακόμη πιο σπάνιο, αλλά και πολύ σημαντικό γεγονός, είναι η ενσωμάτωση ενός γονιδίου που προέρχεται από κάποιο άλλο βιολογικό είδος, το οποίο μάλιστα μπορεί να είναι καταπληκτικά μακρινό. Για παράδειγμα, στις ρίζες φυτών της οικογένειας των μιζελιών υπάρχουν αιμοσφαιρίνες. Δεν εμφανίζονται σε καμία άλλη οικογένεια φυτών, και είναι σχεδόν βέβαιο ότι ενσωματώθηκαν με κάποιον τρόπο στα χρωμοσώματα της οικογένειας των μιζελιών με τη διαμόλυνσή τους από ζώα, μια διαδικασία που ίσως πραγματοποιήθηκε διαμέσου κάποιων ιών που έπαιξαν το ρόλο του μεσάζοντα.

Σύμφωνα με τη θεωρία της αμερικανίδας βιολόγου Lynn Margulis, η οποία κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος, ένα ιδιαίτερα σημαντικό γεγονός αυτού του τύπου συνέβη κατά την εμφάνιση του λεγόμενου ευκαρυωτικού κυττάρου. Ευκαρυωτικά είναι όλα τα κύτταρα εκτός από εκείνα των βακτηρίων. Τα έμβια όντα

χωρίζονται, κατά βάση, στα βακτήρια και στους υπόλοιπους οργανισμούς. Εμείς ανήκουμε στους υπόλοιπους και ονομαζόμαστε συλλογικά ευκαρυωτικοί οργανισμοί. Διαφέρουμε από τα βακτήρια κυρίως επειδή τα κύτταρά μας περιέχουν μικρά διακριτά «μί-νι-κύτταρα». Αυτά περιλαμβάνουν τον πυρήνα, όπου βρίσκονται τα χρωμοσώματα, ορισμένα μικρά αντικείμενα με σχήμα βόμβας που ονομάζονται μιτοχόνδρια (τα είδαμε στην εικόνα 1) και είναι γεμάτα με μεμβράνες που έχουν πολύπλοκες πτυχώσεις, και, στα (ευκαρυωτικά) κύτταρα των φυτών, τους χλωροπλάστες. Τα μιτοχόνδρια και οι χλωροπλάστες έχουν το δικό τους DNA, το οποίο αντιγράφεται και διαδίδεται εντελώς ανεξάρτητα από το κύριο DNA των χρωμοσωμάτων του πυρήνα. Όλα τα μιτοχόνδρια που υπάρχουν στο σώμα σας κατάγονται από έναν μικρό πληθυσμό μιτοχονδρίων που υπήρχαν στο ωάριο της μητέρας σας. Τα σπερματοζώαρια είναι πολύ μικρά για να περιέχουν μιτοχόνδρια, και έτσι αυτά τα οργανίδια ταξιδεύουν ακολουθώντας αποκλειστικά και μόνο τη θηλυκή γενεαλογική σειρά, ενώ τα αρσενικά σώματα αποτελούν αδιέξοδο για την αναπαραγωγή τους. Παρεμπιπτόντως, αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα μιτοχόνδρια για να εντοπίσουμε τους προγόνους μας, αλλά μόνο από τη θηλυκή πλευρά.

Η θεωρία της Margulis είναι ότι τα μιτοχόνδρια, οι χλωροπλάστες και μερικές άλλες δομές που υπάρχουν μέσα στα κύτταρα, κατάγονται από τα βακτήρια. Το ευκαρυωτικό κύτταρο σχηματίστηκε, ίσως πριν από δύο δισεκατομμύρια χρόνια, όταν μερικά διαφορετικά είδη βακτηρίων ένωσαν τις δυνάμεις τους εξαιτίας των ωφελειών που θα αποκόμιζε το καθένα από τη συνεργασία του με τα άλλα. Με την πάροδο των (γεωλογικών) «αιώνων» ενσωματώθηκαν τόσο πολύ στη συνεργατική μονάδα που έγινε το ευκαρυωτικό κύτταρο, ώστε είναι πια σχεδόν αδύνατο να αντιληφθούμε το γεγονός –αν πραγματικά είναι γεγονός– ότι κάποτε αποτελούσαν ξεχωριστά βακτήρια.

Φαίνεται ότι από τη στιγμή που επινοήθηκε το ευκαρυωτικό κύτταρο κατέστη δυνατή η ανάπτυξη ενός ολόκληρου νέου φάσματος σχεδιασμών. Το πιο ενδιαφέρον στοιχείο, από τη δική μας άποψη, είναι ότι τα κύτταρα μπορούσαν να σχηματίσουν

μεγάλα σώματα που αποτελούνταν από δισεκατομμύρια κύτταρα. Όλα τα κύτταρα αναπαράγονται με το χωρισμό τους στα δύο, και σ' αυτό το χωρισμό το καθένα από τα δύο μισά παίρνει ένα πλήρες σύνολο γονιδίων. Όπως είδαμε στην περίπτωση των βακτηρίων που χωρούν πάνω στο κεφάλι μιας καρφίτσας, οι διαδοχικές διαιρέσεις μπορούν να παραγάγουν πολύ μεγάλο αριθμό κυττάρων μέσα σε μάλλον σύντομο χρονικό διάστημα. Αρχίζουμε με ένα κύτταρο που χωρίζεται σε δύο. Κατόπιν, το καθένα από τα δύο χωρίζεται πάλι στα δύο, κι έτσι έχουμε τέσσερα. Το καθένα από τα τέσσερα διαιρείται και πάλι, και σχηματίζονται οκτώ. Ο αριθμός των κυττάρων αυξάνεται με διαδοχικούς διπλασιασμούς, από 8 σε 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1.024, 2.048, 4.096, 8.192. Έπειτα από 20 μόνο διπλασιασμούς, οι οποίοι δεν χρειάζονται μεγάλο χρονικό διάστημα για να πραγματοποιηθούν, τα κύτταρα έχουν γίνει εκατομμύρια. Έπειτα από 40 μόνο διπλασιασμούς, ο αριθμός τους έχει υπερβεί το ένα τρισεκατομμύριο. Στην περίπτωση των βακτηρίων, τα πολυάριθμα κύτταρα που παράγονται από τους διαδοχικούς διπλασιασμούς ακολουθούν το καθένα τον δικό του ξεχωριστό δρόμο. Το ίδιο ισχύει για πολλά ευκαρυωτικά κύτταρα -π.χ. για τα πρωτόζωα, όπως οι αμοιβάδες. Ένα σημαντικό θήμα στην εξέλιξη έγινε όταν τα κύτταρα που είχαν παραχθεί από διαδοχικές διαιρέσεις παρέμειναν μαζί, αντί να διασκορπιστούν για να ζήσουν ανεξάρτητα. Έτσι, μπορούσε να επιτευχθεί μια δομή ανώτερης τάξης, όπως συνέβη σε μια ασύγκριτα μικρότερη κλίμακα, στην περίπτωση των βιομορφών του υπολογιστή με τις διαδοχικές διακλαδώσεις τους.

Για πρώτη φορά υπήρχε η δυνατότητα να δημιουργηθούν σώματα μεγάλου μεγέθους. Ένα ανθρώπινο σώμα είναι ένας πραγματικά κολοσσιαίος πληθυσμός κυττάρων που κατ'άγονται όλα από έναν πρόγονο, το γονιμοποιημένο ωάριο, και επομένως είναι όλα ξαδέρφια, παιδιά, εγγόνια, θείοι, κ.λπ., άλλων κυττάρων του σώματος. Τα 10 τρισεκατομμύρια κύτταρα που αποτελούν τον καθένα από μας είναι το προϊόν μερικών δεκάδων γενεών κυτταρικού διπλασιασμού. Αυτά τα κύτταρα κατατάσσονται σε 210 περίπου διαφορετικούς τύπους (ανάλογα με τις προτιμήσεις εκείνων που τα κατατάσσουν), και κατασκευάζονται όλα από το ίδιο σύνολο



γονιδίων, με τη διαφορά ότι στον κάθε τύπο κυττάρου έχουν ενεργοποιηθεί διαφορετικά μέλη του συνόλου των γονιδίων. Γι' αυτό, όπως είδαμε, τα κύτταρα του ήπατος είναι διαφορετικά από τα εγκεφαλικά, και τα κύτταρα των οστών διαφέρουν από τα μυϊκά.

Τα γονίδια που λειτουργούν μέσα από τα όργανα και τα πρότυπα συμπεριφοράς των πολυκύτταρων σωμάτων μπορούν να εφαρμόσουν μεθόδους για την ίδια τους τη διάδοση οι οποίες δεν είναι διαθέσιμες στα απλά κύτταρα που λειτουργούν ανεξάρτητα. Τα πολυκύτταρα σώματα παρέχουν στα γονίδια τη δυνατότητα να χειρίζονται τον κόσμο, να χρησιμοποιούν όργανα φτιαγμένα σε μια κλίμακα που είναι αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από την κλίμακα των ίδιων των κυττάρων. Επιτυγχάνουν αυτούς τους έμμεσους χειρισμούς μεγάλης κλίμακας χάρη στις άμεσες επιδράσεις που ασκούν στη μικροσκοπική κλίμακα των κυττάρων. Για παράδειγμα, αλλάζουν το σχήμα της κυτταρικής μεμβράνης. Τα κύτταρα επιδρούν μεταξύ τους σε τεράστιους πληθυσμούς, για να παράγουν ομαδικά αποτελέσματα μεγάλης κλίμακας, όπως είναι τα χέρια και τα πόδια ή (πιο έμμεσα) η κατασκευή ενός φράγματος από έναν κάστορα. Οι περισσότερες ιδιότητες ενός οργανισμού που βλέπουμε με γυμνό μάτι είναι οι λεγόμενες «αναδυόμενες ιδιότητες». Ακόμη και οι βιομορφές του υπολογιστή, με τα εννέα τους γονίδια, είχαν αναδυόμενες ιδιότητες. Στα πραγματικά ζώα οι ιδιότητες αυτές παράγονται στο επίπεδο του σώματος με αλληλεπιδράσεις των κυττάρων. Ένας οργανισμός λειτουργεί ως ενιαία μονάδα, και μπορούμε να πούμε ότι τα γονίδιά του ασκούν επιδράσεις σε ολόκληρο τον οργανισμό, έστω και αν κάθε αντίγραφο κάθε συγκεκριμένου γονιδίου ασκεί τις άμεσες επιδράσεις του μόνο μέσα στο κύτταρο όπου βρίσκεται.

Έχουμε δει ότι ένα πολύ σημαντικό μέρος του περιβάλλοντος ενός γονιδίου αποτελούν τα άλλα γονίδια που είναι πιθανό να συναντήσει στα διαδοχικά σώματα από τα οποία περνά καθώς οι γενιές διαδέχονται η μια την άλλη. Αυτά είναι τα γονίδια που μεταλλάσσονται και συνδυάζονται μέσα στο είδος. Πραγματικά, ένα είδος που αναπαράγεται αμφιγονικά μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύστημα που μεταλλάσσει ένα διακριτό σύνολο αμοιβαία

προσαρμοσμένων γονιδίων σε διαφορετικούς συνδυασμούς. Σύμφωνα με αυτή την άποψη, τα είδη «αναμειγνύουν» συνεχώς συλλογές γονιδίων που συναντιούνται μεταξύ τους μέσα στο είδος, αλλά δεν συναντούν ποτέ γονίδια άλλων ειδών. Από μια άποψη, όμως, τα γονίδια διαφορετικών ειδών, παρά το γεγονός ότι δεν συναντιούνται μέσα σε κύτταρα, αποτελούν ωστόσο ένα σημαντικό μέρος του περιβάλλοντος των άλλων γονιδίων. Η σχέση είναι συχνά εχθρική και όχι συνεργατική, αλλά αυτό μπορεί να θεωρηθεί απλώς μια αντιστροφή του «προσήμου». Εδώ φτάνουμε στο δεύτερο κύριο θέμα του κεφαλαίου, τους «ανταγωνισμούς εξοπλισμών». Υπάρχουν ανταγωνισμοί εξοπλισμών ανάμεσα σε θηρευτές και σε θηράματα, ανάμεσα σε παράσιτα και σε ξενιστές, ακόμη και ανάμεσα στα αρσενικά και στα θηλυκά του ίδιου είδους, αν και το σημείο αυτό είναι πιο λεπτό και δεν θα το αναλύσω περισσότερο.

Οι ανταγωνισμοί των εξοπλισμών αναπτύσσονται στη διάρκεια του εξελικτικού χρόνου και όχι στη χρονική κλίμακα της ζωής των ατόμων κάθε είδους. Συνίστανται στη βελτίωση του εξοπλισμού που διαθέτει μια γενεαλογική σειρά (ας πούμε, τα θηράματα) για να επιβιώνει, η οποία προκύπτει ως άμεση συνέπεια της βελτίωσης του εξελισσόμενου εξοπλισμού μιας άλλης γενεαλογικής σειράς (ας πούμε, των θηρευτών). Οι ανταγωνισμοί εξοπλισμών εμφανίζονται όταν κάποια ζώα έχουν εχθρούς που διαθέτουν κι αυτοί την ικανότητα της εξελικτικής βελτίωσης. Τους θεωρώ ως ένα φαινόμενο υπέρτατης σπουδαιότητας, γιατί αυτοί έχουν προσδώσει στην εξέλιξη την «προοδευτικότητα» —όση κι αν είναι αυτή— που τη χαρακτηρίζει. Γιατί, αντίθετα με ό,τι υποστήριζαν παλιότερες προκαταλήψεις, η εξέλιξη δεν έχει τίποτε το εγγενώς προοδευτικό. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε αν σκεφτούμε τι θα συνέβαινε σε περίπτωση που τα μοναδικά προβλήματα τα οποία αντιμετώπιζαν τα ζώα ήταν οι καιρικές συνθήκες και τα άλλα στοιχεία του άβιου περιβάλλοντος.

Έπειτα από πολλές γενιές συσσωρευτικής επιλογής σε έναν συγκεκριμένο τόπο, τα ζώα και τα φυτά αποκτούν έναν καλό εξοπλισμό για τις συνθήκες που επικρατούν εκεί, όπως, για παράδειγμα, τις καιρικές. Αν κάνει κρύο, τα ζώα θα έχουν πυκνή

γούνα ή φτερά. Αν έχει ξηρασία, το σώμα τους θα είναι καλυμμένο με σκληρό δέρμα ή με κηρώδεις υδατοστεγείς ουσίες που θα παρεμποδίζουν τη διαφυγή του λιγοστού νερού που υπάρχει. Οι προσαρμογές στις τοπικές συνθήκες επηρεάζουν όλα τα μέρη του σώματος, το σχήμα και το χρώμα του, τα εσωτερικά του όργανα, τη συμπεριφορά του και τη χημεία των κυττάρων του.

Αν οι συνθήκες στις οποίες ζει μια γενεαλογική σειρά ζώων παραμένουν σταθερές –ας πούμε ότι σε έναν τόπο επικρατεί ξηρασία και ζέστη, και η κατάσταση αυτή δεν έχει αλλάξει εδώ και 100 γενιές– η εξέλιξη αυτής της γενεαλογικής σειράς πιθανότατα θα σταματήσει, τουλάχιστον σε ό,τι αφορά τις προσαρμογές στη θερμοκρασία και την υγρασία. Τα ζώα θα έχουν προσαρμοστεί όσο καλύτερα γίνεται στις τοπικές συνθήκες. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν θα μπορούσαν να σχεδιαστούν από την αρχή με κάποιον εναλλακτικό τρόπο που θα ήταν ακόμη καλύτερα προσαρμοσμένος στις συγκεκριμένες συνθήκες· σημαίνει ότι δεν μπορούν να βελτιωθούν από μόνα τους με κανένα μικρό (και επομένως πιθανό) εξελικτικό βήμα. Κανείς από τους άμεσους γείτονές τους μέσα στο τοπικό αντίστοιχο του «βιομορφικού χώρου» δεν θα τα κατάφερνε καλύτερα στο συγκεκριμένο περιβάλλον.

Η εξέλιξη θα σταματήσει μέχρι να μεταβληθούν οι συνθήκες του τόπου: να αρχίσει μια εποχή παγετώνων, να αυξηθούν ή να μειωθούν οι βροχοπτώσεις, να αλλάξουν οι άνεμοι που επικρατούν στην περιοχή. Τέτοιες μεταβολές μπορούν να συμβούν όταν έχουμε να κάνουμε με μια χρονική κλίμακα τόσο μεγάλης διάρκειας όσο η εξελικτική. Κατά συνέπεια, η εξέλιξη κανονικά δεν διακόπτεται, αλλά «παρακολουθεί» συνεχώς το μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Αν η μέση θερμοκρασία της περιοχής παρουσιάζει μια σταθερή καθοδική τάση, μια τάση που διαρκεί αιώνες, οι διαδοχικές γενιές των ζώων θα δεχτούν μια σταθερή επιλεκτική «πίεση» προς κάποια κατεύθυνση, όπως, για παράδειγμα, να αποκτήσουν μακρύτερο τρίχωμα. Αν έπειτα από μερικές χιλιάδες χρόνια μειωμένης θερμοκρασίας η τάση αυτή αντιστραφεί και η μέση θερμοκρασία αρχίσει να ανεβαίνει και πάλι, τα ζώα θα δεχτούν μια νέα επιλεκτική πίεση, που θα τα οδηγήσει προς κοντότερο τρίχωμα.

Ωστόσο, μέχρι εδώ εξετάσαμε μόνο ένα περιορισμένο στοιχείο του περιβάλλοντος, τον καιρό. Πράγματι, είναι πολύ σημαντικός για τα ζώα και τα φυτά. Οι καιρικές συνθήκες μεταβάλλονται καθώς περνούν οι αιώνες, πράγμα που διατηρεί σε μια συνεχή κίνηση την εξέλιξη, η οποία «παρακολουθεί» τις μεταβολές. Εντούτοις, οι καιρικές συνθήκες μεταβάλλονται κατά τυχαίο και μη συστηματικό τρόπο. Υπάρχουν άλλα στοιχεία του περιβάλλοντος ενός ζώου, που μεταβάλλονται προς κατευθύνσεις οι οποίες είναι συστηματικά πιο απειλητικές και που πρέπει επίσης να «παρακολουθούνται» από την εξέλιξη. Αυτά τα στοιχεία του περιβάλλοντος είναι οι ίδιοι οι ζωντανοί οργανισμοί. Για ένα θηρευτή όπως η ύαινα, ένα στοιχείο του περιβάλλοντός του, τουλάχιστον εξίσου σημαντικό με τον καιρό, είναι η λεία του, οι μεταβαλλόμενοι πληθυσμοί από γκνου, ζέβρες και οι αντιλόπες. Για τις αντιλόπες και τα άλλα ζώα που περιπλανιούνται στους κάμπους αναζητώντας χορτάρι, ο καιρός μπορεί να είναι σημαντικός, αλλά τα λιοντάρια, οι ύαινες και τα άλλα σαρκοφάγα είναι εξίσου σημαντικά. Όπως ακριβώς η συσσωρευτική επιλογή παρέχει στα ζώα τον κατάλληλο εξοπλισμό για να αντιμετωπίσουν τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν, θα τους δώσει και τον κατάλληλο εξοπλισμό ώστε τα φυτοφάγα να μπορούν να τρέχουν πιο γρήγορα από τα αρπακτικά, και τα αρπακτικά να μπορούν να ξεγελούν τη λεία τους. Και όπως ακριβώς οι μακροπρόθεσμες διακυμάνσεις του καιρού «παρακολουθούνται» από την εξέλιξη, έτσι και οι μακροπρόθεσμες μεταβολές στις συνήθειες ή στα όπλα των θηρευτών θα παρακολουθούνται από εξελικτικές αλλαγές των θηραμάτων τους –και αντίστροφα, φυσικά.

Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο γενικός όρος «εχθρός ενός είδους» σημαίνει όλα τα άλλα έμβια όντα που «κάνουν τη ζωή δύσκολη» σ' αυτό το είδος. Το λιοντάρι είναι εχθρός της ζέβρας. Μπορεί να φανούμε κάπως «αναίσθητοι» αν αντιστρέψουμε αυτή τη δήλωση και πούμε ότι, ομοίως, «η ζέβρα είναι εχθρός του λιονταριού». Ο ρόλος της ζέβρας στη σχέση της με το λιοντάρι φαίνεται πολύ αθώος και αδικημένος για να του δοθεί ο επικριτικός χαρακτηρισμός «εχθρός». Εντούτοις, κάθε ζέβρα κάνει ό,τι μπορεί για να μην τη φάνε τα λιοντάρια, και αυτό τους κάνει τη

ζωή δύσκολη. Αν οι ζέβρες και τα άλλα φυτοφάγα ζώα επιτύγχαναν αυτό το σκοπό τους, τα λιοντάρια θα πέθαιναν από ασитία. Έτσι, σύμφωνα με τον ορισμό μας, οι ζέβρες είναι εχθροί των λιονταριών. Τα παράσιτα, όπως η ταινία, είναι εχθροί των ξενιστών τους, και οι ξενιστές είναι εχθροί των παρασίτων, αφού τείνουν μέσα από την εξέλιξη να εξελίσσουν μέτρα για την καταπολέμησή τους. Τα φυτοφάγα ζώα είναι εχθροί των φυτών και τα φυτά είναι εχθροί των φυτοφάγων, στο βαθμό που κατασκευάζουν αγκάθια και δηλητηριώδεις ή αηδιαστικές ουσίες.

Οι γενεαλογικές σειρές των ζώων και των φυτών, στη διάρκεια του εξελικτικού χρόνου, θα «παρακολουθούν» τις αλλαγές των εχθρών τους με την ίδια επιμέλεια με την οποία παρακολουθούν και τις αλλαγές των καιρικών συνθηκών. Οι εξελικτικές βελτιώσεις του κυναιλουρου στα όπλα και την τακτική του αποτελούν, από την άποψη της γαζέλας, κάτι αντίστοιχο με μια σταθερή επιδείνωση του κλίματος, και παρακολουθούνται με τον ίδιο τρόπο. Ωστόσο, υπάρχει μια πολύ σημαντική διαφορά ανάμεσα σ' αυτούς τους δύο παράγοντες. Ο καιρός αλλάζει με την πάροδο του χρόνου, αλλά δεν αλλάζει κατά έναν συστηματικά απειλητικό τρόπο. Ο καιρός δεν προσπαθεί να «σκοτώσει» τις γαζέλες. Η μέση διαμόρφωση του κυναιλουρου θα αλλάζει επίσης με την πάροδο του χρόνου, όπως αλλάζουν και οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις. Αλλά ενώ οι βροχοπτώσεις αυξομειώνονται χωρίς λόγο ή αιτία, ο κυναιλουρος, καθώς περνούν οι αιώνες, θα τείνει να αποκτά καλύτερο εξοπλισμό από τους προγόνους του για να πιάνει γαζέλες. Αυτό συμβαίνει επειδή οι διαδοχικές γενιές των κυναιλουρων, αντίθετα με τις διαδοχικές μορφές των καιρικών συνθηκών, υποβάλλονται σε συσσωρευτική επιλογή. Οι κυναιλουροι θα τείνουν να γίνονται ταχύτεροι στο τρέξιμο, να αποκτούν καλύτερη όραση και πιο κοφτερά δόντια. Όσο «εχθρικές» κι αν φαίνονται οι καιρικές και οι άλλες συνθήκες του άβιου περιβάλλοντος, δεν έχουν απαραίτητα την τάση να γίνονται πιο εχθρικές. Αντίθετα, οι έμβιοι εχθροί, αν παρατηρήσουμε τις μεταβολές τους κατά τη διάρκεια του εξελικτικού χρόνου, έχουν αυτήν ακριβώς την τάση.

Η τάση των σαρκοφάγων να αποκτούν προοδευτικά καλύτερο

εξοπλισμό θα έχανε γρήγορα την ορμή της, όπως συμβαίνει και στους ανθρώπινους ανταγωνισμούς εξοπλισμών (για λόγους οικονομικού κόστους, τους οποίους θα εξετάσουμε παρακάτω), αν δεν υπήρχε και μια ανάλογη παράλληλη τάση από την πλευρά της λείας, και αντίστροφα. Οι γαζέλες υποβάλλονται στη διαδικασία της συσσωρευτικής επιλογής όπως και οι कुναίλουροι, και θα έχουν κι αυτές την τάση, με το πέρασμα των γενεών, να τρέχουν πιο γρήγορα, να αντιδρούν ταχύτερα, να γίνονται αόρατες με το να κρύβονται μέσα στα ψηλά χόρτα. Έχουν κι αυτές την ικανότητα να εξελίσσονται προς την κατεύθυνση που θα τις κάνει ικανότερους εχθρούς, σ' αυτή την περίπτωση εχθρούς των कुनाίλουρων. Από την άποψη του कुनाίλουρου, η μέση ετήσια θερμοκρασία δεν παρουσιάζει μια συστηματική βελτίωση ή επιδεινώση καθώς περνούν τα χρόνια, παρά μόνο με την έννοια ότι οποιαδήποτε αλλαγή για ένα καλά προσαρμοσμένο ζώο είναι μια αλλαγή προς το χειρότερο. Αλλά η «μέση ετήσια γαζέλα» τείνει να επιδεινώνεται συστηματικά: συλλαμβάνεται ολοένα και πιο δύσκολα, επειδή προσαρμόζεται καλύτερα στο να ξεφεύγει από τους कुनाίλουρους. Και πάλι, η τάση προοδευτικής βελτίωσης στις γαζέλες θα σταματούσε σιγά σιγά, αν δεν υπήρχε η παράλληλη τάση βελτίωσης των εχθρών τους. Η μια πλευρά γίνεται λίγο καλύτερη, επειδή και η άλλη πλευρά βελτιώθηκε, και αντίστροφα. Έτσι αρχίζει ένας φαύλος κύκλος, ή μάλλον ένα «φαύλο σπείραμα», που εξελίσσεται σε χρονική κλίμακα εκατοντάδων χιλιάδων χρόνων.

Στον κόσμο των κρατών, όπου η χρονική κλίμακα είναι μικρότερη, όταν υπάρχουν δύο εχθροί που ο καθένας βελτιώνει προοδευτικά τον εξοπλισμό του αντιδρώντας στις βελτιώσεις του άλλου, μιλάμε για έναν «ανταγωνισμό εξοπλισμών». Η εξελικτική αναλογία είναι αρκετά κοντινή, ώστε να δικαιολογεί το δανεισμό του όρου. Έτσι, δεν θα απολογηθώ γι' αυτό στους συναδέλφους μου που με πομπώδεις παρατηρήσεις υποστηρίζουν ότι πρέπει να αποβληθούν από τη γλώσσα μας αυτές οι διαφωτιστικές εικόνες. Παρουσίασα εδώ την ιδέα χρησιμοποιώντας ένα απλό παράδειγμα, τις γαζέλες και τους कुनाίλουρους. Το έκανα για να επισημάνω τη σημαντική διαφορά που υπάρχει ανάμεσα σε έναν



ζωντανό εχθρό, που υποβάλλεται και ο ίδιος σε εξελικτική μεταβολή, και σε κάποιες μη «κακόβουλες» συνθήκες του άβιου περιβάλλοντος, όπως ο καιρός, ο οποίος μεταβάλλεται, αλλά η μεταβολή του δεν είναι συστηματική και εξελικτική. Τώρα όμως ήρθε η στιγμή να παραδεχτώ ότι, στην προσπάθειά μου να εξηγήσω αυτό το έγκυρο στοιχείο, μπορεί να παραπλάνησα τον αναγνώστη από άλλες απόψεις. Αν καλοσκεφτούμε το θέμα, γίνεται φανερό ότι η εικόνα ενός συνεχούς ανταγωνισμού εξοπλισμών είναι υπεραπλουστευμένη, τουλάχιστον από μια άποψη. Ας εξετάσουμε την ταχύτητα με την οποία τρέχει ένα ζώο. Έτσι όπως έχουμε παρουσιάσει την ιδέα του ανταγωνισμού εξοπλισμών ως εδώ, θα έπρεπε να συμπεράνουμε ότι οι κυναιλούροι και οι γαζέλες θα συνέχιζαν, η μια γενιά μετά την άλλη, να αυξάνουν την ταχύτητά τους ώσπου να ξεπεράσουν την ταχύτητα του ήχου. Αυτό δεν έχει συμβεί, ούτε και πρόκειται να συμβεί ποτέ. Πριν ξαναρχίσουμε τη συζήτηση για τους ανταγωνισμούς των εξοπλισμών, πρέπει πρώτα να προλάβω ορισμένες παρανοήσεις.

Η πρώτη διευκρίνιση είναι η εξής. Στις προηγούμενες περιγραφές μου έδωσα την εντύπωση ότι παρατηρείται μια συνεχής και σταθερή βελτίωση στην ικανότητα του κυναιλούρου να συλλαμβάνει τη λεία του και στην ικανότητα της γαζέλας να αποφεύγει τους θηρευτές. Ο αναγνώστης μπορεί να σχημάτισε μια δικτωριανή ιδέα αναπόφευκτης προόδου, στην οποία κάθε γενιά είναι πιο καλή, πιο ανεπτυγμένη και πιο γενναία από την προηγούμενη. Η πραγματικότητα στη φύση δεν είναι ποτέ έτσι. Άλλωστε, η χρονική κλίμακα κατά την οποία μπορεί να συμβεί μια σημαντική βελτίωση είναι πιθανότατα τόσο μεγάλη, ώστε η βελτίωση να μην μπορεί να γίνει αντιληπτή μέσα από τη σύγκριση μιας τυπικής γενιάς με την προηγούμενη. Επιπλέον, η «βελτίωση» είναι κάθε άλλο παρά συνεχής. Πρόκειται για μια σπασμοδική εξέλιξη, που μερικές φορές σταματά ή και «οπισθοδρομεί», αντί να προχωρεί πάντοτε και συνεχώς «προς τα εμπρός», όπως φαίνεται να υπονοεί η ιδέα του ανταγωνισμού εξοπλισμών. Οι αλλαγές των συνθηκών, οι αλλαγές στις δυνάμεις του άβιου περιβάλλοντος, τις οποίες κατέταξα στη γενική κατηγορία του «καιρού», είναι πιθανό να τελματώσουν τις αργές και ακανόνιστες

τάσεις του ανταγωνισμού των εξοπλισμών, έτσι όπως θα τις έβλεπε ένας παρατηρητής. Μπορεί κάλλιστα να περνούν μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς καμία «πρόοδο» στον ανταγωνισμό εξοπλισμών και ίσως χωρίς καμία εξελικτική αλλαγή. Μερικές φορές, οι ανταγωνισμοί καταλήγουν στην εξαφάνιση, και τότε μπορεί να αρχίσει πάλι ένας νέος ανταγωνισμός. Ωστόσο, παρ' όλες αυτές τις επιφυλάξεις, η ιδέα του ανταγωνισμού εξοπλισμών παραμένει η πιο ικανοποιητική εξήγηση για την ύπαρξη των ανεπτυγμένων και πολύπλοκων μηχανισμών που διαθέτουν τα ζώα και τα φυτά. Η προοδευτική «βελτίωση» του είδους από τον ανταγωνισμό των εξοπλισμών όντως συντελείται, έστω και αν αυτό γίνεται σπασμωδικά και με διακοπές, έστω και αν ο ρυθμός της προόδου της είναι τόσο αργός, ώστε να μην μπορεί να γίνει αντιληπτός μέσα στη διάρκεια της ζωής ενός ανθρώπου ή ακόμη και μέσα στο χρονικό διάστημα της ιστορίας.

Η δεύτερη διευκρίνιση είναι ότι η σχέση μεταξύ «εχθρών» είναι πιο πολύπλοκη από την απλή διμερή σχέση που προκύπτει από την ιστορία του κυναιλουργου και της γαζέλας. Μια περιπλοκή είναι ότι ένα είδος μπορεί να έχει δύο (ή περισσότερους) εχθρούς, οι οποίοι μπορεί να είναι περισσότερο εχθροί μεταξύ τους. Αυτή είναι η αρχή που κρύβεται πίσω από τη συχνά εκφραζόμενη μερική αλήθεια ότι η χλόη ωφελείται όταν την τρώνε (ή την κόβουν). Τα βοοειδή τρώνε χλόη, και επομένως μπορούν να θεωρηθούν εχθροί της. Εντούτοις, η χλόη έχει κι άλλους εχθρούς, στον φυτικό κόσμο, ανταγωνιστικά ζιζάνια που, αν αναπτυχθούν ανεξέλεγκτα, μπορεί να αποδειχθούν χειρότεροι εχθροί από τα βοοειδή. Η χλόη υποφέρει σε κάποιο βαθμό επειδή την τρώνε τα βοοειδή, αλλά τα ανταγωνιστικά ζιζάνια υποφέρουν ακόμη περισσότερο. Επομένως, η συνολική επίδραση που ασκούν τα βοοειδή σε ένα λιβάδι είναι ότι ωφελείται η χλόη. Με αυτή την έννοια, τα βοοειδή αποδεικνύονται φίλοι της χλόης και όχι εχθροί της.

Εντούτοις, τα βοοειδή είναι εχθροί της χλόης, αφού ένα συγκεκριμένο φυτό θα θρискόταν σε καλύτερη μοίρα αν δεν το έτρωγε μια αγελάδα, και ένα μεταλλαγμένο φυτό που διαθέτει, λόγω χάρη, ένα χημικό όπλο που το προστατεύει από τα βοοειδή θα πα-

ρήγε περισσότερους σπόρους (που θα περιείχαν γενετικές πληροφορίες για την κατασκευή του χημικού όπλου) από τα άλλα μέλη του είδους του, που είναι πιο εύγευστα για τα βοοειδή. Ακόμη και αν υπάρχει μια ιδιαίτερη έννοια με την οποία τα βοοειδή είναι «φίλοι» της χλόης, η φυσική επιλογή δεν ευνοεί φυτά χλόης που καταβάλλουν προσπάθεια για να φαγωθούν από τα βοοειδή! Το γενικό συμπέρασμα αυτής της παραγράφου είναι ότι μπορεί να μας βολεύει να θεωρούμε πως ένας ανταγωνισμός εξοπλισμών εξελίσσεται ανάμεσα σε δύο γενεαλογικές σειρές, όπως οι αγελάδες και η χλόη ή οι γαζέλες και οι κυναϊλouroi, αλλά δεν πρέπει ποτέ να ξεχνάμε το γεγονός ότι και τα δύο είδη που συμμετέχουν στον ανταγωνισμό έχουν και άλλους εχθρούς, με τους οποίους πρέπει να διατηρούν άλλους ανταγωνισμούς εξοπλισμών. Δεν θα αναλύσω περισσότερο το θέμα εδώ, αλλά μπορώ να επισημάνω ότι με την ανάπτυξή του μπορούμε να εξηγήσουμε γιατί ένας συγκεκριμένος ανταγωνισμός εξοπλισμών σταθεροποιείται και δεν συνεχίζεται επ' άπειρον –γιατί δεν έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση κάποιων αρπακτικών που καταδιώκουν τη λεία τους με ταχύτητες 2 Mach, και ούτω καθεξής.

Η τρίτη «διευκρίνιση» που αφορά τον απλό ανταγωνισμό εξοπλισμών δεν είναι τόσο μια διευκρίνιση όσο ένα στοιχείο που παρουσιάζει ενδιαφέρον από μόνο του. Στην υποθετική συζήτηση για τον κυναϊλouro και τη γαζέλα είπα ότι οι κυναϊλouroi, αντίθετα με τον καιρό, έχουν μια τάση να γίνονται καλύτεροι κυνηγοί με την πάροδο των γενεών, να γίνονται πιο επικίνδυνοι, να αποκτούν καλύτερο εξοπλισμό για τη σύλληψη και την εξόντωση της γαζέλας. Εντούτοις, αυτό δεν σημαίνει ότι θα έχουν μεγαλύτερη επιτυχία στην προσπάθειά τους να σκοτώνουν γαζέλες. Η ουσία αυτής της ιδέας για τον ανταγωνισμό των εξοπλισμών είναι ότι και οι δύο πλευρές βελτιώνονται από τη δική τους σκοπιά, ενώ ταυτόχρονα κάνουν πιο δύσκολη τη ζωή για την άλλη πλευρά. Δεν έχουμε κανέναν συγκεκριμένο λόγο (τουλάχιστον με βάση τα όσα είπαμε ως τώρα) να περιμένουμε ότι κάποια από τις δύο πλευρές θα γίνεται σταθερά περισσότερο ή λιγότερο επιτυχημένη από την άλλη. Αντίθετα, η ιδέα του ανταγωνισμού εξοπλισμών, στην πιο καθαρή μορφή της, σημαίνει ότι πρέπει να

υπάρχει μια εντελώς μηδενική πρόοδος στα ποσοστά επιτυχίας και από τις δύο πλευρές, ενώ θα υπάρχει μια πολύ σαφής πρόοδος στον εξοπλισμό και των δύο. Οι θηρευτές θα είναι καλύτερα εξοπλισμένοι για να σκοτώνουν τη λεία τους, αλλά ταυτόχρονα τα θηράματα θα είναι καλύτερα εξοπλισμένα για να ξεφεύγουν από τους θηρευτές, έτσι ώστε τελικά να μην υπάρχει καμία μεταβολή στο ποσοστό επιτυχίας των θηρευτών.

Η συνέπεια αυτής της κατάστασης είναι ότι αν οι θηρευτές μιας εποχής μπορούσαν να έρθουν σε επαφή με θηράματα από μια άλλη εποχή, με τη βοήθεια μιας «μηχανής του χρόνου», τα πιο «σύγχρονα» ζώα, είτε θηρευτές είτε θηράματα, θα νικούσαν κατά κράτος τα αρχαιότερα. Αυτό είναι ένα πείραμα που δεν μπορεί να γίνει ποτέ, αν και μερικοί πιστεύουν ότι ορισμένες απομακρυσμένες και απομονωμένες πανίδες, όπως εκείνες της Αυστραλίας ή της Μαδαγασκάρης, μπορούν να θεωρηθούν σαν αρχαίες, πράγμα που σημαίνει ότι ένα ταξίδι στην Αυστραλία μοιάζει με ένα ταξίδι πίσω στο χρόνο. Αυτοί οι άνθρωποι πιστεύουν ότι τα ιθαγενή αυστραλιανά είδη συνήθως εξαφανίζονται εξαιτίας της ύπαρξης ανώτερων ανταγωνιστών ή εχθρών που έχουν εισαχθεί από άλλες ηπείρους, επειδή τα ιθαγενή είδη αποτελούν «πιο αρχαία» και «ξεπερασμένα» μοντέλα. Έτσι, όταν αντιμετωπίζουν ένα νεότερο είδος, βρίσκονται στη θέση ενός ιστοφόρου που αντιμετωπίζει ένα πυρηνικό υποβρύχιο. Ωστόσο, δεν είναι εύκολο να δικαιολογήσουμε την παραδοχή ότι η Αυστραλία έχει μια πανίδα «ζώντανων απολιθωμάτων». Θα μπορούσε ίσως κάποιος να υποστηρίξει αυτή τη θέση, αλλά αυτό συμβαίνει σπάνια. Πολύ φοβάμαι ότι μπορεί να μην είναι τίποτε άλλο από το ζωολογικό αντίστοιχο του σοβινιστικού σνομπισμού, κάτι ανάλογο με την αντίληψη που θεωρεί όλους τους Αυστραλούς άξεστους αλήτες χωρίς καθόλου μυαλό.

Ο αμερικανός βιολόγος Leigh van Valen έχει δώσει ένα ενδιαφέρον όνομα στην αρχή της μηδενικής αλλαγής στο ποσοστό επιτυχίας, η οποία είναι ανεξάρτητη από το πόσο σπουδαία εξελικτική πρόοδος έχει σημειωθεί στον εξοπλισμό. Την έχει ονομάσει «φαινόμενο της Κόκκινης Βασίλισσας». Θα θυμάστε ότι στο βιβλίο *Through the Looking Glass* (Μέσα στον καθρέφτη), η

Κόκκινη Βασίλισσα πιάνει την Αλίκη από το χέρι και αρχίζει να τρέχει όλο και πιο γρήγορα, σέρνοντάς τη μαζί της. Αλλά όσο γρήγορα κι αν τρέχουν, μένουν πάντοτε στο ίδιο σημείο. Η Αλίκη απορεί, φυσικά, και λέει «στον δικό μου τόπο θα έφτανες γενικά κάπου αν έτρεχες τόσο γρήγορα και για τόσο πολλή ώρα». «Ο τόπος σου είναι πολύ αργός, τότε!», απαντάει η Βασίλισσα. «Εδώ πρέπει να τρέχεις όσο πιο γρήγορα μπορείς για να μείνεις στο ίδιο μέρος. Αν θέλεις να πας κάπου αλλού, πρέπει να τρέξεις τουλάχιστον δύο φορές πιο γρήγορα!»

Η ονομασία της Κόκκινης Βασίλισσας είναι διασκεδαστική, μπορεί όμως να γίνει και παραπλανητική, αν θεωρηθεί (όπως συμβαίνει μερικές φορές) ότι εκφράζει μια ακριβή μαθηματική αλήθεια, μια κυριολεκτικά μηδενική σχετική πρόοδο. Ένα άλλο παραπλανητικό χαρακτηριστικό είναι ότι στην ιστορία της Αλίκης η δήλωση της Κόκκινης Βασίλισσας είναι παράδοξη και ασυμβίβαστη με την κοινή λογική του πραγματικού φυσικού κόσμου. Αντίθετα, το εξελικτικό φαινόμενο της Κόκκινης Βασίλισσας του van Valen δεν είναι καθόλου παράδοξο. Είναι απόλυτα σύμφωνο με την κοινή λογική, αρκεί να την εφαρμόσουμε σωστά. Ωστόσο, ακόμη και αν το φαινόμενο δεν είναι παράδοξο, οι ανταγωνισμοί εξοπλισμών μπορούν να δημιουργήσουν καταστάσεις που ένας οικονομικός νους θα τις θεωρούσε σπάταλες.

Για παράδειγμα, γιατί τα δέντρα στα δάση είναι τόσο ψηλά; Μια σύντομη απάντηση στο ερώτημα είναι πως όλα τα άλλα δέντρα είναι ψηλά, επομένως κανένα μεμονωμένο δέντρο δεν μπορεί να υστερήσει σε ύψος, γιατί θα το σκίαζαν τα άλλα. Αυτό είναι σωστό στην ουσία του, αλλά ενοχλεί τον οικονομικό νου. Αυτή η μεγάλη ανάπτυξη φαίνεται να είναι μια άσκοπη σπατάλη. Όταν όλα τα δέντρα φτάνουν στο ύψος του θόλου του δάσους, εκτίθενται εξίσου στον ήλιο και κανένα δεν μπορεί να παραμείνει πιο κοντό. Εντούτοις, αν όλα τα δέντρα ήταν πιο κοντά, αν μπορούσε να γίνει μια συμφωνία, ώστε να μειωθεί το ύψος του θόλου, και τότε όλα τα δέντρα θα ωφελούνταν. Θα ανταγωνίζονταν μεταξύ τους για την ίδια ακριβώς ποσότητα ήλιου, αλλά θα «πλήρωναν» πολύ μικρότερο κόστος ανάπτυξης για να φτάσουν στο θόλο. Έτσι, θα ωφελούνταν η συνολική οικονομία του δά-

σους, αλλά και καθένα από τα δέντρα ξεχωριστά. Δυστυχώς, η φυσική επιλογή δεν ενδιαφέρεται για συνολικές οικονομίες και δεν αφήνει περιθώρια για «οικονομικούς συνασπισμούς» και συμφωνίες. Υπάρχει ένας ανταγωνισμός εξοπλισμών εξαιτίας του οποίου τα δέντρα του δάσους γίνονται ολοένα και πιο ψηλά καθώς οι γενιές διαδέχονται η μια την άλλη. Σε κάθε στάδιο του ανταγωνισμού δεν υπήρχε κανένα εγγενές όφελος στο ύψος για χάρη του ύψους· το μοναδικό κέρδος του ύψους ήταν ότι το συγκεκριμένο δέντρο ήταν συγκριτικά «ψηλότερο» από τα γειτονικά του δέντρα.

Καθώς ο ανταγωνισμός συνεχιζόταν, το μέσο ύψος του θόλου του δάσους συνεχώς μεγάλωνε, αλλά δεν αυξανόταν ταυτόχρονα και το όφελος που αποκόμιζαν τα δέντρα επειδή ήταν ψηλά. Στην πραγματικότητα, το όφελος αυτό μειωνόταν, γιατί απαιτούσε αυξημένο κόστος ανάπτυξης. Οι διαδοχικές γενιές των δέντρων γίνονται ολοένα και πιο ψηλές, αλλά τελικά, από μια άποψη, θα ήταν ίσως καλύτερα αν το ύψος τους είχε παραμείνει στα αρχικά του επίπεδα. Εδώ παρατηρούμε λοιπόν τη σχέση με την Αλίκη και την Κόκκινη Βασίλισσα, αλλά βλέπουμε τώρα ότι στην περίπτωση των δέντρων το φαινόμενο δεν είναι παράδοξο. Πρόκειται για ένα γενικό χαρακτηριστικό που έχουν όλοι οι ανταγωνισμοί εξοπλισμών, ακόμη και οι ανθρώπινοι: ενώ όλοι θα ωφελούνταν αν ο ανταγωνισμός δεν είχε κλιμακωθεί, από τη στιγμή που κάποιος αρχίζει την κλιμάκωση, οι υπόλοιποι δεν μπορούν να μην ακολουθήσουν. Παρεμπιπτόντως, εδώ θα πρέπει να τονίσω για άλλη μια φορά ότι η ιστορία αυτή είναι υπεραπλουστευμένη. Δεν υποστηρίζω ότι τα δέντρα κάθε γενιάς είναι ψηλότερα από της προηγούμενης, ούτε ότι ο ανταγωνισμός των εξοπλισμών συνεχίζεται απαραίτητα.

Ένα άλλο στοιχείο που προκύπτει από το παράδειγμα των δέντρων είναι ότι οι ανταγωνισμοί των εξοπλισμών δεν πραγματοποιούνται αναγκαστικά ανάμεσα σε μέλη διαφορετικών ειδών. Κάθε δέντρο θλάπτεται όταν το σκιάζει κάποιο άλλο, είτε ανήκει σε άλλο είδος είτε στο δικό του. Ίσως μάλιστα στη δεύτερη περίπτωση να θλάπτεται περισσότερο, γιατί όλοι οι οργανισμοί απειλούνται πιο σοβαρά από τον ανταγωνισμό των μελών του δικού



τους είδους παρά από μέλη άλλων ειδών. Τα μέλη του ίδιου είδους ανταγωνίζονται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό για πρόσβαση στους ίδιους πόρους απ' ό,τι τα μέλη διαφορετικών ειδών. Υπάρχουν επίσης ανταγωνισμοί εξοπλισμών μέσα στα είδη, ανάμεσα στους αρσενικούς και στους θηλυκούς ρόλους, και ανάμεσα στους ρόλους των προγόνων και των απογόνων. Έχω αναφερθεί σ' αυτά τα θέματα στο *Εγωιστικό γονίδιο* και δεν θα τα αναλύσω περισσότερο εδώ.

Το παράδειγμα των δέντρων μου επιτρέπει να εισαγάγω μια σημαντική γενετική διάκριση ανάμεσα σε δύο είδη ανταγωνισμού εξοπλισμών, τον συμμετρικό και τον ασύμμετρο. Συμμετρικός ανταγωνισμός εξοπλισμών είναι εκείνος που εκτυλίσσεται ανάμεσα σε ανταγωνιστές που προσπαθούν να κάνουν το ίδιο περίπου πράγμα ο ένας στον άλλο. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο ανταγωνισμός εξοπλισμών ανάμεσα στα δέντρα του δάσους που πασχίζουν να φτάσουν στο φως. Τα διαφορετικά είδη δέντρων δεν ζουν όλα με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, αλλά σε ό,τι αφορά τον συγκεκριμένο ανταγωνισμό –τον ανταγωνισμό για την εξασφάλιση του φωτός πάνω από το θόλο– είναι ανταγωνιστές για τον ίδιο πόρο. Συμμετέχουν σε έναν ανταγωνισμό όπου η επιτυχία για τη μια πλευρά μεταφράζεται σε αποτυχία για την άλλη. Ο ανταγωνισμός εξοπλισμών είναι συμμετρικός, επειδή η φύση της επιτυχίας και της αποτυχίας είναι η ίδια και για τις δύο πλευρές: η εξασφάλιση του φωτός και η επισκίαση από άλλα δέντρα, αντίστοιχα.

Εντούτοις, ο ανταγωνισμός εξοπλισμών ανάμεσα στους κυναιλουργούς και στις γαζέλες είναι ασύμμετρος. Είναι ένας πραγματικός ανταγωνισμός εξοπλισμών όπου η επιτυχία της μιας πλευράς αντιστοιχεί σε αποτυχία για την άλλη, αλλά η φύση της επιτυχίας και της αποτυχίας είναι πολύ διαφορετική για την κάθε πλευρά. Οι δύο πλευρές «προσπαθούν» να επιτύχουν πολύ διαφορετικούς στόχους. Οι κυναιλουργοί προσπαθούν να φάνε τις γαζέλες. Οι γαζέλες όμως δεν προσπαθούν να φάνε κυναιλουργούς, αλλά να ξεφύγουν από τους κυναιλουργούς που θέλουν να τις φάνε. Από εξελικτική άποψη, οι ασύμμετροι ανταγωνισμοί εξοπλισμών είναι πιο ενδιαφέροντες, γιατί υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες

να παραγάγουν εξαιρετικά πολύπλοκα οπλικά συστήματα. Μπορούμε να δούμε γιατί συμβαίνει αυτό, παίρνοντας παραδείγματα από την ανθρώπινη τεχνολογία.

Θα μπορούσα να χρησιμοποιήσω ως παραδείγματα τις ΗΠΑ και την ΕΣΣΔ, αλλά δεν χρειάζεται να αναφερθούμε σε συγκεκριμένα κράτη. Τα όπλα κατασκευάζονται από εταιρείες που μπορεί να θρίσκονται σε οποιοδήποτε από τα προηγμένα βιομηχανικά κράτη, και τα προϊόντα τους μπορεί να αγοραστούν από οποιοδήποτε κράτος. Η ύπαρξη ενός επιτυχημένου επιθετικού όπλου, όπως είναι ο πύραυλος επιφανείας Εξοσέτ, τείνει να «προκαλεί» την επινόηση ενός αποτελεσματικού αντιόπλου, όπως για παράδειγμα κάποιας ραδιοσυσκευής παρεμβολών που παραπλανά το σύστημα ελέγχου του πυραύλου. Το αντιόπλο είναι πιο πιθανό να κατασκευαστεί από μια εχθρική χώρα, αλλά δεν αποκλείεται και να κατασκευαστεί από την ίδια χώρα ή ακόμη και από την ίδια εταιρεία! Σε τελική ανάλυση, ποια εταιρεία είναι η πιο κατάλληλη για να κατασκευάσει μια συσκευή παρεμβολών για έναν συγκεκριμένο πύραυλο, αν όχι η εταιρεία που έχει κατασκευάσει τον ίδιο τον πύραυλο; Δεν υπάρχει τίποτε που να εμποδίζει μια τέτοια εταιρεία να παράγει τον πύραυλο αλλά και τη συσκευή παρεμβολών, και να πουλάει τα δύο προϊόντα της στις αντίπαλες πλευρές. Είμαι αρκετά κυνικός ώστε να υποψιάζομαι ότι κάτι τέτοιο συμβαίνει και στην πραγματικότητα, γεγονός που προβάλλει σαφέστατα τη διαπίστωσή ότι οι εξοπλισμοί βελτιώνονται αλλά η τελική τους αποτελεσματικότητα παραμένει η ίδια (και παράλληλα το κόστος κατασκευής τους αυξάνεται).

Με βάση την άποψη που εκφράζω εδώ, δεν έχει σημασία αν οι αντίπαλες πλευρές ενός ανθρώπινου ανταγωνισμού εξοπλισμών εφοδιάζονται από διαφορετικές και εχθρικές εταιρείες κατασκευής οπλικών συστημάτων ή από την ίδια εταιρεία, πράγμα που είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον. Εκείνο που έχει σημασία είναι ότι, ανεξάρτητα από τους κατασκευαστές τους, τα ίδια τα όπλα είναι εχθροί μεταξύ τους, με την ειδική έννοια που όρισα σε αυτό το κεφάλαιο. Ο πύραυλος και η ειδική συσκευή παρεμβολών που τον εξουδετερώνει είναι εχθροί, αφού η επιτυχία του ενός συνεπάγεται την αποτυχία του άλλου. Δεν έχει σημασία αν οι σχεδια-

στές είναι κι αυτοί εχθροί μεταξύ τους, αν και είναι μάλλον πιο εύκολο να θεωρήσουμε ότι έτσι συμβαίνει.

Μέχρι τώρα εξέτασα το παράδειγμα του πυραύλου και του ειδικού αντιδότη του χωρίς να τονίσω το στοιχείο της εξέλιξης και της βελτίωσης που χαρακτηρίζει την κατάσταση και που σε τελική ανάλυση είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο ανέφερα το παράδειγμα σ' αυτό το κεφάλαιο. Το θέμα εδώ είναι ότι όχι μόνο ο συγκεκριμένος σχεδιασμός ενός πυραύλου προκαλεί την επινόηση ενός κατάλληλου αντιδότη όπως είναι η συσκευή παρεμβολών, αλλά και ότι η αντιπυραυλική συσκευή προκαλεί με τη σειρά της τη βελτίωση του σχεδιασμού του πυραύλου, ώστε να εξουδετερώνει ειδικά το προηγούμενο αντίδοτο και να αποτελεί ένα αντιαντίδοτο. Είναι σάμπως κάθε βελτίωση του πυραύλου να ενεργοποιεί την επόμενη βελτίωση από μόνη της, μέσα από την επίδραση που ασκεί στο αντίδοτο. Η βελτίωση των εξοπλισμών αυτοτροφοδοτείται. Αυτή είναι μια συνταγή που οδηγεί σε μια εκρηκτική, ανεξέλεγκτη εξέλιξη.

Έπειτα από μερικά χρόνια τέτοιων εφευρέσεων και αντιεφευρέσεων, η τελική μορφή τόσο του πυραύλου όσο και του αντιδότη θα έχουν φτάσει σε πολύ υψηλό επίπεδο πολυπλοκότητας. Ταυτόχρονα όμως –και εδώ παρατηρούμε το φαινόμενο της Κόκκινης Βασίλισσας–, δεν έχουμε κανέναν γενικό λόγο για να περιμένουμε ότι κάποια από τις δύο πλευρές θα τα καταφέρει τώρα καλύτερα στη σύγκρουση απ' όσο τα κατάφερε στην αρχή του ανταγωνισμού. Πραγματικά, μολονότι ο πύραυλος και το αντίδοτό του βελτιώνονταν με τον ίδιο ρυθμό, μπορούμε να περιμένουμε ότι οι τελευταίες, πιο προηγμένες και εξελιγμένες μορφές θα είναι τόσο αποτελεσματικές στη σύγκρουση μεταξύ τους όσο ήταν και οι παλιότερες, πιο πρωτόγονες και απλές μορφές στη δική τους σύγκρουση. Υπήρξε πρόοδος στο σχεδιασμό, όχι όμως και πρόοδος στα αποτελέσματα, και αυτό συνέβη επειδή και οι δύο πλευρές προόδευαν εξίσου. Πραγματικά, επειδή ακριβώς υπήρξε μια ίση περίπου πρόοδος και από τις δύο πλευρές, επιτεύχθηκε μια τόσο μεγάλη πρόοδος στο επίπεδο του σχεδιασμού. Αν μια πλευρά, ας πούμε η αντιπυραυλική συσκευή παρεμβολών, κατόρθωνε να προπορευτεί κατά πολύ στον ανταγωνισμό των

σχεδιασμών, η άλλη πλευρά, ο πυραυλος σ' αυτή την περίπτωση, θα έπαινε να χρησιμοποιείται και να κατασκευάζεται με άλλα λόγια, θα «εξαφανιζόταν». Έτσι, το φαινόμενο της Κόκκινης Βασίλισσας μέσα στο πλαίσιο του ανταγωνισμού των εξοπλισμών δεν είναι καθόλου παράδοξο όπως στο αρχικό παράδειγμα της Αλίκης, αλλά, αντίθετα, αποδεικνύεται ότι αποτελεί ένα θεμελιώδες στοιχείο της ίδιας της ιδέας της προοδευτικής βελτίωσης.

Είπα ότι οι ασύμμετροι ανταγωνισμοί εξοπλισμών είναι πιθανότερο να οδηγήσουν σε ενδιαφέρουσες προοδευτικές βελτιώσεις, και όχι οι συμμετρικοί, και τώρα μπορούμε να δούμε γιατί συμβαίνει αυτό, χρησιμοποιώντας το παράδειγμα των ανθρώπινων όπλων. Αν ένα κράτος έχει μια βόμβα 2 μεγατόνων, το εχθρικό κράτος θα κατασκευάσει μια βόμβα 5 μεγατόνων. Αυτό αναγκάζει το πρώτο κράτος να κατασκευάσει μια βόμβα 10 μεγατόνων, πράγμα που με τη σειρά του οδηγεί το δεύτερο κράτος στην κατασκευή μιας βόμβας 20 μεγατόνων, και ούτω καθεξής. Αυτός είναι ένας γνήσιος βελτιωτικός ανταγωνισμός εξοπλισμών: κάθε πρόοδος της μιας πλευράς προκαλεί μια αντίστοιχη πρόοδο της άλλης, και το αποτέλεσμα είναι μια σταθερή αύξηση κάποιου μεγέθους με το πέρασμα του χρόνου –σ' αυτή την περίπτωση, το μέγεθος είναι η εκρηκτική ισχύς των βομβών. Αλλά δεν υπάρχει μια λεπτομερής, αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία ανάμεσα στα όπλα ενός τέτοιου συμμετρικού ανταγωνισμού εξοπλισμών. Δεν υπάρχει μια ακριβής αντιστοίχιση ανάμεσα στις λεπτομέρειες του σχεδιασμού, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του ασύμμετρου ανταγωνισμού που είδαμε στο παράδειγμα με τον πυραυλο και την ειδική συσκευή παρεμβολών. Η συσκευή αυτή σχεδιάζεται ειδικά για να εξουδετερώνει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του πυραύλου, και ο σχεδιαστής της λαμβάνει υπόψη του μικροσκοπικές λεπτομέρειες του σχεδιασμού του πυραύλου. Στη συνέχεια, ο σχεδιαστής της επόμενης γενιάς πυραύλων, προσπαθώντας να εξουδετερώσει το αντίδοτο, χρησιμοποιεί τις λεπτομέρειες γνώσεις που διαθέτει αναφορικά με τον συγκεκριμένο σχεδιασμό του αντίδοτου της προηγούμενης γενιάς. Αυτό δεν ισχύει για τις βόμβες, των οποίων αυξάνεται απλώς η εκρηκτική ισχύς. Βέβαια, οι σχεδιαστές της μιας πλευράς μπορεί να κλέβουν καλές

ιδέες και να μιμούνται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της άλλης. Ωστόσο, αν γίνεται αυτό, είναι τυχαίο. Δεν είναι απαραίτητο ο σχεδιασμός μιας ρωσικής βόμβας να έχει λεπτομερή αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία με συγκεκριμένες λεπτομέρειες μιας αμερικανικής βόμβας. Στην περίπτωση του ασύμμετρου ανταγωνισμού εξοπλισμών ανάμεσα σε μια «γενεαλογική σειρά» όπλων και ειδικών αντιδότων γι' αυτά τα όπλα, οι αμφιμονοσήμαντες αντιστοιχίες, με την πάροδο των διαδοχικών γενεών, οδηγούν σε μια ολοένα και μεγαλύτερη εξειδίκευση και πολυπλοκότητα.

Στον έμβιο κόσμο, επίσης, περιμένουμε να βρούμε πολύπλοκους και εξειδικευμένους σχεδιασμούς κάθε φορά που παρατηρούμε τα τελικά προϊόντα ενός μακροχρόνιου, ασύμμετρου ανταγωνισμού εξοπλισμών στον οποίο οι πρόοδοι από τη μια πλευρά ακολουθούνται, σε αμφιμονοσήμαντη βάση, από εξίσου επιτυχημένα αντίδοτα. Αυτό ισχύει εμφανέστατα στους ανταγωνισμούς εξοπλισμών ανάμεσα στους θηρευτές και στα θηράματα, και ίσως ακόμη περισσότερο ανάμεσα στα παράσιτα και στους ξενιστές. Τα ηλεκτρονικά και ακουστικά οπλικά συστήματα των νυχτερίδων, που τα εξετάσαμε στο Κεφάλαιο 2, διαθέτουν όλο τον λεπτό και πολύπλοκο σχεδιασμό που θα περιμέναμε από τα τελικά προϊόντα ενός μακροχρόνιου ανταγωνισμού εξοπλισμών. Δεν είναι παράξενο το γεγονός ότι παρατηρούμε τα αποτελέσματα του ίδιου ανταγωνισμού και στην άλλη πλευρά. Τα έντομα με τα οποία τρέφονται οι νυχτερίδες έχουν ένα αντίστοιχο οπλοστάσιο από εξελιγμένα ηλεκτρονικά και ακουστικά συστήματα. Μερικά λεπιδόπτερα μάλιστα εκπέμπουν υπερήχους παρόμοιους με της νυχτερίδας, οι οποίοι φαίνεται ότι παραπλανούν τις νυχτερίδες που τα καταδιώκουν. Σχεδόν όλα τα ζώα κινδυνεύουν είτε να φαγωθούν από άλλα ζώα είτε να μην κατορθώσουν να φάνε άλλα ζώα, και ένας τεράστιος αριθμός χαρακτηριστικών των ζώων έχει νόημα μόνο αν θυμηθούμε ότι πρόκειται για τα τελικά προϊόντα από μακροχρόνιους και άγριους ανταγωνισμούς εξοπλισμών. Ο H.B. Cott, συγγραφέας του κλασικού βιβλίου *Animal Coloration* (Ο χρωματισμός των ζώων), έθεσε πολύ σωστά το ζήτημα το 1940. Αυτή είναι ίσως η πρώτη φορά που εμφανίζεται σε ένα βιβλίο βιολογίας η αναλογία του ανταγωνισμού εξοπλισμών:

Πριν θεωρήσουμε ότι η παραπλανητική εμφάνιση μιας ακρίδας ή μιας πεταλούδας είναι σε περιττό βαθμό λεπτομερειακή, πρέπει πρώτα να διαπιστώσουμε ποιες είναι οι δυνατότητες αντίληψης και διάκρισης των φυσικών εχθρών αυτών των εντόμων. Αν δεν το κάνουμε αυτό, είναι σαν να θεωρούμε ότι ο εξοπλισμός ενός καταδρομικού πλοίου είναι πολύ θαρύς ή ότι το βεληνεκές των πυροβόλων του μεγαλύτερο απ' όσο θα έπρεπε, χωρίς να εξετάσουμε τη φύση και την αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού του εχθρού. Το γεγονός είναι ότι στην πρωτόγονη πάλη της ζούγκλας, όπως και στον «πολιτισμένο» πόλεμο, βλέπουμε να διεξάγεται ένας μεγάλος εξελικτικός ανταγωνισμός εξοπλισμών, του οποίου τα αποτελέσματα στον αμυντικό τομέα εμφανίζονται σε ικανότητες όπως η ταχύτητα, η επαγρύπνηση, η θωράκιση, τα αγκάθια, οι συνήθειες όρυξης, τα δηλητηριώδη εκκρίματα, η αηδιαστική γεύση και [η παραλλαγή και άλλα είδη προστατευτικού χρωματισμού]. Τα αποτελέσματά του στον επιθετικό τομέα εμφανίζονται σε ανυπανόητες όπως η ταχύτητα, ο αιφνιδιασμός, η ενέδρα, ο δολασμός, η οξύτητα της όρασης, τα νύχια, τα δόντια, το κεντρί και το δηλητηριώδες δάγκωμα. Όπως ακριβώς η μεγαλύτερη ταχύτητα του καταδιωκόμενου αναπτύχθηκε σε σχέση με την αυξημένη ταχύτητα του θηρευτή, ή η αμυντική θωράκιση σε σχέση με τα επιθετικά όπλα, έτσι και η τελειοποίηση των μεθόδων απόκρισης εξελίχθηκε ως αντίδραση στις αυξημένες ικανότητες αντίληψης.

Οι ανταγωνισμοί εξοπλισμών της ανθρώπινης τεχνολογίας είναι δυνατό να μελετηθούν πιο εύκολα από τα βιολογικά τους αντίστοιχα γιατί είναι πολύ ταχύτεροι. Μπορούμε να τους παρακολουθήσουμε καθώς εκτυλίσσονται από τον ένα χρόνο στον άλλο. Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση ενός βιολογικού ανταγωνισμού εξοπλισμών συνήθως μπορούμε να δούμε μόνο τα αποτελέσματα. Πολύ σπάνια απολιθώνεται ένα νεκρό ζώο ή φυτό, όταν όμως έχουμε στα χέρια μας τέτοια απολιθώματα είναι μερικές φορές δυνατό να δούμε λίγο πιο άμεσα τα προοδευτικά στάδια ενός ανταγωνισμού. Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα παραδείγματα αυτού του φαινομένου είναι ο ηλεκτρονικός ανταγωνισμός εξοπλισμών, που εκδηλώνεται με τις αλλαγές στο μέγεθος του εγκεφάλου των απολιθωμένων ζώων.



Ο ίδιος ο εγκέφαλος δεν απολιθώνεται, αλλά απολιθώνεται το κρανίο και η κοιλότητα μέσα στην οποία βρισκόταν αυτός –το εγκεφαλικό κρανίο. Αν, λοιπόν, μελετηθεί με προσοχή το εγκεφαλικό κρανίο, μπορεί να μας παράσχει μια καλή ένδειξη του μεγέθους του εγκεφάλου. Είπα «αν μελετηθεί με προσοχή», και η προϋπόθεση αυτή είναι σημαντική. Ένα από τα πολλά προβλήματα μιας τέτοιας μελέτης είναι το εξής: τα μεγάλα ζώα τείνουν εν μέρει να έχουν μεγάλο εγκέφαλο απλώς και μόνο επειδή είναι μεγάλα, αυτό όμως δεν σημαίνει αναγκαστικά ότι είναι, με οποιαδήποτε ουσιαστική έννοια του όρου, «πιο έξυπνα». Οι ελέφαντες έχουν μεγαλύτερο εγκέφαλο από τους ανθρώπους, αλλά μάλλον δικαιολογημένα θέλουμε να πιστεύουμε ότι είμαστε πιο έξυπνοι από τους ελέφαντες και ότι ο εγκέφαλός μας είναι «στην πραγματικότητα» μεγαλύτερος αν λάβουμε υπόψη μας το γεγονός ότι είμαστε πολύ μικρότερα ζώα. Οπωσδήποτε ο ανθρώπινος εγκέφαλος καταλαμβάνει πολύ μεγαλύτερο ποσοστό του σώματός μας απ' ό,τι ο εγκέφαλος του ελέφαντα, κάτι που φαίνεται από το φουσκωτό σχήμα του κρανίου μας. Αυτό δεν είναι ανθρώπινη ματαιοδοξία. Θεωρούμε ότι ένα σημαντικό τμήμα κάθε εγκεφάλου είναι απαραίτητο για να εκτελεί λειτουργίες φροντίδας του ίδιου του σώματος, και ένα μεγάλο σώμα χρειάζεται αυτομάτως και μεγάλο εγκέφαλο γι' αυτό το σκοπό. Επομένως, πρέπει να βρούμε κάποιον τρόπο για να «αφαιρέσουμε» από τους υπολογισμούς μας εκείνο το τμήμα του εγκεφάλου που μπορεί να αποδοθεί απλά στο μέγεθος του σώματος, ώστε να μπορούμε να συγκρίνουμε το υπόλοιπο, για να προσδιορίσουμε την πραγματική «εγκεφαλικότητα» των ζώων. Με άλλα λόγια, πρέπει να βρούμε έναν σωστό τρόπο για να ορίσουμε τι ακριβώς εννοούμε όταν λέμε «πραγματική εγκεφαλικότητα». Κάθε επιστήμονας μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποια διαφορετική μέθοδο υπολογισμού, αλλά ο πιο αξιόπιστος δείκτης είναι ίσως ο «δείκτης εγκεφαλοποίησης», ή EQ, ο οποίος χρησιμοποιείται από τον Harry Jerison, έναν αμερικανό επιστήμονα που είναι αυθεντία στον τομέα της ιστορίας του εγκεφάλου.

Ο EQ υπολογίζεται κάπως πολύπλοκα, με βάση το λογάριθμο του βάρους του εγκεφάλου και το λογάριθμο του βάρους του

σώματος, που στη συνέχεια τυποποιούνται ως προς τις μέσες τιμές για μια μεγάλη ομάδα ζώων, λόγω χάρη για τα θηλαστικά. Όπως ακριβώς ο «δείκτης νοημοσύνης», ή IQ, του οποίου κάνουν χρήση (ή κατάχρηση) οι ψυχολόγοι, είναι τυποποιημένος ως προς τον μέσο όρο ενός ολόκληρου πληθυσμού, έτσι και ο EQ είναι τυποποιημένος, για παράδειγμα, ως προς όλα τα θηλαστικά. Ένας IQ 100 σημαίνει, εξ ορισμού, ότι το άτομο έχει IQ ίσο με τον μέσο όρο ενός ολόκληρου πληθυσμού. Με τον ίδιο τρόπο, ένας EQ 1 σημαίνει, εξ ορισμού, ότι το συγκεκριμένο είδος έχει EQ ίσο με τον μέσο όρο, λόγω χάρη, των θηλαστικών που έχουν ίδιο μέγεθος με αυτό το είδος. Οι λεπτομέρειες της μαθηματικής μεθόδου δεν έχουν σημασία. Για να το πούμε απλά, ο EQ ενός συγκεκριμένου είδους όπως είναι ο ρινόκερος ή η γάτα, αποτελεί μέτρο του πόσο μεγαλύτερος (ή μικρότερος) είναι ο εγκέφαλος του ζώου απ' όσο θα περιμέναμε να είναι με βάση το μέγεθος του σώματος του ζώου. Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται αυτή η αναμενόμενη τιμή είναι οπωσδήποτε ένα θέμα ανοιχτό σε κριτική και αμφισβητήσεις. Το γεγονός ότι οι άνθρωποι έχουν EQ 7 και οι ρινόκεροι έχουν EQ 0,3 μπορεί να μη σημαίνει κυριολεκτικά ότι οι άνθρωποι είναι 23 φορές εξυπνότεροι από τους ρινόκερους! Αλλά ο EQ, έτσι όπως υπολογίζεται, μας λέει κάτι για την «υπολογιστική ισχύ» που διαθέτει ο εγκέφαλος ενός ζώου, πάνω και πέρα από την ελάχιστη υπολογιστική ισχύ που χρειάζεται για τη λειτουργία του μεγάλου ή του μικρού σώματός του.

Οι EQ των διαφόρων σύγχρονων θηλαστικών παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία. Τα ποντίκια έχουν EQ 0,8, λίγο κάτω από τον μέσο όρο όλων των θηλαστικών. Οι σκίουροι έχουν κάπως υψηλότερο δείκτη, περίπου 1,5. Μπορεί ο τρισδιάστατος κόσμος των δέντρων να απαιτεί πρόσθετη υπολογιστική ισχύ για τον έλεγχο των αλμάτων ακριβείας που πρέπει να κάνει ένας σκίουρος, και ακόμη περισσότερο για την ανεύρεση των καλύτερων διαδρομών μέσα σε ένα λαβύρινθο κλαδιών που μπορεί παρακάτω να συναντιούνται ή να μη συναντιούνται με άλλα κλαδιά. Οι μαϊμούδες βρίσκονται πολύ πάνω από τον μέσο όρο, και ο δείκτης των ανθρωποειδών πίθηκων (και ιδιαίτερα του ανθρώπου) είναι ακόμη υψηλότερος. Μερικά είδη ανάμεσα στις μαϊμούδες έχουν υ-

ψηλότερο ΕΟ από άλλα, και είναι ενδιαφέρον το γεγονός ότι ο δείκτης παρουσιάζει κάποια σχέση με τον τρόπο με τον οποίο τρέφεται το κάθε είδος: οι μαιμούδες που τρώνε έντομα και καρπούς έχουν μεγαλύτερο εγκέφαλο, για το μέγεθός τους, από τις μαιμούδες που τρώνε φύλλα. Βέβαια, είναι λογικό να υποστηρίξει κανείς ότι ένα ζώο χρειάζεται μικρότερη υπολογιστική ισχύ για να θρει φύλλα, που αφθονούν παντού, απ' όση χρειάζεται για να θρει καρπούς, που απαιτούν αναζήτηση, ή για να πιάσει έντομα, τα οποία προσπαθούν να ξεφύγουν. Δυστυχώς, οι έρευνες έχουν αρχίσει να δείχνουν ότι τα πράγματα μπορεί να είναι πιο πολύπλοκα και ότι ορισμένες άλλες μεταβλητές, όπως ο μεταβολικός ρυθμός, μπορεί να παίζουν σημαντικότερο ρόλο. Ανάμεσα στα θηλαστικά, τα σαρκοφάγα έχουν γενικά λίγο υψηλότερο ΕΟ από τα φυτοφάγα με τα οποία τρέφονται. Ο αναγνώστης θα έχει ίσως κάποιες ιδέες σχετικά με τα αίτια αυτής της κατάστασης, αλλά είναι δύσκολο να ελεγχθεί η εγκυρότητα αυτών των ιδεών. Πάντως, όποιος κι αν είναι ο λόγος, αυτή φαίνεται να είναι η πραγματικότητα.

Αυτά για τα σύγχρονα ζώα. Εκείνο που έκανε ο Jerison ήταν να θρει τον πιθανό ΕΟ ζώων που έχουν εξαφανιστεί και τώρα υπάρχουν μόνο ως απολιθώματα. Για να το κάνει αυτό, έπρεπε να υπολογίσει το μέγεθος του εγκεφάλου κατασκευάζοντας γύψινα εκμαγεία του εσωτερικού του εγκεφαλικού κρανίου. Η διαδικασία αυτή στηρίζεται σε πολλές εικασίες και υπολογισμούς, αλλά τα περιθώρια του σφάλματος δεν είναι τόσο μεγάλα ώστε να ματαιώνουν το όλο εγχείρημα. Σε τελική ανάλυση, μπορούμε να ελέγξουμε την ακρίβεια της μεθόδου των γύψινων εκμαγείων χρησιμοποιώντας σύγχρονα ζώα. Φανταζόμαστε ότι ένα κρανίο είναι το μόνο που έχει μείνει από ένα σύγχρονο ζώο, χρησιμοποιούμε ένα γύψινο εκμαγείο για να υπολογίσουμε πόσο μεγάλος είναι ο εγκέφαλός του και κατόπιν ελέγχουμε τον πραγματικό εγκέφαλο, για να δούμε πόσο ακριβής ήταν η εκτίμησή μας. Αυτοί οι έλεγχοι με τα σύγχρονα κρανία μάς δείχνουν ότι μπορούμε να εμπιστευόμαστε τις εκτιμήσεις του Jerison για τα απολιθωμένα κρανία. Τα συμπεράσματά του είναι, πρώτον, ότι οι εγκέφαλοι έχουν την τάση να μεγαλώνουν με την πάροδο εκα-

τομμυρίων ετών. Τα φυτοφάγα ζώα κάθε εποχής τείνουν να έχουν μικρότερους εγκέφαλους από τα σαρκοφάγα της ίδιας εποχής που τρέφονται με αυτά. Αλλά τα μεταγενέστερα φυτοφάγα τείνουν να έχουν μεγαλύτερο εγκέφαλο από τα προγενέστερα φυτοφάγα, και τα μεταγενέστερα σαρκοφάγα μεγαλύτερο εγκέφαλο από τα προγενέστερα σαρκοφάγα. Έτσι, τα απολιθώματα δείχνουν έναν ανταγωνισμό εξοπλισμών ανάμεσα στα σαρκοφάγα και στα φυτοφάγα, ή μάλλον μια σειρά από ανταγωνισμούς που διακόπτονται και ξαναρχίζουν. Αυτός είναι ένας ιδιαίτερα ενδιαφέρον παραλληλισμός με τους ανθρώπινους ανταγωνισμούς εξοπλισμών, αφού ο εγκέφαλος είναι ο υπολογιστής που χρησιμοποιούν τόσο τα σαρκοφάγα όσο και τα φυτοφάγα, και η ηλεκτρονική είναι ίσως ο τομέας που προοδεύει με τον ταχύτερο ρυθμό στη σύγχρονη ανθρώπινη τεχνολογία των εξοπλισμών.

Πώς τελειώνουν οι ανταγωνισμοί; Μερικές φορές μπορεί να τελειώσουν όταν η μια πλευρά εξαφανιστεί, οπότε η άλλη πλευρά μάλλον σταματά να εξελίσσεται προς αυτή τη συγκεκριμένη κατεύθυνση, και μάλιστα είναι πιθανόν ακόμη και να «οπισθοδρομήσει» για λόγους οικονομίας στους οποίους θα αναφερθούμε σε λίγο. Σε άλλες περιπτώσεις, οι οικονομικές πιέσεις μπορεί να επιβάλουν ένα τέλος στον ανταγωνισμό, και η κατάσταση αυτή μπορεί να παραμείνει σταθερή, παρόλο που η μια πλευρά βρίσκεται από κάποια άποψη σε μόνιμα πλεονεκτική θέση έναντι της άλλης. Ας πάρουμε ως παράδειγμα την ταχύτητα με την οποία τρέχει ένα ζώο. Πρέπει να υπάρχει ένα ανώτατο όριο στην ταχύτητα με την οποία μπορεί να τρέξει ένας κυναιλουργός ή μια γαζέλα, ένα όριο που επιβάλλεται από τους νόμους της φυσικής. Εντούτοις, ούτε οι κυναιλουργοί ούτε οι γαζέλες έχουν φτάσει σ' αυτό το όριο. Και οι δύο έχουν σταματήσει σε ένα κατώτερο όριο που πιστεύω ότι έχει καθοριστεί από οικονομικούς παράγοντες. Η τεχνολογία της μεγάλης ταχύτητας δεν είναι φτηνή. Απαιτεί μακριά οστά στα πόδια, δυνατούς μυς, μεγάλη χωρητικότητα των πνευμόνων. Αυτός ο εξοπλισμός μπορεί να αποκτηθεί από κάθε ζώο που θέλει να τρέξει γρήγορα, αλλά με την προϋπόθεση ότι θα αγοράσει με την καταβολή ενός τιμήματος, ενός τιμήματος που αυξάνεται με γοργό ρυθμό. Το τίμημα μπορεί να

μετρηθεί με βάση τον παράγοντα που οι οικονομολόγοι ονομάζουν «κόστος ευκαιρίας». Το κόστος ευκαιρίας κάποιου πράγματος μετριέται με το σύνολο όλων των άλλων πραγμάτων που πρέπει να απαρνηθεί κανείς για να το αποκτήσει. Το κόστος για να στείλει κανείς το παιδί του σε ένα ιδιωτικό σχολείο είναι όλα τα πράγματα που δεν μπορεί να αγοράσει επειδή θα πληρώνει τα διδάκτρα του σχολείου: ένα καινούριο αυτοκίνητο, κάποιες διακοπές στις οποίες δεν έχει πια την οικονομική άνεση να πάει (αν, από την άλλη μεριά, είναι τόσο πλούσιος ώστε να μπορεί να πληρώσει εύκολα για όλα αυτά, το κόστος ευκαιρίας για το συγκεκριμένο άτομο είναι μηδαμινό). Το τίμημα που καταβάλλει ο κυναίλουρος για να αποκτήσει μεγαλύτερους μυς στα πόδια είναι όλα τα άλλα πράγματα που θα μπορούσε να κάνει με τα υλικά και την ενέργεια που χρησιμοποιεί για να κατασκευάσει τους μυς των ποδιών (για παράδειγμα, θα μπορούσε να έχει περισσότερο γάλα για τα μικρά του).

Φυσικά δεν υπονοώ ότι οι κυναίλουροι κάνουν κοστολόγηση με το μυαλό τους! Όλοι αυτοί οι υπολογισμοί γίνονται αυτόματα από τη συνηθισμένη φυσική επιλογή. Ένας ανταγωνιστής κυναίλουρος που δεν έχει τόσο μεγάλους μυς στα πόδια μπορεί να μην τρέχει τόσο γρήγορα, έχει όμως αποθέματα πόρων για να παρασκευάσει περισσότερο γάλα και επομένως να μεγαλώσει ίσως ένα ακόμη μικρό. Τα περισσότερα μικρά θα ανατρέφονται από τους κυναιλουρούς που τα γονιδιά τους τους εξοπλίζουν με τον καλύτερο δυνατό συμβιβασμό ανάμεσα στην ταχύτητα, την παραγωγή γάλακτος και όλες τις άλλες ανάγκες που πρέπει να καλύψουν. Δεν είναι φανερό ποιος θα είναι ο βέλτιστος συμβιβασμός, λόγω χάρη, ανάμεσα στην παραγωγή γάλακτος και στην ταχύτητα. Οποσδήποτε θα μεταβάλλεται από το ένα είδος στο άλλο – μπορεί να μεταβάλλεται ακόμη και ανάμεσα σε άτομα του ίδιου είδους. Το μόνο βέβαιο είναι ότι αυτού του είδους οι συμβιβασμοί θα είναι αναπόφευκτοι. Όταν οι κυναιλουροι και οι γαζέλες φτάσουν στη μέγιστη δυνατή ταχύτητα που τους επιτρέπει η δική τους εσωτερική οικονομία, ο ανταγωνισμός εξοπλισμών ανάμεσά τους θα τερματιστεί.

Τα δύο είδη μπορεί να αναγκαστούν να σταματήσουν σε τέ-

τοιο σημείο, ώστε να μην υπάρχει ισοδυναμία ανάμεσά τους. Τα θηράματα μπορεί να καταλήξουν να δαπανούν σχετικά μεγαλύτερο μέρος του «προϋπολογισμού» τους για αμυντικά όπλα απ' όσο ξοδεύουν οι θηρευτές για επιθετικά όπλα. Ένας λόγος για τον οποίο μπορεί να συμβεί αυτό συνοψίζεται στο μύθο του Αισώπου: ο λαγός τρέχει πιο γρήγορα από την αλεπού, γιατί ο λαγός τρέχει για τη ζωή του, ενώ η αλεπού τρέχει απλώς για το φαγητό της. Από την άποψη της οικονομίας, αυτό σημαίνει ότι οι αλεπούδες που αξιοποιούν τους διαθέσιμους πόρους τους σε άλλες κατευθύνσεις μπορούν να τα καταφέρουν καλύτερα από τις αλεπούδες που ξοδεύουν όλους σχεδόν τους διαθέσιμους πόρους τους σε θηρευτική τεχνολογία. Από την άλλη πλευρά, μέσα στον πληθυσμό των λαγών, η ισοσκελίση του οικονομικού πλεονεκτήματος μετατοπίζεται προς εκείνους τους λαγούς που ξοδεύουν πολλά σε εξοπλισμό για να τρέχουν γρήγορα. Το αποτέλεσμα αυτών των οικονομικά ισοσκελισμένων προϋπολογισμών μέσα σε ένα είδος είναι ότι οι ανταγωνισμοί εξοπλισμών ανάμεσα σε είδη τείνουν να φτάνουν σε ένα αμοιβαία σταθερό τέλος, με τη μια πλευρά να προπορεύεται της άλλης.

Είναι απίθανο να παρακολουθήσουμε τέτοιους ανταγωνισμούς σε δυναμική εξέλιξη, γιατί είναι απίθανο να εκτυλίσσονται σε μια οποιαδήποτε συγκεκριμένη «στιγμή» του γεωλογικού χρόνου, όπως είναι η δική μας εποχή. Ωστόσο, μπορούμε να θεωρήσουμε τα ζώα που βλέπουμε στην εποχή μας ως τα αποτελέσματα ενός ανταγωνισμού εξοπλισμών που διεξήχθη στο παρελθόν.

Για να συνοψίσουμε το μήνυμα αυτού του κεφαλαίου: τα γονίδια επιλέγονται όχι για τις εγγενείς ιδιότητές τους, αλλά με βάση τις αλληλεπιδράσεις τους με το περιβάλλον. Ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο του περιβάλλοντος ενός γονιδίου είναι τα άλλα γονίδια. Ο γενικός λόγος για τον οποίο το στοιχείο αυτό του περιβάλλοντος έχει τόση σημασία είναι ότι τα άλλα γονίδια αλλάζουν κι αυτά με την πάροδο των γενεών. Αυτό έχει δύο κύρια είδη συνεπειών.

Πρώτον, σημαίνει αναγκαστικά ότι ευνοούνται αυτά τα γονίδια που έχουν την ιδιότητα να «συνεργάζονται» με εκείνα τα άλλα γονίδια τα οποία είναι πιθανό να συναντήσουν σε συνθήκες



που ευνοούν τη συνεργασία. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα, αν και όχι αποκλειστικά, για τα γονίδια του ίδιου είδους, γιατί αυτά βρίσκονται συχνά στο ίδιο κύτταρο, γεγονός που έχει οδηγήσει στην εξέλιξη μεγάλων ομάδων συνεργαζόμενων γονιδίων και τελικά στην εξέλιξη των ίδιων των σωμάτων, που αποτελούν τα προϊόντα της συνεργασίας τους. Ένα σώμα είναι ένα μεγάλο όχημα ή μια «μηχανή επιβίωσης» κατασκευασμένη από ένα συνεταιρισμό γονιδίων, για τη διατήρηση των αντιγράφων κάθε μέλους του συνεταιρισμού. Τα γονίδια συνεργάζονται γιατί κερδίζουν όλα από το ίδιο αποτέλεσμα –την επιβίωση και την αναπαραγωγή του κοινού σώματος– και επειδή αποτελούν ένα σημαντικό στοιχείο του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο η φυσική επιλογή ενεργεί πάνω σε κάθε γονίδιο.

Δεύτερον, οι περιστάσεις δεν ευνοούν πάντοτε τη συνεργασία. Τα γονίδια, κατά την πορεία τους μέσα στον γεωλογικό χρόνο, συναντιούνται επίσης μεταξύ τους σε συνθήκες που ευνοούν τον ανταγωνισμό. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα, αν και όχι αποκλειστικά, για τα γονίδια διαφορετικών ειδών. Το βασικό στοιχείο για τα διαφορετικά είδη είναι ότι τα γονιδιά τους δεν αναμειγνύονται, αφού τα μέλη διαφορετικών ειδών δεν μπορούν να ζευγαρώσουν μεταξύ τους. Όταν τα επιλεγμένα γονίδια ενός είδους αποτελούν το περιβάλλον μέσα στο οποίο επιλέγονται τα γονίδια ενός άλλου είδους, το αποτέλεσμα είναι συχνά ένας εξελικτικός ανταγωνισμός εξοπλισμών. Κάθε νέα γενετική βελτίωση που επιλέγεται από τη μια πλευρά του ανταγωνισμού –ας πούμε, τους θηρευτές– αλλάζει το περιβάλλον επιλογής των γονιδίων για την άλλη πλευρά –τα θηράματα. Οι ανταγωνισμοί αυτού του είδους είναι κυρίως υπεύθυνοι για τον φαινομενικά βελτιωτικό χαρακτήρα της εξέλιξης: για την ανάπτυξη ολοένα και μεγαλύτερης ταχύτητας, ή πτητικής ικανότητας, ή οξύτητας της όρασης, ή οξύτητας της ακοής, και ούτω καθεξής. Αυτοί οι ανταγωνισμοί εξοπλισμών δεν συνεχίζονται επ' άπειρον, αλλά σταθεροποιούνται όταν, για παράδειγμα, οι περαιτέρω βελτιώσεις γίνουν πολύ δαπανηρές για τα συγκεκριμένα ζώα.

Το κεφάλαιο αυτό ήταν δύσκολο, αλλά έπρεπε να συμπεριληφθεί στο βιβλίο. Χωρίς αυτό, θα είχαμε μείνει με την εντύπωση

ότι η φυσική επιλογή είναι μια καθαρά καταστροφική διαδικασία, ή στην καλύτερη περίπτωση μια διαδικασία αφαίρεσης. Είδαμε δύο τρόπους με τους οποίους η φυσική επιλογή μπορεί να αποτελέσει μια δημιουργική δύναμη. Ο ένας αφορά τις σχέσεις συνεργασίας ανάμεσα σε γονίδια του ίδιου είδους. Η θεμελιώδης παραδοχή μας πρέπει να είναι ότι τα γονίδια είναι «εγωιστικές» οντότητες, που εργάζονται για τη δική τους διάδοση μέσα στη γονιδιακή δεξαμενή του είδους. Αλλά επειδή το περιβάλλον ενός γονιδίου αποτελείται, σε τόσο μεγάλο βαθμό, από άλλα γονίδια που επιλέγονται επίσης μέσα στην ίδια γονιδιακή δεξαμενή, τα γονίδια θα ευνοηθούν αν κατορθώνουν να συνεργάζονται με τα άλλα γονίδια της ίδιας δεξαμενής. Γι' αυτό το λόγο έχουν εξελιχθεί μεγάλες ομάδες κυττάρων που συνεργάζονται έχοντας τους ίδιους σκοπούς. Γι' αυτό υπάρχουν τα σώματα, αντί να υπάρχουν ανεξάρτητοι αντιγραφείς, μαχόμενοι ακόμη μεταξύ τους μέσα στην αρχέγονη σούπα.

Τα σώματα αναπτύσσουν με την εξέλιξη μια ολοκληρωμένη και ενιαία σκοπιμότητα, γιατί τα γονίδια επιλέγονται μέσα στο περιβάλλον που παρέχουν τα άλλα γονίδια του ίδιου είδους. Αλλά επειδή τα γονίδια επιλέγονται επίσης μέσα στο περιβάλλον που παρέχουν τα άλλα γονίδια των διαφορετικών ειδών, αναπτύσσονται ανταγωνισμοί εξοπλισμών. Αυτοί αποτελούν την άλλη μεγάλη δύναμη που σθεί την εξέλιξη προς κατευθύνσεις που τις αναγνωρίζουμε ως «προοδευτικό» και πολύπλοκο «σχεδιασμό». Οι ανταγωνισμοί εξοπλισμών μάς δίνουν από τη φύση τους μια άσθηση ασταθούς και ανεξέλεγκτης διαδικασίας. Ορμούν προς το μέλλον με έναν τρόπο που, από μια άποψη, είναι άσκοπος και μάταιος, από μια άλλη προοδευτικός και αδιάκοπα συναρπαστικός για μας, τους παρατηρητές. Το επόμενο κεφάλαιο εξετάζει μια συγκεκριμένη και μάλλον ειδική περίπτωση εκρηκτικής, ανεξέλεγκτης εξέλιξης, την περίπτωση που ο Δαρβίνος είχε ονομάσει φυλετική επιλογή.

## ΕΚΡΗΞΕΙΣ ΚΑΙ ΣΠΕΙΡΕΣ

Ο ανθρώπινος νους αναζητεί παντού αναλογίες. Έχουμε μια ισχυρή τάση να βρίσκουμε κάποιο νόημα στις μικρές ομοιότητες που υπάρχουν ανάμεσα σε πολύ διαφορετικές διαδικασίες. Κάποτε στον Παναμά πέρασα πολλές ώρες παρακολουθώντας δύο αποικίες μυρμηγκιών του γένους *Αττα* που πολεμούσαν μεταξύ τους, και το μυαλό μου δεν μπορούσε να μη συγκρίνει το πεδίο της μάχης, όπως ήταν γεμάτο με κομμένα μέλη μυρμηγκιών, με τις φωτογραφίες που είχα δει από τη μάχη του Πασενταίλε, η οποία είχε διεξαχθεί κατά τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο. Σχεδόν άκουγα τα πυροβόλα και μύριζα τον καπνό. Λίγο μετά την έκδοση του πρώτου βιβλίου μου, του *Εγκοιστικού γονιδίου*, με πλησίασαν, ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, δύο κληρικοί που είχαν καταλήξει και οι δύο στην ίδια αναλογία ανάμεσα στις ιδέες το βιβλίου και στο δόγμα του προπατορικού αμαρτήματος. Ο Δαρβίνος εφάρμοζε με προσοχή την ιδέα της εξέλιξης σε ζωντανούς οργανισμούς των οποίων η σωματική μορφή αλλάζει κατά τη διάρκεια αμέτρητων γενεών. Οι διάδοχοί του μπαίνουν στον πειρασμό να βλέπουν την εξέλιξη στα πάντα: στη μεταβαλλόμενη μορφή του σύμπαντος, στα «στάδια» της ανάπτυξης των ανθρώπινων πολιτισμών, στη μόδα ως προς το μήκος της φούστας. Μερικές φορές τέτοιου είδους αναλογίες μπορεί να αποθούν εξαιρετικά γόνιμες, αλλά από την άλλη πλευρά είναι επίσης εύκολο να καταλήξουμε σε υπερβολές ή να ενθουσιαστούμε από ανα-

λογίες που είναι τόσο «σχνές», ώστε να μη μας βοηθούν καθόλου ή και, αντίθετα, να είναι καθαρά επιβλαβείς. Έχω συνηθίσει πια να λαμβάνω κάποιον αριθμό επιστολών από εκκεντρικά άτομα και έχω μάθει ότι ένα από τα βασικά γνωρίσματα της άγονης εκκεντρικής σκέψης είναι η υπερβολική και ενθουσιώδης χρήση αναλογιών.

Από την άλλη πλευρά, μερικές από τις μεγαλύτερες προόδους της επιστήμης έχουν επιτευχθεί επειδή ένα έξυπνο άτομο εντόπισε κάποια αναλογία ανάμεσα σε ένα θέμα που είχε ήδη κατανοηθεί και σε ένα άλλο που ήταν ακόμη μυστηριώδες. Το μυστικό είναι να θρίσκουμε μια ισορροπία ανάμεσα στην υπερβολική και χωρίς διάκριση χρήση των αναλογιών από τη μια, και στη στείρα απόρριψη των γόνιμων αναλογιών από την άλλη. Ο επιτυχημένος επιστήμονας και ο ασυνάρτητος εκκεντρικός ξεχωρίζουν από την ποιότητα της έμπνευσής τους. Ωστόσο, υπονιάζομαι ότι αυτό πρακτικά ισοδυναμεί με μια διαφορά όχι τόσο στην ικανότητά τους να παρατηρούν αναλογίες, όσο στην ικανότητά τους να απορρίπτουν τις ανόητες αναλογίες και να ασχολούνται με τις χρήσιμες. Παραβλέποντας το γεγονός ότι εδώ έχουμε μία ακόμη αναλογία ανάμεσα στην επιστημονική πρόοδο και στη δαρβινική εξελικτική επιλογή, η οποία μπορεί να είναι ανόητη ή μπορεί να είναι γόνιμη (και σίγουρα δεν είναι πρωτότυπη), ας έρθουμε στο θέμα που θα μας απασχολήσει σ' αυτό το κεφάλαιο. Θα σας παρουσιάσω δύο αλληλένδετες αναλογίες που προσωπικά με γεμίζουν έμπνευση, αλλά που, αν δεν είμαστε προσεκτικοί, μπορεί να τις εξωθήσουμε ως την υπερβολή. Η πρώτη είναι μια αναλογία ανάμεσα σε διάφορες διαδικασίες που παρουσιάζουν κάποια ομοιότητα με τις εκρήξεις. Η δεύτερη είναι μια αναλογία ανάμεσα στη γνήσια δαρβινική εξέλιξη και στο φαινόμενο που έχει ονομαστεί πολιτισμική εξέλιξη. Πιστεύω ότι αυτές οι αναλογίες μπορούν να αποδειχτούν γόνιμες – αυτό είναι φανερό, γιατί διαφορετικά δεν θα τους αφιέρωνα το κεφάλαιο. Εντούτοις, θέλω ταυτόχρονα να επιστήσω την προσοχή του αναγνώστη στους κινδύνους που προανέφερα.

Η ιδιότητα των εκρήξεων που σχετίζεται με το θέμα μας είναι αυτή που οι μηχανικοί ονομάζουν «θετική ανάδραση». Ο καλύτε-

ρος τρόπος για να κατανοήσουμε τη θετική ανάδραση είναι να τη συγκρίνουμε με το αντίθετό της, την αρνητική ανάδραση. Η αρνητική ανάδραση αποτελεί τη βάση των περισσότερων συστημάτων αυτομάτου ελέγχου και ρύθμισης- ένα από τα καλύτερα και πιο γνωστά παραδείγματά της είναι ο λεγόμενος ρυθμιστής του Watt. Μια «σωστή» μηχανή πρέπει να παρέχει την περιστροφική ισχύ της με σταθερό ρυθμό, το ρυθμό που είναι ο πιο κατάλληλος για να εκτελεστεί η συγκεκριμένη εργασία, το άλεσμα, η ύφανση, η άντληση, ή οτιδήποτε άλλο. Πριν ο Watt ανακαλύψει το ρυθμιστή του, το πρόβλημα ήταν ότι η ταχύτητα περιστροφής μιας ατμομηχανής εξαρτιόταν από την πίεση του ατμού. Όταν τροφοδοτούμε με καύσιμα το λέβητα, η μηχανή αρχίζει να γυρίζει πιο γρήγορα, κάτι που δημιουργεί προβλήματα σε ένα εργοστάσιο επεξεργασίας πρώτων υλών ή σε ένα υφαντουργείο, που χρειάζεται ομοιόμορφη παροχή κινητήριας δύναμης στα μηχανήματά του. Ο ρυθμιστής του Watt είναι μια αυτόματη βαλβίδα που ρυθμίζει τη ροή ατμού προς το έμβολο.

Το έξυπνο τέχνασμα σ' αυτή την περίπτωση ήταν να συνδεθεί η λειτουργία της βαλβίδας με την περιστροφική κίνηση που παράγεται από την ατμομηχανή, με τέτοιο τρόπο ώστε όσο πιο γρήγορα λειτουργεί η μηχανή τόσο περισσότερο να περιορίζεται ο ατμός από τη βαλβίδα. Αντίστροφα, όταν η μηχανή κινείται αργά, η βαλβίδα επιτρέπει τη δίοδο μεγαλύτερης ποσότητας ατμού. Έτσι, αν κάποια στιγμή η μηχανή λειτουργεί αργά, γρήγορα επιταχύνεται, και αν λειτουργεί με μεγάλη ταχύτητα, γρήγορα επιβραδύνεται. Ο συγκεκριμένος τρόπος με τον οποίο ο ρυθμιστής μετρά την ταχύτητα είναι απλός αλλά αποτελεσματικός και η αρχή αυτή χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα. Δύο μεταλλικές σφαίρες, στερεωμένες σε αρθρωτούς βραχίονες, υποχρεώνονται από έναν άξονα, που συνδέεται με την ατμομηχανή, να περιστρέφονται γύρω του. Όταν περιστρέφονται γρήγορα, οι σφαίρες ανεβαίνουν ψηλότερα - μια κίνηση που τους την επιτρέπουν οι αρθρώσεις των βραχιόνων- εξαιτίας της φυγόκεντρης δύναμης. Όταν περιστρέφονται αργά, χαμηλώνουν. Οι αρθρωτοί βραχίονες συνδέονται απευθείας με τη βαλβίδα ατμού. Με την κατάλληλη λεπτή ρύθμιση, η δράση του ρυθμιστή του Watt έχει ως αποτέλε-

σμα η περιστροφική κίνηση που παράγεται από την ατμομηχανή να γίνεται με σχεδόν σταθερή ταχύτητα, ακόμη και όταν υπάρχουν σημαντικές διακυμάνσεις στην τροφοδοσία του λέβητα με καύσιμα.

Η αρχή στην οποία βασίζεται ο ρυθμιστής του Watt είναι η αρνητική ανάδραση. Η «έξοδος» της μηχανής (σ' αυτή την περίπτωση η περιστροφική κίνηση) επανατροφοδοτεί τη μηχανή (δι-αμέσου της βαλβίδας ατμού). Η επανατροφοδότηση είναι αρνητική γιατί η υψηλή έξοδος (γρήγορη περιστροφή των σφαιρών) ασκεί αρνητική επίδραση στην είσοδο (παροχή ατμού). Αντίστροφα, η χαμηλή έξοδος (αργή περιστροφή των σφαιρών) ενισχύει την είσοδο (αυξάνει την παροχή του ατμού), ακολουθώντας και πάλι μια «αντιστροφή του προσήμου». Παρουσίασα την αρνητική ανάδραση απλώς και μόνο για να την αντιδιαστείλω με τη θετική ανάδραση. Ας θεωρήσουμε πως έχουμε μια ατμομηχανή με ένα ρυθμιστή του Watt και ας κάνουμε μια βασική αλλαγή. Αντιστρέφουμε το πρόσημο της σχέσης ανάμεσα στο σύστημα των σφαιρών και στη βαλβίδα ατμού. Τώρα, όταν οι σφαίρες περιστρέφονται γρήγορα, η βαλβίδα, αντί να κλείνει όπως την είχε σχεδιάσει ο Watt, *ανοίγει*. Αντίστροφα, όταν οι σφαίρες περιστρέφονται αργά, η βαλβίδα, αντί να αυξήσει τη ροή του ατμού, τη *μειώνει*. Σε μια κανονική μηχανή με ρυθμιστή του Watt, όταν η κίνηση αρχίζει να επιβραδύνεται, η τάση αυτή γρήγορα διορθώνεται και η ταχύτητα αυξάνεται πάλι στο επιθυμητό επίπεδο. Ωστόσο, η δική μας τροποποιημένη μηχανή κάνει ακριβώς το αντίθετο. Αν αρχίσει να επιβραδύνεται, αυτό την κάνει να επιβραδυνθεί ακόμη περισσότερο. Γρήγορα η παροχή ατμού διακόπτεται εντελώς και η ατμομηχανή *σταματά*. Αν, από την άλλη πλευρά, μια τέτοια μηχανή συμβεί να επιταχυνθεί ελαφρά, αντί η τάση αυτή να διορθωθεί όπως θα γινόταν σε μια κανονική ατμομηχανή, *αυξάνεται*. Η μικρή επιτάχυνση ενισχύεται από τον αντεστραμμένο ρυθμιστή, και η λειτουργία της μηχανής επιταχύνεται περισσότερο. Η επιτάχυνση ανατροφοδοτεί τη μηχανή επηρεάζοντάς την αυξητικά, με αποτέλεσμα να επιταχυνθεί ακόμη περισσότερο η λειτουργία της. Αυτό συνεχίζεται μέχρις ότου διαλυθεί η μηχανή και εκσφενδονιστεί ο σφόνδυλος



στον αέρα τρυπώντας ίσως τον τοίχο του εργοστασίου, ή ώσπου να μην μπορεί να αυξηθεί άλλο η πίεση του ατμού και να διαμορφωθεί με αυτό το τρόπο μια μέγιστη ταχύτητα.

Ενώ ο κανονικός ρυθμιστής του Watt χρησιμοποιεί την αρνητική ανάδραση, ο υποθετικός τροποποιημένος ρυθμιστής μας αποτελεί ένα παράδειγμα της αντίθετης διαδικασίας, της θετικής ανάδρασης. Οι διαδικασίες θετικής ανάδρασης έχουν ασταθή χαρακτηριστήρα εκτροπής προς τα άκρα. Μικρές αρχικές διαταραχές ενισχύονται συνεχώς και η διαδικασία ξεφεύγει από κάθε έλεγχο, εισερχόμενη σε μια επιταχυνόμενη σπειροειδή ανέλιξη, που κορυφώνεται είτε με την καταστροφή είτε με έναν τελικό περιορισμό της αυξητικής ή μειωτικής τάσης από κάποιο οριακό επίπεδο ελέγχου και μέσα από άλλες διαδικασίες. Οι μηχανικοί βρήκαν γόνιμη τη συνένωση μιας μεγάλης ποικιλίας διαδικασιών κάτω από το γενικό όνομα της αρνητικής ανάδρασης, και μιας άλλης μεγάλης ποικιλίας κάτω από το γενικό όνομα της θετικής ανάδρασης. Οι αναλογίες είναι γόνιμες όχι απλώς με μια αόριστη ποιοτική έννοια, αλλά επειδή όλες οι διαδικασίες περιγράφονται με τα ίδια βασικά μαθηματικά. Οι βιολόγοι που μελετούν φαινόμενα όπως ο έλεγχος της θερμοκρασίας στο σώμα και οι μηχανισμοί κορεσμού της πείνας, διαπίστωσαν ότι ήταν χρήσιμο να δανειστούν τα μαθηματικά της αρνητικής ανάδρασης από τους μηχανικούς. Τα συστήματα θετικής ανάδρασης χρησιμοποιούνται λιγότερο από εκείνα της αρνητικής ανάδρασης, τόσο από τους μηχανικούς όσο και από τους ζωντανούς οργανισμούς, παρά ταύτα, όμως, το θέμα αυτού του κεφαλαίου είναι η θετική ανάδραση.

Ο λόγος για τον οποίο οι μηχανικοί και οι ζωντανοί οργανισμοί χρησιμοποιούν τα συστήματα αρνητικής ανάδρασης περισσότερο από εκείνα της θετικής είναι, φυσικά, το γεγονός ότι η ελεγχόμενη ρύθμιση μιας λειτουργίας με τέτοιο τρόπο ώστε να παραμένει κοντά σε ένα βέλτιστο επίπεδο είναι χρήσιμη. Οι ασταθείς εκτροπές προς τα άκρα όχι μόνο δεν είναι χρήσιμες, αλλά μπορεί να αποθούν ακόμη και επικίνδυνες. Στη χημεία, η τυπική διαδικασία θετικής ανάδρασης είναι η έκρηξη, και συνήθως χρησιμοποιούμε τη λέξη «εκρηκτική» για να περιγράψουμε

μια εκτροπή προς τα άκρα. Για παράδειγμα, μιλάμε για «εκρηκτικό» χαρακτήρα. Ένας δάσκαλός μου, ένας καλλιεργημένος, ευγενικός και συνήθως καλοσυνάτος άνθρωπος, καμιά φορά είχε εκρήξεις θυμού. Όταν τον προκαλούσαν πολύ έντονα μέσα στην τάξη, στην αρχή δεν έλεγε τίποτε, αλλά το πρόσωπό του έδειχνε ότι κάτι ασυνήθιστο συνέβαινε μέσα του. Κατόπιν, άρχιζε να μιλά με έναν ήρεμο και λογικό τόνο: «Ω, Θεέ μου. Δεν μπορώ να κρατηθώ. Θα χάσω την ψυχραιμία μου. Κρυφτείτε κάτω από τα θρανία σας. Σας προειδοποιώ. Έρχεται». Η φωνή του γινόταν όλο και πιο δυνατή, και, όταν έφτανε στο κρεσέντο, άρπαζε ό,τι έβρισκε μπροστά του, βιβλία, σπόγγους (που ήταν ενισχυμένοι με ξύλο στο πίσω μέρος), πρες παπιέ, μελανοδοχεία, και τα πετούσε το ένα μετά το άλλο με όλη του τη δύναμη, αλλά ευτυχώς χωρίς μεγάλη ευστοχία, προς τη γενική κατεύθυνση του παιδιού που τον είχε προκαλέσει. Στη συνέχεια, ο θυμός του κόπαζε σιγά σιγά, και την επόμενη μέρα ζητούσε ευγενέστατα συγνώμη από το ίδιο παιδί. Ήξερε ότι είχε χάσει τον αυτοέλεγχό του, είχε πέσει θύμα ενός βρόχου θετικής ανάδρασης.

Ωστόσο, η θετική ανάδραση δεν οδηγεί μόνο σε εκτρεπόμενες προς τα άκρα αυξήσεις: μπορεί να οδηγήσει επίσης σε εκτρεπόμενες προς τα άκρα μειώσεις. Πρόσφατα παρακολούθησα μια συζήτηση της Συγκλήτου, του «κοινοβουλίου» του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης, που έπρεπε να αποφασίσει αν θα απένεμε ένα τιμητικό πτυχίο σε κάποιον. Η απόφαση ήταν αμφιλεγόμενη, κάτι ασυνήθιστο σ' αυτές τις περιπτώσεις. Μετά την ψηφοφορία, και στη διάρκεια των 15 λεπτών που χρειάζονταν για να καταμετρηθούν οι ψήφοι, μέσα στην αίθουσα επικρατούσε ένα γενικό βουητό συζητήσεων από τα μέλη που περίμεναν να ακούσουν το αποτέλεσμα. Κάποια στιγμή ο θόρυβος μειώθηκε, κατά παράξενο τρόπο, και επικράτησε απόλυτη σιωπή. Το αίτιο ήταν ένα συγκεκριμένο είδος θετικής ανάδρασης, που λειτούργησε ως εξής. Όταν επικρατεί ένας θόρυβος από συζητήσεις, παρουσιάζονται τυχαίες διακυμάνσεις στο επίπεδο του θορύβου, τόσο προς τα πάνω όσο και προς τα κάτω, τις οποίες συνήθως δεν προσέχουμε. Μια από αυτές τις τυχαίες διακυμάνσεις του θορύβου, με κατεύθυνση προς την ησυχία, έτυχε να είναι λίγο πιο έντονη από το συνηθισμένο,

με αποτέλεσμα κάποιοι να την προσέξουν. Επειδή όλοι περίμεναν με αγωνία να ανακοινωθεί το αποτέλεσμα της ψηφοφορίας, εκείνοι που άκουσαν την τυχαία μείωση του θορύβου έπαψαν να μιλούν και γύρισαν για να δουν τι συμβαίνει. Αυτό έκανε το γενικό επίπεδο του θορύβου να μειωθεί ακόμη περισσότερο, με αποτέλεσμα να το προσέξουν κι άλλοι, και να σταματήσουν κι αυτοί τη συζήτησή τους. Είχε ξεκινήσει μια διαδικασία θετικής ανάδρασης που συνεχίστηκε με μάλλον γρήγορο ρυθμό, ώσπου μέσα στην αίθουσα απλώθηκε απόλυτη σιωπή. Κατόπιν, όταν καταλάβαμε ότι δεν είχε βγει ακόμη το αποτέλεσμα, ακολούθησε ένα ομαδικό γέλιο και ο θόρυβος ανέθηκε και πάλι σταδιακά στο προηγούμενο επίπεδο.

Οι πιο αξιοπρόσεκτες και εντυπωσιακές περιπτώσεις θετικής ανάδρασης είναι εκείνες που προκαλούν όχι μείωση, αλλά εκτροπή προς τα άκρα αύξηση σε κάτι: μια πυρηνική έκρηξη, ένας δάσκαλος που χάνει την ψυχραιμία του, ένας καθγάς σε ένα μπαρ, μια κλιμάκωση αντεγκλήσεων και ύβρεων σε μια συζήτηση στα Ηνωμένα Έθνη. (Εδώ ο αναγνώστης θα μπορούσε να θυμηθεί την προειδοποίηση με την οποία άρχισα το κεφάλαιο.) Η σημασία της θετικής ανάδρασης στις διεθνείς σχέσεις αναγνωρίζεται σιωπηρά, όταν χρησιμοποιούμε λέξεις όπως «κλιμάκωση», όταν λέμε ότι η Μέση Ανατολή είναι μια «πυριτιδαποθήκη» και όταν μιλάμε για «σημεία ανάφλεξης». Μια από τις πιο γνωστές φράσεις που περιέχουν την ιδέα της θετικής ανάδρασης υπάρχει στο κατά Ματθαίον ευαγγέλιο: «Ὅστις γάρ ἔχει, δοθήσεται αὐτῷ καὶ περισσευθήσεται· ὅστις δὲ οὐκ ἔχει, καὶ ὃ ἔχει ἀρθήσεται ἀπ' αὐτοῦ». Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει τη θετική ανάδραση στην εξέλιξη. Υπάρχουν μερικά χαρακτηριστικά των έμβιων οργανισμών τα οποία μοιάζουν με τελικά προϊόντα μιας εκρηκτικής εξελικτικής εκτροπής προς τα άκρα που ωθείται από τη θετική ανάδραση. Μπορούμε να πούμε ότι οι ανταγωνισμοί εξοπλισμών του προηγούμενου κεφαλαίου είναι παραδείγματα μιας τέτοιας διαδικασίας, αλλά τα πιο εντυπωσιακά παραδείγματα είναι τα όργανα σεξουαλικής διαφήμισης.

Προσπαθήστε να πείσετε τον εαυτό σας, όπως είχαν προσπαθήσει να πείσουν κι εμένα όταν ήμουν προπτυχιακός φοιτητής,

ότι η ουρά του αρσενικού παγονιού είναι ένα πεζό λειτουργικό όργανο, όπως τα δόντια ή τα νεφρά, διαμορφωμένο από τη φυσική επιλογή για έναν εντελώς πρακτικό σκοπό, δηλαδή για να δείχνει ότι αυτό το πουλί ανήκει στο συγκεκριμένο είδος και όχι σε κάποιο άλλο. Δεν κατάφεραν να με πείσουν ποτέ, και αμφιβάλλω αν κι εσείς θα το πιστεύατε. Για μένα η ουρά του παγονιού έχει αναμφίβολα τη σφραγίδα της θετικής ανάδρασης. Είναι προφανώς το αποτέλεσμα κάποιας ανεξέλεγκτης, ασταθούς έκρηξης που συνέβη κατά τη διάρκεια του εξελικτικού χρόνου. Το ίδιο πίστευε και ο Δαρβίνος στη θεωρία που πρότεινε για τη φυλετική επιλογή, και την ίδια άποψη είχε εκφράσει σαφέστατα ο σπουδαιότερος από τους διαδόχους του, ο R.A. Fisher. Έπειτα από μερικούς σύντομους συλλογισμούς, στο βιβλίο του *The Genetical Theory of Natural Selection* (Η γενετική θεωρία της φυσικής επιλογής), καταλήγει στο ακόλουθο συμπέρασμα:

Η ανάπτυξη του πτερώματος στο αρσενικό, και η φυλετική προτίμηση τέτοιων χαρακτηριστικών εκ μέρους του θηλυκού, πρέπει επομένως να συμβαδίζουν, και εφόσον η διαδικασία παραμένει ανεξέλεγκτη από παράγοντες έντονης αντιεπιλογής, θα προχωρήσει με αυξανόμενη ταχύτητα. Σε περίπτωση ολοκληρωτικής απουσίας τέτοιων ελέγχων, είναι ευνόητο ότι η ταχύτητα της ανάπτυξης θα είναι ανάλογη με την ανάπτυξη που έχει ήδη επιτευχθεί, η οποία επομένως θα αυξάνεται εκθετικά με το χρόνο, ή αλλιώς, με γεωμετρική πρόοδο.

Είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστικό ότι αυτό που ο Fisher θεωρούσε «ευνόητο» δεν κατανοήθηκε πλήρως από τους άλλους επιστήμονες παρά μόνο ύστερα από μισό αιώνα. Δεν έκανε τον κόπο να επεξηγήσει τον ισχυρισμό του, ότι δηλαδή η εξέλιξη ενός φυλετικά ελκυστικού πτερώματος μπορεί να προχωρεί με συνεχώς αυξανόμενη ταχύτητα, κατά εκθετικό, εκρηκτικό τρόπο. Οι υπόλοιποι βιολόγοι χρειάστηκαν περίπου 50 χρόνια για να καταλάβουν τι εννοούσε και να διατυπώσουν εκ νέου το μαθηματικό επιχείρημα που πρέπει να χρησιμοποιήσει ο Fisher, είτε στο χαρτί είτε με το μυαλό του, για να καταλήξει σ' αυτό το συμπέρασμα. Θα προσπαθήσω τώρα να εξηγήσω με μη μαθηματική γλώση

σα αυτές τις μαθηματικές έννοιες που, στη σύγχρονη μορφή τους, αναπτύχθηκαν σε μεγάλο βαθμό από τον νεαρό αμερικανό μαθηματικό βιολόγο Russell Lande. Αν και δεν είμαι τόσο απαισιόδοξος όσο ο ίδιος ο Fisher, που το 1930 στον πρόλογο του βιβλίου του έγραφε ότι καμία προσπάθειά του δεν ήταν αρκετή για να κάνει το βιβλίο πιο εύκολο στη μελέτη, θα πρέπει να επαναλάβω τη φράση που χρησιμοποίησε ευγενικά ένας από τους κριτικούς του πρώτου μου βιβλίου: «Προειδοποιούμε τον αναγνώστη ότι θα πρέπει να φορέσει τα νοητικά αθλητικά παπούτσια του, γιατί διαβάζοντας αυτό το βιβλίο θα χρειαστεί να τρέξει». Ωστόσο, κι εγώ κατέβαλα έντονες προσπάθειες για να κατανοήσω αυτές τις δύσκολες ιδέες. Εδώ, και παρά τις διαμαρτυρίες του, πρέπει να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τον Alan Grafen, πρώην φοιτητή και νυν συνεργάτη μου, ο οποίος φημίζεται για τα μοναδικά νοητικά φτερωτά του σανδάλια. Επιπλέον όμως, ο Grafen διαθέτει την ακόμη πιο σπάνια ικανότητα να βγάζει τα σανδάλια του όταν το θέλει και να σκέφτεται ποιος είναι ο πιο σωστός τρόπος για να εξηγήσει κάτι στους άλλους. Χωρίς τη διδασκαλία του, απλούστατα δεν θα κατάφερα να γράψω το μεσαίο τμήμα αυτού του κεφαλαίου, και γι' αυτό αρνούμαι να του εκφράσω απλώς τις ευχαριστίες μου στον πρόλογο.

Πριν φτάσουμε σ' αυτά τα δύσκολα θέματα, πρέπει να γυρίσουμε πίσω και να πούμε μερικά πράγματα για την προέλευση της ιδέας της φυλετικής επιλογής. Έχει κι αυτή την αφετηρία της, όπως και τόσα άλλα θέματα του ίδιου τομέα, στον Κάρολο Δαρβίνο. Ο Δαρβίνος, αν και έδινε την κύρια έμφαση στην επιβίωση και τον αγώνα για την ύπαρξη, αναγνώριζε ταυτόχρονα ότι η ύπαρξη και η επιβίωση είναι απλώς τα μέσα για την επίτευξη ενός σκοπού. Ο σκοπός αυτός είναι η αναπαραγωγή. Ένας φασιανός μπορεί να ζήσει μέχρι τα γηρατειά του, αν όμως δεν έχει απογόνους, δεν θα μπορέσει να μεταβιβάσει τα χαρακτηριστικά του. Η επιλογή θα ευνοεί τις ιδιότητες που κάνουν ένα ζώο επιτυχημένο στον τομέα της αναπαραγωγής, και η επιβίωση είναι απλώς ένα μέρος της μάχης για την αναπαραγωγή. Σε άλλα μέρη της μάχης, η επιτυχία ανήκει σε εκείνους που είναι πιο ελκυστικοί για το αντίθετο φύλο. Ο Δαρβίνος είχε καταλάβει ότι, αν

ένας αρσενικός φασιανός ή ένα παγόνι ή ένα παραδείσιο πτηνό «αγοράσει» τη φυλετική ελκυστικότητα, ακόμη και με κόστος την ίδια του τη ζωή, μπορεί και πάλι να μεταβιβάσει τις φυλετικά ελκυστικές του ιδιότητες μέσα από τη μεγάλη του επιτυχία στην αναπαραγωγή πριν από το θάνατό του. Είχε καταλάβει επίσης ότι η ουρά του αρσενικού παγονιού πρέπει να αποτελεί ένα μειονέκτημα όσον αφορά την επιβίωση και είχε υποστηρίξει ότι το μειονέκτημα αυτό αντισταθμίζεται με το παραπάνω από την αυξημένη φυλετική ελκυστικότητα που δίνει στο αρσενικό. Ο Δαρβίνος, εκφράζοντας για άλλη μια φορά τη συμπάθειά του για την αναλογία της εξημέρωσης των ζώων, συνέκρινε την κότα με έναν άνθρωπο εκτροφέα που κατευθύνει την πορεία της εξέλιξης των κατοικίδιων ζώων με βάση τις δικές του αισθητικές προτιμήσεις. Θα μπορούσαμε κι εμείς να συγκρίνουμε την κότα με ένα άτομο που επιλέγει βιομορφές στον υπολογιστή, με βάση και πάλι την αισθητική προτίμηση.

Ο Δαρβίνος θεωρούσε τις προτιμήσεις του θηλυκού ως κάτι το δεδομένο. Η ύπαρξή τους ήταν ένα αξίωμα της θεωρίας του για τη φυλετική επιλογή, ήταν δηλαδή μια παραδοχή και όχι κάτι που μπορούσε να εξηγηθεί με βάση κάποιους άλλους παράγοντες. Εν μέρει γι' αυτό το λόγο η δαρβινική θεωρία της φυλετικής επιλογής είχε περιπέσει σε δυσμένεια, ώσπου διασώθηκε από τον Fisher το 1930. Δυστυχώς, πολλοί βιολόγοι είτε αγνοούσαν είτε δεν είχαν κατανοήσει τις θέσεις του Fisher. Η αντίρρηση την οποία πρόεβαλε ο Julian Huxley και άλλοι ήταν ότι οι προτιμήσεις του θηλυκού δεν αποτελούν αποδεκτή βάση για την οικοδόμηση μιας αληθινά επιστημονικής θεωρίας. Αλλά ο Fisher διέσωσε τη θεωρία της φυλετικής επιλογής εκλαμβάνοντας τις θηλυκές προτιμήσεις ως ένα αποδεκτό αντικείμενο φυσικής επιλογής, όχι λιγότερο αποδεκτό από τις ουρές των αρσενικών. Η προτίμηση του θηλυκού είναι μια εκδήλωση του νευρικού του συστήματος. Το θηλυκό νευρικό σύστημα αναπτύσσεται κάτω από την επίδραση των γονιδίων του οργανισμού, και επομένως οι ιδιότητές του πιθανότατα έχουν επηρεαστεί από την επιλογή που έχει συντελεστεί σε προηγούμενες γενιές. Ενώ άλλοι πίστευαν ότι τα αρσενικά στολίδια εξελίσσονται χάρη στην επίδραση των



στατικών θηλυκών προτιμήσεων, ο Fisher έβλεπε τις προτιμήσεις αυτές να εξελίσσονται δυναμικά, συμβαδίζοντας με τα αρσενικά στολίδια. Ίσως έχετε αρχίσει ήδη να καταλαβαίνετε πώς θα συνδεθεί αυτό το στοιχείο με την ιδέα της εκρηκτικής θετικής ανάδρασης.

Όταν αναφερόμαστε σε δύσκολες θεωρητικές ιδέες, είναι συχνά χρήσιμο να έχουμε στο νου μας ένα συγκεκριμένο παράδειγμα από τον πραγματικό κόσμο. Εδώ θα χρησιμοποιήσω γι' αυτό το σκοπό τη μακριά ουρά ενός είδους αφρικανικού σπίνου, του *Eurplectes prognе*. Θα μπορούσαμε να εξετάσουμε οποιοδήποτε φυλετικά επιλεγμένο στολίδι, γι' αυτό αποφάσισα να αποφύγω την πελατημένη και να μη χρησιμοποιήσω την πανταχού παρούσα (σε συζητήσεις για τη φυλετική επιλογή) ουρά του παγωνιού. Ο αρσενικός σπίνος είναι ένα λεπτό μαύρο πουλί με πορτοκαλί μπαλώματα στους ώμους. Έχει ίδιο μέγεθος με το σπουργίτι, με τη διαφορά ότι κατά την εποχή του ζευγαρώματος τα κύρια φτερά της ουράς μπορεί να φτάσουν σε μήκος τα 45 εκατοστά. Ο σπίνος εμφανίζεται συχνά να κάνει την εντυπωσιακή του πτήση πάνω από τα λιβάδια της Αφρικής, διαγράφοντας κύκλους και βρόχους, σαν αεροπλάνο που σέρνει πίσω του διαφημιστική επιγραφή. Όταν βρέχει, συνήθως παραμένει στο έδαφος, γεγονός που δεν μας εκπλήσσει: μια τόσο μακριά ουρά δεν είναι εύκολο να μεταφερθεί, ακόμη και όταν είναι στεγνή. Εδώ μας ενδιαφέρει να εξηγήσουμε την εξέλιξη της μακριάς ουράς, για την οποία υποθέτουμε ότι ήταν το αποτέλεσμα μια εκρηκτικής εξελικτικής διαδικασίας. Επομένως, η αφετηρία μας θα είναι ένας πρόγονος χωρίς μακριά ουρά. Φανταστείτε ότι αυτή η προγονική ουρά είχε μήκος γύρω στα 7,5 εκατοστά, δηλαδή το ένα έκτο περίπου του μήκους που έχει η ουρά του σύγχρονου αρσενικού κατά την εποχή του ζευγαρώματος. Η εξελικτική αλλαγή που προσπαθούμε να εξηγήσουμε είναι ο εξαπλασιασμός αυτού του μήκους.

Είναι προφανές ότι, όταν μετράμε σχεδόν οποιοδήποτε μέγεθος στο σώμα των ζώων, τα περισσότερα μέλη του είδους θα βρίσκονται αρκετά κοντά στον μέσο όρο, ενώ μερικά θα είναι λίγο πάνω από τον μέσο όρο και μερικά λίγο κάτω από αυτόν. Μπορούμε να είμαστε βέβαιοι ότι στην προγονική μορφή του

σπίνου υπήρχε μια ολόκληρη σειρά από διαφορετικά μήκη ουράς, όπου η ουρά μερικών πουλιών ήταν μακρύτερη και μερικών κοντότερη από τον μέσο όρο των 7,5 εκατοστών. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το μήκος της ουράς ελέγχεται από μεγάλο αριθμό γονιδίων. Το καθένα από αυτά ασκεί μια μικρή επίδραση στο μήκος, αλλά οι επιδράσεις τους αθροίζονται και, σε συνδυασμό με τις επιδράσεις του διαιτολογίου και άλλων περιβαλλοντικών παραμέτρων, καθορίζουν το μήκος της ουράς ενός συγκεκριμένου πουλιού. Οι μεγάλες ομάδες γονιδίων που οι επιδράσεις τους αθροίζονται ονομάζονται πολυγονίδια. Τα περισσότερα ανθρώπινα μεγέθη, όπως για παράδειγμα το ύψος και το βάρος μας, επηρεάζονται από μεγάλους αριθμούς πολυγονιδίων. Το μαθηματικό μοντέλο της φυλετικής επιλογής που θα παρουσιάσω, εκείνο το Russell Lande, είναι ένα μοντέλο πολυγονιδίων.

Τώρα πρέπει να στρέψουμε την προσοχή μας στα θηλυκά και στον τρόπο με τον οποίο επιλέγουν τους συντρόφους τους. Η παραδοχή ότι τα θηλυκά είναι αυτά που επιλέγουν τους συντρόφους τους και όχι τα αρσενικά μπορεί να φαίνεται σεξιστική. Είναι αλήθεια ότι υπάρχουν βάσιμοι θεωρητικοί λόγοι που μας κάνουν να πιστεύουμε κάτι τέτοιο (βλ. *Το εργασιτικό γονίδιο*), και διαπιστώνουμε ότι όντως αυτό συμβαίνει και στην πράξη. Είναι βέβαιο ότι οι σύγχρονοι αρσενικοί σπίνοι προσελκύουν «χαρέμια» περίπου από μισή ντουζίνα θηλυκά. Αυτό σημαίνει ότι μέσα στον πληθυσμό υπάρχει ένα πλεόνασμα αρσενικών που δεν τεκνοποιούν. Αυτό, με τη σειρά του, σημαίνει ότι τα θηλυκά δεν δυσκολεύονται να βρουν συντρόφους και έχουν τη δυνατότητα να γίνονται εκλεκτικά. Ένα αρσενικό έχει πολλά να κερδίσει αν είναι ελκυστικό για τα θηλυκά. Αντίθετα, ένα θηλυκό έχει πολύ λίγα πράγματα να κερδίσει αν είναι ελκυστικό για τα αρσενικά, αφού σίγουρα «θα έχει ζήτηση».

Έτσι, αφού δεχτήκαμε ότι τα θηλυκά είναι αυτά που επιλέγουν, πρέπει να προχωρήσουμε στο επόμενο κρίσιμο βήμα που έκανε ο Fisher, κατατροπώνοντας τους επικριτές του Δαρβίνου. Αντί να θεωρήσουμε απλώς ότι τα θηλυκά έχουν αυθαίρετες προτιμήσεις, θεωρούμε ότι οι προτιμήσεις αυτές αποτελούν μια μεταβλητή που επηρεάζεται γενετικά, όπως και όλες οι άλλες. Οι

θηλυκές προτιμήσεις αποτελούν μια μεταβλητή, και μπορούμε να υποθέσουμε ότι ελέγχεται από πολυγονίδια με τον ίδιο τρόπο που ελέγχεται και το μήκος της ουράς των αρσενικών. Αυτά τα πολυγονίδια μπορεί να επιδρούν σε πολλά μέρη του εγκεφάλου του θηλυκού, ή ακόμη και στα μάτια του. Μπορεί να επηρεάζουν οτιδήποτε έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή των προτιμήσεών του. Το θηλυκό διαμορφώνει τις προτιμήσεις του λαμβάνοντας υπόψη πολλά χαρακτηριστικά του αρσενικού, όπως το χρώμα των μπαλωμάτων στους ώμους του, το σχήμα του ράμφους του, και ούτω καθεξής, αλλά εδώ μας ενδιαφέρει η εξέλιξη του μήκους της ουράς, και επομένως μας ενδιαφέρουν οι προτιμήσεις των θηλυκών για αρσενικές ουρές με διάφορα μήκη. Ως εκ τούτου, μπορούμε να μετρήσουμε την προτίμηση του θηλυκού με τις ίδιες ακριβώς μονάδες με τις οποίες μετράμε το μήκος της ουράς, δηλαδή σε εκατοστά. Τα πολυγονίδια θα φροντίσουν ώστε να υπάρχουν μερικά θηλυκά που προτιμούν αρσενικές ουρές μακρύτερες από το μέσο μήκος, μερικά άλλα που προτιμούν αρσενικές ουρές πιο κοντές, και κάποια άλλα που προτιμούν τις ουρές με μέσο μήκος.

Και τώρα θα γνωρίσουμε μια από τις βασικές ιδέες της θεωρίας. Τα γονίδια που καθορίζουν τις προτιμήσεις του θηλυκού εκφράζονται μόνο στη συμπεριφορά των θηλυκών, υπάρχουν όμως ταυτόχρονα και στα σώματα των αρσενικών. Και με τον ίδιο συλλογισμό, τα γονίδια που καθορίζουν το μήκος της ουράς του αρσενικού υπάρχουν και στα σώματα των θηλυκών, παρόλο που δεν εκφράζονται εκεί. Δεν είναι δύσκολο να καταλάβουμε την ιδέα ότι υπάρχουν γονίδια που δεν εκφράζονται σε έναν οργανισμό. Αν ένας άντρας έχει γονίδια που του δίνουν μεγάλο πέος, είναι εξίσου πιθανό να τα μεταβιβάσει είτε στην κόρη του είτε στο γιο του. Τα εν λόγω γονίδια μπορεί να εκφραστούν στο γιο, ενώ στην κόρη, φυσικά, δεν θα συμβεί κάτι τέτοιο, αφού δεν έχει πέος. Ωστόσο, αν ο άντρας αυτός αποκτήσει κάποτε εγγονούς, οι γιοι της κόρης του έχουν ίσες πιθανότητες με τους γιους του γιου του να κληρονομήσουν το μεγάλο πέος. Τα γονίδια μπορεί να μεταφέρονται σε ένα σώμα αλλά να μην εκφράζονται. Με τον ίδιο τρόπο, ο Fisher και ο Lande θεωρούν ότι τα γονίδια που

καθορίζουν την προτίμηση του θηλυκού μεταφέρονται και στα αρσενικά σώματα, αν και εκφράζονται μόνο στα θηλυκά. Αντίστοιχα, τα γονίδια που καθορίζουν το μήκος της ουράς του αρσενικού μεταφέρονται και στα σώματα των θηλυκών, έστω και αν δεν εκφράζονται σ' αυτά.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα ειδικό μικροσκόπιο που μας επιτρέπει να βλέπουμε μέσα στα κύτταρα οποιουδήποτε πουλιού και να επιθεωρούμε τα γονιδιά του. Ας πάρουμε ένα αρσενικό που η ουρά του είναι μακρύτερη από τον μέσο όρο και ας δούμε τα γονίδια μέσα στα κύτταρά του. Αν εξετάσουμε πρώτα τα γονίδια που καθορίζουν το μήκος της ουράς, θα διαπιστώσουμε, όπως είναι φυσικό, ότι έχει τα γονίδια που δίνουν μακριά ουρά - αυτό είναι προφανές, αφού το συγκεκριμένο πουλί έχει μακριά ουρά. Αλλά ας δούμε τώρα τα γονίδια που καθορίζουν την προτίμηση στις ουρές. Εδώ δεν έχουμε κανένα ενδεικτικό στοιχείο από την εξωτερική εμφάνιση του πουλιού, αφού τα γονίδια αυτά εκφράζονται μόνο στα θηλυκά. Πρέπει να κοιτάξουμε με το μικροσκόπιο μας. Τι θα δούμε; Γονίδια που κάνουν τα θηλυκά να προτιμούν τις μακριές ουρές. Αντίστροφα, αν κοιτάξουμε τα γονίδια ενός αρσενικού που έχει κοντή ουρά, θα πρέπει να δούμε και γονίδια που κάνουν τα θηλυκά να προτιμούν κοντές ουρές. Αυτό είναι ένα βασικό στοιχείο του επιχειρήματος. Ας δούμε ποιο είναι το σκεπτικό.

Αν είμαι αρσενικό με μακριά ουρά, υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες να είχε και ο πατέρας μου μακριά ουρά. Αυτή είναι μια συνηθισμένη κληρονομικότητα. Επιπλέον, αφού ο πατέρας μου επιλέχθηκε ως σύντροφος από τη μητέρα μου, σημαίνει ότι υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες η μητέρα μου να προτιμούσε τα αρσενικά με τις μακριές ουρές. Επομένως, αν έχω κληρονομήσει γονίδια για μακριά ουρά από τον πατέρα μου, είναι επίσης πιθανό να έχω κληρονομήσει και γονίδια για προτίμηση της μακριάς ουράς από τη μητέρα μου. Με τον ίδιο συλλογισμό, αν έχω κληρονομήσει τα γονίδια που δίνουν κοντή ουρά, το πιθανότερο είναι να έχω κληρονομήσει επίσης και τα γονίδια που κάνουν τα θηλυκά να προτιμούν την κοντή ουρά.

Μπορούμε να ακολουθήσουμε τους ίδιους συλλογισμούς για

τα θηλυκά. Αν είμαι ένα θηλυκό που προτιμά αρσενικά με μακριά ουρά, το πιθανότερο είναι να είχε την ίδια προτίμηση και η μητέρα μου. Επομένως, το πιθανότερο είναι ότι ο πατέρας μου είχε μακριά ουρά, αφού τον επέλεξε η μητέρα μου. Άρα, αν εγώ έχω κληρονομήσει τα γονίδια που με κάνουν να προτιμώ τις μακριές ουρές, κατά πάσα πιθανότητα θα έχω κληρονομήσει και τα γονίδια που δίνουν μακριά ουρά, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι δεν εκφράζονται στο θηλυκό μου σώμα. Επίσης, αν έχω κληρονομήσει γονίδια που με κάνουν να προτιμώ τις κοντές ουρές, το πιθανότερο είναι να έχω κληρονομήσει και γονίδια που δίνουν κοντή ουρά. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι κατά πάσα πιθανότητα, κάθε άτομο, σε όποιο φύλο κι αν ανήκει, περιέχει τόσο τα γονίδια που κάνουν τα αρσενικά να έχουν μια ορισμένη ιδιότητα, όσο και τα γονίδια που κάνουν τα θηλυκά να προτιμούν την ίδια αυτή ιδιότητα, όποια κι αν είναι.

Έτσι, τα γονίδια που καθορίζουν τις ιδιότητες του αρσενικού και τα γονίδια που κάνουν τα θηλυκά να προτιμούν αυτές τις ιδιότητες δεν θα είναι τυχαία αναμειγμένα μέσα στον πληθυσμό, αλλά θα τείνουν να αναμειγνύονται μαζί. Αυτή η «συνυπαρξη», που έχει το βαρύγδουπο επιστημονικό όνομα «ανισορροπία σύνδεσης», δίνει περίεργα αποτελέσματα στις εξισώσεις των μαθηματικών γενετιστών. Έχει παράξενες και θαυμάσιες συνέπειες, μια από τις οποίες, αν ο Fisher και ο Lande έχουν δίκιο, είναι η εκρηκτική εξέλιξη της ουράς στα παγόνια και στους σπίνους, καθώς και σε μια ολόκληρη σειρά από άλλα όργανα έλξης. Αυτές οι συνέπειες αποδεικνύονται μόνο με μαθηματικά, αλλά μπορούμε να τις περιγράψουμε με λόγια και μπορούμε επίσης να πάρουμε μια ιδέα για τα μαθηματικά επιχειρήματα χρησιμοποιώντας μη μαθηματική γλώσσα. Χρειαζόμαστε και πάλι τα νοητικά αθλητικά μας παπούτσια, αν και στη συγκεκριμένη περίπτωση μια καλύτερη αναλογία θα ήταν οι μπότες ορειβασίας. Κάθε βήμα του επιχειρήματος είναι αρκετά απλό, αλλά χρειάζεται μια μεγάλη σειρά από βήματα για να ανεβούμε στο βουνό της κατανόησης, και αν κάποιος χάσει ένα από τα πρώτα βήματα, δυστυχώς δεν θα μπορέσει να κάνει τα επόμενα.

Μέχρι τώρα έχουμε αναγνωρίσει τη δυνατότητα να υπάρχει

μια ολόκληρη σειρά προτιμήσεων των θηλυκών, από την προτίμηση για αρσενικά με μακριές ουρές ως την αντίθετη περίπτωση, την προτίμηση για αρσενικά με κοντές ουρές. Αλλά αν κάναμε μια πραγματική σφυγμομέτρηση της κοινής γνώμης των θηλυκών σε έναν συγκεκριμένο πληθυσμό, μάλλον θα βρίσκαμε ότι η πλειοψηφία τους έχει τα ίδια γενικά γούστα για τα αρσενικά. Μπορούμε να εκφράσουμε το *εύρος τιμών* των θηλυκών προτιμήσεων μέσα στον πληθυσμό με την ίδια μονάδα –τα εκατοστά– με την οποία εκφράσαμε το εύρος τιμών που μπορεί να έχει το μήκος της ουράς ενός αρσενικού. Επίσης, μπορούμε να εκφράσουμε με την ίδια μονάδα τη *μέση* θηλυκή προτίμηση. Τότε μπορεί να αποδειχτεί ότι η μέση θηλυκή προτίμηση είναι ακριβώς ίδια με το μέσο μήκος της ουράς των αρσενικών, δηλαδή 7,5 εκατοστά. Σ' αυτή την περίπτωση η επιλογή των θηλυκών δεν θα αποτελεί μια εξελικτική δύναμη που τείνει να αλλάξει το μήκος της ουράς των αρσενικών. Ή, πάλι, μπορεί να αποδειχτεί ότι η μέση θηλυκή προτίμηση κλίνει προς μια ουρά μακρύτερη από τον μέσο όρο που υπάρχει πραγματικά, για παράδειγμα, μπορεί τα θηλυκά να προτιμούν μια ουρά 10 εκατοστών και όχι 7,5. Αφήνοντας ανοιχτό προς το παρόν το ερώτημα του γιατί μπορεί να υπάρχει μια τέτοια ασυμφωνία, ας δεχτούμε την ύπαρξή της και ας θέσουμε το επόμενο προφανές ερώτημα. Αν τα περισσότερα θηλυκά προτιμούν αρσενικά με ουρά 10 εκατοστών, γιατί η πλειοψηφία των αρσενικών έχει ουρά 7,5 εκατοστών; Γιατί το μέσο μήκος της ουράς στον πληθυσμό δεν μετατοπίζεται στα 10 εκατοστά κάτω από την επίδραση της φυλετικής επιλογής; Πώς μπορεί να υπάρχει μια ασυμφωνία 2,5 εκατοστών ανάμεσα στο μέσο προτιμώμενο μήκος ουράς και στο πραγματικό μέσο μήκος ουράς;

Η απάντηση είναι ότι τα γούστα των θηλυκών δεν είναι η μοναδική επιλογή που επηρεάζει το μήκος της ουράς των αρσενικών. Οι ουρές παίζουν σημαντικό ρόλο κατά την πτήση, και αν μια ουρά είναι πολύ μακριά ή πολύ κοντή, θα μειώσει την ικανότητα πτήσης του πουλιού. Επιπλέον, μια μακριά ουρά κοστίζει περισσότερη ενέργεια για τη μεταφορά της, αλλά και για την ανάπτυξή της. Τα αρσενικά με ουρές μήκους 10 εκατοστών μπο-



ρεί να προσέλκυαν τα θηλυκά, αλλά το τίμημα που θα πλήρωναν θα ήταν η μειωμένη ικανότητα πτήσης, το υψηλότερο κόστος σε ενέργεια και ο μεγαλύτερος κίνδυνος που θα διέτρεχαν από τους εχθρούς τους. Μπορούμε να το εκφράσουμε αυτό λέγοντας ότι υπάρχει ένα βέλτιστο από άποψη λειτουργικότητας μήκος ουράς, που διαφέρει από το φυλετικά επιλεγόμενο βέλτιστο. Δηλαδή, πρόκειται για ένα μήκος ουράς που είναι ιδανικό με βάση τα συνηθισμένα πρακτικά κριτήρια, ένα μήκος ουράς που, εκτός από το να προσελκύει θηλυκά, είναι ιδανικό και από κάθε άλλη άποψη.

Άραγε, πρέπει να περιμένουμε ότι το πραγματικό μήκος της ουράς των αρσενικών, τα 7,5 εκατοστά στο υποθετικό μας παράδειγμα, θα είναι το ίδιο με τη βέλτιστη, από λειτουργική άποψη, τιμή; Όχι. Το βέλτιστο από λειτουργική άποψη μήκος πρέπει να είναι μικρότερο, ας πούμε 5 εκατοστά. Ο λόγος είναι ότι το πραγματικό μέσο μήκος ουράς (7,5 εκατοστά) προκύπτει ως αποτέλεσμα ενός συμβιβασμού ανάμεσα στη «λειτουργική» επιλογή, που τείνει να κάνει τις ουρές πιο κοντές, και στη φυλετική επιλογή, που τείνει να τις κάνει πιο μακριές. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι, αν τα αρσενικά δεν είχαν ανάγκη να προσελκύουν θηλυκά, το μέσο μήκος ουράς θα μειωνόταν προς τα 5 εκατοστά. Αντίθετα, αν τα αρσενικά δεν είχαν λόγους να ανησυχούν για την πτητική τους ικανότητα και το ενεργειακό κόστος, το μέσο μήκος της ουράς τους θα αυξανόταν προς τα 10 εκατοστά. Η πραγματική μέση τιμή των 7,5 εκατοστών είναι ένας συμβιβασμός.

Αφήσαμε αναπάντητο το ερώτημα γιατί τα θηλυκά μπορεί να προτιμούν, στο σύνολό τους, μια ουρά που παρεκκλίνει από το βέλτιστο από άποψη λειτουργικότητας μήκος. Με την πρώτη ματιά η ιδέα αυτή φαίνεται ανόητη. Τα θηλυκά που «ακολουθούν το συρμό» και προτιμούν ουρές που είναι μακρύτερες απ' όση θα έπρεπε, με βάση τα κριτήρια του καλού σχεδιασμού, θα έχουν γίους που θα πετούν αδέξια. Οποιοδήποτε μεταλλαγμένο θηλυκό που θα τύχαινε να έχει μια «εκτός συρμού» προτίμηση για αρσενικά με πιο κοντές ουρές, και ιδιαίτερα ένα μεταλλαγμένο θηλυκό που η προτίμησή του στις ουρές θα τύχαινε να συμπίπτει με το βέλτιστο από άποψη λειτουργικότητας μήκος, θα γεννούσε

γίους ικανότερους στην πτήση, οι οποίοι θα επικρατούσαν στον ανταγωνισμό με τους γίους των αντίξηλων θηλυκών που προτιμούν τις μακρύτερες ουρές. Αυτό αληθεύει, αλλά εδώ υπάρχει ένα πρόβλημα, που διαφαίνεται στην αναλογία του «συρμού». Οι γιοι του μεταλλαγμένου θηλυκού μπορεί να πετούν επιδέξια, όμως η πλειοψηφία των θηλυκών του πληθυσμού δεν θα τους βρίσκει έλκυστικούς. Θα προσελκύουν μόνο θηλυκά της μειοψηφίας, θηλυκά που αδιαφορούν για το συρμό. Και τα θηλυκά της μειοψηφίας είναι, εξ ορισμού, πιο δυσεύρετα από τα θηλυκά της πλειοψηφίας, για τον απλούστατο λόγο ότι είναι λιγότερα. Σε μια κοινωνία όπου μόνο ένα στα έξι αρσενικά ζευγαρώνει, και τα τυχερά αρσενικά έχουν μεγάλα χαρέμια, η ικανοποίηση των προτιμήσεων της πλειοψηφίας των θηλυκών θα παρέχει τεράστια οφέλη, τα οποία μπορεί κάλλιστα να είναι σημαντικότερα από το «λειτουργικό» κόστος σε ενέργεια και πτητική ικανότητα.

Αλλά ακόμη κι αν δεχτούμε κάτι τέτοιο, μπορεί να διαμαρτυρηθεί ο αναγνώστης, όλο αυτό το επιχειρήμα στηρίζεται σε μια αυθαίρετη παραδοχή. Αν δεχτούμε ότι τα περισσότερα θηλυκά προτιμούν τις μη λειτουργικές μακριές ουρές, θα επισημάνει ο αναγνώστης, τότε όλα τα υπόλοιπα έπονται λογικά. Αλλά γιατί διαμορφώθηκε αυτή η προτίμηση στην πλειοψηφία των θηλυκών; Γιατί τα θηλυκά δεν προτιμούν τις ουρές που είναι μικρότερες από το βέλτιστο από άποψη λειτουργικότητας μήκος, ή που είναι ακριβώς ίσες με αυτό; Γιατί δεν συμπίπτει ο συρμός με τη λειτουργικότητα; Η απάντηση είναι ότι θα μπορούσε να υπάρξει οποιοσδήποτε συνδυασμός προτιμώμενου και πραγματικού μήκους. Η υποθετική περίπτωση των θηλυκών που προτιμούν μακριές ουρές ήταν πραγματικά αυθαίρετη. Αλλά όποια κι αν τυχαίνει να είναι η προτίμηση της πλειοψηφίας των θηλυκών, και όσο αυθαίρετη κι αν είναι, θα υπάρχει μια τάση διατήρησης αυτής της προτίμησης μέσα από την επιλογή ή, κάτω από ορισμένες συνθήκες, μπορεί να υπάρχει ακόμη και μία τάση αύξησης του προτιμώμενου μήκους. Σ' αυτό το σημείο του επιχειρήματος γίνεται πραγματικά αισθητή η έλλειψη μαθηματικής δικαιολόγησης. Θα μπορούσα να ζητήσω από τον αναγνώστη να δεχτεί απλώς ότι οι μαθηματικοί συλλογισμοί του Lande αποδεικνύουν

αυτό τον ισχυρισμό και να μην επεκταθώ. Αυτή θα ήταν ίσως η πιο συνετή επιλογή, θα κάνω όμως μια προσπάθεια να εξηγήσω ένα μέρος της ιδέας με λόγια.

Το κλειδί του επιχειρήματος έγκειται σ' αυτό που είπαμε παραπάνω για την «ανισορροπία σύνδεσης», τη «συνύπαρξη» των γονιδίων που δίνουν ουρά ενός συγκεκριμένου μήκους –οποιοδήποτε μήκους– και των αντίστοιχων γονιδίων που δίνουν μια προτίμηση για ουρές του ίδιου μήκους. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αυτός ο «παράγοντας συνύπαρξης» είναι ένας μετρήσιμος αριθμός. Αν ο παράγοντας συνύπαρξης είναι πολύ μεγάλος, σημαίνει ότι, γνωρίζοντας τα γονίδια που καθορίζουν το μήκος της ουράς ενός ατόμου, μπορούμε να προβλέψουμε με μεγάλη ακρίβεια τι γονίδια θα έχει ως προς την προτίμηση για το μήκος της ουράς, και αντίστροφα. Αντίθετα, αν ο παράγοντας συνύπαρξης είναι μικρός, σημαίνει ότι, γνωρίζοντας τα γονίδια ενός πουλιού που αφορούν τον έναν από τους δύο τομείς –προτίμηση ή μήκος ουράς–, έχουμε μόνο μια αβέβαιη ένδειξη για τα γονίδιά του που αφορούν τον άλλο τομέα.

Εκείνο που επηρεάζει το μέγεθος του παράγοντα συνύπαρξης είναι η ένταση των προτιμήσεων των θηλυκών –πόσο ανέχονται τα αρσενικά τα οποία βλέπουν ως ατελή, σε ποιο βαθμό οι διακυμάνσεις στο μήκος της ουράς των αρσενικών καθορίζονται από γονίδια και όχι από περιβαλλοντικούς παράγοντες, και ούτω καθεξής. Αν, ως αποτέλεσμα όλων αυτών των επιδράσεων, ο παράγοντας συνύπαρξης –η ισχύς του δεσμού των γονιδίων που καθορίζουν το μήκος της ουράς με τα γονίδια που καθορίζουν τις προτιμήσεις στο μήκος της ουράς– είναι πολύ μεγάλος, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι κάθε φορά που ένα αρσενικό επιλέγεται λόγω της μακριάς ουράς του, δεν επιλέγονται μόνο τα γονίδια που δίνουν μακριά ουρά ταυτόχρονα, εξαιτίας του δεσμού «συνύπαρξης», επιλέγονται και τα γονίδια που δίνουν προτίμηση στις μακριές ουρές. Αυτό σημαίνει ότι τα γονίδια που κάνουν τα θηλυκά να επιλέγουν ουρές ενός συγκεκριμένου μήκους ουσιαστικά επιλέγουν αντίγραφα του εαυτού τους. Το βασικό χαρακτηριστικό, λοιπόν, μιας αυτοενισχυόμενης διαδικασίας είναι το ότι έχει τη δική της αυτοσυντηρούμενη ορμή. Το γεγονός και μόνο ότι η

εξέλιξη έχει αρχίσει να κινείται προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση μπορεί να την κάνει να διατηρήσει αυτή την κίνηση προς την ίδια κατεύθυνση.

Ένας άλλος τρόπος για να αντιληφθούμε αυτή την κατάσταση βασίζεται στο λεγόμενο «φαινόμενο της πράσινης γενειάδας». Πρόκειται για ένα ακαδημαϊκό βιολογικό αστείο που, αν και είναι εντελώς υποθετικό, δεν παύει να είναι διδακτικό. Χρησιμοποιήθηκε αρχικά για να εξηγηθεί η βασική αρχή στην οποία στηρίζεται η σημαντική θεωρία της επιλογής συγγενών, του W. D. Hamilton, που την έχω εξετάσει αναλυτικά στο *Εγωιστικό γονίδιο*. Ο Hamilton, ο οποίος τώρα είναι συνεργάτης μου στην Οξφόρδη, έδειξε ότι η φυσική επιλογή θα ευνοεί γονίδια που κάνουν το άτομο να συμπεριφέρεται αλτρουιστικά προς τους κοντινούς συγγενείς του, απλώς και μόνο επειδή υπάρχει μεγάλη πιθανότητα τα ίδια αυτά γονίδια να βρίσκονται και στα σώματα των συγγενών. Η υπόθεση της «πράσινης γενειάδας» παρουσιάζει το ίδιο θέμα πιο γενικά, αν και λιγότερο πρακτικά. Η συγγένεια, σύμφωνα με το επιχείρημα, είναι ένας μόνο από τους δυνατούς τρόπους με τους οποίους τα γονίδια μπορούν, ουσιαστικά, να εντοπίζουν αντίγραφα του εαυτού τους σε άλλα σώματα. Θεωρητικά, ένα γονίδιο θα μπορούσε να εντοπίζει τα αντίγραφα του εαυτού του με άλλους, πιο άμεσους τρόπους. Ας υποθέσουμε ότι εμφανίζεται ένα γονίδιο που ασκεί τις εξής δύο επιδράσεις (γονίδια με δύο ή περισσότερες επιδράσεις είναι συνηθισμένα): δίνει ένα ολοφάνερο χαρακτηριστικό, για παράδειγμα, πράσινη γενειάδα, και επίσης επηρεάζει τον εγκέφαλο των ατόμων με τέτοιο τρόπο ώστε να συμπεριφέρονται αλτρουιστικά προς τα άτομα με πράσινη γενειάδα. Ομολογουμένως αυτό είναι μια πολύ απίθανη σύμπτωση, αλλά αν συνέβαινε ποτέ, οι εξελικτικές συνέπειες είναι προφανείς. Το γονίδιο αυτό θα έτεινε να ευνοείται από τη φυσική επιλογή, για τους ίδιους ακριβώς λόγους για τους οποίους ευνοείται το γονίδιο που προκαλεί αλτρουισμό προς τους απογόνους ή τους αδελφούς. Κάθε φορά που ένα άτομο με πράσινη γενειάδα βοηθάει ένα άλλο, το γονίδιο που δίνει αυτό τον επιλεκτικό αλτρουισμό θα ευνοεί ένα αντίγραφο του εαυτού του. Η εξάπλωση του γονιδίου της πράσινης γενειάδας θα ήταν αυτόματη και αναπόφευκτη.

Κανείς δεν πιστεύει πραγματικά –ούτε κι εγώ ακόμη– ότι το φαινόμενο της πράσινης γενειάδας, σ' αυτή την υπεραπλουστευμένη μορφή, θα παρατηρηθεί ποτέ στον πραγματικό κόσμο. Στη φύση τα γονίδια ευνοούν επιλεκτικά τα αντίγραφα του εαυτού τους χρησιμοποιώντας, για να τα διακρίνουν, γνώρισμα λιγότερο συγκεκριμένα αλλά πιο πιθανά από την πράσινη γενειάδα. Η συγγένεια είναι ένα τέτοιο γνώρισμα. Ο χαρακτηρισμός «αδελφός» ή, ουσιαστικά, το γεγονός ότι «αυτός μόλις εκκολάφθηκε μέσα στη φωλιά όπου βρίσκομαι κι εγώ» είναι μια στατιστική «ετικέτα». Οποιοδήποτε γονίδιο κάνει τα άτομα να φέρονται αλτρουιστικά προς αυτούς που φέρουν μια τέτοια «ετικέτα», έχει πολλές πιθανότητες να βοηθάει αντίγραφα του εαυτού του, αφού οι αδελφοί πιθανότατα διαθέτουν τα ίδια γονίδια. Η θεωρία της επιλογής συγγενών του Hamilton μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τρόπος με τον οποίο το φαινόμενο της πράσινης γενειάδας μπορεί να εφαρμοστεί πρακτικά. Μην ξεχνάτε, παρεμπιπτόντως, ότι δεν υπονοούμε πως τα γονίδια «θέλουν» να βοηθούν τα αντίγραφα του εαυτού τους. Απλώς, οποιοδήποτε γονίδιο τυχαίνει να έχει αυτή την επίδραση, να βοηθάει αντίγραφα του εαυτού του, θα τείνει αυτόματα να γίνει πιο πολυάριθμο στον πληθυσμό.

Η συγγένεια, λοιπόν, μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τρόπος με τον οποίο είναι δυνατό να εφαρμοστεί το φαινόμενο της πράσινης γενειάδας. Η θεωρία της φυλετικής επιλογής του Fisher μπορεί να θεωρηθεί ως ένας ακόμη τρόπος εφαρμογής του ίδιου φαινομένου. Όταν τα θηλυκά ενός πληθυσμού έχουν ισχυρές προτιμήσεις για συγκεκριμένα αρσενικά χαρακτηριστικά, έπεται, με βάση τη λογική που εξηγήσαμε, ότι κάθε αρσενικό σώμα θα τείνει να περιέχει αντίγραφα των γονιδίων που κάνουν τα θηλυκά να προτιμούν τα δικά του χαρακτηριστικά. Αν ένα αρσενικό έχει κληρονομήσει μακριά ουρά από τον πατέρα του, το πιθανότερο είναι ότι θα έχει κληρονομήσει ταυτόχρονα από τη μητέρα του τα γονίδια που την έκαναν να επιλέξει τη μακριά ουρά του πατέρα του. Αν έχει κοντή ουρά, το πιθανότερο είναι ότι διαθέτει και γονίδια που κάνουν τα θηλυκά να προτιμούν κοντές ουρές. Όταν, λοιπόν, ένα θηλυκό επιλέγει ένα αρσενικό, κατά πάσα πιθανότητα τα γονίδια που επηρεάζουν την επιλογή του θηλυκού *επιλέγουν*

αντίγραφα του εαυτού τους στα αρσενικά, χρησιμοποιώντας το μήκος της ουράς του αρσενικού ως γνώρισμα, ως «ετικέτα», με έναν τρόπο πιο πολύπλοκο από αυτόν με τον οποίο το υποθετικό γονίδιο της πράσινης γενειάδας χρησιμοποιεί ως διακριτικό γνώρισμα την πράσινη γενειάδα.

Αν τα μισά θηλυκά του πληθυσμού προτιμούσαν αρσενικά με μακριά ουρά και τα άλλα μισά προτιμούσαν αρσενικά με κοντή ουρά, τα γονίδια που καθορίζουν τη θηλυκή προτίμηση θα διάλεγαν και πάλι αντίγραφα του εαυτού τους, αλλά δεν θα υπήρχε καμιά τάση να ευνοείται γενικά το ένα ή το άλλο είδος ουράς. Μπορεί να υπήρχε μια τάση διάσπασης του πληθυσμού –σε μια φατρία που έχει μακριές ουρές και προτιμά μακριές ουρές, και σε μια φατρία που έχει κοντές ουρές και προτιμά κοντές ουρές. Αλλά ένας τέτοιος διαχωρισμός στις προτιμήσεις των θηλυκών αποτελεί ασταθή κατάσταση. Από τη στιγμή που θα άρχιζε να σχηματίζεται ανάμεσα στα θηλυκά μια πλειοψηφία ατόμων με κάποια προτίμηση, όσο μικρή κι αν ήταν, αυτή η πλειοψηφία θα ενισχυόταν στις επόμενες γενιές. Αυτό συμβαίνει επειδή τα αρσενικά που θα επιλέγονταν από τα θηλυκά της μειοψηφίας θα είχαν γιους που θα δυσκολεύονταν να βρουν συντρόφους, και επομένως τα θηλυκά της μειοψηφίας θα είχαν λιγότερους εγγονούς. Κάθε φορά που οι μικρές μειοψηφίες τείνουν να γίνουν ακόμη πιο μικρές μειοψηφίες και οι μικρές πλειοψηφίες τείνουν να γίνουν πιο μεγάλες πλειοψηφίες, έχουμε τη συνταγή της θετικής ανάδρασης: «Ὅστις γὰρ ἔχει, δοθήσεται αὐτῷ καὶ περισσευθήσεται· ὅστις δὲ οὐκ ἔχει, καὶ ὃ ἔχει ἀρθήσεται ἀπ’ αὐτοῦ». Οποτεδήποτε έχουμε μια ασταθή ισορροπία, κάθε αυθαίρετη, τυχαία διαταραχή της είναι αυτοενισχυόμενη. Έτσι, όταν κόβουμε έναν κορμό δέντρου δεν είμαστε βέβαιοι αν το δέντρο θα πέσει προς το βορρά ή προς το νότο. Το δέντρο μπορεί να παραμείνει σε ισορροπία για ένα σύντομο χρονικό διάστημα, από τη στιγμή όμως που θα αρχίσει να πέφτει προς τη μια ή προς την άλλη κατεύθυνση, τίποτε δεν μπορεί να το φέρει πίσω.

Δένοντας ακόμη πιο σφιχτά τις ορειβατικές μας μπότες, ετοιμαζόμαστε να κάνουμε ένα ακόμη βήμα. Θυμηθείτε ότι η επιλογή των θηλυκών «έλκει» τις ουρές των αρσενικών προς τη μια κα-



τεύθυνση, ενώ η «λειτουργική» επιλογή τις έλκει προς την άλλη (τις «έλκει» με την εξελικτική έννοια του όρου, βέβαια). Σε αυτές τις περιπτώσεις, το πραγματικό μέσο μήκος της ουράς είναι ένας συμβιβασμός ανάμεσα στις δύο «έλξεις». Και τώρα ας ορίσουμε μια ποσότητα που θα την ονομάσουμε «ασυμφωνία επιλογής». Είναι η διαφορά ανάμεσα στο πραγματικό μέσο μήκος της ουράς των αρσενικών ενός πληθυσμού και στο «ιδανικό» μήκος ουράς που θα προτιμούσε το μέσο θηλυκό του πληθυσμού. Η κλίμακα μέτρησης της ασυμφωνίας επιλογής είναι αυθαίρετη, όπως ακριβώς και οι κλίμακες θερμοκρασίας Φαρενάιτ και Κελσίου. Στην κλίμακα Κελσίου θεωρήθηκε βολικό να τοποθετηθεί το μηδέν στη θερμοκρασία όπου το νερό γίνεται πάγος· έτσι κι εμείς το βρίσκουμε βολικό να τοποθετήσουμε το δικό μας μηδέν στο σημείο όπου η έλξη της φυλετικής επιλογής εξισορροπεί απόλυτα την αντίθετη έλξη της «λειτουργικής» επιλογής. Με άλλα λόγια, μια μηδενική ασυμφωνία επιλογής σημαίνει ότι η εξελικτική αλλαγή σταματά, γιατί τα δύο αντίθετα είδη επιλογής ακυρώνουν το ένα το άλλο.

Προφανώς, όσο μεγαλύτερη είναι η ασυμφωνία επιλογής, τόσο ισχυρότερη θα είναι η εξελικτική «έλξη» που ασκούν τα θηλυκά ενάντια στην άλλη έλξη, της «λειτουργικής» φυσικής επιλογής. Εκείνο που μας ενδιαφέρει δεν είναι η απόλυτη τιμή που έχει η ασυμφωνία επιλογής κάποια συγκεκριμένη στιγμή, αλλά το πώς αυτή *αλλάζει* στις διαδοχικές γενιές. Ως αποτέλεσμα μιας δεδομένης ασυμφωνίας επιλογής, οι ουρές γίνονται μακρύτερες και ταυτόχρονα (μην ξεχνάτε ότι τα γονίδια που προκαλούν την επιλογή της μακριάς ουράς επιλέγονται μαζί με τα γονίδια που δίνουν μακριές ουρές) η ιδανική ουρά που προτιμούν τα θηλυκά επίσης γίνεται μακρύτερη. Έπειτα από μία γενιά τέτοιας διπλής επιλογής, τόσο το μέσο μήκος ουράς όσο και το μέσο προτιμώμενο μήκος ουράς έχουν αυξηθεί, αλλά ποια από τις δύο τιμές έχει αυξηθεί περισσότερο; Με άλλα λόγια, είναι σαν να ρωτάμε τι θα συμβεί στην ασυμφωνία επιλογής.

Η ασυμφωνία επιλογής μπορεί να έχει παραμείνει η ίδια (αν το μέσο μήκος ουράς και το μέσο προτιμώμενο μήκος ουράς έχουν αυξηθεί το ίδιο). Μπορεί επίσης να έχει μειωθεί (αν το

μέσο μήκος ουράς αυξήθηκε περισσότερο από το μέσο προτιμώμενο μήκος ουράς). Ή, τέλος, μπορεί να έχει αυξηθεί (αν το μέσο μήκος ουράς αυξήθηκε κάπως, αλλά το μέσο προτιμώμενο μήκος ουράς αυξήθηκε ακόμη περισσότερο). Αρχίζετε τώρα να καταλαβαίνετε ότι, αν η ασυμφωνία επιλογής μειώνεται ενώ οι ουρές μακραίνουν, το μήκος της ουράς θα εξελιχθεί προς ένα σταθερό μήκος ισορροπίας. Αλλά αν η ασυμφωνία επιλογής *αυξάνεται* καθώς οι ουρές μεγαλώνουν, οι μελλοντικές γενιές θα πρέπει θεωρητικά να έχουν ουρές που θα μεγαλώνουν με ολοένα και ταχύτερο ρυθμό. Αναμφίβολα, αυτό πρέπει να είχε υπολογίσει ο Fisher πριν από το 1930, αν και ο σύντομος τρόπος με τον οποίο είχε περιγράψει το φαινόμενο στα δημοσιευμένα έργα του δεν έγινε κατανοητός από τους συγχρόνους του.

Ας πάρουμε πρώτα την περίπτωση όπου η ασυμφωνία επιλογής μειώνεται με το πέρασμα των γενεών. Τελικά θα γίνει τόσο μικρή, ώστε η έλξη της προτίμησης των θηλυκών προς τη μια κατεύθυνση θα εξισορροπείται πλήρως από την έλξη της «λειτουργικής» επιλογής προς την άλλη. Τότε η εξελικτική αλλαγή θα σταματήσει, και λέμε ότι το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας. Ο Lande απέδειξε κάτι ενδιαφέρον γι' αυτό το θέμα: τουλάχιστον κάτω από ορισμένες συνθήκες, δεν υπάρχει μόνο ένα σημείο ισορροπίας αλλά πολλά (θεωρητικά υπάρχει άπειρος αριθμός τέτοιων σημείων, που σχηματίζουν μια ευθεία γραμμή στη σχετική γραφική παράσταση· αυτά έχουν τα μαθηματικά!). Για κάθε δύναμη «λειτουργικής» επιλογής που έλκει προς τη μια κατεύθυνση, η δύναμη της προτίμησης των θηλυκών εξελίσσεται έτσι ώστε να φτάσει στο σημείο να την εξισορροπεί.

Έτσι, αν οι συνθήκες είναι τέτοιες ώστε η ασυμφωνία επιλογής να μειώνεται με το πέρασμα των γενεών, ο πληθυσμός θα σταματήσει στο «πλησιέστερο» σημείο ισορροπίας. Εδώ η «λειτουργική» επιλογή που έλκει προς τη μια κατεύθυνση θα εξουδετερωθεί πλήρως από την επιλογή των θηλυκών που έλκει προς την άλλη, και οι ουρές των αρσενικών θα διατηρήσουν το ίδιο μήκος, ανεξάρτητα από το πόσο μεγάλο είναι. Ο αναγνώστης μπορεί να έχει καταλάβει ότι εδώ πρόκειται για ένα σύστημα αρνητικής ανάδρασης, είναι όμως ένα σύστημα αρνητικής ανά-

δρασης κάπως παράξενου είδους. Μπορούμε πάντοτε να αντιληφθούμε ότι έχουμε ένα σύστημα αρνητικής ανάδρασης αν το «διαταράξουμε» έτσι ώστε να απομακρυνθεί από το ιδανικό σημείο, το σημείο της ισορροπίας του. Για παράδειγμα, αν διαταράξουμε τη θερμοκρασία του δωματίου ανοίγοντας το παράθυρο, ο θερμοστάτης θα αντιδράσει ανάβοντας το καλοριφέρ για να αντισταθμίσει τη μεταβολή.

Πώς μπορεί να διαταραχθεί το σύστημα της φυλετικής επιλογής; Ουμνηθείτε ότι εδώ μιλάμε για την εξελικτική χρονική κλίμακα, επομένως είναι δύσκολο να κάνουμε πειράματα –το αντίστοιχο τού να ανοίξουμε το παράθυρο– και να δούμε τα αποτελέσματα πριν πεθάνουμε. Αναμφίβολα όμως στη φύση το σύστημα διαταράσσεται συχνά, για παράδειγμα από αυτόματες, τυχαίες διακυμάνσεις στους αριθμούς των αρσενικών, διακυμάνσεις που οφείλονται σε τυχαία συμβάντα. Κάθε φορά που συμβαίνει αυτό, και με δεδομένες τις συνθήκες που έχουμε αναφέρει ως τώρα, ένας συνδυασμός «λειτουργικής» και φυλετικής επιλογής θα επαναφέρει τον πληθυσμό στο πλησιέστερο από τα σημεία που ανήκουν στο σύνολο των σημείων ισορροπίας. Πιθανότατα, το σημείο αυτό δεν θα είναι το ίδιο με το προηγούμενο, το σύστημα όμως θα ισορροπήσει σε ένα άλλο σημείο, λίγο ψηλότερα ή λίγο χαμηλότερα από το προηγούμενο, που θα βρίσκεται ωστόσο στη γραμμή των σημείων ισορροπίας. Έτσι, καθώς περνά ο χρόνος, ο πληθυσμός μπορεί να «κινείται» ανεβαίνοντας ή κατεβαίνοντας τη γραμμή των σημείων ισορροπίας. Μια άνοδος σ' αυτή τη γραμμή σημαίνει ότι οι ουρές μακραίνουν –θεωρητικά δεν υπάρχει όριο στο μέγιστο μήκος. Μια κάθοδος στη γραμμή σημαίνει ότι οι ουρές κονταίνουν –και θεωρητικά το μήκος μπορεί να φτάσει μέχρι το μηδέν.

Συχνά χρησιμοποιούμε το παράδειγμα ενός θερμοστάτη για να εξηγήσουμε την ιδέα του σημείου ισορροπίας. Μπορούμε να προσαρμόσουμε το ίδιο παράδειγμα για να εξηγήσουμε την πιο δύσκολη ιδέα μιας γραμμής από σημεία ισορροπίας. Ας υποθέσουμε ότι μέσα σε ένα δωμάτιο βρίσκεται μια συσκευή θέρμανσης και μια συσκευή ψύξης, καθεμιά από τις οποίες έχει τον δικό της θερμοστάτη. Και οι δύο θερμοστάτες είναι ρυθμισμένοι να

διατηρούν το δωμάτιο στην ίδια σταθερή θερμοκρασία, τους 20 βαθμούς Κελσίου. Αν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 20 βαθμούς, η συσκευή θέρμανσης τίθεται σε λειτουργία, η συσκευή ψύξης παύει να λειτουργεί. Αν η θερμοκρασία ανεβεί πάνω από τους 20 βαθμούς, συμβαίνει το αντίστροφο. Το ανάλογο του μήκους της ουράς δεν είναι η θερμοκρασία (η οποία παραμένει σταθερή στους 20 βαθμούς περίπου), αλλά ο συνολικός ρυθμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Πραγματικά, υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία. Μπορεί να επιτευχθεί με τις δύο συσκευές να λειτουργούν σε μεγάλη ένταση, με τη συσκευή θέρμανσης να παρέχει με όλη της τη δύναμη ζεστό αέρα και τη συσκευή ψύξης να λειτουργεί κι αυτή ασταμάτητα για να εξουδετερώσει τη ζέση. Ή μπορεί να επιτευχθεί με την πρώτη να παράγει λιγότερη ζέση και τη δεύτερη να λειτουργεί αντίστοιχα λιγότερο για να την εξουδετερώσει. Επίσης, ένας άλλος τρόπος είναι να μη λειτουργούν σχεδόν καθόλου οι δύο συσκευές. Προφανώς, η τελευταία λύση είναι και η πιο επιθυμητή όσον αφορά το λογαριασμό του ηλεκτρικού ρεύματος, αλλά αν εξετάσουμε μόνο τη διατήρηση της θερμοκρασίας στους 20 βαθμούς Κελσίου, όλη αυτή η μεγάλη σειρά από διαφορετικούς ρυθμούς λειτουργίας των δύο συσκευών είναι εξίσου ικανοποιητική. Έχουμε μια γραμμή από σημεία ισορροπίας και όχι ένα μοναδικό σημείο. Ανάλογα με το πώς ακριβώς έχει κατασκευαστεί το σύστημα, ανάλογα με τις υστερήσεις και άλλους παράγοντες που ενδιαφέρουν τους μηχανικούς, είναι θεωρητικά δυνατόν ο ρυθμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του δωματίου να μετατοπίζει πάνω και κάτω τη γραμμή των σημείων ισορροπίας, ενώ η θερμοκρασία θα παραμένει η ίδια. Αν η θερμοκρασία διαταραχθεί και πέσει λίγο κάτω από τους 20 βαθμούς Κελσίου, σύντομα θα επανέλθει στην προηγούμενη τιμή της, αυτό όμως δεν σημαίνει αναγκαστικά ότι οι δύο συσκευές θα επανέλθουν στην ίδια σχέση ρυθμών λειτουργίας. Μπορεί να καταλήξουν σε ένα διαφορετικό σημείο πάνω στη γραμμή ισορροπίας.

Στην πράξη, και από μηχανική άποψη, θα ήταν πολύ δύσκολο να δημιουργήσουμε ένα δωμάτιο έτσι ώστε να υπάρχει μια πραγ-

ματική γραμμή από σημεία ισορροπίας. Κατά πάσα πιθανότητα, η γραμμή θα «καταρρεύσει σε ένα σημείο». Αλλά και το επιχείρημα του Russell Lande σχετικά με τη γραμμή των σημείων ισορροπίας στη φυλετική επιλογή στηρίζεται σε παραδοχές που μπορεί κάλλιστα να μην ισχύουν στη φύση. Δέχεται, για παράδειγμα, ότι θα υπάρχει μια σταθερή παροχή νέων μεταλλάξεων. Δέχεται ότι η πράξη επιλογής από το θηλυκό δεν συνεπάγεται κανένα απολύτως κόστος. Αν αυτή η παραδοχή παραβιαστεί, κάτι που μπορεί κάλλιστα να συμβεί, η «γραμμή» των σημείων ισορροπίας καταρρέει σε ένα μοναδικό σημείο ισορροπίας. Αλλά όπως και να έχει το πράγμα, μέχρι τώρα εξετάσαμε μόνο την περίπτωση όπου η ασυμφωνία επιλογής μειώνεται με το πέρασμα των διαδοχικών γενεών. Κάτω από άλλες συνθήκες, η εν λόγω ασυμφωνία μπορεί να αυξηθεί.

Έχουν περάσει αρκετές σελίδες από τότε που αναφερθήκαμε στο θέμα, γι' αυτό ας το ξαναθυμηθούμε. Έχουμε έναν πληθυσμό στον οποίο τα αρσενικά εξελίσσονται ως προς κάποιο χαρακτηριστικό, όπως είναι το μήκος της ουράς στους αφρικανικούς σπίνους. Η εξέλιξη αυτή συντελείται κάτω από την επίδραση των προτιμήσεων των θηλυκών, που τείνουν να κάνουν τις ουρές μακρύτερες, και κάτω από την επίδραση της «λειτουργικής» επιλογής, που τείνει να κάνει τις ουρές πιο κοντές. Ο λόγος για τον οποίο υπάρχει μια ορμή προς την εξέλιξη μακρύτερης ουράς είναι το γεγονός ότι όποτε ένα θηλυκό επιλέγει ένα αρσενικό της κατηγορίας που προτιμά, επιλέγει ταυτόχρονα, εξαιτίας του μη τυχαίου συσχετισμού των γονιδίων, αντίγραφα των ίδιων των γονιδίων που το οδηγούν στη συγκεκριμένη επιλογή. Έτσι, στην επόμενη γενιά, όχι μόνο τα αρσενικά θα τείνουν να έχουν μακρύτερες ουρές, αλλά και τα θηλυκά θα τείνουν να έχουν πιο έντονη προτίμηση στις μακριές ουρές. Δεν είναι εμφανές ποια από αυτές τις δύο αυξητικές διαδικασίες θα έχει τον ταχύτερο ρυθμό, γενιά προς γενιά. Μέχρι τώρα εξετάσαμε την περίπτωση κατά την οποία το μήκος της ουράς αυξάνεται ταχύτερα, ανά γενιά, απ' ό,τι η αντίστοιχη προτίμηση. Τώρα θα εξετάσουμε την άλλη πιθανή περίπτωση, όπου το προτιμώμενο μήκος αυξάνεται με ταχύτερο ρυθμό, ανά γενιά, απ' ό,τι το πραγματικό μήκος της ουράς. Με

άλλα λόγια, θα εξετάσουμε την περίπτωση κατά την οποία η ασυμφωνία επιλογής, με το πέρασμα των γενεών, αυξάνεται αντί να μειώνεται όπως είδαμε να συμβαίνει στις προηγούμενες παραγράφους.

Εδώ οι συνέπειες σε θεωρητικό επίπεδο είναι ακόμη πιο αλλόκοτες από πριν. Αντί για αρνητική ανάδραση, έχουμε θετική. Καθώς περνούν οι γενιές, οι ουρές μακραίνουν, αλλά η επιθυμία των θηλικών για μακριές ουρές αυξάνεται με ακόμη ταχύτερο ρυθμό. Αυτό σημαίνει ότι, θεωρητικά, με την πάροδο των γενεών, οι ουρές θα γίνονται ακόμη μακρύτερες, και μάλιστα με έναν ολοένα και πιο γρήγορο ρυθμό. Θεωρητικά, οι ουρές θα συνεχίσουν να μακραίνουν ακόμη κι αν έχουν φτάσει σε μήκος 10 χιλιομέτρων. Στην πράξη, βέβαια, οι κανόνες του παιχνιδιού θα έχουν αλλάξει πριν η ουρά φτάσει σε ένα τέτοιο παράλογο μήκος, όπως ακριβώς η ατμομηχανή που ρυθμίζεται από τον αντεστραμμένο ρυθμιστή του Watt δεν θα συνεχίσει να επιταχύνει τη λειτουργία της μέχρι να φτάσει στις ένα εκατομμύριο στροφές ανά δευτερόλεπτο! Αλλά παρόλο που όταν φτάνουμε σε τέτοιες ακραίες καταστάσεις πρέπει να συγκρατούμε σε λογικά όρια τα συμπεράσματα του μαθηματικού μοντέλου, αυτά μπορεί κάλλιστα να ισχύουν για ένα φάσμα από πρακτικά εύλογες συνθήκες.

Τώρα, ύστερα από 50 χρόνια, μπορούμε να αντιληφθούμε τι εννοούσε ο Fisher όταν δήλωνε με τόλμη πως «είναι ευνόητο ότι η ταχύτητα της ανάπτυξης θα είναι ανάλογη προς την ανάπτυξη που έχει ήδη επιτευχθεί, η οποία επομένως θα αυξάνεται εκθετικά με το χρόνο, ή αλλιώς, με γεωμετρική πρόοδο». Το σκεπτικό του ήταν προφανώς το ίδιο με του Landé, όταν στην ίδια παράγραφο ο Fisher λέει: «Τα δύο χαρακτηριστικά που επηρεάζονται από μια τέτοια διαδικασία, δηλαδή η ανάπτυξη του πτερώματος στο αρσενικό και η φυλετική προτίμηση μιας τέτοιας ανάπτυξης εκ μέρους του θηλικού, πρέπει επομένως να συμβαδίζουν, και εφόσον η διαδικασία παραμένει ανεξέλεγκτη από παράγοντες έντονης αντιεπιλογής, θα προχωρήσει με συνεχώς αυξανόμενη ταχύτητα».

Το γεγονός ότι ο Fisher και ο Landé έφτασαν και οι δύο με μαθηματικούς συλλογισμούς στο ίδιο συμπέρασμα δεν σημαίνει



ότι η θεωρία τους αντικατοπτρίζει σωστά το τι συμβαίνει στη φύση. Μπορεί, όπως έχει πει ο Peter O'Donald, γενετιστής του Πανεπιστημίου του Καίμπριτζ και κορυφαία αυθεντία στη θεωρία της φυλετικής επιλογής, η ανεξέλεγκτη ιδιότητα που χαρακτηρίζει το μοντέλο του Lande να είναι ενσωματωμένη στις αρχικές του παραδοχές με τέτοιο τρόπο ώστε να αναδυθεί αναγκαστικά στο άλλο άκρο των μαθηματικών συλλογισμών. Μερικοί θεωρητικοί, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται ο Alan Grafen και ο W.D. Hamilton, προτιμούν εναλλακτικές θεωρίες στις οποίες η επιλογή που γίνεται από ένα θηλυκό ασκεί ένα πραγματικά ευεργετικό αποτέλεσμα στους απογόνους του, με μια έννοια λειτουργικότητας και ευγονισμού. Η θεωρία πάνω στην οποία εργάζονται και οι δύο είναι ότι τα θηλυκά πουλιά ενεργούν σαν γιατροί που κάνουν διαγνώσεις, επιλέγοντας εκείνα τα αρσενικά που είναι λιγότερο ευαίσθητα στα παράσιτα. Τα λαμπερά φτερά, σύμφωνα με αυτή τη χαρακτηριστικά ιδιοφυή θεωρία του Hamilton, είναι ένας τρόπος με τον οποίο το αρσενικό διαφημίζει την υγεία του.

Θα χρειαζόμασταν πολύ χρόνο για να εξηγήσουμε διεξοδικά τη θεωρητική σπουδαιότητα που έχουν τα παράσιτα. Με λίγα λόγια, το πρόβλημα που συναντούν όλες οι «ευγονικές» θεωρίες θηλυκής επιλογής ήταν πάντοτε το εξής: αν τα θηλυκά μπορούσαν πραγματικά να επιλέγουν επιτυχώς τα αρσενικά με τα καλύτερα γονίδια, η ίδια η επιτυχία τους θα μείωνε το φάσμα επιλογών που είναι διαθέσιμο στο μέλλον: τελικά, αν υπήρχαν μόνο καλά γονίδια, θα ήταν ανώφελο να γίνεται οποιαδήποτε επιλογή. Τα παράσιτα παραμερίζουν αυτή τη θεωρητική αντίρρηση. Ο λόγος είναι ότι, σύμφωνα με τον Hamilton, ανάμεσα στα παράσιτα και στους ξενιστές διεξάγεται ένας ασταμάτητος κυκλικός ανταγωνισμός εξοπλισμών. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει ότι τα «καλύτερα» γονίδια σε κάθε γενιά πουλιών δεν είναι ίδια με τα καλύτερα γονίδια των μελλοντικών γενεών. Ο εξοπλισμός που είναι απαραίτητος για να νικηθεί η τωρινή γενιά των παρασίτων δεν είναι αποτελεσματικός ενάντια στην επόμενη γενιά των εξελισσόμενων παρασίτων. Επομένως, θα υπάρχουν πάντοτε μερικά αρσενικά που, για γενετικούς λόγους, συμβαίνει να είναι καλύτε-

ρα εξοπλισμένα για να νικήσουν την τρέχουσα γενιά παρασίτων. Έτσι, τα θηλυκά μπορούν πάντοτε να ωφελήσουν τους απογόνους τους επιλέγοντας τα υγιέστερα αρσενικά της γενιάς. Τα μόνα γενικά κριτήρια που θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν διαδοχικές γενιές θηλυκών είναι οι ενδείξεις που παρατηρεί κάθε κτηνίατρος: λαμπερά μάτια, γυαλιστερό πτέρωμα, και ούτω καθεξής. Μόνο τα πραγματικά υγιή αρσενικά μπορούν να παρουσιάσουν αυτά τα γνωρίσματα υγείας, και έτσι η επιλογή ευνοεί εκείνα τα αρσενικά που τα προβάλλουν στο έπακρο, ή και που τα επιδεικνύουν σε υπερβολική μορφή, όπως συμβαίνει με τις μακριές ουρές του σπίνου ή του παγονιού.

Ωστόσο, η θεωρία των παρασίτων, αν και μπορεί κάλλιστα να είναι σωστή, δεν έχει σχέση με τις «εκρήξεις», που είναι το θέμα αυτού του κεφαλαίου. Επιστρέφοντας στη θεωρία της εκτροπής προς τα άκρα των Fisher και Lande, εκείνο που μας χρειάζεται τώρα είναι δεδομένα από πραγματικά ζώα. Αλλά με ποιον τρόπο πρέπει να αναζητήσουμε αυτά τα δεδομένα; Ποιες μεθόδους θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε; Μια μέθοδος που υπόσχεται πολλά χρησιμοποιήθηκε από τον Malte Andersson, από τη Σουηδία. Συμπτωματικά, ο Andersson μελέτησε το ίδιο πτηνό που χρησιμοποίησα εδώ ως παράδειγμα για να παρουσιάσω αυτές τις θεωρητικές ιδέες, τον αφρικανικό σπινό, και το παρατήρησε στο φυσικό του περιβάλλον, στην Κένυα. Η εκτέλεση των πειραμάτων του Andersson έγινε εφικτή χάρη σε μια πρόσφατη πρόοδο της τεχνολογίας: την υπερκόλλα. Το σκεπτικό του ήταν το εξής: αν είναι αλήθεια ότι το πραγματικό μήκος της ουράς των αρσενικών είναι ένας συμβιβασμός ανάμεσα σε ένα βέλτιστο από άποψη λειτουργικότητας μήκος από τη μια μεριά και στο μήκος που θέλουν πραγματικά τα θηλυκά από την άλλη, θα πρέπει να μπορούμε να κάνουμε ένα αρσενικό πάρα πολύ ελκυστικό, δίνοντάς του μια υπερβολικά μακριά ουρά. Γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε η υπερκόλλα. Θα περιγράψω με λίγα λόγια το πείραμα του Andersson, γιατί είναι ένα θαυμάσιο παράδειγμα καλού πειραματικού σχεδιασμού.

Ο Andersson έπιασε 36 αρσενικούς σπίνους και τους χώρισε σε εννέα τετραμελείς ομάδες. Κάθε ομάδα είχε την ίδια ακριβώς

μεταχείριση. Στο ένα μέλος (που επιλέχθηκε επιμελέστατα κατά τυχαίο τρόπο, ώστε να αποφευχθεί κάθε ασυνείδητη μεροληψία), έκοψαν τα φτερά της ουράς σε μήκος 14 εκατοστών. Τα φτερά που αφαίρεσαν τα κόλλησαν με υπερκόλλα ταχείας πήξεως στην άκρη της ουράς του δεύτερου μέλους της ομάδας. Έτσι, με τεχνητό τρόπο, η ουρά του πρώτου πουλιού έγινε πιο κοντή, και η ουρά του δεύτερου επιμηκύνθηκε. Το τρίτο πουλί το άφησαν χωρίς καμία επέμβαση στην ουρά του, για σύγκριση. Το τέταρτο το άφησαν κι αυτό με το ίδιο μήκος ουράς, αλλά όχι χωρίς επέμβαση: του έκοψαν τα άκρα των φτερών της ουράς του και μετά του τα ξανακόλλησαν. Αυτό μπορεί να φαίνεται ανώφελο, αλλά δείχνει πολύ καθαρά πόσο προσεκτικοί πρέπει να είμαστε στο σχεδιασμό πειραμάτων. Μπορεί το πουλί να επηρεαζόταν όχι από την ίδια την αλλαγή στο μήκος της ουράς του, αλλά από το γεγονός ότι έγινε κάποια επέμβαση στα φτερά της ουράς ή από το γεγονός ότι το άγγιξε ένας άνθρωπος. Η ομάδα 4 χρησίμευε για τον έλεγχο αυτών των επιδράσεων.

Η βασική ιδέα ήταν να συγκριθεί η επιτυχία που είχαν στο ζευγάρι τα τέσσερα μέλη της κάθε ομάδας. Κάθε αρσενικό, αφού το μεταχειρίστηκαν με έναν από τους τέσσερις τρόπους, αφέθηκε ελεύθερο να κατοικήσει και πάλι στη δική του περιοχή. Εκεί άρχισε τη συνηθισμένη ζωή του, προσπαθώντας να προσελκύσει θηλυκά, να ζευγαρώσει μαζί τους και να φτιάξει μια φωλιά όπου θα γεννούσαν τα αυγά. Το ερώτημα ήταν ποιο μέλος κάθε ομάδας θα είχε την περισσότερη επιτυχία στην προσέλκυση των θηλυκών. Ο Andersson μέτρησε αυτή την επιτυχία, όχι παρακολουθώντας τα θηλυκά, αλλά μετρώντας τον αριθμό των φωλιών που περιείχαν αυγά στην περιοχή του κάθε αρσενικού. Έτσι διαπίστωσε ότι τα αρσενικά των οποίων είχε επιμηκύνει την ουρά προσέλκυσαν σχεδόν τέσσερις φορές περισσότερα θηλυκά από τα αρσενικά των οποίων είχε κοντύνει την ουρά. Τα πουλιά που η ουρά τους είχε το φυσιολογικό μήκος είχαν ενδιάμεση επιτυχία.

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν στατιστικά για να διαπιστωθεί αν θα μπορούσαν να οφείλονται μόνο στην τύχη. Το συμπέρασμα ήταν ότι αν η προσέλκυση των θηλυκών ήταν το μοναδικό κριτή-

ριο, τα αρσενικά θα τα κατάφερναν καλύτερα έχοντας μεγαλύτερες ουρές από τις φυσιολογικές. Με άλλα λόγια, η φυλετική επιλογή έλκει συνεχώς τις ουρές («έλκει» με την εξελικτική έννοια του όρου) προς την κατεύθυνση της επιμήκυνσης. Το γεγονός ότι οι πραγματικές ουρές είναι πιο κοντές απ' όση θα προτιμούσαν τα θηλυκά δείχνει ότι πρέπει να υπάρχει κάποια άλλη πίεση επιλογής που περιορίζει το μήκος τους. Αυτή είναι η «λειτουργική» επιλογή. Φαίνεται ότι τα αρσενικά με ιδιαίτερα μακριές ουρές έχουν περισσότερες πιθανότητες να πεθάνουν απ' όσες τα αρσενικά με μέσο μήκος ουράς. Δυστυχώς, ο Andersson δεν είχε το χρόνο να παρακολουθήσει τη μοίρα των αρσενικών των οποίων είχε αλλάξει με τεχνητό τρόπο το μήκος της ουράς. Αν το είχε κάνει, η πρόβλεψη θα ήταν ότι τα αρσενικά που είχαν πρόσθετα φτερά κολλημένα στην ουρά τους θα πρέπει, κατά μέσο όρο, να πεθαίνουν νεότερα από τα φυσιολογικά αρσενικά, επειδή θα ήταν περισσότερο εκτεθειμένα στον κίνδυνο των αρπακτικών. Από την άλλη πλευρά, τα αρσενικά με τις τεχνητά κοντότερες ουρές θα πρέπει να ζούσαν περισσότερο από τα αρσενικά με φυσιολογικό μήκος ουράς. Αυτό συμβαίνει επειδή το φυσιολογικό μήκος αποτελεί ένα συμβιβασμό ανάμεσα στο βέλτιστο μήκος της φυλετικής επιλογής και στο βέλτιστο μήκος της «λειτουργικής» επιλογής. Υποτίθεται ότι τα πουλιά με τεχνητά μικρότερες ουρές πλησιάζουν περισσότερο στο βέλτιστο από άποψη λειτουργικότητας μήκος, και επομένως πρέπει να ζουν περισσότερο. Όλα αυτά τα συμπεράσματα, όμως, στηρίζονται σε πολλές υποθέσεις. Αν το κύριο μειονέκτημα μιας μακριάς ουράς από άποψη λειτουργικότητας είναι το κόστος της ανάπτυξης της και όχι οι αυξημένοι κίνδυνοι που διατρέχει το πουλί μετά την ανάπτυξής της, τα αρσενικά που αποκτούν την πολύ μακριά ουρά «στο πιάτο», σαν δώρο από τον Andersson, δεν θα πρέπει γι' αυτό το λόγο να πεθάνουν πιο νέα.

Μέχρι τώρα έχουμε θεωρήσει ότι η προτίμηση των θηλυκών θα τείνει να έλκει τις ουρές και τα άλλα στολίδια των αρσενικών προς την κατεύθυνση του αυξημένου μεγέθους. Στην πραγματικότητα, όπως είδαμε προηγουμένως, δεν υπάρχει λόγος η έλξη αυτή να μην έχει αντίθετη κατεύθυνση, έτσι ώστε, για παράδειγμα, να

κάνει τις ουρές κοντότερες και όχι μακρύτερες. Ο τρυποφράκτης έχει μια ουρά τόσο κοντή, ώστε όταν τη βλέπει κανείς αναρωτιέται μήπως είναι μικρότερη απ' όσο «θα έπρεπε» προκειμένου να εξυπηρετούνται καθαρά λειτουργικοί σκοποί. Ο ανταγωνισμός ανάμεσα στους αρσενικούς τρυποφράκτες είναι πολύ σκληρός, όπως θα μπορούσε να συμπεράνει κανείς από τη δυσανάλογα μεγάλη ένταση με την οποία κελαηδούν. Αυτό το κελάηδισμα αναγκαστικά πρέπει να είναι «δαπανηρό», και, όπως γνωρίζουμε, οι τρυποφράκτες μπορεί να πεθάνουν, κυριολεκτικά, από το κελάηδισμα. Τα επιτυχημένα αρσενικά έχουν περισσότερα από ένα θηλυκά στην περιοχή τους, όπως και οι σπίνοι. Σε ένα τέτοιο ανταγωνιστικό κλίμα, θα περιμέναμε να αρχίσει να λειτουργεί μια διαδικασία θετικής ανάδρασης. Μήπως η κοντή ουρά του τρυποφράκτη αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα μιας εκτρεπόμενης προς τα άκρα εξελικτικής σμίκρυνσης;

Αντιπαρερχόμενοι τους τρυποφράκτες, μπορούμε να πούμε ότι οι ουρές που έχουν τα παγόνια, οι αφρικανικοί σπίνοι και τα παραδείσια πουλιά, με την επιδεικτική υπερβολή τους, μπορούν εύλογα να θεωρηθούν αποτελέσματα μια εκρηκτικής, σπειροειδούς εξέλιξης που οφείλεται στη θετική ανάδραση. Ο Fisher και οι σύγχρονοι διάδοχοί του έχουν δείξει πώς μπορεί να συμβεί κάτι τέτοιο. Άραγε, αυτή η ιδέα συνδέεται αποκλειστικά και μόνο με τη φυλετική επιλογή ή μπορούμε να βρούμε πειστικές αναλογίες και σε άλλα είδη εξέλιξης; Αξίζει τον κόπο να θέσουμε αυτό το ερώτημα, έστω και μόνο επειδή υπάρχουν πλευρές της δικής μας εξέλιξης που παρουσιάζουν έναν πολύ έντονο εκρηκτικό χαρακτήρα. Το κυριότερο παράδειγμα είναι η τρομερά γρήγορη διόγκωση του εγκεφάλου μας κατά τα τελευταία εκατομμύρια χρόνια. Έχει προταθεί η άποψη ότι αυτό οφείλεται στην ίδια τη φυλετική επιλογή, γιατί η υψηλή εγκεφαλικότητα αποτελεί ένα φυλετικά ελκυστικό χαρακτηριστικό. Σύμφωνα με μια εναλλακτική εξήγηση, το ελκυστικό χαρακτηριστικό μπορεί να είναι ένα αποτέλεσμα της υψηλής εγκεφαλικότητας, όπως η ικανότητα ενός ατόμου να θυμάται τα θήματα ενός μεγάλου και πολύπλοκου τελετουργικού χορού. Ωστόσο, το μέγεθος του εγκεφάλου μπορεί επίσης να παρουσίασε αυτή την εκρηκτική αύξηση κάτω από την

επίδραση μιας επιλογής διαφορετικού είδους, που είναι ανάλογη αλλά όχι πανομοιότυπη με τη φυλετική. Νομίζω ότι εδώ θα ήταν χρήσιμο να ξεχωρίσουμε δύο δυνατά επίπεδα αναλογίας προς τη φυλετική επιλογή, μια ασθενή και μια ισχυρή αναλογία.

Σύμφωνα με την ασθενή αναλογία, κάθε εξελικτική διαδικασία στην οποία το τελικό προϊόν ενός βήματος της εξέλιξης προετοιμάζει το έδαφος για το επόμενο θήμα είναι δυναμικά προοδευτική, και μερικές φορές κατά εκρηκτικό τρόπο. Έχουμε συναντήσει ήδη αυτή την ιδέα στο προηγούμενο κεφάλαιο, με τη μορφή του ανταγωνισμού εξοπλισμών. Κάθε εξελικτική βελτίωση στο αρπακτικό ζώο αλλάζει τις πιέσεις που ασκούνται στο θήραμα, με αποτέλεσμα να γίνεται ικανότερο στο να αποφεύγει τα αρπακτικά. Αυτό το γεγονός με τη σειρά του ασκεί πιέσεις στους θηρευτές για να βελτιωθούν, με αποτέλεσμα να έχουμε μια συνεχή σπειροειδή εξέλιξη. Όπως είδαμε, είναι πιθανό ότι ούτε οι θηρευτές ούτε τα θηράματα θα έχουν αναγκαστικά υψηλότερο ποσοστό επιτυχιών ως αποτέλεσμα αυτών των βελτιώσεων, γιατί βελτιώνονται ταυτόχρονα και οι εχθροί τους. Παρ' όλα αυτά, τόσο οι θηρευτές όσο και τα θηράματα, αποκτούν προοδευτικά καλύτερο εξοπλισμό. Αυτή, λοιπόν, είναι η ασθενής αναλογία προς τη φυλετική επιλογή. Η ισχυρή αναλογία επισημαίνει ότι η ουσία της θεωρίας των Fisher και Lande είναι ένα φαινόμενο σαν εκείνο της «πράσινης γενειάδας», στο οποίο τα γονίδια που καθορίζουν την επιλογή των θηλυκών τείνουν αυτόματα να επιλέγουν αντίγραφα του *εαυτού τους*, μια διαδικασία που έχει την αυτόματη τάση να γίνεται εκρηκτική. Δεν είναι σαφές αν υπάρχουν άλλα παραδείγματα αυτού του φαινομένου πέρα από εκείνο της φυλετικής επιλογής.

Υποψιάζομαι ότι ένας τομέας όπου θα έπρεπε να αναζητήσουμε φαινόμενα ανάλογα προς εκείνο της εκρηκτικής εξέλιξης που προκαλείται από τη φυλετική επιλογή είναι η ανθρώπινη πολιτισμική εξέλιξη. Αυτό συμβαίνει γιατί και στον εν λόγω τομέα παίζει ρόλο η αυθαίρετη επιλογή, και η επιλογή αυτή μπορεί να επηρεάζεται από το φαινόμενο του «συρμού» ή το φαινόμενο της «υπερίσχυσης της πλειοψηφίας». Για άλλη μια φορά πρέπει να επαναλάβουμε την προειδοποίηση που διατυλώσαμε στην αρχή



του κεφαλαίου. Η πολιτισμική «εξέλιξη» δεν είναι πραγματικά εξέλιξη, αν θέλουμε να χρησιμοποιούμε με αυστηρότητα τους όρους μας, αλλά μπορεί να υπάρχουν αρκετά κοινά σημεία ανάμεσα τους ώστε να δικαιολογείται μια σύγκριση των αρχών τους. Σ' αυτή τη σύγκριση δεν πρέπει να υποδιθάζουμε τη σημασία των διαφορών. Ας αποσαφηνίσουμε αυτά τα ζητήματα πριν επανέλθουμε στο συγκεκριμένο θέμα των εκρηκτικών σπειροειδών φαινομένων.

Έχει επισημανθεί συχνά –και πραγματικά, μπορεί να το καταλάβει ο καθένας– ότι πολλές πλευρές της ανθρώπινης ιστορίας παρουσιάζουν ορισμένα ημιεξελικτικά χαρακτηριστικά. Αν «πάρουμε δείγματα» μιας συγκεκριμένης πλευράς της ανθρώπινης ζωής σε τακτά χρονικά διαστήματα –λόγου χάρη, αν κάνουμε μια δειγματοληψία των επιστημονικών γνώσεων, του είδους της μουσικής που παίζεται, της μόδας στα ρούχα ή στα μεταφορικά μέσα– σε χρονικά διαστήματα ενός αιώνα ή ίσως μίας δεκαετίας, θα βρούμε ορισμένες τάσεις. Αν έχουμε τρία δείγματα, στις διαδοχικές χρονικές στιγμές Α, Β και Γ, η ύπαρξη μιας τάσης σημαίνει ότι η τιμή η οποία προκύπτει από τη μέτρηση που έγινε τη στιγμή Β θα βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές των στιγμών Α και Γ. Αν και υπάρχουν εξαιρέσεις, ο καθένας θα συμφωνήσει ότι τάσεις αυτού του είδους χαρακτηρίζουν πολλές πλευρές της πολιτισμένης ζωής. Οποσδήποτε, η κατεύθυνση των τάσεων μερικές φορές αντιστρέφεται (για παράδειγμα, το μήκος της γυναικείας φούστας), αλλά αυτό ισχύει και για τη γενετική εξέλιξη.

Πολλές τάσεις, ιδιαίτερα εκείνες που αφορούν τη χρήσιμη τεχνολογία, σε αντιδιαστολή με την επιπόλαιη μόδα, μπορούν, χωρίς έντονες διαφωνίες για την αξιολόγηση, να χαρακτηριστούν *βελτιώσεις*. Για παράδειγμα, δεν υπάρχει αμφιβολία ότι τα μεταφορικά μέσα βελτιώνονται σταθερά και χωρίς αντιστροφή αυτής της τάσης κατά τα τελευταία 200 χρόνια, προχωρώντας από τις άμαξες με άλογα στα ατμοκίνητα οχήματα και φτάνοντας στα σημερινά υπερηχητικά τζετ. Εδώ χρησιμοποιώ τη λέξη βελτίωση με την ουδέτερη έννοια. Δεν υποστηρίζω πως όλοι θα συμφωνούσαν ότι η ποιότητα ζωής βελτιώθηκε λόγω αυτών των αλλαγών –προσωπικά, συχνά αμφιβάλλω γι' αυτό. Ούτε και αρ-

νούμαι τη διαδεδομένη άποψη ότι έγινε χαμηλή η ποιότητα των προϊόντων από τότε που η μαζική παραγωγή αντικατέστησε τους τεχνίτες. Αλλά αν εξετάσουμε τα μεταφορικά μέσα καθαρά από την άποψη της μεταφοράς, δηλαδή ως μέσα που μας επιτρέπουν να μεταβαίνουμε από ένα μέρος του κόσμου σε ένα άλλο, κανείς δεν μπορεί να αμφισβητήσει την ιστορική τάση προς ένα είδος βελτίωσης, έστω και αν πρόκειται μόνο για μια βελτίωση ως προς την ταχύτητα. Ομοίως, σε μια χρονική κλίμακα δεκαετιών ή ακόμη και ετών, υπάρχει μια αναμφισβήτητη προοδευτική βελτίωση στην ποιότητα των μηχανημάτων υψηλής πιστότητας ήχου και των ενισχυτών, ακόμη και αν συμφωνείτε μερικές φορές μαζί μου ότι ο κόσμος θα ήταν πολύ πιο ευχάριστος αν δεν είχε εφευρεθεί ποτέ ο ενισχυτής. Οι βελτιώσεις αυτές δεν καθορίζονται από μια αλλαγή των προτιμήσεων. Είναι αντικειμενικό και μετρήσιμο το γεγονός ότι η πιστότητα αναπαραγωγής του ήχου είναι τώρα καλύτερη απ' ό,τι ήταν το 1950, και το 1950 ήταν καλύτερη από ό,τι το 1920. Η ποιότητα αναπαραγωγής της εικόνας είναι αναντίρρητα καλύτερη στις σύγχρονες τηλεοράσεις απ' ό,τι στις παλιότερες, αν και, φυσικά, μπορεί να μην ισχύει το ίδιο για την ποιότητα των προγραμμάτων που μεταδίδονται. Η ποιότητα των φονικών μηχανών του πολέμου παρουσιάζει εντυπωσιακή τάση βελτίωσης –καθώς περνούν τα χρόνια, οι μηχανές αυτές μπορούν να σκοτώνουν περισσότερους ανθρώπους πιο γρήγορα. Είναι περιττό βέβαια να πούμε ότι κάτι τέτοιο δεν μπορεί να χαρακτηριστεί βελτίωση με καμία ουσιαστική έννοια του όρου.

Δεν υπάρχει αμφιβολία, λοιπόν, ότι από την αυστηρά τεχνική άποψη τα πράγματα βελτιώνονται με το πέρασμα του χρόνου. Ωστόσο, αυτό αποτελεί προφανή αλήθεια μόνο για τεχνικά χρήσιμα αντικείμενα, όπως τα αεροπλάνα και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Υπάρχουν πολλές άλλες πλευρές της ανθρώπινης ζωής που δείχνουν γνήσιες τάσεις αλλαγής, χωρίς αυτές οι τάσεις να είναι βελτιώσεις με οποιαδήποτε εμφανή σημασία της λέξης. Οι γλώσσες προφανώς εξελίσσονται, με την έννοια ότι παρουσιάζουν ορισμένες τάσεις, αποκλίνουν μεταξύ τους και, καθώς περνούν οι αιώνες μετά το διαχωρισμό τους, γίνονται αμοι-

βαία ακατανόητες σε ολόένα και μεγαλύτερο βαθμό. Τα πολυάριθμα νησιά του Ειρηνικού αποτελούν ένα θαυμάσιο εργαστήριο για τη μελέτη της εξέλιξης των γλωσσών. Οι γλώσσες των διαφορετικών νησιών σαφώς μοιάζουν μεταξύ τους, και οι διαφορές τους μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια από τον αριθμό των λέξεων στις οποίες διαφέρουν η μια από την άλλη, ένας δείκτης που μοιάζει πολύ με τους μοριακούς ταξινομικούς δείκτες που θα εξετάσουμε στο Κεφάλαιο 10. Τη διαφορά ανάμεσα στις γλώσσες, που μετριέται με τον αριθμό των διαφορετικών λέξεων, μπορούμε να την παραστήσουμε γραφικά ως συνάρτηση της απόστασης ανάμεσα στα νησιά, η οποία μετριέται σε χιλιόμετρα. Τα σημεία αυτής της γραφικής παράστασης σχηματίζουν μια καμπύλη, το ακριβές μαθηματικό σχήμα της οποίας μας δίνει ορισμένα στοιχεία για τους ρυθμούς διάχυσης στα νησιά. Οι λέξεις ταξιδεύουν με κανό, περνώντας από νησί σε νησί κατά διαστήματα, ανάλογα προς την απόσταση των σχετικών νησιών. Μέσα σε ένα νησί οι λέξεις αλλάζουν με σταθερό ρυθμό, κατά τον ίδιο περίπου τρόπο με τον οποίο μεταλλάσσονται κατά καιρούς τα γονίδια. Κάθε νησί, αν είναι εντελώς απομονωμένο, θα παρουσιάζει κάποια εξελικτική αλλαγή στη γλώσσα του με την πάροδο του χρόνου, και επομένως και κάποια απόκλιση από τις γλώσσες άλλων νησιών. Ανάμεσα στα νησιά που γειτονεύουν θα υπάρχει προφανώς μεγαλύτερος ρυθμός ροής λέξεων σε σχέση με τα νησιά που απέχουν πολύ μεταξύ τους, αφού οι λέξεις μεταδίδονται διαμέσου της επικοινωνίας με κανό. Επίσης, οι γλώσσες τους θα έχουν έναν πιο πρόσφατο κοινό πρόγονο, σε σχέση με τις γλώσσες των νησιών που χωρίζονται από μεγάλες αποστάσεις. Αυτά τα φαινόμενα, που εξηγούν το παρατηρούμενο πρότυπο ομοιοτήτων ανάμεσα σε γειτονικά και απομακρυσμένα μεταξύ τους νησιά, παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα με τα στοιχεία που είχε συγκεντρώσει ο Κάρολος Δαρβίνος για τους σπίνους στα διάφορα νησιά του αρχιπελάγους Γκαλαπάγκος, και τα οποία τον ενέπνευσαν στη διαμόρφωση της θεωρίας του. Τα γονίδια περνούν από νησί σε νησί μέσα στα σώματα των πουλιών, όπως οι λέξεις περνούν από νησί σε νησί με κανό.

Οι γλώσσες, λοιπόν, εξελίσσονται. Ωστόσο, αν και τα σύγ-

χρονα αγγλικά έχουν εξελιχθεί από τα αγγλικά της εποχής του Chaucer, πιστεύω πως δεν θα ήταν πολλοί αυτοί που θα υποστήριζαν ότι τα σύγχρονα αγγλικά αποτελούν βελτίωση των αγγλικών εκείνης της εποχής. Όταν αναφερόμαστε στην εξέλιξη των γλωσσών, συνήθως δεν θέτουμε ζήτημα βελτίωσης ή ποιότητας – και στο βαθμό που το θέτουμε, συχνά βλέπουμε την αλλαγή σαν εκφυλισμό. Τείνουμε να θεωρούμε σωστές τις παλιότερες μορφές, και εκδηλώσεις φθοράς τις πρόσφατες αλλαγές. Αλλά μπορούμε και πάλι να εντοπίσουμε εξελικτικές τάσεις που είναι προοδευτικές με την καθαρά αφηρημένη και μη αξιολογική έννοια του όρου. Και μπορούμε ακόμη να βρούμε ενδείξεις θετικής ανάδρασης στην κλιμάκωση της έννοιας που παρατηρείται σε ορισμένες λέξεις (ή στην κλιμάκωση του εκφυλισμού, αν το δούμε από μια άλλη άποψη). Για παράδειγμα, η λέξη «σταν» σήμαινε παλιότερα έναν εξαιρετικά διάσημο ηθοποιό του κινηματογράφου. Στη συνέχεια η έννοια της λέξης εκφυλίστηκε και κατέληξε να σημαίνει οποιονδήποτε συνηθισμένο ηθοποιό που έπαιζε έναν από τους πρωταγωνιστικούς ρόλους σε μια ταινία. Έτσι, για να επιτευχθεί και πάλι η απόδοση της αρχικής έννοιας της εξαιρετικής διασημότητας, η λέξη έγινε «σουπερστάρ». Αργότερα, τα στούντιο άρχισαν να χρησιμοποιούν τη λέξη «σουπερστάρ» για ηθοποιούς που ήταν άγνωστοι σε πολλούς, και έτσι είχαμε μία ακόμη κλιμάκωση, που οδήγησε στη μορφή «μεγαστάρ». Τώρα διαφημίζονται πολλοί «μεγαστάρ», τους οποίους εγώ τουλάχιστον δεν τους έχω ακούσει ποτέ μου, και έτσι θα πρέπει ίσως να περιμένουμε μία ακόμη κλιμάκωση. Μήπως σε λίγο θα ακούμε να μιλούν για «υπερστάρ»; Μια παρόμοια θετική ανάδραση προκάλεσε υποβιβασμό της σημασίας της λέξης «σεφ». Η λέξη προέρχεται, φυσικά, από το γαλλικό *chef de cuisine*, που σημαίνει αρχηγός της κουζίνας. Εξ ορισμού, λοιπόν, μπορεί να υπάρξει μόνο ένας αρχηγός σε κάθε κουζίνα. Αλλά, για να ικανοποιήσουν ίσως τον εγωισμό τους, συνηθισμένοι μάγειροι, ακόμη και νεαροί που φτιάχνουν χάμπουργκερ, άρχισαν να αυτοαποκαλούνται «σεφ». Το αποτέλεσμα είναι ότι τώρα ακούμε συχνά τον ταυτολογικό τίτλο «αρχισέφ»!

Εντούτοις, αν αυτά τα φαινόμενα παρουσιάζουν μια αναλογία

με τη φυλετική επιλογή, είναι, στην καλύτερη περίπτωση, μια αναλογία με την «ασθενή» έννοια του όρου. Ας περάσουμε τώρα κατευθείαν στην αμεσότερη προσέγγιση της «σχυρής» αναλογίας που γνωρίζω. Πρόκειται για τον κόσμο των δίσκων μουσικής ποπ. Αν παρακολουθήσετε συζητήσεις φανατικών οπαδών αυτής της μουσικής, ή αν ακούσετε τις εκφράσεις των ντισκ τζόκει στο ραδιόφωνο, θα διαπιστώσετε κάτι πολύ παράξενο. Ενώ άλλοι τομείς καλλιτεχνικής κριτικής ασχολούνται σε κάποιο βαθμό με το ύφος ή την επιδεξιότητα μιας εκτέλεσης, με τη διάθεση και τον συναισθηματικό της αντίκτυπο, με την ποιότητα και τις ιδιότητες της συγκεκριμένης μορφής τέχνης, η υποκοουλτούρα της μουσικής ποπ ασχολείται σχεδόν αποκλειστικά με την ίδια τη δημοτικότητα. Είναι φανερό ότι το σημαντικό χαρακτηριστικό ενός δίσκου δεν είναι η μουσική που περιέχει, αλλά το πόσοι άνθρωποι τον αγοράζουν. Όλη η υποκοουλτούρα της ποπ ασχολείται σε σημείο ιδεοληψίας με μια ιεραρχική κατάταξη των δίσκων που ονομάζεται Top 20 ή Top 40 και βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στον αριθμό των δίσκων που έχουν πουληθεί. Αυτό, αν το καλοσκεφτείτε, είναι ένα μοναδικό γεγονός και παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, αν το δούμε από την άποψη της θεωρίας της εκτροπόμενης προς τα άκρα εξέλιξης του R.A. Fisher. Επίσης, είναι σημαντικό το γεγονός ότι οι ντισκ τζόκει σπάνια αναφέρουν τη θέση ενός δίσκου στα «τσαρτς» χωρίς να δώσουν ταυτόχρονα και τη θέση του την προηγούμενη εβδομάδα. Αυτό επιτρέπει στον ακροατή να εκτιμήσει όχι μόνο την τωρινή δημοτικότητα του δίσκου, αλλά και το ρυθμό και την κατεύθυνση που παρουσιάζει η αλλαγή της δημοτικότητας.

Είναι αλήθεια ότι πολλοί αγοράζουν ένα δίσκο απλώς για το λόγο ότι πολλοί άλλοι άνθρωποι τον έχουν αγοράσει, ή είναι πιθανό να τον αγοράσουν. Μια εντυπωσιακή σχετική απόδειξη είναι το γεγονός ότι οι εταιρείες δίσκων στέλνουν συχνά ανθρώπους τους σε κεντρικά καταστήματα για να αγοράσουν μεγάλες ποσότητες των δίσκων τους, ώστε να προωθήσουν τις πωλήσεις στη ζώνη απ' όπου μπορούν να «απογειωθούν». (Αυτό δεν είναι τόσο δύσκολο να γίνει, γιατί η διαμόρφωση του Top 20 βασίζεται στις πωλήσεις ενός μικρού αριθμού καταστημάτων δίσκων.

Αν ξέρει κανείς ποια είναι αυτά τα καταστήματα, δεν χρειάζεται να αγοράσει και τόσο πολλούς δίσκους για να επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό τις εκτιμήσεις των πωλήσεων που αφορούν όλη τη χώρα. Υπάρχουν επίσης τεκμηριωμένες περιπτώσεις πωλητών αυτών των καταστημάτων που έχουν δωροδοκηθεί από εταιρείες.)

Σε μικρότερο βαθμό, το ίδιο αυτό φαινόμενο της δημοτικότητας για χάρη της δημοτικότητας εμφανίζεται επίσης στις εκδόσεις βιβλίων, στη γυναικεία μόδα και στη διαφήμιση γενικά. Ένας από τους καλύτερους χαρακτηρισμούς που μπορεί να δώσει ένας διαφημιστής στο προϊόν που διαφημίζει είναι να πει ότι είναι πρώτο σε πωλήσεις ανάμεσα στα άλλα προϊόντα της κατηγορίας του. Κάθε βδομάδα εκδίδονται κατάλογοι των βιβλίων με τις περισσότερες πωλήσεις (μπεστ σέλερ) και είναι σίγουρο ότι από τη στιγμή που ένα βιβλίο θα πουλήσει αρκετά αντίτυπα ώστε να εμφανιστεί σε έναν από αυτούς τους καταλόγους, οι πωλήσεις του αυξάνονται ακόμη περισσότερο, αποκλειστικά και μόνο εξαιτίας της εισόδου του στον κατάλογο. Οι εκδότες λένε ότι οι πωλήσεις του βιβλίου «απογειώνονται», και εκείνοι που γνωρίζουν ακόμη καλύτερα αυτά τα εκδοτικά φαινόμενα υποστηρίζουν ότι υπάρχει μια «κρίσιμη μάζα απογειώσης». Εδώ έχουμε μια αναλογία με την ατομική βόμβα. Το ουράνιο 235 είναι σταθερό εφόσον η συγκεντρωμένη ποσότητά του δεν είναι μεγάλη. Υπάρχει όμως μια κρίσιμη μάζα που όταν ξεπεραστεί επιτρέπει την εκδήλωση μιας αλυσιδωτής αντίδρασης, δηλαδή μιας εκτροπής προς τα άκρα με καταστροφικά αποτελέσματα. Μια ατομική βόμβα περιέχει δύο κομμάτια ουρανίου 235 που το καθένα είναι μικρότερο από την κρίσιμη μάζα. Όταν εκρήγνυται η βόμβα, τα δύο κομμάτια ενώνονται υπερβαίνοντας την κρίσιμη ποσότητα, κι αυτό σημαίνει το τέλος μιας ολόκληρης πόλης. Όταν οι πωλήσεις ενός βιβλίου φτάσουν στο «κρίσιμο σημείο», ο αριθμός των αντιτύπων υπερβαίνει ένα όριο πάνω από το οποίο οι επαινετικές συστάσεις από στόμα σε στόμα, και άλλες παρόμοιες διαδικασίες, κάνουν τις πωλήσεις να «απογειωθούν» ξαφνικά, μπαίνοντας σε μια διαδικασία εκτροπής προς τα άκρα. Δηλαδή, ο αριθμός των πωλήσεων γίνεται με ταχύτατο ρυθμό εντυπωσιακά μεγαλύ-



τερος απ' όσο ήταν πριν επιτευχθεί η κρίσιμη μάζα, και μπορεί να ακολουθήσει μια περίοδος εκθετικής αύξησης, πριν έρθει η αναπόφευκτη επιβράδυνση και η επακόλουθη μείωση.

Δεν είναι δύσκολο να κατανοήσουμε τις διαδικασίες στις οποίες στηρίζονται αυτά τα φαινόμενα. Βασικά εδώ έχουμε μερικά ακόμη παραδείγματα θετικής ανάδρασης. Οι πραγματικές ιδιότητες ενός βιβλίου, ή ακόμη και ενός δίσκου μουσικής pop, δεν είναι αμελητέοι παράγοντες για τον καθορισμό των πωλήσεών του. Ωστόσο, όπου υποβόσκουν διαδικασίες θετικής ανάδρασης, είναι βέβαιο ότι θα υπάρχει ένα ισχυρό αυθαίρετο στοιχείο που θα καθορίζει ποιο βιβλίο ή ποιος δίσκος θα γνωρίσει την επιτυχία ή την αποτυχία. Αν η κρίσιμη μάζα και η απογείωση είναι σημαντικά στοιχεία κάθε επιτυχίας, είναι βέβαιο ότι στην επιτυχία αυτή θα υπεισέρχεται ένα ισχυρό στοιχείο τύχης και, επίσης, θα υπάρχουν μεγάλα περιθώρια εκμετάλλευσης και πλάγιων χειρισμών από άτομα που καταλαβαίνουν πώς λειτουργεί το σύστημα. Για παράδειγμα, αξίζει τον κόπο να επενδύσεις ένα σημαντικό χρηματικό ποσό ώστε να προωθήσεις ένα βιβλίο ή ένα δίσκο μέχρι να φτάσει στην «κρίσιμη μάζα», γιατί στη συνέχεια η προώθησή του απαιτεί πολύ λιγότερα χρήματα: ενεργοποιούνται οι διαδικασίες θετικής ανάδρασης και δουλεύουν αυτές για σένα.

Η θετική ανάδραση σ' αυτά τα φαινόμενα έχει κάτι κοινό με τη θετική ανάδραση της φυλετικής επιλογής σύμφωνα με τη θεωρία των Fisher και Lande, υπάρχουν όμως και διαφορές. Τα θηλυκά παγόνια που προτιμούν αρσενικά με μακριές ουρές ευνοούνται απλώς και μόνο επειδή και άλλα θηλυκά έχουν την ίδια προτίμηση. Οι ιδιότητες του ίδιου του αρσενικού είναι αυθαίρετες και άσχετες. Από αυτή την άποψη, ο φανατικός αγοραστής δίσκων που θέλει έναν συγκεκριμένο δίσκο επειδή βρίσκεται στο Top 20 συμπεριφέρεται σαν θηλυκό παγόνι. Αλλά οι ακριβείς μηχανισμοί με τους οποίους λειτουργεί η θετική ανάδραση στις δύο περιπτώσεις είναι διαφορετικοί. Κι αυτή η παρατήρηση μας επαναφέρει στο σημείο απ' όπου ξεκινήσαμε αυτό το κεφάλαιο, δηλαδή στην προειδοποίηση ότι οι αναλογίες πρέπει να φτάνουν ως ένα ορισμένο σημείο και όχι παραπέρα.

---

## ΣΤΙΓΜΑΤΙΖΟΝΤΑΣ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΕΣΤΙΓΜΕΝΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Σύμφωνα με τη διήγηση της Εξόδου, οι υιοί του Ισραήλ χρειάστηκαν 40 χρόνια για να διασχίσουν την έρημο του Σινά και να φτάσουν στη Γη της Επαγγελίας. Έπρεπε δηλαδή να καλύψουν μια απόσταση 320 χιλιομέτρων περίπου. Επομένως, η μέση ταχύτητά τους ήταν κατά προσέγγιση 22 μέτρα την ημέρα, δηλαδή περίπου 90 εκατοστά την ώρα –ας πούμε 2,7 μέτρα την ώρα, αν λάβουμε υπόψη μας και τις νυχτερινές στάσεις. Με όποιον τρόπο κι αν κάνουμε τον υπολογισμό, πρόκειται για μια παράλογα χαμηλή μέση ταχύτητα, πολύ μικρότερη από την παροιμιώδη μικρή ταχύτητα του σαλιγκαριού. (Σύμφωνα με το *Βιβλίο των ρεκόρ Guinness*, το σαλιγκάρι που κατέχει το παγκόσμιο ρεκόρ κινείται με την απίστευτη ταχύτητα των 50 μέτρων την ώρα.) Αλλά φυσικά κανείς δεν πιστεύει ότι οι Ισραηλίτες κινούνταν συνεχώς και σταθερά με αυτή τη μέση ταχύτητα. Είναι φανερό ότι αυτοί έπρεπε συχνά να εναλλάσσουν περιόδους μετακίνησης με περιόδους στάσης, δηλαδή κατασκηνώναν για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε έναν τόπο και κατόπιν προχωρούσαν και πάλι. Είναι πιθανό ότι πολλοί από αυτούς δεν είχαν σαφή επίγνωση ότι ταξιδεύουν προς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση, καθώς περιπλανιούνταν από όαση σε όαση όπως κάνουν οι νομαδικοί λαοί της ερήμου. Επαναλαμβάνω ότι κανείς δεν πιστεύει πραγματικά πως οι Ισραηλίτες μετακινούνταν συνεχώς με σταθερή μέση ταχύτητα.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι εμφανίζονται στο προσκήνιο δύο νεαροί και εύλωστοι ιστορικοί. Μας λένε ότι μέχρι τώρα στη βιβλική ιστορία επικρατούσε η σχολή της «βαθμιαίας εξέλιξης». Οι ιστορικοί που υποστηρίζουν τη θεωρία της βαθμιαίας εξέλιξης, μας λένε οι δύο νεαροί, πιστεύουν στην κυριολεξία ότι οι Ισραηλίτες διένυαν περίπου 22 μέτρα την ημέρα: κάθε πρωί μάζευαν τις σκηνές τους, πήγαιναν 22 μέτρα παραπέρα, προς μια ανατολική-βορειοανατολική κατεύθυνση, και τις έστηναν ξανά. Η μοναδική εναλλακτική άποψη στη θεωρία της «βαθμιαίας εξέλιξης», ισχυρίζονται οι δύο ιστορικοί, είναι η νέα δυναμική σχολή που υποστηρίζει τη θεωρία της «ασυνεχούς εξέλιξης» (ή της «εστιγμένης εξέλιξης»). Σύμφωνα με αυτούς τους νεαρούς ριζοσπάστες οπαδούς της θεωρίας της ασυνεχούς εξέλιξης, οι Ισραηλίτες περνούσαν τον περισσότερο χρόνο τους σε «στάση», δηλαδή δεν μετακινούνταν καθόλου, αλλά κατασκήνωναν σε ένα μέρος, συχνά για χρόνια. Κατόπιν ξανάρχιζαν την πορεία τους, μάλλον με γρήγορους ρυθμούς, για να πάνε λίγο παραπέρα και να στήσουν ξανά τις σκηνές τους σε ένα νέο μέρος, όπου και έμεναν για κάμποσα χρόνια. Η μετακίνησή τους προς τη Γη της Επαγγελίας δεν ήταν βαθμιαία και συνεχής, αλλά αλματώδης. Υπήρχαν μεγάλες περιόδοι στάσης, που διακόπτονταν από σύντομες περιόδους ταχείας μετακίνησης. Επιπλέον, κατά τις σύντομες αυτές περιόδους η μετακίνηση δεν γινόταν πάντοτε προς την κατεύθυνση της Γης της Επαγγελίας, αλλά ακολουθούσε συχνά σχεδόν τυχαίες κατευθύνσεις. Μόνο όταν παρατηρούμε εκ των υστέρων το *μακρομεταναστευτικό* σχέδιο, δηλαδή το σύνολο των μετακινήσεών τους, μπορούμε να αναγνωρίσουμε μια γενική τάση μετακίνησης προς την κατεύθυνση της Γης της Επαγγελίας.

Η ευφράδεια των δύο βιβλικών ιστορικών, οπαδών της θεωρίας της ασυνεχούς εξέλιξης, είναι τόσο μεγάλη, ώστε οι απόψεις τους κατακλύζουν τα μέσα ενημέρωσης. Τα πορτρέτα τους εμφανίζονται στα εξώφυλλα των περιοδικών ευρείας κυκλοφορίας. Κανένα τηλεοπτικό ντοκιμαντέρ για τη βιβλική ιστορία δεν μπορεί να θεωρηθεί πλήρες αν δεν περιλαμβάνει και μια συνέντευξη ενός τουλάχιστον διακεκριμένου οπαδού της θεωρίας της ασυνεχούς εξέλιξης. Άνθρωποι που δεν γνωρίζουν τίποτε άλλο για την

ερμηνευτική της Βίβλου, θυμούνται μόνο ένα πράγμα: κατά τη σκοτεινή περίοδο πριν εμφανιστούν στο προσκήνιο οι οπαδοί της ασυνεχούς εξέλιξης, όλοι οι άλλοι μελετητές είχαν εσφαλμένες ιδέες για αυτό το ζήτημα. Σημειώστε ότι η δημοτικότητα των οπαδών της ασυνεχούς εξέλιξης δεν έχει τίποτε να κάνει με το γεγονός ότι αυτοί μπορεί να έχουν δίκιο. Αντίθετα, σχετίζεται απόλυτα με τον ισχυρισμό τους ότι οι παλιότεροι ιστορικοί ήταν οπαδοί της βαθμιαίας εξέλιξης και ότι η θεωρία τους ήταν εσφαλμένη. Η επιτυχία των οπαδών της ασυνεχούς εξέλιξης οφείλεται στο γεγονός ότι παρουσιάζονται ως επαναστάτες που έχουν μεγάλη απήχηση στο ευρύ κοινό, και καθόλου στο γεγονός ότι έχουν δίκιο.

Φυσικά, η ιστορία των δύο νεαρών ιστορικών που σας αφηγήθηκα δεν είναι αληθινή. Αποτελεί μια μεταφορά για μια ανάλογη υποτιθέμενη διαμάχη ανάμεσα στους μελετητές της βιολογικής εξέλιξης. Από ορισμένες απόψεις η μεταφορά μου είναι άδικη (όχι όμως εντελώς: περιέχει μάλιστα αρκετή αλήθεια, ώστε να είναι δικαιολογημένη η παράβασή της στην αρχή αυτού του κεφαλαίου). Ανάμεσα στους εξελικτικούς βιολόγους υπάρχει μια πολυδιαφημισμένη σχολή σκέψης οι εισηγητές της οποίας αυτοαποκαλούνται οπαδοί της ασυνεχούς εξέλιξης ή, όπως λέγεται, της θεωρίας της *εστιγμένης ισορροπίας*. Και ήταν αυτοί που επινόησαν τον όρο «οπαδοί της βαθμιαίας και συνεχούς εξέλιξης» ή, αλλιώς, *οπαδοί των βαθμιαίων αλλαγών* για να χαρακτηρίσουν τους σημαντικότερους προκατόχους τους. Οι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας γνώρισαν τεράστια δημοσιότητα από τα μέσα ενημέρωσης και έγιναν γνωστοί σε ένα κοινό που δεν γνωρίζει σχεδόν τίποτε άλλο για την εξέλιξη. Αυτό οφείλεται κατά έναν μεγάλο βαθμό στο γεγονός ότι οι θέσεις τους παρουσιάστηκαν –περισσότερο από τους δημοσιογράφους παρά από τους ίδιους– ως ριζικά διαφορετικές από τις θέσεις των προηγούμενων εξελικτιστών, και ειδικότερα από αυτήν του Καρόλου Δαρβίνου. Έως αυτό το σημείο, η αναλογία μου με τη βιβλική ιστορία είναι αρκετά ακριβής.

Η αναλογία μου γίνεται άδικη στο εξής σημείο: στην περίπτωση της βιβλικής ερμηνευτικής, οι «οπαδοί της βαθμιαίας εξέ-

λιξης» ήταν προφανώς ανύπαρκτες καρικατούρες που είχαν επινοηθεί από τους «οπαδούς της ασυνεχούς εξέλιξης». Στην περίπτωση της βιολογικής θεωρίας, το γεγονός ότι οι «οπαδοί των βαθμιαίων αλλαγών» (δηλαδή της βαθμιαίας και συνεχούς εξέλιξης) αποτελούν ανύπαρκτες καρικατούρες δεν είναι τόσο εμφανές: πρέπει να αποδειχτεί. Είναι δυνατό να ερμηνεύσει κανείς τα λόγια του Δαρβίνου και πολλών άλλων εξελικτιστών ως εμπνευσμένα από τη σκοπιά των βαθμιαίων αλλαγών, σ' αυτό το σημείο όμως είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι η λέξη «οπαδός των βαθμιαίων αλλαγών» μπορεί να ερμηνευτεί με διαφορετικούς τρόπους, ώστε να σημαίνει διαφορετικά πράγματα. Πράγματι, θα παρουσιάσω μια ερμηνεία της λέξης «οπαδός των βαθμιαίων αλλαγών» σύμφωνα με την οποία όλοι σχεδόν είναι οπαδοί αυτής της θεωρίας. Στην περίπτωση της βιολογικής εξέλιξης, και αντίθετα με ό,τι συμβαίνει στην παραβολή των Ισραηλιτών, υποκρύπτεται μια πραγματική διαμάχη, η οποία όμως αφορά δευτερεύουσες λεπτομέρειες που σε καμία περίπτωση δεν έχουν τόση σπουδαιότητα ώστε να δικαιολογείται το υπερβολικό ενδιαφέρον που έδειξαν τα μέσα ενημέρωσης.

Ανάμεσα στους εξελικτιστές, οι «οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας» προήλθαν αρχικά από τον κλάδο της παλαιοντολογίας. Η παλαιοντολογία ασχολείται με τη μελέτη των απολιθωμάτων. Πρόκειται για έναν πολύ σημαντικό κλάδο της βιολογίας, γιατί οι εξελικτικοί πρόγονοι των ζωντανών οργανισμών έχουν όλοι εξαφανιστεί εδώ και πολύ καιρό, και τα απολιθώματα αποτελούν τις μοναδικές άμεσες μαρτυρίες που διαθέτουμε για τα ζώα και τα φυτά του μακρινού παρελθόντος. Αν θέλουμε να γνωρίσουμε πώς ήταν οι εξελικτικοί μας πρόγονοι, τα απολιθώματα αποτελούν τη βασικότερη ελπίδα μας. Μόλις οι επιστήμονες συνειδητοποίησαν τι πραγματικά ήταν τα απολιθώματα –προηγούμενες σχολές σκέψης υποστήριζαν ότι είναι δημιουργήματα του διαβόλου ή οστά αμαρτωλών που πνίγηκαν στον κατακλυσμό– κατέστη σαφές ότι κάθε εξελικτική θεωρία οφείλει να έχει κάποιες προσδοκίες επιβεβαίωσης από το αρχείο των απολιθωμάτων. Αλλά έχουν γίνει αρκετές συζητήσεις σχετικά με τον ακριθή ορισμό του ποιες θα έπρεπε να είναι αυτές οι προσδοκίες, και οι θέσεις

των οπαδών της εστιγμένης ισορροπίας αφορούν εν μέρει αυτό ακριβώς το ζήτημα.

Είμαστε τυχεροί που υπάρχουν απολιθώματα. Είναι ένα εξαιρετικά ευτυχές γεωλογικό γεγονός το ότι τα οστά, το κελύφος και άλλα σκληρά μέρη των ζώων μπορεί καμιά φορά, πριν αποσυντεθούν, να αφήσουν ένα αποτύπωμα που αργότερα λειτουργεί σαν καλούπι πάνω στο οποίο θα διαμορφωθεί σταδιακά ένα πέτρωμα που μεταφέρει μέσα του μια μόνιμη ανάμνηση του εξαφανισμένου ζώου. Δεν γνωρίζουμε το ποσοστό των ζώων που απολιθώθηκαν μετά το θάνατό τους –εγώ προσωπικά θα το θεωρούσα τιμή μου να απολιθωθώ–, αλλά είναι σίγουρα πάρα πολύ μικρό. Εντούτοις, όσο μικρό κι αν είναι αυτό το ποσοστό, υπάρχουν κάποιες προβλέψεις που κάθε εξελικτιστής θα περίμενε να δει να επαληθεύονται από το αρχείο των απολιθωμάτων. Για παράδειγμα, θα ξαφνιαζόμασταν πολύ αν ανακαλύπταμε την ύπαρξη ανθρώπινων απολιθωμάτων πριν από την εποχή που χρονολογούμε την εμφάνιση των θηλαστικών! Αν βρίσκαμε έστω και ένα κρανίο θηλαστικού σε πετρώματα ηλικίας 500 εκατομμυρίων ετών, όλη η σύγχρονη εξελικτική μας θεωρία θα κατέρρεε ολοσχερώς. Παρεμπιπτόντως, αυτή είναι και η απάντηση στην εσφαλμένη θέση που υποστηρίζουν οι δημιουργιστές και οι δημοσιογράφοι συνοδοιπόροι τους, ότι η όλη θεωρία της εξέλιξης είναι μια «μη διαψεύσιμη» ταυτολογία. Κατά ειρωνικό τρόπο, αυτός είναι επίσης ο λόγος για τον οποίο οι δημιουργιστές συνεχίζουν με τόσο σθένος να υποστηρίζουν την αυθεντικότητα των ψεύτικων ανθρώπινων αποτυπωμάτων που στην πραγματικότητα σκαλίστηκαν κατά την περίοδο της οικονομικής κρίσης για να εξαπατήσουν τους τουρίστες που επισκέπτονταν την περιοχή του Τέξας όπου υπάρχουν απολιθώματα δεινοσαύρων.

Αν, λοιπόν, κατατάξουμε τα γνήσια απολιθώματα στη σειρά από το αρχαιότερο ως το πιο πρόσφατο, η θεωρία της εξέλιξης προβλέπει ότι θα υπάρχει μια εύτακτη διαδοχή και όχι ένα άτακτο συνονθύλευμα. Επιπλέον, κάτι που μας ενδιαφέρει περισσότερο σ' αυτό το κεφάλαιο είναι ότι οι διάφορες εκδοχές της θεωρίας της εξέλιξης, όπως για παράδειγμα η θεωρία των «βαθμιαίων αλλαγών» και η θεωρία της «εστιγμένης ισορροπίας», ενδέ-



χεται να προβλέπουν ότι θα βρούμε διαφορετικούς τύπους διάταξης των απολιθωμάτων. Αυτές οι προβλέψεις μπορούν να επαληθευτούν μόνο εάν διαθέτουμε κάποιο μέσο *χρονολόγησης των απολιθωμάτων*, ή τουλάχιστον κάποιον τρόπο για να γνωρίσουμε τη σειρά με την οποία έχουν εναποτεθεί. Τα προβλήματα της χρονολόγησης των απολιθωμάτων και οι λύσεις που έχουν δοθεί απαιτούν μια σύντομη παρέκβαση, την πρώτη από μια σειρά παρεκβάσεων, για τις οποίες ζητώ προκαταβολικά την ανοχή του αναγνώστη. Είναι απαραίτητες για να εξηγήσουμε το κύριο θέμα του κεφαλαίου.

Γνωρίζουμε εδώ και πολύ καιρό πώς να διατάσουμε τα απολιθώματα στη σειρά με την οποία έχουν εναποτεθεί. Η μέθοδος μάλιστα διαφαίνεται στις λέξεις «έχουν εναποτεθεί». Τα πιο πρόσφατα απολιθώματα εναποτίθενται προφανώς πάνω από τα προγενέστερα απολιθώματα και όχι κάτω από αυτά, και συνεπώς βρίσκονται πάνω από τα προγενέστερα μέσα στις γεωλογικές διαστρωματώσεις. Κατά καιρούς, μπορεί να συμβούν ηφαιστειακά σεισμικά φαινόμενα που ανακατανέμουν τα στρώματα των πετρωμάτων ανακατεύοντας κάποια χαρακτηριστικά τους. Σ' αυτή την περίπτωση, η διάταξη με την οποία τα απολιθώματα εμφανίζονται στις ανασκαφές μας μπορεί κάλλιστα να είναι ανεστραμμένη. Εντούτοις, αυτές οι περιπτώσεις είναι αρκετά σπάνιες, ώστε να είναι προφανείς όταν προκύπτουν. Παρόλο που σπάνια βρίσκουμε ένα πλήρες ιστορικό αρχείο όταν σκάβουμε στα πετρώματα μιας περιοχής, είμαστε σε θέση να ανασυγκροτήσουμε ένα ικανοποιητικό αρχείο απολιθωμάτων συνδυάζοντας κομμάτια που παρουσιάζουν μερική επικάλυψη σε διαφορετικές περιοχές. (Στην πραγματικότητα, μολονότι έκανα λόγο για ανασκαφές, μόνο σπάνια οι παλαιοντολόγοι σκάβουν άμεσα τα πετρώματα στρώμα προς στρώμα· συνήθως βρίσκουν τα απολιθώματα να έχουν αποκαλυφθεί από τη διάβρωση σε διάφορα βάθη.) Οι παλαιοντολόγοι, πολύ πριν καταλήξουν σε έναν τρόπο χρονολόγησης των απολιθωμάτων σε εκατομμύρια χρόνια, είχαν επεξεργαστεί ένα αξιόπιστο πρότυπο διαδοχής των γεωλογικών εποχών και γνώριζαν με πολλές λεπτομέρειες τη σειρά αυτών των εποχών. Ορισμένα είδη οστράκων είναι τόσο αξιόπιστοι δείκτες της

ηλικίας των πετρωμάτων, ώστε αποτελούν έναν από τους κύριους δείκτες που χρησιμοποιούνται στην έρευνα για πετρέλαιο. Αυτά όμως, από μόνα τους, μπορούν να μας δείξουν μόνο τη σχετική ηλικία των διαφόρων γεωλογικών στρωμάτων, και ποτέ την απόλυτη ηλικία τους.

Πιο πρόσφατα, οι πρόοδοι που σημειώθηκαν στο χώρο της φυσικής μάς προμήθευσαν με τις απαραίτητες μεθόδους για τον προσδιορισμό της απόλυτης ηλικίας, σε εκατομμύρια χρόνια, των πετρωμάτων και των απολιθωμάτων που αυτά περιέχουν. Αυτές οι μέθοδοι στηρίζονται στο γεγονός ότι κάθε ραδιενεργό στοιχείο διασπάται με έναν απολύτως ακριβή ρυθμό. Σάμπως η φύση να έχει θάψει μέσα στα πετρώματα μικροσκοπικά χρονόμετρα ακριβείας. Κάθε χρονόμετρο αρχίζει να λειτουργεί από τη στιγμή που εναποτίθεται στο πέτρωμα. Έτσι, το μόνο που έχει να κάνει ο παλαιοντολόγος είναι να το αποκαλύψει και να δει την ένδειξή του. Τα διάφορα είδη γεωλογικών «χρονομέτρων» που στηρίζονται στη ραδιενεργό διάσπαση λειτουργούν με διαφορετική ταχύτητα. Το χρονόμετρο του ραδιενεργού άνθρακα «τρέχει» πολύ γρήγορα –τόσο γρήγορα, ώστε έπειτα από μερικές χιλιάδες χρόνια το ελατήριό του έχει σχεδόν ξεκουρδιστεί και το ρολόι έχει χάσει πια την αξιοπιστία του. Είναι χρήσιμο για τη χρονολόγηση οργανικών υλικών που εμπίπτουν στην αρχαιολογική/ιστορική χρονική κλίμακα, η οποία μετριέται σε εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια, αλλά είναι άχρηστο για την εξελικτική χρονική κλίμακα, όπου έχουμε να κάνουμε με εκατομμύρια χρόνια.

Γι' αυτή την κλίμακα χρησιμοποιούμε άλλα είδη ρολογιών, όπως το ρολόι καλίου-αργού. Το ρολόι αυτό πηγαίνει τόσο αργά, ώστε θα ήταν ακατάλληλο για την αρχαιολογική/ιστορική χρονική κλίμακα. Αν το χρησιμοποιούσαμε για έναν τέτοιο σκοπό, θα ήταν σαν να χρησιμοποιούμε τον ωροδείκτη ενός συνηθισμένου ρολογιού για να χρονομετρήσουμε έναν αθλητή που τρέχει στα εκατό μέτρα. Από την άλλη πλευρά, το ρολόι καλίου-αργού είναι ιδανικό για να χρονομετρήσουμε τον «μεγαμαραθώνιο» της εξέλιξης. Μερικά άλλα ραδιενεργά «χρονόμετρα», το καθένα με τον δικό του χαρακτηριστικό ρυθμό επιβράδυνσης, είναι το χρο-

νόμετρο ρουβιδίου-στροντίου και το χρονόμετρο ουρανίου-θωρίου-μολύβδου. Με αυτή την παρέκβαση μάθαμε, λοιπόν, ότι αν ένας παλαιοντολόγος έχει στη διάθεσή του ένα απολίθωμα, είναι συνήθως σε θέση να βρει πότε έζησε το απολιθωμένο ζώο σε μια απολύτη χρονική κλίμακα εκατομμυρίων ετών. Θα θυμάστε ότι αρχίσαμε αυτή τη συζήτηση περί χρονολόγησης επειδή μας ενδιαφέρουν οι προβλέψεις που κάνουν σχετικά με το αρχείο των απολιθωμάτων οι διάφορες εξελικτικές θεωρίες – η θεωρία των «βαθμιαίων αλλαγών», της «εστιγμένης ισορροπίας» κ.λπ. Τώρα είναι καιρός να εξετάσουμε ποιες είναι αυτές οι διάφορες προβλέψεις.

Κατ' αρχάς, ας υποθέσουμε ότι η φύση είχε σταθεί απίστευτα ευγενική με τους παλαιοντολόγους (ή ίσως αγενής, αν σκεφτεί κανείς την επιπρόσθετη εργασία που θα συνεπαγόταν αυτό το γεγονός) και τους είχε προσφέρει ένα απολίθωμα από κάθε ζώο που έζησε πάνω στη Γη. Αν μπορούσαμε να ρίξουμε μια ματιά σε ένα τόσο πλήρες αρχείο απολιθωμάτων, προσεκτικά διατεταγμένο σε χρονολογική σειρά, τι θα περιμέναμε να δούμε, ως εξελικτικοί βιολόγοι; Αν είμαστε οπαδοί των «βαθμιαίων αλλαγών», με την έννοια που παρωδείται στην παραβολή των Ισραηλιτών, θα περιμέναμε περίπου το εξής: οι χρονολογικές ακολουθίες απολιθωμάτων να παρουσιάζουν πάντοτε ομαλές εξελικτικές τάσεις με σταθερούς ρυθμούς αλλαγής. Με άλλα λόγια, αν είχαμε τρία απολιθώματα, το Α, το Β και το Γ, όπου το Α προηγείται του Β, το οποίο προηγείται του Γ, θα περιμέναμε το Β να είναι αναλογικά ενδιάμεσο στη μορφή σε σχέση με το Α και το Γ. Για παράδειγμα, αν τα πόδια του Α είχαν μήκος 50 εκατοστά και του Γ 100 εκατοστά, τα πόδια του Β πρέπει να είχαν κάποιο ενδιάμεσο μήκος, η ακριβής τιμή του οποίου θα ήταν ανάλογη με το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από την ύπαρξη του Α έως την ύπαρξη του Β.

Αν οδηγήσουμε αυτή την καρικατούρα της θεωρίας των βαθμιαίων αλλαγών στη λογική της κατάληξη, όπως ακριβώς υπολογίσαμε ότι η μέση ταχύτητα των Ισραηλιτών ήταν 22 μέτρα την ημέρα, έτσι θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε και τον μέσο ρυθμό επιμήκυνσης των ποδιών στην εξελικτική γραμμή από το Α στο

Γ. Αν, για παράδειγμα, το Α έζησε 20 εκατομμύρια χρόνια πριν από το Γ (για να συσχετίσουμε αόριστα το παράδειγμά μας με την πραγματικότητα, μπορούμε να πούμε ότι το αρχαιότερο γνωστό μέλος της οικογένειας των ιπιδών, το υρακοθήριο, έζησε πριν από 50 εκατομμύρια χρόνια και είχε το μέγεθος σκύλου τεριέ), ο εξελικτικός ρυθμός επιμήκυνσης των ποδιών είναι 50 εκατοστά ανά 20 εκατομμύρια έτη, ή 2,5 εκατομμυριοστά του εκατοστού ανά έτος. Η καρικατούρα του οπαδού της βαθμιαίας εξέλιξης υποτίθεται ότι πιστεύει πως τα πόδια μεγάλωναν σταθερά κατά το πέρασμα των γενεών, με αυτό τον αργό ρυθμό: ας πούμε 10 εκατομμυριοστά του εκατοστού ανά γενιά, αν δεχτούμε ότι εμφανιζόταν μία γενιά κάθε τέσσερα χρόνια. Ο οπαδός της βαθμιαίας εξέλιξης πιστεύει, υποτίθεται, ότι σε όλα αυτά τα εκατομμύρια γενεών, τα ζώα που είχαν πόδια με μήκος 10 εκατομμυριοστά του εκατοστού μεγαλύτερο από τον μέσο όρο, διέθεταν ένα πλεονέκτημα σε σχέση με τα ζώα που είχαν πόδια με το μέσο μήκος. Εντούτοις, αν το πιστεύουμε αυτό, είναι σαν να πιστεύουμε ότι οι Ισραηλίτες διέσχισαν την έρημο διανύοντας 22 μέτρα κάθε μέρα.

Το ίδιο ισχύει ακόμη και για μια από τις ταχύτερες εξελικτικές αλλαγές που γνωρίζουμε, τη διόγκωση του ανθρώπινου κρανίου από έναν πρόγονο παρόμοιο με τον αυστραλοπίθηκο, που είχε όγκο εγκεφάλου περίπου 500 κυβικά εκατοστά, μέχρι τον σύγχρονο *Homo sapiens*, που ο μέσος όγκος του εγκεφάλου του είναι περίπου 1.400 κυβικά εκατοστά. Αυτή η αύξηση των 900 κυβικών εκατοστών –ο όγκος του εγκεφάλου σχεδόν τριπλασιάστηκε– συντελέστηκε σε διάστημα όχι μεγαλύτερο από τρία εκατομμύρια χρόνια. Με εξελικτικά κριτήρια, η αλλαγή αυτή είναι πολύ γρήγορη: ο εγκεφάλος μοιάζει να φουσκώνει σαν μπαλόνι, και πραγματικά το σύγχρονο ανθρώπινο κρανίο, βλέποντάς το από ορισμένες γωνίες, μοιάζει με ένα σφαιρικό μπαλόνι, αν το συγκρίνουμε με το κρανίο του αυστραλοπίθηκου, που ήταν πιο επίπεδο και είχε μικρότερη κλίση στο μέτωπο. Ωστόσο, αν μετρήσουμε τον αριθμό των γενεών που υπάρχουν σε τρία εκατομμύρια χρόνια (ας πούμε τέσσερις ανά αιώνα), ο μέσος ρυθμός της εξέλιξης είναι μικρότερος από ένα εκατοστό του κυβικού εκατο-

στού ανά γενιά. Η καρικατούρα του οπαδού της βαθμιαίας εξέλιξης υποτίθεται ότι πιστεύει πως συντελέστηκε μια αργή και σταθερή αλλαγή, γενιά προς γενιά, έτσι ώστε οι γιοι κάθε γενιάς να έχουν λίγο μεγαλύτερο κρανίο από τους πατέρες τους –μεγαλύτερο κατά ένα εκατοστό του κυβικού εκατοστού. Αυτό το επιπλέον εκατοστό του κυβικού εκατοστού υποτίθεται και πάλι ότι έδινε σε κάθε διαδοχική γενιά ένα σημαντικό εξελικτικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με την προηγούμενη.

Αλλά το ένα εκατοστό του κυβικού εκατοστού είναι μια μικροσκοπική ποσότητα σε σύγκριση με τις διακυμάνσεις μεγέθους που συναντάμε στον εγκέφαλο των σύγχρονων ανθρώπων. Για παράδειγμα, αναφέρεται συχνά ότι ο εγκέφαλος του συγγραφέα Anatole France –που δεν ήταν βλάκας και είχε τιμηθεί με το βραβείο Νόμπελ– είχε όγκο μικρότερο από 1.000 κυβικά εκατοστά, ενώ στην άλλη άκρη του φάσματος, έχουν παρατηρηθεί εγκέφαλοι 2.000 κυβικών εκατοστών –ο Oliver Cromwell αναφέρεται συχνά ως παράδειγμα, αν και δεν ξέρω πόσο τεκμηριωμένο είναι. Έτσι, η μέση αύξηση του ενός εκατοστού του κυβικού εκατοστού ανά γενιά, που υποτίθεται ότι η καρικατούρα του οπαδού της βαθμιαίας εξέλιξης πιστεύει πως δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα επιβίωσης, αντιπροσωπεύει το ένα εκατοντάκις χιλιοστό της *διαφοράς* ανάμεσα στον εγκέφαλο του Anatole France και του Oliver Cromwell! Ευτυχώς που η καρικατούρα του οπαδού της βαθμιαίας εξέλιξης δεν υπάρχει στην πραγματικότητα.

Ωστόσο, αν αυτό το είδος οπαδού της βαθμιαίας εξέλιξης είναι μια ανύπαρκτη καρικατούρα –ένας ανεμόμυλος για τις λόγχες των οπαδών της ασυνεχούς εξέλιξης– μήπως υπάρχει κάποιο άλλο είδος οπαδού της βαθμιαίας εξέλιξης που είναι υπαρκτό και έχει υποστηρίξιμες πεποιθήσεις; Θα δείξω ότι η απάντηση είναι θετική και πως οι τάξεις των οπαδών της βαθμιαίας εξέλιξης, με αυτή τη δεύτερη έννοια του όρου, περιλαμβάνουν όλους τους εξελικτιστές που σκέφτονται λογικά. Επιπλέον, ανάμεσά τους, αν εξετάσουμε με προσοχή τις πεποιθήσεις τους, θα βρούμε ακόμη και εκείνους που αυτοαποκαλούνται οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας. Αλλά πρέπει να καταλάβουμε γιατί οι τελευταίοι *θεώρησαν* ότι οι απόψεις τους είναι επαναστατικές και συναρπα-

στικές. Η αφετηρία για να μελετήσουμε αυτά τα θέματα είναι η φαινομενική ύπαρξη «χασμάτων» στο αρχείο των απολιθωμάτων. Σε αυτά τα χάσματα θα στρέψουμε τώρα την προσοχή μας.

Τόσο ο ίδιος ο Δαρβίνος όσο και οι μετέπειτα εξελικτιστές είχαν καταλάβει ότι, αν κατατάξουμε όλα τα διαθέσιμα απολιθώματα σε χρονολογική σειρά, δεν σχηματίζεται μια ομοιόμορφη αλληλουχία από σχεδόν ανεπαίσθητες αλλαγές. Οποσδήποτε, μπορούμε να διακρίνουμε μακροπρόθεσμες τάσεις αλλαγής – προοδευτικά, τα πόδια γίνονται μακρύτερα, τα κρανία πιο σφαιρικά, κ.λπ. – αλλά οι εξελικτικές τάσεις που παρατηρούνται στο αρχείο των απολιθωμάτων είναι συνήθως σπασμωδικές και όχι ομοιόμορφες. Ο Δαρβίνος, και οι περισσότεροι από τους μεταγενέστερους οπαδούς του, πίστευαν πως αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι το αρχείο των απολιθωμάτων είναι ατελές. Η άποψη του Δαρβίνου ήταν ότι ένα πλήρες αρχείο, αν μπορούσε ποτέ να βρεθεί, θα παρουσίαζε μάλλον μια ομαλή, σταδιακή και όχι σπασμωδική αλλαγή. Αλλά επειδή η απολίθωση είναι στο μεγαλύτερο μέρος της μια τυχαία διαδικασία, και η ανεύρεση των απολιθωμάτων που υπάρχουν είναι εξίσου τυχαία, το αρχείο των απολιθωμάτων μοιάζει με μια κινηματογραφική ταινία της οποίας λείπουν τα περισσότερα καρέ. Βλέπουμε βέβαια κάποιο είδος κίνησης όταν «προβάλλουμε την ταινία», αλλά πρόκειται για μια κίνηση πιο σπασμωδική και από αυτήν των ταινιών του Τσάρλι Τσάπλιν, γιατί ακόμη και στην πιο παλιά και φθαρμένη ταινία του Τσάρλι Τσάπλιν δεν λείπουν τα εννέα δέκατα των καρέ.

Οι αμερικανοί παλαιοντολόγοι Niles Eldredge και Stephen Jay Gould, όταν το 1972 πρότειναν για πρώτη φορά τη θεωρία της εστιγμένης ισορροπίας, ισχυρίστηκαν κάτι που στη συνέχεια παρουσιάστηκε εντελώς διαφορετικά. Υποστήριξαν ότι στην πραγματικότητα το αρχείο των απολιθωμάτων μπορεί να μην είναι τόσο ατελές όσο νομίζαμε. Μπορεί τα «χάσματα» να αντικατοπτρίζουν αυτό που πραγματικά συνέβη, αντί να αποτελούν ένα ενοχλητικό αλλά αναπόφευκτο χαρακτηριστικό ενός ατελούς αρχείου απολιθωμάτων. Ίσως, υποστήριξαν, η εξέλιξη να προχωρεί στην πραγματικότητα με απότομα άλματα. Τα άλματα αυτά αποτελούσαν σύντομα διαλείμματα σε μια μακρά περίοδο «στάσης»,



κατά τη διάρκεια της οποίας δεν συνέβαινε καμία εξελικτική αλλαγή σε μια δεδομένη γενεαλογική σειρά.

Πριν εξετάσουμε τι είδους απότομα άλματα είχαν στο μυαλό τους, πρέπει να αποκλείσουμε μερικές πιθανές σημασίες του όρου «απότομα άλματα» που αυτοί σίγουρα δεν απέδιδαν στον όρο: Αυτές τις σημασίες θα πρέπει να τις αποσαφηνίσουμε και να τις αποκλείσουμε, γιατί έχουν προκαλέσει σοβαρές παρανοήσεις. Ο Eldredge και ο Gould σίγουρα θα συμφωνούσαν ότι μερικά πολύ σημαντικά χάσματα οφείλονται πραγματικά σε ατέλειες του αρχείου των απολιθωμάτων –και, μάλιστα, πρόκειται για πολύ μεγάλα χάσματα. Για παράδειγμα, τα γεωλογικά στρώματα της καμβρίου περιόδου, που χρονολογούνται πριν από 600 εκατομμύρια χρόνια περίπου, είναι τα παλιότερα στα οποία βρίσκουμε τις περισσότερες από τις κύριες ασπόνδυλες ομάδες. Και πολλές από αυτές τις βρίσκουμε ήδη σε μια προχωρημένη εξελικτική κατάσταση, από την πρώτη κιόλας φορά που εμφανίζονται στα απολιθώματα. Είναι σάμπως να ξεφύτρωσαν εκεί, χωρίς να έχουν καμία προηγούμενη εξελικτική ιστορία. Δεν χρειάζεται να πούμε, βέβαια, ότι το γεγονός αυτό έχει ενθουσιάσει τους δημιουργιστές. Οι εξελικτιστές όλων των αποχρώσεων, όμως, πιστεύουν ότι εδώ έχουμε να κάνουμε με ένα πολύ μεγάλο χάσμα του αρχείου των απολιθωμάτων, ένα χάσμα που οφείλεται απλώς στο γεγονός ότι, για κάποιο λόγο, έχουν διατηρηθεί πολύ λίγα απολιθώματα για χρονικά διαστήματα μεγαλύτερα από 600 εκατομμύρια χρόνια. Ένας βάσιμος λόγος μπορεί να είναι το γεγονός ότι το σώμα πολλών από αυτά τα ζώα ήταν μαλακό –δεν είχε καθόλου σκληρά τμήματα, όπως κέλυφος ή οστά, για να απολιθωθούν. Αν κάποιος είναι δημιουργιστής, μπορεί να θεωρήσει ότι αυτή είναι μια απλή δικαιολογία. Εκείνο που θέλω να επισημάνω εδώ είναι πως, όταν μιλάμε για χάσματα τέτοιου μεγέθους, δεν υπάρχει καμία διαφορά ανάμεσα στην ερμηνεία των οπαδών της εστιγμένης ισορροπίας και των οπαδών των βαθμιαίων αλλαγών. Και οι δύο σχολές απεχθάνονται εξίσου τους λεγόμενους επιστημονικούς δημιουργιστές. Επίσης, συμφωνούν ότι τα μεγαλύτερα χάσματα είναι πραγματικά και αποτελούν γνήσιες ατέλειες του αρχείου των απολιθωμάτων. Και οι δύο σχολές συμφωνούν ότι η

μοναδική εναλλακτική εξήγηση για την ξαφνική εμφάνιση τόσο πολλών και πολύπλοκων ζωικών μορφών κατά την κάμβριο περίοδο θα μπορούσε να είναι η θεική δημιουργία, και οι δύο όμως απορρίπτονται με αποφασιστικότητα αυτή την εξήγηση.

Υπάρχει και μια άλλη πιθανή σημασία σύμφωνα με την οποία θα μπορούσαμε να πούμε ότι η εξέλιξη προχωρεί με ξαφνικά άλματα, αλλά δεν είναι αυτή που υποστηρίζεται από τους Eldredge και Gould, τουλάχιστον στα περισσότερα έργα τους. Μπορεί μερικά από τα φαινομενικά χάσματα του αρχείου των απολιθωμάτων να αντικατοπτρίζουν πραγματικά μια ξαφνική αλλαγή που συνέβη μέσα σε μία γενιά. Μπορεί να μην υπήρξαν ποτέ ενδιάμεσες μορφές, αλλά να συνέβησαν μεγάλες εξελικτικές αλλαγές μέσα σε μία και μοναδική γενιά. Μπορεί να γεννήθηκε ένας γιος τόσο διαφορετικός από τον πατέρα του, ώστε να πρέπει να καταταχθεί σε διαφορετικό είδος από αυτόν. Θα ήταν δηλαδή ένα μεταλλαγμένο άτομο, και η μετάλλαξη θα προκάλεσε τόσο μεγάλες μεταβολές, ώστε θα πρέπει να την ονομάσουμε μακρομετάλλαξη. Οι εξελικτικές θεωρίες που στηρίζονται στις μακρομεταλλάξεις ονομάζονται «αλματικές» θεωρίες. Επειδή η θεωρία της εστιγμένης ισορροπίας συγγέεται συχνά με την αλματική θεωρία, είναι σημαντικό να εξετάσουμε εδώ την αλματική θεωρία και να δείξουμε γιατί οι μακρομεταλλάξεις δεν μπορούν να αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την εξέλιξη.

Οι μακρομεταλλάξεις –μεταλλάξεις με σημαντικές επιπτώσεις– αναμφίβολα συμβαίνουν. Εκείνο που μας απασχολεί δεν είναι το αν συμβαίνουν, αλλά το κατά πόσο διαδραματίζουν κάποιο ρόλο στην εξέλιξη με άλλα λόγια, αν ενσωματώνονται στη γονιδιακή δεξαμενή του είδους ή αν, αντίθετα, εξαλείφονται πάντοτε από τη φυσική επιλογή. Ένα πασίγνωστο παράδειγμα μακρομετάλλαξης είναι η *κεραιοποδία* στη μύγα δροσόφιλα. Σε ένα φυσιολογικό έντομο, οι κεραίες έχουν κάτι το κοινό με τα πόδια, με την έννοια ότι αναπτύσσονται με παρόμοιο τρόπο στο έμβρυο. Αλλά οι διαφορές είναι επίσης μεγάλες, και αυτοί οι δύο τύποι άκρων χρησιμοποιούνται για πολύ διαφορετικούς σκοπούς: τα πόδια για τη βάδιση και οι κεραίες για την αφή, την όσφρηση και για άλλες αισθητήριες λειτουργίες. Οι κεραιοποδικές δροσό-

φίλες είναι «τέρατα» στα οποία οι κεραίες αναπτύσσονται ακριβώς όπως τα πόδια. Ή, για να το πούμε διαφορετικά, είναι μύγες που δεν έχουν κεραίες αλλά ένα πρόσθετο ζευγάρι ποδιών τα οποία αναπτύσσονται στις εσοχές όπου θα έπρεπε να βρίσκονται οι κεραίες. Αυτή είναι μια πραγματική μετάλλαξη, αφού οφείλεται σε ένα σφάλμα στην αντιγραφή του DNA. Επιπλέον, μεταβιβάζεται κληρονομικά στους απογόνους, αν οι κεραιοποδικές δροσόφιλες ζήσουν αρκετά μέσα στο προστατευτικό περιβάλλον του εργαστηρίου ώστε να ζευγαρώσουν. Στο φυσικό τους περιβάλλον δεν θα επιζούσαν για πολύ, γιατί οι κινήσεις τους είναι αδέξιες και οι ζωτικές αισθητήριες λειτουργίες τους ελαττωματικές.

Συνεπώς, οι μακρομεταλλάξεις είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει στην πραγματικότητα. Διαδραματίζουν όμως κάποιο ρόλο στην εξέλιξη; Οι λεγόμενοι αλματιστές πιστεύουν ότι οι μακρομεταλλάξεις είναι ένα μέσο χάρη στο οποίο θα μπορούσαν να γίνουν μεγάλα εξελικτικά άλματα κατά τη διάρκεια μίας και μοναδικής γενιάς. Ο Richard Goldschmidt, τον οποίο συναντήσαμε στο Κεφάλαιο 4, ήταν ένας γνήσιος οπαδός της αλματικής εξέλιξης. Αν ίσχυε ο αλματισμός, τα φαινομενικά χάσματα στο αρχείο των απολιθωμάτων θα μπορούσαν στην πραγματικότητα να μην είναι καθόλου χάσματα. Για παράδειγμα, ένας αλματιστής μπορεί να πιστεύει ότι η μετάβαση από τον αυστραλοπίθηκο με το κεκλιμένο μέτωπο στον *Homo sapiens* με το θολωτό μέτωπο συντελέστηκε χάρη σε μία μόνο μακρομετάλλαξη που συνέβη κατά τη διάρκεια μίας μοναδικής γενιάς. Η μορφολογική διαφορά ανάμεσα στα δύο είδη είναι ίσως μικρότερη από τη διαφορά ανάμεσα σε μια φυσιολογική δροσόφιλα και σε μια κεραιοποδική δροσόφιλα. Μπορεί θεωρητικά ο πρώτος *Homo sapiens* να ήταν ένα παιδί «τέρας» –που πιθανόν το εξοστράκισαν και το καταδίωκαν–, γεννημένο από δύο φυσιολογικούς γονείς που ανήκαν στο είδος των αυστραλοπιθήκων.

Υπάρχουν πολύ βάσιμοι λόγοι που μας κάνουν να απορρίπτουμε όλες αυτές τις αλματικές θεωρίες της εξέλιξης. Ένας μάλλον προφανής λόγος είναι ότι, αν ένα νέο είδος εμφανιζόταν πραγματικά με ένα μοναδικό μεταλλακτικό θήμα, τα μέλη του εν λόγω είδους μπορεί να δυσκολεύονταν να βρουν συντρόφους για

να ζευγαρώσουν. Ωστόσο, βρίσκω αυτό το λόγο λιγότερο ενδεικτικό και ενδιαφέροντα από δύο άλλους που τους αναφέραμε ήδη όταν εξετάζαμε γιατί πρέπει να αποκλειστούν τα μεγάλα άλματα μέσα στη Χώρα των βιομορφών. Ο πρώτος λόγος διατυπώθηκε από τον μεγάλο στατιστικολόγο και βιολόγο R.A. Fisher, τον οποίο συναντήσαμε σε προηγούμενα κεφάλαια. Ο Fisher ήταν σταθερός πολέμιος όλων των μορφών αλματισμού, και μάλιστα σε μια εποχή κατά την οποία η εν λόγω θεωρία ήταν πολύ πιο δημοφιλής απ' όσο είναι σήμερα. Για να εξηγήσει τη θέση του, χρησιμοποιούσε την παρακάτω αναλογία. Φανταστείτε, έλεγε, ένα μικροσκόπιο που είναι σχεδόν, αλλά όχι εντελώς, εστιασμένο και κατά τα άλλα καλά ρυθμισμένο για την επίτευξη μιας ευκρινούς εικόνας. Αν κάνουμε μια τυχαία αλλαγή στην κατάσταση του μικροσκοπίου (που αντιστοιχεί σε μια μετάλλαξη), ποιες είναι οι πιθανότητες να βελτιώσουμε την εστίαση και τη γενική ποιότητα της εικόνας; Και ο Fisher απαντά:

Είναι αρκετά προφανές ότι οποιαδήποτε σημαντική επέμβαση θα έχει ελάχιστες πιθανότητες να βελτιώσει την ικανότητα εστίασης του οργάνου, ενώ στην περίπτωση πολύ μικρότερων τροποποιήσεων από αυτές που θα μπορούσε να επιφέρει σκόπιμα ο κατασκευαστής ή ο χειριστής, η πιθανότητα βελτίωσης θα είναι σχεδόν 50%.

Έχω επισημάνει ήδη ότι αυτά που ο Fisher έβρισκε «ευνόητα» μπορεί να ήταν εξαιρετικά δυσνόητα για τους συνηθισμένους επιστήμονες, και το ίδιο ισχύει για τα πράγματα που ο Fisher θεωρούσε «αρκετά προφανή». Παρ' όλα αυτά, με λίγο περισσότερη σκέψη διαπιστώνουμε σχεδόν πάντοτε ότι είχε δίκιο, και στη συγκεκριμένη περίπτωση μπορούμε να το αποδείξουμε χωρίς μεγάλη δυσκολία. Θεωρούμε ότι το μικροσκόπιο είναι σχεδόν καλά εστιασμένο πριν επέμβουμε. Ας υποθέσουμε ότι ο φακός βρίσκεται λίγο πιο χαμηλά απ' όσο θα έπρεπε για να είναι τέλεια η εστίαση —έστω ότι βρίσκεται ένα χιλιοστό πιο κοντά στην πλάκα. Τώρα, αν τον κινήσουμε λίγο, ας πούμε ένα δέκατο του χιλιοστού, προς μια τυχαία κατεύθυνση, ποιες είναι οι πιθανότητες να βελτιωθεί η εστίαση; Αν τον *χαμηλώσουμε* κατά ένα δέκατο του

χιλιοστού, η εστίαση θα χειροτερέψει. Αν τον ανεβάσουμε κατά ένα δέκατο του χιλιοστού, η εστίαση θα βελτιωθεί. Αφού τον κινούμε προς μια τυχαία κατεύθυνση, υπάρχει πιθανότητα 50% για καθεμιά από τις δύο περιπτώσεις. Όσο πιο μικρή είναι η απόσταση κατά την οποία θα τον κινήσουμε, σε σχέση με το αρχικό σφάλμα, τόσο πιο πολύ η πιθανότητα βελτίωσης πλησιάζει το 50%. Έτσι δικαιολογείται το δεύτερο μέρος της δήλωσης του Fisher.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι κινούμε το φακό κατά μεγάλη απόσταση –το αντίστοιχο μιας μακρομετάλλαξης– επίσης προς μια τυχαία κατεύθυνση. Ας υποθέσουμε ότι τον κινούμε κατά δύο ολόκληρα εκατοστά. Τώρα δεν έχει σημασία αν θα τον χαμηλώσουμε ή αν θα τον ανεβάσουμε: και στις δύο περιπτώσεις η εστίαση θα είναι χειρότερη από πριν. Αν τον χαμηλώσουμε, θα απέχει δύο εκατοστά και ένα χιλιοστό από την ιδανική του θέση (και κατά πάσα πιθανότητα θα έχει σπάσει τη γυάλινη πλάκα), ενώ αν τον ανεβάσουμε, η απόσταση θα γίνει ένα εκατοστό και εννέα χιλιοστά. Πριν από την κίνηση απείχε μόνο ένα χιλιοστό από την ιδανική του θέση, επομένως, όποια κατεύθυνση κι αν επιλέξουμε, η «μακρομεταλλακτική» κίνηση θα χειροτερέψει την εστίαση. Κάναμε τους υπολογισμούς μας για μια κίνηση κατά πολύ μεγάλη απόσταση («μακρομετάλλαξη») και μια κίνηση κατά πολύ μικρή απόσταση («μικρομετάλλαξη»). Προφανώς μπορούμε να κάνουμε τον ίδιο υπολογισμό για ένα φάσμα από ενδιάμεσες αποστάσεις, αλλά δεν υπάρχει λόγος. Νομίζω πως είναι προφανές πια ότι όσο μικρότερη είναι η απόσταση κατά την οποία γίνεται η κίνηση, τόσο πιο πολύ θα πλησιάζουμε την ακραία περίπτωση στην οποία οι πιθανότητες βελτίωσης είναι 50%. Και όσο μεγαλύτερη είναι η εν λόγω απόσταση, τόσο πιο πολύ θα πλησιάζουμε την ακραία περίπτωση στην οποία οι πιθανότητες βελτίωσης είναι μηδενικές.

Ο αναγνώστης θα παρατήρησε πως αυτό το επιχείρημα βασίζεται στην αρχική παραδοχή ότι, πριν αρχίσουμε να κάνουμε τυχαίες ρυθμίσεις, το μικροσκόπιο βρισκόταν ήδη πολύ κοντά στη θέση τέλει εστίασης. Αν αρχικά η απόσταση από την τέλεια εστίαση ήταν δύο εκατοστά, τότε μια τυχαία αλλαγή ενός

εκατοστού θα είχε πιθανότητες 50% να αποτελεί βελτίωση, όπως ακριβώς συνέβη με την τυχαία αλλαγή του ενός δεκάτου του χιλιοστού που αναφέραμε παραπάνω. Σ' αυτή την περίπτωση η «μακρομετάλλαξη» έχει το πλεονέκτημα ότι φέρνει το μικροσκόπιο πιο γρήγορα στη θέση τέλειαις εστίασης. Φυσικά, εν προκειμένω, το επιχείρημα του Fisher για τον θλαβερό χαρακτήρα των μακρομεταλλάξεων θα ισχύει για «μεγαμεταλλάξεις», λόγω χάριση, τριών εκατοστών προς μια τυχαία κατεύθυνση.

Γιατί, λοιπόν, επιτράπηκε στον Fisher να διατυπώσει την αρχική παραδοχή, ότι το μικροσκόπιο είναι σχεδόν καλά εστιασμένο από την αρχή; Η παραδοχή προκύπτει από το ρόλο που παίζει το μικροσκόπιο στην αναλογία: μετά την τυχαία αλλαγή της εστίασής του, αντιπροσωπεύει ένα μεταλλαγμένο ζώο· πριν από την τυχαία αλλαγή αντιπροσωπεύει τον φυσιολογικό, μη μεταλλαγμένο γονέα του υποθετικού μεταλλαγμένου ζώου. Αφού είναι γονέας, πρέπει να επιβίωσε για αρκετό καιρό ώστε να αναπαραχθεί, και επομένως δεν μπορεί να απέχει πολύ από μια κατάσταση καλής προσαρμογής. Με την ίδια λογική, το μικροσκόπιο πριν από την τυχαία μεταβολή της εστίασής του, δεν πρέπει να απέχει πολύ από την τέλεια εστίαση, γιατί αλλιώς το ζώο που αντιπροσωπεύει στην αναλογία δεν θα είχε επιβιώσει. Πρόκειται για μια απλή αναλογία, και θα ήταν ανώφελο να εξετάσουμε αν η έκφραση «δεν μπορεί να απέχει πολύ» πρέπει να αντιστοιχεί σε ένα εκατοστό, σε ένα χιλιοστό, ή σε ένα δέκατο του χιλιοστού. Το σημαντικό είναι ότι αν αρχίσουμε να εξετάζουμε μεταλλάξεις που προκαλούν ολοένα και μεγαλύτερες μεταβολές, θα φτάσουμε σε ένα σημείο όπου, όσο πιο μεγάλες μεταβολές προκαλεί μια μετάλλαξη, τόσο λιγότερες πιθανότητες θα υπάρχουν να είναι ωφέλιμη. Ενώ αν αρχίσουμε να εξετάζουμε μεταλλάξεις με ολοένα και πιο ασήμαντες επιπτώσεις, θα φτάσουμε σε ένα σημείο όπου η πιθανότητα μιας ωφέλιμης μετάλλαξης θα είναι 50%.

Έτσι, το επιχείρημα του κατά πόσο οι μακρομεταλλάξεις όπως η κεραιοποδία μπορεί να είναι ποτέ ωφέλιμες (ή τουλάχιστον να μην είναι επιθλαβείς), και επομένως αν θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε εξελικτική αλλαγή, εξαρτάται από το πόσο σημαντικές επιπτώσεις έχει η μακρομετάλλαξη που εξετάζουμε. Όσο πιο ση-



μαντικές είναι, τόσο περισσότερες πιθανότητες υπάρχουν να αποβεί επιβλαβής, και τόσο λιγότερες να ενσωματωθεί στην εξέλιξη ενός είδους. Πραγματικά, σχεδόν όλες οι μεταλλάξεις που μελετώνται στα εργαστήρια γενετικής – και οι οποίες έχουν αρκετά σημαντικές επιπτώσεις, γιατί αλλιώς δεν θα τις πρόσεχαν οι επιστήμονες – είναι επιβλαβείς για τα ζώα που τις υφίστανται. (Η ειρωνεία είναι ότι έχω γνωρίσει ανθρώπους που νομίζουν ότι αυτό είναι ένα επιχείρημα κατά του δαρβινισμού!) Το επιχείρημα του μικροσκοπίου του Fisher, λοιπόν, μας δίνει ένα λόγο να αντιμετωπίσουμε με σκεπτικισμό τις «αλματικές» θεωρίες εξέλιξης, τουλάχιστον στην ακραία μορφή τους.

Ένας επιπλέον γενικότερος λόγος για να μην πιστεύουμε στην αλματική εξέλιξη είναι επίσης στατιστικός, και η ισχύς του εξαρτάται επίσης ποσοτικά από το πόσο πραγματικά «μάκρο» είναι η υποτιθέμενη μακρομετάλλαξη. Ο λόγος αυτός αφορά την πολυπλοκότητα των εξελικτικών αλλαγών. Πολλές από τις εξελικτικές αλλαγές που μας ενδιαφέρουν – αν και όχι όλες – χαρακτηρίζονται από μια αύξηση της πολυπλοκότητας στο σχεδιασμό ενός οργανισμού. Το επιχείρημα εκφράζεται σαφέστατα από το ακραίο παράδειγμα του ματιού, στο οποίο αναφερθήκαμε σε προηγούμενα κεφάλαια. Τα ζώα με μάτια παρόμοια με τα δικά μας εξελίχθηκαν από προγόνους που δεν είχαν καθόλου μάτια. Ένας ακραίος αλματιστής θα μπορούσε να υποθέσει ότι η εξέλιξη αυτή συντελέστηκε χάρη σε μία και μοναδική μετάλλαξη. Ένα ζώο που δεν είχε καθόλου μάτια, αλλά μόνο γυμνό δέρμα στο σημείο όπου θα αναπτύσσονταν κατόπιν τα μάτια, απέκτησε ένα παιδί «τέρας», με πλήρως ανεπτυγμένα μάτια, που είχαν όλα τα σημερινά τους χαρακτηριστικά: πλήρως ανεπτυγμένους κρυσταλλοειδείς φακούς με ικανότητα μεταβλητής εστίασης, διάφραγμα της ίριδας ικανό να ρυθμίζει την ποσότητα του εισερχόμενου φωτός, αμφιβληστροειδή χιτώνα με εκατομμύρια φωτοκύτταρα ευαίσθητα στα τρία βασικά χρώματα, και όλα αυτά κατάλληλα συνδεδεμένα με τον εγκέφαλο μέσω νεύρων, έτσι ώστε να του παρέχουν μια σωστή, διοφθάλμια, στερεοσκοπική και έγχρωμη όραση.

Στο μοντέλο των διομορφών δεχτήκαμε ότι αυτή η πολυδιάστατη βελτίωση δεν μπορεί να συμβεί. Ας ανακεφαλαιώσουμε

τους λόγους για τους οποίους η παραδοχή αυτή είναι λογική: για να δημιουργηθεί ένα μάτι από το τίποτε, χρειάζεται όχι μόνο μία βελτίωση, αλλά ένας μεγάλος αριθμός βελτιώσεων. Καθεμία από αυτές είναι αρκετά απίθανη από μόνη της, αλλά όχι τόσο απίθανη ώστε να είναι αδύνατη. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ταυτόχρονων βελτιώσεων που εξετάζουμε, τόσο πιο απίθανη είναι η ταυτόχρονη εμφάνισή τους. Η σύμπτωση της ταυτόχρονης εμφάνισής τους αντιστοιχεί στο να κάνουμε ένα μεγάλο άλμα μέσα στη Χώρα των βιομορφών και να τύχει να προσγειωθούμε σε ένα συγκεκριμένο σημείο που είχαμε καθορίσει από πριν. Αν ο αριθμός των βελτιώσεων είναι αρκετά μεγάλος, η ταυτόχρονη εμφάνισή τους γίνεται τόσο απίθανη, ώστε να είναι πρακτικά αδύνατη. Το επιχείρημα έχει διατυπωθεί ήδη, αλλά θα ήταν ίσως χρήσιμο να κάνουμε μια διάκριση ανάμεσα σε δύο διαφορετικά είδη υποθετικών μακρομεταλλάξεων, που και οι δύο φαίνονται να αποκλείονται από το επιχείρημα της πολυπλοκότητας, ενώ στην πραγματικότητα αυτό το επιχείρημα μπορεί να αποκλείσει μόνο τη μία. Θα ονομάσω τα δύο είδη, για λόγους που θα γίνουν φανεροί, μακρομετάλλαξη τύπου Μπόινγκ 747 και μακρομετάλλαξη τύπου Σούπερ DC8.

Οι μακρομεταλλάξεις τύπου Μπόινγκ 747 είναι εκείνες οι οποίες αποκλείονται από το επιχείρημα της πολυπλοκότητας που μόλις αναφέραμε. Το όνομα αυτό οφείλεται στον αστρονόμο σερ Fred Hoyle, ο οποίος είχε λαθεμένη αντίληψη για τη θεωρία της φυσικής επιλογής. Ο Hoyle παρομοίωσε τη φυσική επιλογή –λόγω της υποτιθέμενης απιθανότητάς της– με έναν ανεμοστρόβιλο που κινείται μέσα σε μια μάντρα με άχρηστα μηχανικά εξαρτήματα και συναρμολογεί κατά τύχη ένα Μπόινγκ 747. Όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 1, αυτή η αναλογία δεν μπορεί να εφαρμοστεί στη φυσική επιλογή. Εντούτοις, είναι μια πολύ καλή αναλογία για την ιδέα ότι ορισμένα είδη μακρομεταλλάξεως μπορούν να οδηγήσουν σε εξελικτική αλλαγή. Πράγματι, το θεμελιώδες σφάλμα του Hoyle ήταν ότι (χωρίς να το καταλάβει) πίστευε ουσιαστικά πως η θεωρία της φυσικής επιλογής βασίζεται στις μακρομεταλλάξεις. Η ιδέα ότι μία μοναδική μακρομετάλλαξη μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση ενός ματιού που να λειτουργεί άριστα και

να διαθέτει τις ιδιότητες που αναφέραμε παραπάνω, εκεί που πριν υπήρχε μόνο γυμνό δέρμα, είναι πραγματικά τόσο απίθανη, όσο και το να καταφέρει ένας ανεμοστρόβιλος να συναρμολογήσει ένα Μπόινγκ 747. Γι' αυτό ονόμασα «μακρομετάλλαξη τύπου Μπόινγκ 747» αυτή την υποθετική περίπτωση.

Οι μακρομεταλλάξεις τύπου Σούπερ DC8 είναι οι μεταλλάξεις που, αν και πρέπει να θεωρηθεί ότι έχουν σημαντικές επιπτώσεις, αποδεικνύεται ότι δεν προκαλούν μεγάλη πολυπλοκότητα. Το Σούπερ DC8 είναι ένα επιβατικό αεροπλάνο που κατασκευάστηκε με την τροποποίηση ενός προηγούμενου επιβατικού αεροπλάνου, του DC8. Μοιάζει με το παλιό, αλλά έχει πιο μακριά άτρακτο. Αποτελεί βελτίωση τουλάχιστον από μια άποψη, αφού μπορεί να μεταφέρει περισσότερους επιβάτες από το αρχικό DC8. Η τροποποίηση είναι μια μεγάλη αύξηση του μήκους του, και από αυτή την άποψη είναι ανάλογη προς τις μακρομεταλλάξεις. Εκείνο που μας ενδιαφέρει περισσότερο, όμως, είναι ότι η αύξηση του μήκους αποτελεί, με την πρώτη ματιά, μια πολύπλοκη διαδικασία. Για να επιμηκύνουμε την άτρακτο δεν αρκεί να προσθέσουμε απλώς ένα επιπλέον κομμάτι στην άτρακτο του παλιού αεροπλάνου. Πρέπει να επιμηκύνουμε ακόμη αμέτρητους αγωγούς, καλώδια και σύρματα. Πρέπει να τοποθετήσουμε πρόσθετα καθίσματα, σταχοδοχεία, φώτα ανάγνωσης, επιλογείς μουσικής και στόμια καθαρού αέρα. Με την πρώτη ματιά το Σούπερ DC8 φαίνεται πολύ πιο πολύπλοκο από το συνηθισμένο DC8, αλλά αληθεύει αυτό; Η απάντηση είναι όχι, τουλάχιστον στο βαθμό που τα πρόσθετα στοιχεία στο Σούπερ DC8 αποτελούν απλώς επανάληψη των στοιχείων που υπάρχουν ήδη στο παλιό. Οι διομορφές του Κεφαλαίου 3 παρουσιάζουν συχνά μακρομεταλλάξεις τύπου Σούπερ DC8.

Τι σχέση έχουν όλα αυτά με τις μεταλλάξεις σε πραγματικά ζώα; Μερικές πραγματικές μεταλλάξεις προκαλούν σημαντικές αλλαγές που μοιάζουν πολύ με τη μετατροπή του DC8 σε Σούπερ DC8, και μερικές από αυτές, αν και κατά μια έννοια είναι «μακρομεταλλάξεις», έχουν ενσωματωθεί στην εξέλιξη. Τα φίδια, για παράδειγμα, έχουν όλα πολύ περισσότερους σπονδύλους από τους προγόνους τους. Θα μπορούσαμε να βεβαιωθούμε γι' αυτό

ακόμη και αν δεν είχαμε τα σχετικά απολιθώματα, γιατί τα φίδια έχουν πολύ περισσότερους σπονδύλους από τα συγγενικά τους είδη που ζουν ακόμη μέχρι σήμερα. Επιπλέον, διαφορετικά είδη φιδιών έχουν διαφορετικούς αριθμούς σπονδύλων, πράγμα που σημαίνει ότι ο αριθμός των σπονδύλων πρέπει να άλλαξε κατά τη διάρκεια της εξέλιξής τους από τον κοινό τους πρόγονο, και μάλιστα αρκετά συχνά.

Για να αλλάξουμε τον αριθμό των σπονδύλων σε ένα ζώο, δεν αρκεί να προσθέσουμε απλώς ένα οστό στην κατάλληλη θέση. Κάθε σπόνδυλος έχει ένα δικό του σύνολο από νεύρα, ένα άλλο σύνολο από αιμοφόρα αγγεία, ένα τρίτο σύνολο από μυς, κ.λπ., όπως ακριβώς κάθε σειρά καθισμάτων σε ένα αεροπλάνο έχει έναν αριθμό από μαξιλάρια, στηρίγματα του κεφαλιού, πρίζες ακουστικών, φάτα ανάγνωσης, τραπεζάκια, κ.λπ. Το μεσαίο μέρος του σώματος ενός φιδιού, όπως και το μεσαίο μέρος της ατράκτου ενός επιβατικού αεροπλάνου, αποτελείται από έναν αριθμό *τμημάτων*, πολλά από τα οποία είναι πανομοιότυπα μεταξύ τους, ανεξάρτητα από το πόσο πολύπλοκο μπορεί να είναι το καθένα. Επομένως, για να προσθέσουμε νέα τμήματα, αρκεί απλώς να εφαρμόσουμε μια απλή διαδικασία διπλασιασμού. Αφού υπάρχει ήδη ο γενετικός μηχανισμός για την κατασκευή ενός τμήματος του φιδιού—γενετικός μηχανισμός που είναι εξαιρετικά πολύπλοκος και χρειάστηκε πολλές γενιές βαθμιαίας και συνεχούς εξέλιξης για να δημιουργηθεί—είναι εύκολο να προσθέσουμε κι άλλα πανομοιότυπα τμήματα με ένα απλό μεταλλακτικό θήμα. Αν φανταστούμε τα γονίδια σαν «οδηγίες για την ανάπτυξη ενός εμβρύου», ένα γονίδιο για την προσθήκη περισσότερων τμημάτων μπορεί απλώς να λέει: «ακόμη ένα ίδιο εδώ». Φαντάζομαι ότι και οι οδηγίες για την κατασκευή του πρώτου Σούπερ DCS ήταν παρόμοιες.

Μπορούμε να είμαστε βέβαιοι ότι στην εξέλιξη των φιδιών το πλήθος των σπονδύλων άλλαξε κατά ακέραιους αριθμούς και όχι κατά κλάσματα. Δεν είναι δυνατό να φανταστούμε ένα φίδι με 26,3 σπονδύλους. Θα έχει ή 26 σπονδύλους ή 27, και είναι φανερό ότι πρέπει να υπήρχαν περιπτώσεις στις οποίες ένα φίδι είχε τουλάχιστον έναν ολόκληρο σπόνδυλο περισσότερο από τους

γονείς του. Αυτό σημαίνει ότι είχε και μία ολόκληρη πρόσθετη σειρά από νεύρα, αιμοφόρα αγγεία, μυς, κ.λπ. Κατά μια έννοια, λοιπόν, αυτό το φίδι ήταν «μακρομεταλλαγμένο», αλλά μόνο κατά την ασθενή έννοια της μακρομετάλλαξης τύπου Σούπερ DC8. Είναι εύκολο να πιστέψουμε ότι θα μπορούσαν να εμφανιστούν, με ένα και μοναδικό μεταλλακτικό θήμα, φίδια με μισή ντουζίνα περισσότερα τμήματα από τους γονείς τους. Το «επιχείρημα της πολυπλοκότητας» που χρησιμοποιήσαμε για να αποκλείσουμε την αλματική εξέλιξη δεν ισχύει για τις μακρομεταλλάξεις τύπου Σούπερ DC8, γιατί, αν εξετάσουμε λεπτομερώς τη φύση της αλλαγής, θα δούμε ότι κατά μια πολύ πραγματική έννοια δεν πρόκειται για μακρομεταλλάξεις. Είναι μακρομεταλλάξεις μόνο αν εξετάσουμε με αφέλεια το τελικό προϊόν, τον ενήλικο. Αν εξετάσουμε τις διαδικασίες της εμβρυϊκής ανάπτυξης, θα δούμε ότι πρόκειται για μικρομεταλλάξεις, με την έννοια ότι η μεγάλης κλίμακας αλλαγή που εμφανίζεται στον ενήλικο είναι συνέπεια μιας μικρής αλλαγής στις εμβρυϊκές οδηγίες. Το ίδιο ισχύει για την κεραιοποδία στις μύγες δροσόφιλες και για πολλές άλλες μεταλλάξεις που ονομάζονται «ομοιοτικές».

Εδώ τελειώνει η παρέκβαση για τις μακρομεταλλάξεις και την αλματική εξέλιξη. Ήταν απαραίτητη, γιατί η θεωρία της εστιγμένης ισορροπίας συγχέεται συχνά με την αλματική εξέλιξη. Ωστόσο, το κύριο θέμα αυτού του κεφαλαίου είναι η θεωρία της εστιγμένης ισορροπίας, η οποία δεν συνδέεται με τις μακρομεταλλάξεις και τον πραγματικό αλματισμό.

Τα χάσματα στο αρχείο των απολιθωμάτων για τα οποία μιλούν ο Eldredge, ο Gould και οι άλλοι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας δεν έχουν, λοιπόν, καμία σχέση με τον πραγματικό αλματισμό και είναι πάρα πολύ μικρότερα από τα χάσματα που ενθουσιάζουν τους δημιουργιστές. Επιπλέον, οι Eldredge και Gould αρχικά παρουσίασαν τη θεωρία τους όχι ως ριζοσπαστικά και επαναστατικά αντίθετη στον συνηθισμένο, «συμβατικό» δαρβινισμό –όπως κατέληξε να προβάλλεται αργότερα–, αλλά ως κάτι που έπεται από μια σωστή ερμηνεία του αποδεκτού συμβατικού δαρβινισμού. Για να φτάσουμε σ' αυτή τη σωστή ερμηνεία, φοβάμαι ότι θα χρειαστούμε μία ακόμη παρέκβαση, αυτή τη φο-

ρά για να μελετήσουμε την προέλευση των ειδών, δηλαδή για να εξετάσουμε τη διαδικασία που είναι γνωστή ως «ειδογένεση».

Η απάντηση που είχε δώσει ο Δαρβίνος στο ερώτημα για την προέλευση των ειδών ήταν, γενικά, ότι τα είδη προέρχονται από άλλα είδη. Επιπλέον, το γενεαλογικό δέντρο της ζωής παρουσιάζει διακλαδώσεις, πράγμα που σημαίνει ότι πολλά σύγχρονα είδη μπορεί να προέρχονται από ένα προγονικό είδος. Για παράδειγμα, τα λιοντάρια και οι τίγρεις αποτελούν τώρα διαφορετικά είδη, αλλά έχουν προέλθει από ένα κοινό προγονικό είδος, και πιθανότατα δεν έχει περάσει πολύς καιρός από τότε που έγινε ο διαχωρισμός. Αυτό το προγονικό είδος μπορεί να είναι ένα από τα δύο σύγχρονα είδη, ή μπορεί να είναι ένα τρίτο είδος που εξακολουθεί να υπάρχει, ή μπορεί να είναι ένα τρίτο είδος που έχει πια εξαφανιστεί. Με τον ίδιο τρόπο, οι άνθρωποι και οι χιμπαντζήδες ανήκουν τώρα σε διαφορετικά είδη, αλλά οι πρόγονοί τους πριν από μερικά εκατομμύρια χρόνια ανήκαν στο ίδιο είδος. Η ειδογένεση είναι η διαδικασία με την οποία ένα ενιαίο είδος γίνεται δύο είδη, ένα από τα οποία μπορεί να είναι το ίδιο με το αρχικό ενιαίο είδος.

Ο λόγος για τον οποίο η ειδογένεση θεωρείται δύσκολο πρόβλημα είναι ο εξής: όλα τα μέλη του υποθετικού ξεχωριστού προγονικού είδους είναι σε θέση να διασταυρώνονται μεταξύ τους. Πράγματι, για πολλούς αυτό ακριβώς σημαίνει η φράση «ξεχωριστό είδος». Επομένως, κάθε φορά που ένα νέο θυγατρικό είδος αρχίζει να απομονώνεται, η απομόνωσή του κινδυνεύει να ματαιωθεί από τις διασταυρώσεις με τα μέλη του προγονικού είδους. Μπορούμε να φανταστούμε τους υποθετικούς προγόνους των λιονταριών και τους υποθετικούς προγόνους των τίγρεων να μην καταφέρνουν να διαχωριστούν, επειδή συνεχίζουν να διασταυρώνονται μεταξύ τους, και συνεπώς εξακολουθούν να παραμένουν όπως έχουν. Παρεμπιπτόντως, μη θεωρήσετε ότι κυριολεκτώ όταν χρησιμοποιώ εκφράσεις όπως «κινδυνεύει να ματαιωθεί», που ίσως δίνουν την εντύπωση ότι οι πρόγονοι των λιονταριών και των τίγρεων, «επιθυμούσαν», κατά κάποιον τρόπο, να διαχωριστούν οι μεν από τους δε. Απλώς, στην πορεία της εξέλιξης τα είδη αυτά κατέληξαν προοδευτικά να αποκλίνουν μεταξύ



τους και, εκ πρώτης όψεως, η δυνατότητα ύπαρξης διασταυρώσεων καθιστά δύσκολη την κατανόηση του πώς πραγματοποιήθηκε αυτή η απόκλιση.

Είναι σχεδόν βέβαιο ότι η κυριότερη σωστή απάντηση σ' αυτό το πρόβλημα είναι η πιο εμφανής. Το πρόβλημα των διασταυρώσεων δεν θα υπήρχε αν οι πρόγονοι των λιονταριών και οι πρόγονοι των τίγρεων συνέβαινε να βρίσκονται σε διαφορετικά μέρη του κόσμου, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να ζευγαρώσουν μεταξύ τους. Φυσικά, δεν υποστηρίζουμε ότι πήγαν σε διαφορετικές ηπείρους για να μπορέσουν να διαφοροποιηθούν μεταξύ τους; δεν θεωρούσαν καθόλου τους εαυτούς τους προγόνους των λιονταριών και των τίγρεων! Ωστόσο, δεδομένου ότι το ενιαίο προγονικό είδος εξαπλώθηκε έτσι κι αλλιώς σε διαφορετικές ηπείρους, ας πούμε στην Αφρική και την Ασία, τα ζώα που έτυχε να βρίσκονται στην Αφρική δεν μπορούσαν πια να διασταυρωθούν με εκείνα που έτυχε να βρίσκονται στην Ασία, γιατί δεν μπορούσαν καν να συναντηθούν. Αν υπήρχε οποιαδήποτε τάση των ζώων των δύο ηπείρων να εξελιχθούν προς διαφορετικές κατευθύνσεις, είτε κάτω από την επίδραση της φυσικής επιλογής είτε κάτω από την επίδραση τυχαιών παραγόντων, οι διασταυρώσεις δεν αποτελούσαν πια εμπόδιο στην απόκλισή τους και στην τελική διαμόρφωση δύο διαφορετικών ειδών.

Μίλησα για διαφορετικές ηπείρους, ώστε να εξηγήσω καλύτερα τα πράγματα, αλλά η αρχή της γεωγραφικής απομόνωσης ως εμποδίου στις διασταυρώσεις μπορεί να εφαρμοστεί και σε ζώα που ζουν σε περιοχές που τις χωρίζει μια έρημος, μια οροσειρά, ένας ποταμός, ή ακόμη και ένας αυτοκινητόδρομος. Η αρχή αυτή μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε ζώα που δεν τα χωρίζει κανένα άλλο εμπόδιο, αλλά μόνο η απόσταση. Οι μυγαλές της Ισπανίας δεν μπορούν να διασταυρωθούν με τις μυγαλές της Μογγολίας, και, από εξελικτική άποψη, θα απέκλιναν από τις τελευταίες, ακόμη κι αν υπήρχε μια αδιάσπαστη αλυσίδα διασταυρούμενων μυγαλών που θα συνέδεε την Ισπανία με τη Μογγολία. Ωστόσο, η ιδέα της γεωγραφικής απομόνωσης ως ζωτικού παράγοντα της ειδογένεσης είναι πιο σαφής αν σκεφτόμαστε με βάση ένα φυσικό εμπόδιο, όπως είναι η θάλασσα ή μια οροσειρά. Επίσης, τα

συγκροτήματα νησιών αποτελούν γόνιμο έδαφος για την εμφάνιση νέων ειδών.

Νά, λοιπόν, ποια είναι η ορθόδοξη νεοδαρβινική αντίληψη για τη «γέννηση» ενός νέου είδους μέσω απόκλισης από ένα προγονικό είδος. Στην αρχή υπάρχει ένα προγονικό είδος, ένας μεγάλος πληθυσμός από μάλλον ομοιόμορφα ζώα που διασταυρώνονται και είναι εξαπλωμένα σε μια μεγάλη έκταση. Θα μπορούσαμε να αναφέρουμε οποιοδήποτε ζώο, αλλά ας χρησιμοποιήσουμε και πάλι ως παράδειγμα τις μυγαλές. Η έκταση όπου ζουν χωρίζεται στη μέση από μια οροσειρά η οποία αποτελεί εχθρική περιοχή. Γι' αυτό το λόγο οι μυγαλές συνήθως δεν τη διασχίζουν, καμιά φορά όμως μία ή δύο μπορεί να περάσουν στην πεδιάδα που βρίσκεται από την άλλη πλευρά της οροσειράς. Εδώ μπορούν να αναπαραχθούν και να σχηματίσουν έναν περιφερειακό πληθυσμό του είδους, ο οποίος είναι αποκομμένος από τον κύριο πληθυσμό. Τώρα οι δύο πληθυσμοί είναι αμοιβαία απομονωμένοι και τα μέλη του κάθε πληθυσμού ζευγαρώνουν μεταξύ τους, ξεχωριστά από τα μέλη του άλλου πληθυσμού· αναμειγνύουν τα γονίδιά τους από την κάθε πλευρά της οροσειράς, όχι όμως και από τη μια πλευρά στην άλλη. Με την πάροδο του χρόνου, οι αλλαγές που μπορεί να συμβούν στη γενετική σύνθεση του ενός πληθυσμού εξαπλώνονται με τις διασταυρώσεις σε όλο αυτό τον πληθυσμό, όχι όμως και στον άλλο. Μερικές από τις αλλαγές μπορεί να οφείλονται στη φυσική επιλογή, η οποία μπορεί να είναι διαφορετική στις δύο πλευρές της οροσειράς. Προφανώς, οι καιρικές συνθήκες, τα αρπακτικά ζώα και τα παράσιτα δεν μπορεί να είναι ακριβώς ίδια και στις δύο πλευρές. Κάποιες άλλες αλλαγές μπορεί να οφείλονται μόνο σε τυχαίους παράγοντες. Ωστόσο, ό,τι κι αν προκαλεί τις γενετικές αλλαγές, οι διασταυρώσεις τείνουν να τις εξαπλώνουν μέσα στον καθένα από τους δύο πληθυσμούς, όχι όμως ανάμεσα στους δύο πληθυσμούς. Έτσι, οι δυο πληθυσμοί αποκλίνουν γενετικά: διαφοροποιούνται ολοένα και περισσότερο ο ένας από τον άλλο.

Έπειτα από ένα διάστημα, οι δύο πληθυσμοί γίνονται τόσο διαφορετικοί, ώστε οι φυσιολίφες θα θεωρούν ότι ανήκουν σε διαφορετικές «φυλές». Έπειτα από ένα ακόμη μεγαλύτερο χρονι-

κό διάστημα, θα έχουν αποκλίνει τόσο πολύ, ώστε θα πρέπει να τους θεωρήσουμε διαφορετικά είδη. Φανταστείτε τώρα ότι το κλίμα γίνεται θερμότερο, με αποτέλεσμα το ταξίδι μέσα από τα περάσματα του βουνού να είναι ευκολότερο: τώρα, μερικά μέλη του νέου είδους αρχίζουν να επιστρέφουν στις προγονικές τους εστίες. Όταν συναντούν τους απογόνους των χαμένων πια ξαδέρφων τους, αποδεικνύεται ότι έχουν αποκλίνει τόσο πολύ ως προς τη γενετική τους συγκρότηση ώστε δεν μπορούν πια να διασταυρωθούν επιτυχώς μεταξύ τους. Αν ζευγαρώσουν, γεννούν υβρίδια: τα παιδιά τους είναι ασθενικά ή στέρια, όπως τα μουλάρια. Έτσι, η φυσική επιλογή τιμωρεί κάθε τάση των ζώων της κάθε πλευράς να διασταυρωθούν με ζώα που ανήκουν στο άλλο είδος (ή ακόμη και στην άλλη φυλή). Με αυτό τον τρόπο η φυσική επιλογή συμπληρώνει τη διαδικασία της «αναπαραγωγικής απομόνωσης» η οποία άρχισε με την τυχαία ύπαρξη μιας οροσειράς. Η «ειδογένεση» έχει ολοκληρωθεί. Τώρα έχουμε δύο είδη εκεί όπου πρώτα υπήρχε μόνο ένα, και τα δύο είδη μπορούν να συνυπάρξουν σε μια περιοχή χωρίς να διασταυρώνονται μεταξύ τους.

Ωστόσο, το πιθανότερο είναι ότι τα δύο είδη δεν θα συνυπάρχουν για πολύ. Αυτό δεν θα συμβεί επειδή θα αρχίσουν να διασταυρώνονται, αλλά επειδή θα υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ τους. Σύμφωνα με μια κοινή παραδεκτή αρχή της οικολογίας, δύο είδη που ζουν με τον ίδιο τρόπο δεν μπορούν να συνυπάρξουν για πολύ στο ίδιο μέρος, γιατί θα ανταγωνίζονται, με αποτέλεσμα να εκλείπει το ένα ή το άλλο. Φυσικά, οι δύο πληθυσμοί μυγαλών του παραδείγματός μας μπορεί να μη ζουν πια με τον ίδιο τρόπο. Για παράδειγμα, το νέο είδος, στη διάρκεια της εξέλιξής του από την άλλη πλευρά των βουνών, μπορεί να άρχισε να τρέφεται με ένα διαφορετικό είδος εντόμων. Αλλά αν υπάρχει σημαντικός ανταγωνισμός ανάμεσα στα δύο είδη, οι περισσότεροι οικολόγοι θα προέβλεπαν ότι το ένα από τα δύο είδη θα εκλείπει στην περιοχή όπου τα δύο είδη συνυπάρχουν. Αν συμβεί να εκλείψει το αρχικό, προγονικό είδος, λέμε ότι αντικαταστάθηκε από το νέο είδος που μετανάστευσε εκεί.

Η θεωρία της ειδογένεσης που προκαλείται από αρχική γεωγραφική απομόνωση αποτελεί εδώ και πολύ καιρό έναν από τους

ακρογωνιαίους λίθους του ορθόδοξου νεοδαρβινισμού και θεωρείται ακόμη από όλες τις πλευρές ως η κυρία διεργασία με την οποία εμφανίζονται νέα είδη (μερικοί πιστεύουν ότι υπάρχουν κι άλλες). Η ενσωμάτωσή της στον σύγχρονο δαρβινισμό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην επιρροή του διακεκριμένου ζωολόγου Ernst Mayr. Αυτό που έκαναν οι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας, όταν πρότειναν για πρώτη φορά τη θεωρία τους, ήταν να αναρωτηθούν: αφού δεχόμαστε, όπως και οι περισσότεροι νεοδαρβινιστές, την ορθόδοξη θεωρία ότι η ειδογένεση αρχίζει από τη γεωγραφική απομόνωση, τι θα έπρεπε να περιμένουμε να δούμε στο αρχείο των απολιθωμάτων ως αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου;

Θυμηθείτε τον υποθετικό πληθυσμό των μυγαλών, με το νέο είδος που απέκλινε από το αρχικό ζώντας στην άλλη πλευρά της οροσειράς, για να επιστρέψει τελικά στην περιοχή του προγονικού είδους και, πιθανότατα, να το οδηγήσει στην εξαφάνιση. Ας υποθέσουμε ότι αυτές οι μυγαλές είχαν αφήσει απολιθώματα. Ας υποθέσουμε ακόμη ότι το αρχείο των απολιθωμάτων ήταν *τέλειο*, χωρίς κενά που να οφείλονται στην ατυχή παράλειψη βασικών εξελικτικών σταδίων. Τι πρέπει να μας δείχνουν τα απολιθώματα; Μια ομαλή μετάβαση από το προγονικό στο θυγατρικό είδος; Και βέβαια όχι, τουλάχιστον αν σκάσουμε στην κύρια περιοχή όπου ζούσαν οι αρχικές προγονικές μυγαλές και στην οποία επέστρεψε το νέο είδος. Θυμηθείτε τι ακριβώς συνέβη εκεί. Υπήρχαν οι προγονικές μυγαλές, που ζούσαν και διασταυρώνονταν μεταξύ τους, χωρίς να έχουν κανέναν ιδιαίτερο λόγο να αλλάζουν. Βέβαια, τα ξαδέρφια τους από την άλλη πλευρά του βουνού εξελίσσονταν στο μεταξύ, αλλά τα δικά τους απολιθώματα βρίσκονται πίσω από την οροσειρά κι έτσι δεν τα βρίσκουμε στην περιοχή όπου σκάβουμε. Κατόπιν, ξαφνικά (ξαφνικά για τα γεωλογικά κριτήρια, βέβαια), επιστρέφει το νέο είδος, ανταγωνίζεται το κύριο είδος και, ίσως, το αντικαθιστά. Ξαφνικά τα απολιθώματα που βρίσκουμε καθώς ανεβαίνουμε ψηλότερα στα στρώματα της κύριας περιοχής αλλάζουν. Προηγουμένως ανήκαν όλα στο προγονικό είδος. Τώρα, απότομα και χωρίς κανένα ορατό μεταβατικό στάδιο, εμφανίζονται απολιθώματα του νέου είδους και εξαφανίζονται τα απολιθώματα του παλιού.

Τα χάσματα, αντί να αποτελούν ενοχλητικές ατέλειες του αρχείου ή στοιχεία που δημιουργούν πρόβλημα στη θεωρία μας, αποδεικνύεται ότι είναι ακριβώς αυτό που θα περιμέναμε, αν πραγματικά δεχτούμε την ορθόδοξη νεοδαρβινική θεωρία της ειδογένεσης. Η μετάβαση από το προγονικό στο θυγατρικό είδος φαίνεται τόσο ξαφνική και απότομη απλούστατα επειδή, όταν εξετάζουμε μια σειρά απολιθωμάτων που προέρχονται από μια περιοχή, κατά πάσα πιθανότητα δεν βλέπουμε ένα εξελικτικό γεγονός, αλλά ένα μεταναστευτικό γεγονός, την άφιξη ενός νέου είδους από κάποια άλλη γεωγραφική περιοχή. Οπωσδήποτε υπήρχαν και εξελικτικά γεγονότα: το ένα είδος πραγματικά εξελίχθηκε –κατά πάσα πιθανότητα βαθμιαία– σε σημείο που να αποκλίνει από το άλλο. Για να δούμε όμως αυτή την εξελικτική μετάβαση αποτυπωμένη στα απολιθώματα, πρέπει να σκάψουμε κάπου αλλού –σ' αυτή την περίπτωση, πρέπει να σκάψουμε στην άλλη πλευρά της οροσειράς.

Η θέση των Eldredge και Gould, λοιπόν, θα μπορούσε να παρουσιαστεί μετριοπαθώς ως μια θεωρία που έσωζε τον Δαρβίνο και τους διαδόχους του από μια σημαντική δυσκολία. Και πραγματικά, έτσι παρουσιάστηκε, εν μέρει τουλάχιστον, στην αρχή. Τα φαινομενικά χάσματα του αρχείου των απολιθωμάτων ενοχλούσαν πάντοτε τους δαρβινιστές, που γι' αυτό το λόγο αναγκάζονταν να καταφύγουν στον ισχυρισμό ότι το αρχείο είναι ατελές. Ο ίδιος ο Δαρβίνος είχε γράψει:

Το γεωλογικό αρχείο είναι εξαιρετικά ατελές, και αυτό το γεγονός εξηγεί σε μεγάλο βαθμό γιατί –μολονότι ανακαλύπτουμε πολυάριθμους δεσμούς– δεν βρίσκουμε έναν απεριόριστο αριθμό από ποικιλίες που θα συνέδεαν μεταξύ τους, με μια τέλεια βαθμιαία αλληλουχία, όλες τις εκλιπούσες μορφές έμβιων οργανισμών με τις υπάρχουσες. Όποιος αρνείται να παραδεχτεί την ατέλεια του γεωλογικού αρχείου, θα πρέπει να απορρίψει ολόκληρη τη θεωρία μου.

Οι Eldredge και Gould θα μπορούσαν να δώσουν το εξής βασικό μήνυμα: μην ανησυχείς, Δαρβίνε· ακόμη και αν το αρχείο των απολιθωμάτων ήταν τέλειο, δεν θα έπρεπε να περιμένεις, σκά-

βοντας μόνο σε μία περιοχή, να δεις μια τέλεια βαθμιαία διαδοχή ζωικών μορφών, για τον απλούστατο λόγο ότι το μεγαλύτερο μέρος της εξελικτικής αλλαγής συνέβη κάπου αλλού! Θα μπορούσαν να προχωρήσουν ακόμη περισσότερο και να πουν:

Δαρβίνε, όταν είπες ότι το αρχείο των απολιθωμάτων είναι ατελές, εξέφρασες μόνο τη μισή αλήθεια. Το αρχείο δεν είναι απλώς ατελές· έχουμε βάσιμους λόγους να περιμένουμε ότι θα είναι *ιδιαίτερα* ατελές ακριβώς εκείνες τις στιγμές κατά τις οποίες γίνεται ενδιαφέρον, δηλαδή όταν εκτυλίσσονται οι εξελικτικές αλλαγές. Αυτό για δύο λόγους: πρώτον, επειδή η εξέλιξη συνήθως συντελείται σε μια διαφορετική περιοχή από εκείνη όπου βρίσκουμε τα περισσότερα απολιθώματά· δεύτερον, επειδή ακόμη κι αν είμαστε τόσο τυχεροί, ώστε να σκάσουμε σε μία από τις μικρές απομακρυσμένες περιοχές όπου συνέβησαν οι περισσότερες εξελικτικές αλλαγές, κάθε τέτοια εξελικτική αλλαγή (αν και δεν παύει να είναι βαθμιαία) καταλαμβάνει τόσο σύντομο χρονικό διάστημα, ώστε θα χρειαζόμαστε ένα εξαιρετικά πλούσιο αρχείο απολιθωμάτων για να την εξιχνιάσουμε!

Αντί όμως να πουν τα παραπάνω, προτίμησαν, ιδιαίτερα στα μεταγενέστερα έργα τους, τα οποία παρακολουθήσαν με μεγάλο ζήλο οι δημοσιογράφοι, να προβάλουν τις ιδέες τους ως ριζικά *αντίθετες* τόσο με εκείνες του Δαρβίνου όσο και με τη νεοδαρβινική σύνθεση. Το έκαναν αυτό υπογραμμίζοντας τον «βαθμιαίο» χαρακτήρα της δαρβινικής άποψης για την εξέλιξη, σε αντιδιαστολή με τη δική τους εκδοχή, της «εστιγμένης ισορροπίας», που χαρακτηρίζεται από απότομες, ασυνεχείς και σπασμωδικές αλλαγές. Έφτασαν μάλιστα στο σημείο, ιδιαίτερα ο Gould, να δουν κάποιες αναλογίες ανάμεσα στη δική τους θέση και στις παλιές σχολές του «καταστροφισμού» και του «αλματισμού». Με την αλματική θεωρία της εξέλιξης έχουμε ήδη ασχοληθεί. Ο καταστροφισμός είναι μια προσπάθεια που καταβλήθηκε κατά τον 18ο και τον 19ο αιώνα ώστε να συμβιβαστεί κάποια μορφή δημιουργισμού με τα άβολα δεδομένα του αρχείου των απολιθωμάτων. Οι καταστροφιστές πίστευαν ότι ο φαινομενικά προοδευτικός χαρακτήρας του αρχείου των απολιθωμάτων αντικατοπτρί-



ζει μια σειρά από διακριτές θείες δημιουργίες, καθεμιά από τις οποίες τερματίστηκε από μια καταστροφική μαζική εξαφάνιση. Η τελευταία από αυτές τις καταστροφές ήταν ο κατακλυσμός του Νώε.

Οι συγκρίσεις ανάμεσα στη σύγχρονη θεωρία της εστιγμένης ισορροπίας από τη μια πλευρά και στον καταστροφισμό ή στον αλματισμό από την άλλη, έχουν έναν καθαρά ποιητικό χαρακτήρα. Είναι, ας μου επιτραπεί να χρησιμοποιήσω μια παράδοξη έκφραση, βαθιά επιφανειακές. Φαίνονται εντυπωσιακές κατά έναν «καλλιτεχνίζοντα», λογοτεχνικό τρόπο, αλλά δεν κάνουν τίποτε για να βοηθήσουν στη σοβαρή κατανόηση του θέματος, και μπορούν απλώς να δώσουν μια επίπλαστη βοήθεια και παρηγοριά στους σύγχρονους δημιουργιστές και στην ανησυχητικά επιτυχή τους προσπάθεια να υπονομεύσουν την αμερικανική εκπαίδευση και τις εκδόσεις επιστημονικών εγχειριδίων. Στην πραγματικότητα, ο Eldredge και ο Gould είναι εξίσου οπαδοί των βαθμιαίων αλλαγών με τον Δαρβίνο και τους οπαδούς του. Απλώς προτιμούν να συμπίεσουν όλη τη βαθμιαία αλλαγή σε σύντομα ξεσπάσματα, αντί να θεωρούν ότι συμβαίνει συνεχώς. Και τονίζουν ότι το μεγαλύτερο μέρος των βαθμιαίων αλλαγών συντελείται σε γεωγραφικές περιοχές που βρίσκονται μακριά από τα σημεία όπου ανακαλύπτονται τα περισσότερα απολιθώματα.

Συνεπώς, οι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας δεν εναντιώνονται πραγματικά στη θεωρία των βαθμιαίων αλλαγών του Δαρβίνου: αυτή η θεωρία υποστηρίζει ότι κάθε γενιά διαφέρει ελάχιστα από την προηγούμενη. Θα έπρεπε να είναι κανείς οπαδός της αλματικής θεωρίας για να διαφωνεί σ' αυτό, αλλά ο Eldredge και ο Gould δεν είναι αλματιστές. Τελικά αποδεικνύεται ότι το θέμα για το οποίο έχουν αντίρρηση, αυτοί και οι άλλοι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας, είναι η υποτιθέμενη πίστη του Δαρβίνου στη σταθερότητα των εξελικτικών ρυθμών. Διαφωνούν με αυτή την πίστη, γιατί θεωρούν ότι η εξέλιξη (που εξακολουθεί να παραμένει αναμφισβήτητα μια βαθμιαία εξέλιξη) συντελείται γρήγορα στη διάρκεια σχετικά σύντομων ξεσπασμάτων δραστηριότητας (ειδογενετικών συμβάντων, που δημιουργούν ένα είδος ατμόσφαιρας κρίσης μέσα στην οποία υποχωρεί η υποτιθέμενη

φυσιολογική αντίσταση στην εξελικτική αλλαγή). Και πιστεύουν ακόμη ότι η εξέλιξη συντελείται πολύ αργά ή δεν συντελείται καθόλου στη διάρκεια των μακροχρόνιων ενδιάμεσων περιόδων στάσης. Όταν λέμε «σχετικά» σύντομων, εννοούμε, φυσικά, σύντομων σε σχέση με τη γεωλογική χρονική κλίμακα. Ακόμη και τα εξελικτικά άλματα των οπαδών της εστιγμένης ισορροπίας, έστω κι αν είναι ακαριαία, σύμφωνα με τη γεωλογική χρονική κλίμακα, εξακολουθούν να έχουν μια διάρκεια που μετριέται σε δεκάδες ή εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια.

Σε αυτό το σημείο είναι διαφωτιστική μια σκέψη του διάσημου αμερικανού εξελικτιστή G. Ledyard Stebbins. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν τον απασχολεί η απότομη εξέλιξη, αλλά θέλει απλώς να επισημάνει την ταχύτητα με την οποία μπορεί να συμβεί η εξελικτική αλλαγή, όταν τη δούμε στη χρονική κλίμακα του διαθέσιμου γεωλογικού χρόνου. Ο Stebbins εξετάζει την περίπτωση ενός φανταστικού είδους ζώου που έχει περίπου το μέγεθος ενός ποντικού. Υποθέτει ότι η φυσική επιλογή αρχίζει να ευνοεί μια αύξηση στο μέγεθος του σώματος, αλλά σε πάρα πολύ μικρό βαθμό. Ίσως τα μεγαλύτερα αρσενικά να έχουν ένα μικρό πλεονέκτημα στον ανταγωνισμό για τα θηλυκά. Οποιαδήποτε στιγμή, τα αρσενικά με μέσο μέγεθος έχουν μια ελάχιστα μικρότερη επιτυχία από τα αρσενικά που είναι λίγο μεγαλύτερα από τον μέσο όρο. Ο Stebbins εξέφρασε με έναν ακριβή αριθμό το μαθηματικό πλεονέκτημα των μεγαλύτερων ζώων στο παράδειγμά του. Έδωσε στον αριθμό αυτό μια τόσο μικρή τιμή, ώστε δεν θα μπορούσε να μετρηθεί από ανθρώπους παρατηρητές. Κατά συνέπεια, ο ρυθμός της εξελικτικής αλλαγής που προκαλεί είναι τόσο αργός, ώστε θα ήταν αδύνατο να τον προσέξει ένας άνθρωπος στη διάρκεια μιας συνηθισμένης ανθρώπινης ζωής. Έτσι, για τον επιστήμονα που μελετά την εξέλιξη, αυτά τα ζώα δεν εξελίσσονται καθόλου. Και όμως, στην πραγματικότητα εξελίσσονται πολύ αργά, με ένα ρυθμό που προσδιορίζεται από τη μαθηματική παραδοχή του Stebbins. Επιπλέον, αποδεικνύεται ότι ακόμη και με αυτό τον αργό ρυθμό τα εν λόγω ζώα θα έφταναν τελικά σε μέγεθος ελέφαντα. Πόσο χρόνο θα χρειαζόταν αυτή η αλλαγή; Προφανώς πολύ χρόνο για τα ανθρώπινα κριτήρια, αλλά τα κρι-

τήρια αυτά δεν ενδιαφέρουν στην προκειμένη περίπτωση. Εδώ αναφερόμαστε στη γεωλογική χρονική κλίμακα. Ο Stebbins υπολόγισε ότι με αυτό τον πολύ αργό εξελικτικό ρυθμό θα χρειάζονταν γύρω στις 12.000 γενιές για να εξελιχθούν τα ζώα από μέσο βάρος 40 γραμμαρίων (μέγεθος ποντικού) σε μέσο βάρος που να υπερβαίνει τα 6.000.000 γραμμάρια (μέγεθος ελέφαντα). Αν δεχτούμε ότι υπάρχει μία γενιά κάθε 5 χρόνια –χρονικό διάστημα που είναι μεγαλύτερο από τη διάρκεια μίας γενιάς στους ποντικούς αλλά μικρότερο από τη διάρκεια μίας γενιάς στους ελέφαντες, οι 12.000 γενιές θα κάλυπταν περίπου 60.000 χρόνια. Αυτό είναι ένα χρονικό διάστημα *πολύ μικρό* για να μετρηθεί με τις συνηθισμένες γεωλογικές μεθόδους χρονολόγησης του αρχείου των απολιθωμάτων. Όπως λέει ο Stebbins, «η εμφάνιση ενός νέου είδους ζώου μέσα σε 100.000 χρόνια ή λιγότερο θεωρείται από τους παλαιοντολόγους “ξαφνική” ή “ακαριαία”».

Οι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας δεν μιλούν για άλματα στην εξέλιξη, αλλά για επεισόδια σχετικά γρήγορης εξέλιξης. Ακόμη κι αυτά τα επεισόδια δεν χρειάζεται να φαίνονται γρήγορα στην ανθρώπινη κλίμακα χρονολόγησης, για να φαίνονται γρήγορα στη γεωλογική κλίμακα. Ό,τι κι αν πιστεύουμε για την ίδια τη θεωρία της εστιγμένης ισορροπίας, είναι πολύ εύκολο να μπερδέψουμε τη θεωρία των βαθμιαίων αλλαγών (την άποψη που υποστηρίζουν τόσο οι σύγχρονοι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας όσο και ο Δαρβίνος, ότι δεν υπάρχουν απότομα άλματα ανάμεσα σε μια γενιά και στην επόμενη της), με την άποψη ότι η εξέλιξη εκτυλίσσεται με σταθερή ταχύτητα (στην οποία εναντιώνονται οι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας αποδίδοντάς την, εσφαλμένα, στον Δαρβίνο). Αυτές οι δύο απόψεις δεν ταυτίζονται καθόλου. Ο σωστός τρόπος περιγραφής των απόψεων των οπαδών της εστιγμένης ισορροπίας είναι ο εξής: σύντομα επεισόδια γρήγορης σταδιακής αλλαγής διακόπτονται από μεγάλες περιόδους «στάσης» (εξελικτικής στασιμότητας). Δηλαδή, η έμφαση δίνεται στις μεγάλες περιόδους *στάσης*, οι οποίες θεωρούνται ως το φαινόμενο που προηγουμένως είχε αγνοηθεί και που πρέπει να εξηγηθεί. Η πραγματική συμβολή των οπαδών της εστιγμένης ισορροπίας είναι αυτή η έμφαση στη στάση, και όχι η υποτιθέ-

μενη εναντίωσή τους στη θεωρία των βαθμιαίων αλλαγών, αφού στην πραγματικότητα είναι εξίσου οπαδοί των βαθμιαίων αλλαγών με οποιονδήποτε άλλο.

Ακόμη και η έμφαση στις περιόδους στάσης υπάρχει, σε λιγότερο έντονη μορφή, στη θεωρία της ειδογένεσης του Mayr. Ο Mayr πίστευε ότι, όσον αφορά τις δύο γεωγραφικά απομονωμένες φυλές, υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες αλλαγής στον νέο, θυγατρικό πληθυσμό (που στην περίπτωση του παραδείγματος των μυγαλών βρίσκεται από την άλλη πλευρά της οροσειράς), παρά στον αρχικό, μεγάλο, προγονικό πληθυσμό. Αυτό δεν συμβαίνει μόνο επειδή ο θυγατρικός πληθυσμός είναι εκείνος που μετακινήθηκε σε νέες περιοχές, όπου είναι πιθανό οι συνθήκες να διαφέρουν και οι πιέσεις της φυσικής επιλογής να έχουν αλλάξει. Συμβαίνει επίσης επειδή υπάρχουν μερικοί θεωρητικοί λόγοι (που τους τόνισε ο Mayr, αλλά των οποίων η σπουδαιότητα μπορεί να αμφισβητηθεί) που μας κάνουν να πιστεύουμε ότι μεγάλοι πληθυσμοί από άτομα ικανά να διασταυρώνονται μεταξύ τους παρουσιάζουν μια εγγενή τάση να *αντιστέκονται* στην εξελικτική αλλαγή. (Κάτι ανάλογο με την αδράνεια ενός αντικειμένου με μεγάλο βάρος, που είναι δύσκολο να μετατοπιστεί.) Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες να αλλάξουν, να εξελιχθούν οι μικροί, απομακρυσμένοι πληθυσμοί, ακριβώς επειδή είναι μικροί. Επομένως, ενώ είπα παραπάνω ότι οι δύο πληθυσμοί ή φυλές των μυγαλών αποκλίνουν μεταξύ τους, ο Mayr θα έβλεπε τον αρχικό, προγονικό πληθυσμό να είναι σχετικά στατικός και τον νέο πληθυσμό να αποκλίνει από αυτόν. Το κλαδί του εξελικτικού δέντρου δεν χωρίζεται σε δύο όμοια παρακλάδια· υπάρχει ένας κύριος κορμός από τον οποίο εκφύεται ένα μικρό πλευρικό παρακλάδι.

Οι εισηγητές της εστιγμένης ισορροπίας υιοθέτησαν αυτή την ιδέα του Mayr και τη μεγαλοποίησαν καταλήγοντας σε μια ισχυρή πεποίθηση ότι η στάση, ή η έλλειψη εξελικτικής αλλαγής, είναι η φυσιολογική κατάσταση για ένα είδος. Πιστεύουν ότι στους μεγάλους πληθυσμούς υπάρχουν γενετικές δυνάμεις που *αντιστέκονται* ενεργά στην εξελικτική αλλαγή, η οποία είναι γι' αυτούς ένα σπάνιο συμβάν και συμπίπτει με την ειδογένεση. Η

φράση «συμπίπτει με την ειδογένεση» έχει την έννοια ότι, κατά την άποψή τους, οι συνθήκες κάτω από τις οποίες σχηματίζονται νέα είδη –γεωγραφικός διαχωρισμός μικρών, απομονωμένων υποπληθυσμών– είναι οι ίδιες εκείνες συνθήκες κάτω από τις οποίες οι δυνάμεις που κανονικά αντιστέκονται στην εξελικτική αλλαγή χαλαρώνουν ή ανατρέπονται. Η ειδογένεση είναι ένα διάστημα αναταραχής ή επανάστασης, και η εξελικτική αλλαγή συγκεντρώνεται σε τέτοια διαστήματα. Έτσι, μια γενεαλογική σειρά παραμένει σε κατάσταση στασιμότητας κατά το μεγαλύτερο μέρος της ιστορίας της.

Δεν αληθεύει ότι ο Δαρβίνος πίστευε πως η εξέλιξη προχωρεί με σταθερό ρυθμό. Οποσδήποτε δεν το πίστευε με τη γελοιωδώς ακραία έννοια που σατίρισα αναφέροντας την παραβολή των Ισραηλιτών, και δεν νομίζω ότι το πίστευε πραγματικά κατά ουσιαστικό τρόπο. Η παράθεση του ακόλουθου γνωστού αποσπάσματος από την τέταρτη έκδοση (και τις μετέπειτα εκδόσεις) της *Πρόλευσης των ειδών* ενοχλεί τον Gould, γιατί πιστεύει ότι δεν είναι αντιπροσωπευτικό της γενικής σκέψης του Δαρβίνου:

Πολλά είδη από τη στιγμή που θα σχηματιστούν δεν υφίστανται καμία περαιτέρω αλλαγή... και οι περίοδοι κατά τις οποίες τα είδη υφίστανται τροποποιήσεις, μολονότι φαίνονται μεγάλες αν μετρηθούν σε χρόνια, είναι πιθανότατα μικρές σε σύγκριση με τις περιόδους κατά τη διάρκεια των οποίων τα εν λόγω είδη διατηρούν την ίδια μορφή.

Ο Gould αντιπαρέρχεται περιφρονητικά αυτή την πρόταση, καθώς και άλλες παρόμοιες, λέγοντας:

Δεν μπορούμε να κάνουμε ιστορική έρευνα στηριζόμενοι σε επιλεγμένα αποσπάσματα και αναζητώντας τις κατάλληλες υποσημειώσεις. Τα σωστά κριτήρια είναι το γενικό πνεύμα και οι ιστορικές επιπτώσεις. Μεταξύ των συγχρόνων του Δαρβίνου ή των επιγόνων του, υπάρχουν κανείς που να τον θεώρησε αλματιστή;

Φυσικά, οι θέσεις του Gould για το γενικό πνεύμα και τις

ιστορικές επιπτώσεις είναι σωστές, αλλά η τελευταία πρόταση αυτού του αποσπάσματος αποτελεί μια εξαιρετικά αποκαλυπτική γκάφα. Βέβαια, κανείς δεν θεώρησε ποτέ τον Δαρβίνο αλματιστή και, φυσικά, ο Δαρβίνος υπήρξε πάντοτε πολέμιος μιας τέτοιας αντίληψης, το ζήτημα όμως είναι ότι, όταν ασχολούμαστε με την ιδέα της εστιγμένης ισορροπίας, δεν μας απασχολεί καθόλου το θέμα της αλματικής εξέλιξης. Όπως έχω τονίσει, η θεωρία της εστιγμένης ισορροπίας, σύμφωνα με τον ίδιο τον Eldredge και τον Gould, δεν είναι αλματιστική. Τα άλματα που δέχεται δεν είναι πραγματικά άλματα που συμβαίνουν μέσα σε μία γενιά. Εξαπλώνονται σε μεγάλους αριθμούς γενεών και σε περιόδους που, σύμφωνα με την εκτίμηση του ίδιου του Gould, μπορεί να φτάνουν σε δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Η θεωρία της εστιγμένης ισορροπίας είναι μια θεωρία βαθμιαίων αλλαγών, μολονότι τονίζει την ύπαρξη μεγάλων περιόδων στάσης που μεσολαβούν μεταξύ των σχετικά σύντομων εκρήξεων βαθμιαίας εξέλιξης. Ο ίδιος ο Gould παραπλάνησε τον εαυτό του με τη ρητορική έμφαση που δίνει στην καθαρά ποιητική ή φιλολογική ομοιότητα η οποία υπάρχει ανάμεσα στην εστιγμένη ισορροπία, από τη μια πλευρά, και στον γνήσιο αλματισμό από την άλλη.

Νομίζω ότι θα μπορούσαμε να ξεκαθαρίσουμε τα πράγματα αν σ' αυτό το σημείο συνοψίζαμε ένα φάσμα δυνατών απόψεων σχετικά με τους ρυθμούς της εξέλιξης. Στην πιο ακραία θέση έχουμε τον γνήσιο αλματισμό, τον οποίο έχουμε ήδη εξετάσει αρκετά. Σήμερα δεν υπάρχουν πραγματικοί αλματιστές ανάμεσα στους βιολόγους. Όποιος δεν είναι οπαδός της αλματικής εξέλιξης, είναι αναγκαστικά οπαδός των βαθμιαίων αλλαγών, και σ' αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται και οι Eldredge και Gould, άσχετα με το πώς αυτοχαρακτηρίζονται οι ίδιοι. Στο πλαίσιο της θεωρίας της βαθμιαίας εξέλιξης, μπορούμε να διακρίνουμε διάφορες απόψεις σχετικά με τους ρυθμούς της (βαθμιαίας) εξέλιξης. Μερικές από αυτές, όπως είδαμε, παρουσιάζουν μια καθαρά επιφανειακή («φιλολογική» ή «ποιητική») ομοιότητα με τον γνήσιο, αντιβαθμιστικό αλματισμό, και εξαιτίας αυτού του γεγονότος μερικές φορές συγχέονται μ' αυτόν.

Σε μια άλλη ακραία θέση του φάσματος, βρίσκουμε εκείνη τη



μορφή «εξέλιξης με σταθερή ταχύτητα» που σατίρισα στην παραβολή με την οποία άρχισα αυτό το κεφάλαιο. Ένας ακραίος οπαδός της εξέλιξης με σταθερή ταχύτητα πιστεύει ότι η εξέλιξη προχωρεί συνεχώς, σταθερά και αναπόφευκτα, είτε συμβαίνει κάποια διαδικασία διακλάδωσης ή ειδογένεσης, είτε όχι. Πιστεύει ότι η ποσότητα της εξελικτικής αλλαγής είναι ευθέως ανάλογη του χρόνου που έχει περάσει. Κατά ειρωνικό τρόπο, μια μορφή αυτής της αντίληψης έχει αρχίσει πρόσφατα να ευνοείται πάρα πολύ από τους σύγχρονους μοριακούς γενετιστές. Υπάρχουν λόγοι που μας κάνουν να πιστεύουμε ότι η εξελικτική αλλαγή στο επίπεδο των πρωτεϊνικών μορίων προχωρεί πραγματικά με σταθερό ρυθμό, ακριβώς όπως οι υποθετικοί Ισραηλίτες, και ότι αυτό συμβαίνει *ακόμη και αν* τα εξωτερικά ορατά χαρακτηριστικά, όπως τα χέρια και τα πόδια, εξελίσσονται με εξαιρετικά διακεκομμένο τρόπο. Έχουμε ήδη συναντήσει αυτό το θέμα στο Κεφάλαιο 5, και θα το εξετάσουμε πάλι στο επόμενο κεφάλαιο. Ωστόσο, όσον αφορά την προσαρμοστική εξέλιξη δομών και προτύπων συμπεριφοράς σε μεγάλη κλίμακα, σχεδόν κανένας από τους εξελικτιστές δεν θα υιοθετούσε ποτέ την ιδέα της εξέλιξης με σταθερή ταχύτητα, και αναμφίβολα ούτε και ο Δαρβίνος. Και όποιος δεν είναι οπαδός της εξέλιξης με σταθερή ταχύτητα, είναι οπαδός της εξέλιξης με μεταβλητή ταχύτητα.

Στο πλαίσιο της ιδέας ότι η εξέλιξη προχωρεί με μεταβλητή ταχύτητα μπορούμε να διακρίνουμε δύο διαφορετικές θέσεις, που μπορούμε να τις περιγράψουμε ως εξής: «εξέλιξη που προχωρεί με ασυνεχώς μεταβαλλόμενη ταχύτητα» και «εξέλιξη που προχωρεί με συνεχώς μεταβαλλόμενη ταχύτητα». Ένας ακραίος «οπαδός της ασυνέχειας» δεν πιστεύει μόνο ότι η ταχύτητα της εξέλιξης μεταβάλλεται· πιστεύει επιπλέον ότι η ταχύτητα περνά απότομα από το ένα διακριτό επίπεδο στο άλλο, όπως συμβαίνει με το κιβώτιο ταχυτήτων ενός αυτοκινήτου. Για παράδειγμα, μπορεί να πιστεύει ότι η εξέλιξη έχει μόνο δύο ταχύτητες: πολύ μεγάλη και μηδενική. (Εδώ δεν μπορώ να μη θυμηθώ την ντροπή που ένιωσα σε ηλικία επτά ετών, όταν διάβασα τα σχόλια που είχε γράψει η διευθύντρια του οικοτροφείου στον πρώτο μου έλεγχο, σχετικά με την απόδοσή μου στο δίπλωμα των ρούχων, στο κρύο

μπάνιο και σε άλλες καθημερινές δραστηριότητες του σχολείου μου: «Ο Dawkins έχει μόνο τρεις ταχύτητες: μικρή, πολύ μικρή και μηδενική».) Η εξέλιξη με μηδενική ταχύτητα αντιστοιχεί στη στάση που οι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας πιστεύουν ότι χαρακτηρίζει τους μεγάλους πληθυσμούς. Η εξέλιξη με σχετικά μεγάλη ταχύτητα είναι αυτή που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της ειδογένεσης σε μικρούς δυναμικούς πληθυσμούς που βρίσκονται απομονωμένοι στην περιφέρεια των μεγάλων και εξελικτικά στατικών πληθυσμών. Σύμφωνα με αυτή την άποψη, η εξέλιξη βρίσκεται πάντοτε ή στη μία ή στην άλλη ταχύτητα, ποτέ ενδιάμεσα. Οι Eldredge και Gould τείνουν προς τη θεωρία της ασυνέχειας, και από αυτή την άποψη είναι πράγματι ριζοσπάστες. Θα μπορούσαμε να τους χαρακτηρίσουμε «οπαδούς της ασυνεχώς μεταβαλλόμενης εξέλιξης». Παρεμπιπτόντως, δεν υπάρχει κανένας ιδιαίτερος λόγος για τον οποίο ένας οπαδός αυτής της άποψης οφείλει αναγκαστικά να θεωρεί την ειδογένεση ως το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η εξέλιξη παρουσιάζει τη μέγιστη ταχύτητα. Στην πράξη, όμως, οι περισσότεροι υιοθετούν αυτή τη θέση.

Αντίθετα, οι «οπαδοί της συνεχώς μεταβαλλόμενης εξέλιξης» (δηλαδή των εξελικτικών ρυθμών που μεταβάλλονται με συνεχή τρόπο), πιστεύουν ότι η ταχύτητα της εξέλιξης κυμαίνεται με συνεχή τρόπο από την «πολύ μεγάλη» ως την «πολύ μικρή», και από αυτήν στη «μηδενική», με όλες τις ενδιάμεσες δυνατές διαβαθμίσεις. Δεν βλέπουν να υπάρχει κάποιος ιδιαίτερος λόγος να αποδίδουμε μεγαλύτερη σπουδαιότητα σε ορισμένες ταχύτητες απ' ό,τι σε κάποιες άλλες. Ειδικότερα η στάση είναι γι' αυτούς απλώς μια ακραία περίπτωση πολύ αργής εξέλιξης. Για τους οπαδούς της εστιγμένης ισορροπίας, η στάση είναι μια πολύ ειδική περίπτωση. Δεν πρόκειται απλώς για μια εξέλιξη που είναι τόσο αργή, ώστε ο ρυθμός της να έχει πέσει στο μηδέν. Για να το πούμε διαφορετικά, η στάση δεν είναι απλώς μια παθητική έλλειψη εξέλιξης που οφείλεται στην έλλειψη μιας προωθητικής δύναμης προς την κατεύθυνση της αλλαγής. Αντίθετα, αποτελεί μια θετική αντίσταση στην εξελικτική αλλαγή. Οι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας πιστεύουν κατά κάποιον τρόπο ότι τα είδη

προβάλλουν μια ενεργό αντίσταση ώστε να μην εξελιχθούν, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν προωθητικές δυνάμεις οι οποίες ευνοούν την εξέλιξη.

Πολλοί βιολόγοι θεωρούν ότι η στάση είναι ένα υπαρκτό φαινόμενο, λίγοι όμως συμφωνούν για τα αίτια που την προκαλούν. Ας πάρουμε ένα ακραίο παράδειγμα, τον κοιλάκανθο, ή λατιμέρια. Οι κοιλάκανθοι ήταν μια μεγάλη ομάδα «ιχθύων» (αν και ονομάζονται ιχθύες, στην πραγματικότητα έχουν πιο στενή σχέση με τον άνθρωπο παρά με τις πέστρφες και τις ρέγγες) που άκμασαν πριν από 250 εκατομμύρια χρόνια και φαινομενικά εξαφανίστηκαν την ίδια περίπου εποχή με τους δεινοσαύρους. Λέω «φαινομενικά», γιατί το 1938, προς μεγάλη έκπληξη του ζωολογικού κόσμου, μέσα στα δίχτυα ενός αλιευτικού ανοιχτής θαλάσσης που ψάρευε έξω από τις ακτές της Νότιας Αφρικής βρέθηκε ένα παράξενο ψάρι με μήκος ενάμισι μέτρο και ασυνήθιστα πτερύγια, που έμοιαζαν με πόδια. Είχε σχεδόν καταστραφεί μέχρι να αναγνωριστεί η ανεκτίμητη αξία του, ευτυχώς όμως ειδοποιήθηκε ένας νοτιοαφρικανός ζωολόγος που εξέτασε έγκαιρα τα αποσυντιθέμενα υπολείμματά του. Μην μπορώντας να πιστέψει στα μάτια του, αναγνώρισε ότι το ζώο αυτό ήταν ένας ζωντανός κοιλάκανθος και το ονόμασε λατιμέρια. Από τότε έχουν αλιευτεί μερικά ακόμη δείγματα στην ίδια περιοχή, και το είδος έχει τώρα μελετηθεί και περιγραφεί επιστημονικά. Είναι ένα «ζωντανό απολίθωμα», με την έννοια ότι δεν έχει αλλάξει καθόλου από την εποχή των απολιθωμένων προγόνων του, πριν από εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια.

Επομένως, σ' αυτή την περίπτωση έχουμε στάση. Τι συμπέρασμα πρέπει να βγάλουμε; Πώς θα την εξηγήσουμε; Μερικοί από μας θα έλεγαν ότι η γενεαλογική σειρά που οδηγεί στον κοιλάκανθο παρέμεινε σταθερή, γιατί η φυσική επιλογή δεν τη διατάραξε. Κατά μία έννοια, δεν είχε καμία «ανάγκη» να εξελιχθεί, αφού αυτά τα ζώα βρήκαν έναν επιτυχημένο τρόπο ζωής βαθιά μέσα στη θάλασσα, όπου οι συνθήκες δεν άλλαξαν σημαντικά. Μπορεί να μη συμμετείχαν ποτέ σε ανταγωνισμούς εξοπλισμών. Τα ξαδέρφια τους που βγήκαν στη στεριά εξελίχθηκαν γιατί τα ανάγκασε η φυσική επιλογή, κάτω από μια ποικιλία εχθρικών

συνθηκών. Άλλοι βιολόγοι, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται και μερικοί από εκείνους που αυτοαποκαλούνται οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας, μπορεί να υποστηρίξουν ότι η γενεαλογική σειρά που οδηγεί στον σύγχρονο κοιλάκανθο αντιστάθηκε ενεργά στην αλλαγή, παρ' όλες τις πιέσεις της φυσικής επιλογής που μπορεί να δέχτηκε. Ποιος έχει δίκιο; Στην περίπτωση του κοιλάκανθου είναι δύσκολο να το γνωρίζουμε, υπάρχει όμως ένας τρόπος με τον οποίο θα μπορούσαμε, θεωρητικά, να το μάθουμε.

Για να είμαστε δίκαιοι, ας σταματήσουμε να σκεφτόμαστε με βάση τον κοιλάκανθο. Το εν λόγω ζώο αποτελεί ένα εντυπωσιακό αλλά και ακραίο παράδειγμα, στο οποίο δεν θέλουν να στηρίζονται ιδιαίτερα οι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας. Πιστεύουν ότι υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός λιγότερο ακραίων και περισσότερο βραχυπρόθεσμων παραδειγμάτων στάσης. Τα παραδείγματα αυτά θα αποτελούσαν πράγματι τον κανόνα, αφού τα είδη διαθέτουν, κατά τη γνώμη τους, γενετικούς μηχανισμούς που αντιστέκονται ενεργά στην αλλαγή, ακόμη και αν υπάρχουν δυνάμεις φυσικής επιλογής που τα ωθούν προς αυτήν. Νά ποιο είναι το πολύ απλό πείραμα που μπορούμε να κάνουμε για να ελέγξουμε, θεωρητικά τουλάχιστον, αυτή την υπόθεση. Μπορούμε να πάρουμε πληθυσμούς ζώων που ζουν σε άγρια κατάσταση και να τους υποβάλουμε σε επιλεκτικές πιέσεις που τις δημιουργούμε εμείς. Σύμφωνα με την υπόθεση ότι τα είδη αντιστέκονται ενεργά στην αλλαγή, θα πρέπει να διαπιστώσουμε ότι, αν προσπαθήσουμε να πραγματοποιήσουμε επιλεκτικές διασταυρώσεις για να πάρουμε κάποια χαρακτηριστικά, το είδος θα προβάλει αντίσταση και θα αρνείται να συμμορφωθεί στα σχέδιά μας, τουλάχιστον για ένα διάστημα. Αν προσπαθήσουμε να διασταυρώσουμε επιλεκτικά μερικές αγελάδες, ώστε να επιτύχουμε, για παράδειγμα, μεγαλύτερη παραγωγή γάλακτος, το σχέδιό μας θα πρέπει να αποτύχει. Οι γενετικοί μηχανισμοί του είδους θα πρέπει να κινητοποιήσουν τις αντιεξελεκτικές τους δυνάμεις και να αντισταθούν στην πίεση για αλλαγή. Για τον ίδιο λόγο θα πρέπει να αποτύχουμε, αν προσπαθήσουμε να κάνουμε τις κότες να εξελιχθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να γεννούν περισσότερα αυγά. Επίσης, αν οι οργανωτές ταυρομαχιών, στην προσπάθειά τους να

κάνουν πιο θεαματικό το αξιοκαταφρόνητο «άθλημά» τους, επιχειρούσαν να βελτιώσουν την αγωνιστικότητα των ταύρων μέσω επιλεκτικών διασταυρώσεων, τότε οι προσπάθειές τους θα έπρεπε να αποτύχουν οικτρά. Αυτές οι αποτυχίες, βέβαια, θα πρέπει να είναι προσωρινές. Τελικά, οι υποτιθέμενες αντιεξελεκτικές δυνάμεις θα πρέπει να κατανικηθούν σαν ένα φράγμα που σπάει κάτω από την πίεση του νερού, και τότε η γενεαλογική σειρά θα πρέπει να κινηθεί γρήγορα προς ένα νέο σημείο ισορροπίας. Αλλά πρέπει οπωσδήποτε να συναντούμε κάποια αντίσταση κάθε φορά που αρχίζουμε ένα νέο πρόγραμμα επιλεκτικών διασταυρώσεων.

Στην πραγματικότητα, βέβαια, όταν επιχειρούμε να διαμορφώσουμε μια εξελικτική αλλαγή διασταυρώνοντας επιλεκτικά ζώα και φυτά που βρίσκονται σε άγρια κατάσταση, δεν αποτυγχάνουμε ούτε και προσκρούμε σε καμιά αρχική δυσκολία. Τα ζώα και τα φυτά συνήθως συμμορφώνονται στις επιλεκτικές διασταυρώσεις, και οι εκτροφείς και οι καλλιεργητές δεν έχουν βρει καμιά ένδειξη ενδογενών αντιεξελεκτικών δυνάμεων. Αντίθετα, αυτοί που ασχολούνται με επιλεκτικές διασταυρώσεις συναντούν δυσκολίες *έπειτα* από έναν αριθμό γενεών επιτυχούς επιλεκτικής διασταύρωσης. Αυτό συμβαίνει γιατί *έπειτα* από μερικές γενιές επιλεκτικής διασταύρωσης εξαντλείται η διαθέσιμη γενετική ποικιλότητα και θα πρέπει να περιμένουμε για νέες μεταλλάξεις. Είναι πιθανό οι κοιλάκανθοι να σταμάτησαν να εξελίσσονται επειδή σταμάτησαν να μεταλλάσσονται –ίσως επειδή ζώντας στο βυθό της θάλασσας ήταν προστατευμένοι από τις κοσμικές ακτίνες! Εντούτοις, απ' όσο γνωρίζω, κανείς δεν έχει υποστηρίξει σοβαρά αυτή την άποψη· άλλωστε, οι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας δεν εννοούν αυτό όταν λένε ότι τα είδη παρουσιάζουν μια έμφυτη αντίσταση στην εξελικτική αλλαγή.

Εννοούν κάτι που μοιάζει περισσότερο με αυτό που έλεγα, στο Κεφάλαιο 7, για τα «συνεργαζόμενα» γονίδια: οι ομάδες των γονιδίων είναι τόσο καλά προσαρμοσμένες μεταξύ τους, ώστε αντιστέκονται στην εισβολή νέων μεταλλαγμένων γονιδίων που δεν είναι «μέλη της λέσχης». Αυτή η ιδέα είναι αρκετά πολύπλοκη και μπορεί να προβληθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να φαίνεται εύλογη. Πραγματικά, αποτέλεσε ένα από τα θεωρητικά ερείσματα

τα της ιδέας της αδράνειας του Mayr, στην οποία έχουμε ήδη αναφερθεί. Ωστόσο, το γεγονός ότι κάθε φορά που εφαρμόζουμε επιλεκτική διασταύρωση δεν αντιμετωπίζουμε καμία αρχική αντίσταση υποδηλώνει, για μένα, το εξής στοιχείο: αν μια γενεαλογική σειρά που βρίσκεται σε φυσική κατάσταση παραμένει अपαράλλακτη για πολλές γενιές, αυτό δεν οφείλεται τόσο σε μια εγγενή αντίσταση στην αλλαγή, όσο σε μια απουσία πιέσεων από τη φυσική επιλογή, οι οποίες θα ευνοούσαν την αλλαγή. Ένας πληθυσμός δεν μεταβάλλεται, γιατί τα άτομα που παραμένουν απαράλλακτα επιβιώνουν καλύτερα από τα άτομα που μεταβάλλονται.

Οι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας, λοιπόν, είναι στην πραγματικότητα το ίδιο οπαδοί των βαθμιαίων αλλαγών όσο και ο Δαρβίνος ή οποιοσδήποτε άλλος δαρβινιστής. Απλώς θεωρούν ότι υπάρχουν μεγάλες περίοδοι στάσης ανάμεσα σε ξεσπάσματα βαθμιαίας εξέλιξης. Όπως είπα, το μοναδικό σημείο όπου οι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας διαφέρουν πραγματικά από άλλες σχολές δαρβινισμού είναι η μεγάλη έμφαση που δίνουν στη στάση, θεωρώντας την ως κάτι το θετικό: ως μια ενεργό αντίσταση στην εξελικτική αλλαγή και όχι απλώς ως μια απουσία εξελικτικής αλλαγής. Αυτό είναι το μοναδικό σημείο όπου κατά πάσα πιθανότητα σφάλουν. Τώρα απομένει να αναλύσω ένα τελευταίο μυστήριο: γιατί νόμιζαν ότι οι θέσεις τους διαφέρουν τόσο πολύ από εκείνες τους Δαρβίνου και των νεοδαρβινιστών.

Η απάντηση βρίσκεται στη σύγχυση μεταξύ των δύο σημασιών της λέξης «βαθμιαίος», η οποία σχετίζεται με μια άλλη σύγχυση, που παρότι προσπάθησα να την αποσαφηνίσω, εξακολουθεί να υπάρχει επίμονα στο μυαλό πολλών: η σύγχυση μεταξύ εστιγμένης ή διακεκομμένης εξέλιξης και αλματικής εξέλιξης. Ο Δαρβίνος αντιμεχόταν με πάθος την αλματική θεωρία, κι αυτό τον έκανε να τονίζει, επανειλημμένα, τον άκρως βαθμιαίο χαρακτήρα των εξελικτικών αλλαγών που πρότεινε με τη θεωρία του. Ο λόγος είναι ότι η εξέλιξη μέσω αλμάτων σήμαινε για τον Δαρβίνο αυτό που ονόμασα μακρομετάλλαξη τύπου Μπόινγκ 747. Σήμαινε την ξαφνική εμφάνιση –με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο η Αθηνά ξεπήδησε από το κεφάλι του Δία– ολοκαίνουριων



πολύπλοκων οργάνων με μία κίνηση του μαγικού γενετικού ραβδίου. Σήμαινε πλήρως σχηματισμένα, πολύπλοκα μάτια που ξεπηδούσαν από το γυμνό δέρμα μέσα σε μία και μοναδική γενιά και ήταν έτοιμα να λειτουργήσουν. Ο όρος είχε αυτή τη σημασία για τον Δαρβίνο, επειδή την ίδια σημασία είχε και για μερικούς από τους ισχυρότερους αντιπάλους του, οι οποίοι πίστευαν ότι αποτελεί έναν πρωτεύοντα παράγοντα της εξέλιξης.

Ο δούκας του Argyll, για παράδειγμα, δεχόταν την ύπαρξη της εξέλιξης, αλλά ήθελε να εισαγάγει «από την πίσω πόρτα» τη θεϊκή δημιουργία. Και δεν ήταν ο μόνος. Πολλοί Βικτωριανοί, αντί για μία ενιαία δημιουργία στον Κήπο της Εδέμ, πίστευαν ότι ο Θεός είχε παρέμβει επανειλημμένα σε κρίσιμα σημεία της εξέλιξης. Πίστευαν ότι τα πολύπλοκα όργανα, όπως τα μάτια, αντί να έχουν εξελιχθεί από απλούστερα όργανα με αργή βαθμιαία αλλαγή, όπως υποστήριζε ο Δαρβίνος, δημιουργήθηκαν ακαριαία. Αυτοί οι άνθρωποι θεωρούσαν σωστά ότι αυτή η ακαριαία «εξέλιξη», αν συνέβη, θα ήταν ισοδύναμη με την υπερφυσική παρέμβαση, και σ' αυτήν ακριβώς πίστευαν. Η πεποίθησή τους στηριζόταν στους στατιστικούς λόγους που ανέφερα σε σχέση με τον ανεμοστρόβιλο και το Μπόινγκ 747. Ο αλματισμός τύπου 747 δεν είναι παρά μια «νερωμένη» μορφή δημιουργισμού. Ή, για να το πούμε διαφορετικά, η θεϊκή δημιουργία είναι η πιο ακραία μορφή αλματισμού. Είναι το υπέρτατο άλμα από τον άψυχο πηλό σε έναν πλήρως σχηματισμένο άνθρωπο. Ο Δαρβίνος το είχε αντιληφθεί επίσης αυτό, και είχε γράψει σε μια επιστολή του προς τον σερ Charles Lyell, τον κορυφαίο γεωλόγο της εποχής του:

Αν κάτι με έπειθε ότι χρειάζονται τέτοιες προσθήκες στη θεωρία της φυσικής επιλογής, θα την απέρριπτα θεωρώντας την ανόητη... Δεν θα υποστήριζα τη θεωρία της φυσικής επιλογής, αν απαιτούσε την προσθήκη θαυματουργικών επεμβάσεων σε οποιοδήποτε στάδιο της εξέλιξης.

Το θέμα αυτό δεν είναι ασήμαντο. Κατά την άποψη του Δαρβίνου, η ουσία της θεωρίας της εξέλιξης μέσω της φυσικής επι-

λογής είναι ότι παρέχει μια εξήγηση της ύπαρξης πολύπλοκων προσαρμογών χωρίς την προσφυγή σε θαυματουργικές επεμβάσεις. Αυτή είναι επίσης η ουσία αυτού του βιβλίου. Για τον Δαρβίνο, μια εξέλιξη που χρειάζεται τη βοήθεια του Θεού για να κάνει κάποια άλματα, δεν είναι καθόλου εξέλιξη. Μια τέτοια αντίληψη αγχρωστέυει την κεντρική ιδέα της εξέλιξης. Έπειτα από όλα αυτά, είναι εύκολο να καταλάβουμε γιατί ο Δαρβίνος τόνιζε συνεχώς τον *βαθμιαίο χαρακτήρα* της εξέλιξης. Είναι εύκολο να καταλάβουμε γιατί έγραψε την πρόταση που παραθέτουμε στο Κεφάλαιο 4:

Αν μπορούσε να αποδειχτεί ότι υπάρχει οποιοδήποτε πολύπλοκο όργανο που δεν είναι δυνατό να σχηματίστηκε από πολυάριθμες, διαδοχικές, μικρές τροποποιήσεις, η θεωρία μου θα κατέρρεε ολοσχερώς.

Υπάρχει και ένας άλλος τρόπος για να αντιληφθούμε τη θεμελιώδη σπουδαιότητα που είχε ο βαθμιαίος χαρακτήρας της εξέλιξης για τον Δαρβίνο. Οι σύγχρονοί του, όπως και πολλοί άνθρωποι σήμερα, δυσκολεύονταν να πιστέψουν ότι το ανθρώπινο σώμα και άλλες εξίσου πολύπλοκες οντότητες θα μπορούσαν να δημιουργηθούν μέσα από την εξέλιξη. Πολλοί, θεωρώντας ως μακρινό μας πρόγονο τη μονοκύτταρη αμοιβάδα –αντίληψη που ήταν της μόδας μέχρι πρόσφατα–, το έβρισκαν δύσκολο να γεφυρώσουν μέσα στο νου τους το κενό από την αμοιβάδα ως τον άνθρωπο. Γι' αυτούς ήταν αδιανόητο ότι από μια τόσο απλή αρχή μπορεί να προέκυψε κάτι τόσο πολύπλοκο. Ο Δαρβίνος χρησιμοποίησε την ιδέα μιας σειράς βαθμιαίων μικρών βημάτων για να ξεπεράσει αυτή τη δυσπιστία. Σύμφωνα με το επιχειρήμα του, ίσως δυσκολεύεται κάποιος να φανταστεί τη μετατροπή μιας αμοιβάδας σε άνθρωπο, αλλά δεν δυσκολεύεται να φανταστεί μια αμοιβάδα να μετατρέπεται σε μια ελάχιστα διαφορετική μορφή αμοιβάδας. Στη συνέχεια δεν είναι δύσκολο να τη φανταστεί να μετατρέπεται σε μια ελάχιστα διαφορετική μορφή της ελάχιστα διαφορετικής μορφής... και ούτω καθεξής. Όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 3, αυτό το επιχειρήμα κατανικά τη δυσπιστία μας μόνο αν τονίσουμε ότι υπήρχε ένας εξαιρετικά μεγάλος αριθμός βημά-



των και ότι κάθε θήμα ήταν πάρα πολύ μικρό. Ο Δαρβίνος πολεμούσε συνεχώς αυτό το αίτιο της δυσπιστίας και χρησιμοποιούσε πάντοτε το ίδιο όπλο: την έμφαση στη βαθμιαία, σχεδόν ανεπαίσθητη αλλαγή, που εξαπλώνεται σε αμέτρητες γενιές.

Παρεμπιπτόντως, αξίζει τον κόπο να αναφέρουμε τον χαρακτηριστικό συμπληρωματικό συλλογισμό που έχει χρησιμοποιήσει ο J.B.S. Haldane για να πολεμήσει το ίδιο αίτιο δυσπιστίας. Κάτι ανάλογο με τη μετάβαση από την αμοιβάδα στον άνθρωπο, επισημαίνει ο Haldane, συμβαίνει μέσα στη μήτρα κάθε μητέρας μέσα σε εννέα μόλις μήνες. Ομολογουμένως, η ανάπτυξη είναι μια πολύ διαφορετική διαδικασία από την εξέλιξη. Εντούτοις, αν κάποιος αντιμετωπίζει με σκεπτικισμό την ίδια τη δυνατότητα της μετάβασης από ένα μοναδικό κύτταρο σε έναν άνθρωπο, αρκεί να συλλογιστεί τη δική του εμβρυϊκή αρχή, για να διαλυθούν οι αμφιβολίες του. Ελπίζω να μη θεωρηθώ σχολαστικός αν τονίσω, παρεμπιπτόντως, ότι η απονομή του τίτλου του επίτιμου προγόνου στην αμοιβάδα είναι απλώς το αποτέλεσμα μιας αυθαίρετης παράδοσης. Ένα βακτήριο θα ήταν καλύτερη επιλογή, αλλά ακόμη και τα βακτήρια, όπως τα γνωρίζουμε σήμερα, είναι σύγχρονοι οργανισμοί.

Για να συνοψίσουμε το επιχειρήμα, ο Δαρβίνος επέμενε ιδιαίτερα στο ότι η εξέλιξη προχωρεί με βαθμιαίες αλλαγές, εξαιτίας αυτού *εναντίον* του οποίου μαχόταν, δηλαδή εξαιτίας των παρανοήσεων που επικρατούσαν κατά τον 19ο αιώνα σχετικά με την εξέλιξη. Το *νόημα* της έκφρασης «με βαθμιαίες αλλαγές» εκείνη την εποχή ήταν: «το αντίθετο της εξέλιξης μέσω αλμάτων». Οι Eldredge και Gould, στα τέλη του 20ού αιώνα, χρησιμοποιούν την έκφραση «με βαθμιαίες αλλαγές» με πολύ διαφορετική έννοια. Στην πραγματικότητα, χρησιμοποιούν αυτή την έκφραση, αν και όχι ρητά, με την έννοια «εξέλιξη με σταθερή ταχύτητα», και σε αντιδιαστολή με αυτήν προτείνουν τη δική τους θεωρία, της «εστιγμένης ισορροπίας». Επικρίνουν τη θεωρία των βαθμιαίων αλλαγών όταν αυτή εννοείται ως «εξέλιξη με σταθερή ταχύτητα». Και αναμφίβολα έχουν δίκιο: στην ακραία μορφή της η θεωρία αυτή είναι εξίσου παράλογη όσο και η δική μου βιβλική παραβολή της Εξόδου.

Εντούτοις, το να μετατρέπει κανείς αυτή τη δικαιολογημένη κριτική σε κριτική εναντίον του Δαρβίνου, σημαίνει απλώς ότι συγγέει δύο εντελώς διαφορετικές σημασίες της έκφρασης «με βαθμιαίες αλλαγές». Οι Eldredge και Gould εναντιώνονται στη θεωρία των βαθμιαίων αλλαγών κατά μια ιδιαίτερη έννοια και δεν έχουμε κανέναν ιδιαίτερο λόγο να αμφιβάλλουμε αν ο Δαρβίνος θα συμφωνούσε μαζί τους. Αν αποδώσουμε στη λέξη την έννοια σύμφωνα με την οποία ο Δαρβίνος ήταν ένθερμος οπαδός των βαθμιαίων αλλαγών, τότε και οι Eldredge και Gould είναι επίσης οπαδοί των βαθμιαίων αλλαγών. Η θεωρία της εστιγμένης ισορροπίας είναι μια μικρή προσθήκη στο δαρβινισμό, την οποία μπορεί κάλλιστα να είχε εγκρίνει και ο ίδιος ο Δαρβίνος, αν το θέμα είχε συζητηθεί στην εποχή του. Αφού, λοιπόν, είναι μια μικρή προσθήκη, δεν δικαιολογείται να έχει ιδιαίτερα μεγάλη δημοσιότητα. Ο λόγος για τον οποίο γνώρισε μια τέτοια δημοσιότητα (και για τον οποίο αισθάνθηκα υποχρεωμένος να της αφιερώσω ένα ολόκληρο κεφάλαιο του βιβλίου), είναι απλούστατα το γεγονός ότι η εν λόγω θεωρία προβλήθηκε –και μάλιστα σε υπερβολικό βαθμό από μερικούς δημοσιογράφους– ως ριζικά αντίθετη προς τις απόψεις του Δαρβίνου και των διαδόχων του. Γιατί συνέβη αυτό;

Υπάρχουν άνθρωποι που επιθυμούν απεγνωσμένα να μην είναι υποχρεωμένοι να πιστεύουν στο δαρβινισμό. Οι άνθρωποι αυτοί μπορούν να χωριστούν σε τρεις βασικές κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν εκείνοι που για θρησκευτικούς λόγους θα ήθελαν η ίδια η εξέλιξη να μην είναι αληθής. Στη δεύτερη ανήκουν εκείνοι που δεν έχουν κανένα λόγο να αρνηθούν ότι η εξέλιξη συνέβη πραγματικά, αλλά συχνά για πολιτικούς ή ιδεολογικούς λόγους βρίσκουν ενοχλητικό το *μηχανισμό* της εξέλιξης όπως περιγράφεται από τη θεωρία του Δαρβίνου. Από αυτούς, μερικοί βρίσκουν την ιδέα της φυσικής επιλογής απαράδεκτα σκληρή και ανελέητη· άλλοι τη συγχέουν με το τυχαίο, στο οποίο δίνουν την έννοια του «χωρίς νόημα», με αποτέλεσμα να πιστεύουν ότι η θεωρία προσβάλλει την αξιοπρέπειά τους· και άλλοι πάλι συγχέουν το δαρβινισμό με τον κοινωνικό δαρβινισμό, ο οποίος έχει ρατσιστικά και άλλα απαράδεκτα χαρακτηριστικά. Στην τρίτη κατηγο-



ρία ανήκουν εκείνοι στους οποίους απλούστατα αρέσει να βλέπουν εδραιωμένες καταστάσεις να ανατρέπονται –σ’ αυτούς συμπεριλαμβάνονται πολλοί από τους εργαζόμενους στα μαζικά μέσα ενημέρωσης–, ίσως επειδή βρίσκουν κάποιο θέμα για να γράψουν στις εφημερίδες τους. Και ο δαρβινισμός είναι αρκετά εδραιωμένος και σεβαστός ώστε να τους βάζει σε πειρασμό.

Όποιο κι αν είναι το κίνητρο, το αποτέλεσμα είναι το ίδιο: αν κάποιος αξιολογεί επιστήμονας ψιθυρίζει έστω και το παραμικρό αρνητικό υπονοούμενο για κάποια λεπτομέρεια της δαρβινικής θεωρίας, οι αντίπαλοί της σπεύδουν να μεγαλοποιήσουν το γεγονός σε βαθμό εντελώς δυσανάλογο προς την ουσιαστική του σημασία. Ο ζήλος που χαρακτηρίζει αυτή την προσπάθεια είναι τόσο μεγάλος, ώστε θα έλεγε κανείς ότι υπάρχει κάποιος ισχυρός ενισχυτής που είναι συνδεδεμένος με ένα καλορυθμισμένο μικρόφωνο το οποίο «αφουγκράζεται» επιλεκτικά οποιαδήποτε δήλωση μοιάζει έστω και στο ελάχιστο να εναντιώνεται στο δαρβινισμό. Αυτή η κατάσταση είναι εξαιρετικά ενοχλητική, γιατί τα σοβαρά επιχειρήματα και η σοβαρή κριτική αποτελούν ένα ζωτικό και σημαντικό μέρος κάθε επιστήμης, και θα ήταν τραγικό αν οι επιστήμονες ένιωθαν την ανάγκη να φιμώνουν τον εαυτό τους εξαιτίας των μικροφώνων. Δεν χρειάζεται να πούμε βέβαια ότι ο ενισχυτής, αν και πανίσχυρος, δεν είναι υψηλής πιστότητας: υπάρχει μεγάλη παραμόρφωση! Ένας επιστήμονας που ψιθυρίζει επιφυλακτικά μερικούς ελάχιστους ενδοιασμούς για κάποιο λεπτό σημείο του δαρβινισμού, κινδυνεύει να ακούσει τα ίδια του τα λόγια, παραμορφωμένα σε τέτοιο βαθμό ώστε πλέον να μην αναγνωρίζονται, να μεταδίδονται με εκκωφαντική ένταση από τα μεγάφωνα που περίμεναν αυτήν ακριβώς την ευκαιρία.

Ο Eldredge και ο Gould δεν ψιθυρίζουν· φωνάζουν, και μάλιστα με ευφράδεια και δύναμη! Αυτά που φωνάζουν περιέχουν συχνά πολύ λεπτά νοήματα, αλλά το μήνυμα που μεταδίδεται τελικά είναι ότι υπάρχει κάποιος λάθος στη θεωρία του Δαρβίνου. Αλληλοψάλα, «οι επιστήμονες» το είπαν μόνοι τους! Ο επιμελητής του *Biblical Creation* (Βιβλική δημιουργία) έχει γράψει:

Είναι αναμφίβολο ότι η αξιοπιστία της θρησκευτικής και επιστημο-

νικής μας θέσης έχει ενισχυθεί σε μεγάλο βαθμό από την πρόσφατη πτώση του ηθικού των νεοδαρβινιστών. Είναι κάτι που θα πρέπει να το εκμεταλλευτούμε στο έπακρο.

Ο Eldredge και ο Gould έχουν πολεμήσει και οι δύο γενναία στη μάχη ενάντια στον άξεστο δημιουργισμό. Έχουν διαμαρτυρηθεί για τον εσφαλμένο τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν τα λόγια τους, αλλά διαπίστωσαν ξαφνικά ότι γι' αυτό το μέρος του μηνύματός τους, τα μικρόφωνα έπαψαν ξαφνικά να λειτουργούν. Τους κατανόω απόλυτα, γιατί είχα κι εγώ μια παρόμοια εμπειρία, με ένα διαφορετικό είδος μικροφώνων. Στη δική μου περίπτωση είχαν πολιτικό και όχι θρησκευτικό προσανατολισμό.

Εκείνο που πρέπει να κάνουμε τώρα είναι να πούμε δυνατά και καθαρά την αλήθεια: η θεωρία της εστιγμένης ισορροπίας βρίσκεται σαφώς μέσα στα πλαίσια της νεοδαρβινικής σύνθεσης, και πάντοτε βρισκόταν. Θα χρειαστεί καιρός για να διορθωθούν οι ζημιές που έγιναν από τις υπερβολικές ρητορείες, αλλά θα διορθωθούν. Η θεωρία της εστιγμένης ισορροπίας θα πάρει τις σωστές αναλογίες της και θα θεωρηθεί ως μια ενδιαφέρουσα αλλά μικρή πτυχή πάνω στην επιφάνεια της νεοδαρβινικής θεωρίας. Σίγουρα δεν δικαιολογεί καμιά «πτώση του ηθικού» των νεοδαρβινιστών, ούτε και δικαιολογεί με κανέναν τρόπο τον ισχυρισμό του Gould ότι η συνθετική θεωρία (ένα άλλο όνομα του νεοδαρβινισμού) «είναι ουσιαστικά νεκρή». Μια αντίστοιχη αντίδραση θα ήταν αν η ανακάλυψη ότι η Γη δεν είναι τέλεια σφαίρα αλλά ένα ελαφρά πεπλατυσμένο σφαιροειδές διατυμπανίζονταν με τον τίτλο:

#### Ο ΚΟΠΕΡΝΙΚΟΣ ΕΣΦΑΛΕ. ΔΙΚΑΙΩΝΕΤΑΙ Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΕΔΗΣ ΓΗΣ.

Ωστόσο, για να είμαστε δίκαιοι, πρέπει να πούμε ότι η παρατήρηση του Gould δεν στρεφόταν τόσο ενάντια στον υποτιθέμενο «βαθμιαίο χαρακτήρα της εξέλιξης» στη δαρβινική σύνθεση, όσο σε ένα άλλο σημείο της θεωρίας. Οι Eldredge και Gould αμφισβητούν τη θέση σύμφωνα με την οποία όλη η εξέλιξη,



ακόμη και στη μεγαλύτερη γεωλογική κλίμακα, είναι το τελικό αποτέλεσμα γεγονότων που συμβαίνουν μέσα στους πληθυσμούς ή στα είδη. Αυτοί πιστεύουν ότι υπάρχει μια ανώτερη μορφή επιλογής, την οποία ονομάζουν «επιλογή ειδών». Αναβάλλω την εξέταση αυτού του ζητήματος για το επόμενο κεφάλαιο. Εκεί θα αναφερθώ επίσης σε μια άλλη σχολή βιολόγων, οι οποίοι για εξίσου αβάσιμους λόγους έχουν χαρακτηριστεί μερικές φορές αντιδαρθινιστές: πρόκειται για τους λεγόμενους οπαδούς του «μετασχηματισμένου κλαδισμού». Αυτοί ανήκουν στον γενικό κλάδο της ταξινομικής, της επιστήμης που ασχολείται με την συστηματική ταξινόμηση των έμβιων όντων.

---

ΤΟ ΜΟΝΑΔΙΚΟ ΣΩΣΤΟ ΔΕΝΤΡΟ  
ΤΗΣ ΖΩΗΣ

Το βιβλίο αυτό αφορά κυρίως την εξέλιξη ως λύση του προβλήματος του πολύπλοκου «σχεδιασμού», την εξέλιξη ως εξήγηση των φαινομένων που ο Paley πίστευε ότι αποδεικνύουν την ύπαρξη ενός θεϊκού ωρολογοποιού. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο μιλώ συνεχώς για μάτια και για συστήματα ηχοεντοπισμού. Αλλά υπάρχει και ένα άλλο φάσμα φαινομένων που εξηγούνται από τη θεωρία της εξέλιξης. Είναι τα φαινόμενα της ποικιλομορφίας: η διαμόρφωση των διαφορετικών ζώων και φυτών που βρίσκονται κατανεμημένα σε όλο τον κόσμο και η κατανομή των χαρακτηριστικών ανάμεσά τους. Αν και με απασχολούν κυρίως τα μάτια και τα άλλα παραδείγματα πολύπλοκων μηχανισμών, δεν πρέπει να παραμελήσω τον δεύτερο αυτό τρόπο με τον οποίο η εξέλιξη μάς βοηθάει να κατανοήσουμε τη φύση. Έτσι, αυτό το κεφάλαιο έχει ως θέμα την ταξινομική.

Η ταξινομική είναι η επιστήμη της ταξινόμησης. Για μερικούς έχει αδικαιολόγητα τη φήμη ότι είναι πληκτική, και συνδέεται υποσυνείδητα με σκονισμένα μουσεία και με τη μυρωδιά συντηρητικών υγρών, σαν να έχει ως αντικείμενό της την ταρίχευση. Στην πραγματικότητα, είναι κάθε άλλο παρά πληκτική. Για κάποιους λόγους που δεν κατανοώ πλήρως, είναι ένας χώρος που χαρακτηρίζεται από οξύτερες διαμάχες, περισσότερο ίσως από οποιονδήποτε άλλο τομέα της βιολογίας. Ενδιαφέρει τους

φιλοσόφους και τους ιστορικούς. Παίζει σημαντικό ρόλο σε οποιαδήποτε αναφορά στην εξέλιξη. Επίσης, από τις τάξεις των ταξινομικών προέρχονται μερικοί από τους πιο δυναμικούς σύγχρονους βιολόγους που προσποιούνται ότι είναι αντιδαρβινιστές.

Οι ταξινομικοί μελετούν κυρίως ζώα και φυτά, αλλά η ταξινόμηση είναι κάτι που μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε είδους αντικείμενα: σε πετρώματα, σε πολεμικά πλοία, στα βιβλία μιας βιβλιοθήκης, στα άστρα, στις γλώσσες. Η συστηματική ταξινόμηση παρουσιάζεται συχνά ως μια πρακτική ανάγκη, και αυτό είναι όντως ένα μέρος της αλήθειας. Τα βιβλία μιας μεγάλης βιβλιοθήκης δεν έχουν σχεδόν καμία χρησιμότητα, αν δεν είναι οργανωμένα κατά κάποιον μη τυχαίο τρόπο ώστε να μπορούμε να βρούμε αναμεσά τους, όποτε θέλουμε, αυτά που πραγματεύονται ένα συγκεκριμένο θέμα. Η επιστήμη, ή ίσως η τέχνη, του βιβλιοθηκάρου είναι μια άσκηση εφαρμοσμένης ταξινομικής. Για τους ίδιους λόγους, η ζωή των βιολόγων γίνεται πιο εύκολη αν μπορούν να τοποθετήσουν τα ζώα και τα φυτά σε συγκεκριμένες κατηγορίες με καθορισμένα ονόματα. Εντούτοις, αν λέγαμε ότι αυτός είναι ο μοναδικός λόγος για τον οποίο ταξινομούμε τα ζώα και τα φυτά, θα χάναμε το μεγαλύτερο μέρος της αλήθειας. Για τους εξελικτικούς βιολόγους, η ταξινόμηση των ζωντανών οργανισμών χαρακτηρίζεται από ένα πολύ ιδιαίτερο στοιχείο, που δεν ισχύει για κανένα άλλο είδος ταξινόμησης. Από την ίδια την ιδέα της εξέλιξης προκύπτει ότι υπάρχει ένα μοναδικό σωστό διακλαδιζόμενο γενεαλογικό δέντρο όλων των ζωντανών οργανισμών, και σ' αυτό μπορούμε να στηρίξουμε την ταξινόμησή μας. Αυτή η μέθοδος ταξινόμησης, πέρα από τη μοναδικότητά της, έχει και μια σημαντική ιδιότητα, που θα την ονομάσω *τέλειο εγκιβωτισμό*. Η σημασία αυτού του όρου και η εξήγηση της σπουδαιότητάς του αποτελεί ένα από τα κύρια θέματα αυτού του κεφαλαίου.

Ας εξετάσουμε τη βιβλιοθήκη ως ένα παράδειγμα μη βιολογικής ταξινόμησης. Δεν υπάρχει μία μοναδική σωστή λύση στο πρόβλημα της ταξινόμησης των βιβλίων μιας βιβλιοθήκης ή ενός βιβλιοπωλείου. Ένας βιβλιοθηκάριος μπορεί να κατατάξει τα βιβλία του στις ακόλουθες κύριες κατηγορίες: θετικές επιστήμες,



ιστορία, λογοτεχνία, άλλες τέχνες, ξένα έργα, κ.λπ. Καθένας από αυτούς τους κύριους τομείς της βιβλιοθήκης θα υποδιαιρείται σε άλλους μικρότερους. Ο τομέας των θετικών επιστημών μπορεί να έχει υποδιαιρέσεις για τη βιολογία, τη γεωλογία, τη χημεία, τη φυσική, κ.λπ. Τα βιβλία της βιολογίας μπορεί με τη σειρά τους να υποδιαιρούνται σε τμήματα αφιερωμένα στη φυσιολογία, την ανατομία, τη βιοχημεία, την εντομολογία, κ.λπ. Τέλος, μέσα σε κάθε τμήμα τα βιβλία μπορεί να τοποθετηθούν κατά αλφαθητική σειρά. Οι άλλοι κύριοι τομείς της βιβλιοθήκης, ο τομέας της ιστορίας, ο τομέας της λογοτεχνίας, ο τομέας των ξενόγλωσσων βιβλίων, κ.λπ., θα υποδιαιρούνται με παρόμοιο τρόπο. Έτσι, η βιβλιοθήκη υποδιαιρείται ιεραρχικά κατά έναν τρόπο που επιτρέπει στον αναγνώστη να βρει το βιβλίο που θέλει. Η ιεραρχική ταξινόμηση είναι βολική, γιατί χάρη σ' αυτήν μπορούμε να βρίσκουμε αυτό που θέλουμε. Για τον ίδιο λόγο, οι λέξεις ενός λεξικού είναι τοποθετημένες σε αλφαθητική σειρά.

Ωστόσο, δεν υπάρχει καμιά μοναδική ιεραρχία κατά την οποία να πρέπει να τακτοποιηθούν τα βιβλία μιας βιβλιοθήκης. Ένας άλλος βιβλιοθηκάριος θα μπορούσε να οργανώσει τα ίδια βιβλία με διαφορετικό αλλά και πάλι ιεραρχικό τρόπο. Μπορεί, για παράδειγμα, να μην έχει ξεχωριστό τομέα για τα βιβλία που είναι γραμμένα σε άλλες γλώσσες, αλλά να τα κατατάσσει σύμφωνα με το θέμα τους και ανεξάρτητα από τη γλώσσα στην οποία είναι γραμμένα: τα γερμανικά βιβλία βιολογίας στον τομέα της βιολογίας, τα γερμανικά βιβλία ιστορίας στον τομέα της ιστορίας, και ούτω καθεξής. Ένας τρίτος βιβλιοθηκάριος μπορεί να υιοθετήσει το ασυνήθιστο σύστημα της κατάταξης όλων των βιβλίων, ανεξάρτητα από το θέμα τους, σύμφωνα με τη χρονολογική σειρά έκδοσής τους, και να χρησιμοποιεί ένα ευρετήριο με καρτέλες (ή κάποιο αντίστοιχο πρόγραμμα ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή) για την ανεύρεση των βιβλίων.

Αυτοί οι τρεις τρόποι οργάνωσης μιας βιβλιοθήκης είναι εντελώς διαφορετικοί μεταξύ τους, αλλά κατά πάσα πιθανότητα θα λειτουργούσαν ικανοποιητικά και θα ήταν αποδεκτοί για πολλούς αναγνώστες. (Παρεμπιπτόντως, δεν θα συμφωνούσε με αυτή την άποψη ένας ευέξαπτος ηλικιωμένος Λονδρέζος τον οποίο

άκουσα κάποτε στο ραδιόφωνο να κατηγορεί τη διοικητική επιτροπή της λέσχης του επειδή προσέλαβε βιβλιοθηκάριο. Η βιβλιοθήκη λειτουργούσε χωρίς πρόβλημα εδώ και εκατό χρόνια χωρίς καμιά οργάνωση, και δεν υπήρχε λόγος, κατά τη γνώμη του, να την οργανώσουν τώρα. Ο παρουσιαστής του προγράμματος τον ρώτησε ευγενικά πώς πίστευε αυτός ότι πρέπει να κατατάσσονται τα βιβλία. «Τα μεγάλα αριστερά, τα μικρά δεξιά!» φώναζε αυτός χωρίς δισταγμό.) Τα βιβλιοπωλεία ταξινομούν πολλές φορές τα βιβλία τους σε κύρια τμήματα που αντανακλούν τη ζήτησή τους από τον κόσμο. Αντί να τα χωρίζουν σε επιστημονικά, ιστορικά, λογοτεχνικά, γεωγραφικά, κ.λπ., τα κύρια τμήματά τους είναι κηπουρική, μαγειρική, τηλεοπτικά, αποκρυφισμός, κ.λπ. Κάποτε, μάλιστα, είδα ένα ράφι με την ταμπέλα «ΘΡΗΣΚΕΙΑ ΚΑΙ ΙΠΤΑΜΕΝΟΙ ΔΙΣΚΟΙ».

Έτσι, δεν υπάρχει καμία σωστή λύση στο πρόβλημα της ταξινόμησης των βιβλίων. Οι βιβλιοθηκάριοι μπορεί να έχουν λογικές διαφωνίες μεταξύ τους σχετικά με το καλύτερο σύστημα ταξινόμησης, αλλά τα κριτήρια με βάση τα οποία κρίνονται τα επιχειρήματά τους δεν έχουν σχέση με την «αλήθεια» ή την «ορθότητα» ενός συστήματος ταξινόμησης σε σχέση με ένα άλλο. Τα κριτήρια που θα θεωρούνταν σημαντικά θα ήταν το πόσο βολικό είναι ένα σύστημα για τους αναγνώστες της βιβλιοθήκης, πόσο γρήγορα μπορεί να βρεθεί ένα βιβλίο, κ.λπ. Με αυτή την έννοια, μπορούμε να πούμε ότι η ταξινόμηση των βιβλίων σε μια βιβλιοθήκη είναι αυθαίρετη. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν είναι σημαντικό να βρεθεί ένα καλό σύστημα ταξινόμησης· κάθε άλλο. Σημαίνει ότι δεν υπάρχει ένα μοναδικό σύστημα ταξινόμησης που, αν διαθέταμε όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, θα χαρακτηριζόταν από όλους ως το μοναδικό σωστό σύστημα. Από την άλλη πλευρά, η ταξινόμηση των έμβιων όντων, όπως θα δούμε, χαρακτηρίζεται από αυτή τη σημαντική ιδιότητα, η οποία δεν υπάρχει στην ταξινόμηση των βιβλίων –ή τουλάχιστον χαρακτηρίζεται από αυτήν, αν δεχτούμε την εξελικτική άποψη.

Φυσικά, είναι δυνατό να επινοήσουμε απεριόριστο αριθμό συστημάτων ταξινόμησης των έμβιων όντων, αλλά θα δείξω ότι όλα αυτά τα συστήματα, εκτός από ένα, είναι εξίσου αυθαίρετα με την



ταξινόμηση των βιβλίων στις βιβλιοθήκες. Αν το βασικό μας κριτήριο είναι απλώς η ευκολία, ο υπεύθυνος ενός μουσείου φυσικής ιστορίας μπορεί να ταξινομήσει τα δείγματά του με βάση το μέγεθος και τις συνθήκες διατήρησής τους: μεγάλα ταραχευμένα δείγματα, μικρά αποξηραμένα δείγματα στερεωμένα σε φύλλα φελλού μέσα σε δίσκους, εμφιαλωμένα δείγματα εμβαπτισμένα σε υγρά, μικροσκοπικά δείγματα πάνω σε γυάλινες πλάκες, κ.λπ. Η κατάταξη αυτού του είδους είναι συνηθισμένη στους ζωολογικούς κήπους. Για παράδειγμα, στον Ζωολογικό Κήπο του Λονδίνου οι ρινόκεροι στεγάζονται στο «Σπίτι των Ελεφάντων» για τον απλούστατο λόγο ότι χρειάζονται κι αυτοί το ίδιο είδος ενισχυμένων κλουβιών όπως και οι ελέφαντες. Ένας βιολόγος που ασχολείται με την εφαρμοσμένη βιολογία μπορεί να διακρίνει τα ζώα σε επιβλαβή (που υποδιαιρούνται σε επιβλαβή για την υγεία, επιβλαβή για τη γεωργία και σε επικίνδυνα λόγω του δηλητηρίου που έχουν στα δόντια τους ή σε κεντρί), σε ωφέλιμα (που υποδιαιρούνται κατά παρόμοιους τρόπους) και σε ουδέτερα. Ένας διαιτολόγος μπορεί να ταξινομήσει τα ζώα ανάλογα με τη διατροφολογική αξία που έχει το κρέας τους για τον άνθρωπο, και πάλι με μια πολύπλοκη διαίρεση σε υποκατηγορίες. Η γιαγιά μου κέντησε κάποτε ένα υφασμάτινο βιβλίο για παιδιά με θέμα τα ζώα, όπου τα ταξινομούσε με βάση τα πόδια τους. Οι ανθρωπολόγοι έχουν διαπιστώσει την ύπαρξη πολλών και πολύπλοκων συστημάτων ταξινόμησης των ζώων τα οποία χρησιμοποιούνται από διάφορες φυλές σε όλο τον κόσμο.

Ωστόσο, ανάμεσα στα συστήματα ταξινόμησης που θα μπορούσε να επινοήσει κανείς, υπάρχει ένα και μοναδικό σύστημα, μοναδικό με την έννοια ότι μπορούν να του αποδοθούν χαρακτηρισμοί όπως «σωστό» και «εσφαλμένο» ή «αληθές» και «ψευδές», με απόλυτη συμφωνία ανάμεσα στους μελετητές του, εφόσον υπάρχουν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες. Αυτό το μοναδικό σύστημα είναι το σύστημα που βασίζεται στις εξελικτικές σχέσεις. Για να αποφύγουμε τυχόν παρανοήσεις, θα του δώσω το όνομα που δίνουν οι βιολόγοι στην αυστηρότερη μορφή του: κλαδιστική ταξινομική.

Στην κλαδιστική ταξινομική, το υπέρτατο κριτήριο για την



τοποθέτηση οργανισμών στην ίδια ομάδα είναι η εγγύτητα της συγγενείας τους ή, με άλλα λόγια, πόσο σχετικά πρόσφατος είναι ο κοινός τους πρόγονος. Τα πτηνά, για παράδειγμα, διακρίνονται από τα «μη πτηνά» από το γεγονός ότι κατάγονται όλα από έναν κοινό πρόγονο, ο οποίος δεν είναι πρόγονος κανενός «μη πτηνού». Τα θηλαστικά κατάγονται όλα από έναν κοινό πρόγονο, ο οποίος δεν είναι πρόγονος κανενός «μη θηλαστικού». Τα πτηνά και τα θηλαστικά έχουν έναν πιο μακρινό κοινό πρόγονο, ο οποίος είναι κοινός πρόγονος και πολλών άλλων ζώων, όπως τα φίδια, οι σαύρες και οι σφηνόδοντες. Τα ζώα που κατάγονται από αυτό τον κοινό πρόγονο ονομάζονται όλα αμνιωτά. Έτσι, τα πτηνά και τα θηλαστικά είναι αμνιωτά. Σύμφωνα με τους κλαδιστές, η λέξη «ερπετά» δεν είναι γνήσιος όρος της ταξινομικής, γιατί ορίζεται διά του αποκλεισμού: σημαίνει όλα τα αμνιωτά εκτός από τα πτηνά και τα θηλαστικά. Με άλλα λόγια, ο πιο πρόσφατος κοινός πρόγονος όλων των «ερπετών» (φίδια, χελώνες, κ.λπ.) είναι πρόγονος και μερικών «μη ερπετών», συγκεκριμένα των πτηνών και των θηλαστικών.

Μέσα στην ομοταξία των θηλαστικών, οι αρουραίοι και οι ποντικοί έχουν έναν πρόσφατο κοινό πρόγονο. Οι λεοπαρδάλεις και τα λιοντάρια έχουν επίσης έναν πρόσφατο κοινό πρόγονο. Το ίδιο ισχύει για τους χιμπαντζήδες και τους ανθρώπους. Τα ζώα που έχουν στενή σχέση μεταξύ τους είναι εκείνα που έχουν έναν πρόσφατο κοινό πρόγονο. Όταν η σχέση είναι πιο μακρινή, ο κοινός πρόγονος είναι επίσης πιο παλιός. Τα ζώα με πολύ μακρινή σχέση, όπως είναι οι άνθρωποι και τα σαλιγκάρια, έχουν έναν πολύ παλιό κοινό πρόγονο. Οι διάφοροι οργανισμοί δεν μπορούν ποτέ να μην έχουν καμία σχέση μεταξύ τους, αφού είναι σχεδόν βέβαιο ότι η ζωή εμφανίστηκε μόνο μία φορά πάνω στη Γη.

Η γνήσια κλαδιστική ταξινομική είναι αυστηρά ιεραρχική. Με αυτή την έκφραση εννοώ ότι μπορούμε να την παρουσιάσουμε σαν ένα δέντρο που τα κλαδιά του πάντοτε αποκλίνουν και ποτέ δεν συγκλίνουν εκ νέου. Κατά την άποψή μου (μερικές σχολές ταξινομικών, που θα τις αναφέρουμε παρακάτω, θα διαφωνούσαν), είναι αυστηρά ιεραρχική όχι επειδή η ιεραρχική ταξινομη-

ση είναι βολική, όπως η ταξινόμηση ενός βιβλιοθηκάριου, ούτε επειδή τα πάντα στον κόσμο εμπίπτουν από τη φύση τους σε ένα ιεραρχικό πρότυπο, αλλά απλούστατα επειδή το πρότυπο της εξελικτικής καταγωγής είναι ιεραρχικό. Από τη στιγμή που το δέντρο της ζωής διακλαδίστηκε πέρα από μια ορισμένη ελάχιστη απόσταση (που είναι βασικά τα όρια του είδους), τα κλαδιά δεν ξανασυναντιούνται ποτέ (μπορεί να υπάρχουν πολύ σπάνιες εξαιρέσεις, όπως στην περίπτωση του σχηματισμού του ευκαρυωτικού κυττάρου που αναφέραμε στο Κεφάλαιο 7). Τα πτηνά και τα θηλαστικά κατάγονται από έναν κοινό πρόγονο, αλλά αποτελούν τώρα ξεχωριστά κλαδιά του εξελικτικού δέντρου και δεν θα ξανασυναντηθούν ποτέ. Δεν θα υπάρξει ποτέ ένα υβρίδιο πτηνού και θηλαστικού. Μια ομάδα οργανισμών που έχουν όλοι αυτή την ιδιότητα, να κατάγονται από έναν κοινό πρόγονο, ο οποίος δεν είναι πρόγονος κανενός οργανισμού που δεν αποτελεί μέλος της ομάδας, ονομάζεται *κλάδος*.

Ένας άλλος τρόπος για να παρουσιάσουμε αυτή την ιδέα της αυστηρής ιεραρχίας είναι με βάση τον λεγόμενο «τέλειο εγκιβωτισμό». Γράφουμε τα ονόματα οποιουδήποτε συνόλου ζώων πάνω σε ένα μεγάλο κομμάτι χαρτί και ενώνουμε μέσα σε έναν κύκλο τα σύνολα που σχετίζονται μεταξύ τους. Για παράδειγμα, ο αρουραίος και ο ποντικός θα ενώνονται σε έναν μικρό κύκλο που δείχνει ότι είναι στενοί συγγενείς, με έναν πρόσφατο κοινό πρόγονο. Το ινδικό χοιρίδιο και το καπιβάρα θα είναι ενωμένα μεταξύ τους μέσα σε έναν άλλο μικρό κύκλο. Ο κύκλος αρουραίου/ποντικού και ο κύκλος ινδικού χοιριδίου/καπιβάρα θα ενώνονται κι αυτοί μεταξύ τους (αλλά και με τους κάστορες, τους ύστριχες, τους σκίουρους και πολλά άλλα ζώα) μέσα σε έναν μεγαλύτερο κύκλο, που θα έχει το δικό του όνομα, «τρωκτικά». Λέμε ότι οι εσωτερικοί κύκλοι «εγκιβωτίζονται» στους μεγαλύτερους, εξωτερικούς κύκλους. Σε κάποιο άλλο σημείο του χαρτιού, το λιοντάρι και η τίγρη θα ενώνονται μεταξύ τους μέσα σε έναν μικρό κύκλο. Αυτός ο κύκλος θα περιλαμβάνεται, μαζί με άλλους, σε έναν μεγαλύτερο κύκλο, που θα λέγεται «αιλουροειδή». Τα αιλουροειδή, οι κύνιδες, οι νυφίτσες, οι αρκούδες, κ.λπ., θα ενώνονται όλα μεταξύ τους, σε μια σειρά από κύκλους μέσα σε κύκλους, που

βρίσκονται μέσα σε έναν μεγαλύτερο κύκλο, με το όνομα «σαρκοφάγα». Ο κύκλος των τρωκτικών και ο κύκλος των σαρκοφάγων θα συμπεριλαμβάνονται σε μια σειρά μεγάλων κύκλων, που θα βρίσκονται μέσα σε έναν ακόμη μεγαλύτερο κύκλο, που θα έχει το όνομα «θηλαστικά».

Το σημαντικό στοιχείο αυτού του συστήματος των κύκλων μέσα σε κύκλους είναι ο *τέλειος εγκιβωτισμός*. Ποτέ, ούτε σε μία μοναδική περίπτωση, δεν θα βρούμε κύκλους που να τέμνουν ο ένας τον άλλο. Αν δύο κύκλοι αλληλεπικαλύπτονται, αυτό σημαίνει πάντοτε ότι ο ένας βρίσκεται ολόκληρος μέσα στον άλλο. Η περιοχή του εσωτερικού κύκλου περικλείεται πάντοτε ολόκληρη από τον εξωτερικό. Δεν υπάρχει ποτέ μερική αλληλεπικάλυψη. Αυτή η ιδιότητα του τέλειου ταξινομικού εγκιβωτισμού δεν υπάρχει στα βιβλία, στις γλώσσες, στις διάφορες μορφές εδάφους ή στις σχολές φιλοσοφικής σκέψης. Αν ένας βιβλιοθηκάριος σχηματίσει έναν κύκλο γύρω από τα βιβλία της βιολογίας και έναν άλλο κύκλο γύρω από τα βιβλία της θεολογίας, θα διαπιστώσει ότι οι δύο κύκλοι έχουν κάποια κοινή περιοχή. Στην κοινή περιοχή βρίσκονται τα βιβλία με τίτλους όπως «Βιολογία και χριστιανική πίστη».

Με την πρώτη ματιά, θα περιμέναμε ίσως ότι η ταξινόμηση των γλωσσών θα χαρακτηρίζεται από την ιδιότητα του τέλειου εγκιβωτισμού. Οι γλώσσες, όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 8, εξελίσσονται κατά τρόπο που μοιάζει με εκείνο των ζώων. Οι γλώσσες που έχουν αποκλίνει πρόσφατα από έναν κοινό πρόγονο, όπως τα σουηδικά, τα νορβηγικά και τα δανικά, μοιάζουν πολύ περισσότερο μεταξύ τους, παρά με γλώσσες που απέκλιναν παλιότερα, όπως τα ισλανδικά. Αλλά οι γλώσσες δεν αποκλίνουν μόνο· μπορεί επίσης να συγχωνευτούν. Τα σύγχρονα αγγλικά είναι ένα υβρίδιο που δημιουργήθηκε από τη διασταύρωση γερμανικών και ρομανικών γλωσσών οι οποίες είχαν αποκλίνει πολύ νωρίτερα. Έτσι, τα αγγλικά δεν θα ταίριαζαν σε κανένα ιεραρχικό διάγραμμα εγκιβωτισμού. Οι κύκλοι που περικλείουν τα αγγλικά θα έπρεπε να τέμνονται μεταξύ τους, να αλληλεπικαλύπτονται μόνο μερικώς. Οι βιολογικοί ταξινομικοί κύκλοι ποτέ δεν τέμνονται με αυτό τον τρόπο, γιατί η βιολογική εξέλιξη πάνω από το επίπεδο του είδους είναι πάντοτε αποκλίνουσα.

Επιστρέφοντας στο παράδειγμα της βιβλιοθήκης, κανένας βιβλιοθηκάριος δεν μπορεί να αποφύγει εντελώς το πρόβλημα των ενδιάμεσων περιπτώσεων ή των αλληλεπικαλύψεων. Είναι ανώφελο να τοποθετήσει τον τομέα της βιολογίας δίπλα στον τομέα της θεολογίας και τα βιβλία που ανήκουν και στις δύο κατηγορίες να τα τοποθετήσει στο διάδρομο ανάμεσά τους. Τι θα πρέπει να κάνει, σ' αυτή την περίπτωση, με τα βιβλία που ανήκουν ταυτόχρονα στη βιολογία και τη χημεία, στη φυσική και τη θεολογία, στην ιστορία και τη θεολογία, στην ιστορία και τη βιολογία; Πιστεύω ότι έχω δίκιο όταν λέω ότι το πρόβλημα των ενδιάμεσων περιπτώσεων είναι ένα αναπόφευκτο και εγγενές χαρακτηριστικό όλων των συστημάτων ταξινόμησης, αν εξαιρέσουμε εκείνο που βασίζεται στην εξελικτική βιολογία. Προσωπικά, το πρόβλημα αυτό μου προκαλεί εντονότατη δυσφορία όταν το αντιμετωπίζω στις δραστηριότητες αρχειοθέτησης που αναλαμβάνω στην επαγγελματική μου ζωή: πώς θα τοποθετήσω στα ράφια τα βιβλία μου και τα αντίτυπα των επιστημονικών ανακοινώσεων που μου στέλνουν οι συνάδελφοί μου (έχοντας, βέβαια, τις καλύτερες προθέσεις) πώς θα αρχειοθετήσω διάφορα διοικητικά έγγραφα, παλιές επιστολές, κ.λπ. Όποιες κατηγορίες κι αν υιοθετήσει κανείς για ένα σύστημα αρχειοθέτησης, υπάρχουν πάντοτε κάποια αντικείμενα που δεν ταιριάζουν πουθενά. Δυστυχώς, η ενοχλητική αναποφασιστικότητα με κάνει να αφήνω διάφορα χαρτιά και έγγραφα σε ένα τραπέζι, όπου μένουν μερικές φορές για χρόνια, μέχρι να διαπιστώσω ότι μπορώ πια να τα πετάξω. Συχνά αναγκάζεται κανείς να καταφύγει στην καθόλου ικανοποιητική λύση μιας κατηγορίας με τίτλο «Διάφορα». Είναι όμως μια κατηγορία η οποία, από τη στιγμή που θα δημιουργηθεί, έχει την απειλητική τάση να διογκώνεται ολοένα και περισσότερο. Μερικές φορές αναρωτιέμαι μήπως οι βιβλιοθηκάριοι και οι υπεύθυνοι όλων των μουσείων, εκτός των βιολογικών, έχουν μια ιδιαίτερη προδιάθεση για έλκος.

Αυτά τα προβλήματα δεν ανακύπτουν στην ταξινόμηση των έμβιων όντων. Δεν υπάρχουν ζώα που να κάνουν απαραίτητη την κατηγορία «Διάφορα». Εφόσον μένουμε πάνω από το επίπεδο του είδους και εφόσον εξετάζουμε μόνο σύγχρονα ζώα (ή ζώα που

τοποθετούνται σε οποιαδήποτε δεδομένη χρονική ζώνη, όπως θα δούμε παρακάτω), δεν υπάρχουν ενδιάμεσες περιπτώσεις που να μας μπερδεύουν. Αν ένα ζώο φαίνεται να αποτελεί μια τέτοια ενδιάμεση περίπτωση –λόγου χάρη, αν φαίνεται να αποτελεί μια περίπτωση μεταξύ θηλαστικού και πτηνού– ένας εξελικτιστής είναι βέβαιος ότι το ζώο αυτό *πρέπει* σαφώς να είναι ή το ένα ή το άλλο. Το γεγονός ότι μοιάζει με ενδιάμεση περίπτωση πρέπει να είναι ψευδαίσθηση. Ο άτυχος βιβλιοθηκάριος δεν μπορεί να έχει αυτή τη βεβαιότητα. Είναι απόλυτα δυνατό ένα βιβλίο να ανήκει ταυτόχρονα στο τμήμα της ιστορίας και στο τμήμα της βιολογίας. Οι κλαδιστές βιολόγοι δεν ασχολούνται ποτέ με τα επιχειρήματα των βιβλιοθηκάριων, σχετικά με το αν είναι «βολικό» να ταξινομήσουμε τις φάλαινες ως θηλαστικά ή ως ιχθύς, ή ως μια μορφή ανάμεσα στα θηλαστικά και στους ιχθύς. Το μοναδικό επιχείρημα που μπορεί να προβληθεί εδώ είναι αυτό που βασίζεται στην πραγματικότητα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, τα πραγματικά γεγονότα οδηγούν όλους τους σύγχρονους βιολόγους στο ίδιο συμπέρασμα. Οι φάλαινες είναι θηλαστικά και όχι ιχθύες, και δεν αποτελούν, ούτε στον παραμικρό βαθμό, ενδιάμεσες περιπτώσεις. Δεν βρίσκονται πιο κοντά στους ιχθύς απ' ό,τι ο άνθρωπος, ή ο ορνιθόρρυγχος, ή οποιοδήποτε άλλο θηλαστικό.

Πραγματικά, πρέπει να καταλάβουμε ότι όλα τα θηλαστικά –άνθρωποι, φάλαινες, ορνιθόρρυγχοι και όλα τα υπόλοιπα– απέχουν *ακριβώς εξίσου* από τους ιχθύς, αφού όλα τα θηλαστικά συνδέονται με τους ιχθύς μέσω του ίδιου κοινού προγόνου. Ο μύθος ότι τα θηλαστικά, για παράδειγμα, σχηματίζουν μια «κλίμακα», στην οποία τα «κατώτερα» είναι πιο κοντά στους ιχθύς απ' ό,τι τα «ανώτερα» είναι καθαρός σνομπισμός και δεν έχει καμία εξελικτική βάση. Είναι μια αρχαία, προεξελικτική αντίληψη, που μερικές φορές ονομαζόταν «η μεγάλη αλυσίδα των όντων». Κανονικά θα έπρεπε να έχει καταρριφθεί από την εξέλιξη, μυστηριωδώς όμως απορροφήθηκε και ενσωματώθηκε στον τρόπο με τον οποίο πολλοί αντιλαμβάνονται την εξέλιξη.

Σε αυτό το σημείο δεν μπορώ να μην αναφερθώ στην ειρωνεία της πρόκλησης που θέτουν πολλές φορές οι δημιουργιστές στους εξελικτιστές: «Δείτε μας τις ενδιάμεσες μορφές σας. Αν η εξέλι-

ξη ήταν αληθινή, θά 'πρεπε να υπάρχουν ζώα που να αποτελούν συνδυασμό γάτας και σκύλου, ή βατράχου και ελέφαντα. Αλλά έχει δει κανείς ποτέ βατραχοελέφαντα;» Μου έχουν στείλει φυλλάδια δημιουργιστών που προσπαθούν να γελοιοποιήσουν την εξέλιξη με σκίτσα αλλόκοτων πλασμάτων, όπως για παράδειγμα ενός σκύλου που έχει καπούλια αλόγου. Οι συγγραφείς αυτών των φυλλαδίων νομίζουν, φαίνεται, ότι οι εξελικτιστές πιστεύουν πως πρέπει να υπάρχουν τέτοια ενδιάμεσα ζώα. Αυτή η αντίληψη δεν χάνει απλώς την ουσία της εξέλιξης· αντιπροσωπεύει το άκρο αντίθετο αυτής της ουσίας. Μια από τις ισχυρότερες προσδοκίες της θεωρίας της εξέλιξης είναι ότι δεν πρέπει να υπάρχουν ενδιάμεσα ζώα κανενός είδους. Αυτό είναι το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από τη σύγκριση των ζώων με τα βιβλία μιας βιβλιοθήκης.

Η ταξινόμηση των εξελιγμένων έμβιων όντων, λοιπόν, έχει τη μοναδική ιδιότητα να οδηγεί σε τέλεια συμφωνία, εφόσον υπάρχουν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες. Αυτό εννοούσα όταν είπα ότι οι ισχυρισμοί της κλαδιστικής ταξινομικής μπορούν να χαρακτηριστούν με λέξεις όπως «σωστό» και «εσφαλμένο», κάτι όμως που δεν ισχύει για την ταξινόμηση των βιβλίων μιας βιβλιοθήκης. Εδώ πρέπει να κάνουμε δύο διευκρινίσεις. Πρώτον, ότι δεν διαθέτουμε όλες τις απαραίτητες πληροφορίες. Οι βιολόγοι μπορεί να διαφωνούν μεταξύ τους σχετικά με τους προγόνους ενός είδους και να είναι δύσκολο να διαπιστωθεί ποια πλευρά έχει δίκιο, λόγω έλλειψης πληροφοριών –για παράδειγμα, μπορεί να μην υπάρχουν αρκετά απολιθώματα. Θα επανέλθουμε αργότερα σ' αυτό το θέμα. Δεύτερον, ένα διαφορετικό πρόβλημα δημιουργείται όταν έχουμε πάρα πολλά απολιθώματα. Οι σαφείς διαχωρισμοί στην ταξινόμηση μπορεί να χαθούν αν προσπαθήσουμε να συμπεριλάβουμε σ' αυτήν όλα τα ζώα που έζησαν ποτέ, αντί να ταξινομήσουμε μόνο τα σύγχρονα ζώα. Αυτό συμβαίνει επειδή, όσο διαφορετικά κι αν είναι μεταξύ τους δυο σύγχρονα ζώα –ας πούμε, ένα πτηνό και ένα θηλαστικό– πριν από πολύ καιρό είχαν έναν κοινό πρόγονο. Αν θελήσουμε να συμπεριλάβουμε αυτό τον πρόγονο στη σύγχρονη ταξινόμησή μας, μπορεί να έχουμε προβλήματα.



Από τη στιγμή που θα αρχίσουμε να εξετάζουμε και ζώα που έχουν εξαφανιστεί, δεν ισχύει πια το ότι δεν υπάρχουν ενδιάμεσες μορφές. Αντίθετα, τώρα έχουμε να κάνουμε με μια δυναμικά συνεχή σειρά από ενδιάμεσες μορφές. Η διάκριση ανάμεσα στα σύγχρονα πτηνά και στα σύγχρονα μη πτηνά, όπως τα θηλαστικά, είναι σαφής απλώς και μόνο επειδή οι ενδιάμεσες μορφές που συγκλίνουν προς τα πίσω, προς τον κοινό πρόγονο, έχουν εξαφανιστεί. Για να προβάσουμε σαφέστερα αυτό το ζήτημα, ας φανταστούμε πάλι μια υποθετικά «καλή» φύση που μας δίνει ένα πλήρες αρχείο απολιθωμάτων, το οποίο περιλαμβάνει όλα τα ζώα που έζησαν ποτέ. Όταν αναφέρθηκα στην ίδια φανταστική περίπτωση στο προηγούμενο κεφάλαιο, είπα ότι από μια άποψη η φύση θα ήταν μάλλον «κακή». Μιλούσα για τον κόπο που θα χρειαζόταν για να μελετηθούν και να περιγραφούν όλα τα απολιθώματα, τώρα όμως ερχόμαστε σε μια άλλη πλευρά αυτής της παράδοξης «κακίας». Ένα πλήρες αρχείο απολιθωμάτων θα είχε ως αποτέλεσμα να δυσκολευτούμε πολύ στην ταξινόμηση των ζώων σε διακριτές κατονομάσιμες ομάδες. Αν διαθέταμε ένα πλήρες αρχείο απολιθωμάτων, θα έπρεπε να εγκαταλείψουμε τα ξεχωριστά ονόματα και να καταφύγουμε σε κάποιο μαθηματικό ή γραφηματικό σύστημα ονοματολογίας με ολισθαίνουσες κλίμακες. Η ανθρώπινη νόηση προτιμά τα ξεχωριστά ονόματα· έτσι, κατά μία έννοια είναι καλύτερα που το αρχείο των απολιθωμάτων είναι τόσο φτωχό.

Αν εξετάσουμε όλα τα ζώα που έζησαν ποτέ, αντί να περιοριστούμε μόνο στα σύγχρονα ζώα, λέξεις όπως «άνθρωπος» και «πτηνό» γίνονται τόσο θολές και ασαφείς στα όριά τους όσο και οι λέξεις «ψηλός» ή «χοντρός». Οι ζωολόγοι μπορεί να διαφωνούν για το αν ένα συγκεκριμένο απολίθωμα είναι πτηνό ή όχι, χωρίς να έχουν κάποιον τρόπο για να επιλύσουν τη διαφωνία. Και πραγματικά, συχνά διαφωνούν σ' αυτό ακριβώς το σημείο σχετικά με το περίφημο απολίθωμα του *αρχαιοπτέρυγα*. Τελικά αποδεικνύεται ότι αν η διάκριση «πτηνό/μη πτηνό» είναι σαφέστερη από τη διάκριση «ψηλός/κοντός», αυτό συμβαίνει απλώς και μόνο επειδή στην περίπτωση πτηνό/μη πτηνό όλες οι ενδιάμεσες μορφές που θα μας δυσκόλευαν έχουν εξαφανιστεί. Αν μια

αλλόκοτα επιλεκτική επιδημία σκότωνε όλους τους ανθρώπους με ενδιάμεσο ύψος, οι λέξεις «ψηλός» και «κοντός» θα αποκτούσαν ένα τόσο ακριβές νόημα όσο έχουν οι λέξεις «πτηνό» και «θηλαστικό».

Ωστόσο, το βολικό γεγονός ότι οι περισσότερες ενδιάμεσες μορφές έχουν εξαφανιστεί δεν σώζει μόνο τη ζωολογική ταξινόμηση· σώζει και την ανθρώπινη ηθική και το νόμο. Το νομικό και ηθικό μας σύστημα είναι άκρως ανθρωποκεντρικό. Ο διευθυντής ενός ζωολογικού κήπου έχει το νόμιμο δικαίωμα να σκοτώσει ένα χιμπαντζή αν «περισεύει» σε σχέση με τις ανάγκες του κήπου, ενώ οποιαδήποτε πρόταση να σκοτώσει έναν περιττό φύλακα ή έναν ταμιά θα προκαλούσε ουρλιαχτά άγριας μανίας. Ο χιμπαντζής είναι ιδιοκτησία του ζωολογικού κήπου. Οι άνθρωποι στην εποχή μας δεν αποτελούν ιδιοκτησία κανενός, αλλά το σκεπτικό γι' αυτή τη διάκριση σε βάρος των χιμπαντζήδων σπάνια διατυπώνεται ξεκάθαρα, και αμφιβάλλω αν υπάρχει κανένα υπερασπίσιμο σκεπτικό. Τόσο μεγάλη είναι η αντίληψη ανωτερότητας των χριστιανικών μας απόψεων, ώστε η έκτρωση ενός ανθρώπινου ζυγωτού (έτσι κι αλλιώς, τα περισσότερα ζυγωτά είναι καταδικασμένα να αποβληθούν από μόνα τους) μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερη ανησυχία και αγανάκτηση απ' ό,τι η ζωοτομία πολλών ευφυών ενήλικων χιμπαντζήδων! Έχω ακούσει αξιοπρεπείς, προοδευτικούς επιστήμονες που δεν είχαν καμία πρόθεση να κάνουν ανατομία σε ζωντανούς χιμπαντζήδες, να υπερασπίζονται με πάθος το δικαίωμά τους να προβούν σε μια τέτοια πράξη αν θέλουν, χωρίς επεμβάσεις από το νόμο. Αυτοί οι άνθρωποι είναι συχνά οι πρώτοι που ξεσηκώνονται με την παραμικρή καταπάτηση των *ανθρωπίνων* δικαιωμάτων. Ο μόνος λόγος για τον οποίο δεν μας ενοχλεί αυτό το διπλό κριτήριο είναι ότι οι μορφές ανάμεσα στους ανθρώπους και στους χιμπαντζήδες έχουν εξαφανιστεί.

Ο τελευταίος κοινός πρόγονος των ανθρώπων και των χιμπαντζήδων έζησε ίσως πριν από πέντε εκατομμύρια χρόνια, οπωσδήποτε πιο πρόσφατα από τον κοινό πρόγονο των χιμπαντζήδων και των ουραγκοτάγκων, και ίσως 30 εκατομμύρια χρόνια πιο πρόσφατα από τον κοινό πρόγονο των χιμπαντζήδων και των

μαϊμούδων. Οι χιμπαντζήδες και οι άνθρωποι έχουν κοινό περισσότερο από το 99% των γονιδίων τους. Αν ξαφνικά ανακαλύπτονταν σε διάφορα ξεχασμένα νησιά όλες οι ενδιάμεσες μορφές μέχρι και τον κοινό πρόγονο των χιμπαντζήδων και των ανθρώπων, ποιος αμφιβάλλει ότι θα επηρεάζονταν καταλυτικά οι νόμοι και οι ηθικές συμβάσεις μας, ιδιαίτερα εφόσον θα ήταν πιθανό να υπάρξουν διασταυρώσεις κατά μήκος του φάσματος; Είτε θα έπρεπε να δοθούν πλήρη ανθρώπινα δικαιώματα σε όλο το φάσμα (ψήφο στους χιμπαντζήδες), είτε θα έπρεπε να δημιουργηθεί ένα πολύπλοκο σύστημα νομοθετημένων διακρίσεων όπως εκείνο του απαρτχάιντ, όπου τα δικαστήρια θα αποφάσιζαν αν κάποια συγκεκριμένα άτομα είναι νομικά «χιμπαντζήδες» ή «άνθρωποι»; μάλιστα, πολλοί θα αναστατώνονταν αν η κόρη τους ήθελε να παντρευτεί έναν από «αυτούς». Βέβαια, ο κόσμος έχει εξερευνηθεί πια τόσο καλά, ώστε θα ήταν υπερβολικό να ελπίζουμε πως θα πραγματοποιηθεί ποτέ αυτή η σωφρονιστική φαντασίωση. Ωστόσο, όποιος νομίζει πως τα ανθρώπινα «δικαιώματα» είναι κάτι το προφανές και αυτονόητο, θα πρέπει να σκεφτεί ότι είναι εντελώς τυχαίο που δεν έχουν επιζήσει αυτές οι ενδιάμεσες μορφές οι οποίες θα μας έφερναν σε πολύ δύσκολη θέση. Ή, θα μπορούσαμε να φανταστούμε μια κατάσταση στην οποία οι χιμπαντζήδες δεν θα είχαν ανακαλυφθεί μέχρι και σήμερα, οπότε θα γίνονταν αυτοί η ενδιάμεση μορφή που θα μας έφερνε σε αμηχανία.

Ο αναγνώστης, ενθουσιώμενος ίσως όσα είπαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, μπορεί να παρατηρήσει πως όλο αυτό το επιχείρημα, ότι οι κατηγορίες αρχίζουν να συγχέονται αν δεν περιοριστούμε στη μελέτη των σύγχρονων ζώων, στηρίζεται στην παραδοχή ότι η εξέλιξη προχωρεί με σταθερή ταχύτητα αντί να γίνεται κατά διακεκομμένο τρόπο. Όσο περισσότερο η άποψή μας για την εξέλιξη πλησιάζει στην ακραία περίπτωση της ομαλής, συνεχούς αλλαγής, τόσο πιο απαισιόδοξοι θα είμαστε σχετικά με την ίδια τη δυνατότητά μας να χρησιμοποιούμε λέξεις όπως πτηνό και μη πτηνό, άνθρωπος και μη άνθρωπος, για όλα τα ζώα που έχουν ζήσει ποτέ. Ένας ακραίος αλματιστής μπορεί να πιστέψει ότι υπήρξε πραγματικά ένας πρώτος άνθρωπος, με μεταλλαγμένο εγκέφαλο που ήταν διπλάσιος σε μέγεθος από τον εγκέφαλο του

πατέρα του και τον εγκέφαλο των αδελφών του, οι οποίοι θα έμοιαζαν ακόμη με χιμπαντζήδες.

Όπως είδαμε, οι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας δεν είναι στο μεγαλύτερο μέρος τους γνήσιοι αλματιστές. Εντούτοις, γι' αυτούς το πρόβλημα της ασάφειας των ονομάτων είναι αναγκαστικά λιγότερο σοβαρό απ' ό,τι για τους βιολόγους που υποστηρίζουν τη συνέχεια στην εξέλιξη. Το πρόβλημα των ονομάτων θα προέκυπτε ακόμη και για τους οπαδούς της εστιγμένης ισορροπίας, αν όλα τα ζώα που έζησαν ποτέ είχαν διατηρηθεί σε απολιθώματα, γιατί οι τελευταίοι είναι στην πραγματικότητα οπαδοί της θεωρίας των βαθμιαίων αλλαγών, όταν αναφερόμαστε στο επίπεδο της λεπτομέρειας. Ωστόσο, θεωρούμε ότι είναι ιδιαίτερα άπιθανο να βρούμε απολιθώματα που αποδεικνύουν την ύπαρξη συντομων διαστημάτων γρήγορης αλλαγής, ενώ είναι ιδιαίτερα πιθανό να βρούμε απολιθώματα που αποκαλύπτουν τις μεγάλες περιόδους στάσης. Επομένως, το «πρόβλημα των ονομάτων» θα είναι λιγότερο σοβαρό για μια ερμηνεία της εξέλιξης που θα είναι σύμφωνη με τη θεωρία της εστιγμένης ισορροπίας.

Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο οι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας, και ιδιαίτερα ο Niles Eldredge, αντιμετωπίζουν το «είδος» σαν μια πραγματική «οντότητα». Για όποιον δεν είναι οπαδός της εστιγμένης ισορροπίας, το «είδος» μπορεί να οριστεί απλώς και μόνο επειδή έχουν εξαφανιστεί οι ενδιάμεσες μορφές που θα δημιουργούσαν σύγχυση. Ένας ακραίος αντίπαλος της εστιγμένης ισορροπίας, εξετάζοντας σε μακροπρόθεσμη βάση ολόκληρη την εξελικτική ιστορία, δεν μπορεί να θεωρήσει το «είδος» ως μια διακριτή οντότητα. Μπορεί να δει μόνο ένα συνεχές με βαθμιαίες αλλαγές. Κατά την άποψή του, ένα είδος δεν έχει ποτέ μια σαφώς καθορισμένη αρχή και μόνο μερικές φορές έχει ένα σαφώς καθορισμένο τέλος (εξαφάνιση). Συχνά ένα είδος δεν εξαφανίζεται τελεσίδικα, αλλά μετατρέπεται σταδιακά σε ένα νέο είδος. Ο οπαδός της εστιγμένης ισορροπίας, από την άλλη πλευρά, θεωρεί ότι ένα είδος εμφανίζεται σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. (Για την ακρίβεια, υπάρχει μια μεταβατική περίοδος που διαρκεί δεκάδες χιλιάδες χρόνια, αλλά αυτό το διάστημα είναι μικρό για τα γεωλογικά κριτήρια.) Επιπλέον, θεωρεί ότι το είδος

έχει ένα τέλος που είναι σαφές, ή τουλάχιστον επέρχεται με γρήγορο ρυθμό, αντί να δέχεται μια βαθμιαία μετατροπή του σε ένα νέο είδος. Αφού το μεγαλύτερο μέρος της ζωής ενός είδους, κατά την άποψη των οπαδών της εστιγμένης ισορροπίας, καλύπτεται από μια κατάσταση αμετάβλητης στάσης, και αφού η αρχή και το τέλος του είναι σαφή, συνεπάγεται ότι, για τον οπαδό της εστιγμένης ισορροπίας, ένα είδος έχει ένα καθορισμένο, μετρήσιμο «εύρος ζωής». Όποιος δεν είναι οπαδός της εστιγμένης ισορροπίας θεωρεί ότι το είδος δεν έχει συγκεκριμένο εύρος ζωής, όπως ο μεμονωμένος οργανισμός. Ο ακραίος οπαδός της εστιγμένης ισορροπίας θεωρεί το «είδος» ως μια διακριτή οντότητα που δικαιωματικά πρέπει να έχει το δικό της όνομα. Ο ακραίος αντίπαλος της εστιγμένης ισορροπίας θεωρεί το «είδος» ως ένα αυθαίρετα καθορισμένο τμήμα ενός ποταμού που ρέει συνεχώς, και πιστεύει ότι δεν υπάρχει κανένας συγκεκριμένος λόγος να χαράξουμε γραμμές που να προσδιορίζουν την αρχή και το τέλος του.

Αν ένας οπαδός της εστιγμένης ισορροπίας έγραφε ένα βιβλίο για την ιστορία μιας ομάδας ζώων, λόγω χάρη την ιστορία των ιπιδών κατά τα τελευταία 30 εκατομμύρια χρόνια, οι χαρακτήρες του δράματος μπορεί να είναι όλοι είδη και όχι μεμονωμένοι οργανισμοί, γιατί ο συγγραφέας θεωρεί τα είδη υπαρκτά «πράγματα» με δική τους διακριτή ταυτότητα. Διάφορα είδη θα εμφανίζονται ξαφνικά στη σκηνή και εξίσου ξαφνικά θα εξαφανίζονται, για να αντικατασταθούν από διάδοχα είδη. Θα είναι μια ιστορία διαδοχών, καθώς το ένα είδος θα παραχωρεί τη θέση του στο άλλο. Αλλά αν γράψει την ίδια ιστορία ένας αντίπαλος της εστιγμένης ισορροπίας, θα χρησιμοποιήσει ονόματα ειδών κατά αόριστο τρόπο και μόνο για ευκολία. Όταν βλέπει την εξέλιξη διαχρονικά, παύει να θεωρεί τα είδη ως διακριτές οντότητες. Οι πρωταγωνιστές του δράματος, έτσι όπως το περιγράφει, θα είναι μεμονωμένοι οργανισμοί που ανήκουν σε μεταβαλλόμενους πληθυσμούς. Στο βιβλίο του θα υπάρχουν μεμονωμένα ζώα που παραχωρούν τη θέση τους σε επίσης μεμονωμένα ζώα, τους απογόνους τους, και όχι είδη που παραχωρούν τη θέση τους σε είδη. Δεν είναι παράξενο, λοιπόν, που οι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας

ας τείνουν να πιστεύουν σε ένα είδος φυσικής επιλογής στο επίπεδο του είδους, την οποία θεωρούν ανάλογη με τη δαρβινική επιλογή στο συνηθισμένο ατομικό επίπεδο. Όσοι δεν είναι οπαδοί της εστιγμένης ισορροπίας, από την άλλη πλευρά, συνήθως βλέπουν τη φυσική επιλογή να λειτουργεί σε ένα επίπεδο που δεν βρίσκεται πάνω από εκείνο του μεμονωμένου οργανισμού. Η ιδέα της «επιλογής ειδών» είναι λιγότερο ελκυστική γι' αυτούς, γιατί δεν θεωρούν τα είδη ως οντότητες με διακριτή ύπαρξη στη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου.

Εδώ είναι το κατάλληλο σημείο για να αναφερθούμε στην υπόθεση της επιλογής ειδών, της οποίας την εξέταση έχουμε αναβάλει από το προηγούμενο κεφάλαιο. Δεν θα της αφιερώσω πολύ χώρο, γιατί έχω εκφράσει ήδη σε προηγούμενο βιβλίο μου, στον *Εκτεταμένο φαινότυπο*, τις αμφιβολίες μου σχετικά με την υποτιθέμενη σπουδαιότητά της για την εξέλιξη. Είναι αλήθεια ότι η συντριπτική πλειοψηφία των ειδών που έζησαν ποτέ έχουν εξαφανιστεί. Είναι επίσης αλήθεια ότι νέα είδη εμφανίζονται με ρυθμό που τουλάχιστον εξισορροπεί το ρυθμό εξαφάνισης, έτσι ώστε να υπάρχει κατά κάποιον τρόπο μια «δεξαμενή ειδών», η σύνθεση της οποίας αλλάζει συνεχώς. Η μη τυχαία εισαγωγή των ειδών στη δεξαμενή και η μη τυχαία αφαίρεση ειδών από αυτήν θα μπορούσε, θεωρητικά, να αποτελέσει μια μορφή φυσικής επιλογής σε ανώτερο επίπεδο. Μπορεί ορισμένα χαρακτηριστικά των ειδών να επηρεάζουν την πιθανότητα που έχουν να εξαφανιστούν ή να παραγάγουν νέα είδη. Τα είδη που βλέπουμε σήμερα στον κόσμο θα τείνουν να έχουν τις προϋποθέσεις που είναι απαραίτητες για να εμφανιστούν αρχικά –για να προκύψουν με ειδογένεση– και τις προϋποθέσεις που είναι απαραίτητες για να μην εξαφανιστούν. Μπορεί κανείς να θεωρήσει, αν θέλει, ότι αυτή η διαδικασία είναι μια μορφή φυσικής επιλογής, αν και υποψιάζομαι ότι πλησιάζει περισσότερο στην επιλογή ενός βήματος παρά στη συσσωρευτική επιλογή. Αυτό που αντιμετωπίζω με σκεπτικισμό είναι ο ισχυρισμός ότι η εν λόγω επιλογή διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στην εξήγηση της εξέλιξης.

Πάντως, αυτή η θέση μπορεί να αντανakλά τη δική μου μεροληπτική άποψη για το τι είναι σημαντικό. Όπως είπα στην αρχή



του κεφαλαίου, εκείνο που θέλω κυρίως από μια θεωρία της εξέλιξης είναι να εξηγήει το σχηματισμό πολύπλοκων, καλοσχεδιασμένων μηχανισμών, όπως η καρδιά, τα χέρια, τα μάτια και ο ηχοεντοπισμός. Κανείς, ούτε καν ο πιο ένθερμος υποστηρικτής της επιλογής ειδών, δεν πιστεύει ότι αυτή μπορεί να εξυπηρετήσει τον παραπάνω σκοπό. Μερικοί πιστεύουν ότι μπορεί να εξηγήσει ορισμένες μακροπρόθεσμες τάσεις που παρατηρούνται στο αρχείο των απολιθωμάτων, όπως η συχνά επισημαινόμενη τάση προς αύξηση του μεγέθους των σωμάτων με το πέρασμα του χρόνου. Τα σύγχρονα άλογα, όπως έχουμε δει, είναι μεγαλύτερα από τους προγόνους τους που ζούσαν πριν από 30 εκατομμύρια χρόνια. Οι οπαδοί της επιλογής ειδών αντιτίθενται στην εξήγηση ότι αυτό συνέβη εξαιτίας του σταθερού πλεονεκτήματος που παρείχε το μεγαλύτερο σώμα σε μεμονωμένα ζώα. Δεν θεωρούν ότι αυτή η τάση του αρχείου των απολιθωμάτων δείχνει πως τα μεγάλα άλογα ήταν σταθερά πιο επιτυχημένα από τα μικρά άλογα μέσα στο είδος. Πιστεύουν, αντίθετα, ότι συνέβη το εξής: υπήρχαν πολλά είδη, μια δεξαμενή ειδών· σε μερικά από αυτά, το μέσο μέγεθος του σώματος ήταν μεγάλο, σε άλλα ήταν μικρό (ίσως επειδή σε μερικά είδη τα κατάφερναν καλύτερα τα μεγαλόσωμα ζώα, ενώ σε άλλα είδη τα κατάφερναν καλύτερα τα μικρόσωμα ζώα)· τα είδη με μεγάλο σώμα είχαν λιγότερες πιθανότητες να εξαφανιστούν (ή είχαν περισσότερες πιθανότητες να παραγάγουν νέα είδη που να τους μοιάζουν) απ' ό,τι τα είδη με το μικρό μέγεθος. Σύμφωνα με τον οπαδό της επιλογής ειδών, ό,τι κι αν συνέβαινε μέσα στα είδη, η τάση των απολιθωμάτων προς μεγαλύτερο μέγεθος σώματος οφείλεται σε μια σειρά από διαδοχικά είδη με προοδευτικά μεγαλύτερο μέσο μέγεθος σώματος. Μπορεί ακόμη στην πλειοψηφία των ειδών να ευνοούνταν τα πιο μικρόσωμα μεμονωμένα ζώα, αλλά το αρχείο απολιθωμάτων να δείχνει και πάλι μια τάση προς μεγαλύτερο μέγεθος σώματος. Με άλλα λόγια, η επιλογή ειδών μπορεί να ευνοεί εκείνη τη μειοψηφία ειδών στην οποία ευνοούνταν τα μεγαλύτερα ζώα. Το ίδιο ακριβώς είχε υποστηρίξει ο μεγάλος νεοδαρβινιστής θεωρητικός George C. Williams, ομολογουμένως με ένα πνεύμα δικηγόρου του διαβόλου, πολύ πριν προταθεί η σύγχρονη θεωρία της επιλογής ειδών.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι εδώ, αλλά και σε όλα ίσως τα υποτιθέμενα παραδείγματα επιλογής ειδών, έχουμε όχι τόσο μια εξελικτική τάση, αλλά περισσότερο μια τάση *διαδοχής*. Παρόμοια θα μπορούσε να θεωρηθεί η τάση προς ολοένα και μεγαλύτερα φυτά, καθώς μια έκταση εδάφους «αποικίζεται» διαδοχικά από μικρά αγριόχορτα, μεγαλύτερες πόες, θάμνους και, τελικά, από τα ώριμα δέντρα του δάσους, τα οποία αποτελούν και την κορύφωση της διαδικασίας. Όπως κι αν έχει το πράγμα, είτε θεωρήσουμε ότι πρόκειται για εξελικτική τάση είτε για τάση διαδοχής, μπορεί κάλλιστα να είναι σωστή η πεποίθηση των οπαδών της επιλογής ειδών ότι συναντούν συχνά αυτή την τάση όταν, ως παλαιοντολόγοι, εξετάζουν τα διαδοχικά στρώματα του αρχείου των απολιθωμάτων. Εντούτοις, όπως είπα, κανείς δεν υποστηρίζει ότι η επιλογή ειδών αποτελεί μια σημαντική εξήγηση για την εξέλιξη πολύπλοκων προσαρμογών. Και νά γιατί.

Οι πολύπλοκες προσαρμογές είναι στις περισσότερες περιπτώσεις όχι ιδιότητες των ειδών αλλά ιδιότητες των ατόμων, δηλαδή των μεμονωμένων οργανισμών. Τα είδη δεν έχουν μάτια και καρδιές· τα άτομα έχουν. Αν ένα είδος εξαφανιστεί επειδή έχει κακή όραση, αυτό σημαίνει ότι όλα τα άτομα αυτού του είδους πέθαναν εξαιτίας της κακής τους όρασης. Η ποιότητα της όρασης είναι μια ιδιότητα των μεμονωμένων ζώων. Τι χαρακτηριστικά μπορούμε να πούμε ότι διαθέτουν τα *είδη*; Η απάντηση πρέπει να είναι ότι τα είδη διαθέτουν χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την επιβίωση και την αναπαραγωγή του είδους κατά τρόπους που δεν μπορούν να αναχθούν στο άθροισμα των επιδράσεων τους στην επιβίωση και την αναπαραγωγή των ατόμων. Στο υποθετικό παράδειγμα των αλόγων, είπα ότι η μειοψηφία των ειδών στα οποία ευνοούνταν τα πιο μεγαλόσωμα ζώα είχε λιγότερες πιθανότητες να εξαφανιστεί απ' ό,τι η πλειοψηφία των ειδών στα οποία ευνοούνταν τα πιο μικρόσωμα ζώα. Αλλά αυτή η θέση δεν είναι καθόλου πειστική. Είναι δύσκολο να βρούμε κάποιους λόγους για τους οποίους η ικανότητα επιβίωσης του είδους πρέπει να αποδεδμευτεί από το άθροισμα των ικανοτήτων επιβίωσης των ατόμων του είδους.

Ένα καλύτερο παράδειγμα χαρακτηριστικού στο επίπεδο του

είδους είναι η ακόλουθη υποθετική περίπτωση. Ας υποθέσουμε ότι σε κάποιο είδος όλα τα άτομα ζουν με τον ίδιο τρόπο. Όλα τα κοάλα, λόγου χάρη, ζουν πάνω σε ευκαλύπτους και τρέφονται μόνο με φύλλα ευκαλύπτου. Αυτά τα είδη μπορούν να ονομαστούν ομοιόμορφα. Άλλα είδη μπορεί να περιλαμβάνουν άτομα που ζουν με διαφορετικούς τρόπους. Κάθε άτομο μπορεί να είναι εξειδικευμένο όπως ένα κοάλα, αλλά το είδος στο σύνολό του περιλαμβάνει μια ποικιλία συνηθειών διατροφής. Μερικά μέλη του είδους τράνε μόνο φύλλα ευκαλύπτου, άλλα μόνο σιτάρι, άλλα μόνο φλούδα γλυκοζέμονων, κ.λπ. Ας ονομάσουμε αυτό το δεύτερο είδος ποικιλόμορφο. Τώρα είναι εύκολο, νομίζω, να φανταστούμε περιπτώσεις στις οποίες ένα ομοιόμορφο είδος, παρά ένα ποικιλόμορφο, θα είχε περισσότερες πιθανότητες να εξαφανιστεί. Τα κοάλα ζουν αποκλειστικά και μόνο από τους ευκαλύπτους, και μια σοβαρή επιδημία των ευκαλύπτων θα τα εξαφάνιζε. Στο ποικιλόμορφο είδος, από την άλλη πλευρά, θα βρίσκονταν πάντοτε μερικά μέλη που θα επιζούσαν από οποιαδήποτε επιδημία των φυτών διατροφής, με αποτέλεσμα να διατηρείται η ύπαρξή του. Είναι επίσης εύκολο να δεχτούμε ότι το ποικιλόμορφο είδος, και όχι το ομοιόμορφο, έχει περισσότερες πιθανότητες να παραγάγει νέα, θυγατρικά είδη. Αυτά ίσως θα ήταν παραδείγματα γνήσιας επιλογής στο επίπεδο του είδους. Αντίθετα από την κακή όραση ή τα μακριά πόδια, η «ομοιομορφία» και η «ποικιλομορφία» αποτελούν γνήσια χαρακτηριστικά που αναφέρονται στο επίπεδο του είδους. Το πρόβλημα είναι ότι τα παραδείγματα τέτοιων χαρακτηριστικών είναι σπάνια.

Υπάρχει μια ενδιαφέρουσα θεωρία του αμερικανού εξελικτιστή Egbert Leigh που μπορεί να ερμηνευτεί ως πιθανό υποψήφιο παράδειγμα πραγματικής επιλογής στο επίπεδο του είδους, αν και είχε προταθεί πολύ πριν γίνει του συρμού η φράση «επιλογή ειδών». Ο Leigh ενδιαφερόταν για εκείνο το αιώνιο πρόβλημα, την εξέλιξη της «αλτρουιστικής» συμπεριφοράς στα άτομα. Αναγνώρισε σωστά ότι αν τα συμφέροντα του ατόμου συγκρούονται με εκείνα του είδους, πρέπει να επικρατήσουν τα συμφέροντα του ατόμου – τα βραχυπρόθεσμα συμφέροντα. Τίποτε δεν μπορεί να εμποδίσει την προέλαση των εγωιστικών γονιδίων. Αλλά ο Leigh

πρότεινε την εξής ενδιαφέρουσα υπόθεση: πρέπει να υπάρχουν κάποιες ομάδες ή είδη όπου αυτό που είναι καλό για το άτομο τυχαίνει να συμπίπτει σε μεγάλο βαθμό με αυτό που είναι καλό για το είδος. Επίσης, πρέπει να υπάρχουν άλλα είδη στα οποία τα συμφέροντα του ατόμου τυχαίνει να διαφέρουν σε ιδιαίτερα μεγάλο βαθμό από τα συμφέροντα του είδους. Εφόσον όλοι οι υπόλοιποι παράγοντες είναι ίδιοι, τα είδη του δεύτερου τύπου μπορεί κάλλιστα να έχουν περισσότερες πιθανότητες εξαφάνισης. Έτσι, μια μορφή επιλογής ειδών μπορεί να ευνοεί όχι την ατομική αυτοθυσία, αλλά εκείνα τα είδη στα οποία δεν απαιτείται από τα άτομα να θυσιάσουν τη δική τους ευημερία. Τότε θα μπορούσαμε προφανώς να δούμε να εξελίσσεται μια φαινομενικά ανιδιοτελής ατομική συμπεριφορά, γιατί η επιλογή ειδών έχει ευνοήσει εκείνα τα είδη στα οποία το ατομικό συμφέρον εξυπηρετείται καλύτερα από τον φαινομενικό αλτρουισμό.

Το πιο εντυπωσιακό ίσως παράδειγμα ενός χαρακτηριστικού που εμπίπτει σαφώς στο επίπεδο του είδους αφορά τον τρόπο αναπαραγωγής, αμφιγονικό ή μονογονικό. Για λόγους που δεν έχω το χώρο να αναλύσω, η ύπαρξη της αμφιγονικής αναπαραγωγής θέτει ένα μεγάλο θεωρητικό πρόβλημα για τους δαρβινιστές. Πριν από πολλά χρόνια ο R.A. Fisher, που συνήθως αντιδρούσε σε οποιαδήποτε ιδέα επιλογής σε επίπεδα πάνω από εκείνο του μεμονωμένου οργανισμού, ήταν διατεθειμένος να κάνει μια εξαίρεση για την ειδική περίπτωση της αμφιγονικής αναπαραγωγής. Τα είδη που αναπαράγονται αμφιγονικά, υποστήριζε, για λόγους που και πάλι δεν θα αναλύσω (δεν είναι τόσο εμφανείς όσο θα νόμιζε ίσως κανείς), μπορούν να εξελιχθούν πιο γρήγορα από τα είδη που αναπαράγονται μονογονικά. Η εξέλιξη είναι κάτι που συμβαίνει στα είδη, όχι στους μεμονωμένους οργανισμούς. Δεν μπορούμε να πούμε ότι ένα συγκεκριμένο ζώο εξελίσσεται. Ο Fisher υποστήριζε, λοιπόν, ότι η επιλογή στο επίπεδο του είδους είναι εν μέρει υπεύθυνη για το γεγονός ότι η αμφιγονική αναπαραγωγή είναι τόσο διαδεδομένη ανάμεσα στα σύγχρονα ζώα. Αν είναι έτσι, όμως, έχουμε να κάνουμε με μια περίπτωση επιλογής ενός θήματος και όχι με συσσωρευτική επιλογή.

Τα μονογονικά είδη τείνουν, σύμφωνα με το επιχείρημα, να εξαφανιστούν, γιατί δεν εξελίσσονται αρκετά γρήγορα ώστε να προλαβαίνουν τις μεταβολές του περιβάλλοντος. Τα αμφιγονικά είδη τείνουν να μην εξαφανίζονται, γιατί μπορούν να εξελιχθούν αρκετά γρήγορα ώστε να προλαβαίνουν το περιβάλλον. Γι' αυτό τα είδη που βλέπουμε γύρω μας είναι κυρίως αμφιγονικά. Ωστόσο, η «εξέλιξη» της οποίας ο ρυθμός διαφέρει από το ένα σύστημα αναπαραγωγής στο άλλο είναι, φυσικά, συνηθισμένη δαρβινική εξέλιξη μέσω συσσωρευτικής επιλογής στο ατομικό επίπεδο. Η επιλογή ειδών, στο βαθμό που υπάρχει, είναι απλή επιλογή ενός θήματος, μια επιλογή ανάμεσα σε δύο μόνο χαρακτηριστικά, μονογονική ή αμφιγονική αναπαραγωγή, αργή ή γρήγορη εξέλιξη. Ο μηχανισμός της αναπαραγωγής, τα γεννητικά όργανα, η γενετήσια συμπεριφορά, οι μηχανισμοί της κυτταρικής διαίρεσης, όλα αυτά πρέπει να έχουν διαμορφωθεί με τη συνηθισμένη δαρβινική συσσωρευτική επιλογή χαμηλού επιπέδου και όχι από επιλογή στο επίπεδο του είδους. Όπως κι αν έχει το πράγμα, η πλειοψηφία των σύγχρονων βιολόγων απορρίπτει την παλιά θεωρία σύμφωνα με την οποία η αμφιγονική αναπαραγωγή διατηρείται από μια μορφή επιλογής σε επίπεδο ομάδας ή είδους.

Για να κλείσουμε τη συζήτησή μας σχετικά με την επιλογή ειδών, πρέπει να πούμε ότι αυτή θα μπορούσε να εξηγήσει τη διάταξη των ειδών που υπάρχουν στον κόσμο κάθε συγκεκριμένη στιγμή. Από αυτό έπεται ότι θα μπορούσε επίσης να εξηγήσει τις μεταβαλλόμενες διατάξεις των ειδών που παρατηρούνται με την πάροδο των γεωλογικών εποχών, δηλαδή τις μεταβαλλόμενες διατάξεις που παρατηρούνται στο αρχείο των απολιθωμάτων. Εντούτοις, δεν αποτελεί μια σημαντική δύναμη στην εξέλιξη του πολύπλοκου μηχανισμού της ζωής. Το περισσότερο που μπορεί να κάνει είναι να επιλέξει ανάμεσα σε διάφορους εναλλακτικούς πολύπλοκους μηχανισμούς, οι οποίοι έχουν διαμορφωθεί από τη γνήσια δαρβινική επιλογή. Όπως έχω επαναλάβει στο παρελθόν, η επιλογή ειδών μπορεί να συμβαίνει, αλλά δεν φαίνεται να κάνει τίποτε το σπουδαίο! Και τώρα επιστρέφω στο θέμα της ταξινομικής και των μεθόδων της.

Είπα ότι η κλαδιστική ταξινόμηση έχει ένα πλεονέκτημα σε

σχέση με την ταξινομήση στις βιβλιοθήκες: υπάρχει ένα μοναδικό, αληθινό, ιεραρχικό πρότυπο εγκιβωτισμού στη φύση, που περιμένει να ανακαλυφθεί. Το μόνο που έχουμε να κάνουμε είναι να αναπτύξουμε τις μεθόδους που είναι απαραίτητες για την ανακάλυψή του. Δυστυχώς, υπάρχουν πρακτικές δυσκολίες. Το πιο ενδιαφέρον πρόβλημα του ταξινομικού είναι η εξελικτική σύγκλιση. Αυτό το φαινόμενο είναι τόσο σημαντικό, ώστε του έχω αφιερώσει ήδη μισό κεφάλαιο. Στο Κεφάλαιο 4 είδαμε πώς έχουν ανακαλυφθεί επανειλημμένως ζώα που μοιάζουν με άλλα άσχετα ζώα από άλλα μέρη του κόσμου, επειδή έχουν παρόμοιους τρόπους ζωής. Οι εκίτωναες του Νέου Κόσμου μοιάζουν με τους δορυλούς του Παλαιού Κόσμου. Υπάρχουν απίστευτες ομοιότητες ανάμεσα σε εντελώς άσχετα μεταξύ τους ηλεκτροφόρα ψάρια της Αφρικής και της Νότιας Αμερικής, ανάμεσα στους γνωστούς λύκους και στον μαρσιποφόρο «λύκο» θυλακίνο της Τασμανίας. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις δηλώσα απλώς, χωρίς να το δικαιολογήσω, ότι οι ομοιότητες είναι αποτέλεσμα σύγκλισης, δηλαδή ότι έχουν εμφανιστεί ανεξάρτητα σε άσχετα μεταξύ τους ζώα. Αλλά πώς το ξέρουμε ότι είναι άσχετα; Αν οι ταξινομικοί χρησιμοποιούν τις ομοιότητες για να μετρήσουν την εγγύτητα της συγγένειας, γιατί δεν ξεγελάστηκαν από την εκπληκτικά έντονη ομοιότητα που υπάρχει ανάμεσα σ' αυτά τα είδη ζώων; Ή, για να αντιστρέψουμε το ερώτημα δίνοντάς του μια πιο ανησυχητική μορφή, όταν οι ταξινομικοί μάς λένε ότι δυο ζώα είναι στενοί συγγενείς (ας πούμε, τα κουνέλια και οι λαγοί), πώς ξέρουμε ότι δεν έχουν ξεγελαστεί από μια εκτεταμένη σύγκλιση;

Αυτό το ερώτημα είναι πραγματικά ανησυχητικό, γιατί η ιστορία της ταξινομικής είναι γεμάτη από περιπτώσεις στις οποίες μεταγενέστεροι ταξινομικοί θεώρησαν ότι οι προγενέστεροι είχαν κάνει κάποιο λάθος γι' αυτόν ακριβώς το λόγο. Στο Κεφάλαιο 4 είδαμε ότι ένας αργεντινός ταξινομικός είχε θεωρήσει τα λιτόπτερα πρόγονο των σημερινών αλόγων, ενώ τώρα πιστεύεται ότι υπάρχει σύγκλιση ανάμεσα στα δύο είδη. Οι ειδικοί πίστευαν για πολύ καιρό ότι ο αφρικανικός ύστριξ συνδέεται στενά με τους αμερικανικούς ύστριχες, τώρα όμως επικρατεί η άποψη ότι οι δυο ομάδες ανέπτυξαν ανεξάρτητα τα αγκάθια τους. Φαίνε-



ται ότι ήταν χρήσιμα για παρόμοιους λόγους και στα δύο είδη, στις δύο ηπείρους. Ποιος μπορεί να γνωρίζει αν οι μελλοντικές γενιές των ταξινομικών δεν θα αλλάξουν πάλι γνώμη; Πόση εμπιστοσύνη μπορούμε να έχουμε στην ταξινομική, αν η συγκλίνουσα εξέλιξη μπορεί να δημιουργήσει μια τόσο παραπλανητικά παρόμοια εμφάνιση σε ζώα που είναι άσχετα μεταξύ τους; Ο κύριος λόγος για τον οποίο εγώ προσωπικά είμαι αισιόδοξος σχετικά μ' αυτό το θέμα, είναι η ανάπτυξη ορισμένων νέων ισχυρών τεχνικών που βασίζονται στη μοριακή βιολογία.

Για να ανακεφαλαιώσουμε, όλα τα ζώα, τα φυτά και τα βακτήρια, όσο διαφορετικά κι αν φαίνονται, παρουσιάζουν εκπληκτική ομοιότητα αν τα εξετάσουμε σε μοριακή βάση. Αυτό φαίνεται περισσότερο στον ίδιο τον γενετικό κώδικα. Το γενετικό λεξικό περιλαμβάνει 64 λέξεις του DNA, και καθεμιά τους έχει τρία γράμματα. Κάθε λέξη έχει μια ακριβή μετάφραση στη γλώσσα των πρωτεϊνών (αντιστοιχεί είτε σε ένα συγκεκριμένο αμινοξύ είτε σε ένα σημείο στίξης). Αυτή η γλώσσα φαίνεται να είναι αυθαίρετη με την ίδια έννοια με την οποία είναι αυθαίρετη και η ανθρώπινη γλώσσα (για παράδειγμα, οι ήχοι που συνθέτουν τη λέξη «σπίτι» δεν έχουν κανένα εγγενές χαρακτηριστικό που να συνδέεται με οποιαδήποτε ιδιότητα μιας κατοικίας). Με δεδομένο αυτό το στοιχείο, είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι όλα τα έμβια όντα, όσο διαφορετικά κι αν είναι στην εξωτερική τους εμφάνιση, «μιλούν» σχεδόν την ίδια ακριβώς γλώσσα στο επίπεδο των γονιδίων. Ο γενετικός κώδικας είναι παγκόσμιος. Θεωρώ ότι αυτό το γεγονός αποδεικνύει σχεδόν τελεσίδικα πως όλοι οι οργανισμοί κατάγονται από έναν μοναδικό κοινό πρόγονο. Η πιθανότητα να εμφανιστεί δύο φορές το ίδιο λεξικό αυθαίρετων «σημασιών» είναι αφάνταστα μικρή. Όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 6, μπορεί κάποτε να υπήρχαν και άλλοι οργανισμοί, που χρησιμοποιούσαν μια διαφορετική γενετική γλώσσα, αλλά δεν υπάρχουν πια. Όλοι οι οργανισμοί που ζουν σήμερα κατάγονται από έναν μοναδικό πρόγονο, από τον οποίο κληρονόμησαν ένα σχεδόν πανομοιότυπο, αν και αυθαίρετο, γενετικό λεξικό, πανομοιότυπο και στις 64 σχεδόν λέξεις του DNA.

Σκεφτείτε τη σημασία αυτού του γεγονότος για την ταξινομι-

κή. Πριν από την εποχή της μοριακής βιολογίας, οι ζωολόγοι μπορούσαν να είναι βέβαιοι για τη συγγένεια εκείνων μόνο των ζώων που είχαν έναν μεγάλο αριθμό κοινών ανατομικών χαρακτηριστικών. Η μοριακή βιολογία άνοιξε ξαφνικά έναν νέο, πολύτιμο τομέα ομοιοτήτων, ο οποίος προστίθεται στον πενιχρό κατάλογο που μας προσφέρει η ανατομία και η εμβρυολογία. Οι 64 ταυτότητες (η λέξη «ομοιότητες» είναι πολύ ασθηνής γι' αυτή την περίπτωση), του κοινού γενετικού λεξικού δεν είναι παρά μόνο η αρχή. Η ταξινομική έχει μεταμορφωθεί. Εκεί που πρώτα είχαμε μόνο ασαφείς εικασίες σχετικά με τη συγγένεια κάποιων οργανισμών, τώρα έχουμε στατιστικά δεδομένα που μας επιτρέπουν να είμαστε σχεδόν βέβαιοι.

Το γεγονός ότι το γενετικό λεξικό είναι πανομοιότυπο σχεδόν για όλους τους ζωντανούς οργανισμούς είναι πολύ σημαντικό για τον ταξινομικό, αλλά έχει περιορισμένη χρησιμότητα. Το λεξικό, με τη μορφή που έχει, μας λέει ότι όλα τα έμβια όντα είναι «ξεδέρφια» μεταξύ τους, δεν μπορεί όμως να μας πει ποια ζεύγη είναι πιο κοντινά ξεδέρφια απ' ό,τι άλλα. Υπάρχουν όμως άλλες μοριακές πληροφορίες που μπορούν να μας το πουν, γιατί εδώ δεν βρίσκουμε ολοκληρωτική ταυτότητα, αλλά διάφορους βαθμούς ομοιότητας. Θυμηθείτε ότι το προϊόν του γενετικού μεταφραστικού μηχανισμού είναι τα μόρια των πρωτεϊνών. Κάθε μόριο πρωτεΐνης είναι μια πρόταση, μια αλυσίδα λέξεων που προέρχονται από το λεξικό και αντιστοιχούν σε αμινοξέα. Μπορούμε να διαβάσουμε αυτές τις προτάσεις είτε στη μεταφρασμένη πρωτεϊνική τους μορφή είτε στην πρωτότυπη μορφή του DNA. Αν και όλα τα έμβια πράγματα έχουν το ίδιο λεξικό, δεν σχηματίζουν όλα τις ίδιες προτάσεις με τις κοινές τους λέξεις. Αυτό μας δίνει την ευκαιρία να υπολογίσουμε διάφορους βαθμούς συγγένειας. Οι πρωτεϊνικές προτάσεις, αν και διαφορετικές στις λεπτομέρειές τους, είναι συχνά παρόμοιες ως προς τη γενική τους διάταξη. Για οποιοδήποτε ζεύγος οργανισμών, μπορούμε πάντοτε να βρούμε προτάσεις αρκετά όμοιες, ώστε να είμαστε βέβαιοι ότι αποτελούν ελαφρά «αλλοιωμένες» μορφές της ίδιας προγονικής πρότασης. Το έχουμε δει ήδη αυτό στο παράδειγμα των μικροδιαφορών που υπάρχουν στις ακουθίες των ιστονών της αγελάδας και των μιτζελιών.

Οι ταξινομικοί μπορούν τώρα να συγκρίνουν τις μοριακές προτάσεις με τον ίδιο ακριβώς τρόπο με τον οποίο θα συνέκριναν δυο κρανία ή δυο οστά. Αν οι πρωτεϊνικές προτάσεις ή οι προτάσεις του DNA παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα μεταξύ τους, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι προέρχονται από κοντινά ξαδέρφια· περισσότερο διαφορετικές προτάσεις προέρχονται από πιο μακρινά ξαδέρφια. Αυτές οι προτάσεις συγκροτούνται όλες από το κοινό λεξικό, που δεν περιέχει περισσότερες από 64 λέξεις. Η γοητεία της σύγχρονης μοριακής βιολογίας έγκειται στο γεγονός ότι μπορούμε να μετρήσουμε με ακρίβεια τη διαφορά ανάμεσα σε δυο ζώα. Αυτό το επιτυγχάνουμε βρίσκοντας τον ακριβή αριθμό των λέξεων στις οποίες διαφέρουν οι δύο μορφές μιας συγκεκριμένης πρωτεϊνικής πρότασης, έτσι όπως εμφανίζονται στο ένα και στο άλλο ζώο. Μπορούμε να πούμε, χρησιμοποιώντας μια έκφραση που θα μας θυμίσει τον γενετικό υπερχώρο του Κεφαλαίου 3, ότι έχουμε τη δυνατότητα να μετρήσουμε ακριβώς πόσα βήματα χωρίζουν ένα ζώο από ένα άλλο, τουλάχιστον από την άποψη ενός συγκεκριμένου μορίου πρωτεΐνης.

Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα που μας παρέχει η χρήση των μοριακών ακολουθιών στην ταξινομική είναι ότι, σύμφωνα με μια σημαντική σχολή γενετιστών, τους «ουδετεριστές» (θα τους συναντήσουμε και στο επόμενο κεφάλαιο), το μεγαλύτερο μέρος των εξελικτικών αλλαγών που συμβαίνουν στο μοριακό επίπεδο είναι *ουδέτερες*. Αυτό σημαίνει ότι δεν οφείλονται σε φυσική επιλογή, αλλά είναι ουσιαστικά τυχαίες. Επομένως, αν εξαιρέσουμε κάποιες σπάνιες περιπτώσεις κακοτυχίας, στο μοριακό επίπεδο δεν υπάρχει το πρόβλημα της σύγκλισης για να παραπλανήσει τον ταξινομικό. Ένα σχετικό στοιχείο είναι ότι, όπως έχουμε ήδη δει, κάθε είδος μορίου φαίνεται να εξελίσσεται με έναν περίπου σταθερό ρυθμό ακόμη και όταν βρίσκεται σε εντελώς διαφορετικές ομάδες ζώων. Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός των διαφορών ανάμεσα σε συγκρίσιμα μόρια δυο ζώων, *ας πούμε* ανάμεσα στο κυτόχρωμα του ανθρώπου και στο κυτόχρωμα του φακόχοιρου, αποτελεί έναν καλό δείκτη του χρόνου που έχει περάσει από τότε που ζούσε ο κοινός τους πρόγονος. Έχουμε ένα αρκετά ακριβές «μοριακό ρολόι». Το μοριακό ρολόι μάς επιτρέ-

πει να υπολογίσουμε όχι μόνο ποια ζεύγη ζώων έχουν τους πιο πρόσφατους κοινούς προγόνους, αλλά και πότε περίπου έζησαν αυτοί οι κοινοί πρόγονοι.

Σ' αυτό το σημείο ο αναγνώστης μπορεί να απορήσει, εξαιτίας μιας φαινομενικής αντίφασης. Ολόκληρο το βιβλίο τονίζει τη μεγάλη σπουδαιότητα της φυσικής επιλογής. Πώς γίνεται λοιπόν τώρα να λέμε ότι η εξελικτική αλλαγή στο μοριακό επίπεδο είναι τυχαία; Εισχωρώντας πρόωρα στο θέμα του Κεφαλαίου 11, θα πούμε ότι δεν υπάρχει καμία αντίφαση σε σχέση με την εξέλιξη των προσαρμογών, που αποτελούν και το κύριο θέμα του βιβλίου. Ακόμη και ο πιο ένθερμος ουδετεριστής δεν πιστεύει ότι τα πολύπλοκα όργανα, όπως τα μάτια και τα χέρια, εξελίχθηκαν μέσα από τυχαίες διεργασίες. Όλοι οι βιολόγοι συμφωνούν ότι αυτά τα όργανα έχουν εξελιχθεί μέσα από τη φυσική επιλογή. Απλώς, οι ουδετεριστές πιστεύουν –και έχουν δίκιο, κατά τη γνώμη μου– ότι αυτές οι προσαρμογές αποτελούν την κορυφή της πυραμίδας: οι περισσότερες εξελικτικές αλλαγές, όταν εξεταστούν στο μοριακό επίπεδο, είναι πιθανότατα μη λειτουργικές.

Στο βαθμό που το μοριακό ρολόι είναι μια πραγματικότητα –και φαίνεται ότι όντως κάθε είδος μορίου μεταβάλλεται περίπου με τον δικό του χαρακτηριστικό ρυθμό κατά το πέρασμα εκατομμυρίων ετών– μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για να χρονολογήσουμε διάφορα σημεία διακλάδωσης του εξελικτικού δέντρου. Και αν πραγματικά αληθεύει ότι οι περισσότερες εξελικτικές αλλαγές είναι ουδέτερες στο μοριακό επίπεδο, αυτό αποτελεί ένα θαυμάσιο δώρο για τον ταξινομικό. Σημαίνει ότι το πρόβλημα της σύγκλισης μπορεί να παραμεριστεί με το όπλο της στατιστικής. Κάθε ζώο έχει μεγάλες ποσότητες γενετικού κειμένου γραμμένες στα κύτταρά του, και το μεγαλύτερο μέρος αυτού του κειμένου, σύμφωνα με την ουδετεριστική θεωρία, είναι εντελώς άσχετο με την προσαρμογή του ζώου στον συγκεκριμένο τρόπο ζωής του. Επιπλέον, το κείμενο αυτό έχει παραμείνει σε μεγάλο βαθμό ανεπηρέαστο από την επιλογή και δεν παρουσιάζει φαινόμενα συγκλινουσας εξέλιξης, παρά μόνο εντελώς τυχαία. Η πιθανότητα να μοιάζουν μεταξύ τους μόνο από τύχη δυο μεγάλα τμήματα ουδέτερου από άποψη επιλογής κειμένου, μπο-

ρεί να υπολογιστεί, και είναι πολύ μικρή. Ακόμη σπουδαιότερο είναι το γεγονός ότι ο σταθερός ρυθμός της μοριακής εξέλιξης μας επιτρέπει να *χρονολογήσουμε* τα σημεία διακλάδωσης στην εξελικτική ιστορία.

Είναι δύσκολο να μεγαλοποιήσουμε τις πρόσθετες δυνατότητες που παρέχουν στον ταξινομικό οι νέες τεχνικές ανάγνωσης των μοριακών ακολουθιών. Φυσικά, δεν έχουν αποκρυπτογραφηθεί ακόμη όλες οι μοριακές προτάσεις όλων των ζώων. Ωστόσο, ήδη μπορεί κανείς να πάει σε μια βιβλιοθήκη και να βρει, για παράδειγμα, την ακριβή, λέξη προς λέξη, γράμμα προς γράμμα, φρασεολογία της αιμοσφαιρίνης Α στο σκύλο, το καγκουρό, την ακανθοφόρο έχιδνα, την κότα, την οχιά, τον τρίτωνο, τον κυπρίνο και τον άνθρωπο. Δεν έχουν όλα τα ζώα αιμοσφαιρίνη, υπάρχουν όμως άλλες πρωτεΐνες, για παράδειγμα οι ιστόνες, μια μορφή των οποίων υπάρχει σε όλα τα ζώα και τα φυτά. Και πάλι, πολλές από αυτές τις μορφές μάς είναι γνωστές και μπορούμε να τις βρούμε σε μια βιβλιοθήκη. Εδώ δεν έχουμε να κάνουμε με αόριστες μετρήσεις, όπως η μέτρηση του μήκους των ποδιών ή του πλάτους του κρανίου, που μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την ηλικία και την υγεία του δείγματος, ή ακόμη και με την όραση του επιστήμονα που κάνει τη μέτρηση. Αντίθετα, πρόκειται για επακριβώς διατυπωμένες εναλλακτικές μορφές της ίδιας πρότασης στην ίδια γλώσσα, οι οποίες μπορούν να τοποθετηθούν δίπλα δίπλα και να συγκριθούν μεταξύ τους με την ίδια λεπτομέρεια και ακρίβεια με την οποία ένας σχολαστικός μελετητής των αρχαίων ελληνικών μπορεί να συγκρίνει δυο περγαμηνές που περιέχουν το ίδιο Ευαγγέλιο. Οι ακολουθίες του DNA είναι τα ευαγγελικά κείμενα της ζωής, και έχουμε μάθει να τις αποκρυπτογραφούμε.

Η βασική παραδοχή των ταξινομικών είναι ότι τα κοντινά ξαδέρφια θα έχουν περισσότερο όμοιες μορφές μιας συγκεκριμένης μοριακής πρότασης απ' ό,τι τα πιο μακρινά ξαδέρφια. Αυτό ονομάζεται «αρχή της φειδωλότητας». Αν έχουμε ένα σύνολο ζώων των οποίων γνωρίζουμε τις προτάσεις –λόγου χάρη, τα οκτώ ζώα που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο– ο σκοπός μας είναι να ανακαλύψουμε ποιο από όλα τα πιθανά φυλογε-

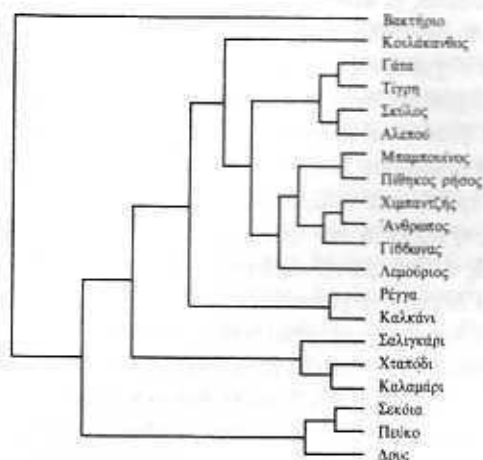
νετικά δέντρα που συνδέουν τα εν λόγω ζώα είναι το πιο φειδωλό. Το πιο φειδωλό δέντρο είναι εκείνο που περιέχει τις λιγότερες παραδοχές, με την έννοια ότι στηρίζεται στον ελάχιστο δυνατό αριθμό αλλαγών των λέξεων κατά την εξέλιξη και στην ελάχιστη δυνατή ποσότητα σύγκλισης. Έχουμε το δικαίωμα να θεωρούμε ότι πρέπει να συντελέστηκε η ελάχιστη δυνατή σύγκλιση, αφού θεωρείται εξαιρετικά απίθανη. Πραγματικά, είναι απίθανο –ιδιαίτερα αν ένα μεγάλο μέρος της μοριακής εξέλιξης είναι ουδέτερο– δυο άσχετα ζώα να καταλήξουν τυχαία στην ίδια ακριβώς ακολουθία, λέξη προς λέξη, γράμμα προς γράμμα.

Αν θελήσουμε να εξετάσουμε όλα τα δυνατά δέντρα, συναντάμε υπολογιστικές δυσκολίες. Όταν έχουμε να ταξινομήσουμε μόνο τρία ζώα, τα δυνατά δέντρα είναι μόνο τρία: το Α ενωμένο με το Β, και το Γ μόνο του· το Α ενωμένο με το Γ, και το Β μόνο του· το Β ενωμένο με το Γ, και το Α μόνο του. Μπορούμε να κάνουμε τον ίδιο υπολογισμό για την ταξινόμηση μεγάλου αριθμού ζώων, και διαπιστώνουμε ότι ο αριθμός των δυνατών δέντρων αυξάνεται με πολύ γοργό ρυθμό. Όταν τα ζώα είναι τέσσερα, ο συνολικός αριθμός των δυνατών δέντρων συγγένειας ανάμεσά τους είναι ακόμη υποφερτός: μόνο 15. Ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής δεν χρειάζεται πολύ χρόνο για να βρει ποιο από τα 15 δέντρα είναι το πιο φειδωλό. Αν όμως θέλουμε να ταξινομήσουμε 20 ζώα, υπολογίζω ότι ο αριθμός των δυνατών δέντρων είναι 8.200.794.532.637.891.559.375 (βλ. εικόνα 9). Έχει υπολογιστεί ότι ο ταχύτερος σημερινός υπολογιστής θα χρειαζόταν 10 δισεκατομμύρια χρόνια –όση είναι περίπου η ηλικία του σύμπαντος– για να ανακαλύψει το πιο φειδωλό δέντρο για 20 μόλις ζώα. Και οι ταξινομικοί συχνά θέλουν να σχηματίσουν φυλογενετικά δέντρα για περισσότερα από 20 ζώα.

Αν και οι μοριακοί ταξινομικοί ήταν οι πρώτοι που έδωσαν έμφαση στο πρόβλημα των εκρηκτικά αυξανόμενων αριθμών, αυτό ενέδρευε πάντοτε και στη μη μοριακή ταξινομική. Οι μη μοριακοί ταξινομικοί απλώς το είχαν αποφύγει κάνοντας διαισθητικές υποθέσεις. Από όλα τα δυνατά φυλογενετικά δέντρα που θα μπορούσαν να δοκιμαστούν, τεράστιοι αριθμοί δέντρων μπορούν να αποκλειστούν αμέσως –για παράδειγμα, όλα εκείνα τα εκατο-



μύρια των δυνατών δέντρων που τοποθετούν τους ανθρώπους πιο κοντά στα σκουλήκια απ' ό,τι στους χιμπαντζήδες. Οι ταξινομηκοί δεν κάνουν τον κόπο να ασχοληθούν με τέτοια προφανώς παράλογα δέντρα, αλλά εξετάζουν τα λίγα σχετικά δέντρα που δεν παραβιάζουν ριζικά ορισμένες προϋποθέσεις. Αυτό είναι μάλλον σωστό, αν και υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος το πιο φειδωλό δέντρο να είναι στην πραγματικότητα κάποιο από εκείνα που αποκλείστηκαν χωρίς να εξεταστούν. Οι υπολογιστές μπορούν να προγραμματιστούν κι αυτοί έτσι ώστε να «κόβουν δρόμο» χρησιμοποιώντας τέτοιους κανόνες, με αποτέλεσμα να περιορίζεται το πρόβλημα των μεγάλων αριθμών.



Εικόνα 9. Αυτό το φυλογενετικό δέντρο είναι σωστό. Υπάρχουν άλλοι 8.200.794.532.637.891.559.374 τρόποι ταξινόμησης αυτών των 20 οργανισμών και είναι όλοι λαθεμένοι.

Οι μοριακές πληροφορίες είναι τόσο πλούσιες, ώστε μπορούμε να κάνουμε την ταξινόμησή μας ξεχωριστά, ξανά και ξανά, για διαφορετικές πρωτεΐνες. Στη συνέχεια μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη μελέτη ενός μορίου, για να ελέγξουμε τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη ενός άλλου μορίου. Αν ανησυχούμε ότι η ιστορία που αφηγείται ένα μόριο πρωτεΐνης είναι διαστρεβλωμένη από φαι-

νόμμενα σύγκλισης, μπορούμε να την ελέγξουμε εξετάζοντας ένα άλλο μόριο πρωτεΐνης. Η συγκλίνουσα εξέλιξη είναι στην πραγματικότητα ένα ιδιαίτερο είδος σύμπτωσης. Και το χαρακτηριστικό των συμπτώσεων είναι ότι, ακόμη κι αν συμβούν μία φορά, είναι πολύ πιο απίθανο να συμβούν και δεύτερη (και ακόμη πιο απίθανο να συμβούν και τρίτη). Εξετάζοντας όλο και περισσότερα διαφορετικά μόρια πρωτεΐνης, μπορούμε να εξαλείψουμε σχεδόν όλες τις συμπτώσεις.

Για παράδειγμα, σε μια μελέτη που εκπόνησε μια ομάδα νεο-ζηλανδών βιολόγων, ταξινομήθηκαν 11 ζώα, όχι μία αλλά πέντε φορές, με βάση πέντε διαφορετικά μόρια πρωτεΐνης. Τα 11 ζώα ήταν το πρόβατο, ο κίρκος ρήσος, το άλογο, το καγκουρό, ο αρουραίος, το κουνέλι, ο σκύλος, το γουρούνι, ο άνθρωπος, η αγελάδα και ο χιμπαντζής. Η βασική ιδέα ήταν να βρεθεί πρώτα ένα δέντρο σχέσεων ανάμεσα στα 11 ζώα με βάση μια πρωτεΐνη, και μετά να διαπιστωθεί αν θα προέκυπτε το ίδιο δέντρο με μια διαφορετική πρωτεΐνη. Κατόπιν, η διαδικασία θα επαναλαμβανόταν για μια τρίτη, μια τέταρτη και μια πέμπτη πρωτεΐνη. Αν, για παράδειγμα, η εξέλιξη δεν ήταν πραγματικότητα, θεωρητικά καθεμιά από τις πέντε πρωτεΐνες θα μπορούσε να δώσει ένα εντελώς διαφορετικό δέντρο «σχέσεων».

Οι πέντε πρωτεϊνικές ακολουθίες, και για τα 11 ζώα, είναι όλες διαθέσιμες και μπορεί κανείς να τις βρει στις βιβλιοθήκες. Για 11 ζώα υπάρχουν 654.729.075 δυνατά δέντρα σχέσεων που πρέπει να εξεταστούν, και έτσι χρειάστηκε να χρησιμοποιηθούν οι συνηθισμένες μέθοδοι συντόμευσης της έρευνας. Ο υπολογιστής εκτύπωσε το πιο φειδωλό δέντρο σχέσεων για καθένα από τα πέντε πρωτεϊνικά μόρια. Έτσι, υπήρχαν πέντε ανεξάρτητες υποθέσεις για το αληθινό δέντρο σχέσεων ανάμεσα σ' αυτά τα 11 ζώα. Το καλύτερο αποτέλεσμα που θα μπορούσαμε να ελπίζουμε θα ήταν να πάρουμε πέντε πανομοιότυπα δέντρα. Η πιθανότητα να προκύψει ένα τέτοιο αποτέλεσμα από τύχη και μόνο είναι πολύ μικρή: ο αριθμός έχει 31 μηδενικά μετά την υποδιαστολή. Δεν θα έπρεπε να εκπλαγούμε αν δεν είχαμε μια τόσο τέλεια συμφωνία: είναι φυσικό να υπάρχει κάποιος βαθμός συγκλίνουσας εξέλιξης και συμπτώσεων. Αλλά θα έπρεπε να ανησυχήσου-

με αν δεν διαπιστωνόταν ένας μεγάλος βαθμός συμφωνίας ανάμεσα στα διαφορετικά δέντρα. Στην πραγματικότητα, τα πέντε δέντρα δεν ήταν πανομοιότυπα, ήταν όμως πολύ όμοια. Και τα πέντε μόρια συμφωνούν, τοποθετώντας τον άνθρωπο, το χιμπαντζή και το ρήσο κοντά μεταξύ τους. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν κάποιες διαφωνίες σχετικά με το ποιο ζώο είναι το αμέσως πλησιέστερο προς αυτή την ομάδα: η αιμοσφαιρίνη Β λέει πως είναι ο σκύλος· το ινωδοπεπτιδίο Β λέει πως είναι ο αρουραίος· το ινωδοπεπτιδίο Α λέει πως είναι μια ομάδα που αποτελείται από τον αρουραίο και το κουνέλι· η αιμοσφαιρίνη Α λέει ότι είναι μια ομάδα που αποτελείται από τον αρουραίο, το κουνέλι και το σκύλο.

Έχουμε έναν συγκεκριμένο κοινό πρόγονο με το σκύλο και έναν άλλο συγκεκριμένο κοινό πρόγονο με τον αρουραίο. Αυτοί οι δύο πρόγονοι υπήρξαν πραγματικά, σε μια στιγμή της ιστορίας. Ένας από αυτούς πρέπει να είναι πιο πρόσφατος από τον άλλο, επομένως ένα από τα δύο μόρια, ή η αιμοσφαιρίνη Β ή το ινωδοπεπτιδίο Β πρέπει να σφάλει στην εκτίμηση της εξελικτικής σχέσης. Όπως είπα, αυτές οι μικρές ασυμφωνίες δεν πρέπει να μας ανησυχούν. Περιμένουμε ότι θα υπάρχει ένας ορισμένος βαθμός σύγκλισης και συμπτώσεων. Αν θρυσκόμαστε πραγματικά πιο κοντά στο σκύλο, αυτό σημαίνει ότι ο άνθρωπος και ο αρουραίος συνέκλιναν μεταξύ τους ως προς το ινωδοπεπτιδίο Β. Αν θρυσκόμαστε πιο κοντά στον αρουραίο, τότε ο άνθρωπος και ο σκύλος συνέκλιναν μεταξύ τους ως προς την αιμοσφαιρίνη Β. Μπορούμε να πάρουμε μια ιδέα για το ποιο από αυτά τα δύο ενδεχόμενα είναι πιο πιθανό εξετάζοντας κι άλλα ακόμη μόρια. Αλλά δεν θα επιμείνω περισσότερο σ' αυτό το θέμα.

Είπα ότι η ταξινομική είναι ο τομέας της βιολογίας στον οποίο επικρατούν οι ισχυρότερες ίσως αντιθέσεις και φιλονικίες. Ο Stephen Gould τον χαρακτήρισε εύστοχα με τη φράση «ονομασίες και κακεντρέχεια». Οι ταξινομικοί παθιάζονται με τις σχολές σκέψης της επιστήμης τους με έναν τρόπο που συνήθως τον συναντάμε στις πολιτικές επιστήμες ή στα οικονομικά, όχι όμως και σε μια επιστήμη όπως η βιολογία. Είναι φανερό ότι τα μέλη μιας συγκεκριμένης ταξινομικής σχολής θεωρούν τον εαυ-

τό τους ως μια πολιορκημένη ομάδα αδελφών, όπως οι πρώτοι χριστιανοί. Το συνειδητοποίησα αυτό για πρώτη φορά όταν ένας γνωστός μου ταξινομικός μου ανακοίνωσε με πρόσωπο κάτασπρο από ταραχή το «νέο» ότι ο Τάδε (το όνομα δεν έχει σημασία) «προσχώρησε στους κλαδιστές».

Η ακόλουθη σύντομη περιγραφή των σχολών της ταξινομικής μάλλον θα ενοχλήσει μερικά μέλη τους, όχι όμως περισσότερο απ' όσο συνηθίζουν να εξαγριώνουν ο ένας τον άλλο, και επομένως δεν πρόκειται να υπάρξει πρόβλημα. Από την άποψη της θεμελιώδους φιλοσοφίας τους, οι ταξινομικοί ανήκουν σε δύο κύρια στρατόπεδα. Από τη μια πλευρά βρίσκονται εκείνοι που δεν κρύβουν ότι ο σκοπός τους είναι να ανακαλύψουν εξελικτικές σχέσεις. Γι' αυτούς (και για μένα) ένα καλό ταξινομικό δέντρο είναι ένα «γενεαλογικό» δέντρο εξελικτικών σχέσεων. Όταν ταξινομεί κανείς, χρησιμοποιεί όλες τις μεθόδους που έχει στη διάθεσή του για να διατυπώσει την καλύτερη δυνατή υπόθεση σχετικά με το πόσο κοντινή είναι η συγγένεια ανάμεσα σε συγκεκριμένα ζώα. Είναι δύσκολο να βρούμε ένα όνομα γι' αυτούς τους ταξινομικούς, γιατί το προφανές όνομα «εξελικτικοί ταξινομικοί» το έχει οικειοποιηθεί μια συγκεκριμένη υποσχολή. Μερικές φορές ονομάζονται «φυλετικιστές». Μέχρι τώρα έχω γράψει αυτό το κεφάλαιο από την άποψη του φυλετικιστή.

Υπάρχουν όμως πολλοί ταξινομικοί που εργάζονται με διαφορετικό τρόπο, και το κάνουν αυτό για αρκετά βάσιμους λόγους. Αν και συνήθως συμφωνούν ότι ο τελικός στόχος της ταξινομικής είναι η ανακάλυψη εξελικτικών σχέσεων, επιμένουν να κρατούν την *εφαρμογή* της διαχωρισμένη από τη θεωρία—μάλλον την εξελικτική θεωρία— που εξηγεί πώς προέκυψε αυτό το πρότυπο των ομοιοτήτων. Αυτοί οι ταξινομικοί μελετούν τις ομοιότητες αυτές καθ' εαυτές. Δεν θεωρούν εκ των προτέρων ότι οι ομοιότητες οφείλονται στην εξελικτική ιστορία και ότι η έντονη ομοιότητα οφείλεται σε κοντινή σχέση. Προτιμούν να κάνουν την ταξινόμησή τους χρησιμοποιώντας μόνο το πρότυπο των ομοιοτήτων.

Ένα πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι, αν έχουμε κάποια αμφιβολία για την αλήθεια της εξέλιξης, μπορούμε να χρη-

σιμοποιήσουμε τις ομοιότητες για να την ελέγξουμε. Αν η εξέλιξη είναι αληθινή, οι ομοιότητες ανάμεσα στα ζώα θα ακολουθούν ορισμένα προβλέψιμα πρότυπα, και κυρίως το πρότυπο του ιεραρχικού εγκλιθωτισμού. Αν η εξέλιξη δεν είναι αληθινή, είναι άγνωστο ποιο πρότυπο πρέπει να περιμένουμε, αλλά δεν υπάρχει κανένας προφανής λόγος να περιμένουμε ένα πρότυπο ιεραρχικού εγκλιθωτισμού. Αν βασίσουμε την ταξινόμησή μας στην εξέλιξη, υποστηρίζει αυτή η σχολή, δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματά της για να υποστηρίξουμε τη θεωρία της εξέλιξης, γιατί το επιχείρημα θα είναι κυκλικό. Το εν λόγω επιχείρημα θα είχε ισχύ αν υπήρχε κάποιος που να αμφιβάλλει σοβαρά για την αλήθεια της εξέλιξης. Και πάλι, είναι δύσκολο να βρούμε ένα κατάλληλο όνομα γι' αυτή τη δεύτερη σχολή ταξινομικής. Θα τους ονομάσω «μετρητές καθαρών ομοιοτήτων».

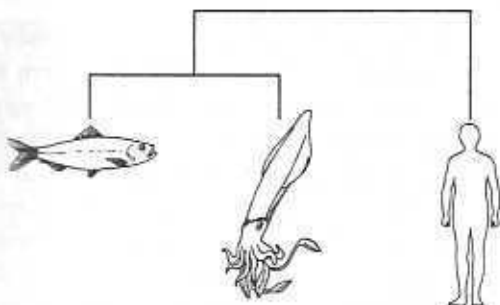
Οι φυλετικιστές, οι ταξινομικοί που προσπαθούν ανοιχτά να ανακαλύψουν εξελικτικές σχέσεις, χωρίζονται, στη συνέχεια, σε δύο σχολές: τους κλαδιστές, που ακολουθούν τις αρχές που ορίστηκαν από τον Willi Hennig στο περίφημο βιβλίο του *Phylogenetic Systematics* (Φυλογενετική Συστηματική), και τους «παράδοσιακούς» εξελικτικούς ταξινομικούς. Οι κλαδιστές ασχολούνται σε βαθμό μονομανίας με τους κλάδους. Γι' αυτούς, ο στόχος της ταξινομικής είναι να ανακαλυφθεί η σειρά με την οποία οι γενεαλογικές σειρές χωρίστηκαν η μια από την άλλη κατά τη διάρκεια της εξέλιξης. Δεν τους ενδιαφέρει πόσο άλλαξαν αυτές οι γενεαλογικές σειρές μετά το σημείο της διακλάδωσης. Οι «παράδοσιακοί» (μην το θεωρήσετε μειωτικό χαρακτηρισμό) εξελικτικοί ταξινομικοί διαφέρουν από τους κλαδιστές κυρίως στο ότι δεν εξετάζουν μόνο τις διακλαδώσεις, αλλά λαμβάνουν επίσης υπόψη τους τη συνολική ποσότητα αλλαγής που συντελείται κατά τη διάρκεια της εξέλιξης.

Η σκέψη των κλαδιστών, από την αρχή ακόμη της δουλειάς τους, έχει ως βάση τα διακλαδιζόμενα δέντρα. Στην ιδανική περίπτωση, θα σχημάτιζαν όλα τα δυνατά διακλαδιζόμενα δέντρα για τα ζώα που εξετάζουν (μόνο δέντρα που τα κλαδιά τους χωρίζονται στα δύο, γιατί η υπομονή έχει και τα όριά της!). Όπως

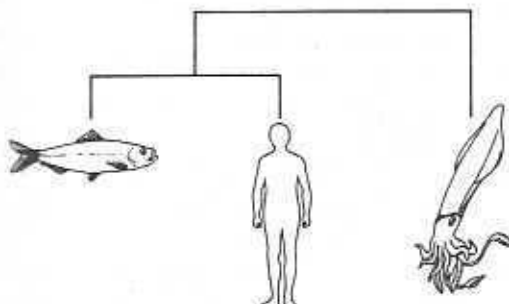
είδαμε όταν αναφερθήκαμε στη μοριακή ταξινομική, η προσπάθεια αυτή γίνεται δύσκολη αν επιχειρούμε να ταξινομήσουμε πολλά ζώα, επειδή ο αριθμός των δυνατών δέντρων γίνεται αστρονομικός. Εντούτοις, όπως είδαμε επίσης, υπάρχουν ευτυχώς μέθοδοι για να συντομευτεί αυτή η έρευνα και για να βρεθούν αποδεκτές προσεγγιστικές μορφές των αναζητούμενων δέντρων, πράγμα που σημαίνει ότι αυτό το είδος της ταξινομησης μπορεί να εφαρμοστεί στην πράξη.

Αν, λόγω χάρη, θέλαμε να ταξινομήσουμε τρία μόνο ζώα, το καλαμάρι, τη ρέγγα και τον άνθρωπο, τα τρία δυνατά δέντρα διακλάδωσης δύο κατευθύνσεων είναι τα παρακάτω:

1. Το καλαμάρι και η ρέγγα βρίσκονται κοντά μεταξύ τους, ενώ ο άνθρωπος είναι η «παραομάδα».

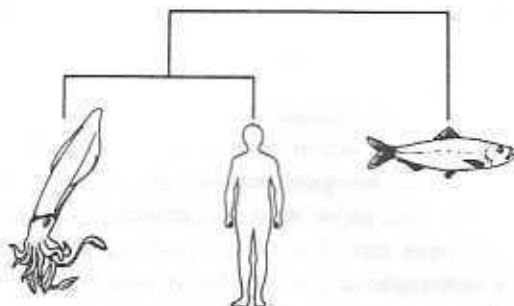


2. Ο άνθρωπος και η ρέγγα βρίσκονται κοντά μεταξύ τους, ενώ το καλαμάρι είναι η παραομάδα.





3. Το καλαμάρι και ο άνθρωπος βρίσκονται κοντά μεταξύ τους, ενώ η ρέγγα είναι η παραομάδα.



Οι κλαδιστές θα εξέταζαν καθένα από τα τρία δυνατά δέντρα με τη σειρά και θα διάλεγαν το καλύτερο. Πώς θα αναγνώριζαν ποιο είναι το καλύτερο; Βασικά, είναι το δέντρο που ενώνει τα ζώα που έχουν τα περισσότερα κοινά χαρακτηριστικά. Ονομάζουμε «παραομάδα» το ζώο που έχει τα λιγότερα κοινά χαρακτηριστικά με τα άλλα δύο. Από τα τρία παραπάνω δέντρα, το δεύτερο είναι το επικρατέστερο, γιατί ο άνθρωπος και η ρέγγα έχουν πολύ περισσότερα κοινά χαρακτηριστικά απ' ό,τι το καλαμάρι με τη ρέγγα ή το καλαμάρι με τον άνθρωπο. Το καλαμάρι είναι η παραομάδα, γιατί δεν έχει πολλά κοινά χαρακτηριστικά είτε με τον άνθρωπο είτε με τη ρέγγα.

Στην πραγματικότητα, το θέμα δεν είναι τόσο απλό ώστε να μπορούμε να αποφασίσουμε μετρώντας τα κοινά χαρακτηριστικά, γιατί μερικά είδη χαρακτηριστικών αγνοούνται σκόπιμα. Οι κλαδιστές θέλουν να δίνουν ιδιαίτερο βάρος σε όσα έχουν εξελιχθεί πρόσφατα. Για παράδειγμα, τα αρχαία χαρακτηριστικά που έχουν κληρονομήσει όλα τα θηλαστικά από το πρώτο θηλαστικό μάς είναι άχρηστα για να κάνουμε ταξινόμηση μέσα στην κατηγορία των θηλαστικών. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν για να αποφασίσουν ποια χαρακτηριστικά είναι αρχαία έχουν ενδιαφέρον, αλλά θα μας έβγαζαν από τα πλαίσια αυτού του βιβλίου. Το κύριο στοιχείο που πρέπει να θυμόμαστε σ' αυτό το στάδιο είναι ότι, θεωρητικά τουλάχιστον, ο κλαδιστής ελέγχει όλα τα δυνατά δέντρα διακλάδωσης δύο κατευθύνσεων που θα μπορούσαν να ε-

νώνουν το σύνολο των ζώων που εξετάζει, και προσπαθεί να επιλέξει το σωστό. Και ο γνήσιος κλαδιστής δεν κρύβει το γεγονός ότι θεωρεί τα διακλαδιζόμενα δέντρα, ή «κλαδογράμματα», ως φυλογενετικά δέντρα, δέντρα που δείχνουν την εγγύτητα των εξελικτικών σχέσεων.

Η μονομανία με τις διακλαδώσεις, αν φτάσει σε ακραία μορφή, μπορεί να δώσει παράξενα αποτελέσματα. Θεωρητικά, μπορεί ένα είδος να είναι *πανομοιότυπο* σε κάθε λεπτομέρεια με τα μακρινά ξαδέρφια του, αλλά να είναι εντελώς διαφορετικό από τα κοντινά ξαδέρφια του. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι πριν από 300 εκατομμύρια χρόνια ζούσαν δυο πολύ όμοια είδη ψαριών, που θα τα ονομάσουμε Ιακώβ και Ησαύ. Και τα δύο είδη ίδρυσαν δυναστείες απογόνων, οι οποίες υπάρχουν μέχρι και σήμερα. Οι απόγονοι του Ησαύ έπεσαν σε στασιμότητα. Συνέχισαν να ζουν σε μεγάλο βάθος στη θάλασσα, αλλά δεν εξελίχθηκαν. Το αποτέλεσμα είναι ότι ο σύγχρονος απόγονος του Ησαύ είναι ουσιαστικά ίδιος με τον Ησαύ, και επομένως είναι επίσης πολύ όμοιος με τον Ιακώβ. Οι απόγονοι του Ιακώβ εξελίχθηκαν και πολλαπλασιάστηκαν. Τελικά, από αυτούς προήλθαν όλα τα σύγχρονα θηλαστικά. Αλλά μια γενεαλογική σειρά απογόνων του Ιακώβ έμεινε κι αυτή σε στασιμότητα συνεχίζοντας να ζει σε μεγάλο βάθος στη θάλασσα, και έχει αφήσει επίσης σύγχρονους απογόνους. Αυτοί οι σύγχρονοι απόγονοι είναι ψάρια που μοιάζουν τόσο πολύ με τους σύγχρονους απογόνους του Ησαύ, ώστε είναι δύσκολο να τους ξεχωρίσουμε.

Πώς θα μπορούσαμε να ταξινομήσουμε αυτά τα ζώα; Ο παραδοσιακός εξελικτικός ταξινομικός θα αναγνώριζε την έντονη ομοιότητα που υπάρχει ανάμεσα στους πρωτόγονους απογόνους του Ιακώβ και του Ησαύ, που ζουν σε μεγάλο βάθος, και θα τους ταξινομούσε μαζί. Ο αυστηρός κλαδιστής δεν θα μπορούσε να το κάνει αυτό. Αν και οι απόγονοι του Ιακώβ που ζουν σε μεγάλο βάθος μοιάζουν πάρα πολύ με τους απογόνους του Ησαύ, εντούτοις είναι πιο κοντινά ξαδέρφια των θηλαστικών. Ο κοινός πρόγονος που έχουν με τα θηλαστικά έζησε πιο πρόσφατα –έστω και ελάχιστα πιο πρόσφατα– από τον κοινό πρόγονο που έχουν με τους απογόνους του Ησαύ. Επομένως, πρέπει να ταξινομηθούν

μαζί με τα θηλαστικά. Αυτό μπορεί να φαίνεται παράξενο, αλλά προσωπικά δεν με ενοχλεί. Τουλάχιστον είναι ένας εντελώς λογικός και σαφής συλλογισμός. Πραγματικά, τόσο ο κλαδισμός, όσο και η παραδοσιακή εξελικτική ταξινομική έχουν τις δικές τους αρετές, και δεν με πειράζει ιδιαίτερα ο τρόπος με τον οποίο ταξινομεί η κάθε σχολή τα ζώα, αρκεί να μου λέει σαφώς πώς το κάνει.

Ας περάσουμε τώρα στην άλλη κύρια ταξινομική σχολή, στους μετρητές των καθαρών ομοιοτήτων, οι οποίοι μπορούν να χωριστούν σε δύο υποσχολές. Και οι δύο αυτές υποσχολές συμφωνούν να μην αναμειγνύουν την εξέλιξη στην εφαρμογή της ταξινόμησης. Εντούτοις, δεν συμφωνούν στον τρόπο με τον οποίο πρέπει να κάνουν την ταξινόμηση. Οι οπαδοί της μιας υποσχολής ονομάζονται μερικές φορές «φαινετιστές» και μερικές φορές «αριθμητικοί ταξινομικοί». Εγώ θα τους ονομάσω «μετρητές των μέσων αποστάσεων». Τα μέλη της άλλης σχολής μέτρησης των ομοιοτήτων αυτοαποκαλούνται «οπαδοί του μετασχηματισμένου κλαδισμού». Αυτός ο όρος είναι αδόκιμος, αφού αυτοί οι άνθρωποι μόνο κλαδιστές δεν είναι! Όταν ο Julian Huxley εισήγαγε τη λέξη «κλάδος» όρισε την έννοιά της με σαφήνεια και χωρίς περιθώρια παρερμηνείας, έχοντας ως βάση τις εξελικτικές διακλαδώσεις και τους εξελικτικούς προγόνους των ειδών. Ένας κλάδος είναι το σύνολο όλων των οργανισμών που κατάγονται από έναν συγκεκριμένο πρόγονο. Αφού το κύριο μέλημα των «οπαδών του μετασχηματισμένου κλαδισμού» είναι να αποφύγουν κάθε έννοια εξέλιξης και προγονικής καταγωγής, δεν μπορούν να ονομάζονται κλαδιστές. Ο λόγος για τον οποίο έχει παραμείνει αυτή η ονομασία είναι ιστορικός: είχαν αρχίσει σαν γνήσιοι κλαδιστές και κράτησαν μερικές από τις μεθόδους των κλαδιστών, αλλά εγκατέλειψαν τη βασική τους φιλοσοφία. Έτσι, δεν μπορώ να κάνω τίποτε άλλο από το να τους ονομάσω κι εγώ, αν και απρόθυμα, οπαδούς του μετασχηματισμένου κλαδισμού.

Οι μετρητές των μέσων αποστάσεων δεν αρνούνται απλώς να χρησιμοποιήσουν την εξέλιξη στην ταξινομική (αν και πιστεύουν στην εξέλιξη): ακολουθούν μια συνεπή στάση και δεν θεωρούν καν ότι το πρότυπο των ομοιοτήτων θα δώσει αναγκαστικά

μια απλή διακλαδιζόμενη ιεραρχία. Προσπαθούν να χρησιμοποιούν μεθόδους που θα αποκαλύψουν το ιεραρχικό πρότυπο, αν υπάρχει, αλλά και δεν θα οδηγήσουν σ' αυτό, αν δεν υπάρχει. Προσπαθούν να ρωτούν τη Φύση για να τους πει αν πραγματικά είναι οργανωμένη ιεραρχικά. Αυτός ο στόχος δεν είναι εύκολος, και θα μπορούσαμε δικαιολογημένα να πούμε ότι ουσιαστικά δεν υπάρχουν οι κατάλληλες μέθοδοι για την επίτευξή του. Εντούτοις, πιστεύω ότι ταυτίζεται με μια αξιόπαινη προσπάθεια της συγκεκριμένης σχολής να μην επηρεάζεται από προϋπάρχουσες αντιλήψεις. Οι μέθοδοί τους είναι συχνά μάλλον πολύπλοκες και μαθηματικές. Επιπλέον, είναι εξίσου κατάλληλες για την ταξινόμηση άβιων αντικειμένων –για παράδειγμα, πετρωμάτων ή αρχαιολογικών ευρημάτων– όσο και για την ταξινόμηση έμβιων οργανισμών.

Συνήθως αρχίζουν μετρώντας οτιδήποτε μπορεί να μετρηθεί σε ένα ζώο. Πρέπει να είναι κανείς λίγο επινοητικός στον τρόπο με τον οποίο θα ερμηνεύσει αυτές τις μετρήσεις, αλλά δεν θα αναφερθώ σ' αυτό το θέμα. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι μετρήσεις συνδυάζονται όλες μαζί και παράγουν ένα δείκτη ομοιότητας (ή, το αντίθετό του, ένα δείκτη ανομοιότητας) ανάμεσα σε κάθε ζώο και σε κάθε άλλο ζώο. Εδώ θα μπορούσαμε να φανταστούμε τα ζώα σαν σύννεφα σημείων στο χώρο. Οι αρουραίοι, οι ποντικοί, οι κρίκητοι, κ.λπ., θα βρίσκονται σε ένα μέρος του χώρου. Μακριά, σε ένα άλλο μέρος του χώρου, θα υπάρχει ένα άλλο μικρό σύννεφο, αποτελούμενο από λιοντάρια, τίγρεις, λεοπαρδάλεις, κυνίλους, κ.λπ. Η απόσταση ανάμεσα σε δύο οποιαδήποτε σημεία του χώρου είναι ένα μέτρο τού κατά πόσο μοιάζουν μεταξύ τους τα δύο ζώα που αντιστοιχούν σ' αυτά τα σημεία, όταν συνδυαστούν πολλές ιδιότητές τους. Η απόσταση ανάμεσα στο λιοντάρι και στην τίγρη είναι μικρή. Το ίδιο και η απόσταση ανάμεσα στον αρουραίο και στον ποντικό. Αλλά η απόσταση ανάμεσα στον αρουραίο και στην τίγρη, ή στον ποντικό και στο λιοντάρι, είναι μεγάλη. Ο συνδυασμός των ιδιοτήτων γίνεται συνήθως με τη βοήθεια υπολογιστή. Ο χώρος στον οποίο βρίσκονται αυτά τα ζώα μοιάζει επιφανειακά με τη Χώρα των βιομορφών, αλλά εδώ οι «αποστάσεις» αντιστοιχούν σε σωματικές παρά σε γενετικές ομοιότητες.

Ο υπολογιστής αρχικά υπολογίζει ένα δείκτη μέσης ομοιότητας (ή απόστασης) ανάμεσα σε κάθε ζώο και σε κάθε άλλο ζώο. Κατόπιν τον προγραμματίζουμε να ερευνήσει το σύνολο των αποστάσεων/ομοιοτήτων και να προσπαθήσει να τις προσαρμόσει σε ένα ιεραρχικό πρότυπο ομαδοποίησης. Δυστυχώς, υπάρχουν πολλές διαφωνίες σχετικά με την ακριβή μέθοδο υπολογισμού που πρέπει να χρησιμοποιείται στην αναζήτηση ομάδων. Δεν υπάρχει καμία μέθοδος που να είναι προφανώς σωστή και οι διαφορετικές μέθοδοι δεν δίνουν όλες την ίδια απάντηση. Και το χειρότερο είναι ότι μπορεί μερικές από αυτές τις μεθόδους του υπολογιστή να είναι υπερβολικά «πρόθυμες» να «δουν» ιεραρχικά διατεταγμένες ομάδες μέσα σε ομάδες, ακόμη και εκεί όπου δεν υπάρχουν. Η σχολή της μέτρησης αποστάσεων, ή των «αριθμητικών ταξινομικών», έχει γίνει λίγο παρωχημένη τελευταία. Προσωπικά πιστεύω ότι η φάση αυτή είναι προσωρινή, όπως συμβαίνει συχνά με τις μόδες, και ότι αυτού του είδους η «αριθμητική ταξινομική» δεν είναι εύκολο να εγκαταλειφθεί. Περιμένω ότι κάποια στιγμή θα αναβιώσει.

Οι μετρητές καθαρών προτύπων που ανήκουν στη δεύτερη σχολή είναι εκείνοι που αυτοαποκαλούνται οπαδοί του μετασχηματισμένου κλαδισμού, για ιστορικούς λόγους όπως είδαμε. Από αυτή την ομάδα προέρχεται κυρίως η «κακεντρέχεια». Δεν θα ακολουθήσω τη συνηθισμένη τακτική περιγράφοντας την ιστορική τους προέλευση μέσα από τις τάξεις των γνήσιων κλαδιστών. Όσον αφορά τη βασική τους φιλοσοφία, οι λεγόμενοι οπαδοί του μετασχηματισμένου κλαδισμού έχουν περισσότερα κοινά στοιχεία με την άλλη σχολή μέτρησης καθαρών προτύπων, τους ταξινομικούς που συχνά ονομάζονται «φαινετιστές» ή «αριθμητικοί ταξινομικοί», τους οποίους έχω ήδη αναφέρει ονομάζοντάς τους μετρητές μέσων αποστάσεων. Το κοινό χαρακτηριστικό αυτών των σχολών είναι το γεγονός ότι δεν θέλουν να χρησιμοποιούν την εξέλιξη στην εφαρμογή της ταξινομικής, αν και αυτό δεν σημαίνει αναγκαστικά κάποια εχθρότητα προς την ίδια την ιδέα της εξέλιξης.

Το κοινό στοιχείο που έχουν οι οπαδοί του μετασχηματισμένου κλαδισμού με τους γνήσιους κλαδιστές είναι πολλές από τις

πρακτικές μεθόδους που χρησιμοποιούν. Βάση της σκέψης και των δύο, από την αρχή, είναι τα δέντρα διακλάδωσης δύο κατευθύνσεων. Και οι δύο ξεχωρίζουν ορισμένα είδη χαρακτηριστικών ως σημαντικά από ταξινομική άποψη και άλλα είδη χαρακτηριστικών ως άχρηστα. Διαφέρουν όσον αφορά το σκεπτικό στο οποίο στηρίζουν αυτή τη διάκριση. Οι οπαδοί του μετασχηματισμένου κλαδισμού, όπως και οι μετρητές μέσω αποστάσεων, δεν προσπαθούν να ανακαλύψουν φυλογενετικά δέντρα. Θέλουν να βρουν δέντρα καθαρής ομοιότητας. Συμφωνούν με τους μετρητές μέσω αποστάσεων και αφήνουν ανοιχτό το ερώτημα του κατά πόσο το πρότυπο των ομοιοτήτων αντανάκλα την εξελικτική ιστορία. Αντίθετα όμως από τους μετρητές αποστάσεων, που θεωρητικά τουλάχιστον είναι διατεθειμένοι να αφήσουν τη Φύση να τους πει αν είναι ιεραρχικά οργανωμένη ή όχι, οι οπαδοί του μετασχηματισμένου κλαδισμού θεωρούν ότι είναι. Αποτελεί ένα αξίωμα, μια βασική αρχή της σχολής τους, ότι τα ζώα πρέπει να ταξινομούνται σε διακλαδιζόμενες ιεραρχίες (ή, ισοδύναμα, σε «εγκιβωτισμένους εγκιβωτισμούς»). Αφού το διακλαδιζόμενο δέντρο δεν έχει καμία σχέση με την εξέλιξη, η χρήση του δεν περιορίζεται αναγκαστικά μόνο στα έμβια όντα. Οι μέθοδοι των οπαδών του μετασχηματισμένου κλαδισμού, σύμφωνα με τους υποστηρικτές τους, μπορούν να ταξινομήσουν όχι μόνο ζώα και φυτά, αλλά και πετρώματα, πλανήτες, τα βιβλία μιας βιβλιοθήκης και σκεύη της Εποχής του Χαλκού. Με άλλα λόγια, δεν δέχονται αυτό που είπα όταν μιλούσα για την ταξινόμηση των βιβλίων μιας βιβλιοθήκης, ότι η εξέλιξη είναι η μοναδική βάση που μπορεί να μας οδηγήσει σε μία μοναδική ιεραρχική ταξινόμηση.

Οι μετρητές μέσω αποστάσεων, όπως είδαμε, μετρούν πόσο μακριά βρίσκεται κάθε ζώο από κάθε άλλο ζώο, όπου «μακριά» σημαίνει «δεν μοιάζει», και «κοντά» σημαίνει «μοιάζει». Μόνο τότε, αφού υπολογίσουν έναν μέσο δείκτη ομοιότητας, προσπαθούν να ερμηνεύσουν τα αποτελέσματά τους με βάση μια διακλαδιζόμενη ιεραρχία ομάδων μέσα σε ομάδες, ή με βάση ένα κλαδόγραμμα. Αντίθετα, οι οπαδοί του μετασχηματισμένου κλαδισμού, όπως και οι γνήσιοι κλαδιστές, σκέφτονται για ομάδες και διακλαδώσεις από την αρχή. Όπως και οι γνήσιοι κλαδιστές, θα



αρχίσουν, θεωρητικά τουλάχιστον, καταγράφοντας όλα τα δυνατά δέντρα διακλαδώσης δύο κατευθύνσεων και θα διαλέξουν το καλύτερο.

Αλλά τι ακριβώς λαμβάνουν υπόψη τους όταν εξετάζουν κάθε δυνατό «δέντρο» και τι εννοούν όταν λένε ότι κάποιο είναι το καλύτερο; Σε ποια υποθετική κατάσταση του κόσμου αντιστοιχεί κάθε δέντρο; Για έναν γνήσιο κλαδιστή, έναν οπαδό του W. Hennig, η απάντηση είναι πολύ σαφής. Το καθένα από τα 15 δυνατά δέντρα που ενώνουν τέσσερα ζώα αντιπροσωπεύει ένα δυνατό φυλογενετικό δέντρο. Από όλα τα 15 δυνατά φυλογενετικά δέντρα που ενώνουν τέσσερα ζώα, ένα και μόνο ένα πρέπει να είναι το σωστό. Η ιστορία των προγόνων αυτών των ζώων συνέβη πραγματικά στον κόσμο. Υπάρχουν 15 δυνατές ιστορίες, αν δεχτούμε ότι όλες οι διακλαδώσεις είναι διακλαδώσεις δύο κατευθύνσεων. Οι δεκατέσσερις από αυτές τις δυνατές ιστορίες πρέπει να είναι λαθεμένες. Μόνο μία μπορεί να είναι σωστή, μόνο μία μπορεί να αντιστοιχεί στον τρόπο με τον οποίο συνέβησαν πραγματικά τα γεγονότα. Από όλα τα 135.135 δυνατά φυλογενετικά δέντρα που υπάρχουν για 8 ζώα, τα 135.134 πρέπει να είναι λαθεμένα. Μόνο ένα αντιπροσωπεύει την ιστορική αλήθεια. Μπορεί να μην είναι εύκολο να θεβαιωθούμε ποιο είναι το σωστό, αλλά ο γνήσιος κλαδιστής μπορεί τουλάχιστον να είναι βέβαιος ότι μόνο ένα είναι σωστό.

Ωστόσο, σε τι αντιστοιχούν τα 15 (ή τα 135.135, ή οποιοσδήποτε αριθμός) δυνατά δέντρα, και το ένα σωστό δέντρο, στον μη εξελικτικό κόσμο του οπαδού του μετασχηματισμένου κλαδισμού; Όπως έχει επισημάνει ο συνάδελφος και πρώην φοιτητής μου Mark Ridley στο βιβλίο του *Evolution and Classification* (Εξέλιξη και ταξινόμηση), η απάντηση είναι: τίποτε το σπουδαίο. Ο οπαδός του μετασχηματισμένου κλαδισμού αρνείται να χρησιμοποιήσει την έννοια των προγόνων. Ο «πρόγονος» γι' αυτόν είναι μια θρόμικη λέξη. Από την άλλη πλευρά όμως, επιμένει ότι η ταξινόμηση πρέπει να είναι μια διακλαδιζόμενη ιεραρχία. Έτσι, αν τα 15 (ή 135.135) δυνατά ιεραρχικά δέντρα δεν είναι δέντρα προγονικής ιστορίας, τι στην ευχή είναι; Στο σημείο αυτό οι οπαδοί του μετασχηματισμένου κλαδισμού δεν μπορούν να κά-

νουν τίποτε άλλο από το να καταφύγουν στην αρχαία φιλοσοφία για να βρουν κάποια ασαφή ιδεαλιστική αντίληψη σύμφωνα με την οποία ο κόσμος είναι απλούστατα οργανωμένος ιεραρχικά: κάποια αντίληψη πως καθeti στον κόσμο έχει το «αντίθετό» του, το μυστικιστικό γιν ή γιανγκ. Η θεωρία τους δεν γίνεται ποτέ πιο συγκεκριμένη. Πραγματικά, στον μη εξελικτικό κόσμο του οπαδού του μετασχηματισμένου κλαδισμού, είναι αδύνατο να εκφράσει κανείς ισχυρές και σαφείς θέσεις όπως «μόνο ένα από τα 945 δυνατά δέντρα που ενώνουν 6 ζώα μπορεί να είναι σωστό, ενώ όλα τα άλλα πρέπει να είναι λαθεμένα».

Γιατί ο «πρόγονος» είναι μια θρόμικη λέξη για τους κλαδιστές; Δεν είναι (ελπίζω) επειδή νομίζουν ότι δεν υπήρξαν ποτέ πρόγονοι, αλλά μάλλον επειδή έχουν αποφασίσει ότι οι πρόγονοι δεν έχουν καμία θέση στην ταξινομική. Αυτή είναι μια υπερασπίσιμη άποψη όσον αφορά την καθημερινή *πρακτική εφαρμογή* της ταξινομικής. Κανένας κλαδιστής δεν σκितσάρει προγόνους με σάρκα και οστά πάνω στα φυλογενετικά δέντρα, ενώ οι παραδοσιακοί εξελικτικοί ταξινομικοί μερικές φορές το κάνουν αυτό. Οι κλαδιστές όλων των αποχρώσεων αντιμετωπίζουν όλες τις σχέσεις ανάμεσα στα πραγματικά ζώα ως *συγγένειες*, ως θέμα μορφής. Αυτό είναι απόλυτα λογικό. Εκείνο που δεν είναι λογικό είναι να μετατρέπεται αυτή η θέση σε ένα ταμπού ενάντια στην ίδια την *έννοια* των προγόνων, σε ένα ταμπού που απαγορεύει στον ταξινομικό να χρησιμοποιεί τη γλώσσα της προγονικής καταγωγής για να δικαιολογήσει το γεγονός ότι χρησιμοποιεί ιεραρχικά διακλαδιζόμενα δέντρα ως βάση της ταξινόμησής του.

Άφησα τελευταία την πιο παράξενη πλευρά της σχολής του μετασχηματισμένου κλαδισμού. Μερικοί οπαδοί της εν λόγω σχολής δεν αρκέστηκαν στην απόλυτα λογική πεποίθηση ότι η μη χρήση παραδοχών που σχετίζονται με την εξέλιξη και τους προγόνους στην *εφαρμογή* της ταξινομικής έχει ορισμένα πλεονεκτήματα – μια πεποίθηση που μοιράζονται με τους φαινετιστές «μετρητές αποστάσεων». Πέρασαν στην εντελώς αντίθετη πλευρά και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι πρέπει να υπάρχει κάποιο πρόβλημα με την ίδια την εξέλιξη! Η θέση αυτή είναι σχεδόν τόσο αλλόκοτη, ώστε να γίνεται απίστευτη, αλλά μερικοί από

τους κορυφαίους «εκπροσώπους του μετασχηματισμένου κλαδισμού» χαρακτηρίζονται από μια εχθρότητα προς την ίδια την ιδέα της εξέλιξης, ιδιαίτερα τη δαρβινική θεωρία της εξέλιξης. Δύο από αυτούς, οι G. Nelson και N. Platnick, του Αμερικανικού Μουσείου Φυσικής Ιστορίας της Νέας Υόρκης, έφτασαν στο σημείο να γράψουν ότι «ο δαρβινισμός... είναι, με λίγα λόγια, μια θεωρία που δοκιμάστηκε και βρέθηκε εσφαλμένη». Πολύ θα ήθελα να μάθω ποια ήταν αυτή η «δοκιμασία» στην οποία υποβλήθηκε η θεωρία, και ακόμη περισσότερο θα ήθελα να μάθω με ποια εναλλακτική θεωρία εξηγούν οι Nelson και οι Platnick τα φαινόμενα που εξηγεί ο δαρβινισμός, ιδιαίτερα την πολυπλοκότητα των μηχανισμών προσαρμογής.

Αυτή η τοποθέτηση δεν οφείλεται στο γεγονός ότι οι οπαδοί του μετασχηματισμένου κλαδισμού είναι φουνταμενταλιστές δημιουργιστές. Η δική μου ερμηνεία είναι ότι υπερτιμούν τη σπουδαιότητα της ταξινομικής στη βιολογία. Έχουν αποφασίσει, ίσως δίκαια, ότι μπορούν να εφαρμόσουν την ταξινομική καλύτερα αν ξεχάσουν την εξέλιξη και ιδιαίτερα αν δεν χρησιμοποιούν ποτέ την έννοια του προγόνου. Με τον ίδιο τρόπο, ένας ερευνητής των νευρικών κυττάρων, λόγω χάρη, μπορεί να αποφασίσει ότι η εξέλιξη δεν τον βοηθάει στην επιστήμη του. Ο νευρολόγος συμφωνεί ότι τα νευρικά κύτταρα είναι προϊόντα της εξέλιξης, αλλά δεν χρειάζεται να χρησιμοποιήσει αυτό το δεδομένο στην έρευνά του. Πρέπει να ξέρει καλή φυσική και χημεία, αλλά πιστεύει ότι ο δαρβινισμός είναι άσχετος με τις έρευνές του που έχουν ως αντικείμενο τις νευρικές ώσεις. Πρόκειται για μια υπερασπίσιμη άποψη. Εντούτοις, δεν μπορεί να πει κανείς ότι μια θεωρία είναι *εσφαλμένη* επειδή δεν τη χρειάζεται στην καθημερινή πρακτική του συγκεκριμένου επιστημονικού του κλάδου. Θα ισχυριστεί κάτι τέτοιο μόνο αν υπερτιμά τη σπουδαιότητα του δικού του επιστημονικού κλάδου.

Ωστόσο, ακόμη και τότε δεν είναι λογικό. Ένας φυσικός σίγουρα δεν χρειάζεται το δαρβινισμό για να ασχοληθεί με τη φυσική. Μπορεί να πιστεύει ότι η βιολογία είναι μια ασήμαντη επιστήμη σε σύγκριση με τη φυσική. Από αυτό έπεται ότι, κατά τη γνώμη του, ο δαρβινισμός είναι ασήμαντος για την επιστήμη

γενικά. Εντούτοις, δεν μπορεί να συμπεράνει από αυτό λογικά ότι ο δαρβινισμός είναι *εσφαλμένος*! Και όμως, αυτό φαίνεται να κάνουν μερικοί από τους ηγέτες της σχολής του μετασχηματισμένου κλαδισμού. Προσέξτε ότι οι Nelson και Platnick χρησιμοποίησαν αυτήν ακριβώς τη λέξη: «εσφαλμένος». Εννοείται, βέβαια, ότι τα ευαίσθητα μικρόφωνα που ανέφερα στο προηγούμενο κεφάλαιο άκουσαν αμέσως τα λόγια τους, και το αποτέλεσμα ήταν να γνωρίσουν μεγάλη δημοσιότητα. Με τις θέσεις τους κέρδισαν μια επίτιμη θέση στη φουνταμενταλιστική, δημιουργιστική φιλολογία. Όταν ένας κορυφαίος εκπρόσωπος του μετασχηματισμένου κλαδισμού ήρθε πρόσφατα να δώσει μια διάλεξη στο πανεπιστήμιό μου, συγκέντρωσε περισσότερο κόσμο από οποιοδήποτε άλλο ομιλητή εκείνη τη χρονιά! Δεν είναι δύσκολο να καταλάβουμε το γιατί.

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι σχόλια όπως «ο δαρβινισμός... είναι μια θεωρία που δοκιμάστηκε και βρέθηκε εσφαλμένη», όταν προέρχονται από καταξιωμένους βιολόγους που ανήκουν στο προσωπικό ενός σεβαστού εθνικού μουσείου, είναι ό,τι ακριβώς χρειάζονται οι δημιουργιστές και όλοι οι άλλοι που έχουν συμφέρον να διαδίδουν ψεύδη. Αυτός είναι ο μοναδικός λόγος για τον οποίο ταλαιπώρησα τους αναγνώστες μου με το θέμα του μετασχηματισμένου κλαδισμού. Όπως είπε ο Mark Ridley σε πιο ήπιο τόνο, στην κριτική του βιβλίου στο οποίο οι Nelson και Platnick γράφουν ότι ο δαρβινισμός είναι εσφαλμένος, «ποιος θα φανταζόταν πως εκείνο που *ενοούσαν* στην πραγματικότητα ήταν ότι τα προγονικά είδη είναι δύσκολο να απεικονιστούν στην κλαδιστική ταξινόμηση;». Φυσικά, είναι δύσκολο να προσδιορίσουμε την ακριβή ταυτότητα των προγόνων και υπάρχουν βάσιμοι λόγοι για να μην προσπαθήσουμε καν να την προσδιορίσουμε. Αλλά όταν κάνουμε δηλώσεις που ενθαρρύνουν μερικούς να συμπεράνουν ότι *δεν υπήρξαν* ποτέ πρόγονοι, εξευτελίζουμε τη γλώσσα και προδίδουμε την αλήθεια.

Και τώρα πάω έξω να σκάψω στον κήπο μου, ή κάτι τέτοιο.

## ΚΑΤΑΔΙΚΑΣΜΕΝΟΙ ΑΝΤΙΠΑΛΟΙ

Κανένας σοβαρός βιολόγος δεν αμφισβητεί το γεγονός ότι η εξέλιξη έχει συμβεί, ούτε ότι όλα τα έμβια όντα είναι ξαδέρφια μεταξύ τους. Μερικοί βιολόγοι, όμως, έχουν εκφράσει αμφιβολίες για τη συγκεκριμένη θεωρία του Δαρβίνου σχετικά με το πώς συνέβη η εξέλιξη. Μερικές φορές αποδεικνύεται ότι πρόκειται απλώς για μια διαφωνία στις λέξεις. Η θεωρία της εστιγμένης ισορροπίας, για παράδειγμα, μπορεί να παρουσιαστεί σαν αντι-δαρβινική. Όπως υποστήριξα στο Κεφάλαιο 9, όμως, στην πραγματικότητα είναι μια δευτερεύουσα παραλλαγή του δαρβινισμού και δεν έχει θέση σε ένα κεφάλαιο που αφορά τις αντίπαλες θεωρίες. Ωστόσο, υπάρχουν άλλες θεωρίες, που σαφέστατα δεν είναι διαφορετικές μορφές του δαρβινισμού, θεωρίες που αντιτίθενται στο ίδιο το πνεύμα του δαρβινισμού. Αυτές οι αντίπαλες θεωρίες είναι το θέμα αυτού του κεφαλαίου. Περιλαμβάνουν διάφορες μορφές του λεγόμενου λαμαρκισμού, και επίσης άλλες απόψεις, όπως ο «ουδετερισμός», ο «μεταλλακτισμός» και ο δημιουργισμός, που έχουν προβληθεί κατά καιρούς ως εναλλακτικές θεωρίες στη θέση της δαρβινικής επιλογής.

Ο προφανής τρόπος για να επιλέξει κανείς ανάμεσα σε αντίπαλες θεωρίες είναι να εξετάσει τις ενδείξεις. Για παράδειγμα, οι θεωρίες λαμαρκικού τύπου απορρίπτονται παραδοσιακά, και δίκαια, επειδή δεν έχει βρεθεί ποτέ καμία αξιόλογη ένδειξη της ορθότητάς τους. (Παρά τις έντονες προσπάθειες που έχουν κατα-

βληθεί γι' αυτό το σκοπό, και μάλιστα σε μερικές περιπτώσεις από ζηλωτές που δεν δίστασαν να παρουσιάσουν πλαστά στοιχεία.) Σ' αυτό το κεφάλαιο θα ακολουθήσω μια διαφορετική μέθοδο, κυρίως επειδή υπάρχουν τόσα άλλα βιβλία που έλεγξαν τις σχετικές ενδείξεις και κατέληξαν σε συμπεράσματα υπέρ του δαρβινισμού. Αντί να εξετάσω τα στοιχεία που υπάρχουν υπέρ και κατά των αντίπαλων θεωριών, θα υιοθετήσω μια πιο επιφανειακή προσέγγιση. Το επιχείρημά μου θα είναι ότι ο δαρβινισμός αποτελεί τη μοναδική γνωστή θεωρία που είναι κατ' αρχήν ικανή να εξηγήσει ορισμένες όψεις της ζωής. Αν έχω δίκιο, αυτό σημαίνει ότι ακόμη και αν δεν υπήρχαν πραγματικές ενδείξεις υπέρ της δαρβινικής θεωρίας (υπάρχουν, φυσικά), πάλι θα έπρεπε δικαιολογημένα να την προτιμήσουμε από όλες τις αντίπαλες θεωρίες.

Ένας τρόπος για να τονίσω αυτό το σημείο είναι να κάνω μια πρόβλεψη. Προβλέπω πως αν ανακαλυφθεί ποτέ μια μορφή ζωής σε ένα άλλο μέρος του σύμπαντος, όσο παράξενη και διαφορετική κι αν είναι στις λεπτομέρειές της, θα διαπιστωθεί ότι μοιάζει με τη ζωή στη Γη σε ένα βασικό στοιχείο: θα έχει εξελιχθεί με κάποιο είδος δαρβινικής φυσικής επιλογής. Δυστυχώς, κατά πάσα πιθανότητα δεν θα μπορέσουμε να ελέγξουμε αυτή την πρόβλεψη στη διάρκεια της ζωής μας, αλλά δεν παύει αυτή να είναι ένας τρόπος για να τονίσουμε μια σημαντική αλήθεια για τη ζωή στον δικό μας πλανήτη. Η δαρβινική θεωρία είναι κατ' αρχήν ικανή να εξηγήσει τη ζωή. Καμία άλλη θεωρία απ' όσες έχουν προταθεί ποτέ δεν έχει αυτή την ικανότητα. Θα το αποδείξω αυτό αναφέροντας όλες τις γνωστές αντίπαλες θεωρίες και εξετάζοντας, όχι τα στοιχεία που υπάρχουν υπέρ και κατά της καθεμιάς, αλλά πόσο επαρκής είναι, κατ' αρχήν, ως εξήγηση της ζωής.

Πρώτα πρέπει να προσδιορίσω τι σημαίνει η φράση «να εξηγήσει τη ζωή». Φυσικά, τα έμβια όντα έχουν πολλές ιδιότητες, και μερικές από αυτές μπορεί να εξηγούνται από αντίπαλες θεωρίες. Πολλά δεδομένα σχετικά με την κατανομή των πρωτεϊνικών μορίων, όπως είδαμε, μπορεί να οφείλονται μάλλον σε ουδέτερες γενετικές μεταλλάξεις παρά στη δαρβινική επιλογή. Ωστόσο, θέλω να επισημάνω ότι υπάρχει μια συγκεκριμένη ιδιότητα των



έμβιων όντων η οποία μπορεί να εξηγηθεί *μόνο* από τη δαρβινική επιλογή. Αυτή η ιδιότητα αποτελεί και το θέμα του βιβλίου: πρόκειται για την προσαρμοστική πολυπλοκότητα. Οι ζωντανοί οργανισμοί είναι καλά προσαρμοσμένοι για να επιβιώνουν και να αναπαράγονται στο περιβάλλον τους με τρόπους εξαιρετικά πολυάριθμους και στατιστικά απίθανους ώστε να είναι δυνατό να εμφανίστηκαν με ένα μοναδικό τυχαίο θήμα. Χρησιμοποίησα, όπως και ο Paley, το παράδειγμα του ματιού. Δύο ή τρία από τα «καλοσχεδιασμένα» χαρακτηριστικά του ματιού θα μπορούσαν ίσως να εμφανιστούν μέσα από ένα μοναδικό και τυχαίο συμβάν. Αλλά ο τεράστιος αριθμός των αλληλένδετων τμημάτων, που είναι όλα καλά προσαρμοσμένα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η όραση, και είναι επίσης καλά προσαρμοσμένα μεταξύ τους, απαιτεί ένα ιδιαίτερο είδος εξήγησης που να ξεφεύγει από τα όρια του τυχαίου. Η δαρβινική εξήγηση, φυσικά, χρησιμοποιεί κι αυτή το τυχαίο, με τη μορφή των μεταλλάξεων. Εντούτοις, το τυχαίο φιλτράρεται συσσωρευτικά από την επιλογή, θήμα προς θήμα, στη διάρκεια πολλών γενεών. Σε άλλα κεφάλαια έδειξα ότι αυτή η θεωρία είναι ικανή να δώσει μια ικανοποιητική εξήγηση της προσαρμοστικής πολυπλοκότητας. Σ' αυτό το κεφάλαιο θα υποστηρίξω πως όλες οι άλλες γνωστές θεωρίες *δεν* είναι ικανές να το κάνουν αυτό.

Ας πάρουμε πρώτα τον κυριότερο ιστορικό αντίπαλο του δαρβινισμού, το λαμαρκισμό. Όταν προτάθηκε για πρώτη φορά ο λαμαρκισμός, στις αρχές του 19ου αιώνα, δεν εμφανίστηκε ως αντίπαλος του δαρβινισμού, γιατί ο δαρβινισμός δεν υπήρχε ακόμη. Ο Λαμάρκ προπορευόταν της εποχής του. Ήταν ένας από εκείνους τους διανοουμένους του 18ου αιώνα που μιλούσε υπέρ της εξέλιξης. Σ' αυτό το σημείο είχε δίκιο και θα του άξιζε να τον τιμούμε γι' αυτό και μόνο, μαζί με τον Έρασμο Δαρβίνο, τον παππού του Καρόλου Δαρβίνου, και άλλους. Ο Λαμάρκ πρότεινε επίσης την καλύτερη θεωρία της εποχής του για το μηχανισμό της εξέλιξης, αλλά δεν υπάρχει λόγος να θεωρήσουμε ότι, αν υπήρχε τότε η δαρβινική θεωρία, θα την είχε απορρίψει. Δεν υπήρχε όμως, και ο Λαμάρκ είχε την ατυχία, τουλάχιστον στον αγγλόφωνο κόσμο, να δοθεί το όνομά του σε ένα λάθος –στη

θεωρία του για το μηχανισμό της εξέλιξης-, αντί να γίνει γνωστός για τη σωστή του πίστη στο γεγονός ότι υπήρξε εξέλιξη. Το βιβλίο αυτό δεν είναι ιστορικό και δεν θα προσπαθήσω να κάνω μια διατριβή για τις απόψεις του ίδιου του Λαμάρκ. Οι αντιλήψεις του είχαν μια δόση μυστικισμού. Για παράδειγμα, πίστευε ότι η εξέλιξη αποτελεί μια ανοδική πορεία στη λεγόμενη κλίμακα της ζωής, μια αντίληψη που υπάρχει ακόμη και σήμερα, και έλεγε ότι τα ζώα πασχίζουν, σάμπως, κατά μία έννοια, να θέλουν συνειδητά να εξελιχθούν. Θα πάρω από το λαμαρκισμό εκείνα τα μη μυστικιστικά στοιχεία που, με την πρώτη ματιά τουλάχιστον, φαίνονται να έχουν κάποιες πιθανότητες να αποτελούν μια λύση διαφορετική από το δαρβινισμό. Τα στοιχεία αυτά, τα μόνα που υιοθετούν οι σύγχρονοι «νεολαμαρκιστές», είναι βασικά δύο: η κληρονομικότητα των επίκτητων χαρακτηριστικών και η αρχή της χρήσης και της αχρησίας.

Σύμφωνα με την αρχή της χρήσης και της αχρησίας, τα μέρη του σώματος ενός οργανισμού που χρησιμοποιούνται, γίνονται ισχυρότερα, ενώ εκείνα που δεν χρησιμοποιούνται τείνουν να εξασθενούν. Έχει παρατηρηθεί ότι όταν εξασκούμε κάποιους συγκεκριμένους μυς, αυτοί αναπτύσσονται, ενώ οι μυς που δεν χρησιμοποιούνται ποτέ ατροφούν. Εξετάζοντας το σώμα ενός ανθρώπου μπορούμε να καταλάβουμε ποιους μυς χρησιμοποιεί και ποιους όχι. Μπορεί μάλιστα να είμαστε σε θέση να μαντέψουμε το επάγγελμα ή τον τρόπο της ψυχαγωγίας του. Οι φανατικοί του λεγόμενου «μπόντι μπιλντινγκ» χρησιμοποιούν την αρχή της χρήσης και της αχρησίας για να «χτίσουν» το σώμα τους, σχεδόν σαν να είναι ένα γλυπτό, και να του δώσουν όποια αφύσικη μορφή θεωρείται της μόδας σ' αυτή την παράξενη υποκουλτούρα. Οι μύες δεν είναι τα μόνα μέρη του σώματος που ανταποκρίνονται μ' αυτό τον τρόπο στη χρήση. Αν περπατάμε ξυπόλυτοι, το δέρμα των πελμάτων γίνεται πιο σκληρό. Είναι εύκολο να ξεχωρίσουμε έναν αγρότη από έναν τραπεζικό υπάλληλο κοιτάζοντας μόνο τα χέρια τους. Τα χέρια του αγρότη είναι τραχιά και γεμάτα ρόζους από τη σκληρή δουλειά. Από την άλλη πλευρά, τα χέρια του τραπεζικού υπαλλήλου, αν έχουν κανένα ρόζο, θα είναι απλώς ένα σκληρό σημείο στο δάχτυλο με το οποίο γράφει.

Η αρχή της χρήσης και της αχρησίας επιτρέπει στα ζώα να αποκτούν προοδευτικά μεγαλύτερες ικανότητες επιβίωσης στη διάρκεια της ζωής τους, ως αποτέλεσμα του γεγονότος ότι ζουν σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Οι άνθρωποι, ανάλογα με το βαθμό της έκθεσής τους στο φως του ήλιου, αναπτύσσουν ένα χρώμα στο δέρμα τους που τους επιτρέπει να επιζήσουν καλύτερα στις συγκεκριμένες τοπικές συνθήκες. Το πολύ ηλιακό φως είναι επικίνδυνο. Αυτοί που κάνουν πολλή ηλιοθεραπεία και έχουν εξαιρετικά λευκό δέρμα κινδυνεύουν από καρκίνο του δέρματος. Από την άλλη πλευρά, η περιορισμένη έκθεση στο φως του ήλιου προκαλεί ανεπάρκεια βιταμίνης D και ραχίτιδα, που μερικές φορές εμφανίζεται σε μαύρα παιδιά που ζουν στη Σκανδιναβία. Η καστανή χρωστική ουσία, η μελανίνη, που συντίθεται κάτω από την επίδραση του ηλιακού φωτός, δημιουργεί ένα παραπέτασμα που προστατεύει τους ιστούς από τις βλαβερές επιπτώσεις του ηλιακού φωτός. Αν ένας ηλιοκαμένος άνθρωπος μετακομίσει σε ένα μέρος με λιγότερο ήλιο, η μελανίνη εξαφανίζεται, ώστε να μπορεί να ωφεληθεί από τον λίγο ήλιο που υπάρχει. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί μια περίπτωση εφαρμογής της αρχής της χρήσης και της αχρησίας: το δέρμα γίνεται σκούρο όταν «χρησιμοποιείται», και ξαναγίνεται λευκό όταν «δεν χρησιμοποιείται». Μερικές τροπικές φυλές, φυσικά, κληρονομούν ένα παχύ στρώμα μελανίνης ανεξάρτητα από το αν τα άτομα εκτίθενται στον ήλιο.

Ας περάσουμε τώρα στην άλλη βασική αρχή του λαμαρκισμού, την ιδέα ότι αυτά τα επίκτητα χαρακτηριστικά κληρονομούνται κατόπιν από τις μελλοντικές γενιές. Όλα τα δεδομένα δείχνουν ότι αυτή η ιδέα είναι εντελώς λαθεμένη, αλλά αυτή ήταν η αντίληψη που κυριαρχούσε στο μεγαλύτερο μέρος της ανθρώπινης ιστορίας. Ο Λαμάρκ δεν την επινόησε, απλώς υιοθέτησε τη «λαϊκή σοφία» της εποχής του. Σε μερικούς κύκλους την πιστεύουν ακόμη. Η μητέρα μου είχε ένα σκύλο που μερικές φορές έκανε πως κουτσαίνει, κρατώντας ψηλά το ένα πίσω πόδι και περπατώντας με τα άλλα τρία. Μια γειτόνισσα είχε έναν πιο ηλικιωμένο σκύλο, που δυστυχώς είχε χάσει το ένα πίσω πόδι του σε τροχαίο ατύχημα. Ήταν σίγουρη ότι ο σκύλος της μητέρας μου ήταν γιος του δικού της σκύλου, και η απόδειξη ήταν ότι

προφανώς είχε κληρονομήσει το κουτσό του περπάτημα. Η λαϊκή σοφία και τα παραμύθια είναι γεμάτα από παρόμοιους θρύλους. Πολλοί άνθρωποι πιστεύουν, ή θα ήθελαν να πιστεύουν, στην κληρονομικότητα των επίκτητων χαρακτηριστικών. Μέχρι τον αιώνα μας αυτή ήταν η επικρατέστερη θεωρία της κληρονομικότητας, ακόμη και ανάμεσα σε σοβαρούς βιολόγους. Ο ίδιος ο Δαρβίνος την πίστευε, αλλά δεν αποτελεί μέρος της εξελικτικής του θεωρίας, γι' αυτό και το όνομά του δεν έχει συνδεθεί μ' αυτήν.

Αν βάλουμε την κληρονομικότητα των επίκτητων χαρακτηριστικών μαζί με την αρχή της χρήσης και της αχρησίας, έχουμε ένα συνδυασμό που φαίνεται να αποτελεί μια καλή συνταγή για εξελικτική βελτίωση. Αυτή η συνταγή ονομάζεται συνήθως λαμαρκιανή θεωρία της εξέλιξης. Αν διαδοχικές γενιές σκληραίνουν τα πέλματά τους περπατώντας ξυπόλυτες, λείει η θεωρία, κάθε γενιά θα έχει λίγο πιο σκληρό δέρμα από την προηγούμενη, και έτσι θα διαθέτει ένα πλεονέκτημα σε σύγκριση με αυτήν. Τελικά, τα μωρά θα γεννιούνται έχοντας ήδη πιο σκληρά πέλματα (πράγμα που συμβαίνει, αλλά για διαφορετικούς λόγους, όπως θα δούμε). Αν διαδοχικές γενιές είναι εκτεθειμένες στον τροπικό ήλιο, το δέρμα τους θα γίνεται όλο και πιο μελαμψό, αφού, σύμφωνα με τη λαμαρκιανή θεωρία, κάθε γενιά θα κληρονομεί ένα μέρος από το «μαύρισμα» της προηγούμενης. Με τον καιρό, οι άνθρωποι αυτοί θα γεννιούνται μαύροι (πράγμα που, και πάλι, συμβαίνει, αλλά όχι για τους λόγους τους οποίους υποστηρίζει η θεωρία).

Τα σχετικά θρυλικά παραδείγματα είναι τα μπράτσα του σιδηρουργού και ο λαιμός της καμηλοπάρδαλης. Στα χωριά όπου ο σιδηρουργός είχε κληρονομήσει την τέχνη του από τον πατέρα του, τον παππού του και τον προπάππο του, πίστευαν ότι κληρονομούσε και τους καλογυμνασμένους μυς των προγόνων του. Και όχι μόνο τους κληρονομούσε, αλλά τους ανέπτυξε ακόμη περισσότερο με τη δική του δουλειά και μεταβίβαζε αυτές τις βελτιώσεις στο γιο του. Στη δεύτερη περίπτωση, οι προγονικές καμηλοπαρδάλεις με τον κοντό λαιμό ήθελαν απελπισμένα να φτάσουν τα φύλλα των δέντρων που βρίσκονταν ψηλά. Πάσχιζαν με

όλη τους τη δύναμη να τα φτάσουν, τεντώνοντας τους μυς και τα οστά του λαιμού. Έτσι, κάθε γενιά είχε λίγο μακρύτερο λαιμό από την προηγούμενη, και μεταβίβαζε αυτό το μικρό πλεονέκτημα στην επόμενη. Όλη η εξελικτική πρόοδος, σύμφωνα με την καθαρή λαμαρκιανή θεωρία, ακολουθεί αυτό το πρότυπο. Το ζώο πασχίζει για κάτι που χρειάζεται. Το αποτέλεσμα είναι ότι τα μέρη του σώματος που χρησιμοποιούνται σ' αυτή την προσπάθεια μεγαλώνουν ή αλλάζουν γενικά προς την κατάλληλη κατεύθυνση. Η αλλαγή κληρονομείται από την επόμενη γενιά και η διαδικασία συνεχίζεται. Αυτή η θεωρία έχει το πλεονέκτημα ότι είναι συσσωρευτική, ένα ουσιώδες συστατικό που πρέπει να έχει κάθε εξελικτική θεωρία για να εκπληρώσει το σκοπό της στην κοσμοθεωρία μας, όπως είδαμε.

Η λαμαρκιανή θεωρία φαίνεται ότι ασκεί μεγάλη συναισθηματική έλξη σε ορισμένα είδη διανοουμένων, καθώς και στους μη επιστήμονες. Κάποτε με πλησίασε ένας συνάδελφος, ένας διακεκριμένος μαρξιστής ιστορικός, που είναι πολύ καλλιεργημένος και μορφωμένος άνθρωπος. Όπως μου είπε, γνώριζε ότι όλα τα δεδομένα φαίνεται να στρέφονται κατά της λαμαρκιανής θεωρίας, αλλά με ρώτησε αν υπάρχει καμιά ελπίδα να είναι σωστή. Όταν του είπα ότι κατά τη γνώμη μου δεν υπάρχει τέτοια περίπτωση, δέχτηκε την απάντησή μου με ειλικρινή λύπη, λέγοντας ότι ήθελε να είναι σωστή η λαμαρκιανή θεωρία για ιδεολογικούς λόγους, αφού δίνει τόσο μεγάλες ελπίδες για τη βελτίωση της ανθρωπότητας. Ο George Bernard Shaw, σε έναν από τους τεράστιους προλόγους του, στο βιβλίο του *Back to Methuselah* (Πίσω στον Μαθουσαλά), υποστηρίζει με πάθος την κληρονομικότητα των επίκτητων χαρακτηριστικών. Τα επιχειρήματά του δεν στηρίζονται σε βιολογικά δεδομένα, αφού θα παραδεχόταν χωρίς δισταγμό ότι δεν διαθέτει βιολογικές γνώσεις· βασίζονται σε μια συναισθηματική απέχθεια για τις συνέπειες του δαρβινισμού, αυτής της «σειράς των ατυχημάτων»:

φαίνεται απλός, γιατί στην αρχή δεν καταλαβαίνεις τι συνεπάγεται. Αλλά όταν συνειδητοποιήσεις τη σημασία του, η καρδιά σου βουλιάζει σε ένα σωρό άμμου μέσα σου. Έχει μια φρικτή μοιρολατρία, έναν

απαίσιο και επικατάρατο υποβίθασμό της ομορφιάς και της ευφυΐας, της δύναμης και του σκοπού, της τιμής και της ευγενικής φιλοδοξίας.

Ο Arthur Koestler ήταν ένας άλλος διακεκριμένος άνθρωπος των γραμμάτων που δεν μπορούσε να ανεχτεί αυτά που θεωρούσε ότι είναι οι λογικές επιπτώσεις του δαρβινισμού. Όπως επισήμανε σαρκαστικά αλλά και εύστοχα ο Stephen Gould, στα τελευταία έξι βιβλία του ο Koestler διεξήγαγε μια «εκστρατεία ενάντια στις δικές του παρανοήσεις σχετικά με το δαρβινισμό». Ο Koestler κατέφυγε σε μια εναλλακτική θεωρία που ποτέ δεν μπόρεσα να καταλάβω εντελώς, αλλά που μπορεί να ερμηνευτεί σαν μια συγκεχυμένη μορφή του λαμαρκισμού.

Ο Koestler και ο Shaw ήταν ατομικιστές που σκέφτονταν για τον εαυτό τους. Οι εκκεντρικές τους απόψεις για την εξέλιξη δεν είχαν μεγάλη επιρροή, αν και θυμάμαι, προς μεγάλη μου ντροπή, ότι στην εφηβική μου ηλικία καθυστέρησα τουλάχιστον ένα χρόνο να δεχτώ το δαρβινισμό, επειδή ήμουν επηρεασμένος από τις πειστικές ρητορείες του Shaw στο *Πίσω στον Μαθουσαάλα*. Η συναισθηματική έλξη του λαμαρκισμού και η αντίστοιχη συναισθηματική άπωση του δαρβινισμού είχαν μερικές φορές σοβαρότερες συνέπειες, όταν συνδυάστηκαν με ισχυρές ιδεολογίες που χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα της σκέψης. Ο T.D. Lysenko ήταν ένας ασήμαντος βελτιωτής φυτών που δεν είχε διακριθεί πουθενά εκτός από την πολιτική. Ο αντιμεντελιανός φανατισμός του και η ένθερμη δογματική του πίστη στην κληρονομικότητα των επίκτητων χαρακτηριστικών δεν θα είχε δημιουργήσει κανένα πρόβλημα στις περισσότερες πολιτισμένες χώρες, δυστυχώς όμως έτυχε να ζει σε μια χώρα όπου η ιδεολογία ήταν σημαντικότερη από την επιστημονική αλήθεια. Το 1940 διορίστηκε διευθυντής του Ινστιτούτου Γενετικής της Σοβιετικής Ένωσης και απέκτησε τεράστια δύναμη. Οι απόψεις του για τη γενετική, αν και φανερόνουν πλήρη αμάθεια, ήταν οι μόνες που διδάσκονταν στα σοβιετικά σχολεία επί μία γενιά, με αποτέλεσμα να υποστεί ανεπανόρθωτες ζημιές η σοβιετική γεωργία. Πολλοί διακεκριμένοι σοβιετικοί γενετιστές εξορίστηκαν ή φυλακίστηκαν. Για παράδειγμα, ο N.I. Vavilov, ένας γενετιστής παγκοσμίου φήμης,



πέθανε από υποσιτισμό σε ένα κελί φυλακής που δεν είχε ούτε παράθυρα, ύστερα από μια παρατεταμένη δίκη με γελοίες προκατασκευασμένες κατηγορίες, όπως ότι ήταν «κατάσκοπος των Βρετανών».

Δεν είναι δυνατό να αποδείξουμε ότι τα επίκτητα χαρακτηριστικά δεν κληρονομούνται ποτέ. Για τον ίδιο λόγο δεν μπορούμε ποτέ να αποδείξουμε ότι δεν υπάρχουν νεράιδες. Το μόνο που μπορούμε να πούμε είναι ότι δεν έχει επιβεβαιωθεί καμία εμφάνιση νεράιδας και ότι οι υποτιθέμενες φωτογραφίες που έχουν παρουσιαστεί είναι ολοφάνερα πλαστές. Το ίδιο ισχύει και για τα υποτιθέμενα ίχνη από ανθρώπινα πέλματα στις περιοχές των δεινοσαύρων στο Τέξας. Αν κάνω μια κατηγορηματική δήλωση ότι δεν υπάρχουν νεράιδες, υπάρχει πάντοτε η πιθανότητα μια μέρα να δω ένα ανθρώπακι με διάφανα φτερά σε κάποιο σημείο του κήπου μου. Παρόμοια είναι και η θέση της θεωρίας της κληρονομικότητας των επίκτητων χαρακτηριστικών. Όλες σχεδόν οι προσπάθειες που καταβλήθηκαν για να αποδειχτεί αυτό το φαινόμενο απλούστατα απέτυχαν. Από εκείνες που πέτυχαν φαινομενικά, μερικές αποδείχτηκαν πλαστές. Ένα τέτοιο παράδειγμα ήταν η περιβόητη περίπτωση της έγχυσης σινικής μελάνης κάτω από το δέρμα του αλύτη (που λέγεται και βάτραχος μαιευτήρ) η οποία περιγράφεται στο ομώνυμο βιβλίο του Arthur Koestler. Οι υπόλοιπες προσπάθειες στάθηκε αδύνατο να επαναληφθούν από άλλους ερευνητές. Παρ' όλα αυτά, όπως μπορεί κάποιος να δει κάποτε μια νεράιδα στον κήπο του σε μια στιγμή που θα είναι νηφάλιος και θα κρατά μια φωτογραφική μηχανή, έτσι είναι δυνατό μια μέρα κάποιος να αποδείξει ότι τα επίκτητα χαρακτηριστικά μπορούν να κληρονομηθούν.

Εδώ όμως μπορούμε να προσθέσουμε κάτι. Υπάρχουν πράγματα που δεν τα έχει δει κανείς αποδεδειγμένα, αλλά είναι πιστευτά στο βαθμό που δεν θέτουν υπό αμφισβήτηση όλα όσα γνωρίζουμε. Δεν έχω δει καμιά βάσιμη απόδειξη της θεωρίας ότι σήμερα ζουν πλησιόσαυροι στο Λοχ Νες, αλλά αν βρισκόταν ένας πλησιόσαυρος εκεί δεν θα κατέρρεε η κοσμοθεωρία μου. Θα ξαφνιαζόμουν (και θα χαιρόμουν), γιατί δεν υπάρχει κανένα απολίθωμα πλησιόσαυρου για τα τελευταία 60 εκατομμύρια χρόνια και φαι-

νεται απίθανο να έχει επιζηήσει ένας μικρός πληθυσμός των εν λόγω ζώων για ένα τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα. Εδώ όμως δεν διακυβεύονται σημαντικές επιστημονικές αρχές: πρόκειται απλώς για ένα αντικειμενικό γεγονός. Από την άλλη πλευρά, η επιστήμη έχει επιτύχει μια καλή κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του σύμπαντος, μια κατανόηση που παρέχει ικανοποιητική εξήγηση για ένα τεράστιο φάσμα φαινομένων, και μερικοί ισχυρισμοί θα ήταν μη συμβιβαστοί –ή τουλάχιστον, πολύ δύσκολα συμβιβαστοί– με αυτήν. Αυτό ισχύει, λόγου χάρη, για έναν ισχυρισμό που εκφράζεται μερικές φορές στηριζόμενος σε μια ψεύτικη βιβλική βάση, ότι το σύμπαν δημιουργήθηκε περίπου πριν από 6.000 χρόνια. Αυτή η θεωρία δεν είναι απλώς αναπόδεικτη: είναι μη συμβιβαστή όχι μόνο με την ορθόδοξη βιολογία και γεωλογία, αλλά και με τη φυσική θεωρία της ραδιενέργειας και την κοσμολογία. (Τα ουράνια σώματα που απέχουν περισσότερο από 6.000 έτη φωτός δεν θα έπρεπε να είναι ορατά, αν δεν υπήρχε τίποτε με ηλικία μεγαλύτερη από 6.000 χρόνια. Αυτό σημαίνει ότι δεν θα έπρεπε να βλέπουμε το Γαλαξία μας, ούτε και κανέναν άλλο από τους 100 δισεκατομμύρια γαλαξίες των οποίων την ύπαρξη αναγνωρίζει η σύγχρονη κοσμολογία.)

Στην ιστορία της επιστήμης έχουν υπάρξει στιγμές κατά τις οποίες ολόκληρο το ορθόδοξο επιστημονικό οικοδόμημα ανατράπηκε δίκαια από ένα μοναδικό «άβολο» γεγονός. Θα ήταν αλαζονικό να υποστηρίζουμε ότι τέτοιες ανατροπές δεν πρόκειται να ξανασυμβούν ποτέ. Αλλά φυσικά, και δικαιολογημένα, για να δεχτούμε ένα γεγονός που θα γκρέμιζε ένα σημαντικό και επιτυχημένο επιστημονικό οικοδόμημα, απαιτούμε ένα υψηλότερο επίπεδο τεκμηρίωσης από αυτό που θα απαιτούσαμε για να δεχτούμε ένα γεγονός το οποίο, έστω κι αν μας εκπλήσσει, μπορεί ωστόσο να ενσωματωθεί εύκολα στις υπάρχουσες επιστημονικές αντιλήψεις. Για να πιστέψω ότι υπάρχει ένας πλησιόσαυρος στο Λοχ Νες, θα δεχόμουν αυτό που θα έβλεπα. Αν έβλεπα έναν άνθρωπο να υψώνεται στον αέρα με τηλεκινησία, πριν αποφασίσω να απορρίψω ολόκληρη τη φυσική, θα υποψιαζόμουν ότι έχω πέσει θύμα παραίσθησης ή κάποιου ταχυδακτυλουργικού τεχνάσματος. Υπάρχει ένα συνεχές από θεωρίες που μάλλον δεν

είναι σωστές αλλά θα μπορούσαν εύκολα να είναι, μέχρι θεωρίες που αν ήταν σωστές θα ανατρέπονταν μεγάλα και επιτυχημένα οικοδομήματα ορθόδοξης επιστήμης.

Πού βρίσκεται ο λαμαρκισμός μέσα σ' αυτό το συνεχές; Συνήθως τον παρουσιάζουν να βρίσκεται προς την πλευρά των θεωριών που δεν είναι σωστές αλλά θα μπορούσαν εύκολα να είναι. Θέλω να υποστηρίξω ότι ο λαμαρκισμός, ή πιο συγκεκριμένα η κληρονομικότητα των επίκτητων χαρακτηριστικών, αν και δεν ανήκει στην ίδια κατηγορία με την ανύψωση διά της τηλεκινήσι-ας, βρίσκεται πιο κοντά στην πλευρά της «ανύψωσης» παρά στην πλευρά του «τέρατος του Λοχ Νες». Η θεωρία για την κληρονομικότητα των επίκτητων χαρακτηριστικών δεν είναι από εκείνες που εύκολα θα μπορούσαν να είναι σωστές αλλά που μάλλον δεν είναι. Θα υποστηρίξω ότι θα μπορούσε να είναι σωστή μόνο αν ανατρεπόταν μια από τις σημαντικότερες και πιο επιτυχημένες αρχές της εμβρυολογίας. Επομένως, ο λαμαρκισμός πρέπει να αντιμετωπιστεί με ένα υψηλότερο επίπεδο σκεπτικισμού από αυτό με το οποίο θα αντιμετωπίζαμε την περίπτωση του «τέρατος του Λοχ Νες». Αλλά ποια είναι αυτή η γενικά αποδεκτή και επιτυχής εμβρυολογική αρχή που θα ανατρεπόταν αν δεχόμασταν το λαμαρκισμό; Για να απαντήσουμε σ' αυτό το ερώτημα θα χρειαστούν μερικές εξηγήσεις που μπορεί να φανούν σαν μια παρέκβαση, αλλά ο σκοπός τους θα γίνει φανερός στο τέλος. Και μην ξεχνάτε ότι δεν έχουμε αναπτύξει ακόμη το επιχείρημα ότι ο λαμαρκισμός, ακόμη κι αν *ισχυε*, δεν θα μπορούσε να εξηγήσει την εξέλιξη πολύπλοκων προσαρμοστικών μηχανισμών.

Το πεδίο που μας ενδιαφέρει, λοιπόν, είναι η εμβρυολογία. Από παλιά υπήρχαν δύο διαφορετικές θεωρίες που εξηγούσαν με ποιον τρόπο ένα και μοναδικό κύτταρο μπορεί να μετατραπεί σε έναν ενήλικο οργανισμό. Τα επίσημα ονόματα των δύο θεωριών είναι *προσχηματισμός* και *επιγένεση*, αλλά τις σύγχρονες μορφές τους θα τις ονομάσω «θεωρία του σχεδίου» και «θεωρία της συνταγής». Οι πρώτοι οπαδοί της θεωρίας τους προσχηματισμού πίστευαν ότι το ενήλικο σώμα είναι *προσχηματισμένο* μέσα στο ένα κύτταρο από το οποίο επρόκειτο να αναπτυχθεί. Ένας από αυτούς, μάλιστα, φαντάστηκε ότι είδε με το μικροσκόπιό του έναν

μικροσκοπικό άνθρωπο –ένα «ανθρωπάριο», όπως ονομάστηκε– κουλουριασμένο μέσα σε ένα σπερματοζώαριο (όχι ωάριο!). Η εμβρυϊκή ανάπτυξη, γι' αυτόν, ήταν απλώς μια διαδικασία ανάπτυξης. Όλα τα τμήματα του ενήλικου σώματος βρίσκονταν ήδη στη θέση τους, προσχηματισμένα. Θα πρέπει να θεωρήσουμε ότι κάθε αρσενικό ανθρωπάριο είχε μέσα του κουλουριασμένα τα δικά του υπερμικροσκοπικά σπερματοζώαρια, μέσα στα οποία βρίσκονταν κουλουριασμένα τα δικά του παιδιά, και μέσα στο καθένα από αυτά υπήρχαν κουλουριασμένα τα εγγόνια του, και ούτω καθεξής... Πέρα από το πρόβλημα της επ' άπειρον αναδρομής, αυτή η αφελής θεωρία αγνοεί το γεγονός, που δεν ήταν λιγότερο φανερό τον 17ο αιώνα απ' ό,τι είναι σήμερα, ότι τα παιδιά κληρονομούν χαρακτηριστικά τόσο από τη μητέρα όσο και από τον πατέρα. Για να είμαστε δίκαιοι, θα πρέπει να πούμε ότι υπήρχαν και άλλοι οπαδοί της θεωρίας του προσχηματισμού, οι «ωοϊστές», οι οποίοι ήταν μάλλον περισσότεροι από τους «σπερματιστές», και πίστευαν ότι ο ενήλικος είναι προσχηματισμένος μέσα στο ωάριο και όχι μέσα στο σπερματοζώαριο. Ωστόσο, και ο «ωοϊσμός» χωλαίνει όσον αφορά τα δύο προβλήματα που αφήνει άλυτα και ο «σπερματισμός».

Η σύγχρονη θεωρία του προσχηματισμού –η θεωρία του σχεδίου– δεν χωλαίνει σε κανένα από αυτά τα δύο προβλήματα, αλλά είναι και πάλι λαθεμένη. Η εν λόγω θεωρία υποστηρίζει ότι το DNA ενός γονιμοποιημένου ωαρίου ισοδυναμεί με ένα σχέδιο του ενήλικου σώματος. Το σχέδιο είναι μια μικρογραφία του πραγματικού αντικειμένου. Το πραγματικό αντικείμενο –σπίτι, αυτοκίνητο, ή οτιδήποτε άλλο– έχει τρεις διαστάσεις, ενώ το σχέδιό έχει δύο. Είναι δυνατό να απεικονίσουμε ένα τρισδιάστατο αντικείμενο, π.χ. ένα κτίριο, με μια σειρά από δισδιάστατες «φέτες»: μια κάτοψη για κάθε όροφο, διάφορες πλάγιες όψεις, κ.λπ. Αυτή η μείωση των διαστάσεων γίνεται για λόγους ευκολίας. Οι αρχιτέκτονες θα μπορούσαν να δίνουν στους εργολάβους τρισδιάστατες ξύλινες μακέτες των κτιρίων, αλλά μια σειρά από δισδιάστατα σχεδιαγράμματα πάνω σε χαρτί μεταφέρονται πιο εύκολα σε χαρτοφύλακες, διορθώνονται πιο εύκολα και είναι πιο εύκολο να τα συμβουλευτεί κανείς κατά την εργασία.

Οι διαστάσεις πρέπει να μειωθούν και πάλι, δηλαδή να φτάσουμε σε μία διάσταση, αν θέλουμε να αποθηκεύσουμε τα σχέδια στον παλμοκόδικα ενός υπολογιστή και να τα μεταδώσουμε, για παράδειγμα, μέσω τηλεφωνικής γραμμής σε ένα άλλο μέρος της χώρας. Αυτό γίνεται εύκολα με την ανακωδίκευση κάθε διαστάτου σχεδίου, έτσι ώστε να μετατραπεί σε μια μονοδιάστατη «σάρωση». Οι εικόνες της τηλεόρασης κωδικοούνται κατ' αυτό τον τρόπο για να μεταδοθούν από τους τηλεοπτικούς πομπούς. Και πάλι, η συμπίεση των διαστάσεων γίνεται με μια κωδικοποιητική μέθοδο. Το σημαντικό είναι ότι υπάρχει και πάλι μια αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία ανάμεσα στο σχέδιο και στο κτίριο. Κάθε τμήμα του σχεδίου αντιστοιχεί σε ένα τμήμα του κτιρίου. Κατά μία έννοια, το σχέδιο είναι ένα μικρό «προσχηματισμένο» κτίριο, αν και αυτή η «μικρογραφία» μπορεί να είναι κωδικοποιημένη σε λιγότερες διαστάσεις από εκείνες του κτιρίου.

Ο λόγος για τον οποίο αναφέρομαι στη μείωση των διαστάσεων είναι, φυσικά, ότι το DNA αποτελεί έναν μονοδιάστατο κώδικα. Όπως είναι θεωρητικά δυνατό να μεταδώσουμε ένα υπό κλίμακα μοντέλο ενός κτιρίου διαμέσου μιας μονοδιάστατης τηλεφωνικής γραμμής –δηλαδή να μεταδώσουμε μια σειρά από ψηφιοποιημένα σχέδια– έτσι είναι θεωρητικά δυνατό να μεταδοθεί και ένα υπό κλίμακα σώμα διαμέσου του μονοδιάστατου ψηφιακού κώδικα του DNA. Αυτό δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα. Αν συνέβαινε, όμως, θα λέγαμε δικαιολογημένα ότι η σύγχρονη μοριακή βιολογία έχει επαληθεύσει την παλιά θεωρία του προσχηματισμού. Και τώρα ας εξετάσουμε την άλλη μεγάλη θεωρία της εμβρυολογίας, την επιγένεση, τη «θεωρία της συνταγής».

Μια συνταγή που θρίσκουμε σε ένα βιβλίο μαγειρικής δεν είναι με καμία έννοια ένα σχέδιο για το κέικ που θα βγει τελικά από το φούρνο. Αυτό δεν συμβαίνει επειδή η συνταγή είναι μια μονοδιάστατη σειρά λέξεων, ενώ το κέικ είναι ένα τρισδιάστατο αντικείμενο. Όπως έχουμε δει, είναι δυνατό, με τη διαδικασία της σάρωσης, να μετατρέψουμε ένα υπό κλίμακα ομοίωμα σε έναν μονοδιάστατο κώδικα. Αλλά μια συνταγή δεν είναι ομοίωμα υπό κλίμακα, δεν είναι μια περιγραφή ενός τελειωμένου κέικ με την έννοια της αμφιμονοσήμαντης απεικόνισης. Η συνταγή είναι ένα

σύνολο από *οδηγίες* που, αν τις εκτελέσουμε με τη σωστή σειρά, θα οδηγήσει στη δημιουργία ενός κέικ. Ένα γνήσιο μονοδιάστατα κωδικευμένο σχέδιο του κέικ θα ήταν μια σειρά από σαρώσεις του κέικ, σαν να περνά επανειλημμένα από μέσα του μια ακίδα καταγραφής σε διαδοχικές γραμμές, έτσι ώστε να το καλύψει ολόκληρο. Έτσι θα καταγραφόταν με κάποιο κωδικό σύστημα το άμεσο περιβάλλον της μύτης της ακίδας σε διαδοχικά διαστήματα ενός χιλιοστού. Για παράδειγμα, από τα γραμμικά αυτά δεδομένα θα μπορούσαμε να θρούμε τη θέση κάθε σταφίδας και κάθε ψίχουλου. Θα υπήρχε μια αυστηρή αμφιμονοσήμαντη απεικόνιση ανάμεσα σε κάθε σημείο του κέικ και στο αντίστοιχο σημείο του σχεδίου. Προφανώς σε μια συνταγή δεν συμβαίνει τίποτε τέτοιο. Δεν υπάρχει αμφιμονοσήμαντη απεικόνιση ανάμεσα στα σημεία του κέικ και τις λέξεις ή τα γράμματα της συνταγής. Αν οι λέξεις της συνταγής αντιστοιχούν σε κάτι, αυτό είναι όχι τα σημεία του τελειωμένου κέικ, αλλά τα βήματα της διαδικασίας παρασκευής του.

Πρέπει να επισημάνουμε ότι δεν ξέρουμε ακόμη τα πάντα –ή, αν θέλετε, δεν ξέρουμε τα περισσότερα πράγματα– για τον τρόπο με τον οποίο αναπτύσσονται τα ζώα από ένα γονιμοποιημένο ωάριο. Εντούτοις, έχουμε πολύ ισχυρές ενδείξεις ότι τα γονίδια μοιάζουν πολύ περισσότερο με συνταγή παρά με σχέδιο. Πραγματικά, το ανάλογο της συνταγής είναι πολύ καλό, ενώ το ανάλογο του σχεδίου, αν και χρησιμοποιείται συχνά σε σχολικά βιβλία, ιδιαίτερα στα πιο πρόσφατα, είναι λαθεμένο σε όλες σχεδόν τις λεπτομέρειές του. Η εμβρυϊκή ανάπτυξη είναι μια διαδικασία. Πρόκειται για μια εύτακτη ακολουθία γεγονότων, σαν τη διαδικασία παρασκευής ενός κέικ, μόνο που έχει εκατομμύρια περισσότερα βήματα και, επιπλέον, πολλά διαφορετικά βήματα συμβαίνουν ταυτόχρονα σε πολλά διαφορετικά μέρη του «ταψιού». Τα περισσότερα βήματα συνίστανται στον πολλαπλασιασμό των κυττάρων. Με τον πολλαπλασιασμό δημιουργούνται τεράστιοι αριθμοί κυττάρων, μερικά από τα οποία πεθαίνουν, ενώ άλλα ενώνονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν ιστούς, όργανα, και άλλες πολυκύτταρες δομές. Όπως είδαμε σε ένα προηγούμενο κεφάλαιο, ο τρόπος με τον οποίο συμπεριφέρεται ένα *συγκεκριμέ-*



να κύτταρο εξαρτάται όχι από τα γονίδια που περιέχει –γιατί όλα τα κύτταρα ενός σώματος περιέχουν τα ίδια γονίδια–, αλλά από το ποιο υποσύνολο των γονιδίων ενεργοποιείται σ' αυτό το κύτταρο. Σε οποιοδήποτε σημείο του αναπτυσσόμενου σώματος και σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή της ανάπτυξης, ενεργοποιείται μόνο μια μειονότητα γονιδίων. Σε διαφορετικά μέρη του εμβρύου και σε άλλες χρονικές στιγμές της ανάπτυξης, θα ενεργοποιηθούν άλλα σύνολα γονιδίων. Το ποια ακριβώς γονίδια ενεργοποιούνται σε κάθε κύτταρο κάθε στιγμή εξαρτάται από τις χημικές συνθήκες που επικρατούν μέσα στο κύτταρο. Αυτό, με τη σειρά του, εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούσαν προηγουμένως σ' αυτό το μέρος του εμβρύου.

Επιπλέον, η επίδραση που ασκεί ένα γονίδιο όταν ενεργοποιείται εξαρτάται από το τι υπάρχει στο συγκεκριμένο σημείο του εμβρύου, από το τι είναι αυτό που επηρεάζει το γονίδιο. Ένα γονίδιο που ενεργοποιείται κατά την τρίτη εβδομάδα της ανάπτυξης σε κύτταρα που βρίσκονται στη βάση του νωτιαίου μυελού θα ασκήσει επίδραση εντελώς διαφορετική από αυτή που θα ασκούσε το ίδιο γονίδιο αν ενεργοποιούνταν κατά τη δέκατη έκτη εβδομάδα της ανάπτυξης σε κύτταρα που βρίσκονται στον ώμο του εμβρύου. Έτσι, η επίδραση που ασκεί ένα γονίδιο δεν είναι μια απλή ιδιότητα του ίδιου, αλλά μια ιδιότητα του γονιδίου σε αλληλεπίδραση με την πρόσφατη ιστορία του τοπικού του περιβάλλοντος μέσα στο έμβryo. Αυτό καταρρίπτει εντελώς την ιδέα ότι τα γονίδια μπορεί να αποτελούν ένα σχέδιο του σώματος. Θα θυμάστε ίσως ότι το ίδιο ισχύει για τις βιομορφές του υπολογιστή.

Βλέπουμε, λοιπόν, ότι δεν υπάρχει απλή αμφιμονοσήμαντη απεικόνιση ανάμεσα σε γονίδια και σε σημεία του σώματος, όπως δεν υπάρχει απεικόνιση ανάμεσα στις λέξεις μιας συνταγής και στα ψίχουλα του κέικ. Τα γονίδια, στο σύνολό τους, μπορούν να θεωρηθούν ως μια σειρά από οδηγίες για την εκτέλεση μιας διαδικασίας, όπως ακριβώς οι λέξεις μιας συνταγής, στο σύνολό τους, αποτελούν μια σειρά από οδηγίες για την εκτέλεση μιας άλλης διαδικασίας. Σ' αυτό το σημείο ο αναγνώστης μπορεί να αναρωτηθεί πώς βγάζουν το ψωμί τους οι γενετιστές αν είναι έτσι

τα πράγματα. Πώς είναι δυνατό να μιλούν, και πολύ περισσότερο να κάνουν έρευνες, με αντικείμενο ένα γονίδιο που δίνει γαλάζια μάτια ή ένα γονίδιο που προκαλεί αχρωματοψία; Το ίδιο το γεγονός ότι οι γενετιστές μπορούν να μελετούν τέτοιες επιδράσεις που οφείλονται σε ένα και μοναδικό γονίδιο δεν δείχνει ότι υπάρχει πραγματικά κάποια αμφιμονοσήμαντη απεικόνιση όπου ένα γονίδιο αντιστοιχεί σε ένα σημείο του σώματος; Δεν καταρρίπτει όλα όσα υποστήριζα προηγουμένως, ότι δηλαδή το σύνολο των γονιδίων είναι μια συνταγή για την ανάπτυξη του σώματος; Όχι, δεν τα καταρρίπτει, και είναι σημαντικό να καταλάβουμε το γιατί.

Ο καλύτερος ίσως τρόπος για να το δούμε αυτό είναι να επιστρέψουμε στο ανάλογο της συνταγής. Θα συμφωνήσετε ότι δεν μπορούμε να διαιρέσουμε ένα κέικ στα ψίχουλα που το αποτελούν και να πούμε «αυτό το ψίχουλο αντιστοιχεί στην πρώτη λέξη της συνταγής, αυτό το ψίχουλο αντιστοιχεί στη δεύτερη λέξη της συνταγής», κ.λπ. Θα συμφωνήσετε επίσης ότι, με αυτή την έννοια, ολόκληρη η συνταγή απεικονίζεται σε ολόκληρο το κέικ. Ας υποθέσουμε όμως τώρα ότι αλλάζουμε μια λέξη της συνταγής. Για παράδειγμα, σβήνουμε τη λέξη «μπέικιν πάουντερ» ή την αντικαθιστούμε με τη λέξη «μαγιά». Φτιάχνουμε 100 κέικ ακολουθώντας τη νέα μορφή της συνταγής και 100 κέικ ακολουθώντας την παλιά μορφή της. Υπάρχει μια βασική διαφορά ανάμεσα στα δύο σύνολα των 100 κέικ, και αυτή η διαφορά οφείλεται στη διαφορά μίας λέξης ανάμεσα στις δύο συνταγές. Αν και δεν υπάρχει αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία των λέξεων της συνταγής με τα ψίχουλα του κέικ, υπάρχει μια αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία ανάμεσα στη διαφορά της μίας λέξης και στη διαφορά ολόκληρων των κέικ. Η λέξη «μπέικιν πάουντερ» δεν αντιστοιχεί σε κανένα συγκεκριμένο μέρος του κέικ: η δράση της επηρεάζει το φούσκωμα, και επομένως το τελικό σχήμα, ολόκληρου του κέικ. Αν σβήσουμε τη λέξη «μπέικιν πάουντερ», ή αν την αντικαταστήσουμε με τη λέξη «αλεύρι», το κέικ δεν θα φουσκώσει. Αν την αντικαταστήσουμε με τη λέξη «μαγιά», θα φουσκώσει, αλλά η γεύση του θα μοιάζει περισσότερο με του ψωμιού. Θα παρατηρείται μια σίγουρη, αναγνωρίσιμη διαφορά ανάμε-

σα στα κέικ που φτιάχτηκαν σύμφωνα με την αρχική μορφή της συνταγής και στις «μεταλλαγμένες» μορφές της, παρόλο που δεν υπάρχει κανένα συγκεκριμένο «σημείο» του κέικ που να αντιστοιχεί στις σχετικές λέξεις. Αυτό είναι ένα καλό ανάλογο των όσων συμβαίνουν όταν μεταλλάσσεται ένα γονίδιο.

Ένα ακόμη καλύτερο ανάλογο, επειδή τα γονίδια ασκούν ποσοτικές επιδράσεις και οι μεταλλάξεις μεταβάλλουν ποσοτικά το μέγεθος αυτών των επιδράσεων, θα ήταν να αλλάξουμε το «180 βαθμούς» με το «220 βαθμούς». Τα κέικ που θα ψηθούν σύμφωνα με τη «μεταλλαγμένη» μορφή της συνταγής, η οποία ορίζει υψηλότερη θερμοκρασία, θα είναι διαφορετικά, όχι απλώς σε ένα σημείο αλλά σε ολόκληρο το υλικό τους, από τα κέικ που θα ψηθούν σύμφωνα με την αρχική μορφή της συνταγής, η οποία ορίζει χαμηλότερη θερμοκρασία. Ωστόσο, το ανάλογο μας εξακολουθεί να είναι πολύ απλοϊκό. Για να προσομοιώσουμε το «ψησιμο» ενός μωρού, θα πρέπει να φανταστούμε όχι μία μόνο διαδικασία που συντελείται σε έναν μόνο φούρνο, αλλά ένα πλέγμα από ιμάντες μεταφοράς που περνούν διαφορετικά τμήματα του «ταπιού» μέσα από 10 εκατομμύρια διαφορετικούς μικροσκοπικούς φούρνους οι οποίοι λειτουργούν σε σειρά και παράλληλα, όπου ο κάθε φούρνος δημιουργεί έναν διαφορετικό συνδυασμό γεύσεων από 10.000 βασικά συστατικά. Το συμπέρασμα που προκύπτει από το ανάλογο της μαγειρικής, ότι δηλαδή τα γονίδια δεν είναι ένα σχέδιο αλλά μια συνταγή για την εκτέλεση μιας διαδικασίας, γίνεται καλύτερα αντιληπτό όταν εξετάζουμε την πολύπλοκη μορφή του παρά την απλούστερή του.

Τώρα είναι ώρα να εφαρμόσουμε αυτό το μάθημα στο ζήτημα της κληρονομικότητας των επίκτητων χαρακτηριστικών. Το βασικό στοιχείο στην κατασκευή ενός πράγματος με βάση ένα σχέδιο, σε αντιδιαστολή με την κατασκευή του που βασίζεται σε μια συνταγή, είναι ότι η διαδικασία αυτή είναι *αντιστρέψιμη*. Αν έχουμε ένα σπίτι, είναι εύκολο να κατασκευάσουμε το σχέδιό του. Μετράμε απλώς όλες τις διαστάσεις του σπιτιού και τις μεταφέρουμε σε μικρότερη κλίμακα. Προφανώς, αν το σπίτι «αποκτούσε» εκ των υστέρων κάποιο χαρακτηριστικό –για παράδειγμα, αν γκρεμίζαμε έναν εσωτερικό τοίχο για να ενωθούν δύο δωμάτια–,

το «αντίστροφο σχέδιο» θα κατέγραφε πιστά αυτή την αλλαγή. Το ίδιο θα γινόταν αν τα γονίδια αποτελούσαν μια περιγραφή του ενήλικου σώματος. Αν τα γονίδια αποτελούσαν ένα σχέδιο, θα ήταν εύκολο να φανταστούμε ότι οποιοδήποτε χαρακτηριστικό αποκτούσε το σώμα στη διάρκεια της ζωής του θα μπορούσε να αποτυπωθεί πιστά στον γενετικό κώδικα και να περάσει με αυτό τον τρόπο στην επόμενη γενιά. Ο γιος του σιδηρουργού θα μπορούσε πραγματικά να κληρονομήσει τα αποτελέσματα της σωματικής άσκησης του πατέρα του. Ωστόσο, αυτό δεν είναι δυνατό, επειδή τα γονίδια δεν αποτελούν σχέδιο αλλά συνταγή. Δεν μπορούμε να φανταστούμε να κληρονομούνται επίκτητα χαρακτηριστικά, όπως δεν μπορούμε να φανταστούμε την εξής διαδικασία: παίρνουμε ένα κέικ και του κόβουμε μία φέτα· μια περιγραφή της αλλαγής αυτής αποτυπώνεται στη συνταγή, και η συνταγή αλλάζει με τέτοιο τρόπο, ώστε το επόμενο κέικ που παρασκευάζεται σύμφωνα με αυτή να το βγάλουμε από το φούρνο και να έχει ήδη μία φέτα λιγότερη.

Οι λαμαρκιστές συμπαθούν ιδιαίτερα τους κάλους, γι' αυτό ας τους χρησιμοποιήσουμε ως παράδειγμα. Ο υποθετικός μας τραπεζικός υπάλληλος έχει μαλακά χέρια, αν εξαιρέσουμε έναν σκληρό κάλο στο μεσαίο δάχτυλο του δεξιού του χεριού, δηλαδή στο δάχτυλο με το οποίο γράφει. Ο λαμαρκιστής πιστεύει ότι, αν όλοι οι απόγονοι του τραπεζικού υπαλλήλου γράφουν πολύ και επί πολλές γενιές, τα γονίδια που ελέγχουν την ανάπτυξη του δέρματος σ' αυτή την περιοχή θα αλλάξουν με τέτοιο τρόπο, ώστε τα μωρά που θα γεννηθούν να έχουν ήδη τον κάλο στο αντίστοιχο δάχτυλο. Αν τα γονίδια αποτελούσαν ένα σχέδιο, αυτό θα ήταν εύκολο να γίνει. Θα υπήρχε ένα γονίδιο για κάθε τετραγωνικό χιλιοστό (ή μια άλλη κατάλληλη μικρή μονάδα) δέρματος. Όλη η επιφάνεια του δέρματος του ενήλικου υπαλλήλου θα «σαρωνόταν», η σκληρότητα κάθε τετραγωνικού χιλιοστού θα καταγραφόταν με προσοχή και θα ανατροφοδοτούνταν στα γονίδια που καθορίζουν αυτό το συγκεκριμένο τετραγωνικό χιλιοστό, και ειδικότερα στα κατάλληλα γονίδια των σπερματοζωαρίων του.

Ωστόσο, τα γονίδια δεν αποτελούν ένα σχέδιο. Δεν υπάρχει

ένα γονίδιο «για» κάθε τετραγωνικό χιλιοστό. Δεν υπάρχει τρόπος με τον οποίο να μπορεί να «σαρωθεί» το σώμα του ενήλικου και να ανατροφοδοτηθεί η περιγραφή του στα γονίδια. Δεν μπορούμε να βρούμε τις «συντεταγμένες» ενός κάλου στο γενετικό αρχείο και στα κατάλληλα αλλαγμένα γονίδια. Η εμβρυϊκή ανάπτυξη είναι μια διαδικασία στην οποία συμμετέχουν όλα τα γονίδια που βρίσκονται σε λειτουργία, και αν ακολουθηθεί σωστά, θα οδηγήσει στο σχηματισμό ενός ενήλικου σώματος. Πρόκειται όμως για μια διαδικασία που είναι εγγενώς, εξαιτίας της ίδιας της φύσης της, μη αντιστρέψιμη. Η κληρονομικότητα επίκτητων χαρακτηριστικών όχι μόνο δεν συμβαίνει, αλλά ούτε καν θα μπορούσε να συμβεί σε οποιαδήποτε μορφή ζωής στην οποία η εμβρυϊκή ανάπτυξη είναι επιγενετική και δεν εξαρτάται από τον προσχηματισμό. Οι βιολόγοι που υποστηρίζουν το λαμαρκισμό, υποστηρίζουν μια ατομιστική, ντετερμινιστική, αναγωγιστική εμβρυολογία, όσο κι αν αυτό μπορεί να τους εκπλήσσει. Δεν ήθελα να ζαλίσω τον γενικό αναγνώστη με όλους αυτούς του πομπώδεις όρους. Εντούτοις, δεν μπορούσα να αντισταθώ στον πειρασμό, γιατί η μεγάλη ειρωνεία είναι ότι οι βιολόγοι που τείνουν περισσότερο προς το λαμαρκισμό σήμερα αρέσκονται ιδιαίτερα να χρησιμοποιούν τις ίδιες εξειδικευμένες λέξεις, όταν επικρίνουν τους άλλους.

Αυτό δεν σημαίνει ότι σε κάποιο άλλο μέρος του σύμπαντος δεν μπορεί να υπάρχει ένα διαφορετικό σύστημα ζωής, που η εμβρυολογία του να βασίζεται στον προσχηματισμό. Δεν αποκλείεται να υπάρχει μια μορφή ζωής που να έχει πραγματικά «σχεδιακή γενετική» και που να μπορεί, επομένως, να κληρονομήσει επίκτητα χαρακτηριστικά. Το μόνο που έδειξα μέχρι τώρα είναι ότι ο λαμαρκισμός δεν συμβιβάζεται με την εμβρυολογία που γνωρίζουμε. Ωστόσο, στην αρχή του κεφαλαίου εξέφρασα τον ισχυρισμό μου εντονότερα: είπα πως, ακόμη και αν τα επίκτητα χαρακτηριστικά μπορούσαν να κληρονομηθούν, και πάλι η λαμαρκιανή θεωρία δεν θα ήταν σε θέση να εξηγήσει την προσαρμοστική εξέλιξη. Εκφράζω αυτό τον ισχυρισμό τόσο έντονα, γιατί θεωρώ ότι πρέπει να αληθεύει για όλες τις μορφές ζωής, οπουδήποτε στο σύμπαν. Βασίζεται σε δύο σειρές συλλογισμών:

η μία αφορά τις δυσκολίες που σχετίζονται με την αρχή της χρήσης και της αχρησίας και η άλλη αφορά ορισμένα άλλα προβλήματα που συνδέονται με την κληρονομικότητα των επίκτητων χαρακτηριστικών. Θα τις παρουσιάσω με την αντίστροφη σειρά.

Το πρόβλημα με τα επίκτητα χαρακτηριστικά είναι βασικά ότι δεν αποτελούν όλα βελτιώσεις. Πραγματικά, στη συντριπτική τους πλειοψηφία είναι ουσιαστικά βλάβες. Προφανώς η εξέλιξη δεν πρόκειται να προχωρήσει προς την γενική κατεύθυνση της προσαρμοστικής βελτίωσης αν τα επίκτητα χαρακτηριστικά κληρονομούνται αδιακρίτως, αν τα σπασμένα πόδια και οι ουλές από την ανεμοβλογιά μεταβιβάζονται στις επόμενες γενιές μαζί με τα σκληρά πέλματα και το ηλιοκαμένο δέρμα. Τα περισσότερα χαρακτηριστικά που αποκτά ένα μηχάνημα καθώς αυξάνει η ηλικία του δεν είναι παρά συσσωρευμένη φθορά. Αν τα χαρακτηριστικά αυτά καταγραφούν από κάποια διαδικασία σάρωσης και τροφοδοτηθούν στο σχέδιο για να χρησιμοποιηθούν από τους απογόνους, τότε οι επόμενες γενιές θα είναι ολοένα και πιο «γερασμένες». Αντί να ξεκινούν με ένα καινούριο σχέδιο, θα μπαίνουν στη ζωή φορτωμένες με τις συσσωρευμένες φθορές και βλάβες των προηγούμενων γενεών.

Αυτό το πρόβλημα δεν είναι αναγκαστικά ανυπέρβλητο. Αν αμφισβήτητα, μερικά επίκτητα χαρακτηριστικά αποτελούν βελτιώσεις και είναι θεωρητικά πιθανό να μπορεί ο μηχανισμός της κληρονομικότητας να διακρίνει τις βελτιώσεις από τις βλάβες. Αλλά αν αναρωτηθούμε πώς μπορεί να επιτυγχάνεται αυτή η διάκριση, οδηγούμαστε στο ερώτημα γιατί τα επίκτητα χαρακτηριστικά μερικές φορές αποτελούν βελτιώσεις. Γιατί, για παράδειγμα, οι περιοχές του δέρματος που χρησιμοποιούνται πολύ, όπως τα πέλματα κάποιου που τρέχει ξυπόλυτος, γίνονται πιο χοντρές και ανθεκτικές. Με την πρώτη ματιά, θα ήταν ίσως πιο πιθανό να λεπτύνει το δέρμα. Στις περισσότερες μηχανές, τα εξαρτήματα που καταπονούνται λεπταίνουν, για τον προφανή λόγο ότι η φθορά δεν τους προσθέτει σωματίδια αλλά τους αφαιρεί.

Ο δαρβινιστής, βέβαια, έχει έτοιμη την απάντηση. Το δέρμα που υφίσταται καταπόνηση γίνεται πιο χοντρό επειδή η φυσική



επιλογή στο παρελθόν ευνοούσε εκείνα τα άτομα που το δέρμα τους έτυχε να ανταποκρίνεται στη φθορά με αυτό τον πλεονεκτικό τρόπο. Ομοίως, η φυσική επιλογή ευνοούσε εκείνα τα μέλη των προγονικών γενεών που έτυχε να ανταποκρίνονται στο φως του ήλιου με την απόκτηση πιο μελαμψού χρώματος. Ο δαρβινιστής υποστηρίζει ότι ο μοναδικός λόγος για τον οποίο έστω και μια μειονότητα επίκτητων χαρακτηριστικών αποτελεί βελτιώσεις είναι ότι υπάρχει μια βάση δαρβινικής επιλογής στο παρελθόν. Με άλλα λόγια, η λαμαρκιανή θεωρία μπορεί να εξηγήσει την προσαρμοστική βελτίωση που παρατηρείται κατά την εξέλιξη μόνο στηριζόμενη στη δαρβινική θεωρία. Εφόσον υπάρχει η δαρβινική επιλογή στο βάθος, για να βεβαιώνει ότι μερικά επίκτητα χαρακτηριστικά είναι πλεονεκτικά και για να παρέχει ένα μηχανισμό διάκρισης των πλεονεκτικών από τα μειονεκτικά, η κληρονομικότητα των επίκτητων χαρακτηριστικών θα μπορούσε ίσως να οδηγήσει σε κάποια εξελικτική βελτίωση. Ωστόσο, η βελτίωση, όποια κι αν είναι, στηρίζεται ολοκληρωτικά στη δαρβινική βάση. Αναγκάζομαστε, δηλαδή, να επανέλθουμε στο δαρβινισμό για να εξηγήσουμε την προσαρμοστική πλευρά της εξέλιξης.

Το ίδιο ισχύει για μια μάλλον σημαντικότερη ομάδα επίκτητων βελτιώσεων, εκείνων που εντάσσουμε στην κατηγορία της μάθησης. Στη διάρκεια της ζωής του, ένα ζώο γίνεται πιο ικανό στον τομέα της επιδίωξης. Μαθαίνει τι το ωφελεί και τι όχι. Ο εγκέφαλός του συντηρεί μια μεγάλη βιβλιοθήκη αναμνήσεων για τον κόσμο του και για το ποιες πράξεις τείνουν να οδηγούν σε επιθυμητά αποτελέσματα και ποιες σε ανεπιθύμητα. Επομένως, ένα μεγάλο μέρος της συμπεριφοράς του ζώου εμπίπτει στην κατηγορία των επίκτητων χαρακτηριστικών, και ένα μεγάλο μέρος από αυτά –η μάθηση– αξίζει πραγματικά να χαρακτηριστεί βελτίωση. Ας υποθέσουμε ότι οι γονείς μπορούσαν με κάποιον τρόπο να καταγράφουν στα γονίδιά τους τη σοφία που έχουν συγκεντρώσει από τις εμπειρίες μιας ζωής. Σ' αυτή την περίπτωση, τα παιδιά τους θα γεννιούνταν έχοντας μέσα τους μια βιβλιοθήκη από υποκατάστατα εμπειριών, ώστε να μπορούν να αντλούν πληροφορίες, δηλαδή θα άρχιζαν τη ζωή τους με ένα πλεονέκτημα.

Η εξελικτική πρόοδος μπορεί πραγματικά να επιταχυνόταν, καθώς οι αποκτημένες ικανότητες και η σοφία των προηγούμενων γενεών θα ενσωματώνονταν αυτόματα στα γονίδια.

Ωστόσο, όλα αυτά προϋποθέτουν ότι οι αλλαγές της συμπεριφοράς που ονομάζουμε μάθηση αποτελούν πραγματικά βελτιώσεις. Γιατί να είναι αναγκαστικά βελτιώσεις; Τα ζώα όντως μαθαίνουν να κάνουν ό,τι τα ωφελεί και όχι ό,τι τα βλάπτει, αλλά γιατί; Τα ζώα τείνουν να αποφεύγουν τις πράξεις που στο παρελθόν είχαν ως αποτέλεσμα τον πόνο. Αλλά ο πόνος δεν είναι κάτι το αντικειμενικό· είναι απλώς αυτό που ο εγκέφαλος θεωρεί πόνο. Είναι ευτυχές το γεγονός ότι εκείνα τα συμβάντα που θεωρούνται οδυνηρά, όπως για παράδειγμα το τρύπημα της επιφάνειας του σώματος, συνήθως θέτουν σε κίνδυνο την επιβίωση του ζώου. Αλλά θα μπορούσαμε εύκολα να φανταστούμε μια φυλή ζώων που τα μέλη της απολάμβαναν τις σωματικές βλάβες και τα άλλα συμβάντα που απειλούσαν την επιβίωσή τους· μια φυλή ζώων που ο εγκέφαλός τους ήταν κατασκευασμένος έτσι ώστε να νιώθουν ευχαρίστηση από τις βλάβες και να αισθάνονται ως οδυνηρά τα ερεθίσματα που βοηθούσαν στην επιβίωσή τους, όπως είναι, λόγου χάρη, η γεύση μιας θρεπτικής τροφής. Την αιτία για την οποία δεν υπάρχει μια τέτοια μαζοχιστική φυλή ζώων στον κόσμο πρέπει να την αναζητήσουμε στη δαρβινική εξήγηση: οι μαζοχιστές πρόγονοι, για προφανείς λόγους, δεν επέζησαν για να αφήσουν απογόνους που θα κληρονομούσαν το μαζοχισμό τους. Θα μπορούσαμε ίσως να δημιουργήσουμε μια φυλή κληρονομικά μαζοχιστική, με τεχνητή επιλογή μέσα σε ειδικά κλουβιά με προστατευτική εσωτερική επένδυση, σε προστατευμένες συνθήκες όπου θα υπήρχαν ομάδες από κτηνιάτρους και φύλακες που θα φρόντιζαν για την επιβίωση των ζώων. Αλλά στη φύση αυτοί οι μαζοχιστές δεν θα επιζούσαν, και αυτός είναι ο θεμελιώδης λόγος για τον οποίο οι αλλαγές που ονομάζουμε μάθηση τείνουν να είναι βελτιώσεις και όχι το αντίθετο. Έτσι, καταλήξαμε και πάλι στο συμπέρασμα ότι πρέπει να υπάρχει μια δαρβινική βάση για να βεβαιώνει ότι τα επίκτητα χαρακτηριστικά θα είναι πλεονεκτικά.

Ας περάσουμε τώρα στην αρχή της χρήσης και της αχρησίας.

Αυτή η αρχή φαίνεται να ισχύει για μερικές όψεις των επίκτητων βελτιώσεων. Είναι ένας γενικός κανόνας που δεν εξαρτάται από συγκεκριμένες λεπτομέρειες. Ο κανόνας λέει απλά ότι «κάθε μέρος του σώματος που χρησιμοποιείται συχνά πρέπει να γίνεται μεγαλύτερο· κάθε μέρος που δεν χρησιμοποιείται πρέπει να γίνεται μικρότερο ή ακόμη και να εξαφανίζεται εντελώς». Αφού μπορούμε να περιμένουμε ότι τα χρήσιμα (και επομένως τα χρησιμοποιούμενα) μέρη του σώματος γενικά θα ωφεληθούν από μια αύξηση μεγέθους, ενώ τα άχρηστα (και επομένως τα μη χρησιμοποιούμενα) μέρη θα μπορούσαν κάλλιστα να μην υπάρχουν, ο κανόνας φαίνεται να έχει κάποια γενική αξία. Παρ' όλα αυτά, η αρχή της χρήσης και της αχρησίας συναντά ένα μεγάλο πρόβλημα. Ακόμη και αν δεν υπάρχει καμία άλλη αντίρρηση για την ισχύ της, η αρχή αυτή είναι πολύ χονδροειδής για να μπορέσει να οδηγήσει στη διαμόρφωση των υπέροχων λεπτεπίλεπτων προσαρμοστικών μηχανισμών που παρατηρούμε στα ζώα και τα φυτά.

Αφού το μάτι υπήρξε ένα χρήσιμο παράδειγμα ως τώρα, ας το ξαναχρησιμοποιήσουμε. Σκεφτείτε όλα τα πολύπλοκα μέρη που συνεργάζονται μεταξύ τους: το φακό με τη διαφανή του σύσταση, τη χρωματική διόρθωση και τη διόρθωση της σφαιρικής παραμόρφωσης· τους μυς που εστιάζουν ακαριαία το φακό σε οποιονδήποτε στόχο, είτε απέχει μερικά εκατοστά είτε βρίσκεται στο άπειρο· το διάφραγμα της ίριδας που κάνει συνεχώς λεπτές ρυθμίσεις στο άνοιγμα του ματιού, σαν μια φωτογραφική μηχανή με ενσωματωμένο φωτόμετρο και έναν γρήγορο ειδικό υπολογιστή που εκτελεί τους απαραίτητους υπολογισμούς· τον αμφιβληστροειδή χιτώνα με τα 125 εκατομμύρια φωτοκύτταρα· το λεπτό δίκτυο των αιμοφόρων αγγείων που τροφοδοτεί όλα τα μέρη του ματιού· το ακόμη λεπτότερο δίκτυο των νεύρων, που είναι το αντίστοιχο των συνδετικών καλωδίων και των ηλεκτρονικών μικροκυκλωμάτων. Κρατήστε όλο αυτό τον λεπτοδουλεμένο πολύπλοκο μηχανισμό στο νου σας και ρωτήστε τον εαυτό σας αν θα μπορούσε να συναρμολογηθεί με βάση την αρχή της χρήσης και της αχρησίας. Νομίζω ότι η απάντηση είναι ένα προφανές «όχι».

Ο φακός είναι διαφανής και έχει την κατάλληλη διαμόρφωση

για διόρθωση της χρωματικής και της σφαιρικής εκτροπής. Θα μπορούσε να συμβεί αυτό απλώς με τη *χρήση*; Μπορεί ένας φακός να γίνει διαφανής από τον όγκο των φωτονίων που τον διαπερνούν; Θα βελτιωθεί ως φακός επειδή χρησιμοποιείται, επειδή περνά φως από μέσα του; Και βέβαια όχι. Γιατί να συμβεί αυτό; Θα ταξινομηθούν τα κύτταρα του αμφιβληστροειδούς χιτώνα σε τρεις «χρωμοευαίσθητες» κατηγορίες απλώς και μόνο επειδή βομβαρδίζονται από φως διαφορετικών χρωμάτων; Γιατί να γίνει κάτι τέτοιο; Από τη στιγμή που υπάρχουν οι μύες εστίασης, είναι αλήθεια ότι η εξάσκησή τους θα τους διογκώσει και θα τους δυναμώσει, αλλά αυτό δεν θα βελτιώσει από μόνο του την εστίαση των εικόνων. Η αλήθεια είναι ότι η αρχή της χρήσης και της αχρησίας μπορεί να προκαλέσει το σχηματισμό μόνο των πιο χονδροειδών και χωρίς ιδιαίτερη σημασία προσαρμοστικών μηχανισμών.

Η δαρβινική επιλογή, από την άλλη πλευρά, δεν δυσκολεύεται να εξηγήσει και την παραμικρή λεπτομέρεια. Η καλή όραση, η όραση που είναι ακριβής μέχρι και την τελευταία απειροελάχιστη λεπτομέρεια, μπορεί να είναι ζήτημα ζωής και θανάτου για ένα ζώο. Ας αναλογιστούμε την περίπτωση ενός πουλιού που πετά με μεγάλη ταχύτητα, όπως, για παράδειγμα, το πετροχελίδονο. Ένας φακός σωστά εστιασμένος και με ικανότητα διόρθωσης της εκτροπής μπορεί να έχει αποφασιστική σημασία για το αν το πουλί θα καταφέρει να πιάσει το έντομο που κυνηγά ή αν θα τσακιστεί πάνω σε ένα βράχο. Ένα καλορυθμισμένο διάφραγμα της ίριδας, που κλείνει αμέσως όταν βγαίνει ο ήλιος, μπορεί να καθορίσει αν το ζώο θα δει ένα αρπακτικό έγκαιρα, ώστε να προλάβει να ξεφύγει, ή αν θα τυφλωθεί για μια στιγμή που μπορεί να αποβεί μοιραία. Κάθε βελτίωση στην αποτελεσματικότητα της λειτουργίας του ματιού, όσο λεπτή κι αν είναι και όσο βαθιά κι αν βρίσκεται θαμμένη κάτω από εσωτερικούς ιστούς, μπορεί να βοηθήσει στην επιβίωση και την αναπαραγωγική επιτυχία του ζώου, και ως εκ τούτου στην εξάπλωση των γονιδίων που προκάλεσαν τη βελτίωση. Επομένως, η δαρβινική επιλογή μπορεί να εξηγήσει την εξέλιξη της βελτίωσης. Ο δαρβινισμός εξηγεί την εξέλιξη των επιτυχημένων μηχανισμών επιβίωσης, ως άμεση συ-

νέπεια της ίδιας της επιτυχίας τους. Η σύνδεση της εξήγησης με αυτό που εξηγείται είναι άμεση και λεπτομερής.

Η λαμαρκιανή θεωρία, από την άλλη πλευρά, στηρίζεται σε μια χαλαρή και χονδροειδή σύνδεση: δηλαδή στον κανόνα πως ό,τι χρησιμοποιείται πολύ θα είναι καλύτερο αν γίνει μεγαλύτερο. Αυτό ισοδυναμεί με μια συσχέτιση ανάμεσα στο μέγεθος ενός οργάνου και στην αποτελεσματικότητά του. Αν υπάρχει μια τέτοια συσχέτιση, είναι σίγουρα εξαιρετικά ασθενής. Η δαρβινική θεωρία στηρίζεται ουσιαστικά σε μια συσχέτιση ανάμεσα στην *αποτελεσματικότητα* ενός οργάνου και στην αποτελεσματικότητά του, μια συσχέτιση που αναγκαστικά είναι τέλεια! Αυτή η αδυναμία της λαμαρκιανής θεωρίας δεν στηρίζεται σε λεπτομερή δεδομένα για συγκεκριμένες μορφές ζωής που βλέπουμε σ' αυτό τον πλανήτη. Είναι μια γενική αδυναμία που αφορά κάθε είδος προσαρμοστικής πολυπλοκότητας και νομίζω ότι πρέπει να αφορά τη ζωή παντού στο σύμπαν, όσο διαφορετικές και παράξενες κι αν είναι οι λεπτομέρειες αυτής της ζωής.

Η κατάρριψη του λαμαρκισμού από τα επιχειρήματά μας, λοιπόν, είναι συντριπτική. Πρώτον, η βασική του παραδοχή, εκείνη της κληρονομικότητας των επίκτητων χαρακτηριστικών, δεν ισχύει για όλες τις μορφές ζωής που μελετήσαμε. Δεύτερον, όχι μόνο δεν ισχύει, αλλά πρέπει αναγκαστικά να μην ισχύει για κάθε μορφή ζωής που στηρίζεται στην επιγενετική εμβρυολογία και όχι στη θεωρία του προσηματισμού. Επισημαίνω ότι η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλες τις μορφές ζωής που έχουμε μελετήσει. Τρίτον, ακόμη κι αν οι παραδοχές της λαμαρκιανής θεωρίας ήταν σωστές, η θεωρία κατ' αρχήν, και για δύο εντελώς διαφορετικούς λόγους, δεν είναι σε θέση να εξηγήσει την εξέλιξη πολύπλοκων προσαρμοστικών μηχανισμών, όχι μόνο στη Γη αλλά και οπουδήποτε αλλού στο σύμπαν. Έτσι, τα πράγματα δείχνουν ότι ο λαμαρκισμός δεν αποτελεί απλώς μια θεωρία αντίπαλη του δαρβινισμού που συμβαίνει να είναι λαθεμένη. Ο λαμαρκισμός δεν είναι καθόλου αντίπαλος του δαρβινισμού. Δεν είναι καν μια σοβαρή υποψήφια εξήγηση για την εξέλιξη της προσαρμοστικής πολυπλοκότητας. Είναι καταδικασμένος από την αρχή ως πιθανός αντίπαλος του δαρβινισμού.

Υπάρχουν μερικές άλλες θεωρίες που έχουν προταθεί, και μερικές φορές προτείνονται ακόμη, για να αντικαταστήσουν τη δαρβινική επιλογή. Για άλλη μία φορά θα δείξω ότι δεν είναι πραγματικά σοβαρές εναλλακτικές λύσεις. Θα δείξω (και είναι πραγματικά προφανές) ότι στις αιτίες που αναφέρονται από αυτές τις εναλλακτικές θεωρίες –από τον «ουδετερισμό», το «μεταλλακτισμό», κ.λπ.– μπορεί να οφείλεται ή να μην οφείλεται κάποιο ποσοστό της παρατηρούμενης εξελικτικής αλλαγής. Εντούτοις, δεν μπορεί να οφείλεται σ' αυτές η *προσαρμοστική* εξελικτική αλλαγή, δηλαδή η αλλαγή που κινείται προς την κατεύθυνση της διαμόρφωσης βελτιωμένων συστημάτων επιβίωσης, όπως τα μάτια, τα αυτιά, οι αρθρώσεις των αγκώνων και οι μηχανισμοί ηχοεντοπισμού. Φυσικά, πολλές εξελικτικές αλλαγές μπορεί να είναι μη προσαρμοστικές, οπότε αυτές οι εναλλακτικές θεωρίες μπορεί κάλλιστα να είναι σημαντικές για κάποια μέρη της εξέλιξης, αλλά μόνο για τα θαρετά μέρη της, όχι για αυτά που αφορούν το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της ζωής σε αντίθεση με τη μη ζωή. Αυτό είναι ιδιαίτερα φανερό στην περίπτωση της ουδετεριστικής θεωρίας της εξέλιξης. Η εν λόγω θεωρία έχει μακρόχρονη ιστορία, αλλά είναι ιδιαίτερα εύκολο να την κατανοήσουμε στη σύγχρονη, μοριακή της μορφή, στην οποία προωθείται κυρίως από τον μεγάλο ιάπωνα γενετιστή Motoo Kimura, του οποίου τα αγγλικά, παρεμπιπτόντως, θα τα ζήλευαν πολλοί Άγγλοι.

Έχουμε ήδη αναφερθεί με λίγα λόγια στην ουδετεριστική θεωρία. Θα θυμάστε ότι η κεντρική της ιδέα είναι πως υπάρχουν διαφορετικές μορφές του ίδιου μορίου –για παράδειγμα, μορφές του μορίου της αιμοσφαιρίνης που διαφέρουν στην ακριβή ακολουθία των αμινοξέων τους– οι οποίες λειτουργούν εξίσου καλά. Αυτό σημαίνει ότι οι μεταλλάξεις από μια εναλλακτική μορφή της αιμοσφαιρίνης σε μια άλλη είναι *ουδέτερες* σε ό,τι αφορά τη φυσική επιλογή. Οι ουδετεριστές πιστεύουν ότι η συντριπτική πλειοψηφία των εξελικτικών αλλαγών, στο επίπεδο της μοριακής γενετικής, είναι ουδέτερες –*τυχαίες* σε σχέση με τη φυσική επιλογή. Η εναλλακτική σχολή της γενετικής, οι οπαδοί της οποίας ονομάζονται επιλεκτιστές, πιστεύουν ότι η φυσική επιλογή είναι



μια ισχυρή δύναμη ακόμη και στο επίπεδο της λεπτομέρειας που συναντάμε σε κάθε σημείο των μοριακών αλυσίδων.

Είναι σημαντικό να διακρίνουμε δύο ξεχωριστά ερωτήματα. Πρώτο είναι το ερώτημα που σχετίζεται με το θέμα αυτού του κεφαλαίου: μπορεί ο ουδετερισμός να αντικαταστήσει τη φυσική επιλογή ως εξήγηση της προσαρμοστικής εξέλιξης; Δεύτερο, και εντελώς διαφορετικό, είναι ένα άλλο ερώτημα: οι περισσότερες εξελικτικές αλλαγές που συμβαίνουν είναι όντως προσαρμοστικές; Με δεδομένο ότι μιλάμε για μια εξελικτική αλλαγή από μια μορφή ενός μορίου σε μια άλλη, πόσο πιθανό είναι η αλλαγή να επήλθε μέσω της φυσικής επιλογής και πόσο πιθανό είναι να αποτελεί μια ουδέτερη αλλαγή που επήλθε μέσα από τυχαίες μετατροπές; Γύρω από αυτό το δεύτερο ερώτημα μαινεται μια αμφίτροπη μάχη μέσα στους κόλπους της μοριακής γενετικής, στην οποία επικρατεί τότε η μια και τότε η άλλη πλευρά. Αλλά αν εστιάσουμε το ενδιαφέρον μας στην προσαρμογή –το πρώτο ερώτημα–, βλέπουμε ότι γίνεται πολύ κακό για το τίποτε. Για μας, μια ουδέτερη μετάλλαξη θα μπορούσε κάλλιστα να μην υπάρχει, γιατί δεν μπορούμε να τη δούμε ούτε εμείς ούτε η φυσική επιλογή. Μια ουδέτερη μετάλλαξη *δεν είναι* μετάλλαξη, όταν έχουμε να κάνουμε με χέρια και πόδια και φτερά και μάτια και συμπεριφορά! Για να χρησιμοποιήσουμε και πάλι την αναλογία της συνταγής, το φαγητό που θα φτιάξουμε θα έχει την ίδια γεύση ακόμη και αν μερικές λέξεις της συνταγής έχουν «μεταλλαχθεί» και είναι γραμμένες με διαφορετική τυπογραφική οικογένεια γραμμάτων. Εφόσον μας ενδιαφέρει το αποτέλεσμα, το φαγητό, η συνταγή παραμένει η ίδια είτε είναι τυπωμένη με τέτοια γράμματα, είτε με *τέτοια* είτε με *τέτοια*. Οι μοριακοί γενετιστές μοιάζουν με τους σχολαστικούς τυπογράφους. Ενδιαφέρονται για τη μορφή των λέξεων με τις οποίες γράφονται οι συνταγές τους. Η φυσική επιλογή δεν ενδιαφέρεται γι' αυτό τον παράγοντα, και δεν πρέπει να ενδιαφερόμαστε κι εμείς όταν μιλάμε για την εξέλιξη της προσαρμογής. Όταν μας απασχολούν άλλες πλευρές της εξέλιξης, όπως για παράδειγμα ο ρυθμός εξέλιξης σε διαφορετικές γενεαλογικές σειρές, οι ουδέτερες μεταλλάξεις παρουσιάζουν τεράστιο ενδιαφέρον.

Ακόμη και ο πιο ένθερμος ουδετεριστής συμφωνεί ανεπιφύλακτα ότι όλες οι προσαρμογές οφείλονται στη φυσική επιλογή. Το μόνο που λέει ο ουδετεριστής είναι ότι οι περισσότερες εξελικτικές αλλαγές δεν είναι προσαρμογές. Μπορεί κάλλιστα να έχει δίκιο, αν και μια σχολή γενετιστών δεν θα συμφωνούσε με αυτή την άποψη. Προσωπικά πάντως, και ως ουδέτερος παρατηρητής αυτής της διαμάχης, ελπίζω να επικρατήσουν οι ουδετεριστές, γιατί τότε θα είναι πολύ πιο εύκολο να υπολογιστούν οι εξελικτικές σχέσεις και οι ρυθμοί εξέλιξης. Και οι δύο πλευρές συμφωνούν ότι η ουδέτερη εξέλιξη δεν μπορεί να οδηγήσει σε προσαρμοστική βελτίωση, για τον απλό λόγο ότι η ουδέτερη εξέλιξη είναι εξ ορισμού τυχαία, ενώ η προσαρμοστική βελτίωση είναι εξ ορισμού μη τυχαία. Έτσι, πάλι δεν βρήκαμε μια εναλλακτική θεωρία που να μπορεί να αντικαταστήσει τη δαρβινική επιλογή, εξηγώντας εκείνο το γνώρισμα της ζωής που τη διακρίνει από τη μη ζωή, συγκεκριμένα την προσαρμοστική πολυπλοκότητα.

Ερχόμαστε τώρα σε έναν άλλο ιστορικό αντίπαλο του δαρβινισμού: τη θεωρία του «μεταλλακτισμού». Μας είναι δύσκολο να το καταλάβουμε αυτό τώρα, αλλά στα πρώτα χρόνια του αιώνα μας, όταν πήρε το όνομά του το φαινόμενο της μετάλλαξης, οι επιστήμονες το θεωρούσαν όχι ως ένα απαραίτητο μέρος της δαρβινικής θεωρίας, αλλά ως μια εναλλακτική θεωρία της εξέλιξης! Υπήρχε μια σχολή γενετιστών που ονομάζονταν μεταλλακτιστές. Σ' αυτήν ανήκαν και διάσημα ονόματα, όπως ο Hugo de Vries και ο William Bateson, που είναι από τους πρώτους που ανακάλυψαν εκ νέου της αρχές της κληρονομικότητας του Mendel, ο Wilhelm Johannsen, που επινόησε τη λέξη «γονίδιο», και ο Thomas Hunt Morgan, ο πατέρας της χρωμοσωμικής θεωρίας της κληρονομικότητας. Ιδιαίτερα ο de Vries είχε εντυπωσιαστεί από το μέγεθος των αλλαγών που μπορεί να προκαλέσει η μετάλλαξη και πίστευε ότι τα νέα είδη εμφανίζονται πάντοτε από μεμονωμένες κύριες μεταλλάξεις. Αυτός και ο Johannsen πίστευαν ότι το μεγαλύτερο μέρος της ποικιλότητας που εμφανίζεται μέσα σε ένα είδος είναι μη γενετικό. Όλοι οι μεταλλακτιστές πίστευαν ότι η επιλογή διαδραματίζει, στην καλύτερη περίπτωση, έναν περιορισμένο ρόλο εξάλειψης στην εξέλιξη. Η πραγματικά δημιουργι-

κή δύναμη είναι η ίδια η μετάλλαξη. Θεωρούσαν ότι η μεντελιανή γενετική είναι όχι το κεντρικό στήριγμα του δαρβινισμού, όπως πιστεύουμε σήμερα, αλλά μια θεωρία αντίθετη με το δαρβινισμό.

Είναι πολύ δύσκολο για τον σύγχρονο νου να θεωρήσει αυτή την ιδέα οτιδήποτε άλλο εκτός από φαιδρή, αλλά εδώ πρέπει να προσέχουμε για να μην παρασυρθούμε στο σφάλμα της υπεροψίας, ένα σφάλμα στο οποίο υπέπεσε και ο Bateson όταν έγραψε: «καταφεύγουμε στον Δαρβίνο για την ασύγκριτη συλλογή των δεδομένων του, [αλλά...] για μας δεν είναι πια μια φιλοσοφική αυθεντία. Διαβάζουμε την εξελικτική θεωρία του όπως θα διαβάσαμε τις θεωρίες του Λουκρήτιου ή του Λαμάρκ». Και σε ένα άλλο σημείο: «Ο μετασχηματισμός των πληθυσμών με ανεπαίσθητα βήματα που καθοδηγούνται από την επιλογή είναι, όπως καταλαβαίνουμε τώρα οι περισσότεροι από μας, τόσο ασυμβίβαστος με τα γεγονότα, ώστε το μόνο που μπορούμε να κάνουμε είναι να απορήσουμε τόσο με την έλλειψη οξυδέρκειας που χαρακτηρίζει τους υποστηρικτές μιας τέτοιας θέσης, όσο και με τη δικανική επιδεξιότητα με την οποία την έκαναν να φαίνεται αποδεκτή έστω και για λίγο». Ο R.A. Fisher ήταν κυρίως εκείνος που αντέστρεψε την κατάσταση και έδειξε ότι η μεντελιανή σωματιδιακή κληρονομικότητα όχι μόνο δεν έρχεται σε αντίθεση με το δαρβινισμό, αλλά αποτελεί ένα ουσιαστικό στοιχείο του.

Η μετάλλαξη είναι αναγκαία συνθήκη για την εξέλιξη, αλλά πώς θα μπορούσε κανείς να τη θεωρήσει και ικανή; Η εξελικτική αλλαγή αποτελεί *βελτίωση* σε ένα βαθμό πολύ μεγαλύτερο από αυτόν που θα δικαιολογούσε μόνο η τύχη. Το πρόβλημα με τη μετάλλαξη, αν θεωρηθεί ως η μοναδική εξελικτική δύναμη, είναι απλά το εξής: πώς είναι δυνατό μια μετάλλαξη να «ξέρει» τι θα είναι καλό για το ζώο και τι όχι; Οι αλλαγές που θα μπορούσαν να συμβούν σε έναν υπάρχοντα πολύπλοκο μηχανισμό, όπως ένα όργανο, θα αποτελούσαν στη συντριπτική τους πλειοψηφία βλάβες. Υπάρχει όμως μια μικρή μειοψηφία αλλαγών που θα προκαλέσουν βελτίωση. Όποιος θέλει να υποστηρίξει ότι η μετάλλαξη, χωρίς επιλογή, είναι η κινητήρια δύναμη της εξέλιξης, πρέπει να εξηγήσει πώς γίνεται οι μεταλλάξεις να τείνουν προς τη βελτιώ-

ση. Με ποια μυστηριώδη, εσωτερική σοφία επιλέγει το σώμα να μεταλλαχθεί προς την κατεύθυνση της βελτίωσης και όχι προς την κατεύθυνση της επιδείνωσης; Θα παρατηρήσετε ότι αυτό είναι ουσιαστικά σε άλλη μορφή το ερώτημα που θέσαμε και στο λαμαρκισμό. Περιττό να πούμε, βέβαια, ότι οι μεταλλακτιστές δεν απάντησαν ποτέ. Το παράξενο όμως είναι ότι, όπως δείχνουν τα πράγματα, ούτε καν το έχουν σκεφτεί.

Είναι βέβαια άδικο, αλλά στις μέρες μας η εν λόγω θεωρία φαίνεται ακόμη πιο παράλογη, επειδή έχουμε μεγαλώσει πιστεύοντας ότι οι μεταλλάξεις είναι «τυχαίες». Αν οι μεταλλάξεις είναι τυχαίες, τότε εξ ορισμού δεν είναι δυνατό να τείνουν προς τη βελτίωση. Ωστόσο, η μεταλλακτική σχολή δεν τις θεωρούσε, φυσικά, τυχαίες. Πίστευαν ότι το σώμα έχει μια έμφυτη τάση να αλλάζει προς ορισμένες κατευθύνσεις και όχι προς κάποιες άλλες, παρόλο που άφηναν ανοιχτό το ερώτημα του πώς το σώμα «ήξερε» ποιες αλλαγές θα το ωφελούσαν στο μέλλον. Αν και απορρίπτουμε όλες αυτές τις αντιλήψεις ως μυστικιστικές ανοησίες, πρέπει να είμαστε σαφείς ως προς το τι ακριβώς εννοούμε όταν λέμε ότι οι μεταλλάξεις είναι τυχαίες. Υπάρχουν διάφορες μορφές τυχαίου, και πολλοί συγχέουν τις διαφορετικές σημασίες της λέξης. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους οι μεταλλάξεις δεν είναι τυχαίες. Αυτό που θέλω να τονίσω, είναι ότι αυτοί οι λόγοι δεν συμπεριλαμβάνουν οτιδήποτε ισοδυναμεί με πρόβλεψη του τι θα έκανε καλύτερη τη ζωή του ζώου. Και θα ήταν πραγματικά απαραίτητο κάτι ισοδύναμο με πρόβλεψη αν χρησιμοποιούσαμε τη μετάλλαξη, χωρίς επιλογή, για να εξηγήσουμε την εξέλιξη. Θα είναι διαφωτιστικό να εξετάσουμε λίγο εκτενέστερα τις έννοιες κατά τις οποίες η μετάλλαξη είναι, και δεν είναι, τυχαία.

Ο πρώτος λόγος για τον οποίο η μετάλλαξη δεν είναι τυχαία: οι μεταλλάξεις προκαλούνται από ορισμένα φυσικά συμβάντα: δεν προκύπτουν αυτόματα. Οφείλονται στα λεγόμενα «μεταλλαξογόνα» (που είναι επικίνδυνα επειδή συχνά προκαλούν καρκίνους): ακτίνες Χ, κοσμικές ακτίνες, ραδιενεργές ουσίες, διάφορες χημικές ουσίες, ακόμη και άλλα γονίδια, που ονομάζονται «μεταλλαξογόνα γονίδια». Ο δεύτερος: δεν έχουν τις ίδιες πιθανότη-

τες μετάλλαξης όλα τα γονίδια ενός είδους. Κάθε θέση των χρωμοσωμάτων έχει τον δικό της χαρακτηριστικό ρυθμό μετάλλαξης. Για παράδειγμα, ο ρυθμός με τον οποίο οι μεταλλάξεις δημιουργούν το γονίδιο που προκαλεί τη χορεία του Huntington (παρόμοια με την κοινή χορεία), η οποία σκοτώνει τα θύματά της στην αρχή της μέσης ηλικίας, είναι περίπου 1 στα 200.000. Ο αντίστοιχος ρυθμός για την αχονδροπλασία (το γνωστό σύνδρομο του νανισμού, που χαρακτηρίζει τα σκυλιά ράτσας μασέ και ντακς-χουντ, στο οποίο τα άκρα είναι πολύ κοντά σε σχέση με το σώμα) είναι 10 φορές μεγαλύτερος. Αυτοί οι ρυθμοί παρατηρούνται κάτω από φυσιολογικές συνθήκες. Αν υπάρχουν μεταλλαξογόνα, όπως ακτίνες Χ, όλοι οι φυσιολογικοί ρυθμοί μετάλλαξης αυξάνονται. Μερικά τμήματα του χρωμοσώματος ονομάζονται «καυτά σημεία» και έχουν έναν τοπικά πολύ υψηλό ρυθμό μεταλλάξεων.

Ο τρίτος λόγος: σε κάθε θέση πάνω στα χρωμοσώματα, είτε πρόκειται για καυτό σημείο είτε όχι, οι μεταλλάξεις προς ορισμένες κατευθύνσεις μπορεί να είναι πιο πιθανές από τις μεταλλάξεις προς την αντίθετη κατεύθυνση. Αυτό προκαλεί το φαινόμενο που είναι γνωστό ως «μεταλλακτική πίεση» και που μπορεί να έχει εξελικτικές συνέπειες. Για παράδειγμα, ακόμη και αν δύο μορφές του μορίου της αιμοσφαιρίνης, η Μορφή 1 και η Μορφή 2, είναι επιλεκτικά ουδέτερες, με την έννοια ότι και οι δύο μεταφέρουν εξίσου καλά το οξυγόνο στο αίμα, μπορεί και πάλι οι μεταλλάξεις από τη Μορφή 1 προς τη Μορφή 2 να είναι πιο συνηθισμένες από τις αντίστροφες μεταλλάξεις, από τη 2 προς την 1. Σ' αυτή την περίπτωση, η μεταλλακτική πίεση θα τείνει να καταστήσει τη Μορφή 2 πιο συνηθισμένη από τη Μορφή 1. Λέμε ότι η μεταλλακτική πίεση είναι μηδενική σε μια συγκεκριμένη θέση πάνω στα χρωμοσώματα αν ο ρυθμός μετάλλαξης προς μια κατεύθυνση εξισορροπείται από αυτόν προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Βλέπουμε λοιπόν τώρα ότι το ερώτημα αν οι μεταλλάξεις είναι πραγματικά τυχαίες δεν είναι ασήμαντο. Η απάντηση που θα δώσουμε εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο ερμηνεύουμε τη λέξη «τυχαίος». Αν θεωρήσουμε πως «τυχαία μετάλλαξη» σημαί-

νει ότι η μετάλλαξη δεν επηρεάζεται από εξωτερικά γεγονότα, τότε οι ακτίνες Χ καταρρίπτουν τον ισχυρισμό ότι οι μεταλλάξεις είναι τυχαίες. Αν πιστεύουμε πως «τυχαία μετάλλαξη» σημαίνει ότι όλα τα γονίδια έχουν ίσες πιθανότητες να μεταλλαχθούν, τότε τα καυτά σημεία δείχνουν ότι η μετάλλαξη δεν είναι τυχαία. Αν πιστεύουμε πως «τυχαία μετάλλαξη» σημαίνει ότι σε όλες τις χρωμοσωμικές θέσεις η μεταλλακτική πίεση είναι μηδενική, τότε και πάλι οι μεταλλάξεις δεν είναι τυχαίες. Μόνο αν ορίσουμε το «τυχαίο» ως «την απουσία γενικής τάσης προς σωματική βελτίωση» οι μεταλλάξεις είναι πραγματικά τυχαίες. Και τα τρία είδη πραγματικού «μη τυχαίου» που εξετάσαμε δεν έχουν την ικανότητα να κινήσουν την εξέλιξη προς την κατεύθυνση της προσαρμοστικής βελτίωσης, και όχι προς οποιαδήποτε άλλη (λειτουργικά) «τυχαία» κατεύθυνση. Υπάρχει και ένα τέταρτο είδος μη τυχαίου που επίσης δεν έχει την παραπάνω ικανότητα, αλλά αυτό δεν είναι τόσο φανερό. Θα χρειαστεί να αφιερώσουμε λίγο χρόνο σ' αυτό το θέμα, γιατί εξακολουθεί να προκαλεί σύγχυση ακόμη και σε μερικούς σύγχρονους βιολόγους.

Υπάρχουν άνθρωποι για τους οποίους ο όρος «τυχαίο» έχει, κατά τη γνώμη μου, μια μάλλον αλλόκοτη σημασία. Παραθέτω τα λόγια δύο αντιπάλων του δαρβινισμού (των P. Saunders και M-W. Ho), που περιγράφουν τη δική τους αντίληψη για το τι πιστεύουν οι δαρβινιστές σχετικά με τις «τυχαίες μεταλλάξεις»: «Η νεοδαρβινική έννοια της τυχαίας μετάλλαξης εμπεριέχει το σοβαρό σφάλμα να θεωρεί δυνατά τα πάντα». «Όλες οι αλλαγές θεωρούνται δυνατές και εξίσου πιθανές». Όχι μόνο δεν το πιστεύω αυτό, αλλά και δεν μπορώ να φανταστώ πώς θα μπορούσε κανείς να δώσει νόημα σ' αυτή την αντίληψη! Τι μπορεί να σημαίνει το να θεωρεί κανείς όλες τις αλλαγές εξίσου πιθανές; Όλες τις αλλαγές; Για να μπορούν δύο ή περισσότερα πράγματα να είναι «εξίσου πιθανά», πρέπει να μπορούν να οριστούν ως διακριτά γεγονότα. Για παράδειγμα, μπορούμε να πούμε «η κορώνα και τα γράμματα είναι εξίσου πιθανά», γιατί η κορώνα και τα γράμματα είναι δύο διακριτά γεγονότα. Αλλά «όλες οι δυνατές» αλλαγές που μπορούν να συμβούν στο σώμα ενός ζώου δεν είναι διακριτά γεγονότα αυτού του τύπου. Ας πάρουμε δύο δυνατά γεγονότα: «Η



ουρά της αγελάδας μακραίνει κατά ένα εκατοστό» και «Η ουρά της αγελάδας μακραίνει κατά δύο εκατοστά». Είναι αυτά τα δύο γεγονότα ξεχωριστά, και επομένως «εξίσου πιθανά»; Ή είναι απλώς ποσοτικές παραλλαγές του ίδιου γεγονότος;

Είναι φανερό ότι εδώ έχει δημιουργηθεί μια καρικατούρα δαρβινιστή, ο οποίος αντιλαμβάνεται το τυχαίο κατά έναν παράλογο –αν όχι και χωρίς νόημα– ακραίο τρόπο. Χρειάστηκε κάποιος χρόνος για να καταλάβω αυτή την καρικατούρα, γιατί είναι τόσο ξένη προς τον τρόπο σκέψης των δαρβινιστών που γνωρίζω. Ωστόσο, νομίζω ότι τώρα την καταλαβαίνω, και θα προσπαθήσω να εξηγήσω τις αντιλήψεις της, γιατί πιστεύω ότι θα μας βοηθήσει να καταλάβουμε τι κρύβεται πίσω από πάρα πολλές περιπτώσεις υποτιθέμενης αντίδρασης στο δαρβινισμό.

Η ποικιλότητα και η επιλογή συνεργάζονται για να παραγάγουν την εξέλιξη. Ο δαρβινιστής υποστηρίζει ότι η ποικιλότητα είναι τυχαία, με την έννοια ότι δεν κατευθύνεται προς τη βελτίωση, και ότι η τάση προς τη βελτίωση, που χαρακτηρίζει την εξέλιξη, προέρχεται από την επιλογή. Μπορούμε να φανταστούμε ένα συνεχές εξελικτικών θεωριών, με το δαρβινισμό στη μια άκρη και το μεταλλακτισμό στην άλλη. Ο ακραίος μεταλλακτιστής πιστεύει ότι η επιλογή δεν παίζει κανένα ρόλο στην εξέλιξη. Η κατεύθυνση της εξέλιξης καθορίζεται από την κατεύθυνση των μεταλλάξεων που συμβαίνουν. Ας χρησιμοποιήσουμε ως παράδειγμα την αύξηση του μεγέθους του ανθρώπινου εγκεφάλου που συντελέστηκε κατά τα τελευταία εκατομμύρια χρόνια της εξέλιξής μας. Ο δαρβινιστής υποστηρίζει ότι η ποικιλότητα που προσφέρθηκε από τις μεταλλάξεις, και στη βάση της οποίας λειτούργησε η επιλογή, περιλάμβανε μερικά άτομα με μικρότερο εγκέφαλο και μερικά άτομα με μεγαλύτερο εγκέφαλο, και η επιλογή ευνόησε τα δεύτερα. Ο μεταλλακτιστής ισχυρίζεται ότι υπήρχε μια τάση προς μεγαλύτερο εγκέφαλο στην ποικιλότητα που προσφέρθηκε από τις μεταλλάξεις: ότι δεν συντελέστηκε επιλογή (ή δεν υπήρχε ανάγκη για επιλογή), αφού υπήρχε αυτή η ποικιλότητα, και ότι οι εγκέφαλοι μεγάλωναν επειδή η μεταλλακτική μεταβολή έκλινε προς την κατεύθυνση του μεγαλύτερου εγκεφάλου. Για να συνοψίσουμε: κατά τη διάρκεια της εξέλιξης

υπήρχε μια τάση για αύξηση του μεγέθους του εγκεφάλου· αυτή η τάση θα μπορούσε να προέλθει μόνο από την επιλογή (η δαρβινική άποψη) ή μόνο από τη μετάλλαξη (η μεταλλακτική άποψη)· μπορούμε να φανταστούμε ένα συνεχές ανάμεσα σ' αυτές τις δύο απόψεις, έτσι ώστε, καθώς προχωρούμε από τη μια άκρη του προς την άλλη, η «τιμή» της μιας από αυτές τις δύο δυνατές πηγές εξελικτικής τάσης να αυξάνεται, ενώ η «τιμή» της άλλης θα μειώνεται. Μια ενδιάμεση άποψη θα ήταν ότι οι μεταλλάξεις είχαν κάποια τάση να αυξήσουν το μέγεθος του εγκεφάλου και η επιλογή αύξησε αυτή την τάση στον πληθυσμό που επιβίωσε.

Το στοιχείο της καρικατούρας υπεισέρχεται στην ερμηνεία τού τι εννοεί ο δαρβινιστής όταν λέει ότι δεν υπάρχει τάση στην μεταλλακτική ποικιλότητα που προσφέρεται για επιλογή. Για μένα, ως πραγματικό δαρβινιστή, σημαίνει απλώς ότι οι μεταλλάξεις δεν παρουσίαζαν συστηματική τάση προς την κατεύθυνση της προσαρμοστικής βελτίωσης. Για την καρικατούρα του δαρβινιστή, όμως, σημαίνει ότι οι ενδεχόμενες αλλαγές είναι «εξίσου πιθανές». Αν παραβλέψουμε το λογικό αθάσιμο μιας τέτοιας αντίληψης, το οποίο επισημάναμε ήδη, η καρικατούρα του δαρβινιστή πιστεύει, υποτίθεται, ότι το σώμα είναι ένας απόλυτα εύπλαστος πηλός, έτοιμος να διαμορφωθεί από την πανίσχυρη επιλογή, σε οποιαδήποτε μορφή μπορεί να ευνοήσει αυτή η ίδια. Είναι σημαντικό να καταλάβουμε τη διαφορά ανάμεσα στον πραγματικό δαρβινιστή και στην καρικατούρα του δαρβινιστή. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιήσουμε ένα συγκεκριμένο παράδειγμα, τη διαφορά ανάμεσα στην τεχνική πτήσης των νυχτερίδων και στην τεχνική πτήσης των αγγέλων.

Οι άγγελοι εικονίζονται πάντοτε με φτερά που φυτρώνουν στην πλάτη τους, αφήνοντας τα χέρια τους ελεύθερα. Οι νυχτερίδες, από την άλλη πλευρά, καθώς και τα πουλιά και οι πτεροδάκτυλοι, δεν έχουν ανεξάρτητα χέρια. Τα αρχαία προγονικά τους χέρια ενσωματώθηκαν στα φτερά και δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για άλλους σκοπούς εκτός από την πτήση, λόγω χάρη για τη συλλογή τροφής –ή είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν πολύ αδέξια. Ας ακούσουμε τώρα μια συζήτηση α-

νάμεσα σε έναν πραγματικό δαρβινιστή και σε μια ακραία καρικατούρα δαρβινιστή.

*Πραγματικός* Αναρωτιέμαι γιατί οι νυχτερίδες δεν ανέπτυξαν μέσα από την εξέλιξη φτερά σαν αυτά των αγγέλων. Θα τους ήταν χρήσιμο να είχαν δύο ελεύθερα χέρια. Οι ποντικοί χρησιμοποιούν τα χέρια τους συνεχώς για να πιάνουν την τροφή τους και να τη μασουλούν, και οι νυχτερίδες φαίνονται πολύ αδύξες στο έδαφος χωρίς χέρια. Μια απάντηση σ' αυτό το πρόβλημα είναι ίσως ότι οι μεταλλάξεις δεν προσέφεραν ποτέ την απαραίτητη ποικιλότητα. Δεν υπήρξαν ποτέ μεταλλαγμένες νυχτερίδες που τα φτερά τους να φυτρώνουν στην πλάτη τους.

*Καρικατούρα* Ανοησίες. Η επιλογή είναι το παν. Αν οι νυχτερίδες δεν έχουν φτερά σαν αυτά των αγγέλων, αυτό μπορεί να σημαίνει μόνο ένα πράγμα: ότι η επιλογή δεν ευνοούσε τέτοια φτερά. Σίγουρα υπήρξαν μεταλλαγμένες νυχτερίδες με φτερά που φύτρωναν στην πλάτη τους, αλλά η επιλογή δεν τις ευνόησε.

*Πραγματικός* Συμφωνώ ότι η επιλογή μπορεί να μην τις ευνόησε αν είχαν βγάλει φτερά στην πλάτη. Πρώτα πρώτα θα αύξαναν το βάρος όλου του ζώου, και το πρόσθετο βάρος είναι πολυτέλεια για ένα ιπτάμενο σώμα. Αλλά δεν πιστεύω να νομίζεις πως οι μεταλλάξεις θα προσέφεραν πάντοτε την απαραίτητη ποικιλότητα για οτιδήποτε ευνοούνταν θεωρητικά από την επιλογή.

*Καρικατούρα* Και βέβαια το πιστεύω. Η επιλογή είναι το παν. Οι μεταλλάξεις είναι τυχαίες.

*Πραγματικός* Ναι, οι μεταλλάξεις είναι τυχαίες, αλλά αυτό σημαίνει απλώς ότι δεν μπορούν να δουν το μέλλον και να σχεδιάσουν αυτό που θα ήταν καλό για το ζώο. Δεν σημαίνει πως τα πάντα είναι δυνατά. Για παράδειγμα, γιατί νομίζεις ότι δεν υπάρχει κανένα ζώο που να βγάζει φωτιά από τα ρουθούνια του σαν δράκος; Δεν θα ήταν χρήσιμο αυτό σε ένα ζώο, για να συλλαμβάνει και να ψήνει τη λεία του;

- Καρικατούρα* Η απάντηση είναι εύκολη. Η επιλογή είναι το παν. Τα ζώα δεν βγάζουν φωτιά, γιατί δεν θα τα ωφελούσε αν πετούσαν. Τα μεταλλαγμένα ζώα που έβγαζαν φωτιά εξαλειφθηκαν από τη φυσική επιλογή, ίσως επειδή η παραγωγή της φωτιάς απαιτεί πολλή ενέργεια.
- Πραγματικός* Δεν πιστεύω ότι υπήρξαν ποτέ μεταλλαγμένα ζώα που έβγαζαν φωτιά. Και αν υπήρξαν, θα κινδύνευαν σοβαρά να καούν από την ίδια τη φωτιά τους!
- Καρικατούρα* Ανοησίες. Αν αυτό ήταν το μοναδικό πρόβλημα, η επιλογή θα είχε ευνοήσει την εξέλιξη ρουθουινών με επένδυση από αμιάντο.
- Πραγματικός* Δεν πιστεύω ότι οι μεταλλάξεις παρήγαγαν ποτέ ρουθουίνια με επένδυση από αμιάντο. Δεν πιστεύω ότι θα μπορούσαν να υπάρξουν μεταλλαγμένα ζώα που να είναι σε θέση να εκκρίνουν αμιάντο, όπως δεν θα μπορούσαν να υπάρξουν μεταλλαγμένες αγελάδες που να μπορούν να πηδήσουν πάνω από το φεγγάρι.
- Καρικατούρα* Μια μεταλλαγμένη αγελάδα που πηδά πάνω από το φεγγάρι θα εξαλειφόταν αμέσως από τη φυσική επιλογή. Δεν υπάρχει οξυγόνο εκεί πάνω, ξέρεις.
- Πραγματικός* Μου φαίνεται παράξενο που δεν ισχυρίζεσαι ότι θα μπορούσαν να υπάρξουν μεταλλαγμένες αγελάδες με γενετικά προκατασκευασμένες διαστημικές στολές και μάσκες οξυγόνου.
- Καρικατούρα* Σωστή σκέψη! Τότε, λοιπόν, φαντάζομαι ότι η σωστή εξήγηση είναι άλλη: απλώς δεν συνέφερε τις αγελάδες να πηδούν πάνω από το φεγγάρι. Δεν πρέπει να ξεχνάμε πόση ενέργεια θα έπρεπε να καταναλώσουν για να αποκτήσουν την ταχύτητα διαφυγής.

- Πραγματικός* Αυτό είναι παράλογο.
- Καρικατούρα* Προφανώς δεν είσαι πραγματικός δαρβινιστής. Τι είσαι, μήπως κανένας κρυπτομεταλλακτιστής;
- Πραγματικός* Αν το πιστεύεις αυτό, θά 'πρεπε να γνωρίσεις κανέναν πραγματικό μεταλλακτιστή.
- Μεταλλακτιστής* Η λογομαχία είναι μόνο για δαρβινιστές ή μπορεί να συμμετάσχει όποιος θέλει; Το πρόβλημα και με τους δυο σας είναι ότι δίνετε πολύ μεγάλη έμφαση στην επιλογή. Το μόνο που μπορεί να κάνει η επιλογή είναι να εξαλείψει τις χονδροειδείς παραμορφώσεις και τα τέρατα. Δεν μπορεί να παραγάγει πραγματικά δημιουργική εξέλιξη. Ας αναφερθούμε στα φτερά των νυχτερίδων. Εκείνο που συνέβη είναι ότι σε έναν αρχαίο πληθυσμό ζώων που ζούσαν στο έδαφος, άρχισαν να εμφανίζονται μεταλλάξεις που μάκρυναν τα δάχτυλα και δημιουργούσαν δερμάτινες μεμβράνες ανάμεσά τους. Καθώς περνούσαν οι γενιές, αυτές οι μεταλλάξεις γίνονταν ολοένα και πιο συχνές, ώσπου τελικά όλος ο πληθυσμός απέκτησε φτερά. Αυτό δεν είχε καμιά σχέση με την επιλογή. Απλώς η προγονική νυχτερίδα είχε μια εγγενή τάση προς την εξέλιξη φτερών.

*Πραγματικός* Σκέτος μυστικισμός! Ξαναγύρνα στον προηγούμενο και *Καρικατούρα* αιώνα, όπου θρίσκεται η θέση σου.  
(*εν χορώ*)

Ελπίζω να μην έχω άδικο αν θεωρήσω ότι οι συμπάθειες του αναγνώστη δεν κλίνουν ούτε προς τον μεταλλακτιστή ούτε προς την καρικατούρα του δαρβινιστή. Υποθέτω ότι ο αναγνώστης συμφωνεί με τον πραγματικό δαρβινιστή, όπως φυσικά συμφωνώ κι εγώ. Η καρικατούρα δεν υπάρχει στην πραγματικότητα. Δυστυχώς, μερικοί νομίζουν ότι υπάρχει, και θεωρούν ότι, αφού διαφωνούν με αυτήν, διαφωνούν και με το δαρβινισμό. Μια σχολή

βιολόγων έχει αρχίσει να υποστηρίζει πως το πρόβλημα με το δαρβινισμό είναι ότι αγνοεί τους περιορισμούς που επιβάλλει η εμβρυολογία. Οι δαρβινιστές (εδώ είναι που υπεισέρχεται η καρικατούρα) νομίζουν ότι, αν η επιλογή ευνοούσε κάποια εξελικτική αλλαγή, τότε θα είναι διαθέσιμη και η απαραίτητη μεταλλακτική ποικιλότητα για την πραγματοποίησή της. Η μεταλλακτική μεταβολή είναι εξίσου πιθανή προς κάθε κατεύθυνση. Η μοναδική διαδικασία που διαμορφώνει μια τάση προς κάποια κατεύθυνση είναι η επιλογή.

Ωστόσο, κάθε πραγματικός δαρβινιστής θα δεχόταν ότι, παρόλο που οποιοδήποτε γονίδιο οποιοδήποτε χρωμοσώματος μπορεί να μεταλλαχθεί ανά πάσα στιγμή, οι συνέπειες που έχει η μετάλλαξη στο σώμα περιορίζονται αυστηρά από τις εμβρυολογικές διεργασίες. Αν αμφέβαλλα ποτέ γι' αυτό (κάτι που δεν συμβαίνει), οι αμφιβολίες μου θα είχαν διαλυθεί από τις προσομοιώσεις των βιομορφών στον υπολογιστή. Δεν μπορεί κανείς έτσι απλά να θεωρήσει ως δεδομένο ότι συμβαίνει μια μετάλλαξη που έχει ως αποτέλεσμα να φυτρώσουν φτερά στη μέση της πλάτης. Τα φτερά, ή και οτιδήποτε άλλο, μπορούν να εξελιχθούν μόνο αν το επιτρέψει η διαδικασία της ανάπτυξης. Τίποτε δεν μπορεί να «φυτρώσει» με μαγικό τρόπο. Πρέπει να παραχθεί από τις διεργασίες της εμβρυϊκής ανάπτυξης. Μόνο μια μειονότητα των συστημάτων που θα μπορούσαμε να φανταστούμε να εξελίσσονται σε ένα ζώο είναι δυνατό να εξελιχθούν πραγματικά, επειδή τους το επιτρέπει το *status quo* των υπαρχουσών διεργασιών της ανάπτυξης. Λόγω του τρόπου με τον οποίο αναπτύσσονται τα χέρια, οι μεταλλάξεις μπορούν να αυξήσουν το μήκος των δαχτύλων και να προκαλέσουν το σχηματισμό μεμβρανών από δέρμα ανάμεσά τους. Εντούτοις, οι διεργασίες ανάπτυξης της πλάτης μπορεί να μην έχουν κανένα χαρακτηριστικό που να προσφέρεται για το «φύτρωμα» φτερών σαν αυτά των αγγέλων. Τα γονίδια μπορεί να μεταλλάσσονται όσο θέλουν, αλλά κανένα θηλαστικό δεν θα βγάλει ποτέ φτερά παρόμοια με εκείνα των αγγέλων, αν οι εμβρυολογικές διεργασίες των θηλαστικών δεν επιδέχονται τέτοια αλλαγή.

Εφόσον δεν γνωρίζουμε ακόμη όλες τις λεπτομέρειες της ανά-



πτωξης των εμβρύων, υπάρχουν περιθώρια διαφωνίας σχετικά με το πόσο πιθανό είναι να υπήρξαν ή να μην υπήρξαν κάποιες συγκεκριμένες μεταλλάξεις που φανταζόμαστε. Μπορεί, για παράδειγμα, να αποδειχτεί ότι δεν υπάρχει τίποτε στην εμβρυολογία των θηλαστικών που να απαγορεύει τα φτερά αγγέλων και η καρικατούρα του δαρβινιστή να είχε δίκιο, σ' αυτή τη συγκεκριμένη περίπτωση, όταν υποστήριζε ότι τα φτερά όντως φύτρωσαν, αλλά δεν ευνοήθηκαν από την επιλογή. Ή, μπορεί να αποδειχτεί, όταν μάθουμε περισσότερα πράγματα για την εμβρυολογία, ότι τα φτερά αγγέλων δεν θα μπορούσαν ποτέ να εμφανιστούν, για εμβρυολογικούς λόγους, και επομένως η φυσική επιλογή δεν είχε ποτέ την ευκαιρία να τα ευνοήσει. Υπάρχει και μια τρίτη δυνατότητα, που θα πρέπει να την αναφέρουμε για να καλύψουμε όλες τις δυνατές περιπτώσεις, ότι δηλαδή οι διεργασίες της εμβρυϊκής ανάπτυξης δεν επέτρεψαν ποτέ το σχηματισμό φτερών αγγέλων και ότι η επιλογή δεν θα τα ευνοούσε ποτέ, ακόμη και αν είχαν σχηματιστεί. Ωστόσο, εκείνο στο οποίο πρέπει να επιμείνουμε είναι ότι δεν πρέπει να αγνοούμε τους περιορισμούς που επιβάλλει η εμβρυολογία στην εξέλιξη. Όλοι οι σοβαροί δαρβινιστές θα συμφωνούσαν σ' αυτό, μερικοί όμως παρουσιάζουν τους δαρβινιστές να το αρνούνται. Τελικά αποδεικνύεται ότι εκείνοι που θορυβούν με τα σχόλιά τους για τους «περιορισμούς από την ανάπτυξη», θεωρώντας ότι οι περιορισμοί αυτοί αποτελούν ένα πρόβλημα για τη δαρβινική θεωρία, συγχέουν τους δαρβινιστές με την καρικατούρα που σατίρισα παραπάνω.

Όλα αυτά άρχισαν από μια συζήτηση σχετικά με το τι εννοούμε όταν λέμε ότι οι μεταλλάξεις είναι «τυχαίες». Ανέφερα τρεις λόγους για τους οποίους οι μεταλλάξεις δεν είναι τυχαίες: προκαλούνται από ακτίνες X ή από κάτι άλλο· διαφορετικά γονίδια έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάλλαξης· οι ρυθμοί μετάλλαξης προς τη μία κατεύθυνση δεν είναι απαραίτητα ίσοι με αυτούς προς την αντίθετη. Στη συνέχεια προσθέσαμε έναν τέταρτο λόγο για τον οποίο οι μεταλλάξεις δεν είναι τυχαίες. Οι μεταλλάξεις δεν είναι τυχαίες, με την έννοια ότι μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές μόνο σε υπάρχουσες διεργασίες εμβρυϊκής ανάπτυξης. Δεν μπορούν να εμφανίσουν, εκ του μηδενός, οποιαδήποτε αλλα-

γή θα μπορούσε να ευνοήσει η επιλογή. Η ποικιλότητα που είναι διαθέσιμη για επιλογή περιορίζεται από τις διεργασίες της εμβρυϊκής ανάπτυξης, όπως αυτές είναι ήδη διαμορφωμένες.

Υπάρχει και ένας πέμπτος λόγος για τον οποίο οι μεταλλάξεις θα μπορούσε να μην είναι τυχαίες. Μπορούμε να φανταστούμε (αν και δύσκολα) μια μορφή μετάλλαξης που να παρουσιάζει συστηματική τάση προς την κατεύθυνση της βελτίωσης της προσαρμογής του ζώου στη ζωή του. Αλλά παρόλο που μπορούμε να τη φανταστούμε, κανείς δεν έχει καταφέρει ακόμη να προτείνει κάποιον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσε να εκδηλωθεί αυτή η τάση. Και μόνο για αυτό τον πέμπτο λόγο, τη «μεταλλακτιστική άποψη», ο πραγματικός δαρβινιστής επιμένει ότι οι μεταλλάξεις είναι τυχαίες. Οι μεταλλάξεις δεν παρουσιάζουν συστηματική τάση να κινούνται προς την κατεύθυνση της προσαρμοστικής βελτίωσης, και δεν γνωρίζουμε κανένα μηχανισμό (για να θέσουμε ήπια το ζήτημα) που θα μπορούσε να οδηγήσει τη μετάλλαξη προς κατευθύνσεις που να είναι μη τυχαίες με αυτή την πέμπτη έννοια. Οι μεταλλάξεις είναι τυχαίες σε σχέση με το πλεονέκτημα της προσαρμογής, αν και είναι μη τυχαίες για όλους τους άλλους λόγους. Η επιλογή και μόνο η επιλογή είναι εκείνη που κατευθύνει την εξέλιξη προς κατευθύνσεις που είναι μη τυχαίες σε ό,τι αφορά το πλεονέκτημα της προσαρμογής το οποίο παρέχουν. Ο μεταλλακτισμός δεν είναι απλώς αντικειμενικά λαθεμένος: δεν θα μπορούσε ποτέ να είναι σωστός. Δεν μπορεί καθ' αρχήν να εξηγήσει την εξέλιξη της βελτίωσης. Ο μεταλλακτισμός ανήκει στην ίδια κατηγορία με το λαμαρκισμό: δεν αποτελεί μια θεωρία που ήταν αντίπαλη του δαρβινισμού και καταρρίφθηκε: απλούστατα δεν μπορεί καν να θεωρηθεί αντίπαλη θεωρία.

Το ίδιο ισχύει και για τον επόμενο υποτιθέμενο αντίπαλο της δαρβινικής επιλογής, που υποστηρίζεται από το γενετιστή του Καίμπριτζ Gabriel Dover και έχει το παράξενο όνομα «μοριακή καθοδήγηση». (Αφού τα πάντα αποτελούνται από μόρια, δεν είναι προφανές γιατί η υποθετική διαδικασία του Dover πρέπει να δικαιούται το όνομα *μοριακή* καθοδήγηση περισσότερο απ' ό,τι άλλες εξελικτικές διαδικασίες. Η περίπτωση μου θυμίζει κάποιον



γνωστό μου ο οποίος έλεγε ότι έχει ενοχλήσεις στο γαστρικό του στομάχι και ότι σκέφτεται με τον νοητικό του εγκέφαλο.) Ο Motoo Kimura και οι άλλοι υποστηρικτές της ουδετεριστικής θεωρίας της εξέλιξης, όπως είδαμε, δεν προβάλλουν ψευδείς ισχυρισμούς για τη θεωρία τους. Δεν έχουν ψευδαισθήσεις και δεν υποστηρίζουν ότι οι τυχαίες αλλαγές είναι μια αντίπαλη εναλλακτική θεωρία που μπορεί να αντικαταστήσει τη φυσική επιλογή ως εξήγηση της προσαρμοστικής εξέλιξης. Αναγνωρίζουν ότι μόνο η φυσική επιλογή μπορεί να οδηγήσει την εξέλιξη προς προσαρμοστικές κατευθύνσεις. Ο ισχυρισμός τους είναι απλώς ότι πολλές εξελικτικές αλλαγές (όπως βλέπει τις εξελικτικές αλλαγές ένας μοριακός γενετιστής) δεν είναι προσαρμοστικές. Ο Dover δεν εκφράζει τέτοιους μετριοπαθείς ισχυρισμούς για τη θεωρία του. Πιστεύει ότι μπορεί να εξηγήσει *ολόκληρη* την εξέλιξη χωρίς φυσική επιλογή, αν και παραδέχεται μεγαλόψυχα ότι μπορεί να υπάρχει και *κάποια* αλήθεια στη θεωρία της φυσικής επιλογής!

Σε όλη την έκταση του βιβλίου, όταν εξετάζαμε τέτοια θέματα, η πρώτη μας δουλειά ήταν να καταφεύγουμε στο παράδειγμα του ματιού. Φυσικά, το μάτι είναι απλώς ένας εκπρόσωπος μιας μεγάλης σειράς οργάνων που είναι υπερβολικά πολύπλοκα και καλοσχεδιασμένα για να έχουν σχηματιστεί τυχαία. Υποστήριξα επανειλημμένα ότι μόνο η φυσική επιλογή προσφέρει μια εύλογη εξήγηση για το σχηματισμό του ανθρώπινου ματιού και άλλων οργάνων ανάλογης εξαιρετικής τελειότητας και πολυπλοκότητας. Ευτυχώς, ο Dover δεν αγνόησε αυτή την πρόκληση και έδωσε τη δική του εξήγηση για την εξέλιξη του ματιού. Ας υποθέσουμε, λέει, ότι χρειάζονται 1.000 εξελικτικά βήματα για να εξελιχθεί το μάτι από το μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι χρειάστηκε μια σειρά 1.000 γενετικών αλλαγών για να μεταμορφωθεί ένα γυμνό κομμάτι δέρματος σε μάτι. Η παραδοχή αυτή μου φαίνεται αποδεκτή ως βάση για συζήτηση. Στη γλώσσα της Χώρας των βιομορφών, σημαίνει ότι το ζώο με το γυμνό δέρμα βρίσκεται 1.000 γενετικά βήματα μακριά από το ζώο που διαθέτει μάτι.

Πώς εξηγούμε τώρα το γεγονός ότι έγιναν τα σωστά 1.000 βήματα για να παραχθεί το μάτι που γνωρίζουμε; Η εξήγηση της

φυσικής επιλογής είναι γνωστή. Για να την αναγάγουμε στην απλούστερη μορφή της, σε καθένα από τα 1.000 βήματα, η μετάλλαξη προσφέρει μια σειρά από εναλλακτικές πορείες, από τις οποίες ευνοείται μόνο μία, γιατί αυτή βοηθάει στην επιβίωση. Τα 1.000 βήματα της εξέλιξης αντιπροσωπεύουν 1.000 διαδοχικά σημεία επιλογής, στο καθένα από τα οποία οι περισσότερες εναλλακτικές πορείες οδηγούν στο θάνατο. Η προσαρμοστική πολυπλοκότητα του σύγχρονου ματιού είναι το τελικό προϊόν των 1.000 επιτυχών ασυνείδητων «επιλογών». Το είδος ακολούθησε μια συγκεκριμένη διαδρομή μέσα από το λαβύρινθο όλων των δυνατοτήτων. Κατά μήκος της διαδρομής υπήρχαν 1.000 σημεία διακλάδωσης, και σε καθένα από αυτά, τα ζώα που επέζησαν ήταν εκείνα που έτυχε να επιλέξουν την πορεία που οδηγούσε στη βελτίωση της όρασης. Οι δύο άκρες του δρόμου είναι στρωμένες από τα πτώματα των αποτυχημένων που ακολούθησαν λαθεμένη πορεία σε καθένα από τα 1.000 διαδοχικά σημεία επιλογής. Το μάτι που γνωρίζουμε είναι το τελικό προϊόν μιας ακολουθίας από 1.000 επιτυχημένες «επιλογές».

Αυτός είναι ένας από τους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να εκφράσουμε την εξήγηση της φυσικής επιλογής για την εξέλιξη του ματιού σε 1.000 βήματα. Ποια είναι τώρα η εξήγηση του Dover; Βασικά, υποστηρίζει ότι δεν θα είχε σημασία προς ποια κατεύθυνση έγινε το κάθε βήμα: το είδος θα έβρισκε εκ των υστέρων μια χρήση για το όργανο που θα παραγόταν. Κάθε βήμα που έκανε το είδος ήταν, σύμφωνα με τον Dover, ένα τυχαίο βήμα. Στο Βήμα 1, για παράδειγμα, μια τυχαία μετάλλαξη εξαπλώθηκε στο είδος. Αφού το νέο χαρακτηριστικό ήταν τυχαίο από άποψη λειτουργίας, δεν βοηθούσε στην επιβίωση των ζώων. Έτσι, το είδος αναζητούσε έναν νέο τρόπο ζωής ή έναν νέο τόπο, όπου τα ζώα θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν αυτό το νέο τυχαίο χαρακτηριστικό που είχε επιβάλει η μετάλλαξη στο σώμα τους. Αφού έβρισκαν ένα περιβάλλον που να ταιριάζει στο τυχαίο μέρος του σώματός τους, ζούσαν εκεί για λίγο, ώσπου να εμφανιστεί μια νέα τυχαία μετάλλαξη και να εξαπλωθεί κι αυτή στον πληθυσμό. Τότε, το είδος έπρεπε να αναζητήσει έναν νέο τρόπο ζωής ή έναν νέο τόπο, όπου θα μπορούσε να ζήσει με τη

νέα τυχαία αλλαγή του σώματος. Όταν τον έβρισκε, το Βήμα 2 είχε ολοκληρωθεί. Τώρα, στο Βήμα 3, μια νέα τυχαία μετάλλαξη εξαπλωνόταν στο είδος, και ούτω καθεξής, για 1.000 βήματα. Στο τέλος αυτής της διαδρομής βρίσκουμε σχηματισμένο το μάτι, όπως το γνωρίζουμε. Ο Dover επισημαίνει ότι το ανθρώπινο μάτι συμβαίνει να χρησιμοποιεί αυτό που ονομάζουμε «ορατό» φως και όχι της υπέρυθρες ακτίνες. Εντούτοις, αν οι τυχαίες διεργασίες συνέβαινε να μας επιβάλουν ένα μάτι ευαίσθητο στις υπέρυθρες ακτίνες, αναμφίβολα θα το είχαμε εκμεταλλευτεί στο έπακρο και θα βρίσκαμε έναν τρόπο ζωής που να αξιοποιεί πλήρως τις υπέρυθρες ακτίνες.

Με μια πρώτη, αλλά επιπόλαιη ματιά, αυτή η ιδέα έχει κάποια αληθοφάνεια, η οποία οφείλεται στον εντελώς συμμετρικό τρόπο με τον οποίο «αντιστρέφει» τη φυσική επιλογή. Η φυσική επιλογή, στην απλούστερη μορφή της, θεωρεί ότι το περιβάλλον επιβάλλεται σε ένα είδος και επιβιώνουν εκείνες οι γενετικές παραλλαγές που είναι πιο κατάλληλες γι' αυτό το περιβάλλον. Το περιβάλλον επιβάλλεται και το είδος εξελίσσεται έτσι ώστε να ταιριάζει σ' αυτό. Ο Dover αντιστρέφει αυτή την ιδέα. Σύμφωνα με τη θεωρία του, η φύση του είδους είναι εκείνη που «επιβάλλεται», σ' αυτή την περίπτωση από τις μεταλλάξεις και από άλλες γενετικές δυνάμεις οι οποίες τον ενδιαφέρουν ιδιαίτερα. Κατόπιν το είδος βρίσκει, ανάμεσα σε όλα τα δυνατά περιβάλλοντα, εκείνο που ταιριάζει καλύτερα στη φύση η οποία του έχει επιβληθεί.

Ωστόσο, η αληθοφάνεια της συμμετρίας είναι εντελώς επιφανειακή. Το πόσο εξωπραγματική είναι η ιδέα του Dover φαίνεται περίτρανα αν την εξετάσουμε από την αριθμητική πλευρά. Η ουσία της εξήγησής του είναι ότι σε καθένα από τα 1.000 βήματα δεν έχει σημασία προς πια κατεύθυνση θα στραφεί το είδος. Κάθε αλλαγή είναι τυχαία από λειτουργική άποψη και το είδος βρίσκει ένα περιβάλλον που ταιριάζει σ' αυτήν. Εδώ υπονοείται ότι το είδος θα βρίσκει πάντοτε ένα κατάλληλο περιβάλλον, ανεξάρτητα από το δρόμο που θα ακολουθήσει σε κάθε διακλάδωση της διαδρομής. Σκεφτείτε τώρα πόσα δυνατά περιβάλλοντα μας αναγκάζει να δεχτούμε αυτή η αντίληψη. Υπάρχουν 1.000 σημεία διακλάδωσης. Αν από κάθε σημείο διακλάδωσης ξεκινούν δύο

διαφορετικές εναλλακτικές διαδρομές (αντί να ξεκινούν 3 ή 18, κάτι που αποτελεί μια συντηρητική εκτίμηση), για να μπορεί να λειτουργήσει η ιδέα του Dover πρέπει, κατ' αρχήν, να υπάρχει ένας συνολικός αριθμός από δυνατά περιβάλλοντα που ισούται με το 2 υψωμένο στη χιλιοστή δύναμη. (Η πρώτη διακλάδωση δίνει δύο δρόμους, έπειτα καθένας από αυτούς διακλαδίζεται σε δύο, πράγμα που μας δίνει συνολικά τέσσερις, ύστερα ο καθένας από αυτούς διακλαδίζεται, και έχουμε 8, κατόπιν οι δρόμοι γίνονται 16, 32, 64, ..., όπου να καταλήξουμε στους  $2^{1000}$ ). Αυτός ο αριθμός (η μονάδα ακολουθούμενη από 301 μηδενικά) είναι πολύ μεγαλύτερος από τον συνολικό αριθμό των ατόμων σε ολόκληρο το σύμπαν.

Η θεωρία του Dover δεν θα μπορούσε ποτέ να ισχύσει ως εναλλακτική εξήγηση στη θέση της φυσικής επιλογής, όχι μόνο σε ένα εκατομμύριο χρόνια, αλλά ούτε σε χρονικό διάστημα ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερο από αυτό κατά το οποίο υπάρχει το σύμπαν, ούτε και σε ένα εκατομμύριο σύμπαντα που το καθένα τους θα διαρκούσε επίσης ένα εκατομμύριο φορές περισσότερο. Προσέξτε ότι αυτό το συμπέρασμα δεν επηρεάζεται ουσιαστικά αν αλλάξουμε την αρχική παραδοχή του Dover, ότι χρειάζονται 1.000 βήματα για να σχηματιστεί το μάτι. Αν μειώσουμε τον αριθμό στα 100 μόνο βήματα (μια μάλλον σημαντική μείωση), καταλήγουμε και πάλι στο συμπέρασμα ότι τα κατάλληλα για επιθώση δυνατά περιβάλλοντα που πρέπει να υπάρχουν σε εφεδρεία, θα λέγαμε, για να καλύψουν τα όποια τυχαία βήματα μπορεί να κάνει το είδος, είναι περισσότερα από ένα εννεάκις εκατομμύριο. Ο αριθμός αυτός είναι μικρότερος από τον προηγούμενο, εξακολουθεί όμως να σημαίνει ότι στη συντριπτική πλειοψηφία τους τα «εφεδρικά περιβάλλοντα» του Dover που περιμένουν για να καλύψουν τις αλλαγές του είδους πρέπει να αποτελούνται από λιγότερο από ένα άτομο το καθένα.

Εδώ αξίζει τον κόπο να εξηγήσουμε το λόγο για τον οποίο η θεωρία της φυσικής επιλογής δεν κινδυνεύει από κάποια αντίστοιχη κατάρριψη, με την εφαρμογή μιας μορφής του επιχειρήματος των μεγάλων αριθμών. Στο Κεφάλαιο 3 θεωρήσαμε πως όλα τα πραγματικά και τα πιθανά ζώα βρίσκονται μέσα σε έναν



γιγάντιο υπερχώρο. Κάνουμε κι εδώ κάτι παρόμοιο, αλλά απλοποιούμε τα πράγματα, θεωρώντας ότι σε κάθε σημείο διακλάδωσης η εξελικτική πορεία χωρίζεται σε 2 δυνατούς δρόμους και όχι σε 18, λόγω χάρη. Έτσι, το σύνολο όλων των δυνατών ζώων που θα μπορούσαν να έχουν εξελιχθεί με 1.000 εξελικτικά βήματα βρίσκεται σε ένα γιγάντιο δέντρο που διακλαδίζεται ξανά και ξανά, έτσι ώστε ο συνολικός αριθμός των τελικών κλαδιών του να είναι η μονάδα ακολουθούμενη από 301 μηδενικά. Οποιαδήποτε πραγματική εξελικτική ιστορία μπορεί να απεικονιστεί σαν μια συγκεκριμένη διαδρομή πάνω στα κλαδιά αυτού του υποθετικού δέντρου. Από όλες τις δυνατές εξελικτικές διαδρομές, μόνο μια μειονότητα έχει πραγματοποιηθεί. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το μεγαλύτερο μέρος αυτού του «δέντρου όλων των δυνατών ζώων» είναι κρυμμένο στο σκοτάδι της ανυπαρξίας. Εδώ κι εκεί, μερικές διαδρομές του σκοτεινού δέντρου είναι φωτισμένες. Αυτές είναι οι εξελικτικές διαδρομές που υπήρξαν πραγματικά και, όσο πολυάριθμα κι αν είναι τα φωτισμένα κλαδιά, αποτελούν και πάλι μια απειροελάχιστη μειονότητα του συνόλου όλων των κλαδιών. Η φυσική επιλογή είναι μια διαδικασία που μπορεί να βρίσκει το δρόμο της μέσα στο δέντρο όλων των δυνατών ζώων και να ανακαλύπτει εκείνη τη μειονότητα των διαδρομών που είναι κατάλληλες για την επιβίωση. Η θεωρία της φυσικής επιλογής δεν μπορεί να καταρριφθεί από το επιχείρημα των μεγάλων αριθμών που χρησιμοποίησα για τη θεωρία του Dover, γιατί η ουσία της είναι ότι κόβει συνεχώς το μεγαλύτερο μέρος των κλαδιών του δέντρου. Αυτό ακριβώς κάνει η φυσική επιλογή. Βρίσκει το δρόμο της, βήμα προς βήμα, μέσα από το δέντρο όλων των δυνατών ζώων, αποφεύγοντας τη σχεδόν άπειρη πλειονότητα των άγονων κλαδιών –λόγου χάρη, ζώα που τα μάτια τους βρίσκονται στα πόδια τους, κ.λπ.–, τα οποία η θεωρία του Dover είναι υποχρεωμένη να δεχτεί, εξαιτίας της ιδιόρρυθμης αντεστραμμένης λογικής της.

Εξετάσαμε όλους τους υποτιθέμενους αντιπάλους της θεωρίας της φυσικής επιλογής εκτός από τον παλιότερο, τη θεωρία ότι η ζωή δημιουργήθηκε, ή η εξέλιξή της κατευθύνθηκε, από έναν συνειδητό σχεδιαστή. Προφανώς θα ήταν πολύ εύκολο να συν-

τρίψουμε κάποια συγκεκριμένη εκδοχή αυτής της θεωρίας όπως εκείνη που περιγράφεται στη Γένεση (ή τις δύο, ίσως, εκδοχές που περιγράφονται στη Γένεση). Σχεδόν όλοι οι λαοί έχουν αναπτύξει τον δικό τους μύθο για τη δημιουργία, και η ιστορία της Γένεσης είναι απλώς εκείνη που έτυχε να υιοθετηθεί από έναν συγκεκριμένο λαό ποιμένων της Μέσης Ανατολής. Δεν έχει περισσότερο ξεχωριστή θέση από την πίστη μιας συγκεκριμένης φυλής της Δυτικής Αφρικής σύμφωνα με την οποία ο κόσμος δημιουργήθηκε από τα περιτώματα μυρμηγκιών. Όλοι αυτοί οι μύθοι έχουν ένα κοινό στοιχείο, ότι αναφέρονται στις προθέσεις κάποιου υπερφυσικού όντος.

Με την πρώτη ματιά, πρέπει να κάνουμε μια σημαντική διάκριση ανάμεσα στην «ακαριαία δημιουργία» και στην «καθοδηγούμενη εξέλιξη». Οι σύγχρονοι θεολόγοι που είναι έστω και ελάχιστα προοδευτικοί έχουν πάψει να πιστεύουν στην ακαριαία δημιουργία. Οι αποδείξεις ότι έχει συντελεστεί κάποιο είδος εξέλιξης έχουν γίνει συντριπτικές. Αλλά πολλοί θεολόγοι που αυτοαποκαλούνται εξελικτιστές, όπως για παράδειγμα ο επίσκοπος του Μπίρμιγχαμ, που τον αναφέραμε στο Κεφάλαιο 2, «εισάγουν από την πίσω πόρτα» τον Θεό. Θεωρούν ότι ο Θεός εποπτεύει την πορεία της εξέλιξης, είτε επηρεάζοντας καθοριστικές στιγμές της εξελικτικής ιστορίας (ιδιαίτερα, φυσικά, της ανθρώπινης εξελικτικής ιστορίας), ή ακόμη και αναμειγνυόμενος σε μεγαλύτερη έκταση στα καθημερινά γεγονότα που καταλήγουν στην εξελικτική αλλαγή.

Δεν μπορούμε να καταρρίψουμε τέτοιες πεποιθήσεις, ιδιαίτερα αν οι υποστηρικτές τους θεωρούν ότι ο Θεός φρόντισε ώστε οι παρεμβάσεις του να μοιάζουν σε μεγάλο βαθμό με τα γεγονότα που θα περίμενε κανείς να παραχθούν από την εξέλιξη με φυσική επιλογή. Το μόνο που μπορούμε να πούμε γι' αυτές τις πεποιθήσεις είναι, πρώτον, ότι είναι περιττές και, δεύτερον, ότι *δέχονται εκ των προτέρων* την ύπαρξη του βασικού φαινομένου που θέλουμε να εξηγήσουμε, δηλαδή της οργανωμένης πολυπλοκότητας. Ο λόγος για τον οποίο η εξέλιξη αποτελεί μια τόσο επιτυχημένη θεωρία είναι ότι εξηγεί πώς η οργανωμένη πολυπλοκότητα μπορεί να προέλθει από την αρχέγονη απλότητα.

Αν θέλουμε να δεχτούμε την ύπαρξη μιας θεότητας που μπορεί να κατασκευάσει όλη την οργανωμένη πολυπλοκότητα που βλέπουμε στον κόσμο, είτε ακαριαία είτε καθοδηγώντας την εξέλιξη, αυτή η θεότητα πρέπει να είναι ήδη τρομερά πολύπλοκη. Ο δημιουργιστής, είτε είναι ένας αφελής φανατικός θρησκόληπτος είτε ένας μορφωμένος επίσκοπος, απλώς *δέχεται* εκ των προτέρων την ύπαρξη ενός όντος με τεράστια νοημοσύνη και πολυπλοκότητα. Αν επιτρέψουμε στον εαυτό μας αυτή την πολυτέλεια και δεχτούμε την ύπαρξη της οργανωμένης πολυπλοκότητας χωρίς καμία εξήγηση, γιατί να μη φτάσουμε μέχρι το τέλος και να δεχτούμε απλούστατα και την ύπαρξη της ζωής όπως τη γνωρίζουμε; Με λίγα λόγια, η θείκη δημιουργία, είτε ως στιγμιαία πράξη είτε με τη μορφή της καθοδηγούμενης εξέλιξης, μπαίνει κι αυτή στον κατάλογο των άλλων θεωριών που εξετάσαμε σ' αυτό το κεφάλαιο. Όλες φαίνονται επιφανειακά να προσφέρουν εναλλακτικές εξηγήσεις στη θέση του δαρβινισμού, εξηγήσεις που οι αρετές τους μπορούν να δοκιμαστούν με βάση τα δεδομένα. Έπειτα από μια πιο προσεκτική εξέταση, όμως, αποδεικνύεται ότι καμία από αυτές δεν μπορεί να θεωρηθεί αντίπαλος του δαρβινισμού. Η θεωρία της εξέλιξης μέσω συσσωρευτικής φυσικής επιλογής αποτελεί τη μόνη γνωστή θεωρία που είναι *κατ' αρχήν ικανή* να εξηγήσει την ύπαρξη της οργανωμένης πολυπλοκότητας. Ακόμη κι αν δεν την ευνοούσαν τα δεδομένα, θα ήταν *και πάλι* η καλύτερη διαθέσιμη θεωρία! Στην πραγματικότητα, τα δεδομένα την ευνοούν, αλλά αυτή είναι μια άλλη ιστορία.

Ας δούμε τώρα το συμπέρασμα που προκύπτει από την εξέταση του θέματός μας. Η ουσία της ζωής είναι η κολοσσιαία στατιστική απιθανότητα που τη χαρακτηρίζει. Επομένως, η εξήγηση για την ύπαρξη της ζωής δεν μπορεί να είναι το τυχαίο. Η σωστή εξήγηση πρέπει να αποτελεί το άκρο αντίθετο του τυχαίου. Το άκρο αντίθετο του τυχαίου είναι η μη τυχαία επιβίωση, με τη σωστή έννοια του όρου. Η μη τυχαία επιβίωση, με την εσφαλμένη έννοια του όρου, δεν είναι το άκρο αντίθετο του τυχαίου· είναι το ίδιο το τυχαίο. Υπάρχει ένα συνεχές που συνδέει αυτά τα δύο άκρα, το συνεχές από την επιλογή ενός βήματος ως τη συσσωρευτική επιλογή. Η επιλογή ενός βήματος είναι ένα άλλο όνομα

του τυχαίου. Αυτό εννοώ όταν λέω μη τυχαία επιβίωση με την εσφαλμένη έννοια του όρου. Η *συσσωρευτική επιλογή*, με αργά και σταδιακά βήματα, είναι η εξήγηση, η μοναδική θάσιμη εξήγηση που έχει προταθεί ποτέ, για τον πολύπλοκο σχεδιασμό της ζωής.

Όλο το βιβλίο κυριαρχείται από την ιδέα του τυχαίου και από τις αστρονομικά μεγάλες απιθανότητες που υπάρχουν να εμφανιστεί αυτόματα τάξη, πολυπλοκότητα και φαινομενικός σχεδιασμός. Αναζητήσαμε έναν τρόπο για να δαμάσουμε το τυχαίο. Το «μη δαμασμένο τυχαίο», το ολοκληρωτικά τυχαίο, σημαίνει ότι ο εύτακτος σχεδιασμός προέκυψε ξαφνικά από το μηδέν με ένα μοναδικό άλμα. Θα είχαμε να κάνουμε με «μη δαμασμένο τυχαίο» αν κάποτε δεν υπήρχε μάτι και, ξαφνικά, μέσα στο αστραπιαίο χρονικό διάστημα μίας γενιάς, εμφανιζόταν ένα μάτι, με όλο του τον εξοπλισμό, τέλειο και ολοκληρωμένο. Αυτό είναι δυνατό, αλλά αν θέλαμε να γράψουμε την πιθανότητα που υπάρχει να μη συμβεί κάτι τέτοιο, θα έπρεπε να γράφουμε μηδενικά μέχρι την άκρη του χρόνου. Δεν βλέπω κανέναν τρόπο για να αποφύγουμε το συμπέρασμα ότι το ίδιο ισχύει για την πιθανότητα που υπάρχει να μην εμφανιστούν αυτομάτως τέλεια και ολοκληρωμένα όντα, συμπεριλαμβανομένων και των θεϊκών.

Το «δάμασμα» του τυχαίου σημαίνει να αναλύσουμε το πολύ απίθανο σε λιγότερο απίθανα μικρά συστατικά μέρη που είναι διατεταγμένα στη σειρά. Όσο απίθανο κι αν είναι να προέλθει ένα X από ένα Y με ένα μόνο βήμα, είναι πάντοτε δυνατό να φανταστούμε μια σειρά από απειροελάχιστα διαβαθμισμένες ενδιάμεσες καταστάσεις που οδηγούν από το πρώτο στο δεύτερο. Όσο απίθανη κι αν είναι μια αλλαγή μεγάλης κλίμακας, οι μικρότερες αλλαγές είναι λιγότερο απίθανες. Με την προϋπόθεση ότι θα δεχτούμε μια αρκετά μεγάλη σειρά από αρκετά λεπτά διαβαθμισμένες ενδιάμεσες καταστάσεις, θα μπορούμε να «παράγουμε» οτιδήποτε από οτιδήποτε άλλο, χωρίς να υπεισέρχονται αστρονομικά μεγάλες απιθανότητες. Μας επιτρέπεται να το κάνουμε αυτό μόνο αν έχει υπάρξει αρκετός χρόνος, ώστε να χωρέσουν μέσα του όλες οι ενδιάμεσες καταστάσεις. Και επίσης, μόνο αν υπάρχει ένας μηχανισμός που να καθοδηγεί κάθε βήμα προς μια

συγκεκριμένη κατεύθυνση, γιατί αλλιώς η σειρά των θημάτων θα γίνει ένας ατέλειωτος τυχαίος περίπατος.

Η δαρβινική κοσμοθεωρία υποστηρίζει ότι και οι δύο αυτές προϋποθέσεις πληρούνται, και ότι η αργή, σταδιακή, συσσωρευτική φυσική επιλογή είναι η έσχατη εξήγηση της ύπαρξής μας. Αν υπάρχουν μορφές της εξελικτικής θεωρίας που αρνούνται την αργή βαθμιαία αλλαγή και τον κεντρικό ρόλο της φυσικής επιλογής, μπορεί να ισχύουν σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Ωστόσο, δεν είναι δυνατό να αποτελούν όλη την αλήθεια, γιατί αρνούνται την ίδια την καρδιά της εξελικτικής θεωρίας, η οποία της δίνει τη δύναμη να δαμάζει τις αστρονομικά μεγάλες απιθανότητες και να εξηγεί τα φαινομενικά θαύματα.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

1. Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. and Watson, J.D. (1983) *Molecular Biology of the Cell*. Νέα Υόρκη: Garland.
2. Anderson, D.M. (1981) Role of interfacial water and water in thin films in the origin of life. Στο J. Billingham (επιμ.) *Life in the Universe*. Καίμπριτζ, Μασσαχουσέττη: MIT Press.
3. Andersson, M. (1982) Female choice selects for extreme tail length in a widow bird. *Nature*, 299: 818-20.
4. Arnold, S.J. (1983) Sexual selection: the interface of theory and empiricism. Στο P.P.G. Bateson (επιμ.) *Mate Choice*, σελ. 67-107. Καίμπριτζ: Cambridge University Press.
5. Asimov, I. (1957) *Only a Trillion*. Λονδίνο: Abelard-Schuman.
6. Asimov, I. (1980) *Extraterrestrial Civilizations*. Λονδίνο: Pan.
7. Asimov, I. (1981) *In the Beginning*. Λονδίνο: New English Library.
8. Atkins, P.W. (1981) *The Creation*. Οξφόρδη: W.H. Freeman.
9. Attenborough, D. (1980) *Life on Earth*. Λονδίνο: Reader's Digest, Collins and BBC.
10. Barker, E. (1985) Let there be light: scientific creationism in the twentieth century. Στο J.R. Durant (επιμ.) *Darwinism and Divinity*, σελ. 189-204. Οξφόρδη: Basil Blackwell.
11. Bowler, P.J. (1984) *Evolution: the history of an idea*. Μπέρκλεϋ: University of California Press.
12. Bowles, K.L. (1977) *Problem-Solving using Pascal*. Βερολίνο: Springer-Verlag.
13. Cairns-Smith, A.G. (1982) *Genetic Takeover*. Καίμπριτζ: Cambridge University Press.



14. Cairns-Smith, A.G. (1985) *Seven Clues to the Origin of Life*. Καίμπριτζ: Cambridge University Press.
15. Cavalli-Sforza, L. and Feldman, M. (1981) *Cultural Transmission and Evolution*. Πρίνστον: Princeton University Press.
16. Cott, H.B. (1940) *Adaptive Coloration in Animals*. Λονδίνο: Methuen.
17. Crick, F. (1981) *Life Itself*. Λονδίνο: Macdonald.
18. Darwin, C. (1859) *The Origin of Species*. Λονδίνο: Penguin.
19. Dawkins, M.S. (1986) *Unravelling Animal Behaviour*. Λονδίνο: Longman.
20. Dawkins, R. (1976) *The Selfish Gene*. Οξφόρδη: Oxford University Press.
21. Dawkins, R. (1982) *The Extended Phenotype*. Οξφόρδη: Oxford University Press.
22. Dawkins, R. (1982) Universal Darwinism. Στο D.S. Bendall (επιμ.) *Evolution from Molecules to Men*, σελ. 403-25. Καίμπριτζ: Cambridge University Press.
23. Dawkins, R. and Krebs, J.R. (1979) Arms races between and within species. *Proceedings of the Royal Society of London*, B, 205: 489-511.
24. Douglas, A.M. (1986) Tigers in Western Australia. *New Scientist*, 110 (1505): 44-7.
25. Dover, G.A. (1984) Improbable adaptations and Maynard Smith's dilemma. Οξφόρδη, 1984.
26. Dyson, F. (1985) *Origins of Life*. Καίμπριτζ: Cambridge University Press.
27. Eigen, M., Gardiner, W., Schuster, P., and Winkler-Oswatitsch. (1981) The origin of genetic information. *Scientific American*, 244 (4): 88-118.
28. Eisner, T. (1982) Spray aiming in bombardier beetles: jet deflection by the Coander Effect. *Science*, 215: 83-5.
29. Eldredge, N. (1985) *Time Frames: the rethinking of Darwinian evolution and the theory of punctuated equilibria*. Νέα Υόρκη: Simon and Schuster (περιέχει ανατύπωση της εργασίας των Eldredge and Gould).
30. Eldredge, N. (1985) *Unfinished synthesis: biological hierar-*

- chies and modern evolutionary thought*. Νέα Υόρκη: Oxford University Press.
31. Fisher, R.A. (1930) *The Genetical Theory of Natural Selection*. Οξφόρδη: Clarendon Press. Νέα Υόρκη: Dover Publications.
  32. Gillespie, N.C. (1979) *Charles Darwin and the Problem of Creation*. Σικάγο: University of Chicago Press.
  33. Goldschmidt, R.B. (1945) Mimetic polymorphism, a controversial chapter of Darwinism. *Quarterly Review of Biology*, 20: 147-64 και 205-30.
  34. Gould, S.J. (1980) *The Panda's Thumb*. Νέα Υόρκη: W.W. Norton.
  35. Gould, S.J. (1980) Is a new and general theory of evolution emerging? *Paleobiology*, 6: 119-30.
  36. Gould, S.J. (1982) The meaning of punctuated equilibrium, and its role in validating a hierarchical approach to macroevolution. Στο R. Milkman (επιμ.) *Perspectives on Evolution*, σελ. 83-104. Σάντερλαντ, Μασσαχουσέτη: Sinauer.
  37. Gribbin, J. and Cherfas, J. (1982) *The Monkey Puzzle*. Λονδίνο: Bodley Head.
  38. Griffin, D.R. (1958) *Listening in the Dark*. Νιου Χέιθεν: Yale University Press.
  39. Hallam, A. (1973) *A Revolution in the Earth Sciences*. Οξφόρδη: Oxford University Press.
  40. Hamilton, W.D. and Zuk, M. (1982) Heritable true fitness and bright birds: a role for parasites? *Science*, 218: 384-7.
  41. Hitching, F. (1982) *The Neck of the Giraffe, or Where Darwin Went Wrong*. Λονδίνο: Pan.
  42. Ho, M-W. and Saunders, P. (1984) *Beyond Neo-Darwinism*. Λονδίνο: Academic Press.
  43. Hoyle, F. and Wickramasinghe, N.C. (1981) *Evolution from Space*. Λονδίνο: J.M. Dent.
  44. Hull, D.L. (1973) *Darwin and his Critics*. Σικάγο: Chicago University Press.
  45. Jacob, F. (1982) *The Possible and the Actual*. Νέα Υόρκη: Pantheon.

46. Jerison, H.J. (1985) Issues in brain evolution. Στο R. Dawkins and M. Ridley (επιμ.) *Oxford Surveys in Evolutionary Biology*, 2: 102-34.
47. Kimura, M. (1982) *The Neutral Theory of Molecular Evolution*. Καίμπριτζ: Cambridge University Press.
48. Kitcher, P. (1983) *Abusing Science: the case against creationism*. Milton Keynes: Open University Press.
49. Land, M.F. (1980) Optics and vision in invertebrates. Στο H. Autrum (επιμ.) *Handbook of Sensory Physiology*, σελ. 471-592. Βερολίνο: Springer.
50. Lande, R. (1980) Sexual dimorphism, sexual selection, and adaptation in polygenic characters. *Evolution*, 34: 292-305.
51. Lande, R. (1981) Models of speciation by sexual selection of polygenic traits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 78: 3721-5.
52. Leigh, E.G. (1977) How does selection reconcile individual advantage with the good of the group? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 74: 4542-6.
53. Lewontin, R.C. and Levins, R. (1976) The Problem of Lysenkoism. Στο H. and S. Rose (επιμ.) *The Radicalization of Science*. Λονδίνο: Macmillan.
54. Mackie, J.L. (1982) *The Miracle of Theism*. Οξφόρδη: Clarendon Press.
55. Margulis, L. (1981) *Symbiosis in Cell Evolution*. Σαν Φρανσίσκο: W.H. Freeman.
56. Maynard Smith, J. (1983) Current controversies in evolutionary biology. Στο M. Grene (επιμ.) *Dimensions of Darwinism*, σελ. 273-86. Καίμπριτζ: Cambridge University Press.
57. Maynard Smith, J. (1986) *The Problems of Biology*. Οξφόρδη: Oxford University Press.
58. Maynard Smith, J. (1985) Developmental constraints and evolution. *Quarterly Review of Biology*, 60: 265-87.
59. Mayr, E. (1963) *Animal Species and Evolution*. Καίμπριτζ, Μασσαχουσέτη: Harvard University Press.
60. Mayr, E. (1969) *Principles of Systematic Zoology*. Νέα Υόρκη: McGraw-Hill.

61. Mayr, E. (1982) *The Growth of Biological Thought*. Καίμπριτζ, Μασσαχουσέτη: Harvard University Press.
62. Monod, J. (1972) *Chance and Necessity*. Λονδίνο: Fontana.
63. Montefiore, H. (1985) *The Probability of God*. Λονδίνο: SCM Press.
64. Morrison, P., Morrison, P., Eames, C. and Eames, R. (1982) *Powers of Ten*. Νέα Υόρκη: Scientific American.
65. Nagel, T. (1974) What is it like to be a bat? *Philosophical Review*, ανατύπωση στο D.R. Hofstadter and D.C. Dennett (επιμ.) *The Mind's I*, σελ. 391-403, Harvester Press.
66. Nelkin, D. (1976) The science textbook controversies. *Scientific American* 234 (4): 33-9.
67. Nelson, G. and Platnick, N.I. (1984) Systematics and evolution. Στο M-W Ho and P. Saunders (επιμ.), *Beyond Neo-Darwinism*. Λονδίνο: Academic Press.
68. O'Donald, P. (1983) Sexual selection by female choice. Στο P. P.G. Bateson (επιμ.) *Mate Choice*, σελ. 53-66. Καίμπριτζ: Cambridge University Press.
69. Orgel, L.E. (1973) *The Origins of Life*. Νέα Υόρκη: Wiley.
70. Orgel, L.E. (1979) Selection in vitro. *Proceedings of the Royal Society of London*, B, 205: 435-42.
71. Paley, W. (1828) *Natural Theology*, 2η έκδοση Οξφόρδη: J. Vincent.
72. Penney, D., Foulds, L.R. and Hendy, M.D. (1982) Testing the theory of evolution by comparing phylogenetic trees constructed from five different protein sequences. *Nature*, 297: 197-200.
73. Ridley, M. (1982) Coadaptation and the inadequacy of natural selection. *British Journal for the History of Science*, 15: 45-68.
74. Ridley, M. (1986) *The Problems of Evolution*. Οξφόρδη: Oxford University Press.
75. Ridley, M. (1986) *Evolution and Classification: the reformation of cladism*. Λονδίνο: Longman.
76. Ruse, M. (1982) *Darwinism Defended*. Λονδίνο: Addison-Wesley.

77. Sales, G. and Pye, D. (1974) *Ultrasonic Communication by Animals*. Λονδίνο: Chapman and Hall.
78. Simpson, G.G. (1980) *Splendid Isolation*. Νιου Χέιβεν: Yale University Press.
79. Singer, P. (1976) *Animal Liberation*. Λονδίνο: Cape.
80. Smith, J.L.B. (1956) *Old Fourlegs: the story of the Coelacanth*. Λονδίνο: Longmans, Green.
81. Sneath, P.H.A. and Sokal, R.R. (1973) *Numerical Taxonomy*. Σαν Φρανσίσκο: W.H. Freeman.
82. Spiegelman, S. (1967) An *in vitro* analysis of a replicating molecule. *American Scientist*, 55: 63-8.
83. Stebbins, G.L. (1982) *Darwin to DNA, Molecules to Humanity*. Σαν Φρανσίσκο: W.H. Freeman.
84. Thompson, S.P. (1910) *Calculus Made Easy*. Λονδίνο: Macmillan.
85. Trivers, R.L. (1985) *Social Evolution*. Benjamin-Cummings.
86. Turner, J.R.G. (1983) «The hypothesis that explains mimetic resemblance explains evolution»: the gradualist-saltationist schism. Στο M. Grene (επιμ.) *Dimensions of Darwinism*, σελ. 129-69. Καίμπριτζ: Cambridge University Press.
87. Van Valen, L. (1973) A new evolutionary law. *Evolutionary Theory*, 1: 1-30.
88. Watson, J.D. (1976) *Molecular Biology of the Gene*. Benjamin-Cummings.
89. Williams, G.C. (1966) *Adaptation and Natural Selection*. Νιου Τζέρσεϋ: Princeton University Press.
90. Wilson, E.O. (1971) *The Insect Societies*. Καίμπριτζ, Μασσαχουσέτη: Harvard University Press.
91. Wilson, E.O. (1984) *Biophilia*. Καίμπριτζ, Μασσαχουσέτη: Harvard University Press.
92. Young, J.Z. (1950) *The Life of Vertebrates*. Οξφόρδη: Clarendon Press.

## ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ «Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΙΜΟΤΗΤΑΣ»

Το πρόγραμμα που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3 είναι τώρα διαθέσιμο για υπολογιστές Apple Macintosh, RM Nimbus και συμβατούς IBM, με το όνομα «Blind Watchmaker». Και τα τρία προγράμματα έχουν τα βασικά εννέα «γονίδια» που είναι απαραίτητα για να παραχθούν οι βιομορφές που απεικονίζονται στο Κεφάλαιο 3 και τρισεκατομμύρια άλλες σαν αυτές -ή όχι και τόσο σαν αυτές. Η έκδοση του προγράμματος για Macintosh έχει επίσης μια σειρά από πρόσθετα γονίδια, που παράγουν μεταμερισμένες βιομορφές και βιομορφικές εικόνες που είναι κατοπτρικές ως προς διάφορα επίπεδα συμμετρίας. Αυτές οι προσθήκες στο βιομορφικό χρωμόσωμα, μαζί με μια νέα έγχρωμη μορφή του προγράμματος που αναπτύσσεται τώρα για τον Macintosh II και δεν έχει δοθεί ακόμη στο εμπόριο, με οδήγησε να κάνω μερικές σκέψεις σχετικά με την «εξέλιξη της εξελιξιμότητας». Αυτή η νέα ανατύπωση του *Τυφλού ωρολογοποιού* μου δίνει την ευκαιρία να παρουσιάσω μερικές από αυτές τις σκέψεις.

Η φυσική επιλογή μπορεί απλώς να επενεργήσει στο φάσμα των παραλλαγών που παράγονται από τις μεταλλάξεις. Οι μεταλλάξεις χαρακτηρίζονται «τυχαίες», αλλά αυτό σημαίνει απλώς ότι δεν κατευθύνονται συστηματικά προς τη βελτίωση. Είναι ένα εξαιρετικά μη τυχαίο υποσύνολο όλων των παραλλαγών που μπορούμε να φανταστούμε. Οι μεταλλάξεις πρέπει να ενεργήσουν



αλλοιώνοντας τις υπάρχουσες εμβρυολογικές διαδικασίες. Δεν είναι δυνατό να δημιουργηθεί ένας ελέφαντας με μετάλλαξη αν η υπάρχουσα εμβρυολογία είναι εκείνη του χταποδιού. Αυτό είναι προφανές. Εκείνο όμως που ήταν λιγότερο προφανές για μένα, μέχρι που άρχισα να παίζω με το ενισχυμένο πρόγραμμα Blind Watchmaker, είναι πως όλες οι εμβρυολογίες δεν είναι εξίσου «γόνιμες», με την έννοια ότι δεν διευκολύνουν όλες εξίσου τις μελλοντικές εξελίξεις.

Φανταστείτε ότι ξαφνικά ανοίγει ένας τεράστιος χώρος εξελικτικών ευκαιριών –λόγου χάρη, μια έρημη ήπειρος γίνεται ξαφνικά διαθέσιμη εξαιτίας κάποιας φυσικής καταστροφής. Ποια ήδη ζώων θα συμπληρώσουν το εξελικτικό κενό; Σίγουρα θα πρέπει να είναι απόγονοι των ατόμων που έχουν τις ικανότητες να επιβιώσουν στις συνθήκες που επικράτησαν μετά την καταστροφή. Αλλά το ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι μερικά είδη εμβρυολογίας μπορεί να είναι ιδιαίτερα κατάλληλα όχι μόνο για την επιβίωση αλλά και για την εξέλιξη. Ίσως ο λόγος για τον οποίο τα θηλαστικά επικράτησαν μετά την εξαφάνιση των δεινοσαύρων δεν ήταν απλώς ότι τα κατάφερναν καλά στην ατομική επιβίωση στον κόσμο όπως διαμορφώθηκε μετά τους δεινοσαύρους. Μπορεί ο τρόπος με τον οποίο αναπτύσσεται το σώμα των θηλαστικών να «τα καταφέρνει καλά» στο να παράγει μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών τύπων –σαρκοφάγα, φυτοφάγα, δενδρόβια, υδρόβια, ορύκτες, και ούτω καθεξής– και επομένως μπορούμε να πούμε ότι τα θηλαστικά τα καταφέρνουν καλά στο να εξελίσσονται.

Τι σχέση έχει αυτό με τις βιομορφές του υπολογιστή; Λίγο μετά την ανάπτυξη του προγράμματος Blind Watchmaker, πειραματίστηκα με άλλα προγράμματα που ήταν ίδια με αυτό, με τη μοναδική διαφορά ότι χρησιμοποιούσαν μια διαφορετική βασική εμβρυολογία, έναν διαφορετικό θεμελιώδη κανόνα σχεδιασμού του σώματος στον οποίο μπορούσαν να επενεργήσουν οι μεταλλάξεις και η επιλογή. Αυτά τα άλλα προγράμματα, αν και επιφανειακά ήταν όμοια με το Blind Watchmaker, αποδείχτηκε ότι ήταν φτωχότερα ως προς το εύρος των εξελικτικών δυνατοτήτων που προσέφεραν. Η εξέλιξη κολλούσε συνεχώς σε στείρα

αδιέξοδα. Ο εκφυλισμός ήταν το πιο συνηθισμένο αποτέλεσμα, ακόμη και της πιο προσεκτικά κατευθυνόμενης εξέλιξης. Αντίθετα, η εμβρυολογία διακλαδιζόμενου δέντρου, που αποτελεί την «καρδιά» του Blind Watchmaker, ήταν πάντα γεμάτη από ανανεώσιμους εξελικτικούς πόρους. Δεν υπήρχε καμιά τάση προς αυτόματο εκφυλισμό με την πρόοδο της εξέλιξης. Ο πλούτος, η πολυμορφία, ακόμη και η ομορφιά ανανεώνονταν συνεχώς καθώς περνούσαν οι γενιές.

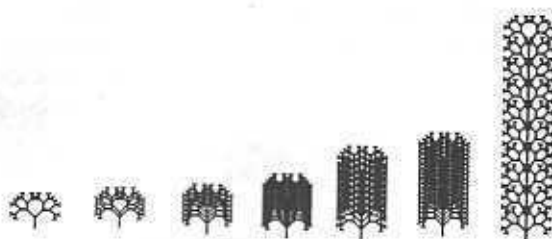
Εντούτοις, όσο γόνιμη και πολυποίκιλη κι αν ήταν η πανίδα των βιομορφών που παρήγαγε η αρχική μορφή του Blind Watchmaker, συναντούσα συνεχώς φαινομενικά εμπόδια που δεν επέτρεπαν την περαιτέρω εξέλιξη. Αφού η εμβρυολογία του Blind Watchmaker ήταν τόσο ανώτερη εξελικτικά από εκείνη των άλλων προγραμμάτων, μήπως υπήρχαν κάποιες τροποποιήσεις, κάποιες επεκτάσεις του εμβρυολογικού σχεδιαστικού κανόνα, που να έκαναν και το ίδιο το Blind Watchmaker ακόμη πιο παραγωγικό σε εξελικτική ποικιλομορφία; Ή, για να θέσουμε το ίδιο ερώτημα με διαφορετικό τρόπο, μήπως το βασικό χρωμόσωμα των εννέα γονιδίων μπορούσε να επεκταθεί προς γόνιμες κατευθύνσεις;

Όταν δημιούργησα την αρχική μορφή του Blind Watchmaker, προσπάθησα σκόπιμα να μη χρησιμοποιήσω τις βιολογικές μου γνώσεις. Ο σκοπός μου ήταν να δείξω τη δύναμη της μη τυχαίας επιλογής των τυχαίων παραλλαγών. Ήθελα η βιολογία, ο σχεδιασμός, η ομορφιά, να αναδυθούν ως αποτέλεσμα της επιλογής. Ήθελα να μην μπορώ αργότερα να κατηγορήσω τον εαυτό μου ότι είχα ενσωματώσει αυτά τα χαρακτηριστικά στον τρόπο με τον οποίο έγραφα το πρόγραμμα. Η εμβρυολογία διακλαδιζόμενου δέντρου του Blind Watchmaker ήταν η πρώτη εμβρυολογία που δοκίμασα. Το γεγονός ότι στάθηκε τυχερός αποδείχτηκε από τις επόμενες απογοητευτικές εμπειρίες μου με εναλλακτικές εμβρυολογίες. Όπως και νά 'χει το πράγμα, όταν προσπαθούσα να βρω κάποιους τρόπους για να επεκτείνω το βασικό «χρωμόσωμα», επέτρεψα στον εαυτό μου την πολυτέλεια να χρησιμοποιήσει σε κάποιο βαθμό τη βιολογική του γνώση και διαίσθηση. Μια από τις πιο επιτυχημένες από εξελικτική άποψη ομάδες ζώων είναι

εκείνες που παρουσιάζουν τη λεγόμενη μεταμέρεια, δηλαδή που έχουν μια σωματική διαμόρφωση από όμοια επαναλαμβανόμενα τμήματα. Και ένα από τα πιο θεμελιώδη χαρακτηριστικά της διαμόρφωσης του σώματος ενός ζώου είναι η *συμμετρία*. Έτσι, τα νέα γονίδια που πρόσθεσα στο βιομορφικό χρωμόσωμα ελέγχουν παραλλαγές μεταμέρειας και συμμετρίας.

Ο άνθρωπος, και όλα τα σπονδυλωτά, παρουσιάζει μεταμέρεια. Αυτό είναι φανερό στα πλευρά μας και στη σπονδυλική μας στήλη, ο επαναληπτικός χαρακτήρας της οποίας φαίνεται όχι μόνο στα ίδια τα οστά αλλά και στους μυς, τα νεύρα και τα αιμοφόρα αγγεία που αντιστοιχούν στο κάθε τμήμα. Ακόμη και το κεφάλι μας ουσιαστικά είναι μεταμερισμένο, αλλά στον ενήλικο η μεταμερισμένη δομή είναι συγκεκαλυμμένη και μπορούν να την εντοπίσουν μόνο επαγγελματίες που γνωρίζουν εμβρυϊκή ανατομία. Ο μεταμερισμός των ψαριών είναι πιο φανερός από τον ανθρώπινο (σκεφτείτε τις δέσμες μυών που εκτείνονται κατά μήκος της σπονδυλικής στήλης μιας καπνιστής ρέγγας). Στα καρκινοειδή, τα έντομα και τα μυριάποδα, ο μεταμερισμός είναι εμφανής ακόμη και στο εξωτερικό του σώματος. Από αυτή την άποψη, η διαφορά ανάμεσα σε μια σαρανταποδαρούσα και σε έναν αστακό έγκειται στην ομοιογένεια. Η σαρανταποδαρούσα μοιάζει με ένα μεγάλο εμπορικό τρένο στο οποίο όλα τα βαγόνια είναι σχεδόν πανομοιότυπα μεταξύ τους. Ο αστακός μοιάζει με ένα τρένο που αποτελείται από πολλά και διάφορα βαγόνια, που παρουσιάζουν μια γενική μόνο ομοιότητα και από το καθένα προεξέχουν ορισμένα προσαρτήματα. Αλλά σε μερικές περιπτώσεις τα βαγόνια είναι κολλημένα μεταξύ τους σε ομάδες, και τα άκρα έχουν γίνει μεγάλα πόδια ή δαγκάνες. Στην περιοχή της ουράς, τα βαγόνια είναι μικρότερα και πιο ομοιόμορφα, και τα πλευρικά άκρα τους έχουν γίνει μικρά κολυμβητικά όργανα.

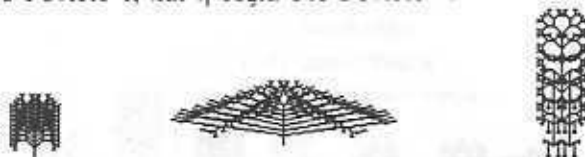
Για να προσδώσω στις βιομορφές την ιδιότητα της μεταμέρειας, ακολούθησα την προφανή λύση: όρισα ένα νέο γονίδιο, που ελέγχει τον «Αριθμό των μεταμεριδίων», και ένα άλλο, που ελέγχει την «Απόσταση ανάμεσα στα μεταμερίδια». Έτσι, μια πλήρης βιομορφή παλαιού τύπου έγινε ένα απλό μεταμερίδιο μιας βιομορφής νέου τύπου.



Εδώ βλέπουμε επτά βιομορφές που διαφέρουν μόνο στο γονίδιο του «Αριθμού των μεταμεριδίων» ή στο γονίδιο της «Απόστασης ανάμεσα στα μεταμερίδια». Η αριστερή βιομορφή είναι το παλιό, γνωστό, διακλαδιζόμενο δέντρο, ενώ οι άλλες είναι απλώς εν σειρά επαναλήψεις του ίδιου βασικού δέντρου. Το απλό δέντρο, όπως και όλες οι αρχικές βιομορφές του προγράμματος, αντιπροσωπεύει την ειδική περίπτωση ενός ζώου με ένα μεταμερίδιο.

Μέχρι τώρα, μίλησα μόνο για ομοιόμορφο μεταμερισμό, όπως είναι αυτός της σαρανταποδαρούσας. Τα μεταμερίδια του αστακού παρουσιάζουν πολύπλοκες διαφορές μεταξύ τους. Ο απλούστερος τρόπος με τον οποίο μπορεί να διαφέρουν τα μεταμερίδια είναι μέσω «διαβαθμίσεων». Τα μεταμερίδια του ονίσκου μοιάζουν μεταξύ τους περισσότερο απ' ό,τι του αστακού, αλλά δεν είναι τόσο ομοιόμορφα όσο ενός τυπικού μυριάποδου (στην πραγματικότητα, μερικά ζώα που μοιάζουν με τον ονίσκο ανήκουν στα μυριάποδα). Ο ονίσκος είναι στενός μπροστά και πίσω φαρδαίνει στη μέση. Δηλαδή, καθώς προχωρούμε από το μπροστινό στο πίσω μέρος του «τρένου», τα τμήματα παρουσιάζουν μια *διαβάθμιση μεγέθους*, που παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή του στο μέσο. Άλλα μεταμερισμένα ζώα, όπως οι εξαφανισθέντες τριλοβίτες, είναι πιο πλατιά στο μπροστινό μέρος και στενεύουν προς τα πίσω. Έχουν μια απλούστερη διαβάθμιση μεγέθους, που παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή του στο ένα άκρο. Αυτή την απλούστερη μορφή διαβάθμισης θέλησα να μιμηθώ με τις μεταμερισμένες βιομορφές μου. Το κατάφερα προσθέτοντας έναν σταθερό αριθμό (που μπορούσε να πάρει και αρνητικές τιμές) στην εκφρασμένη τιμή ενός συγκεκριμένου γονιδίου από το μπροστινό προς το πίσω μέρος της βιομορφής. Από τις τρεις ακόλουθες βιομορφές, η

αριστερή δεν έχει καμία διαβάθμιση, η μεσαία έχει μια διαβάθμιση στο Γονίδιο 1, και η δεξιά στο Γονίδιο 4.



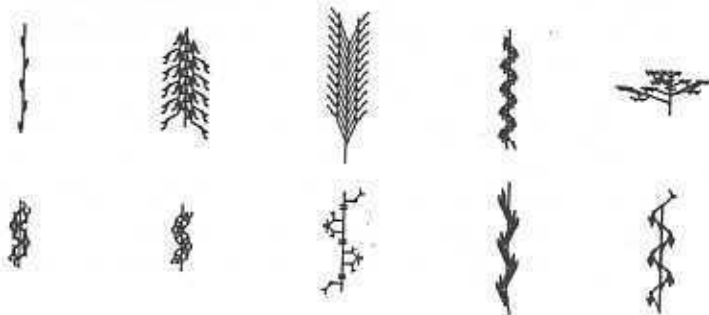
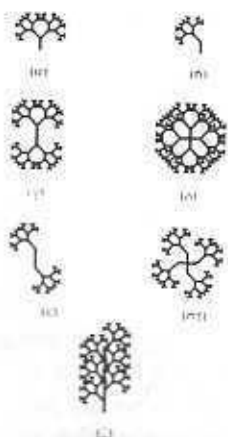
Αφού επέκτεινα το βασικό χρομόσωμα των βιομορφών με αυτά τα δύο γονίδια και τα αντίστοιχα γονίδια διαβάθμισης, ήμουν έτοιμος να «εξαπολύσω» τη νέα βιομορφική εμβρυολογία στον υπολογιστή και να δω τι θα συνέβαινε όσον αφορά την εξέλιξη. Συγκρίνετε την εικόνα που ακολουθεί με την εικόνα 5 του Κεφαλαίου 3, του οποίου οι βιομορφές δεν παρουσιάζουν καμία μεταμέρεια.



Θα συμφωνήσετε, νομίζω, ότι τώρα ανοίγεται ένα φάσμα εξελικτικής πολυμορφίας που παρουσιάζει μεγαλύτερο βιολογικό ενδιαφέρον. Η «επινόηση» της μεταμέρειας, μιας σημαντικής καινοτομίας για την εμβρυολογία του υπολογιστή, έσπασε μια σειρά από φραγμούς εξελικτικών δυνατοτήτων στη Χώρα των βιομορφών. Υποθέτω ότι κάτι παρόμοιο συνέβη με την εμφάνιση των σπονδυλωτών, καθώς και με την εμφάνιση των πρώτων μεταμερισμένων προγόνων των εντόμων, των αστακών και των μυριαπόδων. Η επινόηση της μεταμέρειας ήταν ένα αποφασιστικό γεγονός της εξέλιξης.

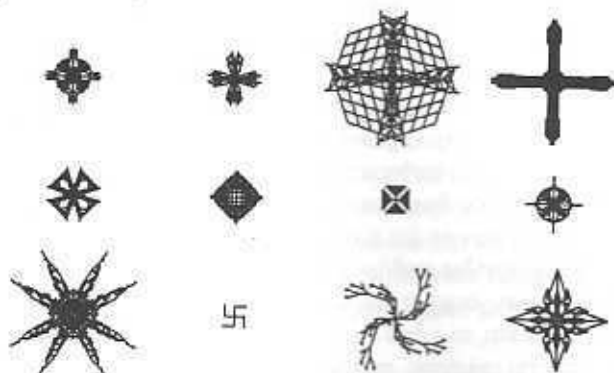


Η άλλη προφανής καινοτομία είναι η συμμετρία. Οι βιομορφές του αρχικού Blind Watchmaker ήταν όλες συμμετρικές, με άξονα συμμετρίας τον κεντρικό άξονα της βιομορφής. Τώρα εισήγαγα ένα νέο γονίδιο, που καθιστούσε αυτή τη συμμετρία προαιρετική. Το νέο γονίδιο καθόριζε αν μια βιομορφή, με τις αρχικές εννέα γονιδιακές τιμές της καθορισμένες στη μορφή του βασικού δέντρου, θα είναι σαν το (α) ή σαν το (β). Άλλα γονίδια καθόριζαν αν θα υπάρχει συμμετρία ως προς το πάνω και το κάτω (γ), ή αν θα υπάρχει πλήρης συμμετρία ως προς το αριστερά και το δεξιά και ως προς το πάνω και το κάτω (δ). Αυτά τα νέα γονίδια μπορούσαν να μεταβάλλονται με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς, όπως στο (ε) και στο (στ). Όταν τα μεταμερισμένα ζώα παρουσίαζαν ασυμμετρία ως προς τον κεντρικό τους άξονα, επέβαλα έναν περιορισμό εμπνευσμένο από τη βοτανολογία: τα μεταμερίδια θα είναι ασύμμετρα προς αντίθετες κατευθύνσεις εναλλάξ, όπως στο (ζ). Οπλισμένος με αυτά τα νέα γονίδια, άρχισα και πάλι ένα εντατικό πρόγραμμα αναπαραγωγής, για να δω αν η νέα εμβρυολογία θα έδινε πλουσιότερες εξελικτικές μορφές από την παλιά. Νά μερικά παραδείγματα μεταμερισμένων βιομορφών με ασυμμετρία ως προς τον κεντρικό άξονα:



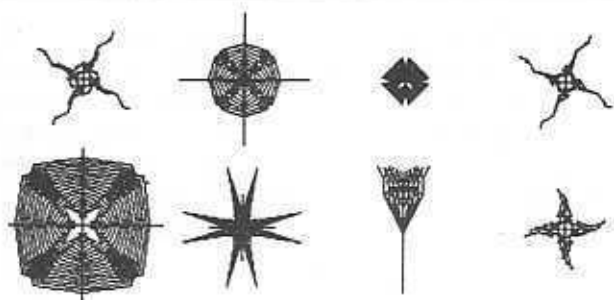


Νά και μερικές ακτινικά συμμετρικές βιομορφές, των οποίων η μεταμέρεια, αν υπάρχει, είναι εξίσου δυσδιάκριτη όσο και μεταμέρεια του κεφαλιού ενός ενήλικου ανθρώπου:



Το γονίδιο πλήρους ακτινικής συμμετρίας βάζει τον επιλογέα στον πειρασμό να παράγει ευχάριστα αφηρημένα σχήματα αντί για τις βιολογικά ρεαλιστικές βιομορφές που αναζητούσα προηγουμένως. Αυτό ισχύει ακόμη περισσότερο για την έγχρωμη έκδοση του προγράμματος, που την αναπτύσσω τώρα.

Μια ομάδα ζώων, τα εχινόδερμα (στα οποία περιλαμβάνονται οι αστερίες, οι αχινοί, οι οφίουροι και τα κρινοειδή), έχουν το εξαιρετικά ασυνήθιστο χαρακτηριστικό της πεντακτινωτής συμμετρίας. Είμαι σίγουρος ότι, όσο κι αν προσπαθήσω εγώ ή οποιοσδήποτε άλλος, δεν θα δούμε ποτέ την πεντακτινωτή συμμετρία να αναδύεται από μια τυχαία μετάλλαξη μέσα από την υπάρχουσα εμβρυολογία. Αυτό θα απαιτούσε μια νέα σημαντική καινοτομία στην εμβρυολογία των βιομορφών, κάτι που δεν έχω προσπαθήσει να πετύχω. Ωστόσο, στη φύση εμφανίζονται μερικές φορές αστερίες με τέσσερις ή με έξι βραχίονες, αντί για τους συνηθισμένους πέντε. Κατά την εξερεύνηση της Χώρας των βιομορφών συνάντησα μορφές που μοιάζουν επιφανειακά με αστερίες ή αχινοί και με ενθάρρυναν να προχωρήσω σε μια επιλογή με στόχο την αυξημένη ομοιότητα. Νά μια συλλογή από βιομορφές που μοιάζουν με εχινόδερμα, αν και καμία δεν έχει τους απαραίτητους πέντε βραχίονες:



Για να υποβάλω σε μια τελική δοκιμασία την πολυμορφία της νέας βιομορφικής εμβρυολογίας μου, προσπάθησα να παραγάγω ένα βιομορφικό αλφάβητο αρκετά καλό ώστε να μπορώ να γράψω μ' αυτό το όνομά μου. Κάθε φορά που συναντούσα μια βιομορφή που έμοιαζε έστω και ελάχιστα με ένα γράμμα του αλφαβήτου, άρχιζα την παραγωγή νέων γενεών, για να ενισχύσω την ομοιότητα. Η «ετμηγορία» γι' αυτή τη φιλόδοξη προσπάθεια είναι τουλάχιστον ανάμεικτη. Το «I» και το «N» είναι σχεδόν τέλεια. Το «A» και το «H» είναι υποφερτά, αν και κάπως άγαρα. Το «D» δεν είναι καθόλου καλό, ενώ υπονιάζομαι ότι είναι εντελώς αδύνατο να παραχθεί ένα σωστό «K». Εδώ αναγκάστηκα να «κλέψω», δανειζόμενος τη μια γραμμή του «W». Πιστεύω ότι θα πρέπει να προστεθεί ένα ακόμη γονίδιο για να μπορέσει να παραχθεί ένα ανεκτό «K».

## RICHAID DAWKINS

Έπειτα από αυτή την κάπως «αναλφάβητη» προσπάθεια να γράψω το όνομά μου, είχα περισσότερη τύχη με το όνομα του εμπνευσμένου μηχανήματος με το οποίο έγινε όλη η δουλειά.

## MACINTOSH

Έχω την έντονη εντύπωση – μια εντύπωση που ενισχύεται, ελπίζω, από τα παραδείγματα που δίνω εδώ – ότι η εισαγωγή μερικών ριζικών αλλαγών στη θεμελιώδη εμβρυολογία των βιομορφών άνοιξε νέους ορίζοντες εξελικτικών δυνατοτήτων, οι οποίες

απλούστατα δεν ήταν διαθέσιμες στο αρχικό πρόγραμμα που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3. Και, όπως είπα προηγουμένως, πιστεύω ότι κάτι παρόμοιο συνέβη σε διάφορα σημεία της εξέλιξης ορισμένων σημαντικών ομάδων ζώων και φυτών. Η επινόηση της μεταμέρειας από τους προγόνους μας, και ξεχωριστά από τους προγόνους των εντόμων και των καρκινοειδών, είναι ίσως ένα από τα πολλά παραδείγματα τέτοιων κοσμογονικών γεγονότων της εξελικτικής μας ιστορίας. Αυτά τα κοσμογονικά γεγονότα είναι –τουλάχιστον αν τα δει κανείς με τη σοφία της εκ των υστέρων γνώσης– διαφορετικού είδους από τις συνηθισμένες εξελικτικές αλλαγές. Οι πρώτοι μεταμερισμένοι πρόγονοί μας, και ο πρώτος μεταμερισμένος πρόγονος των γεωσκωλήκων και των εντόμων, μπορεί να μην τα κατάφερναν ιδιαίτερα καλά στο να επιβιώνουν ως άτομα –αν και προφανώς επιβίωσαν ως άτομα, γιατί αλλιώς δεν θα υπήρχαμε εμείς, οι απόγονοί τους. Εκείνο που θέλω να επισημάνω είναι ότι η επινόηση της μεταμέρειας από αυτούς τους προγόνους ήταν πιο σημαντική από την απλή εξεύρεση μιας νέας τεχνικής που θα βοηθούσε στην επιβίωση, όπως τα πιο κοφτερά δόντια ή η καλύτερη όραση. Όταν προστέθηκε η μεταμέρεια στις εμβρυϊκές διαδικασίες των προγόνων μας, ανεξάρτητα από το αν τα μεμονωμένα ζώα έγιναν ικανότερα στην επιβίωση, οι γενεαλογικές σειρές στις οποίες ανήκαν, απέκτησαν ξαφνικά *μεγαλύτερη ικανότητα εξέλιξης*.

Τα σύγχρονα ζώα, εμείς τα σπονδυλωτά και οι συνοδοιπόροι μας πάνω σ' αυτό τον πλανήτη, κληρονομούμε τα γονίδια μιας αδιάσπαστης σειράς προγόνων που τα κατάφεραν καλά στην ατομική επιβίωση. Αυτό προσπάθησα να εξηγήσω γράφοντας τον *Τυφλό ωρολογοποιό*. Αλλά κληρονομούμε επίσης τις εμβρυολογικές διαδικασίες των προγονικών γενεαλογικών σειρών που είχαν μεγάλη ικανότητα *εξέλιξης*. Έχει υπάρξει ανάμεσα στις γενεαλογικές σειρές ένα είδος επιλογής ανώτερου επιπέδου, όχι με βάση την ικανότητά τους να επιβιώνουν, αλλά την ικανότητά τους για μακροπρόθεσμη εξέλιξη. Εμείς φέρουμε τις συσσωρευμένες βελτιώσεις μιας σειράς κοσμογονικών γεγονότων, από τα οποία η επινόηση της μεταμέρειας δεν είναι παρά ένα παράδειγμα. Δεν πρόκειται απλώς για σώματα και συμπεριφορές που έχουν εξελι-

χθεί προς βελτιωμένες κατευθύνσεις. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι εξελίχθηκε η ίδια η εξέλιξη. Έχει συντελεστεί μια προοδευτική εξέλιξη της εξελικτικότητας.

Η έκδοση του προγράμματος Blind Watchmaker για υπολογιστές Macintosh έχει έναν κατάλογο επιλογών που επιτρέπει στο χρήστη να ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί όλες τις κύριες κατηγορίες μετάλλαξης. Απενεργοποιώντας όλους τους νέους τύπους μετάλλαξης, ο χρήστης επιστρέφει στην προηγούμενη μορφή του προγράμματος (ή στην τωρινή του μορφή για υπολογιστές τύπου IBM). Αν χρησιμοποιήσει κανείς για ένα διάστημα το πρόγραμμα κάτω από αυτές τις συνθήκες, παίρνει μια γεύση από το τεράστιο φάσμα των πανιδών που επιτρέπει το πρώτο πρόγραμμα, αλλά ταυτόχρονα αντιλαμβάνεται και τους περιορισμούς του. Αν στη συνέχεια ο χρήστης ενεργοποιήσει τις μεταλλάξεις μεταμέρειας, ή τις μεταλλάξεις συμμετρίας (ή αν περάσει από IBM σε Macintosh!), απολαμβάνει σε κάποιο βαθμό την αίσθηση της απελευθέρωσης που μπορεί να συνόδευε τα μεγάλα κοσμολογικά γεγονότα της εξέλιξης.

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ ΚΑΙ ΟΝΟΜΑΤΩΝ

---

### α, α

- αγριόσκυλα, 173  
αιλουροειδή, 176, 402  
αιμοσφαιρίνη, 89, 97, 277  
    αριθμός της, 90, 128  
αιμοφόρα αγγεία, 150  
Αϊνστάϊν, Άλμπερτ, 21  
ακανθοφόρος έχιδνα, 177  
άκμονας, 64  
αλματισμός, 376-377, 389, 409-410  
άλογα, 173  
αλτροπισμός, 416  
άλυτης, 449  
αμινοξέα, 89, 197, 220, 419  
αμνιωτά, 401  
αμοιβάδες, 390  
άμυλο, 189  
ανάβας, 150  
αναβολέας, 64  
ανάδραση  
    αρνητική, 309, 311, 334  
    θετική, 308-309, 311, 334  
αναδρομικός προγραμματισμός, 99  
αναπαραγωγή, 315  
    αμφιγονική, 416-417  
    μονογονική, 417  
ανθρώπινο, 452  
ανισορροπία σύνδεσης, 321, 325  
ανταγωνισμός εξοπλισμών, 269,  
    282, 286, 297, 303, 385  
αντιγραφάση, 214-215, 217  
αντιγραφείς, 210, 219, 247-248, 306  
αντίλοπες, 284  
απολιθώματα, 351-352, 406  
άργυλος, 244, 247-249, 253  
Αριστοτέλης, 22  
αρκούδες, 402  
αρουραίοι, 401  
αρπакτικά, 114, 141, 173  
αρχαιοπτέρυγας, 407  
αρχέγονη σούπα, 237, 261, 266, 306  
αρχή  
    της φειδωλότητας, 423  
    της χρήσης και της αχρησίας,  
    444, 462  
ασυμφωνία επιλογής, 329  
αυστραλοπιθήκος, 356, 361  
αυτιά, 153-154  
αυτοαντιγραφή, 210, 212  
αυτόματη γένεση, 231  
Anderson, D.M., 252  
Andersson, Malte, 336  
Asimov, Isaac, 89, 128  
Atkins, Peter, 48

**θ, b, v**

βακτήρια, 213-214, 226, 273, 278  
 δάτρυχοι, 152  
 βιολογία, 27, 351  
 βιομορφές, 104, 111, 115, 117, 121,  
 125, 132, 200, 281, 365  
 βιοχημικά μονοπάτια, 270-271  
 βοοειδή, 173, 288  
 βράγχια, 151  
 βραδύποδες, 177  
 βραχίνοι, 147  
 Bateson, William, 468  
 Bennett, G., 83  
 van Valen, Leigh, 290  
 Vavilov, N.I., 448

**γ, c, g**

γαζέλες, 285-289, 293, 302  
 γάιδωρος, 172  
 Γαλιλαίος, 22  
 γενετήσια συμπεριφορά, 417  
 γεννητικά όργανα, 417  
 γεωλογία, 224, 232  
 Γκαλαπάγκος, 343  
 γκνου, 284  
 Γκονθάνα, 170  
 γλοβιγερινική ιλύς, 184  
 γλώσσα, 155  
 γονίδια, 54, 99-100, 188, 196, 198,  
 203-206, 220, 254, 269, 272, 276,  
 281, 305, 320, 327, 343, 458  
 εγωιστικά, 415  
 μεταλλαξογόνα, 470  
 γονότυπος, 269  
 γραφίτης, 243  
 Cairns-Smith, A.G., 239, 244, 250,  
 252, 255, 261, 266

Cott, H.B., 297  
 Galambos, Robert, 77  
 Goldschmidt, Richard, 139-140, 142,  
 361  
 Gould, Stephen Jay, 138, 139, 155,  
 358-359, 369, 375, 377, 384, 392  
 Grafen Alan, 315, 335  
 Griffin, Donald, 58, 77

**δ, d**

δαρβινισμός, 23, 189, 365, 392, 464  
 κοινωνικός, 392  
 Δαρβίνος, Έρασμος, 443  
 Δαρβίνος, Κάρολος, 19, 31, 35, 82,  
 97, 136, 154, 186, 306, 315, 343,  
 358, 375, 377, 379, 383, 390-392  
 δασύποδες, 177  
 δείκτης  
 εγκεφαλοποίησης, 299-300  
 νοημοσύνης, 300  
 δεινόσαυροι, 171  
 δελφίνια, 162, 164  
 δημιουργιστές, 148, 389, 439, 441  
 διακλαδώσεις, 99-101  
 διαμάντια, 243  
 δορύλοι, 180, 418  
 δροσόφιλα, 360  
 de Vries, Hugo, 468  
 DNA, 182-183, 190-199, 203, 205-  
 208, 213, 221-222, 225-226, 235,  
 240, 247, 253-254, 275, 361, 419  
 ανταγωνιστικό, 200  
 αρχαικό, 200  
 εγωιστικό, 190  
 Dollo, νόμος του, 159  
 Doppler, Christian, 69  
 Dover, Gabriel, 480  
 Doyle, Arthur Conan, 184



## ε, e

- εγκεφαλικό κρανίο, 299  
 εγκέφαλος, 23, 137, 199, 221, 234,  
 253-254, 258, 260, 299, 356-357  
 εγκλιθοτισμός, 397, 403, 429  
 ειδογένεση, 370-371, 380-381  
 εκίτωνα, 180, 418  
 εμβρυϊκή ανάπτυξη, 100-101, 454  
 ένζυμα, 198, 217  
 έντομα, 140  
 εξέλιξη, 141, 159, 205, 283, 308, 405  
   αλματική, 369  
   ασυνεχής, 349  
   βαθμιαία, 349, 357, 377  
   δημιουργική, 268  
   εστιγμένη, 349  
   πολιτισμική, 254, 308, 341  
   συγκλίνουσα, 422, 426  
 εξόνια, 275-276  
 επιθώση, 129, 315  
 επιγένεση, 451  
 επιλογή  
   ενός θήματος, 96  
   συγγενών, 326-327  
   συσσωρευτική, 50, 87, 96, 98,  
   110, 225, 235, 239, 250, 282,  
   416  
   τεχνητή, 107  
   φυλετική, 315, 327, 333, 340,  
   345  
   φυσική, 54, 107, 113, 153, 203,  
   205, 220, 258, 260, 261, 268,  
   303, 316, 329, 366, 372  
 ερπετά, 401  
 εστιγμένη ισορροπία, 350, 360, 377,  
 379, 388, 391, 410  
 Eigen, Manfred, 217  
 Eldredge, Niles, 358-359, 369, 375,  
 377, 384, 392, 410

*Escherichia coli*, 213  
*Euplectes progne*, 317

## ζ

ζέβρα, 172, 284

## η, h

ηλεκτροεντοπισμός, 165  
 ηλεκτρονικοί υπολογιστές, 191,  
 196, 200, 254  
 ηχοεντοπισμός, 58, 74, 77-80, 153,  
 160, 162, 164, 413  
 ηχώ, 57, 62-63  
 Haldane, J.B.S., 391  
 Hamilton, W.D., 326-327, 335  
 Hardy, G.H., 188, 258  
 Hennig, Willi, 429, 437  
 Hitching, Francis, 136  
 Ho, M-W., 472  
*Homo sapiens*, 356, 361  
 Hoyle, Fred, 81, 366  
 Hume, David, 22, 34-35  
 Huxley, Julian, 43, 316, 433  
 hydro, 242

## θ

θαύματα, 229, 256  
 Θεός, 32  
 θερμοδυναμική, δεύτερος νόμος  
 της, 159  
 θεωρία  
   των βαθμιαίων αλλαγών, 352,  
   355, 380  
 συνθετική, 394

- των τεκτονικών πλακών,  
169-170
- θηλαστικά, 152, 171-172, 401, 403,  
405
- θηράματα, 114, 282, 290, 304
- θηρευτές, 173, 282, 290, 304
- θυλακίνος, 175, 418
- θυλακόσμιλος, 176
- ι, j**
- ιαγούαροι, 175
- Ιεζεκιήλ, 209
- ινδικά χοιρίδια, 402
- ιντρόνια, 275-276
- ινώδοπεπτίδια, 204
- ιοί, 213-214
- ιόντα, 241-242
- ιπίδες, 172
- ιπλόγλωσσος, 155
- ίριδα, 50, 463
- ιστόνη, 201-206, 420
- Jenkin, Fleeming, 186-187
- Jerison, Harry, 299, 301
- Johannsen, Wilhelm, 468
- κ, k**
- καγκουρό, 174
- καπιθάρια, 402
- Καρτέσιος, 22
- καρχαρίες, 155
- κάστορες, 220-221
- καταστροφισμός, 376-377
- κεραιοπόδια, 360, 364
- κητώδη, 162
- κλαδισμός, 428-429, 431, 433
- μετασχηματισμένος, 433, 440
- κλαδογράμματα, 432
- κλάδος, 433
- κληρονομικότητα, 186, 188, 320, 468
- των επίκτητων χαρακτηριστι-  
κών, 444, 448, 457
- κοάλα, 415
- κοιλάκανθοι, 385-386
- κοινωνιοβιολογία, 180
- Κοπέρνικος, 394
- κούκοι, 85
- κρύσταλλοι, 241-244, 249
- κυανοφύκη, 226
- κυναίλουροι, 173, 285-289, 293, 302
- κυνίδες, 176, 402
- κύτταρα, 53, 100, 189, 197-198, 280
- ευκαρυωτικά, 278-279
- κυτταρική διαίρεση, 100, 417
- κυτταρίνη, 183, 189
- Kimura, Motoo, 466
- Koestler, Arthur, 81, 448, 449
- λ, l**
- Λαμάρκ, Ζαν Μπατίστ, 443, 445
- λαμαρκισμός, 441, 443, 448, 459,  
465
- Λαυρασία, 170
- λεοπαρδάλεις, 173, 401
- λιοντάρια, 173, 284
- λιτόπτερα, 174, 418
- Λουκρήτιος, 469
- Land, Michael, 146
- Lande, Russell, 315, 318-319, 321,  
330, 333-334, 340
- Leibnitz, Gottfried Wilhelm, 22
- Leigh, Egbert, 415
- Lyell, Charles, 389
- Lysenko, T.D., 448

**μ, m**

- μαντίδες, 140  
 μαρσιποφόρα, 172  
 μάτι, 50, 137, 145, 154, 463  
 μεγάλη αλυσίδα των όντων, 405  
 μελανίνη, 445  
 μεταλλακτισμός, 441, 466, 468  
 μεταλλάξεις, 106, 204, 205, 221, 225, 268, 365, 467  
 μετατόπιση Doppler, 67, 71, 161  
 μηχανή επιβίωσης, 305  
 μιμίδα, 254  
 μμητισμός, 139, 141  
 μιτοχόνδρια, 52, 279  
 μόρια  
   αυτοαντιγραφικά, 232, 255  
   βιολογικά, 89  
   πρωτεϊνικά, 213, 220  
 μοριακή καθοδήγηση, 480  
 μυγαλές, 371  
 μύκητες, 179  
 μυσσφαιρίνες, 277  
 μυρμηγκία, 176, 178-179  
 μυρμηγκοφάγοι, 177  
 μυστακοκητώδη, 162  
 Margulis, Lynn, 278  
 Maynard Smith, John, 136  
 Mayr, Ernst, 136, 186, 374, 380, 388  
 Mendel, Gregor, 185, 188, 468  
 Monod, Jacques, 22  
 Montefiore, Hugh, 81  
 Morgan, Thomas Hunt, 468  
 Morris, Desmond, 104

**ν, n**

- νιπτιλος, 145-146  
 νεοδαρβινισμός, 189, 394

- Νέος Κόσμος, 175, 179, 182, 418  
 νευρώνες, 113  
 Νεύτων, Ισαάκ, 22, 45  
 νηκτική κύστη, 150, 155  
 νοημοσύνη, 234  
 νοητικές εικόνες, 163  
 νυφίτσες, 402  
 νυχτερίδες, 55, 58, 64, 72, 164, 297  
   *Myotis*, 60-61  
   *Rousettus*, 58-59, 65, 161  
   *Tadarida*, 65  
 Nagel, Thomas, 73  
 Nelson, G., 439

**ο**

- οδοντοκητώδη, 162  
 οικολογία, 373  
 όραση, 138, 365, 464  
 ορνιθόρρυγχος, 172, 405  
 οστεϊχθίτες, 155, 157  
 ουδετερισμός, 441, 466-467  
 ουραγκοτάγκοι, 408  
 O'Donald, Peter, 335  
 Orgel, Leslie, 216-217

**π, p**

- παρόνια, 314, 339  
 παλαιοντολογία, 351  
 Παλαιός Κόσμος, 169, 171, 175, 418  
 παραλλαγή, 82, 140  
 παράσιτα, 114  
 Πικάσσο, Πάμπλο, 156  
 πλακουντοφόρα, 172  
 πλατέσσα, 155  
 πλευρονήκτες, 156  
 πλησιόσαυροι, 449

πνεύμονες, 148  
 πολυγονίδια, 318-319  
 πολυμερή, 189  
 πολυπεπίδια, 197  
 πολυπλοκότητα, 36, 113, 227, 465  
 ποντικοί, 401  
 ποιμα, 175  
 προσχηματισμός, 451  
 πρότυπα συμπεριφοράς, 199  
 πρωτεΐνες, 197, 204, 220, 226, 277, 419  
 πτεροδάκτυλοι, 164  
 πτηνά, 401  
 Paley, William, 31-34, 50, 54, 80, 120, 132, 396, 443  
 Platnick, N., 439  
 Popper, Karl, 81

## ρ, ρ

ραβδιά, 52  
 ραντάρ, 55, 57, 62  
 ραχίτιδα, 445  
 ρέγγες, 156  
 ριθωσώματα, 220  
 RAM, 191-192  
 Rattray-Taylor, Gordon, 81  
 Raven, C.E., 85  
 Ridley, Mark, 437, 440  
 RNA, 190, 196, 199, 214-218, 225, 253  
 ROM, 191-192, 196, 198

## σ, s

Σαϊέπηρ, Ουίλλιαμ, 92, 111  
 σάκχαρο, 189

σαρκοφάγα, 284, 302, 403  
 σαύρες, 401  
 σελάχια, 155  
 σμιλόδους, 175  
 σόναρ, 55, 57, 62  
 σπερματοζωάρια, 194, 200, 452, 458  
 συνεξέλιξη, 269  
 σφαιρίνη, 277  
 σφηνόδοντες, 401  
 σφύρα, 64  
 Saunders, P., 472  
 Shaw, George Bernard, 447  
 Snow, C.P., 159  
 Spiegelman, Sol, 214, 217  
 Stebbins, G. Ledyard, 378

## τ, t

ταξινομική, 396  
 αριθμητική, 435  
 κλαδιστική, 400, 417  
 μοριακή, 430  
 τερμίτες, 176, 178  
 τεχνολογία πληροφοριών  
 αναλογική, 185  
 ψηφιακή, 185, 197  
 τζιτζικίες, 168  
 τροποφράκτες, 339  
 τροκτικά, 402-403  
 τυφλοπόντικες, 176  
 Thompson, Silvanus, 121

## υ

ύαινες, 173, 284  
 ύστριχες, 418

## φ, f

φαινετιστές, 433, 435, 438  
 φαινόμενο  
 της Κόκκινης Βασιλίσσας,  
 290, 291, 295-296  
 της πράσινης γενειάδας, 326,  
 340  
 φαινότυπος, 112, 251  
 φακόχοιρος, 421  
 φάλαινες, 405  
 φασμίδια, 140  
 φίδια, 401  
 φτερά, 154  
 φυλετικιστές, 428-429  
 φυλογενετικό δέντρο, 424  
 φυσική, 27, 29, 42, 354  
 φυτοφάγα, 285, 302  
 φωτοκύτταρα, 50, 52, 74, 158  
 φωτόνια, 52, 464  
 Fisher, R. A., 188, 314, 315-319,  
 321, 327, 330, 334, 339-340, 345,  
 362, 364-365, 416, 469  
 France, Anatole, 357

## χ

χημεία, 236  
 χιμπαντζήδες, 195, 408  
 χιτόνας  
 αμφιβληστροειδής, 50, 78, 136,  
 137, 143, 157  
 κερατοειδής, 136, 137  
 χορεία, 471  
 χρωμοσώματα, 194-195

## ψ

ψάρια, 150

## ω, w

ωάρια, 194, 200, 280, 452  
 Wallace, Alfred Russel, 19, 22  
 Watt, ρυθμιστής του, 309-311  
 Wegener, Alfred, 169  
 Weinberg, W., 188  
 Williams, George C., 413  
 Wilson, Edward O., 180

- «Καταρρίπτει τα επιχειρήματα της θείκης δημιουργίας χωρίς να μειώνει την αίσθηση του μυστηρίου και της πολυπλοκότητας του κόσμου μας.»

*A.G. Cairns - Smith, συγγραφέας  
του βιβλίου Τα επτά ίχνη*

- «Γραμμένο με αριστουργηματικό τρόπο. Ένα από τα καλύτερα επιστημονικά βιβλία που έχουν γραφτεί ποτέ.»

*Los Angeles Times*

- «Η καλύτερη ανάπτυξη του θέματος της εξέλιξης που έχω διαβάσει τα τελευταία χρόνια. Τόσο εμβριθής ώστε να είναι πολύτιμη στους βιολόγους, και τόσο απλή και καλογραμμένη ώστε να γοητεύσει το ευρύ κοινό που απόλαυσε και το *Εγωιστικό γονίδιο*.

*Edward O. Wilson*

- «Το μυστικό για να γράφει κανείς καλά επιστημονικά βιβλία είναι να έχει καταλάβει ο ίδιος τις ιδέες... Μακάρι να μπορούσα να γράψω κι εγώ όπως ο Dawkins.»

*John Maynard Smith στο  
New Scientist*

- «Το θέμα αυτού του βιβλίου δεν είναι τίποτε λιγότερο από το νόημα της ζωής, και ο Dawkins το αναπτύσσει με τον ευαγγελικό ζήλο ενός κληρικού και με το μυαλό ενός μεγάλου επιστήμονα.»

*The Times*

- «Ένα απολαυστικό ανάγνωσμα, κατανοητό ακόμη και για τους μη ειδικούς.»

*Observer*

- «Ίσως το πιο ενδιαφέρον βιβλίο για την εξέλιξη που έχει γραφτεί από την εποχή του Δαρβίνου.»

*John Gribbin, στο Good Book Guide*

- «Μια εκπληκτικά διαυγής παρουσίαση του δαρβινισμού. Το καλύτερο βιβλίο του Dawkins.»

*F. Ayala, Καθηγητής γενετικής στο  
Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας*