

Η Βιοχημική Πρόκληση προς την Εξέλιξη



Το Μαύρο Κουτί
του Δαρβίνου

MICHAEL J. BEHE

ΤΟ ΜΑΥΡΟ ΚΟΥΤΙ ΤΟΥ ΔΑΡΒΙΝΟΥ	IV
------------------------------------	-----------

ΜΕΡΟΣ Ι	V
----------------	----------

ΤΟ ΚΟΥΤΙ ΑΝΟΙΓΕΙ	v
-------------------------	----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι	1
-------------------	----------

ΛΙΛΙΠΟΥΤΕΙΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑ	1
-----------------------------	----------

ΤΑ ΟΡΙΑ ΜΙΑΣ ΙΔΕΑΣ	1
ΜΙΑ ΠΟΛΥ ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ	3
ΜΑΥΡΑ ΚΟΥΤΙΑ ΜΕΣΑ ΣΕ ΜΑΥΡΑ ΚΟΥΤΙΑ	5
Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΖΩΗΣ	7
ΜΙΚΡΑ ΑΛΜΑΤΑ, ΜΕΓΑΛΑ ΑΛΜΑΤΑ	9
ΜΙΑ ΣΕΙΡΑ ΑΠΟ ΜΑΤΙΑ	11
Η ΟΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΧΗΜΕΙΑΣ	13
ΚΑΛΒΙΝΙΣΜΟΣ	17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	19
-------------------	-----------

ΜΠΟΥΛΟΝΙΑ ΚΑΙ ΠΑΞΙΜΑΔΙΑ	19
--------------------------------	-----------

ΟΙ ΝΤΟΠΙΟΙ ΕΙΝΑΙ ΑΝΗΣΥΧΟΙ	19
ΜΠΟΜΠΕΣ ΣΚΑΘΑΡΙΩΝ	23
ΤΟ ΝΑ ΒΛΕΠΕΙΣ ΣΗΜΑΙΝΕΙ ΝΑ ΠΙΣΤΕΥΕΙΣ	27
ΜΗ ΑΝΑΓΩΓΙΜΗ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ Η ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΑΞΗΣ	29
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ	34
ΜΠΟΥΛΟΝΙΑ ΚΑΙ ΠΑΞΙΜΑΔΙΑ	35

ΕΞΕΤΑΖΟΝΤΑΣ ΤΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΑΥΡΟΥ ΚΟΥΤΙΟΥ	37
--	-----------

Κεφάλαιο 3	38
-------------------	-----------

ROW, ROW, ROW YOUR BOAT	38
--------------------------------	-----------

ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ	38
ΚΟΛΥΜΠΙ	39
ΤΙ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ	40
ΤΙ ΑΛΛΟ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ	42
ΠΩΣ ΔΟΥΛΕΥΕΙ ΤΟ ΤΡΙΧΙΔΙΟ	45
ΕΝΑΣ ΕΜΜΕΣΟΣ ΔΡΟΜΟΣ	47
ΚΑΠΟΙΟΣ ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΓΝΩΡΙΖΕΙ	49
ΤΟ ΒΑΚΤΗΡΙΑΚΟ ΜΑΣΤΙΚΟ	50
ΓΙΝΕΤΑΙ ΜΟΝΟ ΧΕΙΡΟΤΕΡΑ	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	54
-------------------	-----------

Ο RUBE GOLBERG ΚΑΙ ΤΟ ΑΙΜΑ	54
-----------------------------------	-----------

ΚΙΝΟΥΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑ ΣΑΒΒΑΤΟ ΠΡΩΙ	54
ΧΑΡΤΙΝΑ ΚΟΥΤΙΑ ΜΕ ΓΑΛΑ ΚΑΙ ΚΟΨΙΜΑΤΑ ΣΤΑ ΔΑΧΤΥΛΑ	56
ΜΠΑΛΩΜΑΤΑ	57
Ο ΚΑΤΑΡΡΑΧΤΗΣ	59
ΟΜΟΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ	62
ΔΕΝ ΕΧΟΥΜΕ ΤΕΛΕΙΩΣΕ ΑΚΟΜΗ	64

ΑΝΑΚΑΤΕΥΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΤΡΑΠΟΥΛΑ	65
ΟΙ ΚΑΛΥΤΕΡΕΣ ΔΥΝΑΤΕΣ ΕΞΗΓΗΣΕΙΣ	66
ΠΩΣ ΞΑΝΑΣΥΜΒΑΙΝΕΙ ΑΥΤΟ;	68
ΧΕΙΡΟΚΡΟΤΑΜΑΤΑ, ΧΕΙΡΟΚΡΟΤΗΜΑΤΑ	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	73
ΑΠΟ ΕΔΩ ΕΚΕΙ	73
Η ΙΛΑΡΑ	73
ΩΧ ΟΥΧ	74
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ	75
ΧΑΜΕΝΟ ΣΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ	77
ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	79
ΟΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	80
ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΜΕΝΟ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟ	82
ΘΑΝΑΤΟΣ ΣΕ ΝΕΑΡΗ ΗΛΙΚΙΑ	84
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΚΟΙΤΑΓΜΑ ΠΡΟΣ ΤΑ ΜΠΡΟΣ	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	87
ΕΝΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΣ ΚΟΣΜΟΣ	87
ΟΛΑ ΤΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΑ ΜΕΓΕΘΗ	87
ΤΟ ΣΩΣΤΟ ΥΛΙΚΟ	89
ΒΗΜΑ ΠΡΟΣ ΒΗΜΑ	92
ΑΝΑΜΕΙΞΗ ΚΑΙ ΤΑΙΡΙΑΣΜΑ	94
ΕΚΑΤΟΣΤΟ ΜΕ ΕΚΑΤΟΣΤΟ	97
Ο ΕΚΤΕΛΕΣΤΗΣ	98
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ, ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ	101
Ο ΣΙΣΥΦΟΣ ΘΑ ΕΔΕΙΧΝΕ ΣΥΜΠΑΘΕΙΑ	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	105
ΣΚΟΤΩΜΟΣ ΣΤΟ ΔΡΟΜΟ	105
ΚΟΙΤΑΞΕ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΔΥΟ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ	105
ΤΑ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	106
Η ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ ΑΡΧΙΖΕΙ	108
ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟ	110
ΦΤΑΝΟΥΜΕ ΕΚΕΙ	112
ΤΟΤΕ ΚΑΙ ΤΩΡΑ	115
ΠΑΡΑ ΠΟΛΥ ΑΠΟ ΕΝΑ ΚΑΛΟ ΠΡΑΓΜΑ	118
ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗ ΑΠΟΤΥΧΙΑ	120
ΑΥΣΤΗΡΗ ΔΟΜΗΣΗ	121
ΜΕΡΟΣ ΙΙΙ	123
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	124
ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΉ ΧΑΝΕΣΑΙ	124
ΤΟ ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΤΗΣ ΜΟΡΙΑΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ	124
ΕΝ ΑΡΧΗ	124
Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΟΥ RNA	128
ΤΑ ΑΡΘΡΑ ΠΟΥ ΛΕΙΠΟΥΝ	131
ΨΑΧΝΟΝΤΑΣ ΨΗΛΑ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΑ	134
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΟΥΛΤΟΥΡΑΣ	136
ΠΩΣ ΓΝΩΡΙΖΕΙΣ;	139

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9	142
ΕΥΦΥΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	142
ΤΙ ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ;	142
ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ	146
ΠΟΙΟΣ ΕΙΝΑΙ ΕΚΕΙ;	149
ΣΤΗΝ ΑΚΡΗ	150
ΒΙΟΧΗΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	151
ΚΑΝΟΝΤΑΣ ΔΙΑΚΡΙΣΕΙΣ	156
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10	159
ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ	159
ΑΠΛΕΣ ΙΔΕΕΣ	159
ΣΕΡΝΑΜΕΝΟΙ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ	160
ΠΑΡΑΚΑΜΨΗ	162
ΕΝΑ ΑΝΑΜΕΙΚΤΟ ΣΑΚΟΥΛΙ	162
Η ΑΝΤΙΚΡΟΥΣΗ ΤΟΥ PALEY	164
ΤΟ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑ ΚΑΤΑ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	165
Η ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΟΥΙΤΖΑ	168
ΜΙΑ ΤΡΥΠΑ ΣΤΟ ΜΑΤΙ	169
«ΤΡΙΑ ΔΑΡΒΙΝΙΚΑ ΑΞΙΩΜΑΤΑ»	208
ΤΟ ΕΡΩΤΗΜΑ ΤΗΣ ΕΞΟΦΛΗΣΗΣ	210
ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	211
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	213
Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΖΩΗΣ	213
ΚΥΤΤΑΡΑ ΚΑΙ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ	213
ΠΡΩΤΕΙΝΙΚΗ ΔΟΜΗ	216
ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΝΟΥΚΛΕΪΚΩΝ ΟΞΕΩΝ	221
ΛΙΠΙΔΙΑ ΚΑΙ ΠΟΥΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ	222
ΜΕΤΑΓΡΑΦΗ	222
ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ	224
ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ	225
ΔΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ DNA	226

ΤΟ ΜΑΥΡΟ ΚΟΥΤΙ ΤΟΥ ΔΑΡΒΙΝΟΥ

ΜΕΡΟΣ Ι

ΤΟ ΚΟΥΤΙ ΑΝΟΙΓΕΙ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

ΛΙΛΙΠΟΥΤΕΙΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑ

ΤΑ ΟΡΙΑ ΜΙΑΣ ΙΔΕΑΣ

Το βιβλίο αυτό αφορά μια ιδέα — την εξέλιξη του Δαρβίνου — που την σπρώχνουμε στα λογικά της όρια με βάση τις ανακαλύψεις της βιοχημείας. Η βιοχημεία είναι η μελέτη της ίδιας της βάσης της ζωής: δηλαδή των μορίων από τα οποία αποτελούνται τα κύτταρα και οι ιστοί, που είναι καταλύτες στις χημικές αντιδράσεις της χώνεψης, της φωτοσύνθεσης, της ανοσίας και άλλων.¹ Η εκπληκτική πρόοδος που έγινε στη βιοχημεία από τα μέσα της δεκαετίας του 1950 είναι μια μνημειώδης απόδοση τιμής στην επιστήμη που προσπαθεί να κατανοήσει τον κόσμο. Έχει φέρει πολλά πρακτικά ευεργετήματα στην ιατρική και στη γεωργία. Όμως θα πρέπει να πληρώσουμε για τη γνώση μας. Όταν αποκαλύπτονται τα θεμέλια, οι οικοδομές που στηρίζονται πάνω τους καμιά φορά κλονίζονται και καμιά φορά καταρρέουν. Όταν οι επιστήμες όπως η φυσική έχουν τελικά αποκαλύψει τα θεμέλια, θα πρέπει να απορριφθούν παλαιοί τρόποι κατανόησης του κόσμου, ή να υποστούν μια εκτεταμένη αναθεώρηση, ή να περιοριστούν σε ένα περιορισμένο μέρος της φύσης. Άραγε θα συμβεί αυτό με τη θεωρία της εξέλιξης μέσα από φυσική επιλογή; Όπως και άλλες μεγάλες ιδέες, η ιδέα του Δαρβίνου είναι απλή και κομψή. Παρατήρησε ότι υπάρχει μια ποικιλία σε όλα τα είδη: μερικά μέλη είναι μεγαλύτερα, άλλα είναι μικρότερα, μερικά είναι ταχύτερα, μερικά έχουν πιο ανοιχτό χρώμα κοκ. Σκέφτηκε λογικά, ότι αφού τα διαθέσιμα τρόφιμα δε μπορούν να στηρίξουν όλους τους οργανισμούς που γεννιούνται, αυτοί που έχουν μια τυχαία μεταβολή η οποία τους δίνει ένα πλεονέκτημα στην πάλη για τη ζωή θα έχουν την τάση να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν, βγάζοντας από τον ανταγωνισμό αυτούς που δεν έχουν αυτά τα πλεονεκτήματα. Αν η μεταβολή αυτή κληρονομηθεί, τότε τα χαρακτηριστικά του είδους θα μεταβληθούν με το χρόνο· και έτσι σε μεγάλες χρονικές περιόδους, θα υπάρχουν μεγάλες αλλαγές.

Για περισσότερο από ένα αιώνα οι πιο πολλοί επιστήμονες νόμιζαν ότι σχεδόν όλη η ζωή, ή τουλάχιστον όλα τα πιο ενδιαφέροντα της χαρακτηριστικά, ήταν το αποτέλεσμα της φυσικής επιλογής που επενεργεί πάνω στις τυχαίες μεταβολές. Η ιδέα του Δαρβίνου είχε χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει τα ράμφη των σπίνων και τις οπλές των αλόγων, το χρώμα που έχουν οι πεταλούδες, τα έντομα σκλάβοι, η κατανομή της ζωής γύρω από τη υδρόγειο και σε όλους τους αιώνες. Η θεωρία είχε τεντωθεί από μερικούς επιστήμονες για να ερμηνεύσουν την ανθρώπινη συμπεριφορά: γιατί μερικοί απελπισμένοι άνθρωποι αυτοκτονούν, γιατί οι έφηβοι γεννούν μωρά χωρίς γάμο, γιατί μερικές ομάδες τα πάνε καλύτερα από άλλες ομάδες στα τεστ νοημοσύ-

¹ Με τη λέξη *βιοχημεία* εννοώ όλες τις επιστήμες που μελετούν τη ζωή σε ένα μοριακό επίπεδο, ακόμη και αν αυτός ο επιστημονικός κλάδος γίνεται σε έναν κλάδο που έχει διαφορετικό όνομα, όπως μοριακή βιολογία, γενετική ή εμβρυολογία.

νης, γιατί ιεραπόστολοι διαφόρων θρησκειών παραιτούνται από το γάμο και τα παιδιά. Δεν υπάρχει τίποτε—ούτε όργανο, ούτε ιδέα, ούτε αίσθηση ή σκέψη— που δεν έγινε το θέμα μιας εξελικτικής σκέψης.

Ενάμιση αιώνα μετά που ο Δαρβίνος πρότεινε τη θεωρία του, η εξελικτική βιολογία είχε μεγάλη επιτυχία στο να εξηγήσει τα σχήματα της ζωής που βλέπουμε γύρω μας. Για πολλούς φαίνεται ότι είχε έναν πλήρη θρίαμβο. Όμως το πραγματικό έργο της ζωής δε συμβαίνει στο επίπεδο ολόκληρου του ζώου ή του οργάνου· τα πιο σημαντικά τμήματα των ζωντανών υπάρξεων είναι πολύ μικρά για να τα δούμε. Η ζωή υπάρχει ακριβώς στις λεπτομέρειες, και τα μόρια είναι αυτά που χειρίζονται τις λεπτομέρειες της ζωής. Ίσως η ιδέα του Δαρβίνου να εξηγεί τις οπλές των αλόγων, όμως πώς μπορεί να εξηγηθούν τα θεμέλια της ζωής;

Λίγο μετά το 1950 η επιστήμη είχε προοδέψει στο σημείο που μπορούσε να προσδιορίσει τα σχήματα και τις ιδιότητες για μερικά από τα μόρια από τα οποία αποτελούνται οι ζωντανοί οργανισμοί. Σιγά-σιγά και με πολύ κόπο, ξεκαθαρίστηκαν οι δομές καθώς και ο τρόπος λειτουργίας περισσότερων και περισσότερων βιολογικών μορίων, και όλα αυτά βγήκαν σαν συμπεράσματα από αναρίθμητα πειράματα. Τα συγκεντρωμένα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ζωή βασίζεται σε *μηχανές*—μηχανές που αποτελούνται από μόρια! Μοριακές μηχανές τραβάνε φορτία από το ένα μέρος του κυττάρου σε άλλο κατά μήκος διαφόρων «λεωφόρων» που είναι κατασκευασμένες από άλλα μόρια, ενώ άλλες ενεργούν σε καλώδια, σχοινιά και τροχαλίες για να κρατήσουν το σχήμα του μορίου. Υπάρχουν μηχανές που ανοιγοκλείνουν διακόπτες, καμιά φορά σκοτώνουν το κύτταρο ή το κάνουν να αυξηθεί. Μηχανές που δεσμεύουν την ενέργεια του ήλιου και την αποθηκεύουν σε χημικές ουσίες. Ηλεκτρικές μηχανές που επιτρέπουν στο ηλεκτρικό ρεύμα να κυκλοφορεί μέσα στα νεύρα. Κατασκευαστικές μηχανές που οικοδομούν άλλες μοριακές μηχανές, ή και τους εαυτούς μας. Κύτταρα που κολυμπούν χρησιμοποιώντας μηχανές, αντιγράφουν τον εαυτό τους με μηχανές, καταπίνουν τροφή με μηχανισμούς. Σε συντομία, υπερβολικά εκλεπτυσμένες μηχανές ελέγχουν κάθε κυτταρική λειτουργία. Έτσι οι λεπτομέρειες της ζωής είναι ρυθμισμένες και ο μηχανισμός της ζωής είναι υπερβολικά περίπλοκος.

Μπορεί άραγε όλη η ζωή να ταιριάζει με τη θεωρία της εξέλιξης του Δαρβίνου; Επειδή τα μέσα ενημέρωσης αγαπούν να δημοσιεύουν εντυπωσιακές ιστορίες, και επειδή μερικοί επιστήμονες αγαπούν να κάνουν υποθέσεις για το πόσο μακριά μπορούν να οδηγήσουν οι ανακαλύψεις τους, έχει γίνει δύσκολο για το κοινό να ξεχωρίσει τα γεγονότα από τις εικασίες. Για να βρεις τις πραγματικές ενδείξεις θα πρέπει να σκάψεις μέσα στα περιοδικά και τα βιβλία που δημοσιεύει η επιστημονική κοινότητα. Η επιστημονική βιβλιογραφία αναφέρει σε πρώτο χέρι επιστημονικά πειράματα, και οι αναφορές συνήθως δεν περιέχουν τα πετάγματα της φαντασίας που βρίσκουν το δρόμο τους στα παραπροϊόντα που ακολουθούν. Όπως θα σημειώσω παρακάτω, αν ερευνήσεις την επιστημονική βιβλιογραφία πάνω στην εξέλιξη, και αν συγκεντρώσεις την προσοχή σου στο ερώτημα πως οι μοριακές μηχανές—που είναι η βάση της ζωής—εξελίχθηκαν και αναπτύχθηκαν, θα βρεις μια παράξενη και πλήρη σιωπή. Η περιπλοκότητα της βάσης της ζωής έχει παραλύσει την προσπάθεια της επιστήμης να την εξηγήσει· οι μοριακές μηχανές έχουν υψώσει στην γενική προσέγγιση του Δαρβίνου ένα φράγμα που ακόμη είναι αδιάβατο. Για να βρούμε το γιατί, θα εξετάσω σ' αυτό το βιβλίο μερικές από τις ενδιαφέρουσες μο-

ριακές μηχανές, και μετά θα αναρωτηθώ αν μπορούν να εξηγηθούν από τυχαίες μεταλλάξεις/φυσική επιλογή.

Η εξέλιξη είναι ένα θέμα που προκαλεί συζητήσεις, έτσι είναι ανάγκη να κάνουμε μερικές βασικές ερωτήσεις στο ξεκίνημα του βιβλίου. Πολλοί άνθρωποι νομίζουν ότι το να θέσουν ερωτήματα στη Δαρβινική εξέλιξη είναι το ίδιο με το να ασπαστούν το Δημιουργισμό. Όπως κατανοείται συνήθως ο Δημιουργισμός περιλαμβάνει την πεποίθηση ότι η γη δημιουργήθηκε μόνο δέκα περίπου χιλιάδες χρόνια πριν, μια ερμηνεία της Βίβλου που εξακολουθεί να είναι πολύ δημοφιλής. Ως σημείωση θέλω να πω ότι δεν αμφιβάλω ότι το σύμπαν έχει ηλικία δισεκατομμυρίων ετών, όπως μας λένε οι φυσικοί. Επιπλέον βρίσκω ότι η ιδέα της κοινής καταγωγής (ότι όλοι οι οργανισμοί έχουν ένα κοινό πρόγονο), είναι αρκετά πειστική και δεν έχω κάποια ιδιαίτερη αιτία για να την αμφιβάλω. Σέβομαι βαθιά το έργο των συναδέλφων μου που μελετούν την ανάπτυξη και τη συμπεριφορά των οργανισμών μέσα σε ένα εξελικτικό πλαίσιο, και νομίζω ότι οι εξελικτικοί βιολόγοι έχουν συνεισφέρει τρομερά στην κατανόηση του κόσμου. Αν και ο μηχανισμός του Δαρβίνου —φυσική επιλογή που ενεργεί στην ποικιλότητα— μπορεί να εξηγεί πολλά πράγματα, όμως δεν πιστεύω ότι εξηγεί τη μοριακή ζωή. Επίσης δεν το βρίσκω εκπληκτικό ότι η νέα επιστήμη που μελετά τα υπερβολικά μικρά μπορεί να μεταβάλει τον τρόπο που βλέπουμε τα λιγότερο μικρά.

ΜΙΑ ΠΟΛΥ ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

Όταν στις ζωές μας τα πράγματα πηγαίνουν ομαλά, οι πιο πολλοί από μας έχουμε την τάση να θεωρούμε ότι η κοινωνία στην οποία ζούμε είναι «φυσική», και ότι οι ιδέες που έχουμε για τον κόσμο είναι αυταπόδεικτες. Μας είναι δύσκολο να φανταστούμε πως ζούνε οι άλλοι άνθρωποι σε άλλους χρόνους και άλλους τόπους, και γιατί πίστευαν ή πιστεύουν διαφορετικά από μας. Όμως σε περιόδους αναταραχής, όταν αμφισβητούνται αυτά που θεωρούνται στέρεες αλήθειες, τότε τίποτε στον κόσμο δε φαίνεται να έχει νόημα. Σε τέτοιες εποχές η ιστορία μας θυμίζει ότι η έρευνα για μια αξιόπιστη γνώση είναι μια μακριά και δύσκολη διαδικασία που και σήμερα δεν έχει φτάσει στο τέρμα της. Για να αναπτύξουμε μια προοπτική μέσα από την οποία να δούμε την ιδέα της Δαρβινικής Εξέλιξης, στις επόμενες λίγες σελίδες θα προσπαθήσει να δώσω μια σύντομη περίληψη της ιστορίας της βιολογίας. Κατά κάποια τρόπο η ιστορία αυτή ήταν μια αλυσίδα από μαύρα κουτιά, που κάθε φορά που το ένα ανοιγόταν ένα άλλο ανακαλυπτόταν.

Ένα *μαύρο κουτί* είναι ένας χαριτωμένος τρόπος για να εκφραστούμε για μια συσκευή που κάτι κάνει, που όμως το εσωτερικό της είναι μυστηριώδες — μερικές φορές γιατί δεν μπορούμε να το δούμε, και μερικές φορές γιατί δεν μπορούμε να το κατανοήσουμε. Ένα καλό παράδειγμα για μαύρο κουτί είναι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Οι πιο πολλοί από μας χρησιμοποιούμε αυτές τις θαυμαστές μηχανές χωρίς να έχουμε την παραμικρή ιδέα για το πώς εργάζονται, επεξεργάζονται λέξεις, σχεδιάζουν γραφικές παραστάσεις ή παίζουν παιχνίδια, μέσα σε μια χαρούμενη άγνοια για το τι υπάρχει κάτω από το κάλυμμα. Ακόμη κι αν βγάλουμε το εξωτερικό κάλυμμα, λίγοι από μας θα μπορέσουμε να ξεχωρίσουμε μερικά πράγματα από τα περίπλοκα αντικείμενα που υπάρχουν εκεί μέσα. Δεν υπάρχει μια απλή και παρατηρήσιμη σύνδεση μεταξύ των μερών του υπολογιστή και του τι μπορεί να κάνει.

Ας φανταστούμε ότι ένας υπολογιστής εφοδιασμένος με μια μπαταρία που μπορεί να κρατήσει για αρκετό χρόνο, μεταφερόταν χίλια χρόνια πίσω στην αυλή του βασιλιά Αρθούρου. Πώς θα αντιδρούσαν οι άνθρωποι εκείνης της εποχής σε ένα υπολογιστή καθώς τον έβλεπαν να δουλεύει; Οι πιο πολλοί θα τον θαύμαζαν, ίσως όμως —αν και απίθανο— κάποιος θα ήθελε να δοκιμάσει να τον κατανοήσει. Ίσως λοιπόν να πρόσεχε ότι εμφανίζονται γράμματα στην οθόνη καθώς ακουμπούσε τα πλήκτρα. Μερικοί συνδυασμοί γραμμάτων — που αντιστοιχούν σε εντολές του υπολογιστή— μπορεί να προκαλούσαν κάποια αλλαγή στην οθόνη· και μετά από κάποιο διάστημα, ίσως θα μπορούσαν να καταλάβουν κάποιους από τους συνδυασμούς. Αυτοί οι μεσαιωνικοί Άγγλοι ίσως να πίστευαν ότι είχαν ανακαλύψει τα μυστικά του υπολογιστή. Όμως τελικά κάποιος θα άνοιγε το κάλυμμα για να κοιτάξει στο εσωτερικό για να δει πως δουλεύει. Ξαφνικά η θεωρία του για το «πως δουλεύει ο υπολογιστής» θα φαινόταν υπερβολικά αφελής. Το μαύρο κουτί που θα νόμιζε ότι είχε αποκωδικοποιήσει ξαφνικά αποκαλύπτει ότι υπάρχει ένα άλλο μαύρο κουτί. Στα αρχαία χρόνια όλη η βιολογία ήταν ένα μαύρο κουτί, γιατί κανείς δεν μπορούσε να καταλάβει έστω και στην ευρύτερη έννοια πως λειτουργούσαν τα έμβια όντα. Οι αρχαίοι που έμεναν με το στόμα ανοιχτό μπροστά σε ένα ζώο ή φυτό και αναρωτιότουσαν για το πώς λειτουργεί βρισκόντουσαν μπροστά σε μια αβυθομέτρητη τεχνολογία. Πραγματικά βρισκόντουσαν στο σκοτάδι. Οι πρώτες βιολογικές έρευνες άρχισαν με το μόνο δυνατό τρόπο— με το γυμνό οφθαλμό.² Γύρω στο 400 π.Χ. εμφανίζονται διάφορα βιβλία (που αποδίδονται στον Ιπποκράτη τον «πατέρα της Ιατρικής») που περιγράφουν τα συμπτώματα μερικών από τις συνηθισμένες ασθένειες και αποδίδουν την αρρώστια στη δίαιτα και σε άλλα φυσικά αίτια, αντί να τις θεωρούν ενέργειες των θεών. Αν και αυτά τα γραφτά ήταν μια αρχή, οι αρχαίοι εξακολουθούσαν να βρίσκονται σε τέλεια σύγχυση όταν πήγαιναν να μελετήσουν τη σύσταση των ζωντανών οργανισμών. Πίστευαν ότι όλη η ύλη αποτελείται από τέσσερα στοιχεία: γη, αήρ, πυρ και ύδωρ. Θεωρούσαν ότι τα έμβια αποτελούνται από τέσσερις «χυμούς» — αίμα, κίτρινη χολή, μαύρη χολή, και φλέγμα— και υπέθεταν ότι οι ασθένειες προκαλούνται από το ότι κάποιος χυμός είχε περισσότερη από το κανονικό ποσότητα. Ο μεγαλύτερος βιολόγος των Ελλήνων ήταν ο Αριστοτέλης. Ο Αριστοτέλης γεννήθηκε όταν ακόμη ζούσε ο Ιπποκράτης,. Ο Αριστοτέλης κατανόησε (αντίθετα από τους πιο πολλούς από τους προγενέστερους του) ότι η γνώση της φύσης απαιτεί συστηματική παρατήρηση. Μέσα από προσεχτικές παρατηρήσεις, αναγνώρισε ότι υπάρχει ένα εκπληκτικό ποσό τάξης στον έμβιο κόσμο, και αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό πρώτο βήμα. Ο Αριστοτέλης ταξινόμησε τα ζώα σε δύο γενικές κατηγορίες — αυτά που έχουν αίμα, και αυτά που δεν έχουν— που αντιστοιχούν αρκετά στις σύγχρονες κατηγορίες των σπονδυλωτών και ασπόνδυλων. Στα σπονδυλωτά αναγνώρισε τις κατηγορίες των θηλαστικών, των πτηνών και των ιχθύων. Τοποθέτησε τα πιο πολλά αμφίβια και τα ερπετά σε μια ομάδα και τα φίδια σε μια χωριστή τάξη. Αν και οι παρατηρήσεις του γινόντουσαν χωρίς ειδικά εργαλεία, ένα μεγάλο μέρος από τον τρόπο της σκέψης του Αριστοτέλη παραμένει σε ισχύ παρ' όλη την γνώση που έχει αποκτηθεί μετά από χιλιάδες χρόνια που πέρασαν από το θάνατο του.

² Το ιστορικό σκίτσο που παρουσιάζουμε εδώ χρησιμοποιεί ως πηγές κυρίως το έργο: Singer, C. (1959) *A History of Biology*, Abelard-Schuman, London. Επιπρόσθετες πηγές περιλαμβάνουν τα: Taylor, G.R. (1963) *The Science of Life*, McGraw – Hill, New York, και Magner, L. N. (1979) *A History of the Life Sciences*, Marce Dekker, New York.

Λίγοι μόνο ήταν οι σημαντικοί βιολογικοί ερευνητές που έζησαν στη χιλιετία που ακολούθησε τον Αριστοτέλη. Ένας από αυτούς ήταν ο Γαληνός που έζησε τον δεύτερο αιώνα μ.Χ. στη Ρώμη. Το έργο του Γαληνού δείχνει μια προσεχτική παρατήρηση του εξωτερικού και (με ανατομία) του εσωτερικού των φυτών και των ζώων. Αν και ήταν αναγκαία η παρατήρηση, δεν επαρκούσε για να κατανοηθεί η βιολογία. Για παράδειγμα, ο Γαληνός προσπάθησε να κατανοήσει τη λειτουργία των οργάνων των ζώων. Αν και γνώριζε ότι η καρδιά λειτουργεί σαν μια αντλία αίματος, δεν μπορούσε να πει από την παρατήρηση ότι το αίμα κυκλοφορεί και επιστρέφει στην καρδιά. Ο Γαληνός λανθασμένα σκέφτηκε ότι το αίμα αντλείται για να «ποτίσει» τους ιστούς και ότι νέο αίμα συνεχώς παράγεται για να πάει στην καρδιά. Η ιδέα του διδάσκονταν για δεκαπέντε αιώνες.

Μόνο στον δέκατο έβδομο αιώνα, ένας Άγγλος, ο Ουίλιαμ Χάρβεϊ, εισήγαγε τη θεωρία ότι το αίμα ρέει συνεχώς σε μια κατεύθυνση, κάνει ένα πλήρη κύκλο και επιστρέφει στην καρδιά. Ο Χάρβεϊ υπολόγισε ότι η καρδιά αντλεί περίπου εξήντα γραμμάρια σε κάθε χτύπημα, και αν έχουμε 72 χτύπους στο λεπτό, σε μια ώρα θα είχε αντλήσει περίπου 250 κιλά αίμα— που είναι τριπλάσιο σε βάρος από το βάρος ενός μέσου άντρα! Το να δημιουργηθεί τόση μεγάλη ποσότητα αίματος σε τόσο λίγο χρονικό διάστημα είναι λογικά αδύνατο, έτσι το αίμα θα πρέπει να επαναχρησιμοποιείται. Η λογική του Χάρβεϊ (που βοηθήθηκε από τη χρήση των Αραβικών αριθμών, που έκαναν πιο εύκολους τους υπολογισμούς) που υποστήριξε ότι υπάρχει μια δραστηριότητα που δεν παρατηρείται· ήταν μια αρχή στο σύγχρονο τρόπο σκέψης για τα βιολογικά φαινόμενα.

Στο Μεσαίωνα επιταχύνθηκε ο βηματισμός της επιστημονικής έρευνας. Το παράδειγμα που έθεσε ο Αριστοτέλης ακολουθήθηκε από πολλούς φυσιολόγους. Οι πρώτοι βοτανολόγοι Brunfels, Bock, Fuchs και Valerius Cordus περιέγραψαν πολλά φυτά. Ο Rondelet ανέπτυξε την επιστημονική απεικόνιση και σχεδίασε με λεπτομέρειες τη ζωή των ζώων. Οι εγκυκλοπαιδιστές όπως ο Conrad Gesner, δημοσίευσαν μεγάλους τόμους που συνόψιζαν όλη τη βιολογική γνώση. Ο Λιναίος επεξέτεινε πολύ το έργο της ταξινόμησης του Αριστοτέλη, μελέτησε τις κατηγορίες της τάξης, κατηγορίας, γένους και είδους. Οι μελέτες της συγκριτικής βιολογίας έδειξαν πολλές ομοιότητες μεταξύ των διαφόρων κλάδων της ζωής και άρχισε να συζητείται η ιδέα της κοινής προέλευσης.

Η βιολογία προόδευσε γρήγορα στον δέκατο έβδομο και στον δέκατο όγδοο αιώνα καθώς οι επιστήμονες συνδύαζαν τα παραδείγματα της προσεχτικής παρατήρησης του Αριστοτέλη και της έξυπνης λογικής του Χάρβεϊ. Όμως ακόμη και η πιο αυστηρή προσοχή και η πιο έξυπνη λογική δεν μπορούν να σε προχωρήσουν πιο πολύ αν δεν μπορείς να παρατηρήσεις. Αν και το ανθρώπινο μάτι μπορεί να αναλύσει αντικείμενα τόσο μικρά όσο το ένα δέκατο του χιλιοστού, ένα μεγάλο μέρος από τις δραστηριότητες της ζωής λαμβάνει χώρα σε μικροσκοπικό επίπεδο, σε μια λιλιπούτεια κλίμακα. Έτσι η βιολογία έφτασε σε ένα οροπέδιο. Είχε ανοιχτεί το μαύρο κουτί της χονδρικής δομής των οργανισμών, όμως το άνοιγμα αποκάλυψε το μαύρο κουτί της λεπτότερης δομής της ζωής. Για να προχωρήσει περισσότερο η βιολογία χρειάστηκε μια σειρά από τεχνολογικές επαναστάσεις. Η πρώτη απ' αυτές ήταν το μικροσκόπιο.

MAYPA KOYTIA MEZA SE MAYPA KOYTIA

Οι φακοί ήταν γνωστοί από τα αρχαία χρόνια, και από τον δέκατο πέμπτο αιώνα η χρήση τους σε γυαλιά ήταν κάτι το συνηθισμένο. Μόνο όμως στο δέκατο έβδομο

αιώνα, ένας αμφίκυρτος και ένας αμφίκυλλος φακός συνδυάστηκαν για το πρώτο χονδροειδές μικροσκόπιο. Ο Γαλιλαίος χρησιμοποίησε ένα από αυτά τα πρώτα εργαλεία και θαύμασε καθώς ανακάλυψε τα σύνθετα μάτια των εντόμων. Ο Stelluti παρατήρησε τα μάτια, τη γλώσσα, τις κεραίες σε μέλισσες και σε σιταρόψειρες. Ο Malpighi επιβεβαίωσε την κυκλοφορία του αίματος μέσα από τα τριχοειδή αγγεία και περιέγραψε της αρχική ανάπτυξη της εμβρυικής καρδιάς της όρνιθας. Ο Νεεμίας Grew μελέτησε τα φυτά, ο Swammerdam έκανε ανατομία σε εφήμερα· ο Leewenhoek ήταν ο πρώτος άνθρωπος που παρατήρησε βακτήριο· ενώ ο Robert Hooke παρατήρησε τα κύτταρα στον φελλό και σε φύλλα (αν και του διέφυγε η σημασία τους).

Η ανακάλυψη ενός Λιλιπούτειου κόσμου που δεν περίμεναν την ύπαρξη είχε αρχίσει, ανατρέποντας διάφορες εγκατεστημένες ιδέες του τι είναι τα έμβια όντα. Ο Charles Singer που είναι ιστορικός της επιστήμης, σημείωσε ότι «η άπειρη πολυπλοκότητα των έμβιων που αποκαλύφθηκε ήταν τόσο φιλοσοφικά ενοχλητική όσο η γεμάτη μεγαλοπρέπεια τάξη του αστρονομικού κόσμου που είχε αποκαλύψει ο Γαλιλαίος στην προηγούμενη γενιά, αν και χρειάστηκε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για να κατανοηθεί η σημασία τους από τους ανθρώπους.» Με άλλα λόγια, καμιά φορά τα καινούρια κουτιά απαιτούν να αναθεωρήσουμε όλες μας τις θεωρίες. Όμως σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να παρατηρηθεί μεγάλη απροθυμία.

Η κυτταρική θεωρία της ζωής τελικά προτάθηκε στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα από τους Matthias Schleiden και Theodor Schwann. Ο Schleiden εργάστηκε κυρίως με φυτικούς ιστούς· συζήτησε πολύ για την σημασία μιας μαύρης κηλίδας — του πυρήνα—που υπήρχε σε όλα τα κύτταρα. Ο Schwann συγκέντρωσε την προσοχή του σε ζωικούς ιστούς, όπου ήταν πιο δύσκολο να παρατηρήσει τα κύτταρα. Παρόλα αυτά διέκρινε ότι τα ζώα είναι όμοια με τα φυτά στην κυτταρική τους δομή. Ο Schwann έβγαλε το συμπέρασμα ότι τα κύτταρα ή οι εκκρίσεις των κυττάρων συνιστούν την ολότητα των σωμάτων των ζώων και των φυτών, και ότι με κάποιο τρόπο τα κύτταρα είναι ατομικές μονάδες με τη δική τους ζωή. Έγραψε ότι «το ερώτημα για το ποια είναι η θεμελιακή δύναμη των οργανωμένων σωμάτων σε τελευταία ανάλυση αφορά τα ατομικά κύτταρα.» Ο Schleiden πρόσθεσε, «έτσι η βασική ερώτηση είναι, ποια είναι η προέλευση αυτού του μικρού οργανισμού, του κυττάρου;» Οι Schleiden και Schwann δούλεψαν από την αρχή μέχρι τη μέση του 1800—την εποχή που ο Δαρβίνος ταξίδευε και έγραφε την *Προέλευση των Ειδών*. Για τον Δαρβίνο, όπως και για κάθε άλλο επιστήμονα εκείνης της εποχής το κύτταρο ήταν ένα μαύρο κουτί. Παρόλα αυτά μπόρεσε να βγάλει νόημα για ένα μεγάλο μέρος της Βιολογίας που ήταν πάνω από το επίπεδο του κυττάρου. Η ιδέα του ότι η ζωή εξελίσσεται δεν ξεκίνησε με το Δαρβίνο, όμως αυτός έδωσε πιο συστηματικά επιχειρήματα, και η θεωρία για το πως λειτουργεί η εξέλιξη —με τη φυσική επιλογή πάνω στην ποικιλομορφία—είναι δική του.

Εν τω μεταξύ, το μαύρο κουτί των κυττάρων το εξερεύνησαν κατά συστηματικό τρόπο. Η έρευνα του κυττάρου έσπρωξε το μικροσκόπιο στα όρια του, που αυτά οφείλονται στο μήκος κύματος του φωτός. Για κάποιους φυσικούς λόγους, ένα μικροσκόπιο δεν μπορεί να αναλύσει δύο σημεία που πιο κοντά το ένα από το άλλο από περίπου το μισό του μήκους κύματος του φωτός που τα φωτίζει. Αφού το μήκος κύματος του ορατού φωτός είναι το ένα δέκατο της διαμέτρου ενός βακτηριακού κυττάρου, πολλές μικρές, κρίσιμες λεπτομέρειες της κυτταρικής δομής δεν

μπορούν να φανούν με ένα φωτονικό μικροσκόπιο. Το μαύρο κουτί του κυττάρου δεν μπορούσε να ανοιχτεί χωρίς επί πλέον τεχνολογικές καλυτερεύσεις. Στο τέλος του δέκατου ένατου αιώνα, καθώς προόδευσε η φυσική, ο J. J. Thomson ανακάλυψε το ηλεκτρόνιο· η ανακάλυψη του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου ακολούθησε μερικές δεκαετίες αργότερα. Επειδή το μήκος κύματος του ηλεκτρονίου είναι μικρότερο από το μήκος κύματος του ορατού φωτός, μπορούν να αναλυθούν πολύ μικρότερα αντικείμενα αν «φωτιστούν» με ηλεκτρόνια. Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο έχει αρκετές πρακτικές δυσκολίες, μια σημαντική δυσκολία είναι ότι η ηλεκτρονική δέσμη έχει την τάση να τηγανίζει το δείγμα. Όμως βρέθηκαν διάφοροι τρόποι για να ξεπεραστούν τα προβλήματα, και μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο η Ηλεκτρονική μικροσκοπία αυτονομήθηκε. Ανακαλύφθηκαν νέες υποκυτταρικές δομές. Αποκαλύφθηκαν οπές μέσα στον πυρήνα και αποκαλύφθηκε ότι υπάρχει μια διπλή μεμβράνη γύρω από τα μιτοχόνδρια (που είναι τα ενεργειακά εργοστάσια των κυττάρων). Το ίδιο το κύτταρο που κάτω από το φωτονικό μικροσκόπιο εμφανιζόταν πολύ απλό τώρα έμοιαζε πολύ διαφορετικό. Τον ίδιο θαυμασμό που προκλήθηκε με τα πρώτα φωτονικά μικροσκόπια, και που τον ένιωσαν όταν είδαν τη λεπτομερή δομή των εντόμων, τον ένιωσαν ξανά οι επιστήμονες του εικοστού αιώνα όταν παρατήρησαν την περιπλοκότητα του κυττάρου. Αυτό το επίπεδο ανακαλύψεων άρχισε να επιτρέπει στους βιολόγους να προσεγγίζουν το μεγαλύτερο απ' όλα τα μαύρα κουτιά. Το ερώτημα για το πώς *δουλεύει (λειτουργεί) η ζωή* δεν μπορούσε να απαντηθεί από το Δαρβίνο και τους συγχρόνους του. Ήξεραν ότι τα μάτια είναι για την όραση—όμως πώς πραγματικά βλέπουν; Πώς το αίμα δημιουργεί θρόμβους; Πώς το σώμα πολεμά τις ασθένειες; Οι ίδιες οι περίπλοκες δομές που αποκαλύφθηκαν με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, αποτελούνται από μικρότερα συστατικά. Ποια ήταν αυτά τα συστατικά; Με τι μοιάζανε; Πώς λειτουργούν; Οι απαντήσεις σ' αυτά τα ερωτήματα μας βγάζουν έξω από τον κόσμο της βιολογίας και μας φέρνουν στη χημεία. Μας πηγαίνουν πίσω στον δέκατο ένατο αιώνα.

Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΖΩΗΣ

Όπως ο καθένας μας μπορεί να δει, τα έμβια όντα διαφέρουν από τα άβια. Ενεργούν διαφορετικά. Νιώθουν επίσης και διαφορετικά: Η γούνα και τα μαλλιά μπορούν εύκολα να ξεχωρίσουν από πέτρες και άμμο. Οι πιο πολλοί άνθρωποι μέχρι τον δέκατο ένατο αιώνα, με ένα φυσικό τρόπο, πίστευαν ότι η ζωή αποτελείται από ένα ειδικό είδος υλικού, που διέφερε από την ύλη από την οποία αποτελούνται τα άψυχα όντα. Όμως το 1828 ο Friedrich Whöler θέρμανε κυανιούχο αμμώνιο και με έκπληξη βρήκε ότι σχηματίστηκε ουρία που είναι ένα βιολογικό προϊόν που εκκρίνεται ως απόβλητο. Η σύνθεση της ουρίας από άγια ύλη συνέτριψε την εύκολη διάκριση μεταξύ εμβίων και αβίων, και ο χημικός της ανόργανης χημείας Justus von Liebig, άρχισε τότε να μελετά τη χημεία της ζωής (ή βιοχημεία). Ο Liebig έδειξε ότι η θερμότητα που παράγεται στα σώματα των οργανισμών, οφείλεται στην καύση των τροφών· και κατά συνέπεια δεν είναι μια έμφυτη ιδιότητα της ζωής. Με αφορμή τις ανακαλύψεις του, διατύπωσε την ιδέα του μεταβολισμού, κατά τον οποίο το σώμα οικοδομεί και αποικοδομεί ουσίες δια μέσου χημικών διεργασιών. Ο Ernst Haeckel κρυσταλλοποίησε το ερυθρό υλικό του αίματος (αιμοσφαιρίνη) και έδειξε ότι συνδέεται με το οξυγόνο για να το μεταφέρει σε όλο το σώμα. Ο Emil Fischer έδειξε

ότι στη μεγάλη τάξη ουσιών που ονομάζονται πρωτεΐνες, όλες αποτελούνται από είκοσι μόνο τύπους οικοδομικών υλικών (που ονομάζονται αμινοξέα) που ενώνονται για να σχηματίσουν αλυσίδες.

Πώς μοιάζουν οι πρωτεΐνες; Αν και ο Emil Fischer έδειξε ότι είναι κατασκευασμένες από αμινοξέα, ήταν άγνωστες οι λεπτομέρειες της δομής τους. Το μέγεθος τους τις έβαζε πέρα από τα όρια ακόμη και του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, όμως είχε γίνει ξεκάθαρο ότι οι πρωτεΐνες ήταν οι θεμελιώδεις μηχανές της ζωής, και ενεργούσαν ως καταλύτες της χημείας αλλά και ήταν ταυτόχρονα δομικά στοιχεία του κυττάρου. Χρειάζοταν λοιπόν μια νέα τεχνική για να μελετηθεί η δομή των πρωτεϊνών, Κατά το πρώτο μέρος του εικοστού αιώνα, η κρυσταλλογραφία με ακτίνες Χ είχε χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό της δομής των μικρών μορίων. Η κρυσταλλογραφία συνίσταται στην ακτινοβολήση ενός κρυστάλλου μιας χημικής ουσίας με μια δέσμη ακτίνων Χ· οι ακτίνες σκεδάζονται με μια φυσική διαδικασία που ονομάζεται περίθλαση. Ένα φωτογραφικό φιλμ τοποθετείται πίσω από τον κρύσταλλο, και τότε οι ακτίνες Χ που υπέστησαν περίθλαση, ανιχνεύονται μετά την ανάπτυξη του φιλμ. Το σχήμα που προκύπτει από την περίθλαση, μπορεί να δείξει με τη βοήθεια δύσκολων μαθηματικών, τη θέση του *κάθε ενός ατόμου* του μορίου. Στρέφοντας τα «πυροβόλα» της κρυσταλλογραφίας με ακτίνες Χ προς τις πρωτεΐνες, θα έπρεπε να δείξει τη δομή τους, όμως υπήρχε ένα μεγάλο πρόβλημα: όσο περισσότερα άτομα υπάρχουν σε ένα μόριο, τόσο πιο δύσκολη είναι η κρυσταλλοποίηση της χημικής ουσίας. Επειδή οι πρωτεΐνες έχουν δεκάδες φορές περισσότερα άτομα από τα μόρια που συνήθως εξετάζονται στην κρυσταλλογραφία, αυτό έκανε το πρόβλημα δεκάδες φορές πιο δύσκολο. Όμως μερικοί άνθρωποι έχουν δεκάδες φορές περισσότερη επιμονή από τους υπόλοιπους από μας.

Το 1958 μετά από ολόκληρες δεκαετίες εργασίας, ο J. C. Kendrew προσδιόρισε τη δομή της πρωτεΐνης μυογλοβίνη χρησιμοποιώντας κρυσταλλογραφία με ακτίνες Χ· τελικά μια τεχνική έδειξε την λεπτομερή δομή μιας βασικής ουσίας της ζωής. Και τι φάνηκε; Ακόμη μια φορά φάνηκε μεγάλη πολυπλοκότητα. Πριν τον προσδιορισμό της δομής της μυογλοβίνης, νόμιζαν ότι οι πρωτεΐνες θα αποδεικνυόντουσαν απλές και κανονικές δομές, όπως οι κρύσταλλοι του αλατιού. Παρατηρώντας όμως την δομή της μυογλοβίνης που είχε συστροφές και περιπλοκές που θύμιζαν τα έντερα ο Max Perutz είπε αναστενάζοντας, «Μπορούσε ποτέ η έρευνα για την τελική αλήθεια να αποκάλυπτε ένα αντικείμενο τόσο τρομακτικό και που τόσο πολύ να μοιάζει με έντερο;» Οι βιοχημικοί έχουν από τότε συνηθίσει και μάλιστα τους αρέσει να παρατηρούν τις λεπτές περιπλοκές που έχει η δομή των πρωτεϊνών. Οι καλύτερές τους υπολογιστές και σε άλλα εργαλεία έκαναν σήμερα πολύ ευκολότερη την κρυσταλλογραφία από ότι ήταν για τον Kendrew, αν και εξακολουθεί να απαιτεί μια σημαντική προσπάθεια.

Ως αποτέλεσμα της εργασίας του Kendrew για τη δομή των πρωτεϊνών και της (πιο διάσημης) εργασίας των Watson και Creek στο DNA, οι βιοχημικοί είχαν για πρώτη φορά τη δυνατότητα να γνωρίσουν τα σχήματα των μορίων με τα οποία εργαζόταν. Η αρχή της νέας βιοχημείας, που από τότε έχει προοδεύσει με ένα ρυθμό που η ταχύτητα του σε ζαλίζει, μπορεί να θεωρηθεί αυτή η εποχή. Επίσης οι πρόοδοι στη φυσική και στη χημεία, έχουν ξεχυθεί πέρα από τα όρια των επιστημονικών κλάδων για να δημιουργήσουν μια ισχυρή συνεργασία για την έρευνα της ζωής. Αν και θεωρητικά η κρυσταλλογραφία με ακτίνες Χ μπορεί να προσδιορίσει τη δομή όλων των μορίων των ζωντανών οργανισμών, τα πρακτικά προβλήματα περιορίζουν

τη χρήση της σε ένα σχετικά μικρό αριθμό πρωτεϊνών και νουκλεϊκών οξέων. Όμως έχουν εισαχθεί κατά ένα ρυθμό που σου προκαλεί ζαλάδα, νέες τεχνικές, που συμπληρώνουν και επικαλύπτουν την κρυσταλλογραφία. Μια σημαντική τεχνική ονομάζεται *πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός*, (NMR). Με τον NMR ένα μόριο μπορεί να μελετηθεί αν μπορεί να υπάρχει σε διάλυμα—δε χρειάζεται να γίνει μια πολύ καθαρή κρυσταλλοποίηση του. Όπως και η κρυσταλλογραφία, ο NMR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μελετηθεί η ακριβής δομή των πρωτεϊνών και των νουκλεϊκών οξέων. Επίσης όπως και η κρυσταλλογραφία, ο NMR έχει και αυτός περιορισμούς που τον κάνουν χρήσιμο μόνο για ένα τμήμα των γνωστών πρωτεϊνών. Όμως με τη χρήση του NMR και της κρυσταλλογραφίας Χ, έχει γίνει δυνατό να λυθεί το πρόβλημα των δομών αρκετών πρωτεϊνών κι' έτσι οι επιστήμονες έχουν μια λεπτομερειακή γνώση για του πως μοιάζουν.

Όταν ο Leeuwenhoek χρησιμοποίησε το μικροσκόπιο για να δει μια μικροσκοπική αράχνη πάνω σε μια πολύ μικρή ψείρα, το γεγονός αυτό ενέπνευσε τον Jonathan Swift να γράψει ένα ποιηματάκι στο οποίο εξέφρασε μια προσμονή για μια ατελείωτη ακολουθία από πιο μικρά και πιο μικρά πλασματάκια.

Έτσι οι φυσιδίφες παρατηρούν μια ψείρα
Που έχει πιο μικρές ψείρες που βρίσκονται πάνω τις και την ρουφούν
Και αυτές έχουν ακόμη πιο μικρές που τις δαγκάνουν
Και αυτό προχωρά επ' άπειρον.

Ο Swift έκανε λάθος· η διαδικασία δε συνεχίζεται για πάντα. Στο τέλος του εικοστού αιώνα είμαστε στην παλίρροια της έρευνας για τη ζωή και φαίνεται ότι πλησιάζουμε στο τέρμα της. Το τελευταίο μαύρο κουτί ήταν το κύτταρο, που άνοιξε και αποκάλυψε μόρια — που είναι το θεμέλιο για τη φύση. Πιο κάτω δεν μπορούμε να προχωρήσουμε. Επιπλέον το έργο που έγινε στην έρευνα για τα ένζυμα, που είναι ένα άλλο είδος πρωτεΐνες και στα νουκλεϊκά οξέα έχει φωτίσει τις αρχές που ενεργούν στο βασικό επίπεδο της ζωής. Υπάρχουν ακόμη πολλές λεπτομέρειες που θα πρέπει να συμπληρωθούν, και χωρίς αμφιβολία μας περιμένουν κάποιες εκπλήξεις. Όμως αντίθετα με τους παλιούς επιστήμονες, που κοίταζαν ένα ψάρι ή μια καρδιά ή ένα κύτταρο και αναρωτιόντουσαν τι είναι και πως λειτουργεί, οι σύγχρονοι επιστήμονες ικανοποιούνται ότι οι λειτουργίες των πρωτεϊνών και άλλων μορίων έχουν επαρκείς εξηγήσεις για τη βάση της ζωής. Από τον Αριστοτέλη μέχρι τη σύγχρονη βιοχημεία, το ένα στρώμα μετά το άλλο έχουν ξεφλουδιστεί μέχρις ότου το κύτταρο—που ήταν το μαύρο κουτί του Δαρβίνου — το βλέπουμε ανοιχτό.

ΜΙΚΡΑ ΑΛΜΑΤΑ, ΜΕΓΑΛΑ ΑΛΜΑΤΑ

Ας υποθέσουμε ότι ένα βαθύ χαντάκι φάρδους ενός μέτρου βρίσκεται στο πίσω μέρος της αυλής σου και συνεχίζεται μέχρι τον ορίζοντα, χωρίζοντας το οικόπεδο σου από ον γείτονα. Μια μέρα τον συναντάς στην αυλή σου και τον ρωτάς πως βρέθηκε εκεί, δεν έχεις λόγο για να αμφιβάλεις την απάντησή του, «πήδηξα πάνω από το χαντάκι.» Αν το χαντάκι είχε φάρδος 2 μέτρα και σου έδινε την ίδια απάντηση θα εντυπωσιαζόσουν από τις αθλητικές του ικανότητες. Αν το χαντάκι είχε φάρδος 4,5 μέτρα, θα άρχισες να τον υποπευέσαι και θα του ζητούσες να πηδήξει μπροστά σου, αν αρνιόταν, με τον ισχυρισμό ότι έχει στραμπουλήσει το γόνατο του, θα διατηρούσες τις επιφυλάξεις αλλά δε θα επέμενες ότι σου λέει παραμύθια. Αν όμως το

«χαντάκι» ήταν στην πραγματικότητα ένα φαράγγι με φάρδος 30 μέτρα, τότε δε θα δεχόσουν έστω και για μια στιγμή ότι μπόρεσε να το πηδήξει.

Όμως πες ότι ο γείτονας σου —που είναι ένας έξυπνος άνθρωπος— αλλάζει τον ισχυρισμό του. Δεν ήρθε με ένα πήδημα. Αντίθετα σου λέει ότι στο φαράγγι υπάρχουν κορυφές που απέχουν η μία από την άλλη σε αποστάσεις όχι μεγαλύτερες από 3 μέτρα, και αυτός πήδηξε από τη μία κορυφή στην επόμενη κορυφή. Κοιτάζοντας προς το φαράγγι, λες στον γείτονα σου ότι δεν βλέπεις τις κορυφές, μόνο ένα φαρδύ χάσμα που χωρίζει την αυλή σου από τη δική του. Συμφωνεί, όμως εξηγεί ότι χρειάστηκε χρόνια κα χρόνια για να έρθει. Σ' αυτήν την περίοδο εμφανιζόντουσαν πότε – πότε κορυφές μέσα στο χάσμα και αυτός προχωρούσε όποτε εμφανιζόταν μια κορυφή μέσα στο χάσμα. Μετά που φεύγει από τη μια κορυφή, αυτή συνήθως διαβρώνεται αρκετά γρήγορα και καταρρέει πίσω στο χάσμα σε θρύψαλα. Όλα αυτά είναι πολύ αμφίβολα, όμως δεν σου είναι εύκολο να αποδείξεις ότι δεν τα λέει σωστά και αλλάζεις τη συζήτηση για μπέιζμπωλ.

Αυτή η μικρή ιστοριούλα μας διδάσκει αρκετά μαθήματα. Πρώτο, η λέξη *άλμα* μπορεί να παρουσιαστεί ως μια εξήγηση για το πώς κάποιος διέσχισε ένα εμπόδιο, όμως η εξήγηση μπορεί να ποικίλει, από τελείως πειστική σε τελείως ανεπαρκή, αυτό εξαρτάται από τις λεπτομέρειες (πόσο φαρδύ είναι το εμπόδιο). Δεύτερο, τα μεγάλα ταξίδια μπορούν να φανούν ως πιο λογικοφανή αν εξηγηθούν ως μια σειρά από μικρά άλματα παρά ένα μεγάλο άλμα. Και τρίτον, όταν δεν υπάρχουν ενδείξεις για τέτοια μικρά άλματα, είναι πολύ δύσκολο να αποδείξεις ότι έχει δίκιο ή άδικο κάποιος που ισχυρίζεται ότι υπήρχαν αυτά τα ενδιάμεσα βήματα υπήρχαν στο παρελθόν αλλά εξαφανίστηκαν.

Βέβαια, αυτή η αλληγορία των αλμάτων πάνω από στενά χαντάκια έναντι των φαράγγιων, μπορεί να εφαρμοστεί και στην εξέλιξη. Έχουν επικαλεστεί τη λέξη *εξέλιξη* για να εξηγήσουν μικρές αλλαγές σε οργανισμούς καθώς και μεγάλες αλλαγές. Σ' αυτές δίνονται διαφορετικά ονόματα: Μιλώντας χονδρικά, η *μικροεξέλιξη* περιγράφει αλλαγές που μπορούν να γίνουν με ένα ή λίγα μικρά άλματα, ενώ η *μακροεξέλιξη* περιγράφει αλλαγές που φαίνονται να απαιτούν μεγάλα άλματα.

Η πρόταση του Δαρβίνου για το ότι μπορούν να συμβούν στη φύση σχετικά μικρές αλλαγές ήταν μια τολμηρή νοηματική πρόταση, και η παρατήρηση αυτών των αλλαγών ήταν μια πολύ ευχάριστη επιβεβαίωση αυτής της διαίσθησης. Ο Δαρβίνος είδε όμοια αλλά όχι ακριβώς ίδια— ταυτόσημα— είδη σπίνων στα διάφορα νησιά Γκαλάπαγκος και έδωσε τη θεωρία ότι όλα προήλθαν από ένα κοινό πρόγονο. Πρόσφατα μερικοί επιστήμονες από το Πρίνστον παρατήρησαν ότι πραγματικά το μέσο μέγεθος του ράμφους των πληθυσμών των σπίνων μεταβάλλεται σε διάστημα λίγων ετών.³ Νωρίτερα είχε δειχτεί ότι οι αριθμοί των σκουρόχρωμων πεταλούδων έναντι των ανοιχτόχρωμων μεταβάλλεται αν το περιβάλλον αλλάξει από ένα που έχει πολλή αιθάλη σε ένα καθαρό. Παρόμοια, τα πουλιά που εισάχθηκαν στη Βόρεια Αμερική από τους Ευρωπαίους αποίκους έχουν δώσει νέες ποικιλίες όπου έχουμε διάφορα ξεχωριστά είδη. Στις πιο πρόσφατες δεκαετίες έχει γίνει δυνατό να βρεθεί ένδειξη για μικροεξέλιξη σε μοριακό επίπεδο. Για παράδειγμα, οι ιοί, όπως αυτός που προκαλεί το AIDS μεταλλάσσουν τα καλύμματα τους για να ξεφεύγουν από το ανθρώπινο ανοσοποιητικό σύστημα. Διάφορα μικρόβια που προκαλούν ασθένειες ξαναήρθαν στο προσκήνιο καθώς εξελίχθηκαν νέοι τύποι τους με την ικα-

³ Περιγράφεται στο άρθρο: Weiner, J. (1994) *The Beak of the Finch*, Vintage Books, New York.

νότητα να αντιστέκονται στα αντιβιοτικά. Θα μπορούσαν να αναφερθούν πολλά άλλα παραδείγματα.

Η θεωρία του Δαρβίνου έχει θριαμβεύσει σε μικρή κλίμακα· έχει τόση αμφισβήτηση όση ο ισχυρισμός ενός αθλητή που ισχυρίζεται ότι μπορεί να πηδήξει ένα χαντάκι πλάτους ενός μέτρου. Όμως είναι στο επίπεδο της μακροεξέλιξης—των μεγάλων αλμάτων—που η θεωρία προκαλεί τον σκεπτικισμό. Πολλοί άνθρωποι έχουν ακολουθήσει τον Δαρβίνο με το να προτείνουν ότι οι τεράστιες αλλαγές μπορούν να αναλυθούν σε λογικά, μικρά βήματα σε μεγάλες χρονικές περιόδους. Όμως δεν έχουν παρουσιαστεί πειστικές ενδείξεις που να μπορούν να στηρίξουν αυτήν την πρόταση. Όμως, όπως η ιστορία του γείτονα που λέει για κορυφές που εξαφανίζονται, είναι δύσκολο να αξιολογήσουμε αν αυτά τα άπιαστα και ακαθόριστα μικρά βήματα θα μπορούσαν να έχουν υπάρξει... μέχρι σήμερα.

Με τον ερχομό της σύγχρονης βιοχημείας μπορούμε να κοιτάξουμε το πιο βασικό επίπεδο της ζωής. Μπορούμε να κάνουμε μια καλά πληροφορημένη αξιολόγηση αν αυτά τα υποτιθέμενα μικρά βήματα που απαιτούνται για να παράγουν μεγάλες εξελικτικές αλλαγές, αν θα μπορούσαν πράγματι να είναι αρκετά μικρά. Θα δείτε σ' αυτό το βιβλίο ότι τα φαράγγια που χωρίζουν τις μορφές της καθημερινής ζωής και τα αντίστοιχα φαράγγια που χωρίζουν τα βιολογικά συστήματα σε μία μικροσκοπική κλίμακα. Όπως τα σχήματα φράκταλ στα μαθηματικά, όπου ένα σχέδιο επαναλαμβάνεται ακόμη και αν κοιτάξεις σε μικρότερη και μικρότερη κλίμακα, υπάρχουν αγεφύρωτα χάσματα που συμβαίνουν ακόμη και στο πιο χαμηλό επίπεδο της ζωής.

ΜΙΑ ΣΕΙΡΑ ΑΠΟ ΜΑΤΙΑ

Η βιοχημεία έχει σπρώξει τη Δαρβινική θεωρία της εξέλιξης στα όρια της. Το έκανε με το να ανοίξει το τελευταίο μαύρο κουτί, που είναι το κύτταρο, κι έτσι έδωσε τη δυνατότητα να κατανοήσουμε το πώς λειτουργεί η ζωή. Είναι ακριβώς αυτή η εκπληκτική περιπλοκότητα των υποκυτταρικών οργανικών δομών που μας έχει επιβάλει το ερώτημα, Πώς όλα αυτά έχουν εξελιχθεί; Για να νιώσουμε το βάρος της ερώτησης —και να πάρουμε μια γεύση του τι μας επιφυλάσσει—ας δούμε σε ένα παράδειγμα ενός βιοχημικού συστήματος. Μια εξήγηση για μια λειτουργία θα πρέπει να συμβαδίζει με τη σύγχρονη επιστήμη. Ας δούμε πως προόδευσε η εξήγηση που δίνει η επιστήμη από τον δέκατο ένατο αιώνα και πως αυτό επηρεάζει το έργο μας για την εξήγηση της προέλευσης της.

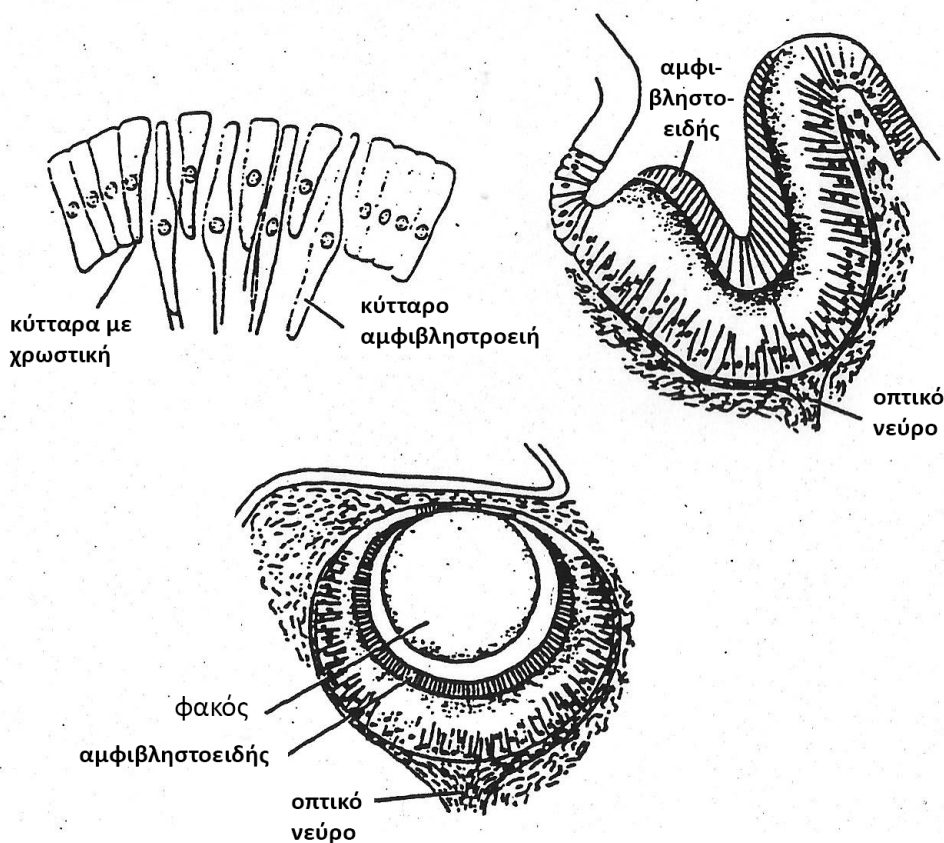
Μέχρι το δέκατο ένατο αιώνα, η ανατομία του ματιού είχε γίνει γνωστή με αρκετές λεπτομέρειες. Οι επιστήμονες γνώριζαν ότι η κόρη του ματιού, ενεργεί σαν ένα διάφραγμα για να αφήνει αρκετό φως για να μπορούμε να δούμε είτε το λαμπρό ηλιακό φως ή το νυχτερινό σκοτάδι. Ο φακός του ματιού συγκεντρώνει το φως και το εστιάζει στον αμφιβληστροειδή για να σχηματίσει μια καθαρή εικόνα (είδωλο). Οι μύες του ματιού του επιτρέπουν να κινείται γρήγορα. Τα διάφορα χρώματα του φωτός, με διάφορα μήκη κύματος, θα προκαλούσαν μια μπερδεμένη εικόνα, αν δεν υπήρχε ο φακός του ματιού που μεταβάλλει την πυκνότητα πάνω στην επιφάνεια του για να διορθώνει τα χρωματικά σφάλματα. Αυτές οι εκλεπτυσμένες μέθοδοι εξέπληξαν τον κάθε ένα που είχε αποκτήσει μια οικειότητα μαζί τους. Οι επιστήμονες του δέκατου ένατου αιώνα γνώριζαν ότι αν από κάποιον έλειπαν κάποια από τα ολοκληρωμένα χαρακτηριστικά του ματιού, το αποτέλεσμα θα ήταν μια σοβαρή απώλεια της όρασης ή μια τελεία τύφλωση. Συμπέραναν λοιπόν ότι το μάτι θα μπορούσε να λειτουργήσει μόνο στην περίπτωση που ήταν υγιές.

Ο Κάρολος Δαρβίνος ήξερε κι' αυτός για το μάτι. Στο *Η Καταγωγή των Ειδών* ο Δαρβίνος ασχολείται με πολλές από τις αντιρρήσεις προς τη θεωρία της εξέλιξης με τη φυσική επιλογή. Συζήτησε το πρόβλημα του ματιού σε ένα τμήμα του βιβλίου που έχει τον κατάλληλο τίτλο «Όργανα εξαιρετικής Τελειότητας και Πολυπλοκότητας.» Η σκέψη του Δαρβίνου ήταν ότι η εξέλιξη δε μπορούσε να φτιάξει ένα πολύπλοκο όργανο σε ένα βήμα ή σε λίγα βήματα· οι ριζικές καινοτομίες όπως το μάτι θα απαιτούσαν γενεές οργανισμών να συσσωρεύσουν αργά τις ευεργετικές αλλαγές σε μια βαθμιαία διαδικασία. Κατάλαβε ότι αν σε μια γενεά εμφανιζόταν ξαφνικά ένα τόσο περίπλοκο όργανο όπως το μάτι, αυτό θα ισοδυναμούσε με θαύμα. Δυστυχώς όμως η βαθμιαία ανάπτυξη του ανθρώπινου ματιού φάνηκε να είναι αδύνατη, γιατί τα εκλεπτυσμένα του χαρακτηριστικά φαίνονται να εξαρτώνται το ένα από το άλλο. Κατά κάποιο τρόπο, για να μπορέσει να γίνει πιστευτή η εξέλιξη, ο Δαρβίνος έπρεπε να πείσει το κοινό ότι τα περίπλοκα όργανα μπορούσαν να σχηματιστούν με μία διαδικασία βήμα – βήμα.

Το πέτυχε θαυμάσια. Με έξυπνο τρόπο, ο Δαρβίνος, δεν προσπάθησε να ανακαλύψει το πραγματικό μονοπάτι που μπορεί να χρησιμοποίησε η εξέλιξη για να κάνει το μάτι. Αντί για αυτό έδειξε διάφορα σύγχρονα ζώα με διάφορα είδη ματιών (που ποικίλουν από το πιο απλό έως το πιο περίπλοκο) και υπέδειξε ότι η θεωρία του ανθρώπινου ματιού μπορεί να περιλάμβανε όμοια όργανα ως ενδιάμεσα (εικόνα 1-1).

ΕΙΚΟΝΑ 1-1

ΜΙΑ ΣΕΙΡΑ ΟΦΘΑΛΜΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΕΝΑ ΑΠΛΟ ΣΤΡΩΜΑ ΑΠΟ ΦΩΤΟΥΠΟΔΟΧΕΙΣ, ΟΠΩΣ ΑΥΤΟΥΣ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΟΥΜΕ ΣΕ ΜΕΔΟΥΣΕΣ. (ΔΕΞΙΑ) ΕΝΑ ΜΑΤΙ ΣΕ ΣΧΗΜΑ ΚΥΠΕΛΛΟΥ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΕ ΠΕΤΑΛΙΔΕΣ. (ΚΑΤΩ) ΜΑΤ ΜΕ ΦΑΚΟ, ΑΠΌ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΣΑΛΙΓΓΑΡΙ



Εδώ δίνουμε μια παράφραση του επιχειρήματος του Δαρβίνου. Αν και οι άνθρωποι έχουν περίπλοκα μάτια που θυμίζουν φωτογραφική μηχανή, πολλά ζώα δεν έχουν φακό. Μερικά μικροσκοπικά πλάσματα απλά έχουν μια ομάδα από κύτταρα με χρωστικές ουσίες —που δίνουν όχι τίποτε παραπάνω από ένα φωτοευαίσθητο σημείο. Δύσκολα μπορούμε να πούμε ότι αυτές οι απλές διατάξεις δίνουν όραση, όμως μπορούν να νιώσουν το φως και το σκοτάδι κι έτσι καλύπτουν τις ανάγκες του ζώου. Το φωτοευαίσθητο όργανο σε μερικούς αστερίες είναι κάπως πιο εκλεπτυσμένο. Το μάτι τους βρίσκεται σε μια περιοχή που παρουσιάζει ένα βαθούλωμα. Αφού η καμπυλότητα του βαθουλώματος εμποδίζει το φως να έρθει από όλες τις κατευθύνσεις, το ζώο μπορεί να νιώσει από ποια κατεύθυνση έρχεται το φως. Αυτή η αίσθηση της κατεύθυνσης του ματιού, μπορεί να καλυτερεύσει αν έχουμε περισσότερη καμπυλότητα όμως ταυτόχρονα ελαττώνει την ποσότητα του φωτός που μπαίνει στο μάτι κι έτσι ελαττώνει την ευαισθησία του. Η ευαισθησία μπορεί να αυξηθεί αν τοποθετηθεί ένα υλικό σαν ζελατίνα στην κοιλότητα που να ενεργεί ως φακός· μερικά σύγχρονα ζώα έχουν μάτια με τέτοιους πρωτόγονους φακούς. Οι βαθμιαίες καλυτερεύσεις του φακού θα έδιναν όλο και πιο ξεκάθαρα είδωλα για να ανταποκρίνονται στις ανάγκες του περιβάλλοντος του ζώου.

Χρησιμοποιώντας μια τέτοια λογική, ο Δαρβίνος έπεισε πολλούς από τους αναγνώστες του ότι υπάρχει ένα εξελικτικό μονοπάτι που οδηγεί από το πιο απλό φωτοευαίσθητο σημάδι στα περίπλοκα μάτια του ανθρώπου που μας θυμίζουν φωτογραφική μηχανή. Όμως παρέμεινε αναπάντητο το ερώτημα για το πώς ξεκίνησε η όραση. Ο Δαρβίνος όμως, απέρριψε την ερώτηση για την αρχική προέλευση του ματιού: «Το πώς ένα νεύρο φτάνει στο σημείο να γίνει ευαίσθητο στο φως σχεδόν δεν μας ενδιαφέρει περισσότερο από το πώς ξεκίνησε από μόνη της η ζωή.»⁴

Είχε έναν πολύ καλό λόγο για να απορρίπτει την ερώτηση: ήταν τελείως πέρα από την επιστήμη του δέκατου ένατου αιώνα. Πως λειτουργεί το μάτι—απλά δεν μπορούσε να απαντηθεί εκείνη την εποχή. Πράγματι, καμιά ερώτηση που αφορούσε τον υποκείμενο μηχανισμό της ζωής δεν μπορούσε να απαντηθεί. Πώς οι μύες ενός ζώου προκαλούν κίνηση; Πώς ενεργεί η φωτοσύνθεση; Πώς εξάγεται η ενέργεια από την τροφή; Πώς το σώμα αντιμετωπίζει τις μολύνσεις; Κανένας δεν ήξερε.

Η ΟΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΧΗΜΕΙΑΣ

Για τον Δαρβίνο, η όραση ήταν ένα μαύρο κουτί, όμως μετά από τη συσσώρευση σκληρής δουλειάς από πολλούς βιοχημικούς, τώρα έχουμε πλησιάσει σε απαντήσεις που αφορούν το ερώτημα του τι είναι όραση.⁵ Οι πέντε παράγραφοι που ακολουθούν δίνουν ένα σκίτσο για τη βιοχημική άποψη του πως λειτουργεί το μάτι. (Σημείωση: οι τεχνικές παράγραφοι έχουν ένα σημάδι □ στην αρχή και στο τέλος.) Μην τρομάξεις από τα παράξενα ονόματα που έχουν τα διάφορα στοιχεία του ματιού. Απλά είναι ετικέτες, δεν έχουν κάποιο εσωτερικό νόημα, είναι κάτι παρόμοιο όταν μιλάμε για το *carbureteur* ή το *διαφορικό* όταν διαβάζει κανείς για πρώτη φορά τις οδηγίες για ένα αυτοκίνητο. Οι αναγνώστες που έχουν περισσότερη όρεξη για λεπτομέρειες μπορούν να βρουν περισσότερες πληροφορίες σε πολλά εγχειρίδια βιοχημείας, ενώ οι άλλοι που θέλουν να περπατήσουν ανάλαφρα, μπορούν να συμβουλευτούν τις εικόνες 1-2 και 1-3 για να πάρουν κάποια γεύση.

⁴ Darwin, C. (1872) *Origin of Species*, 6th ed. (1988) New York University Press, New York, p. 151

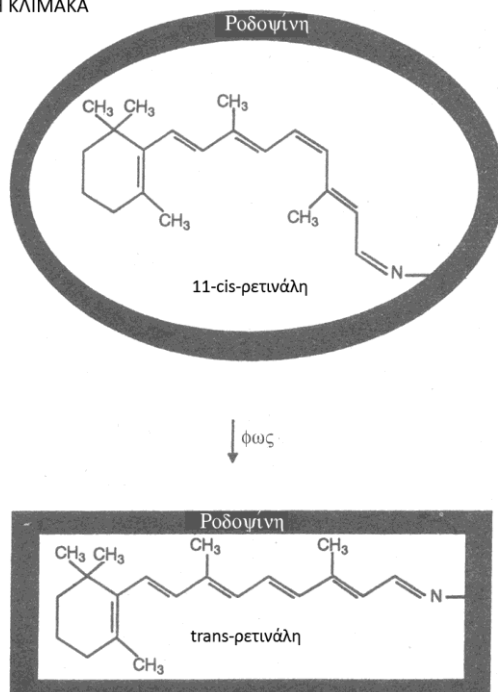
⁵ Μια καλή περίληψη της βιοχημείας της όρασης μπορεί να βρεθεί στο Devlin, T. M. (1992) *Textbook of Biochemistry*, Wiley-Liss, New York, σελ. 938-954.

□ Όταν το φως προσπέσει στον αμφιβληστροειδή, ένα φωτόνιο αλληλεπιδρά με ένα μόριο που ονομάζεται 11 – cis- ρετινάλη, που μέσα σε picoseconds αναδιατάσσεται και μετατρέπεται σε *trans*-ρετινάλη. (Ένα picosecond είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να διασχίσει το φως το πλάτος μιας ανθρώπινης τρίχας.) Η αλλαγή του σχήματος του μορίου ρετινάλ, αναγκάζει το μόριο της πρωτεΐνης ροδοψίνη, με την οποία είναι σφιχτά δεμένο το ρετινάλ, να αλλάξει και αυτή το σχήμα της. Η μεταμόρφωση της πρωτεΐνης μεταβάλλει τη συμπεριφορά της. Τώρα ονομάζεται μεταροδοψίνη II, και η πρωτεΐνη κολλά σε κάποια άλλη πρωτεΐνη, που ονομάζεται τρανσδουσίνη (transducin). Πριν αγγίξει την μεταροδοψίνη II, η τρανσδουσίνη ήταν δεμένη σφιχτά με ένα μικρό μόριο που ονομάζεται GDP. Όμως όταν η τρανσδουσίνη αλληλεπιδρά με τη μεταροδοψίνη II, το GDP ξεκολλά και ένα μόριο που ονομάζεται GTP ενώνεται με την τρανσδουσίνη. (Το μόριο GTP σχετίζεται αρκετά, όμως έχεις κάποιες κρίσιμες διαφορές με το GDP.)

Το σύνθετο μόριο GTP- τρανσδουσίνη -μεταροδοψίνη II τώρα συνδέεται με μια πρωτεΐνη που ονομάζεται φωσφοδιεστεράση, η οποία βρίσκεται στην εσωτερική μεμβράνη του κυττάρου. Όταν προσκολλάται στη μεταροδοψίνη II και το περιβάλλον της, η φωσφοδιεστεράση αποκτά τη χημική ικανότητα να «κόβει» ένα μόριο που ονομάζεται cGMP (που συγγενεύει χημικά με τα μόρια GDP και GTP). Αρχικά υπάρχουν στο κύτταρο πολλά μόρια cGMP, όμως ο φωσφοδιεστεράση ελαττώνει τη συγκέντρωσή τους, όπως συμβαίνει με τη στάθμη του νερού όταν βγάλεις την τάπα,

ΕΙΚΟΝΑ 1-2

ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΒΗΜΑ ΣΤΗΝ ΟΡΑΣΗ. ΕΝΑ ΦΩΤΟΝΙΟ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΜΙΑ ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΟ ΣΧΗΜΑ ΕΝΟΣ ΜΙΚΡΟΥ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΜΟΡΙΟΥ, ΤΗΣ ΡΕΤΙΝΑΛΗΣ. ΑΥΤΟ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΟ ΣΧΗΜΑ ΕΝΟΣ ΠΟΛΥ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΥ ΜΟΡΙΟΥ ΤΗΣ ΡΟΔΟΨΙΝΗΣ ΣΤΟ ΟΠΟΙΟ ΠΡΟΣΚΟΛΛΑΤΑΙ. ΑΥΤΟ ΤΟ ΑΠΛΟ ΣΧΗΜΑ ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΤΙΣ ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΣΕ ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ



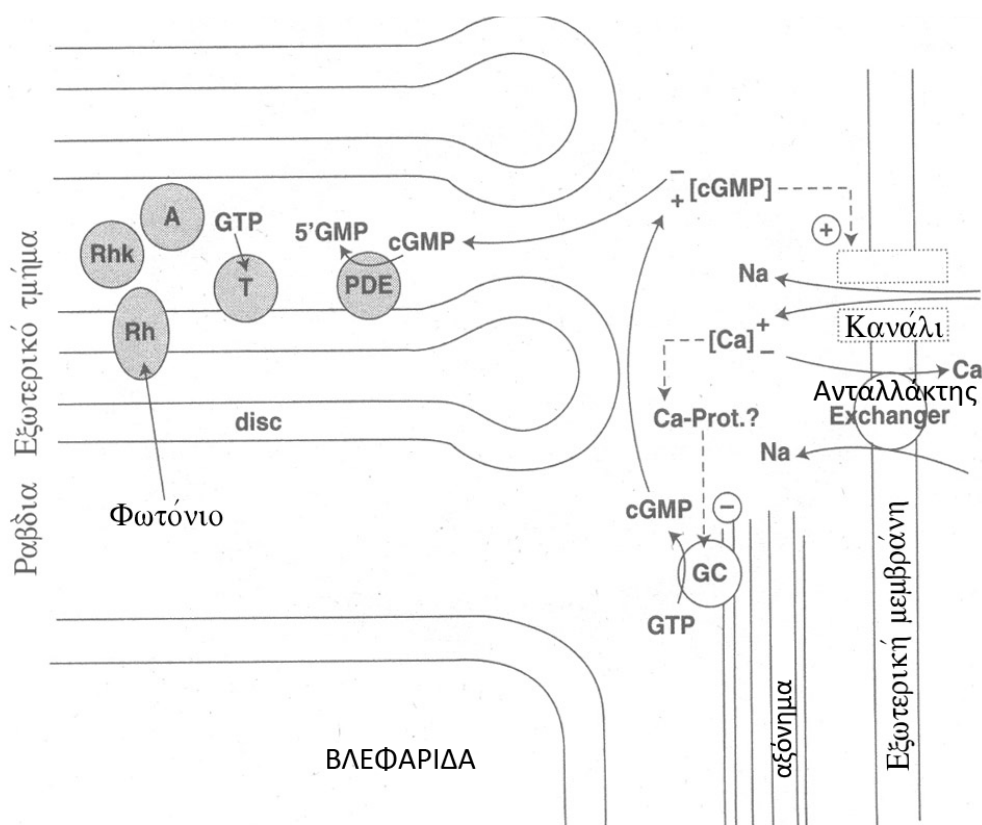
της μπανιέρας.

άλλη πρωτεΐνη της μεμβράνης που συνδέεται με το μόριο cGMP ονομάζεται κανάλι ιόντων. Ενεργεί σαν μια πύλη που κανονίζει τον αριθμό των ιόντων νατρίου μέσα στο κύτταρο. Συνήθως το κανάλι των ιόντων επιτρέπει στα ιόντα του νατρίου να

ρέουν στο κύτταρο, ενώ μια άλλη πρωτεΐνη τα αντλεί και τα βγάζει έξω. Αυτή η διπλή δράση που έχουν το κανάλι των ιόντων και η αντλία, διατηρεί το επίπεδο των ιόντων του νατρίου σε μια περιορισμένη περιοχή συγκεντρώσεων. Όταν εξαιτίας της διάσπασης που κάνει η φωσφοδιεσάση ελαττωθεί το ποσό των μορίων cGMP, τότε κλείνει το κανάλι των ιόντων, και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της συγκέντρωσης των θετικά φορτισμένων ιόντων νατρίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μια έλλειψη ισορροπίας κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης που, τελικά προκαλεί τη δημιουργία ενός ρεύματος που μεταβιβάζεται στο οπτικό κέντρο προς τον εγκέφαλο. Αυτό το αποτέλεσμα ερμηνεύεται από τον εγκέφαλο ως όραση.

ΕΙΚΟΝΑ 1-3

Η ΒΙΟΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΟΡΑΣΗΣ RH, ΡΟΔΟΨΙΝΗ, RH ΡΟΔΟΨΙΝΗ ΚΙΝΑΣΗ:
AA ΑΡΡΕΣΤΙΝΗ, GC ΓΟΥΑΝΥΛΙΚΗ ΚΥΚΛΑΣΗ, T, ΤΡΑΝΣΔΟΥΣΙΝΗ
PDE, ΦΩΣΦΟΔΙΕΣΤΑΣΗ



Αν μέσα στο κύτταρο υπήρχαν μόνο οι πιο πάνω χημικές αντιδράσεις, τότε γρήγορα θα εξαντλούνταν τα αποθέματα από τις ουσίες 11-cis-ρετινάλη, cGMP, και θα χάνονταν τελείως τα ιόντα νατρίου. Κάτι θα πρέπει να σταματά τη δράση των πρωτεϊνών που είχαν ενεργοποιηθεί και να αποκαθιστά το κύτταρο στην αρχική του κατάσταση. Γι' αυτό το σκοπό υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί. Πρώτον, όταν υπάρχει σκοτάδι το κανάλι των ιόντων (επιπρόσθετα στο κανάλι του νατρίου) επιτρέπει σε ιόντα ασβεστίου να μουν μέσα στο κύτταρο. Το ασβέστιο αντλείται προς τα έξω από μια διαφορετική πρωτεΐνη έτσι που να διατηρείται μια σταθερή συγκέντρωση ασβεστί-

ου. Όταν πέσει το επίπεδο των μορίων cGMP, με το κλείσιμο του καναλιού των ιόντων, ελαττώνεται και η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου. Το ένζυμο φωσφοδιεστάση, που καταστρέφει τα μόρια cGMP επιβραδύνεται καθώς τώρα υπάρχουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις ασβεστίου. Δεύτερον, μια πρωτεΐνη που ονομάζεται γουανυλάτη κυκλάση αρχίζει να ανασυνθέτει τα μόρια cGMP καθώς πέφτει η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου. Τρίτον, καθώς όλα αυτά συμβαίνουν, η μεταροδοψίνη II τροποποιείται χημικά από ένα ένζυμο που ονομάζεται κινάση της ροδοψίνης. Η τροποποιημένη ροδοψίνη τότε συνδέεται με μια πρωτεΐνη που ονομάζεται αρεσίνη, που εμποδίζει τη ροδοψίνη να ενεργοποιήσει περισσότερη τρανσδουσίνη. Έτσι το κύτταρο περιέχει μηχανισμούς που περιορίζουν το ενισχυμένο σήμα που άρχισε με ένα μόνο φωτόνιο.

Τελικά το μόριο *trans*-ρετινάλη αποκολλάται από τη ροδοψίνη και έτσι θα πρέπει να μετατραπεί ξανά σε *11-cis*-ρετινάλη και να συνδεθεί ξανά από τη ροδοψίνη για να πάει πάλι στο αρχικό σημείο για ένα νέο κύκλο όρασης. Για να επιτευχθεί αυτό, το μόριο *trans*-ρετινάλη α) πρώτα τροποποιείται χημικά από ένα ένζυμο σε *trans*-ρετινάλη που είναι μια μορφή με δύο επί πλέον άτομα υδρογόνου και σχηματίζει το *11-cis*-ρετινάλη, οπότε κλείνει ο κύκλος. □

Η πιο πάνω εξήγηση δεν είναι παρά ένα σκίτσο μιας γενικής επισκόπησης της βιοχημείας της όρασης. Όμως τελικά αυτό είναι το επίπεδο εξήγησης προς το οποίο θα πρέπει να στοχεύει η επιστήμη της βιολογίας. Για να καταλάβουμε πλήρως μια λειτουργία, θα πρέπει να καταλάβουμε λεπτομερειακά όλα τα βήματα που σχετίζονται με τη διαδικασία. Όλα αυτά τα βήματα που σχετίζονται με τη βιολογική διαδικασία, συμβαίνουν τελικά στο μοριακό επίπεδο, έτσι που μια ικανοποιητική εξήγηση ενός βιολογικού φαινομένου —όπως η όραση, η χώνεψη, ή η ανοσία— θα πρέπει να περιλαμβάνουν μια μοριακή εξήγηση.

Τώρα που ανοίχτηκε το μαύρο κουτί της όρασης, δεν επαρκεί πια μια εξελικτική εξήγηση που να έχει την ίδια ισχύ και που στηρίζεται μόνο στην ανατομία ολόκληρου του ματιού, πράγμα που έκανε ο Δαρβίνος στο δέκατο ένατο αιώνα (και εξακολουθούν να κάνουν πολλοί εκλαϊκευτές της εξέλιξης σήμερα). Κάθε ένα από τα ανατομικά βήματα και δομές που ο Δαρβίνος τα θεώρησε ως πολύ απλά στην πραγματικότητα περιλαμβάνει έναν εκπληκτικό αριθμό από περίπλοκες βιοχημικές διαδικασίες που δεν μπορούν να σκεπαστούν με ρητορεία. Τα μεταφορικά «πηδηματάκια» του Δαρβίνου από κορυφή σε κορυφή, αποκαλύπτονται σήμερα ότι είναι γιγάντια άλματα ανάμεσα σε προσεχτικά προσαρμοσμένες μηχανές— αποστάσεις που θα χρειαζόταν ένα ελικόπτερο για να γίνει μια μετάβαση.

Έτσι η βιοχημεία προβάλλει μια λιλιπούτεια πρόκληση στο Δαρβίνο. Η ανατομία αποδεικνύεται ότι δεν είναι σχετική με το αν λαμβάνει χώρα ή όχι η εξέλιξη στο μοριακό επίπεδο. Δεν έχει πια σημασία αν υπάρχουν τεράστια κενά στο αρχείο των απολιθωμάτων ή αν η καταγραφή τους έχει την ίδια συνέχεια με την καταγραφή των προέδρων των ΗΠΑ. Αν υπάρχουν κενά, τότε δεν έχει σημασία αν μπορούν να εξηγηθούν λογικά.⁶ Το αρχείο των απολιθωμάτων δεν μας λέει τίποτε για το αν θα μπορούσαν να έχουν αναπτυχθεί βήμα-βήμα οι αλληλεπιδράσεις του μορίου *11-cis*-ρετινάλη με τη ροδοψίνη, τρανσδουσίνη, και φωσφοδιεστάση. Ούτε έχουν σημασία τα σχήματα της βιογεωγραφίας, ούτε της πληθυσμιακής βιολογίας, ούτε οι παραδοσιακές εξηγήσεις της εξελικτικής βιολογίας για τα υπολειμματικά όργανα, ή για

⁶ Για παράδειγμα, στο αναμενόμενο σχήμα που έχουν αφήσει τα όπου παρουσιάζονται νέα είδη που έχουν συμβεί σε μεμονωμένους πληθυσμούς.

την αφθονία των ειδών. Με αυτό δε θέλουμε να ούτε ότι οι τυχαίες μεταλλάξεις είναι ένας μύθος ή ότι ο Δαρβινισμός αποτυγχάνει να εξηγήσει οτιδήποτε (εξηγεί πολύ καλά τη μικροεξέλιξη), ή ότι τα φαινόμενα μεγάλης κλίμακας όπως η γενετική των πληθυσμών δεν έχουν σημασία. Έχουν σημασία. Μέχρι πρόσφατα, όμως, οι εξελικτικοί βιολόγοι μπορούσαν να αδιαφορούν για τις μοριακές λεπτομέρειες της ζωής γιατί δεν γνώριζαν πολλά για αυτές. Τώρα που έχει ανοίξει το μαύρο κουτί του κυττάρου και έχει αποκαλυφθεί ένας απειροστός κόσμος που θα πρέπει να εξηγηθούν.

ΚΑΛΒΙΝΙΣΜΟΣ

Φαίνεται ότι ένα χαρακτηριστικό του ανθρώπινου νου, είναι ότι όταν βλέπει ένα μαύρο κουτί να δουλεύει, τότε φαντάζεται ότι τα περιεχόμενα του κουτιού είναι πολύ απλά. Ένα χαρούμενο παράδειγμα είναι η κωμική σειρά «Κάλβιν και Χομπς»

ΕΙΚΟΝΑ 1-4

Ο ΚΑΛΒΙΝ ΚΑΙ Ο ΧΟΜΠΣ ΤΑΞΙΔΕΥΟΥΝ ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΙΣΩ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ

Calvin and Hobbes

by Bill Watterson



(Εικόνες 1-4). Στον Κάλβιν του αρέσει πηδά σε ένα κουτί κρατώντας την κούκλα – τίγρη, τον Χομπς, και ταξιδεύει πίσω στο χρόνο, ή μεταμορφώνεται σε διάφορα ζώα, ή το χρησιμοποιεί σαν ένα διπλασιαστή για να παράγει κλώνους του εαυτού του. Ένα μικρό αγοράκι όπως τον Κάλβιν εύκολα φαντάζεται ότι ένα κουτί μπορεί να πετάξει όπως ένα αεροπλάνο (ή σαν κάτι άλλο), γιατί ο Κάλβιν δεν έχει ιδέα για το πώς πετάει το αεροπλάνο.

Κατά μερικούς τρόπους, ώριμοι επιστήμονες έχουν την ίδια τάση για ονειροπολήματα όπως τα μικρά αγόρια σαν τον Κάλβιν. Για παράδειγμα, πολλούς αιώνες πριν νόμιζαν ότι έντομα και διάφορα άλλα μικρά ζώδια παράγονται άμεσα από σάπια τρόφιμα. Αυτό ήταν εύκολο να το πιστεύουν γιατί νόμιζαν ότι τα μικρά ζώα ήταν πολύ απλά (πριν την εφεύρεση του μικροσκοπίου, οι φυσιολόγοι νόμιζαν ότι τα έντομα δεν είχαν εσωτερικά όργανα.) Όμως καθώς προχώρησε η βιολογία και έγιναν προσεκτικά σχεδιασμένα πειράματα, αυτά έδειξαν ότι αν προστατεύσεις κατάλληλα τα τρόφιμα, δεν αναπτύσσεται ζωή, κι έτσι η θεωρία της αυτόματης γένεσης οπισθοχώρησε στα όρια πέρα από τα οποία η επιστήμη δεν μπορούσε να ανακαλύψει τι πραγματικά συμβαίνει. Το δέκατο ένατο αιώνα το όριο αυτό ήταν το κύτταρο. Όταν άφηναν τη μύρα, το γάλα, ή ούρα να μένουν για μερικές μέρες σε δοχεία, ακόμη και κλειστά, πάντα δημιουργούσαν ένα θόλωμα από κάτι που αναπτυσσόταν μέσα τους. Τα μικροσκόπια του δέκατου όγδοου και δέκατου ένατου αιώνα αποκάλυψαν ότι αυτό που αναπτυσσόταν ήταν πολύ μικρά, προφανώς ζω-

ντανά κύτταρα. Έτσι φάνηκε λογικό ότι στα υγρά αναπτύσσονται αυτόματα απλοί ζωντανοί οργανισμοί.

Το κλειδί για να πεισθούν οι άνθρωποι για τη θεωρία, ήταν το να παρουσιάσουν τα κύτταρα σαν «απλά». Ένας από τους κυριότερους υποστηρικτές της θεωρίας της αυτόματης γένεσης ήταν ο Ερνστ Χαίκελ, ένας μεγάλος θαυμαστής και εκλαϊκευτής της θεωρίας του Δαρβίνου. Από την περιορισμένη άποψη που μπορούσαν να δώσουν τα μικροσκόπια της εποχής του, ο Χαίκελ πίστευε ότι ένα κύτταρο ήταν «μια μικρή και απλή μάζα από έναν πρωτεϊνικό συνδυασμό άνθρακα (albuminous combination of carbon).»⁷, κάτι που δε διέφερε πολύ από ένα κομμάτι από μικροσκοπικό ζελέ. Έτσι φάνηκε στο Χαίκελ ότι μια τέτοια απλή μορφή ζωής, χωρίς εσωτερικά όργανα, θα μπορούσε να παραχθεί εύκολα από άβια ύλη. Τώρα βέβαια γνωρίζουμε καλύτερα.

Εδώ υπάρχει μια απλή αναλογία: Ότι είναι ο Δαρβίνος για την κατανόηση της όρασης είναι ο Χαίκελ για την κατανόηση της προέλευσης της ζωής. Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε λαμπρούς επιστήμονες του δέκατου ένατου αιώνα που προσπάθησαν να εξηγήσουν την κρυμμένη λιλιπούτεια βιολογία, και το έκαναν και οι δύο με το να υποθέσουν ότι τα περιεχόμενα του μαύρου κουτιού ήταν πολύ απλά. Ο χρόνος απέδειξε ότι είχαν λάθος.

Στο πρώτο μισό του εικοστού αιώνα, οι πιο πολλοί κλάδοι της βιολογίας δεν είχαν επικοινωνία ο ένας με τον άλλο⁸. Το αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης ήταν ότι η γενετική, η συστηματική, η παλαιοντολογία, η συγκριτική ανατομική, η εμβρυολογία και οι άλλες περιοχές να έχουν αναπτύξει η κάθε μια τη δική της άποψη για του τι σημαίνει εξέλιξη. Το αναπόφευκτο ήταν ότι η εξελικτική θεωρία άρχισε να σημαίνει διαφορετικά πράγματα σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους, και έτσι χάθηκε μια σύμφωνη άποψη του τι σημαίνει Δαρβινική εξέλιξη. Όμως στο μέσο του αιώνα, οι ηγέτες των διάφορων πεδίων οργάνωσαν μια σειρά από διεπιστημονικές συναντήσεις για να συνδυάσουν τις απόψεις τους σε μια σύμφωνη θεωρία της εξέλιξης που να βασίζεται στις Δαρβινικές αρχές. Το αποτέλεσμα ονομάστηκε «εξελικτική σύνθεση», και η θεωρία ονομάστηκε νέο-Δαρβινισμός με βάση τη σύγχρονη εξελικτική θεώρηση.

Ένας κλάδος της επιστήμης όμως δεν είχε προσκληθεί σ' αυτές τις συναντήσεις και μάλιστα για πολύ λογικά αίτια: δεν υπήρχε. Οι αρχές της σύγχρονης βιοχημείας ήρθαν μόνο μετά που ξεκίνησε επίσημα ο νέο- Δαρβινισμός. Έτσι καθώς η βιολογία έπρεπε να επανερμηνευτεί μετά την ανακάλυψη της πολυπλοκότητας της μικροσκοπικής ζωής, ο νέο-Δαρβινισμός θα πρέπει να επανεξεταστεί κάτω από το φως των προόδων της βιοχημείας. Οι επιστημονικοί κλάδοι που ήταν μέρος της εξελικτικής σύνθεσης δεν είχαν μοριακή βάση. Όμως για να ισχύει η Δαρβινική θεωρία της εξέλιξης, θα πρέπει να εξηγή τη μοριακή δομή της ζωής. Ο σκοπός αυτού του βιβλίου είναι α δείξει ότι δεν μπορεί

⁷ Farley J. (1979) *The Spontaneous Generation Controversy from Descartes to Oparin*, John Hopkins University Press, Baltimore, p. 73.

⁸ Mayr, E. (1991) *One Long Argument*. Harvard University Press, Cambridge, chap. 9.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΠΟΥΛΟΝΙΑ ΚΑΙ ΠΑΞΙΜΑΔΙΑ

ΟΙ ΝΤΟΠΙΟΙ ΕΙΝΑΙ ΑΝΗΣΥΧΟΙ

Η Lynn Margulis είναι διακεκριμένη καθηγήτρια της Βιολογίας στο πανεπιστήμιο της Μασαχουσέτης (University of Massachusetts). Την Lynn Margulis την εκτιμούν πολύ για την πλατιά αποδεκτή θεωρία της για τα μιτοχόνδρια, που είναι η πηγή ενέργειας για τα φυτικά και τα ζωικά κύτταρα, που κάποτε ήταν ανεξάρτητα βακτηριακά κύτταρα. Και η Lynn Margulis λέγει ότι η ιστορία θα κρίνει το Νέο-Δαρβινισμό ως «μια μικρή θρησκευτική σέκτα του εικοστού αιώνα μέσα στις εξαπλωνόμενες θρησκευτικές πεποιθήσεις της Αγγλοσαξονικής βιολογίας.»⁹ Σε μια από τις πολλές της ομιλίες ζητά από τους μοριακούς βιολόγους που υπήρχαν στο ακροατήριο να παρουσιάσουν έστω κι ένα έγκυρο παράδειγμα για το σχηματισμό κάποιου νέου είδους με τη συσσώρευση των μεταλλάξεων. Μέχρι τώρα κανείς δεν έδωσε μια απάντηση στην πρόκληση της. Όπως λέει αυτή, αυτοί που υποστηρίζουν την καθιερωμένη θεωρία, «κυλιούνται στη λάσπη των ζωολογικών, καπιταλιστικών, ανταγωνιστικών, μέγιστου κέρδους ερμηνειών του Δαρβίνου — που τον έχουν παρεξηγήσει... ο Νέο-Δαρβινισμός, που επιμένει (στην αργή συσσώρευση των μεταλλάξεων), βρίσκεται σε μια κατάσταση κακής διάθεσης.»

Αυτές είναι πολύ ζουμερές αναφορές. Και δεν είναι η μόνη που βρίσκεται σ' αυτήν την κατάσταση της δυστυχίας. Στα τελευταία 130 χρόνια ο Δαρβινισμός αν και είναι περιχαρακωμένος με πολύ ασφάλεια, έχει συναντήσει ένα σταθερό ρεύμα από διαφωνίες που προέρχονται τόσο από μέσα όσο και απ' έξω απ' την επιστημονική κοινότητα. Στη δεκαετία του 1940 ο γενετιστής Richard Goldschmidt απογοητεύτηκε τόσο πολύ από τις εξηγήσεις του Δαρβινισμού για την προέλευση των νέων δομών, πράγμα που τον ώθησε να προτείνει τη θεωρία του «ελπιδοφόρου τέρατος». Ο Goldschmidt σκέφτηκε ότι περιστασιακά μπορεί να συμβούν κατά τυχαίο τρόπο μεγάλες μεταβολές — ίσως ένα ερπετό να έχει αποθέσει κάποτε ένα αυγό, και από αυτό να εκκολάφθηκε ένα πτηνό.

Η θεωρία του ελπιδοφόρου τέρατος δεν έπιασε, όμως κόχλασε η δυσαρέσκεια για την Δαρβινική ερμηνεία μερικές δεκαετίες αργότερα. Ο Παλαιοντολόγος Niles Eldredge περιγράφει το πρόβλημα:

Δεν είναι παράξενο ότι οι παλαιοντολόγοι κράτησαν για τόσο καιρό μια επιφύλαξη για την εξέλιξη. Ποτέ δε φαίνεται να συμβαίνει. Επίμονες συλλογές από τις χαράδρες έδωσαν ζιζακ, μικρές ταλαντώσεις και πολύ περιστασιακά ελαφρές συσσωρεύσεις μεταβολών — σε διάρκεια εκατομμυρίων ετών, σε ένα ρυθμό που είναι τόσο μικρός που δεν μπορεί να εξηγήσει τις άφθονες αλλαγές που συνέβησαν στην εξελικτική ιστορία. Όταν βλέπουμε την εμφάνιση ενός εξελικτικού νεωτερισμού, αυτός συνήθως εμφανίζεται με ένα μπαμ, και συχνά δεν υπάρχει μια βέβαιη ένδειξη ότι τα απολιθώματα δεν εξελίχθηκαν κάπου αλλού! Η εξέλιξη δεν μπορεί πάντα να συμβαίνει κάπου αλλού. Όμως αυτή είναι η εντύπωση που έδωσε πολλές φορές το αρχείο των απολιθωμάτων στους απελπισμένους παλαιοντολόγους που προσπαθούν να μάθουν κάτι για την εξέλιξη.¹⁰

⁹ Mann, C. (1991) "Lynn Margulis: Science's Unruly Earth Mother," *Science* 252, 378-381

¹⁰ Eldredge, N., (1995) *Reinventing Darwin*, Wiley, New York, p. 95

Σε μια προσπάθεια να ελαφρύνουν το δίλημμα, στις αρχές της δεκαετίας του 1970 οι Eldredge και Stephen Jay Gould, πρότειναν μια θεωρία που την ονόμασαν «ισορροπία με διακοπές (punctuated equilibrium).»¹¹ Η θεωρία θέτει αξιωματικά δύο πράγματα: ότι για μακριές περιόδους τα πιο πολλά είδη έχουν μόνο μικρές παρατηρήσιμες μεταβολές· και ότι όταν αυτές συμβαίνουν οι μεταβολές είναι πολύ γρήγορες και συγκεντρωμένες σε μικρούς, απομονωμένους πληθυσμούς. Αν έχει συμβεί αυτό, τότε είναι δύσκολο να βρεθούν ενδιάμεσες μορφές των απολιθωμάτων, και αυτό εξηγεί το ελλιπές αρχείο των απολιθωμάτων. Όπως και ο Goldschmidt, οι Eldredge και Gould πιστεύουν στην κοινή καταγωγή, όμως θεωρούνε ότι απαιτείται κάποιος άλλος μηχανισμός και όχι η φυσική επιλογή για να εξηγηθούν οι γρήγορες και μεγάλης κλίμακας αλλαγές.

Ο Gould βρισκόταν στην πρώτη γραμμή της συζήτησης για ένα άλλο πολύ ενδιαφέρον φαινόμενο που ονομάζεται «έκρηξη της Κάμβριας». Οι προσεχτικές αναζητήσεις για απολιθώματα έδειξαν μόνο ένα πολύ ελαφρό στρώμα από απολιθώματα που ανήκουν σε πολυκύτταρους οργανισμούς σε πετρώματα που είναι παλαιότερα από 600 εκατομμύρια χρόνια. Όμως σε πετρώματα που είναι λίγο νεότερα εμφανίζεται μια αφθονία από απολιθωμένα ζώα, με ένα πλήθος από πολύ μεγάλες διαφορές στο σχέδιο του σώματος τους. Πρόσφατα ο χρόνος που υπολογίστηκε για να λάβει χώρα αυτή η έκρηξη έχει αναθεωρηθεί από 50 εκατομμύρια χρόνια σε 10 εκατομμύρια χρόνια — που είναι μια «ριπή οφθαλμού» στους γεωλογικούς χρόνους. Οι εκτιμήσεις για μικρότερους χρόνους ανάγκασαν τους συγγραφείς των επικεφαλίδων στις εφημερίδες να ψάξουν για νέους υπερθετικούς, που ένας αγαπημένος τίτλος ήταν ένα «βιολογικό Μπιγκ Μπανγκ.» Ο Gould συζήτησε ότι ο γρήγορος ρυθμός της εμφάνισης των νέων μορφών ζωής απαιτεί για την εξήγηση του, την ύπαρξη ενός μηχανισμού διαφορετικού από τη φυσική επιλογή.¹²

Η ειρωνεία είναι ότι έχουμε κάνει ένα πλήρη κύκλο από τις μέρες του Δαρβίνου. Όταν ο Δαρβίνος πρότεινε τη θεωρία του υπήρχε η μεγάλη δυσκολία από την υπολογισμένη ηλικία της γης. Οι φυσικοί του δέκατου ένατου αιώνα είχαν σκεφτεί ότι η γη ήταν ηλικίας περίπου εκατό εκατομμυρίων ετών, όμως ο Δαρβίνος είχε σκεφτεί ότι η φυσική επιλογή θα απαιτούσε πολύ περισσότερο χρόνο για να παράγει τη ζωή. Στην αρχή αποδείχτηκε ότι είχε δίκιο· τώρα γνωρίζουμε ότι η γη έχει πολύ μεγαλύτερη ηλικία. Όμως με την ανακάλυψη του βιολογικού Μπιγκ Μπανγκ, το παράθυρο του χρόνου που χρειάζεται για να έχουμε μετάβαση από απλές σε σύνθετες μορφές ζωής, έχει γίνει πολύ πιο μικρό από την ηλικία που υπολόγιζαν για τη γη οι επιστήμονες του δέκατου ένατου αιώνα.

Όμως δεν είναι μόνο οι παλαιοντολόγοι που ψάχνουνε για οστά που έχουν απογοητευθεί. Υπάρχει ένα πλήθος από εξελικτικούς βιολόγους που εξετάζουν τους οργανισμούς και αναρωτιούνται πως μπορεί ο Δαρβινισμός να εξηγήσει τις παρατηρήσεις τους. Οι Άγγλοι βιολόγοι Mae-Wan Ho και Peter Saunders παραπονιούνται με τα ακόλουθα λόγια:

Έχει περάσει περίπου μισός αιώνας από τότε που διατυπώθηκε η Νέο-Δαρβινική σύνθεση. Έχει γίνει πολλή έρευνα μέσα στο παράδειγμα που αυτή έχει ορίσει... Όμως οι επιτυχίες της θεωρίας είναι περιορισμένες σε κάποιες λεπτομέρειες της εξέλιξης, όπως την προσαρμοστική μεταβολή στο χρωματισμό που έχουν οι πεταλούδες, ενώ έχει κατά ένα αξιοσημείωτο

¹¹ Eldredge, N. και Gould, S. J. (1973) "Punctuated Equilibria: An Alternative to Phyletic Gradualism" in *Models in Paleobiology*, ed. T. J. M. Schopf, Freeman, Cooper and Col, San Francisco, pp. 82-115

¹² Beardsley, T, "Weird Wonders: Was the Cambrian Explosion a Big Bang or a Whimper?" *Scientific American*, June 1992, pp. 30-31.

τρόπο πολύ λίγα να πει για τα ερωτήματα που μας ενδιαφέρουν πιο πολύ, όπως το πώς έχουν εμφανιστεί οι ίδιες οι πεταλούδες.¹³

Ο γενετιστής του πανεπιστημίου της Georgia John McDonald παρατηρεί το ακόλουθο αίνιγμα:

Τα αποτελέσματα της έρευνας των τελευταίων 20 ετών για την γενετική βάση της προσαρμογής μας οδήγησε σε ένα μεγάλο Δαρβινικό παράδοξο. Αυτά τα γονίδια που κατά ένα προφανή τρόπο ποικίλουν μέσα στους φυσικούς πληθυσμούς δε φαίνεται να βρίσκονται στη βάση πολλών μεγάλων προσαρμοστικών αλλαγών, ενώ αυτά τα γονίδια που φαινομενικά αποτελούν τη βάση για πολλές, αν όχι για τις περισσότερες προσαρμοστικές αλλαγές προφανώς δεν παρουσιάζουν ποικιλία μέσα στους φυσικούς πληθυσμούς.¹⁴ [Η έμφαση δίνεται στο πρωτότυπο.]

Ο Αυστραλός εξελικτικός γενετιστής George Miklos προβληματίζεται πάνω στη χρησιμότητα του Δαρβινισμού:

Τι προβλέπει αυτή η τόσο γενική θεωρία της εξέλιξης; Ότι αν δοθούν μερικά αξιώματα, όπως ότι υπάρχουν τυχαίες μεταλλάξεις, και μερικοί συντελεστές επιλογής, τότε θα προβλέψει μεταβολές στις συχνότητες [των γονιδίων] με το χρόνο. Αυτό είναι όλο που μπορεί να κάνει μια μεγάλη θεωρία της εξέλιξης;¹⁵

Ο Jerry Coyne, από το τμήμα Οικολογίας και Εξέλιξης του πανεπιστημίου του Σικάγο, φτάνει σε μια μη αναμενόμενη ετυμηγορία:

Συμπεραίνουμε —χωρίς να το περιμένουμε— ότι υπάρχει λίγη ένδειξη για τη νέο-Δαρβινική άποψη: οι θεωρητικές της βάσης και οι πειραματικές ενδείξεις που τη στηρίζουν είναι αδύναμες.¹⁶

Και ο γενετιστής John Endler του πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας αναρωτιέται για το πώς εμφανίστηκαν οι ευεργετικές μεταλλάξεις:

Αν και γνωρίζουμε πολλά για τις μεταλλάξεις, αυτές εξακολουθούν να είναι σχετικά με την εξέλιξη ένα «μαύρο κουτί». Νέες βιοχημικές λειτουργίες φαίνονται να είναι τόσο σπάνιες στην εξέλιξη, και η βάση για την προέλευση τους είναι ουσιαστικά άγνωστη.¹⁷

Οι μαθηματικοί μέσα στα χρόνια που πέρασαν παραπονέθηκαν ότι οι Δαρβινικοί αριθμοί δεν δίνουν σωστά αποτελέσματα. Ο θεωρητικός της πληροφορίας Hubert Yockey συζητά ότι η πληροφορία που απαιτείται για να ξεκινήσει η ζωή δε μπορούσε να αναπτυχθεί από την τύχη· και υποδεικνύει ότι η ζωή θα πρέπει να θεωρηθεί ως κάτι που έχει δοθεί, όπως η ύλη ή η ενέργεια.¹⁸ Το 1966 διάφοροι κορυφαίοι μαθηματικοί και εξελικτικοί βιολόγοι είχαν οργανώσει ένα συμπόσιο στο Ινστιτούτο Wistar της Φιλαδέλφειας, επειδή ο οργανωτής, Martin Kaplan είχε κρυφακούσει «μια μάλλον παράξενη συζήτηση ανάμεσα σε τέσσερις μαθηματικούς... που αφορούσε μαθηματικές αμφιβολίες που αφορούσαν τη Δαρβινική θεωρία της εξέλιξης.»¹⁹ Κατά τη διάρκεια του συμποσίου η μια πλευρά ήταν δυσανεκτή, και η

¹³ Ho, M.W. και Saunders, P.T. (1979) "Beyond Neo-Darwinism—An Epigenetic Approach to Evolution," *Journal of Theoretical Biology* 78, 589

¹⁴ McDonald, J.F. (1983) "The Molecular Basis of Adaptation," *Annual Review of Ecology and Systematics* 14, 93.

¹⁵ Miklos, G. L. G (1993) "Emergence of Organizational Complexities During Metazoan Evolution: Perspectives from Molecular Biology, Paleontology and Neo-Darwinism." *Memoirs of the Association of Australasian Paleontologies*, 15, 28

¹⁶ Orr, H.A, και Coyne, J. A. (1992) "The Genetics of Adaptation: A Reassessment," *American Naturalist*, 140, 726

¹⁷ Endler, J. A., and McLellan, T. (1988) "The Process of Evolution: Toward a Newer Synthesis." *Annual Review of Ecology and Systematics*, 19, 397

¹⁸ Yockey, H. (1992) *Information Theory and Molecular Biology*, Cambridge University Press, Cambridge, England, chap. 9.

¹⁹ Kaplan, M. (1967) "Welcome to Participants" in *Mathematical Challenges to the Neo-Darwinian Interpretation of Evolution*, ed. P.S. Moorhead and M.M. Kaplan, Wistar Institute Press, Philadelphia, p. vii.

άλλη δεν μπορούσε να καταλάβει. Σε ένα μαθηματικό που ισχυρίστηκε ότι δεν υπάρχει επαρκής χρόνος για τον αριθμό των μεταλλάξεων που προφανώς χρειάζονται για να γίνει ένα μάτι του είπαν οι βιολόγοι ότι θα πρέπει να κάνει λάθος. Οι μαθηματικοί, όμως, δεν πείστηκαν ότι το σφάλμα ήταν δικό τους, Όπως είπε ένας απ' αυτούς:

Υπάρχει ένα σημαντικό χάσμα στη νέο-Δαρβινική θεωρία της εξέλιξης, και εμείς πιστεύουμε ότι αυτό το χάσμα έχει τέτοια φύση που δεν μπορεί να γεφυρωθεί με τη σύγχρονη αντίληψη της βιολογίας.²⁰

Ο Stuart Kauffman του ινστιτούτου της Santa Fe είναι ένας ηγετικός υπέρμαχος της «θεωρίας της πολυπλοκότητας (complexity theory)». Αν το θέσουμε απλά, προτείνει ότι πολλά χαρακτηριστικά των έμβιων συστημάτων είναι το αποτέλεσμα μιας αυτό-οργάνωσης— η τάση για περίπλοκα συστήματα να τοποθετηθούν σε σχήματα —και όχι η φυσική επιλογή:

Ο Δαρβίνος και η εξέλιξη μας βρίσκουν να είμαστε σύμφωνοι, άσχετα με το τι μурμουρούν οι δημιουργιστές επιστήμονες. Είναι όμως αυτή η άποψη σωστή; Το καλύτερο, είναι επαρκής; Πιστεύω δεν είναι. Δεν είναι ότι ο Δαρβίνος είναι λάθος, αλλά ότι παρουσιάζει μόνο ένα μέρος της αλήθειας.²¹

Η θεωρία της πολυπλοκότητας μέχρι τώρα δεν έχει βρει πολλούς οπαδούς ενώ έχει αντιμετωπίσει αρκετή κριτική. Ο John Maynard Smith, κάτω από τον οποίο έκανε ο Kauffman τη μεταπτυχιακή του εργασία, παραπονιέται ότι η θεωρία είναι πάρα πολύ μαθηματική και δεν έχει σύνδεση με την χημεία της πραγματικής ζωής.²² Αν και το παράπονο έχει κάποια αξία, ο Smith δεν δίνει κάποια λύση για το πρόβλημα που ταυτοποίησε ο Kauffman— την προέλευση των περίπλοκων συστημάτων.

Όλοι είπαν, ότι η θεωρία του Δαρβίνου έχει δημιουργήσει διαφωνία από τότε που δημοσιεύτηκε και ότι αυτό δεν οφείλεται μόνο σε θεολογικούς λόγους. Το 1871 ένας από τους κριτικούς του Δαρβίνου, ο St. George Mivart, έδωσε ένα κατάλογο των αντιρρήσεων του στη θεωρία του, που πολλοί απ' αυτούς είναι εκπληκτικά όμοιοι με αυτούς που εγείρουν οι σύγχρονοι κριτικοί.

Αυτά που προσάπτουν (εναντίον του Δαρβινισμού) μπορούν να συνοψιστούν ως ακολούθως: Στο ότι η «Φυσική Επιλογή» δεν έχει τη δυνατότητα να εξηγήσει τα αρχικά στάδια των χρήσιμων δομών. Δεν βρίσκεται σε αρμονία με την συνύπαρξη πολύ όμοιων δομών που έχουν διαφορετική προέλευση. Στο ότι υπάρχει μια βάση για να σκεφτούμε ότι οι ειδικές διαφορές μπορεί να έχουν αναπτυχθεί ξαφνικά αντί για βαθμιαία. Στο ότι εξακολουθεί να ισχύει η γνώμη ότι τα είδη έχουν καθορισμένα αν και πολύ διαφορετικά όρια στην ποικιλοτήτα τους. Στο ότι ορισμένες μεταβατικές μορφές απολιθωμάτων απουσιάζουν, που μπορεί να το περιμένουμε... Γιατί υπάρχουν αξιοσημείωτα φαινόμενα σε οργανικές μορφές πάνω στα οποία η «Φυσική Επιλογή» δε μας δίνει καθόλου φως.²³

Όπως φαίνεται, λοιπόν, τα ίδια θέματα που προκάλεσαν συζήτηση έχουν πάνω από έναν αιώνα παραμένει χωρίς λύση. Από τον Mivart στην Margulis, υπήρχαν πάντα καλά πληροφορημένοι και σεβαστοί επιστήμονες που βρίσκανε ανεπαρκή το Δαρβινισμό. Προφανώς είτε τα ερωτήματα που για πρώτη φορά έθεσε ο Mivart έμειναν χωρίς απάντηση, ή ότι μερικοί άνθρωποι δεν ικανοποιήθηκαν από τις απαντήσεις που πήραν.

²⁰ Schutzenberger, M.P. (1967) "Algorithms and the Neo-Darwinian Theory of Evolution" in *Mathematical Challenges to the Neo-Darwinian Interpretation of Evolution*, ed. P.S. Moorhead and M. M. Kaplan, Wistar Institute Press, Philadelphia, p. 75.

²¹ Kauffman, S. (1993) *The Origins of Order*, Oxford University Press, Oxford England, p. xiii

²² Smith, J. M. (1995) "Life at the Edge of Chaos?" *New York Review*, March 2, pp. 28-30

²³ Mivart, St. G. (1871) *On the Genesis of Species*, Macmillan and Co., London, p. 21

Πριν προχωρήσουμε παρακάτω, θα πρέπει να σημειώσουμε το προφανές: αν κάναμε ένα «γκάλοπ» ανάμεσα στους επιστήμονες του κόσμου, η μεγάλη πλειοψηφία θα έλεγαν ότι πιστεύουν ότι ο Δαρβινισμός είναι σωστός. Όμως οι επιστήμονες όπως και κάθε άνθρωπος, βασίζουν τις πιο πολλές από τις γνώμες τους στο λόγο άλλων ανθρώπων. Από τη μεγάλη πλειοψηφία που δέχεται το Δαρβινισμό, οι πιο πολλοί (αν και όχι όλοι) το κάνουν με βάση την 'εξουσία' κάποιων επιστημόνων. Επίσης, και αυτό είναι ένα δυστύχημα, πολύ συχνά οι κριτικές απορρίφθηκαν από την επιστημονική κοινότητα από φόβο να μη δοθούν όπλα στους δημιουργιστές. Είναι ειρωνεία ότι στο όνομα της προστασίας της επιστήμης, η διεισδυτική κριτική για τη φυσική επιλογή έχει παραμεριστεί.

Είναι καιρός να ανοιχτεί η συζήτηση και να αγνοηθούν τα προβλήματα των δημοσίων σχέσεων. Τώρα είναι ο καιρός για τη συζήτηση γιατί τώρα επί τέλους φτάσαμε στον 'πυθμένα' της βιολογίας, και μπορούμε να φτάσουμε σε μια λύση. Καθώς τα επίπεδα του ελάχιστου της βιολογίας—τη χημική ζωή του κυττάρου—έχουμε ανακαλύψει έναν περίπλοκο κόσμο που ριζικά μεταβάλλει τις βάσεις πάνω στις οποίες θα πρέπει να διεξαχθούν οι συζητήσεις για το Δαρβινισμό. Σκεφτείτε για παράδειγμα τι μας δίνει η βιοχημική άποψη στη διαμάχη δημιουργιστών/ Δαρβινιστών για το σκαθάρι βομβαρδιστή.

ΜΠΟΜΠΕΣ ΣΚΑΘΑΡΙΩΝ

Το σκαθάρι βομβαρδιστής είναι ένα έντομο που η εμφάνιση του δεν έχει κάτι το ιδιαίτερο, με μήκος σώματος περίπου ενάμιση εκατοστό. Όταν όμως απειλείται από κάποιο άλλο ζώο, το σκαθάρι έχει μια ιδιαίτερη μέθοδο να υπερασπιστεί τον εαυτό του, εξακοντίζοντας στον εχθρό από ένα άνοιγμα στο πίσω μέρος του, ένα ζεστό-βραστό διάλυμα.²⁴ Το θερμό υγρό ζεματάει τον στόχο του, και τότε αυτός συνήθως κάνει άλλα σχέδια για το δείπνο του. Πώς γίνεται αυτό το τρικ; Όπως αποδεικνύεται το σκαθάρι βομβαρδιστής χρησιμοποιεί χημεία. Πριν από τη μάχη, κάποιες ειδικές δομές που ονομάζονται εκκριτικοί λοβοί παράγουν ένα πολύ συμπυκνωμένο μείγμα από δύο χημικές ουσίες, υπεροξειδίου του υδρογόνου και υδροκινόνης (Εικόνα 2-1). Το υπεροξείδιο του υδρογόνου είναι το ίδιο όπως αυτό που μπορούμε να αγοράσουμε σε ένα φαρμακείο, ενώ η υδροκινόνη χρησιμοποιείται για την εμφάνιση των φωτογραφιών. Το μείγμα αποστέλλεται σε ένα θάλαμο αποθήκευσης που ονομάζεται κύστη συλλογής. Η κύστη συλλογής συνδέεται με, όμως συνήθως είναι διαχωρισμένη από, ένα δεύτερο διαμέρισμα που ονομάζεται με ένα πολύ ρητορικό τρόπο, θάλαμος έκρηξης. Τα δύο διαμερίσματα διατηρούνται χωρισμένα με ένα σωλήνα με τη βοήθεια ενός σφιγκτήρα μυός, που μοιάζει πολύ με τους σφιγκτήρες μύες που βοηθούν τον άνθρωπο να συγκρατείται όταν πιέζεται από τα ούρα του. Συνδεδεμένα με το θάλαμο έκρηξης είναι διάφορα κουμπιά που ονομάζονται εκτοδερμικοί αδένες. Αυτοί εκκρίνουν ένζυμα καταλύτες μέσα στο θάλαμο έκρηξης. Όταν το σκαθάρι νιώσει ότι απειλείται σφίγγει κάποιους μύες που περιβάλλουν το θάλαμο αποθήκευσης (κύστη συλλογής) ενώ ταυτόχρονα χαλαρώνει τους σφιγκτήρες μύες. Αυτό αναγκάζει το διάλυμα του υπεροξειδίου του υδρο-

²⁴ Aneshansley, D. J., Eisner, T., Widom, J. M., and Widom, B. (1969) "Biochemistry at 100°C: Explosive Secretory Discharge of Bombardier Beetles," *Science*, 165, 61. Crowson, R.A. (1981) *The Biology of the Coleoptera*, Academic Press, New York, chap. 15.

γόνου και τη υδροκινόνης να μπει μέσα στο θάλαμο έκρηξης, όπου ανακατεύεται με τα ένζυμα καταλύτες.

Τώρα τα πράγματα γίνονται πολύ ενδιαφέροντα από χημική άποψη. Το υπεροξείδιο του υδρογόνου διασπάται ταχύτατα σε συνηθισμένο νερό και οξυγόνο, όπως συμβαίνει και με το υπεροξείδιο του υδρογόνου που υπάρχει μέσα στο μπουκαλάκι από το φαρμακείο που διασπάται αν το αφήσουμε ανοιχτό με το πέρασμα του χρόνου. Το οξυγόνο αλληλεπιδρά με την υδροκινόνη και δίνει περισσότερο νερό συν μια πολύ ερεθιστική χημική ουσία που ονομάζεται κινόνη. Αυτές οι αντιδράσεις απελευθερώνουν μεγάλα ποσά θερμότητας. Η θερμοκρασία του μείγματος ανεβαίνει και φτάνει στο σημείο βρασμού, και πραγματικά ένα μέρος του εξατμίζεται και δίνει ατμό. Ο ατμός και το αέριο οξυγόνο ασκούν μεγάλη πίεση στα τοιχώματα του θαλάμου έκρηξης. Καθώς τώρα ο σφικτήρας μυς έχει κλείσει, το μόνο κανάλι που υπάρχει για το καυτό μείγμα είναι προς τα έξω από το σώμα του σκαθαριού. Οι μύες που περιβάλλουν το κανάλι επιτρέπουν να κατευθυνθεί ο πίδακας του καυτού μείγματος προς την πηγή του κινδύνου. Το τελικό αποτέλεσμα είναι να ζεματιστεί ο εχθρός του σκαθαριού με το βραστό διάλυμα που έχει τη δηλητηριώδη χημική ουσία κινόνη.

Ίσως αναρωτηθείς γιατί το μείγμα του υπεροξειδίου του υδρογόνου και της υδροκινόνης δεν αντέδρασαν βίαια μέσα στην κύστη συλλογής. Η αιτία είναι ότι πολλές χημικές αντιδράσεις συμβαίνουν αρκετά αργά αν δεν υπάρχει κάποιος εύκολος δρόμος για να πλησιάσουν μεταξύ τους τα μόρια σε ατομικό επίπεδο —αλλιώς αυτό το βιβλίο θα έβγαζε φλόγες καθώς θα αντιδρούσε με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Για αναλογία ας σκεφτούμε μια κλειδωμένη πόρτα. Δεν υπάρχει ένας εύκολος τρόπος για ανθρώπους (ας πούμε έφηβους αγόρια και κορίτσια) από τις δύο πλευρές της πόρτας να βρεθούν μαζί, ακόμη και αν αυτό θα τους άρεσε πάρα πολύ. Αν όμως κάποιος έχει το κλειδί της πόρτας τότε αυτή μπορεί να ανοιχτεί και να γίνουν οι κατάλληλες γνωριμίες. Τα ένζυμα καταλύτες παίζουν το ρόλο του κλειδιού, και επιτρέπουν στο υπεροξείδιο του υδρογόνου και στην υδροκινόνη να βρεθούν το ένα κοντά στο άλλο στο ατομικό επίπεδο, πράγμα που επιτρέπει στην αντίδραση να λάβει χώρα.

Το σκαθάρι βομβαρδιστής είναι πολύ αγαπημένο στους δημιουργιστές. (Μια ιστοριούλα για παιδιά με τον τίτλο *Μπόμπυ, το σκαθάρι βομβαρδιστής* από την Hazel May Rue, έχει δημοσιευτεί από το Ινστιτούτο για την Έρευνα της Δημιουργίας.) Κοροϊδεύουν τους εξελικτικούς με το αξιοσημείωτο αμυντικό μηχανισμό του σκαθαριού, και τους προσκαλούν να εξηγήσουν πως μπορούσε να είχε εξελιχθεί με βαθμιαίο τρόπο. Ο Richard Dawkins, που είναι καθηγητής της ζωολογίας στο πανεπιστήμιο της Οξφόρδης, απάντησε σ' αυτήν την πρόκληση. Ο Dawkins είναι ο καλύτερος σύγχρονος εκλαϊκευτής του Δαρβινισμού. Το βιβλίο του *Ο Τυφλός Ωρολογοποιός* είναι προσιτό στον μη ειδικό που ενδιαφέρεται και απ' την άλλη είναι πολύ διασκεδαστικό. Ο Dawkins γράφει παθιασμένα γιατί πιστεύει ότι ο Δαρβινισμός είναι σωστός. Επίσης πιστεύει ότι ο αθεϊσμός είναι μια λογική συνέπεια του Δαρβινισμού και ότι ο κόσμος θα ήταν πιο καλός αν περισσότεροι άνθρωποι μοιραζόντουσαν αυτήν την άποψη.

Στον *Τυφλό Ωρολογοποιό* ο Dawkins στρέφει την προσοχή του για λίγο στο σκαθάρι βομβαρδιστή. Πρώτα αναφέρει μια παράγραφο από το βιβλίο *Ο λαιμός της Καμηλοπάρδαλης* (*The neck of the Giraffe*), του συγγραφέα επιστημονικών βιβλίων Fran-

cis Hitching, που περιγράφει το αμυντικό σύστημα του σκαθαριού βομβαρδιστής, ως ένα μέρος του επιχειρήματος του κατά του Δαρβινισμού:

[το σκαθάρι βομβαρδιστής]εκτοξεύει ένα θανατηφόρο μείγμα από υδροκινόνη και υπεροξειδίο του υδρογόνου στο πρόσωπο του εχθρού. Αυτές οι δύο χημικές ουσίες, όταν αναμειχτούν μεταξύ τους, κυριολεκτικά εκρήγνυνται. Έτσι για να τα αποθηκεύσει στο σώμα του στο σκαθάρι βομβαρδιστής έχει αναπτύξει ένα χημικό αναστολέα που τα κάνει αβλαβή. Τη στιγμή που το σκαθάρι εκτοξεύει το υγρό από την ουρά του, προστίθεται ένας αντί-αναστολέας που μετατρέπει το μείγμα και πάλι σε εκρηκτικό. Η αλυσίδα των γεγονότων που θα μπορούσε να είχε οδηγήσει στην εξέλιξη ενός τέτοιας περίπτωσης, συνδυασμένης και λεπτής διαδικασίας ξεπερνά τα όρια της βιολογικής εξήγησης που να βασίζεται σε μια σειρά γεγονότων που θα προχωρούσαν βήμα προς βήμα. Η πιο μικρή μεταβολή στη χημική ισορροπία θα οδηγούσε σε μια φυλή από σκαθάρια που εκρήγνυνται.²⁵

Ο Dawkins απαντά:

Ένας συνάδελφος βιοχημικός είχε την καλοσύνη να μου δώσει ένα μπουκάλι με υπεροξειδίο του υδρογόνου και αρκετή υδροκινόνη που να φτάνει για 50 σκαθάρια βομβαρδιστές. Τώρα θα τα ανακατέψω μεταξύ του. Σύμφωνα με τον [Hitching] θα εκραγούν στα μούτρα μου. Λοιπόν να.... Ωραία. Ακόμα ζω. Έχυσά όλο το υπεροξειδίο στην υδροκινόνη, όμως τίποτε απολύτως δε συνέβη. Ούτε καν ζεστάθηκε... Αυτή η φράση «Αυτές οι δύο χημικές ουσίες, όταν αναμειχτούν μεταξύ τους, κυριολεκτικά εκρήγνυνται», είναι να το πούμε απλά λάθος, αν και επαναλαμβάνετε ξανά και ξανά στα γραφτά των δημιουργιστών. Αν έχεις όμως περιέργεια για το σκαθάρι βομβαρδιστή, αυτό που συμβαίνει στην πραγματικότητα είναι το εξής. Είναι αλήθεια ότι εκτοξεύει ένα ζεματιστό μείγμα από υπεροξειδίο του υδρογόνου και υδροκινόνης στους εχθρούς του. Όμως το υπεροξειδίο του υδρογόνου και η υδροκινόνη δεν αντιδρούν με βίαιο τρόπο, παρά μόνο αν προστεθεί ένας καταλύτης. Αυτό και κάνει το σκαθάρι βομβαρδιστής. Όσον αφορά τους εξελικτικούς πρόδρομους του συστήματος, και το υπεροξειδίο του υδρογόνου και διάφορα είδη από κινόνες χρησιμοποιούνται για άλλους σκοπούς στη χημεία του σώματος. Οι πρόγονοι του σκαθαριού βομβαρδιστής απλά επιστράτευσαν για διαφορετική υπηρεσία χημικές ουσίες που ήδη έτυχε να υπάρχουν.²⁶

Αν και ο Dawkins φαίνεται να κερδίζει τη μάχη, ούτε αυτός ούτε οι δημιουργιστές έχουν πει σωστά την υπόθεση τους. Η εξήγηση του Dawkins για την εξέλιξη του συστήματος στηρίζεται στο γεγονός ότι τα στοιχεία του συστήματος «συμβαίνει να υπάρχουν εκεί γύρω.» Έτσι λοιπόν η εξέλιξη μπορεί να είναι πιθανή. Όμως ο Dawkins δεν μας εξήγησε πως το υπεροξειδίο του υδρογόνου και οι κινόνες εκκρίνονται ταυτόχρονα σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις μέσα σε ένα διαμέρισμα που συνδέεται με ένα σωλήνα που έχει σφιγκτήρα μυν σε ένα άλλο διαμέρισμα που περιέχει ένζυμα που είναι απαραίτητα για την ταχεία αντίδραση των χημικών ουσιών. Το βασικό ερώτημα είναι το εξής: Πως θα μπορούσαν να παραχθούν σταδιακά τα περίπλοκα βιοχημικά συστήματα; Το πρόβλημα με την πιο πάνω «μονομαχία» είναι ότι οι δύο πλευρές μιλάνε χωρίς να προσέχουν τι λέει ο αντίπαλος. Η μία πλευρά έχει λάθος δεδομένα ενώ η άλλη πλευρά απλώς διορθώνει τα δεδομένα. Όμως το βάρος πέφτει στους Δαρβινιστές να απαντήσουν δύο ερωτήσεις: Πρώτον, ποια είναι ακριβώς τα στάδια της εξέλιξης του σκαθαριού, έτσι που να δίνουν όλη την πολυπλοκότητα; Δεύτερον, αν δοθούν αυτά τα στάδια, πως μπορεί ο Δαρβινισμός να μας πάει από το ένα στάδιο στο επόμενο;

Ο Dawkins δεν μας έδωσε καμία λεπτομέρεια για το πώς θα μπορούσε να έχει εξελιχθεί το αμυντικό σύστημα του σκαθαριού βομβαρδιστής. Για να δείξουμε το πρόβλημα που έχει το επιχειρήμα του ας χρησιμοποιήσουμε αυτά που γνωρίζουμε για την ανατομία του σκαθαριού για να στηρίξουμε όσο μπορούμε καλύτερα την υποστήριξη για την εξέλιξη του σκαθαριού βομβαρδιστής. Πρώτα, θα πρέπει να ση-

²⁵ Hitching, F. (1992) *The Neck of the Giraffe*, Pan, London, p. 68

²⁶ Dawkins, R. (1985) *The Blind Watchmaker*, W. W. Norton, London, pp. 86-87

μειώσουμε ότι η λειτουργία της αμυντικής συσκευής σκαθαριού βομβαρδιστής είναι να απωθεί τους επιτιθέμενους. Τα στοιχεία του συστήματος είναι (1) υπεροξείδιο του υδρογόνου και υδροκινόνη· (2) τα ένζυμα καταλύτες, που παράγονται από τους εκτοδερμικούς αδένες· (3) η κύστη συλλογής· (4) ο σφικτήρας μυς· (5) ο θάλαμος έκρηξης· και (6) ο αγωγός εξόδου. Όμως δεν είναι απαραίτητα όλα αυτά τα στοιχεία για τη λειτουργία του συστήματος. Η υδροκινόνη από μόνη της είναι βλαβερή στους θηρευτές. Ένας αρκετά μεγάλος αριθμός από σκαθάρια συνθέτουν κινόνες που ούτε καν τις εκκρίνουν αλλά απλώς δίνουν μια «άσχημη γεύση». Αρχικά μασιούνται και φτύνονται αρκετά σκαθάρια, όμως ο θηρευτής μαθαίνει να αποφεύγει στο μέλλον τα παρόμοια σκαθάρια, κι έτσι το είδος ως σύνολο κερδίζει από μια άμυνα τέτοιου είδους.

Έτσι λοιπόν, η υδροκινόνη από μόνη της έχει τον αμυντικό μηχανισμό που αποδώσαμε σ' ολόκληρο το σύστημα. Μπορούνε να προστεθούν τα άλλα τμήματα στο σύστημα του βομβαρδιστή έτσι που η λειτουργία του συνεχώς να καλυτερεύει; Φαίνεται ότι αυτό μπορεί να γίνει. Μπορούμε να φανταστούμε ότι το σκαθάρι θα κερδίσει με το να συγκεντρώνει την υδροκινόνη σε ένα ιδιαίτερο αποθηκευτικό χώρο όπως την κύστη συλλογής. Αυτό θα επέτρεπε στο σκαθάρι να κάνει μια πολύ μεγάλη ποσότητα από αυτή τη βλαβερή χημική ουσία, κι έτσι να αποκτά πολύ άσχημη γεύση, χωρίς να προκαλούνται εσωτερικά προβλήματα. Αν η κύστη συλλογής αναπτύξει κατά κάποιο τρόπο ένα κανάλι προς τα έξω, τότε η υδροκινόνη μπορεί να διαρρέει και ίσως έτσι να απωθεί τους επιτιθέμενους πριν να καταβροχθίσουν το σκαθάρι. Πολλά σκαθάρια έχουν αμυντικές συσκευές που ονομάζονται πυγιδιακοί αδένες που έχουν την εξής βασική δομή: έναν απλό χώρο για αποθήκευση με έναν αγωγό που οδηγεί προς τα έξω, συχνά περιβάλλονται από ένα μυν που βοηθά να εκτοξεύονται τα περιεχόμενα στον αέρα. Αυτό μπορεί να καλυτερέψει με την ανάπτυξη ενός σφικτήρα μυός που θα εμποδίζει τη διαρροή των περιεχομένων μέχρι την κατάλληλη στιγμή.

Πράγματι και το υπεροξείδιο του υδρογόνου είναι και αυτό ερεθιστικό, και έτσι ένα σκαθάρι μπορεί να είναι ασφαλέστερο αν μπορεί να εκκρίνει, έστω και σε χαμηλή θερμοκρασία, ταυτόχρονα υδροκινόνη και υπεροξείδιο για να αυξήσει την ερεθιστικότητα. Σχεδόν όλα τα κύτταρα έχουν ένα ένζυμο που ονομάζεται καταλάση, η οποία διασπά το υπεροξείδιο του υδρογόνου σε νερό και οξυγόνο με ταυτόχρονη έκλυση θερμότητας. Αν τα κύτταρα που σχηματίζουν την εσωτερική επιφάνεια του αγωγού από τον οποίο εκτοξεύονται προς τα έξω τα ερεθιστικά υγρά, εκκρίνουν λίγη καταλάση, τότε κατά την εκτόξευση ένα μέρος από το υπεροξείδιο του υδρογόνου θα διασπαστεί, θερμαίνοντας το διάλυμα κι έτσι κάνοντας το ακόμη πιο ερεθιστικό. Ορισμένα είδη από σκαθάρια βομβαρδιστές από την Αυστραλία²⁷ και την Παπούα Νέα Γουινέα²⁸ καταιωνίζουμε με διαλύματα που η θερμοκρασία τους ποικίλει από χλιαρό σε θερμό, αλλά όχι βραστό. Αν τα κύτταρα έκκριναν περισσότερη καταλάση το διάλυμα θα γινόταν πιο θερμό· τότε το διάλυμα θα γινόταν ακόμη πιο θερμό και τελικά θα έφτανε σε μια άριστη τιμή όπου θα πετύχαινε να υπάρχει μέγιστη θερμοκρασία και ταυτόχρονα να αντέχουν τα κύτταρα του αγωγού εξόδου. Με

²⁷ Eisner, T. Artygalle, A.B., Eisner, M., Aneshansley, D.J., and Meinwald, J. (1991) "Chemical Defense of a Primitive Australian Bombardier Beetle (*Carabidae*): *Myristopomus regularis*," *Chemoecology*, 2, 29

²⁸ Eisner, T. Ball, G.E., Roach, B., Aneshansley, D. J., Eisner, M., Blankespoor, C.L., and Meinwald, J. (1989) "Chemical Defense of an Ozanine Bombardier Beetle from New Guinea," *Psyche*, 96, 153

το χρόνο ο αγωγός εξόδου θα σκλήραινε περισσότερο και θα διευρυνόταν για να επιτρέπει μια αυξημένη θερμοκρασία που θα έφτανε στο σημείο βρασμού του διαλύματος. Οι εκκρίσεις από υπεροξειδάσες που ακολουθούν μέσα στο μείγμα με τους καταλύτες θα έδιναν στην συσκευή μορφή παρόμοια με αυτή που δείχνεται στην εικόνα 2-1.

Τώρα έχουμε ένα σενάριο κατάλληλο για την εξελικτική βιβλιογραφία. Μπορεί όμως να εξηγηθεί η ανάπτυξη της αμυντικής συσκευής του σκαθαριού βομβαρδιστή; Δυστυχώς εδώ η εξήγηση δε φαίνεται να έχει περισσότερες λεπτομέρειες από όσες έδινε ο Δαρβίνος τον δέκατο ένατο αιώνα για την εξέλιξη του ματιού. Αν και φαίνεται να έχουμε ένα σύστημα που συνεχώς μεταβάλλεται, τα συστατικά του που ελέγχουν τη λειτουργία του δεν είναι γνωστά. Για παράδειγμα η κύστη συλλογής είναι μία περίπλοκη πολυκύτταρη κατασκευή. Ποια είναι τα περιεχόμενα της; Γιατί έχει αυτό το σχήμα που έχει; Το να λέμε ότι «το σκαθάρι θα κερδίσει από του να συγκεντρώσει την υδροκινόνη σε ένα ιδιαίτερο χώρο» μοιάζει πολύ με το να λέμε «η κοινωνία κερδίζει με το να συγκεντρώνεται η εξουσία σε μια κεντρική κυβέρνηση»: στις δύο φράσεις ο τρόπος συγκέντρωσης και το δοχείο που αποθηκεύει δεν εξηγούνται, και τα ευεργετήματα εξαρτώνται πολύ από τις λεπτομέρειες. Η κύστη συλλογής, ο σφιγκτήρας μυς, ο θάλαμος έκρηξης, και η οπή εξόδου, όλα έχουν περίπλοκες δομές, και πολλά συστατικά που δεν έχουν ταυτοποιηθεί ακόμη. Επιπλέον η πραγματική διαδικασία που είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη της ικανότητας για την έκρηξη δεν είναι γνωστή. Τι προκαλεί την ανάπτυξη της κύστης συλλογής, της έκκρισης του υπεροξειδίου του υδρογόνου, ή που κάνει τον σφιγκτήρα μυν να δημιουργεί έναν αγωγό;

Αυτό που μπορούμε να συμπεράνουμε σ' αυτό το σημείο είναι ότι η Δαρβινική εξέλιξη θα μπορούσε να είχε συμβεί. Αν μπορούσαμε να αναλύσουμε τις δομικές λεπτομέρειες του σκαθαριού μέχρι την τελευταία πρωτεΐνη και ένζυμο, και αν μπορούσαμε να εξηγήσουμε όλες αυτές τις λεπτομέρειες με μια Δαρβινική εξήγηση, τότε θα μπορούσαμε να συμφωνήσουμε με τον Dawkins. Προς το παρόν, όμως, δεν μπορούμε να πούμε αν αυτές οι βήμα προς βήμα προσθήκες στο υποθετικό μας εξελικτικό ρυάκι, είναι απλά «πηδηματάκια» με μεταλλάξεις ή είναι μεταβάσεις από μια κορυφή στην άλλη που απαιτούν ελικόπτερο .

ΤΟ ΝΑ ΒΛΕΠΕΙΣ ΣΗΜΑΙΝΕΙ ΝΑ ΠΙΣΤΕΥΕΙΣ

Ας πάμε πίσω στο ανθρώπινο μάτι. Ο Dawkins και ο Hitching μπορούν να συγκρουστούν σχετικά με το κλασικό περίπλοκο όργανο. Ο Hitching έχει διατυπώσει στο βιβλίο *Ο Λαιμός της Καμηλοπάρδαλης (The Neck of the Giraffe)* ότι

Είναι προφανές ότι αν γίνει το παραμικρό λάθος στην πορεία — αν ο κερατοειδής είναι θολός, αν η κόρη δεν μπορεί να διασταλεί, αν ο φακός γίνει αδιαφανής, αν το σημείο εστίασης είναι λανθασμένο — τότε δεν σχηματίζεται μια αναγνωρίσιμη εικόνα. Το μάτι είτε λειτουργεί ως ένα σύνολο είτε δε λειτουργεί καθόλου. Τότε πως μπόρεσε να εξελιχθεί με αργές, σταθερές, άπειρα μικρές Δαρβινικές καλύτερεύσεις; Είναι πραγματικά λογικό ότι χιλιάδες πάνω σε χιλιάδες τυχερές τυχαίες μεταλλάξεις συνέβησαν ταυτόχρονα ώστε ο φακός και ο αμφιβληστροειδής, που δεν μπορεί ο ένας να δουλέψει χωρίς τον άλλο, να έχουν εξελιχθεί ταυτόχρονα; Τι αξία έχει για την επιβίωση ένα μάτι που δεν μπορεί να βλέπει;²⁹

Ο Dawkins, δείχνοντας ευγνωμοσύνη γιατί ο Hitching ξανά του δίνει λαβή, δεν χάνει την ευκαιρία:

²⁹ Hitching, pp. 66-67

Σκεφθείτε την πρόταση ότι «αν γίνει το παραμικρό λάθος...αν το σημείο εστίασης είναι λανθασμένο — τότε δεν σχηματίζεται μια αναγνωρίσιμη εικόνα.» Οι πιθανότητες δεν μπορεί να απέχουν πολύ από το 50/50 ότι διαβάζεις αυτές τις γραμμές χρησιμοποιώντας γυαλιά. Βγάλε τα και κοίταξε γύρω σου. Συμφωνείς με τη φράση «δεν σχηματίζεται μια αναγνωρίσιμη εικόνα»; ... (ο Hitching) επίσης μας λέει ότι είναι προφανές, ότι ο φακός και ο αμφιβληστροειδής δεν μπορούν να εργαστούν ο ένας ανεξάρτητα από τον άλλο. Με βάση ποια στοιχεία; Κάποια γνωστή μου έχει κάνει εγχείρηση καταρράκτη και στα δύο της μάτια. Έτσι δεν έχει φακούς στα μάτια της. Χωρίς γυαλιά δεν θα μπορούσε καν να αρχίσει να παίζει τένις ούτε να σκοπεύσει με το τουφέκι. Όμως με διαβεβαιώνει ότι είσαι πολύ καλύτερα με ένα μάτι που δεν έχει φακό, παρά με ένα μάτι που δεν βλέπει καθόλου. Μπορείς να καταλάβεις αν θα πέσεις πάνω σε ένα τοίχο ή σε κάποιον άλλο άνθρωπο. Αν ήσουν ένα άγριο πλάσμα, θα μπορούσες σίγουρα να διακρίνεις με το μάτι σου που δεν έχει φακό την μορφή ενός θηρευτή που μεγαλώνει και την κατεύθυνση από την οποία σε πλησιάζει.³⁰

Αφού επιτίθεται στον Hitching — καθώς επίσης και στους επιστήμονες Richard Goldschmidt και Stephen Jay Gould — γιατί ανησυχούν για την πολυπλοκότητα του ματιού, ο Dawkins προχωρά και κάνει μια παράφραση του επιχειρήματος του Καρόλου Δαρβίνου για τη λογικότητα της εξέλιξης του ματιού:

Μερικά μονοκύτταρα ζώα έχουν ένα φωτοευαίσθητο σημείο με μια έγχρωμη ουσία από πίσω του. Αυτό δημιουργεί ένα κάλυμμα που το προστατεύει από το φως που έρχεται από τη μία κατεύθυνση, που δίνει κάποια «ιδέα» από πού έρχεται το φως. Ανάμεσα σε πολυκύτταρα ζώα ... τα καλυμμένα με τη χρωστική φωτοευαίσθητα κύτταρα τοποθετούνται μέσα σε ένα μικρό «κύπελλο». Αυτό δίνει μια ελαφρά καλύτερη ικανότητα για εύρεση της κατεύθυνσης... Τώρα αν κάνεις το κύπελλο πολύ βαθύ και αναποδογυρίσεις τις πλευρές, τώρα έχεις ένα σκοτεινό θάλαμο χωρίς φακό... Όταν έχεις ένα κύπελλο που παίζει το ρόλο του ματιού, σχεδόν κάθε είδους ελαφρά κυρτό, ελαφρά διαφανές ή ημιδιαφανές υλικό που θα τοποθετηθεί στο άνοιγμα του θα αποτελεί μια βελτίωση, γιατί θα έχει ιδιότητες που θα μοιάζουν λίγο με τις ιδιότητες ενός φακού. Όταν υπάρχει ένας τέτοιος χονδροειδής πρωτόγονος φακός, τότε μπορεί να υπάρχει μια σειρά από διαβαθμισμένες βελτιώσεις, καθώς θα παχύνει και θα γίνει πιο διαφανής και με λιγότερη παραμόρφωση, η τάση θα κορυφωθεί όταν θα φτάσουμε σ' αυτό που θα αναγνωρίζουμε σαν ένα πραγματικό φακό.³¹

Οι Dawkins και Δαρβίνος μας προσκαλούν να πιστέψουμε ότι η εξέλιξη του ματιού προχώρησε βήμα προς βήμα με μια σειρά από πιθανά ενδιάμεσα στάδια και με απειροστές αυξήσεις. Είναι όμως απειροστές; Θυμήσου ότι το «φωτοευαίσθητο σημείο» που ο Dawkins θεωρεί ως το σημείο έναρξης, απαιτεί για να λειτουργήσει μια αλυσίδα από παράγοντες, που περιλαμβάνουν το 11-*cis* ρετινάλ και ροδοψίνη. Ο Dawkins δεν τα αναφέρει. Και από πού προήλθε αυτό το «μικρό κύπελλο»; Μια σφαίρα από κύτταρα — από την οποία θα πρέπει να προήλθε το κύπελλο — θα τείνει να παραμείνει στρογγυλή, εκτός αν διατηρηθεί στο σωστό σχήμα από μοριακούς υποστηρικτές. Πράγματι υπάρχουν δωδεκάδες από περίπλοκες πρωτεΐνες που εμπλέκονται στη διατήρηση του σχήματος ενός κυττάρου· αν δεν υπάρχουν, το κύτταρο θα πάρει το σχήμα που έχουν τόσες πολλές σαπουνόφουσες. Μπορούν να θεωρηθούν αυτές οι δομές ότι αντιπροσωπεύουν διαδοχικά βήματα για μεταλλάξεις; Ο Dawkins δεν μας εξηγεί πως έφτασε να υπάρχει αυτή η «απλή» δομή του σχήματος του κυπέλλου. Αν και μας διαβεβαιώνει ότι οποιοδήποτε «ημιδιαφανές υλικό» θα μπορούσε να είναι μια καλύτερευση (θυμήσου ότι ο Haeckel είχε κάνει το λάθος να θεωρήσει ότι είναι πολύ εύκολο να παραχθούν κύτταρα γιατί γι' αυτόν ήταν απλές «μάζες»), δεν μας λέει πόσο δύσκολο είναι να παραχθεί ένας «απλός φακός». Εν συντομία, οι εξηγήσεις του Dawkins απευθύνονται μόνο στο επίπεδο μιας απλής ανατομίας.

³⁰ Dawkins pp. 80-81

³¹ Dawkins, pp. 85-86

Και ο Hitching και ο Dawkins έχουν χρησιμοποιήσει τις δυνάμεις τους προς λανθασμένη κατεύθυνση. Το μάτι, ή οποιαδήποτε μεγάλη βιολογική δομή, αποτελείται από έναν αριθμό από διακριτά συστήματα. Η λειτουργία που έχει ο αμφιβληστροειδής είναι η αντίληψη του φωτός. Η λειτουργία του φακού είναι να συγκεντρώνει και να εστιάζει το φως. Αν ένας φακός χρησιμοποιηθεί με έναν αμφιβληστροειδή, καλυτερεύει η λειτουργία του αμφιβληστροειδή, όμως και ο φακός και ο αμφιβληστροειδής μπορούν να λειτουργούν από μόνοι τους. Παρόμοια οι μύες που εστιάζουν το φακό ή στρέφουν το μάτι, λειτουργούν σαν μια συσκευή που προκαλεί μια συμπίεση, και που μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλά διαφορετικά συστήματα. Η αντίληψη του φωτός από τον αμφιβληστροειδή δεν εξαρτάται από αυτούς. Οι δακρυικοί αδένες και οι βλεφαρίδες είναι και αυτοί περίπλοκα συστήματα, όμως είναι χωριστά από τη λειτουργία του αμφιβληστροειδή.

Το επιχείρημα του Huching είναι τρωτό γιατί κάνει λάθος να θεωρεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα σαν ένα μοναδικό σύστημα, και έχει δίκιο ο Dawkins να επισημαίνει ότι τα διάφορα συστατικά του μπορούν να διαχωριστούν. Όμως ο Dawkins απλά προσθέτει σύνθετα συστήματα σε σύνθετα συστήματα και αυτό το ονομάζει εξήγηση. Αυτό μπορεί να συγκριθεί με το να απαντάμε σε ερωτήσεις όπως «Πως κατασκευάζεται ένα στερεοφωνικό σύστημα;» με το να πούμε «συνδέουμε τα μεγάφωνα με τον ενισχυτή, και προσθέτουμε μια συσκευή που παίζει CD, ένα δέκτη ραδιόφωνου, και ένα κασετόφωνο.» Είτε η θεωρία του Dawkins εξηγεί τη συναρμογή των μεγάλων και του ενισχυτή, είτε δεν μπορεί να εξηγήσει.

ΜΗ ΑΝΑΓΩΓΙΜΗ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ Η ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΑΞΗΣ

Ο Δαρβίνος ήξερε ότι η θεωρία του για τη βαθμιαία εξέλιξη με φυσική επιλογή είχε ένα βαρύ φορτίο:

Αν θα μπορούσε να αποδειχτεί ότι θα υπήρχε κάποιο πολύπλοκο όργανο που δε θα μπορούσε να είχε σχηματιστεί από πολυάριθμες, διαδοχικές, ελαφρές μεταβολές, τότε η θεωρία μου θα κατέρρεε τελείως³²

Με σιγουριά μπορούμε να πούμε ότι ο επιστημονικός σκεπτικισμός του περασμένου αιώνα για το Δαρβινισμό επικεντρωνόταν σ' αυτήν την απαίτηση. Από την ανησυχία του Mivart για τα αρχικά στάδια των νέων δομών μέχρι την απόρριψη της Margulis για την βαθμιαία εξέλιξη, οι κριτικοί του Δαρβίνου έχουν υποπτευθεί ότι το κριτήριο του για την απόρριψη έχει καλυφθεί. Πώς όμως μπορούμε να είμαστε σίγουροι; Ποιος είναι ο τύπος του βιολογικού συστήματος που δε θα μπορούσε να σχηματιστεί από «πολυάριθμες, διαδοχικές ελαφρές μεταβολές»;

Ωραία, για να ξεκινήσουμε, ένα σύστημα που είναι αναγώγιμο περίπλοκο. Με τον όρο *μη αναγώγιμο περίπλοκο* εννοώ ένα μοναδικό σύστημα που συντίθεται από αρκετά καλά ταιριασμένα τμήματα που αλληλεπιδρούν και συνεισφέρουν στη βασική λειτουργία, και κατά συνέπεια η αφαίρεση οποιουδήποτε μέρους θα προκαλεί μια τέλεια παύση της λειτουργίας του συστήματος. Ένα μη αναγώγιμο περίπλοκο σύστημα δεν μπορεί να παραχθεί άμεσα (δηλαδή, με μια συνεχή καλυτέρευση των αρχικών του λειτουργιών, που θα συνεχίζουν να λειτουργούν με τον ίδιο μηχανισμό) με ελαφρές, διαδοχικές μεταβολές ενός πρόδρομου συστήματος, γιατί οποιοςδήποτε πρόδρομος για ένα μη αναγώγιμο πολύπλοκο σύστημα που του λείπει ένα συστατικό του είναι εξ' ορισμού μη λειτουργικό. Ένα μη αναγώγιμο πολύπλοκο

³² Darwin, C. (1872) *Origin of Species*, 6th ed. (1988), New York University Press, New York, p. 154.

σύστημα, αν βέβαια υπάρχει κάτι τέτοιο, θα είναι μια ισχυρή πρόκληση στη Δαρβινική εξέλιξη. Αφού η φυσική επιλογή μπορεί να επιλέξει συστήματα που ήδη υπάρχουν και λειτουργούν, τότε αν ένα βιολογικό σύστημα δεν μπορεί να παραχθεί βαθμιαία, θα πρέπει να εμφανιστεί σαν ένα σύνολο, για να μπορούσε να κάνει κάτι μ' αυτό η φυσική επιλογή.

Ακόμη κι αν ένα σύστημα είναι μη αναγώγιμα πολύπλοκο (κι έτσι δεν μπορεί να παραχθεί άμεσα), ένας δεν μπορεί να αποκλείσει τη δυνατότητα, μιας έμμεσης και πολύπλοκης πορείας. Όμως καθώς αυξάνει η πολυπλοκότητα ενός αλληλεπιδρώντος συστήματος, η πιθανότητα μιας τέτοιας έμμεσης πορείας πέφτει εκθετικά. Και καθώς αυξάνει ο αριθμός των ανεξάρτητων, μη αναγώγιμα πολύπλοκων βιολογικών συστημάτων, η πεποίθησή μας για του ότι έχουν καλυφθεί οι απαιτήσεις για την ισχύ του κριτηρίου του Δαρβίνου για αποτυχία, έχει ανέβει ψηλά και φθάνει στο μέγιστο που επιτρέπει η επιστήμη.

Αν το θεωρήσουμε θεωρητικά, θα είναι δελεαστικό να φανταστούμε ότι η μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα, απλά απαιτεί πολλαπλές ταυτόχρονες μεταλλάξεις— και ότι η εξέλιξη έχει πολύ περισσότερη πιθανότητα από όση φανταζόμαστε, όμως ότι εξακολουθεί να είναι δυνατή. Μια τέτοια επίκληση τύχης ποτέ δεν μπορεί να απορριφθεί. Όμως το επιχείρημα δεν έχει περιεχόμενο. Ένας θα μπορούσε με τον ίδιο τρόπο να πει ότι χθες εμφανίστηκε ξαφνικά το σύμπαν με όλα τα χαρακτηριστικά που έχει σήμερα. Η τύχη είναι μια μεταφυσική επίκληση, η επιστήμη αναζητά αιτίες. Είναι σχεδόν γενικά αποδεκτό ότι τέτοια ξαφνικά γεγονότα είναι ασυμβίβαστα με τη βαθμιαία αλλαγή που είχε οραματιστεί ο Δαρβίνος. Ο Richard Dawkins εξηγεί πολύ ωραία το πρόβλημα:

Η εξέλιξη πιθανόν δεν είναι στην πραγματικότητα πάντα βαθμιαία. Θα πρέπει να είναι βαθμιαία όταν χρησιμοποιείται για να εξηγήσει την εμφάνιση πολύπλοκων αντικειμένων που μοιάζουν φαινομενικά να έχουν σχεδιαστεί, όπως τα μάτια. Γιατί αν δεν είναι βαθμιαία σ' αυτές τις περιπτώσεις, παύει να έχει οποιαδήποτε δύναμη να εξηγήσει. Χωρίς τη βαθμιαία εξέλιξη σ' αυτές τις περιπτώσεις επιστρέφουμε πίσω στα θαύματα, που απλά είναι ένα συνώνυμο για την πλήρη απουσία της εξήγησης.³³

Του γιατί συμβαίνει αυτό βρίσκεται στη φύση της μετάλλαξης.

Στη βιοχημεία, μια μετάλλαξη είναι μια αλλαγή στο DNA. Για να κληρονομηθεί μια αλλαγή, αυτή θα πρέπει αυτή να συμβεί στο DNA ενός αναπαραγωγικού κυττάρου. Η πιο απλή μετάλλαξη συμβαίνει όταν ένα μόνο νουκλεοτίδιο (τα νουκλεοτίδια είναι τα «δομικά στοιχεία» του DNA) στο DNA ενός πλάσματος, αλλάξει σε ένα άλλο νουκλεοτίδιο. Προφανώς, ένα μοναχικό νουκλεοτίδιο μπορεί να προστεθεί ή να παραληφθεί ή να προστεθεί όταν αντιγράφεται το DNA κατά τη διαίρεση (μίτωση) του κυττάρου. Καμιά φορά μια ολόκληρη περιοχή του DNA — χιλιάδες ή εκατομμύρια νουκλεοτίδια— τυχαία παραληφθεί ή διπλασιαστεί. Και σ' αυτήν την περίπτωση θεωρούμε ότι έχουμε μία μετάλλαξη, γιατί συμβαίνει μια φορά, ως ένα μοναδικό συμβάν. Γενικά μια μετάλλαξη μπορεί στην καλύτερη περίπτωση να προκαλέσει μια μόνο μικρή αλλαγή σε ένα πλάσμα — ακόμη κι αν αυτή η μεταβολή μας εντυπωσιάζει και τη θεωρούμε μεγάλη. Για παράδειγμα υπάρχει μια πολύ γνωστή μετάλλαξη που ονομάζεται *αντεναπέδια* που οι επιστήμονες μπορούν να αναπαράγουν στο εργαστήριο σε μια μύγα των φρούτων· στο κεφάλι αυτού του φτωχού πλάσματος φυτρώνουν στο κεφάλι πόδια αντί για κεραίες. Αν και μας εντυπωσιάζει ως μια με-

³³ Dawkins, R. (1995) *River Out of Eden*, Basic Books, New York, p.83

γάλη αλλαγή στην πραγματικότητα δεν είναι. Τα πόδια στο κεφάλι είναι συνηθισμένα πόδια της μύγας των φρούτων, μόνο που βρίσκονται σε διαφορετική θέση. Εδώ είναι χρήσιμη μια αναλογία: Σκεφτείτε μια λίστα με οδηγίες βήμα προς βήμα. Μια μετάλλαξη είναι μια αλλαγή σε μια γραμμή οδηγιών. Έτσι αντί να λέει «πάρτε ένα παξιμάδι $\frac{1}{4}$ ίντσας», η μετάλλαξη λέγει «πάρτε ένα παξιμάδι $\frac{3}{8}$ ίντσας». Ή αντί να λέει «τοποθέτησε τον στρογγυλό στύλο μέσα στην κυκλική τρύπα,» μπορεί να λέγει «τοποθέτησε το στρογγυλό στύλο μέσα στην τετράγωνη τρύπα.» Ή αντί να λέει «Τοποθέτησε το κάθισμα πάνω από τη μηχανή,» μπορεί να λέει «τοποθέτησε το κάθισμα στα χερούλια» (αλλά αυτό θα μπορούσε να γίνει μόνο αν οι βίδες και τα παξιμάδια είχαν τοποθετηθεί στα χερούλια). Αυτό που *δεν μπορεί να κάνει* μία μετάλλαξη είναι να αλλάξει σε ένα βήμα όλες τις οδηγίες — για παράδειγμα να κατασκευάσει μια μηχανή φας αντί για ραδιόφωνο.

Έτσι αν πάμε πίσω στο σκαθάρι βομβαρδιστή ή στο ανθρώπινο μάτι, το ερώτημα είναι αν οι πολυάριθμες ανατομικές μεταβολές μπορούν να δικαιολογηθούν από πολλές μικρές μεταλλάξεις. Η απάντηση που *μας αφήνει απογοητευμένους* είναι ότι *δεν μπορούμε να πούμε*. Και η αμυντική συσκευή του σκαθαριού βομβαρδιστή και το μάτι των σπονδυλωτών περιέχουν τόσα πολλά μοριακά συστατικά (της τάξεως μερικών δεκάδων χιλιάδων διαφορετικών τύπων μορίων) που να τα βάλουμε σε μια λίστα — και να διατυπώσουμε εικασίες για το ποιες μεταλλάξεις τα έχουν παράγει — είναι προς το παρόν αδύνατο. Πάρα πολλά από τα παξιμάδια και τις βίδες (και τα άλλα τμήματα της μηχανής, τις λαβές κοκ) δεν μπορούν να εξηγηθούν. Για μας το να συζητήσουμε αν η Δαρβινική εξέλιξη θα μπορούσε να παράγει τέτοιες μεγάλες δομές είναι όμοιο με τη συζήτηση που είχαν οι επιστήμονες του δέκατου ένατου αιώνα για το αν μπορούν να εμφανιστούν αυτόματα τα κύτταρα. Τέτοιες συζητήσεις είναι άκαρπες γιατί δεν είναι γνωστά όλα τα συστατικά στοιχεία.

Δεν θα πρέπει όμως να χάσουμε την προοπτική γι' αυτό· και σ' άλλες εποχές υπήρχε αδυναμία να απαντηθούν πολλές ερωτήσεις που είχαν μεγάλο ενδιαφέρον. Επιπλέον, το ότι δεν μπορούμε να αξιολογήσουμε την ερώτηση για την εξέλιξη του ματιού ή για την εξέλιξη του σκαθαριού, δε σημαίνει ότι δεν μπορούμε να αξιολογήσουμε τους ισχυρισμούς της θεωρίας του Δαρβίνου για οποιαδήποτε βιολογική δομή. Όταν κατεβαίνουμε από το επίπεδο ολόκληρου του ζώου (όπως ενός σκαθαριού) ή ενός ολοκλήρου οργάνου (όπως του ματιού) στο μοριακό επίπεδο, τότε σε πολλές περιπτώσεις *μπορούμε* να κάνουμε μια κρίση για την εξέλιξη επειδή όλα τα μέρη για πολλά διακριτά μοριακά συστήματα είναι γνωστά. Στα επόμενα πέντε κεφάλαια θα μελετήσουμε αρκετά τέτοια συστήματα — και κρίνετε.

Ας γυρίσουμε στην ιδέα της μη αναγώγιμης πολυπλοκότητας. Όπως σημειώσαμε στην συζήτηση μας ο όρος *μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα* είναι απλώς ένας όρος που η ισχύς του βρίσκεται κυρίως στον ορισμό του. Θα πρέπει να αναρωτηθούμε πως μπορούμε να αναγνωρίσουμε ένα μη αναγώγιμο περίπλοκο σύστημα. Δεδομένης της φύσης της μετάλλαξης τότε μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι ένα βιολογικό είναι μη αναγώγιμο πολύπλοκο;

Το πρώτο βήμα για τον καθορισμό της αναγώγιμης πολυπλοκότητας είναι να καθορίσουμε ταυτόχρονα τη λειτουργία του συστήματος και όλων των συστατικών του συστήματος. Ένα μη αναγώγιμο πολύπλοκο αντικείμενο θα συντίθεται από διάφορα μέρη, όλα από τα οποία συνεισφέρουν στη λειτουργία του. Για να αποφευχθούν τα προβλήματα που συναντιούνται σε εξαιρετικά περίπλοκα αντικείμενα (όπως τα

μάτια, τα σκαθάρια, ή άλλα πολυκύτταρα βιολογικά συστήματα.) Θα αρχίσω με ένα απλό μηχανικό παράδειγμα, την απλή ποντικοπαγίδα.

Η λειτουργία μιας ποντικοπαγίδας συνίσταται στο να ακινητοποιήσει ένα ποντίκι έτσι να μη μπορεί να κάνει διάφορες μη φιλικές ενέργειες όπως το να μασάει μέσα από σακιά με αλεύρι ή ηλεκτρικά καλώδια, ή να αφήνει μικρούς υπενθυμιστές της παρουσίας του σε ασκούπιστες γωνίες. Η ποντικοπαγίδα που χρησιμοποιεί η οικογένεια μου συνίσταται από μερικά τμήματα (εικόνα 2-2): (1) μια επίπεδη πλατφόρμα για να λειτουργεί ως βάση· (2) ένα μεταλλικό σφυρί, που κάνει την πραγματική δουλειά του να συντρίβει το μικρό ποντίκι· (3) ένα ελατήριο με εκτεταμένα άκρα που πιέζει πάνω στην πλατφόρμα και στο σφυρί όταν η παγίδα έχει στηθεί· (4) ένα ευαίσθητο μάνταλο που ελευθερώνεται με μια ελαφριά πίεση, και (5) ένα μεταλλικό στέλεχος (ράβδο συγκράτησης) που συνδέεται με το μάνταλο και κρατά πίσω το σφυρί όταν είναι στημένη η παγίδα. (Υπάρχουν επίσης διάφοροι συνδετήρες για να κρατούν στη θέση τους τα διάφορα μέρη του συστήματος.)

Το δεύτερο βήμα για τον προσδιορισμό αν το σύστημα είναι μη αναγώγιμα πολύπλοκο είναι να ρωτήσουμε αν όλα τα αντικείμενα απαιτούνται για τη λειτουργία του. Στο παράδειγμα αυτό η απάντηση είναι ένα ξεκάθαρο ναι. Υποθέστε ότι ενώ διαβάζεις κάποιο βράδυ, ακούς τα βηματάκια στην αποθήκη, και πηγαίνεις στο συρτάρι της αποθήκης για να βρεις μια ποντικοπαγίδα. Δυστυχώς επειδή η κατασκευή δεν είναι πολύ καλή, από την παγίδα λείπει ένα από τα εξαρτήματα που αναφέρονται πιο πάνω. Ποιο εξάρτημα μπορούσε να λείπει και εν τούτοις θα μπορούσες να πιάσεις ένα ποντίκι; Αν έχει χαθεί η ξύλινη βάση, δεν υπάρχει πλατφόρμα για να στερεώσεις τα άλλα εξαρτήματα. Αν έχει χαθεί το σφυρί, το ποντίκι θα μπορούσε να χορεύει όλη τη νύχτα στην πλατφόρμα χωρίς να καρφωθεί στην ξύλινη βάση. Αν δεν υπάρχει ελατήριο, το σφυρί και η πλατφόρμα θα κουδουνίζουν χαλαρά, και το τρωκτικό θα ήταν ανεμπόδιο. Αν δεν υπάρχει το μάνταλο ή το μέταλλο που κρατά τη μεταλλική ράβδο, τότε το ελατήριο θα κρατά σφιχτά το σφυρί στη θέση του μόλις το αφήσεις· για να χρησιμοποιήσεις την παγίδα θα πρέπει να κυνηγάς το ποντίκι γύρω-γύρω ενώ θα κρατάς το ελατήριο ανοιχτό.

Για να δεις όλη την ισχύ του συμπεράσματος για του ότι ένα σύστημα είναι μη αναγώγιμα πολύπλοκο και γι' αυτό δεν έχει λειτουργικούς προδρόμους, χρειάζεται να διακρίνουμε μεταξύ του *φυσικού* προδρόμου και του *νοητικού* προδρόμου. Η παγίδα που περιγράψαμε πιο πάνω δεν είναι το μόνο σύστημα που μπορεί να ακινητοποιήσει το ποντίκι. Σε άλλες περιπτώσεις η οικογένεια μου χρησιμοποίησε την παγίδα με κόλα. Θεωρητικά τουλάχιστον, ένας μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα κουτί που να κρατιέται ανοιχτό με ένα ραβδάκι που μπορεί με ένα σπρώξιμο του ποδιού να πέσει. Ή μπορείς να πυροβολήσεις ένα ποντίκι με ένα ντουφέκι με σκάγια. Όμως όλα αυτά δεν είναι φυσικοί πρόδρομοι για την συνηθισμένη ποντικοπαγίδα, γιατί δεν μπορούν να μεταμορφωθούν με Δαρβινικό βήμα προς Δαρβινικό βήμα, σε μια παγίδα με βάση, σφυρί, ελατήριο, μάνταλο και ράβδο συγκράτησης.

Για να κάνουμε πιο ξεκάθαρο το σημείο, ας σκεφτούμε την ακολουθία: πατίνι, βαγονάκι παιχνίδι, ποδήλατο, μοτοσικλέτα, αυτοκίνητο, αεροπλάνο, αεριωθούμενο, διαστημική κάψουλα. Μοιάζει να είναι μια φυσική ακολουθία, γιατί είναι μια λίστα με αντικείμενα που όλα τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μεταφορικά μέσα και επειδή βρίσκονται σε μια σειρά με αυξανόμενη πολυπλοκότητα. Μπορούν να συνδεθούν νοητικά και να συγχωνευτούν σε ένα συνεχές εξέλιξης. Μπορούμε όμως να πούμε ότι ένα ποδήλατο είναι ένας φυσικός (και δυνητικά Δαρβινικός) πρόδρο-

μος της μοτοσικλέτας; Όχι. Μόνο νοητικά είναι ένας πρόδρομος. Καμιά μοτοσικλέτα σε όλη την ιστορία ούτε ακόμη και η πρώτη, κατασκευάστηκε απλά με το να μετατραπεί ένα ποδήλατο με ένα σταδιακό τρόπο. Μπορούμε εύκολα να σκεφτούμε την περίπτωση ενός έφηβου που ένα Σάββατο απόγευμα θα μπορούσε να πάρει το παλιό ποδήλατο, την παλιά κουρευτική μηχανή του γκαζόν, και μερικά εξαρτήματα και (μετά από δύο ώρες προσπάθειας) να φτιάξει μια λειτουργική μοτοσικλέτα. Αυτό απλώς μας δείχνει ότι οι άνθρωποι μπορούν να σχεδιάσουν μη αναγνώσιμα πολύπλοκα συστήματα τα οποία ήδη γνωρίζουμε. Για να είσαι πρόδρομος κατά την έννοια του Δαρβίνου, θα πρέπει να δείξεις ότι μια μοτοσικλέτα μπορεί να φτιαχτεί από «πολυάριθμες, διαδοχικές, ελαφρές μεταβολές» ενός ποδηλάτου.

Έτσι ας προσπαθήσουμε να εξελίξουμε ένα ποδήλατο σε μια μοτοσικλέτα με μια βαθμιαία συσσώρευση μεταλλάξεων. Υποθέστε ότι ένα εργοστάσιο παρήγαγε ποδήλατα, όμως πότε-πότε υπήρχε ένα σφάλμα στην παραγωγή. Ας υποθέσουμε ότι αυτό το σφάλμα οδηγούσε σε μια καλύτερευση του ποδηλάτου, και τότε οι φίλοι και οι γείτονες του τυχερού αγοραστή θα απαιτούσαν παρόμοια ποδήλατα, κι έτσι το εργοστάσιο θα ξαναέφτιαχνε τις μηχανές του για να κάνουνε αυτή τη μετάλλαξη να γίνει ένα μόνιμο χαρακτηριστικό. Έτσι, παρόμοια με τις βιολογικές μεταλλάξεις, οι πετυχημένες μηχανικές μεταλλάξεις θα αναπαραχθούν και θα εξαπλωθούν. Αν θέλουμε να συνεχίσουμε την αναλογία μας για να παραμείνει σχετική με τη βιολογία, θα πρέπει κάθε αλλαγή να είναι μόνο μια ελαφρά μεταβολή, διπλασιασμός, ή αναδιάρθρωση στα προϋπάρχοντα συστατικά και η αλλαγή θα πρέπει να καλυτερεύσει τη λειτουργία του ποδηλάτου. Έτσι αν το εργοστάσιο κατά λάθος αύξανε το μέγεθος μιας βίδας ή ελάττωνε τη διάμετρο ενός μπουλονιού, ή πρόσθετε μια έξτρα ρόδα στον μπροστινό άξονα ή αφαιρούσε το πίσω λάστιχο, ή έβαζε ένα πεντάλ στα χερούλια ή πρόσθετε επιπλέον ακτίνες, τότε αν κάποια από αυτές τις αλλαγές καλυτέρευε την ποδηλατάδα, τότε αυτές οι αλλαγές θα γινόταν άμεσα αντιληπτές από το αγοραστικό κοινό και το μεταλλαγμένο ποδήλατο, θα κυριαρχούσε στην αγορά με ένα γνήσιο Δαρβινικό τρόπο.

Κάτω από αυτές τις συνθήκες, μπορούμε να εξελίξουμε το ποδήλατο σε μια μοτοσικλέτα; Μπορούμε να κινηθούμε προς την σωστή κατεύθυνση με το να κάνουμε τη σέλα πιο άνετη σε μικρά βήματα, τις ρόδες μεγαλύτερες, και ακόμη (υποθέτοντας ότι οι πελάτες μας προτιμούνε την όψη του «ποδηλάτου») να το μιμούμαστε με διάφορους τρόπους. Όμως η μοτοσικλέτα βασίζεται σε καύσιμο και ένα ποδήλατο δεν έχει τίποτε που να μπορεί να μεταβληθεί ελαφρά για να μετατραπεί σε ντεπόζιτο βενζίνης. Και ποιο τμήμα του ποδηλάτου θα είχε τη δυνατότητα να διπλασιαστεί για να αρχίσει να δίνει ένα κινητήρα; Ακόμη και ένα τυχερό ατύχημα που θα έφερνε μια μηχανή για κουρευτικό του γκαζόν από το διπλανό εργοστάσιο, η μηχανή θα πρέπει να στηθεί στο ποδήλατο και να συνδεθεί με το σωστό τρόπο στην αλυσίδα. Πως μπορεί αυτό να γίνει βήμα προς βήμα από τα εξαρτήματα του ποδηλάτου; Ένα εργοστάσιο που κάνει ποδήλατα απλά δε θα μπορούσε να παράγει μοτοσικλέτες με τη φυσική επιλογή που επιδρά πάνω στην ποικιλότητα — με «πολυάριθμες, διαδοχικές, ελαφρές μεταβολές» — και πράγματι δεν υπάρχει κάποιο παράδειγμα στην ιστορία για μια περίπλοκη αλλαγή ενός προϊόντος που να συμβαίνει μ' αυτόν τον τρόπο.

Έτσι ένα ποδήλατο μπορεί να γίνει ο νοητικός πρόδρομος μιας μοτοσικλέτας, όμως όχι ο φυσικός. Η Δαρβινική εξέλιξη απαιτεί φυσικούς προδρόμους.

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ

Μέχρι στιγμής έχουμε εξετάσει το ερώτημα για μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα ως μια πρόκληση προς την βήμα προς βήμα εξέλιξη. Όμως υπάρχει μια άλλη δυσκολία για το Δαρβίνο. Η προηγούμενη μου λίστα για παράγοντες που κάνουν μια ποντικοπαγίδα μη αναγώγιμα περίπλοκη ήταν στην πραγματικότητα πολύ γενναιόδωρη, γιατί μια οποιαδήποτε συσκευή με πέντε εξαρτήματα όπως η συνήθης ποντικοπαγίδα θα αποτύχει να δουλέψει. Αν η βάση είναι φτιαγμένη από χαρτί, για παράδειγμα, η παγίδα θα καταρρεύσει. Αν το σφυρί είναι πολύ βαρύ θα σπάσει το ελατήριο. Αν το ελατήριο είναι πολύ «μαλακό», δε θα μετακινήσει το σφυρί. Αν η ράβδος συγκράτησης είναι πολύ κοντή, δε θα φτάνει μέχρι το μάνταλο. Αν το μάνταλο είναι πολύ μεγάλο, δε θα ελευθερώνει το ελατήριο την κατάλληλη στιγμή. Μια απλή λίστα από τα εξαρτήματα της ποντικοπαγίδας είναι αναγκαία, αλλά όχι επαρκής για να μας δώσει μια λειτουργική ποντικοπαγίδα.

Για να μπορεί ένα σύστημα να είναι υποψήφιο για τη φυσική επιλογή θα πρέπει να έχει μια *ελάχιστη λειτουργικότητα*: την ικανότητα να πετυχαίνει ένα έργο μέσα σε φυσικά ρεαλιστικές συνθήκες. Μια ποντικοπαγίδα που είναι φτιαγμένη από ακατάλληλα υλικά δε θα μπορέσει να καλύψει το κριτήριο της ελάχιστης λειτουργικότητας, αλλά ούτε και περίπλοκες μηχανές που κάνουν αυτό που υποτίθεται ότι κάνουν έχουν πάντα χρησιμότητα. Για να το δώσουμε εικονικά, ας υποθέσουμε ότι η πρώτη εξωλέμβιος μηχανή του κόσμου είχε σχεδιαστεί και είχε προωθηθεί για το εμπόριο. Ο κινητήρας λειτουργούσε ομαλά—όμως ο έλικας περιστρεφόταν με μόνο μία περιστροφή την ώρα. Αυτό θα ήταν ένα εντυπωσιακό τεχνολογικό επίτευγμα· γιατί το να καίμε απλώς τη βενζίνη σε ένα τενεκεδοκούτι δίπλα στον έλικα δεν τον περιστρέφει καθόλου. Όμως παρόλα αυτά, πολύ λίγοι άνθρωποι θα αγόραζαν αυτή τη μηχανή γιατί δεν πετυχαίνει να λειτουργεί σε ένα επίπεδο κατάλληλο για το σκοπό του.

Η απόδοση μπορεί να είναι ακατάλληλη για έναν από δύο λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι ότι η μηχανή δεν μας κάνει τη δουλειά. Ένα ζευγαράκι που ψαρεύει στη μέση μιας λίμνης σε μια βάρκα με τον πολύ αργό έλικα δε θα έφτανε ποτέ στο μόλο: τα τυχαία ρεύματα του νερού και ο άνεμος θα έβγαζαν τη βάρκα τους από την πορεία της. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι η απόδοση είναι ακατάλληλη αν δεν είναι τόσοση όσο θα πετυχαίναμε με απλούστερα μέσα. Κανένας δε θα χρησιμοποιούσε έναν άχρηστο κινητήρα αν μπορούσε να το πετύχει το ίδιο καλά ή καλύτερα με ένα πανί.

Αντίθετα με την μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα (όπου μπορούμε να απαριθμήσουμε τα διακριτά τμήματα), η ελάχιστη λειτουργικότητα είναι μερικές φορές δύσκολο να την ορίσουμε. Αν μια περιστροφή την ώρα είναι ανεπαρκής για έναν εξωλέμβιο κινητήρα, τι μπορούμε να πούμε για εκατό; Ή για χίλιες; Παρόλα αυτά η ελάχιστη λειτουργικότητα είναι κρίσιμη για την εξέλιξη των βιολογικών δομών. Για παράδειγμα ποια είναι η ελάχιστη ποσότητα της υδροκινόνης που θα γευτεί ένας θηρευτής; Πόσο μεγάλη θα πρέπει να είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του διαλύματος για να την προσέξει; Αν ο θηρευτής δεν μπορεί να προσέχει λίγη υδροκινόνη ή μια μικρή αλλαγή στη θερμοκρασία, τότε η ιστορία τύπου Dawkins για την εξέλιξη του σκαθαριού βομβαρδιστή μπορεί να μπει στην ίδια κατηγορία με το παραμύθι για την αγελάδα που πήδησε πάνω από το φεγγάρι. Τα μη αναγώγιμα περίπλοκα συστήματα είναι βρώμικα εμπόδια για τη Δαρβινική εξέλιξη· η ανάγκη για μια ελάχιστη λειτουργικότητα κάνει το πρόβλημα πολύ χειρότερο.

Η βιοχημεία έχει δείξει ότι οποιαδήποτε βιολογική συσκευή που περιλαμβάνει πάνω από ένα κύτταρο (όπως είναι τα όργανα ή οι ιστοί) είναι αναγκαία ένα περίπλοκο δίκτυο από πολλά διαφορετικά συστήματα που μπορούν να ταυτοποιηθούν και το κάθε σύστημα έχει μια τρομαχτική πολυπλοκότητα. Το «απλούστερο» αυτόνομο, και αναπαραγόμενο κύτταρο έχει την ικανότητα να παράγει χιλιάδες διαφορετικές πρωτεΐνες και άλλα μόρια σε διαφορετικούς χρόνους και κάτω από ποικίλες συνθήκες. Η σύνθεση, η αποδόμηση, η παραγωγή ενέργειας, η αναπαραγωγή, η συντήρηση της αρχιτεκτονικής του κυττάρου, η κινητικότητα, η ρύθμιση, η επιδιόρθωση, η επικοινωνία — όλες αυτές οι λειτουργίες λαμβάνουν χώρα σχεδόν σε κάθε κύτταρο και κάθε λειτουργία η ίδια απαιτεί την αλληλεπίδραση πολυάριθμων μερών. Επειδή κάθε κύτταρο είναι ένα διαπλεκόμενο δίκτυο από συστήματα, θα επαναλάβουμε το σφάλμα του Francis Hitching αν αναρωτηθούμε αν μπορούν οι πολυκύτταρες δομές να έχουν εξελιχθεί βήμα προς βήμα με Δαρβινικό τρόπο. Αυτό δε θα ήταν σα να ρωτάμε αν ένα ποδήλατο θα μπορούσε να εξελιχθεί σε μοτοσικλέτα, αλλά αν ένα εργοστάσιο ποδηλάτων θα μπορούσε να εξελιχθεί σε εργοστάσιο μοτοσικλετών! Η εξέλιξη δε λαμβάνει χώρα στο επίπεδο του εργοστασίου· λαμβάνει χώρα στο επίπεδο των μπουλονιών και των παξιμαδιών.

Τα επιχειρήματα των Dawkins και Hitching αποτυγχάνουν γιατί αυτοί δε συζητάνε τίποτε για του τι περιέχεται στα συστήματα για τα οποία τσακώνονται. Δεν είναι μόνο το μάτι κάτι το εξαιρετικά περίπλοκο, αλλά και το φωτοευαίσθητο σημείο με το οποίο ξεκινά ο Dawkins είναι και αυτό ένα πολυκύτταρο όργανο, του οποίου τα κύτταρα κάνουν την πολυπλοκότητα μιας μοτοσικλέτας ή μιας τηλεόρασης να ωχριούν. Όχι μόνο ο αμυντικός μηχανισμός του σκαθαριού βομβαρδιστή εξαρτώνται από έναν αριθμό αλληλεπιδρώντων στοιχείων, αλλά και τα κύτταρα που παράγουν την υδροκινόνη και το υπεροξείδιο του υδρογόνου, εξαρτώνται από ένα πολύ μεγάλο αριθμό συνιστωσών για να μπορέσουν να λειτουργήσουν· τα κύτταρα που εκκρίνουν την καταλάση είναι πολύ περίπλοκα· και ο σφιγκτήρας μυς που χωρίζει την κύστη συλλογής από το θάλαμο έκρηξης είναι ένα σύστημα από συστήματα. Εξαιτίας όλων αυτών τα επιχειρήματα του Hitching για την καταπληχτική πολυπλοκότητα του σκαθαριού βομβαρδιστή εύκολα αποδεικνύονται άσχετα, και οι απαντήσεις του Dawkins μας ικανοποιούν μόνο μέχρι το σημείο που ζητάμε περισσότερο βάθος.

Σε αντίθεση με τα βιολογικά όργανα, η ανάλυση των απλών μηχανικών αντικειμένων είναι σχετικά απλή υπόθεση. Δείξαμε σχετικά γρήγορα, ότι η ποντικοπαγίδα είναι μη αναγνώσιμα περίπλοκη, και ότι μπορούμε να συμπεράνουμε, αυτό που ήδη γνωρίζουμε — ότι η ποντικοπαγίδα θα πρέπει να κατασκευαστεί ολόκληρη ως ένα σύστημα που λειτουργεί. Γνωρίζουμε ότι μια μοτοσικλέτα δεν παράχθηκε ασυνείδητα από μικρές, διαδοχικές καλύτερεώσεις ενός ποδηλάτου, και μια γρήγορη ανάλυση μας δείχνει ότι είναι αδύνατο να είναι έτσι. Τα μηχανικά αντικείμενα δεν μπορούν να αναπαραχθούν και να μεταλλάσσονται όπως τα βιολογικά συστήματα, αλλά με το να υποθέσουμε συγκρίσιμα γεγονότα σε ένα φανταστικό εργοστάσιο μας δείχνει ότι η μετάλλαξη και η αναπαραγωγή δεν είναι τα κύρια εμπόδια στην εξέλιξη των μηχανικών αντικειμένων. Είναι οι απαιτήσεις για τη σχέση δομής – λειτουργίας που είναι το εμπόδιο σε μια εξέλιξη με το Δαρβινικό στυλ.

Οι μηχανές είναι σχετικά εύκολο να αναλυθούν γιατί και οι λειτουργίες τους και τα άλλα μέρη τους, κάθε παξιμάδι και μπουλόνι, είναι γνωστά και μπορούμε να τα καταγράψουμε. Τότε είναι απλό να δούμε αν ένα δεδομένο εξάρτημα απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος. Αν το σύστημα απαιτεί αρκετά καλά ταιριασμένα εξαρτήματα για να λειτουργήσει τότε είναι μη αναγώγιμο πολύπλοκο, και μπορούμε να συμπεράνουμε ότι παράχθηκε ως μια ολοκληρωμένη ενότητα. Κατ' αρχή τα βιολογικά συστήματα μπορούν να αναλυθούν μ' αυτόν τον τρόπο, αλλά αυτό μπορεί να συμβεί αν μπορούμε να απαριθμήσουμε τα τμήματα του συστήματος και να αναγνωρίσουμε τη λειτουργία του κάθε ενός.

Στις λίγες δεκαετίες που πέρασαν, η βιοχημεία μας έχει ξεκαθαρίσει όλα ή μερικά από τα συστατικά σε αρκετά βιοχημικά συστήματα. Στα πέντε επόμενα κεφάλαια θα συζητήσω μερικά απ' αυτά. Στο 3^ο κεφάλαιο θα κοιτάξω σε μια πολύ ενδιαφέρουσα δομή που ονομάζεται «μαστίγιο», που χρησιμοποιούν μερικά κύτταρα για να κολυπήσουν. Στο επόμενο κεφάλαιο θα συζητήσω τι συμβαίνει όταν κόβεις το δάχτυλο σου — και πως το πήξιμο του αίματος που φαίνεται να είναι κάτι το απλό είναι εξαιρετικά περίπλοκο. Μετά από αυτό θα συζητήσω για το πώς τα κύτταρα μεταφέρουν υλικά από το ένα υποκυτταρικό τμήμα σε ένα άλλο, και συναντάνε στην παράδοση των δεμάτων προβλήματα παρόμοια με αυτά που συναντά μια εταιρεία κούριερ όπως η Federal Express. Στο κεφάλαιο 6 θα συζητήσω την τέχνη της αυτοάμυνας— βέβαια στο κυτταρικό επίπεδο. Το τελικό μου βιοχημικό παράδειγμα θα είναι στο κεφάλαιο 7, όπου θα κοιτάξω στο πολύπλοκο και λεπτό σύστημα που απαιτεί το κύτταρο για να κάνει ένα από τα «δομικά του υλικά». Σε κάθε κεφάλαιο θα διερευνήσω αν το κάθε σύστημα που συζητάμε θα μπορούσε να αναπτυχθεί σταδιακά με ένα Δαρβινικό τρόπο, καθώς επίσης και τι μας λέει η επιστημονική κοινότητα για την πιθανή εξέλιξη των συστημάτων.

Έχω προσπαθήσει να κρατήσω αυτά τα πέντε κεφάλαια «παραδείγματα» όσο το δυνατό πιο αναγνώσιμα και ευχάριστα γίνεται. Δε συζητώ καμία εσωτερική έννοια που να είναι κάτι το ιδιαίτερο της βιοχημείας—όχι τίποτε πιο δύσκολο από την ιδέα του «κολλώ σε» και του «κόβω». Εντούτοις όπως σημείωσα στον πρόλογο, για να εκτιμήσει κανείς την πολυπλοκότητα πρέπει να έχει μια μικρή εμπειρία της. Τα συστήματα που συζητώ είναι πολύπλοκα γιατί περιέχουν πολλά συστατικά. Όμως στο τέλος του βιβλίου δε σας περιμένουν εξετάσεις. Οι λεπτομερείς περιγραφές έχουν το μόνο σκοπό να σου δώσουν μια εκτίμηση της πολυπλοκότητας του συστήματος, ούτε να ελέγξουν τη μνήμη σου. Μερικοί αναγνώστες ίσως να επιθυμούν να τα μελετήσουν βαθιά όλα, άλλοι ίσως θέλουν να τα περάσουν επιφανειακά και να κοιτάξουν προς τα πίσω όταν είναι έτοιμοι για να δεχτούν περισσότερες λεπτομέρειες. Ζητώ εκ των προτέρων συγγνώμη για την πολυπλοκότητα του υλικού, αλλά είναι έμφυτη για το σημείο που θέλω να κάνω. Ο Richard Dawkins μπορεί να απλοποιεί αυτά που έχει στην καρδιά του, γιατί θέλει να πείθει τους αναγνώστες του ότι η Δαρβινική εξέλιξη είναι κάτι το ευχάριστο. Για να καταλάβουμε όμως τα εμπόδια στην εξέλιξη θα πρέπει να δαγκώσουμε τη σφαίρα της πολυπλοκότητας.

ΕΞΕΤΑΖΟΝΤΑΣ ΤΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΜΑΥΡΟΥ ΚΟΥΤΙΟΥ

Κεφάλαιο 3

ROW, ROW, ROW YOUR BOAT

ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ

Όσο παράξενο και να φαίνεται, η σύγχρονη βιοχημεία έχει δείξει ότι το κύτταρο λειτουργεί με μηχανές — που είναι μοριακές μηχανές. Όπως τις αντίστοιχες που κατασκευάζει ο άνθρωπος (όπως ποντικοπαγίδες, ποδήλατα και διαστημόπλοια), οι μοριακές μηχανές ποικίλουν από απλές μέχρι τρομερά περίπλοκες: μηχανικές, μηχανές που παράγουν δύναμη, όπως αυτές που υπάρχουν μύες· ηλεκτρονικές μηχανές όπως αυτές που υπάρχουν στα νεύρα, μηχανές που παίρνουν την ισχύ τους από τον ήλιο, όπως αυτές της φωτοσύνθεσης. Βέβαια, οι μοριακές μηχανές κυρίως κατασκευάζονται από πρωτεΐνες, όχι από μέταλλα και πλαστικό. Σ' αυτό το κεφάλαιο θα συζητήσω κυρίως μηχανές που επιτρέπουν στα κύτταρα να κολυμπούν, και θα δείτε τι χρειάζεται για να το καταφέρνουν.

Πρώτα απ' όλα μερικές απαραίτητες λεπτομέρειες. Για να κατανοήσουμε τη μοριακή βάση της ζωής, ένας θα πρέπει να έχει κάποια ιδέα για το πώς λειτουργούν οι πρωτεΐνες. Αυτός που θέλει να γνωρίσει όλες τις λεπτομέρειες — πως είναι κατασκευασμένες οι πρωτεΐνες, πώς οι δομές τους επιτρέπουν να λειτουργούν τόσο αποτελεσματικά, και ούτω καθεξής — θα είναι καλό να δανειστεί ένα εισαγωγικό βιβλίο βιοχημείας από τη βιβλιοθήκη. Γι' αυτούς που θέλουν να μάθουν μερικές λεπτομέρειες — όπως με τι μοιάζουν τα αμινοξέα, ποια είναι τα επίπεδα της πρωτεϊνικής δομής — έχω συμπεριλάβει ένα παράρτημα όπου γίνεται μια συζήτηση για τις πρωτεΐνες και τα νουκλεϊνικά οξέα. Για το παρόν, όμως, αρκεί μια επισκόπηση αυτών των αξιοσημείωτων βιοχημικών μορίων.

Οι πιο πολλοί άνθρωποι σκέφτονται όταν ακούν τη λέξη πρωτεΐνες κάτι που τρώμε. Όμως στο σώμα ενός ζωντανού ζώου ή φυτού, παίζουν πολύ ενεργούς ρόλους. Οι πρωτεΐνες είναι οι μηχανές που βρίσκονται στους ζωντανούς ιστούς και οικοδομούν τις δομές και εκτελούν τις χημικές αντιδράσεις που είναι απαραίτητες για τη ζωή. Για παράδειγμα, το πρώτο βήμα για να δεσμεύσουν την ενέργεια στα σάκχαρα και να τη μετατρέψουν σε μια μορφή που θα μπορέσει να χρησιμοποιήσει το σώμα, εκτελείται από μια καταλυτική πρωτεΐνη (που είναι γνωστή και ως ένζυμο) που ονομάζεται εξωκινάση· το δέρμα είναι φτιαγμένο κυρίως από μία πρωτεΐνη που ονομάζεται κολλαγόνο· και όταν το φως πέφτει στον αμφιβληστροειδή σου, η πρωτεΐνη που ονομάζεται ροδοψίνη ξεκινά τη διαδικασία της όρασης. Μπορείς να δεις απ' αυτόν τον περιορισμένο αριθμό παραδειγμάτων ότι οι πρωτεΐνες είναι εξαιρετικά ευέλικτες. Παρόλα αυτά, μια δεδομένη πρωτεΐνη έχει μόνο μία ή λίγες χρήσεις: η ροδοψίνη δεν μπορεί να δημιουργήσει δέρμα και το κολλαγόνο δεν μπορεί να αλληλεπιδράσει κατά ένα χρήσιμο τρόπο με το φως. Έτσι ένα συνηθισμένο κύτταρο περιλαμβάνει χιλιάδες και χιλιάδες από διαφορετικά είδη πρωτεϊνών για να μπορέσουν να εκτελεστούν τα διάφορα φαινόμενα της ζωής.

Οι πρωτεΐνες σχηματίζονται χημικά με το να συνδέονται μεταξύ τους τα αμινοξέα σε αλυσίδες. Μια τυπική πρωτεϊνική αλυσίδα αποτελείται από πενήντα μέχρι περίπου χίλιους συνδέσμους αμινοξέων. Κάθε θέση στην αλυσίδα καταλαμβάνεται από ένα από τα είκοσι διαφορετικά αμινοξέα. Στον τρόπο σύνθεσης μας θυμίζουν τις λέξεις η κάθε μία έχει διάφορα μήκη, όμως όλες φτιάχνονται από ένα σύνολο από 24 μόνο γράμματα. Πράγματα οι βιοχημικοί πολλές φορές οι βιοχημικοί αναφέρονται για τις πρωτεΐνες με συντομεύσεις με ένα μόνο γράμμα — G για τη γλυκίνη, S για τη σερίνη, H για την ιστιδίνη και ούτω καθεξής. Κάθε διαφορετικό είδος αμινοξέος έχει διαφορετικό σχήμα και διαφορετικές χημικές ιδιότητες. Για παράδειγμα, το W είναι μεγάλο ενώ το A είναι μικρό, το R έχει θετικό φορτίο όμως το E έχει ένα αρνητικό φορτίο, το S προτιμά να διαλύεται στο νερό όμως το I προτιμά το λάδι και ούτω καθεξής.

Όταν σκέφτεσαι για μια αλυσίδα, πιθανόν να σκέφτεσαι για κάτι το πολύ ευλύγιστο, κάτι που γενικά δεν έχει ένα συγκεκριμένο σχήμα.. Όμως οι αλυσίδες των αμινοξέων — που με μια λέξη

λέγονται πρωτεΐνες— δεν είναι έτσι. Οι πρωτεΐνες που εργάζονται στα κύτταρα διπλώνονται και αποκτούν μια πολύ συγκεκριμένη δομή, και οι δομές είναι πολύ διαφορετικές στους διάφορους τύπους πρωτεϊνών. Το δίπλωμα γίνεται αυτόματα, όταν, για παράδειγμα, ένα θετικά φορτισμένο αμινοξύ έλκει ένα αρνητικά φορτισμένο, τα ελαιοφιλά μαζεύονται για να αποκλείσουν το νερό, τα μεγάλα αμινοξέα διώχνονται από τους στενούς χώρους, και ούτω καθεξής. Δύο διαφορετικές ακολουθίες αμινοξέων (δηλαδή δύο διαφορετικές πρωτεΐνες) μπορούν να διπλωθούν και να αποκτήσουν δομές τόσο εξειδικευμένες και διαφορετικές η μία από την άλλη όπως ένα γαλλικό κλειδί και ένα πριόνι.

Είναι το σχήμα μιας διπλωμένης πρωτεΐνης και η ακριβής τοποθέτηση των διαφόρων ειδών από ομάδες αμινοξέων που επιτρέπουν τη λειτουργία μιας πρωτεΐνης (εικόνα 3-1). Για παράδειγμα αν η δουλειά μιας πρωτεΐνης είναι να συνδέεται ειδικά με μια δεύτερη, τότε τα δύο σχήματα θα πρέπει να ταιριάζουν όπως το γάντι με το χέρι. Αν υπάρχει ένα θετικά φορτισμένο αμινοξύ στην πρώτη πρωτεΐνη, τότε θα είναι καλύτερα η δεύτερη πρωτεΐνη να έχει ένα αρνητικά φορτισμένο αμινοξύ, αλλιώς δε θα κολλούσαν μαζί. Αν η δουλειά μιας πρωτεΐνης είναι να καταλύει μια ορισμένη χημική αντίδραση τότε το σχήμα του ένζυμου γενικά ταιριάζει με το σχήμα της χημικής ουσίας που είναι ο στόχος της. Όταν συνδέεται, το ένζυμο έχει αμινοξέα που τοποθετούνται με ακρίβεια για να προκαλέσουν μια χημική αντίδραση. Αν έχει παραμορφωθεί το σχήμα ενός γαλλικού κλειδιού ή ενός πριονιού, τότε το εργαλείο δεν μπορεί να χρησιμεύσει. Παρόμοια, αν χαλάσει το σχήμα μιας πρωτεΐνης τότε δεν μπορεί να κάνει τη δουλειά της.

Η σύγχρονη βιοχημεία έχει ξεκινήσει από τη δεκαετία του πενήντα, όταν η επιστήμη άρχισε να μαθαίνει με τι μοιάζουν οι πρωτεΐνες. Από τότε έχουν γίνει μεγάλα βήματα στο να κατανοηθεί ακριβώς πως οι ειδικές πρωτεΐνες εκτελούν τα ιδιαίτερα τους καθήκοντα. Γενικά, η λειτουργία του κυττάρου απαιτεί ομάδες πρωτεϊνών, που κάθε μέλος της ομάδας να κάνει ακριβώς ένα μέρος από το όλο έργο. Για να μείνουν τα πράγματα όσον το δυνατό πιο απλά, σ' αυτό το βιβλίο θα επικεντρωθώ σε ομάδες πρωτεϊνών. Τώρα είναι ώρα να πάμε για κολύμπι.

ΚΟΛΥΜΠΙ

Υπόθεσε ότι κάποια καλοκαιρινή μέρα, πηγαίνεις στην πισίνα της περιοχής σου για να κάνεις γυμναστική. Αφού βρίσκεις έναν πάγκο, ξαπλώνεις στην πετσέτα σου και διαβάζεις το τελευταίο τεύχος του Nucleic Acids Research και περιμένεις να αρχίσει η περίοδος για κολύμβηση των ενηλίκων. Όταν επιτέλους σφυρίξει ο υπεύθυνος, βγαίνει από την πισίνα το πλήθος των παιδιών, κι εσύ βουτάς προσεχτικά το πόδι σου. Σιγά-σιγά και με πολύ δισταγμό, νιώθεις ότι το νερό είναι πολύ παγωμένο. Επειδή δεν το νιώθεις πολύ αξιοπρεπές, δεν κάνεις βουτιές σαν κανονόμπαλα ούτε επιδεικτικές καταδύσεις από την εξέδρα καταδύσεων, ούτε παίζεις βόλεϊ με τους νεότερους σου. Αντί γι' αυτά αρχίζεις να κάνεις απλωτές.

Σπρώχνοντας προ τη μια πλευρά, φέρεις το δεξί σου χέρι πάνω απ' το κεφάλι σου και το βυθίζεις στο νερό κάνοντας μια περιστροφή. Κατά την περιστροφή και το βύθισμα στο νερό, διάφορες ωθήσεις νεύρων κινούνται από τον εγκέφαλο σου στους μύες του βραχίονα σου και τους διεγείρουν να συστέλλονται σε μια ορισμένη σειρά. Οι συστέλλόμενοι μύες τραβούν τα κόκαλα σου, κάνοντας το βραχιόνιο οστό να σηκωθεί και να περιστραφεί. Την ίδια στιγμή άλλοι μύες σφίγγουν τα κόκαλα στα δάχτυλα σου έτσι που η παλάμη σου να πάρει το σχήμα ενός κύπελου. Οι διαδοχικές νευρικές ωθήσεις προκαλούν άλλους μύες να χαλαρώνουν και άλλους να συστέλλονται τραβώντας με διάφορους τρόπους την κερκίδα και την ωλένη, και κατευθύνοντας το χέρι να κινηθεί προς τα κάτω μέσα στο νερό. Η δύναμη του βραχίονα και της παλάμης που ασκείται στο νερό σε προωθεί με την ίση και αντίθετη αντίδραση που ασκεί το νερό, προς τα μπρος.

Μετά που έχεις συμπληρώσει τις μισές από τις παραπάνω ενέργειες, αρχίζει ένας όμοιος κύκλος, αυτή τη φορά με τα κόκαλα και τους μύες του αριστερού χεριού. Ταυτόχρονα, άλλες νευρικές ωθήσεις ταξιδεύουν προς τους μύες των ποδιών σου, και τους προκαλούν να συστέλλονται και να χαλαρώνουν ρυθμικά, τραβώντας τα κόκαλα των ποδιών πάνω και κάτω. Καθώς διασχίζεις το νε-

ρό με μια καταπληκτική ταχύτητα τριών χιλιομέτρων την ώρα, αρχίζεις να παρατηρείς ότι σου είναι δύσκολο να σκεφτείς· υπάρχει μια αίσθηση καψίματος στους πνεύμονες σου· και αν και στα μάτια σου είναι ανοιχτά, γύρω σου αρχίζουν τα πράγματα να σκοτεινιάζουν. Αχ ναι — ξέχασες να πάρεις αναπνοή. Λένε ότι ο πρόεδρος Φορντ δε μπορούσε ταυτόχρονα να περπατάει και να μασάει μαστίχα· ενώ εσύ βρίσκεις δύσκολο να συνδυάσεις το να στρέφεις το κεφάλι σου προς την επιφάνεια του νερού και πίσω ξανά με τις άλλες κινήσεις που απαιτούνται για το κολύμπι. Χωρίς οξυγόνο για να μεταβολίσει καύσιμο ο εγκέφαλος σου αρχίζει να κλείνει, εμποδίζοντας τις νευρικές ωθήσεις που κινούνται προς τα μακρινά μέρη του σώματος.

Πριν να λιποθυμήσεις και να έχεις την ταπείνωση να σε σώσει ένας ναυαγοσώστης της γενιάς Χ, σταματάς, στέκεσαι μέσα στο νερό που έχει βάθος ένα και είκοσι, και βλέπεις ότι απέχεις περίπου έξη μέτρα από την πλευρά. Για να αποφύγεις το πρόβλημα της αναπνοής αποφασίζεις να κολυμπήσεις ανάσκελα. Τα κολύμπι ανάσκελα περιλαμβάνει τους περισσότερους από τους ίδιους μύες που χρησιμοποιούνται στο ελεύθερο κολύμπι, και σου επιτρέπει να αναπνέεις χωρίς να έχει την ανάγκη να συνδυάζεις του μύες του λαιμού με όλους τους άλλους. Όμως δεν μπορείς να δεις που πηγαίνεις. Τελικά φεύγεις από την πορεία σου, κι έρχεσαι πολύ κοντά στον αγώνα βόλεϊ, που το καταλαβαίνεις καθώς σου έρχεται μια μπαλιά από μια λάθος καρφωτή.

Για να φύγεις μακριά από τους βολεϊμπολίστες που σου ζητάνε συγγνώμη, αποφασίζεις να «κάνεις ποδήλατο» στην βαθιά άκρη της πισίνας. Για να κάνεις ποδήλατο χρησιμοποιείς τους μύες των ποδιών, κι έτσι κάνεις την εξάσκηση που χρειάζεσαι. Σου επιτρέπει επίσης να έχεις εύκολη αναπνοή και να βλέπεις καθαρά γύρω σου. Όμως μετά από λίγα λεπτά τα πόδια σου αρχίζουν να έχουν κράμπες. Βαθιά μέσα στα αγύμναστα άκρα σου, χωρίς να το γνωρίζεις, οι μύες που τους χρησιμοποιείς σπάνια, κρατούν διαθέσιμο τόσο καύσιμο που μπορούν να διαρκέσουν μόνο για σύντομες εκρήξεις δραστηριότητας. Οι νευρικές ωθήσεις προσπαθούν με φρενιτιώδη τρόπο να προκαλέσουν τις κινήσεις που είναι αναγκαίες για το κολύμπι, αλλά με τη δυσλειτουργία των μυών, τα πόδια σου είναι τόσο άχρηστα όσο μια ποντικοπαγίδα με σπασμένο ελατήριο.

Χαλαρώνεις και παραμένεις ακίνητος. Ευτυχώς, μια μεγάλη περιοχή του σώματος σου γύρω από τη μέση σου έχει πυκνότητα μικρότερη από το νερό κι έτσι επιπλέεις. Μετά από ένα με δύο λεπτά που μένεις σαν φελλός στο νερό, χαλαρώνουν οι μύες σου. Ξοδεύεις την υπόλοιπη ώρα για το κολύμπι των ενηλίκων πλέοντας ήσυχα γύρω στο βαθύ μέρος της πισίνας. Αυτό βέβαια δε σου δίνει και πολύ άσκηση, όμως το ευχαριστιέσαι — μέχρις ότου ακούγεται η σφυρίχτρα και τότε σε βομβαρδίζουν ανελέητα οι κανονόμπαλες των παιδιών.

ΤΙ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ

Το σενάριο της πισίνας της γειτονιάς μας δίνει παραστατικά τις απαιτήσεις για την κολύμβηση. Μας δείχνει επίσης, ότι η αποτελεσματικότητα μπορεί να αυξηθεί αν προσθέσουμε βοηθητικά συστήματα στη βασικά εφόδια της κολύμβησης. Αν κάνουμε την τελευταία σκηνή πρώτη, η επίπλευση απαιτεί μόνο το σώμα να είναι σε σύνολο λιγότερο πυκνό από το νερό, δεν χρειάζεται κάποια δραστηριότητα. Η ικανότητα να επιπλέει — να μένει ένα μέρος του αντικειμένου πάνω από την επιφάνεια του νερού χωρίς καμιά ενεργό προσπάθεια — μπορεί σίγουρα να είναι χρήσιμη. Όμως επειδή το σώμα που επιπλέει απλά παρασύρεται από τα ρεύματα, το να επιπλέεις δεν είναι ισοδύναμο με το να κολυμπάς.

Επίσης είναι χρήσιμο για την κολύμβηση, να υπάρχει ένας ανιχνευτής κατεύθυνσης (όπως η όραση)· όμως δεν είναι κι' αυτή ισοδύναμη με την ικανότητα να κολυμπάς. Στην ιστορία μπορούσες να κολυμπήσεις ανάσκελα για λίγο και να προχωρήσεις μέσα στο νερό. Τελικά η ανικανότητα να καταλάβεις το περιβάλλον μπορεί να σε οδηγήσει σε ατυχήματα. Παρόλα αυτά, αν ένας μπορεί να κολυμπήσει βλέποντας, αλλά μπορεί να κολυμπήσει και όντας τυφλός.

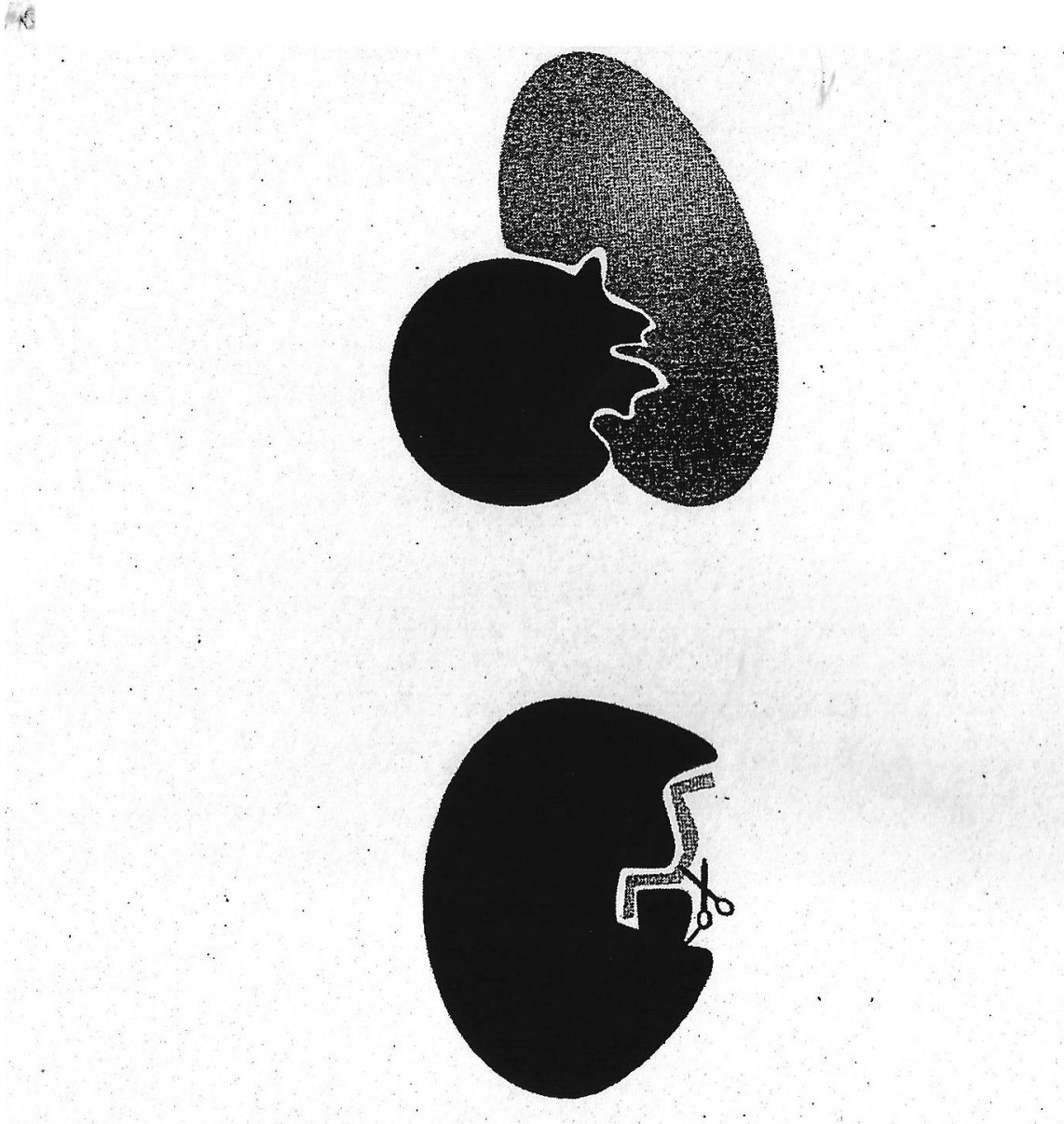
Η κολύμβηση προφανώς χρειάζεται ενέργεια· η μύες που έχουν πάθει κράμπα, είναι άχρηστοι και κάνουν το σύστημα να χαλάει. Όμως έχεις κινηθεί έξη μέτρα πριν εξαντληθεί το οξυγόνο, και με-

τά έκανες ποδήλατο για λίγη ώρα πριν πάθεις την κράμπα. Παρόλο που σίγουρα επηρεάζουν την απόσταση που μπορεί να διασχίσει ο κολυμβητής, το μέγεθος και η αποτελεσματικότητα των αποθεμάτων καυσίμων δεν είναι μέρος του συστήματος κολύμβησης.

Τώρα ας σκεφτούμε ποιες είναι οι μηχανικές απαιτήσεις για το κολύμπι. Χρησιμοποίησες τα χέρια σου και τα πόδια σου για να έρθεις σε επαφή και να σπρώξεις το νερό, που έτσι έσπρωξε το σώμα σου προς την αντίθετη κατεύθυνση. Χωρίς τα άκρα, ή κάποιο υποκατάστατο τους, θα ήταν αδύνατο να κολυμπήσεις. Έτσι μπορούμε να συμπεράνουμε ότι μια απαίτηση για να μπορέσει να

ΕΙΚΟΝΑ 3-1

(ΠΑΝΩ) ΟΤΑΝ ΚΑΝΟΥΝ ΔΥΟ ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΜΙΑ ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ, ΤΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΤΟΥΣ ΤΑΙΡΙΑΖΟΥΝ ΣΤΕΝΑ. (ΚΑΤΩ) ΓΙΑ ΝΑ ΕΝΕΡΓΗΣΕΙ ΕΝΑ ΕΝΖΥΜΟ ΩΣ ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ ΓΙΑ ΜΙΑ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΤΟΠΟΘΕΤΕΙ ΤΙΣ ΟΜΑΔΕΣ ΚΟΝΤΑ ΣΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΟΥΣΙΑ ΠΟΥ ΘΑ ΣΥΝΔΕΣΕΙ. ΤΟ ΨΑΛΙΔΙ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΕΙ ΟΜΑΔΕΣ ΣΤΗΝ ΠΡΩΤΕΪΝΗ ΠΟΥ ΘΑ ΚΟΨΟΥΝ ΜΕ ΧΗΜΙΚΑ ΜΕΣΑ ΕΝΑ ΟΡΙΣΜΕΝΟ ΜΟΡΙΟ, ΠΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΠΙΟ ΑΝΟΙΧΤΟΧΡΩΜΟ ΣΧΗΜΑ.



κολυμπήσει κανείς είναι να έχει στη διάθεση του ένα είδος κουπιού. Μια άλλη απαίτηση είναι ένας κινητήρας είναι μια πηγή ισχύος που να μπορέσει να έχει αρκετά καύσιμα για τουλάχιστο μερικούς κύκλους. Στο επίπεδο των ανθρώπινων οργάνων, ο κινητήρας είναι οι μύες των ποδιών

ή των χεριών που εναλλάξ συστέλλονται και χαλαρώνουν. Αν οι μύες παραλύσουν, τότε δεν υπάρχει κινητήρας που να μπορεί να κάνει κάτι, και είναι αδύνατο το κολύμπι. Η τελική απαίτηση είναι να υπάρχει ένας σύνδεσμος μεταξύ του κινητήρα και της επιφάνειας «κουπί»: στο χέρι είναι οι περιοχές των οστών πάνω στις οποίες προσκολλούνται οι μύες. Αν ένας μυς αποκολληθεί από το κόκαλο μπορεί να εξακολουθεί να συστέλλεται· επειδή όμως δεν μπορεί να κινήσει το κόκαλο, δεν έχουμε κολύμβηση.

Είναι εύκολο να βρούμε μηχανικά παραδείγματα για συστήματα κολύμβησης. Η μικρότερη μου κόρη έχει ένα κουρδιστό ψαράκι που κουνάει την ουρά, του κι έτσι αυτοπροωθείται — αν και αδέξια — μέσα στη μπανιέρα. Η ουρά του παιχνιδιού είναι η επιφάνεια του «κουπιού», το κουρδισμένο ελατήριο είναι η πηγή ενέργειας και μια συνδετική ράβδος μεταφέρει την ενέργεια. Αν λείπει ένα από τα συστατικά — το κουπί, ο κινητήρας, ή ο σύνδεσμος — τότε το ψάρι δεν μπορεί να πάει πουθενά. Όπως και μια ποντικοπαγίδα χωρίς ελατήριο, ένα σύστημα κολύμβησης χωρίς κουπί, κινητήρα ή σύνδεσμο είναι νεκρό. Επειδή για να λειτουργήσουν τα συστήματα κολύμβησης χρειάζονται αρκετά μέρη, είναι μη αναγώγιμα περίπλοκα.

Να θυμάσαι ότι συζητάμε μόνο για τα τμήματα που είναι κοινά σε όλα τα συστήματα κολύμβησης — ακόμη και τα πιο πρωτόγονα. Συχνά μπορούμε να δούμε επιπρόσθετη περιπλοκότητα. Για παράδειγμα, το ψαράκι της κόρης μου έχει, εκτός από την ουρά, το ελατήριο και τη συνδετική ράβδο, διάφορα γρανάζια που μεταδίδουν τη δύναμη από τη ράβδο στην ουρά. Ένα πλοίο που σπρώχνεται από έναν έλικα έχει πολλά είδη από γρανάζια και ράβδους που ανακατευθύνουν την ενέργεια του κινητήρα μέχρις ότου τελικά να καταλήξει στον έλικα. Ενώ το μάτι του κολυμβητή είναι κάτι χωριστό από το σύστημα κολύμβησης, αυτά τα έξτρα γρανάζια είναι μέρος του συστήματος — αν αφαιρεθούν τότε παραλύει ολόκληρο το σύστημα και σταματά. Όταν ένα πραγματικό σύστημα έχει περισσότερα από όσα είναι θεωρητικά τα ελάχιστα απαραίτητα, τότε θα πρέπει να ελέγξουμε αν αυτά τα επιπλέον μέρη απαιτούνται για να λειτουργήσει το όλο σύστημα.

ΤΙ ΑΛΛΟ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ

Αυτή η μικρή λίστα από τα τμήματα μας δείχνει ποιες είναι οι ελάχιστες απαιτήσεις. Στο τελευταίο κεφάλαιο συζητήσα πως θα μπορούσε μια ποντικοπαγίδα που έχει όλα τα απαραίτητα μέρη — το σφυρί, τη βάση, το ελατήριο, το μάνταλο, και τη ράβδο συγκράτησης — κι όμως να μην μπορεί να δουλέψει. Αν η ράβδος συγκράτησης είναι πολύ κοντή ή το ελατήριο πολύ ελαφρό, θα είχαμε μια αποτυχημένη παγίδα. Παρόμοια, τα μέρη του συστήματος κολύμβησης θα πρέπει να είναι ταιριασμένα το ένα στο άλλο για να έχουμε μια ελάχιστη λειτουργία. Το κουπί είναι απαραίτητο, όμως αν η επιφάνεια του είναι πολύ μικρή, η βάρκα δε θα κάνει το αναγκαίο προχώρημα μέσα σε ένα δεδομένο χρόνο. Αντίστοιχα, αν η επιφάνεια του κουπιού είναι πολύ μεγάλο, ίσως τότε η συνδετική ράβδος ή ο κινητήρας υποστούν μεγάλη καταπόνηση και να σπάσουν. Ο κινητήρας θα πρέπει να είναι αρκετά δυνατός για να κινήσει το κουπί. Θα πρέπει να ρυθμιστεί να προχωρά με την κατάλληλη ταχύτητα: αν είναι πολύ αργός, τότε ο κολυμβητής δεν προχωρά όσο χρειάζεται· αν είναι πολύ γρήγορος, τότε μπορεί να σπάσει είτε η συνδετική ράβδος είτε το ίδιο το κουπί.

Όμως ακόμη κι αν έχουμε τα σωστά τμήματα για ένα σύστημα κολύμβησης, κι αν ακόμη τα τμήματα έχουν το σωστό μέγεθος και δύναμη και είναι ταιριασμένα το ένα με το άλλο, υπάρχει ανάγκη για κάτι άλλο ακόμη. Οι επιπρόσθετες απαιτήσεις — η ανάγκη για να ελέγχεται ο χρονισμός και η κατεύθυνση των χτυπημάτων του κουπιού — αυτό είναι ευκολότερο να το δούμε στην περίπτωση του ανθρώπου κολυμβητή από ότι σε ένα τροχήλατο ποταμόπλοιο. Όταν κάποιος που δεν ξέρει να κολυμπά πέσει στο νερό, χτυπά απελπισμένα τα χέρια του και τα πόδια του, κι έτσι δεν προχωρά πουθενά, όπως θα γινόταν αν απλώς επέπλεε. Ακόμη και ένας αρχάριος κολυμβητής όπως τη μεγαλύτερη μου κόρη, που τώρα άρχισε να μαθαίνει τις κινήσεις, γρήγορα θα βυθιστεί αν δεν την κρατά ο μπαμπάς. Οι δικές της οι κινήσεις είναι επαρκείς, όμως δεν είναι συντονισμένες, δεν

μπορεί να διατηρήσει το σώμα της παράλληλο προς την επιφάνεια του νερού, και το κεφάλι της το κρατά έξω από το νερό.

Τα μηχανικά συστήματα δε φαίνεται να έχουν αυτά τα προβλήματα. Ένα πλοίο δε γυρνά άσκοπα τον έλικα του, και ένα τροχήλατο ποταμόπλοιο φαίνονται να έχουν ομαλές και ρυθμικές κινήσεις από τη στιγμή που ξεκινά. Όμως αυτό είναι ένα απατηλό επιχείρημα. Οι φαινομενικά εύκολες κινήσεις που γίνονται χωρίς πολύ προσπάθεια, είναι στην πραγματικότητα κρυμμένες μέσα στο σχήμα και στις συνδέσεις του τροχού, του κινητήρα και της μηχανής του πλοίου. Αν φανταστούμε ότι έχουμε ένα ατμόπλοιο στο οποίο ο τροχός του δεν είχε τα φτερά του ωραία ταχτοποιημένα στο κυκλικό πλαίσιο. Ας υποθέσουμε ότι τα φτερά είχαν διαφορετικές γωνίες, και ότι ο κινητήρας, μια έκανε κίνηση προς τα μπρος και μια προς τα πίσω και μετά έκανε κίνηση προς το πλάι. Τότε αντί να κάνει μια ωραία βόλτα στο Μισισσιππή, το ποταμόπλοιο απλώς θα επέπλεε αβοήθητο με σπασμωδικές κινήσεις και θα το παρέσερναν τα ρεύματα προς τον Κόλπο του Μεξικού. Ένας έλικας στον οποίο οι λάμες του θα ήταν σε τυχαίες γωνίες, απλώς θα ανακάτευε το νερό, αλλά δε θα προχωρούσε το πλοίο σε κάποια ορισμένη κατεύθυνση. Η φαινομενική ευκολία με την οποία κωπηλατεί ένα μηχανικό σύστημα—σε σύγκριση με έναν άνθρωπο που δεν ξέρει να κολυμπά—είναι μια ψευδαίσθηση. Ο μηχανικός που σχεδίασε το σύστημα, το «εκπαίδευσε» να κολυμπά, να σπρώχνει το νερό προς τη σωστή κατεύθυνση και με το σωστό χρονισμό.

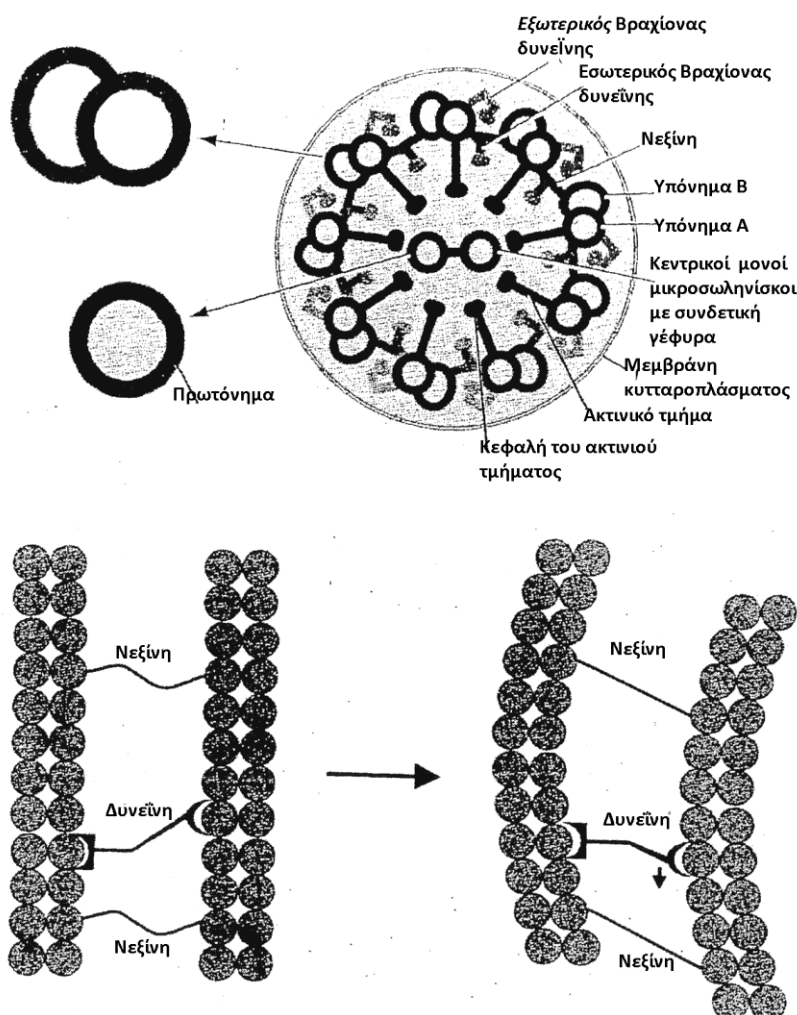
Στον ανελέητο κόσμο της φύσης, ένας οργανισμός που ξοδεύει ενέργεια για να χτυπιέται απελπισμένα στο νερό δεν έχει κανένα πλεονέκτημα σε σχέση με έναν οργανισμό που επιπλέει ειρηνικά

δίπλα του. Μπορούν να κολυμπάνε τα κύτταρα; Αν ναι, τι σύστημα χρησιμοποιούν; Μοιάζουν με το ποταμόπλοιο του Μισισσιππή, μη αναγκώγιμα περίπλοκα; Θα μπορούσαν να έχουν σταδιακά εξελιχθεί;

Ο ΚΡΟΣΣΟΣ (ΒΛΕΦΑΡΙΔΑ)
Μερικά κύτταρα κολυμπούν χρησιμοποιώντας έναν κροσσό (βλεφαρίδα). Ένας κροσσός είναι μια δομή που, αν το πούμε απλοϊκά, μοιάζει με τρίχα και χτυπά σαν μαστίγιο. Αν ένα κύτταρο είναι ελεύθερο να κινείται μέσα στο υγρό, ο κροσσός προωθεί το κύτταρο με παρόμοιο τρόπο με τον οποίο μια βάρκα προωθείται από το κουπί. Αν το κύτταρο είναι κολλημένο σε ένα φύλλο ανάμεσα σε άλλα κύτταρα, τότε ο κροσσός καθώς κινείται, μετακινεί το νε-

ΕΙΚΟΝΑ 3-2

(ΠΑΝΩ) ΔΙΑΤΟΜΗ ΕΝΟΣ ΚΡΟΣΣΟΥ ΠΟΥ ΔΕΧΝΕΙ ΤΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΣΥΝΕΝΩΜΕΝΟΥ ΔΙΠΛΟΥ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΩΛΗΝΙΣΚΟΥ, ΤΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΜΟΝΟΥ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΩΛΗΝΙΣΚΟΥ, ΤΙΣ ΣΥΝΔΕΤΙΚΕΣ ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΔΥΝΕΪΝΗΣ (ΚΑΤΩ) ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΠΟΥ ΕΠΑΓΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΥΝΕΪΝΗ ΠΟΥ "ΠΕΡΠΑΤΑ" ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΑΝΩ ΣΕ ΕΝΑ ΚΟΝΤΙΝΟ ΜΙΚΡΟΣΩΛΗΝΙΣΚΟ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΕΠΕΤΑΙ ΣΕ ΚΙΝΗΣΗ ΛΥΓΙΣΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΣΥΝΔΕΤΙΚΗΣ ΠΡΩΤΕΪΝΗΣ ΝΕΞΙΝΗΣ



ρό πάνω από την επιφάνεια του ακίνητου κυττάρου. Η φύση χρησιμοποιεί οι κροσσοί και για τους δύο σκοπούς. Για παράδειγμα, τα σπερματοζωάρια χρησιμοποιούν οι κροσσοί για να κολυμπούνε. Αντίθετα, τα ακίνητα κύτταρα που σχηματίζουν την επιφάνεια του αναπνευστικού σωλήνα (βρόγχου), το καθένα τους έχει από μερικές εκατοντάδες βλεφαρίδια. Ο πολύ μεγάλος αυτός αριθμός των κροσσών χτυπούνε συγχρονισμένα με ένα τρόπο που θυμίζει τους σκλάβους που κουνούσαν τα κουπιά σε μια Ρωμαϊκή γαλέρα, για να προωθήσουν τη βλέννα προς τα πάνω για να φύγει έξω. Η ενέργεια αυτή βγάζει μικρά ξένα αντικείμενα — όπως την αιθάλη — που έχει εισπνευστεί τυχαία και έχει κολλήσει πάνω στην βλεννώδη ουσία. Τα οπτικά μικροσκόπια είχαν αποκαλύψει σε μερικά κύτταρα τα λεπτές βλεφαρίδες, όμως για να ανακαλυφθούν οι λιλιπούτειες λεπτομέρειες έπρεπε να εμφανιστεί το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, που αποκάλυψε ότι ο κροσσός είναι μια αρκετά περίπλοκη δομή. Θα συζητήσω τη δομή του κροσσού στις επόμενες σελίδες. Ίσως οι πιο πολλοί αναγνώστες θα διευκολυνθούν για τη συζήτηση αν συμβουλευούνται συχνά την εικόνα 3-2

□ Ο κροσσός αποτελείται από μια μεμβράνη που είναι καλυμμένη με ίνες.³⁴ Η μεμβράνη των κροσσών (μπορείτε να τη σκεφτείτε σαν ένα είδος πλαστικού καλύμματος) είναι μια προέκταση της κυτταρικής μεμβράνης, έτσι λοιπόν, το εσωτερικό του κροσσού συνδέεται με το εσωτερικό του κυττάρου. Όταν τμηθεί εγκάρσια ένα βλεφαρίδιο και η άκρη της τομής εξεταστεί με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, θα δεις εννέα ραβδόμορφες δομές γύρω στην περιφέρεια. Οι ράβδοι ονομάζονται μικροσωληνίσκοι. Όταν εξεταστούν προσεχτικά υψηλής ποιότητας φωτογραφίες, τότε μπορεί να φανεί ότι ο κάθε ένας από τους εννέα μικροσωληνίσκους (microtubule) αποτελείται από δύο δακτυλίους που έχουν συνενωθεί. Μια πιο προσεχτική εξέταση δείχνει ότι ο ένας από τους δακτυλίους είναι κατασκευασμένος από δεκατρία ξεχωριστά νήματα. Ο εξωτερικός δακτύλιος, που είναι συνδεδεμένος με τον πρώτο, είναι κατασκευασμένος από δέκα νήματα. Συνοψίζοντας με συντομία, ο κάθε ένας από τους εννέα εξωτερικούς μικροσωληνίσκους του τριχιδίου είναι κατασκευασμένος από ένα δακτύλιο που αποτελείται από δέκα νήματα και συνδεδεμένος με ένα δακτύλιο από δεκατρία νήματα.

Τα βιοχημικά πειράματα έδειξαν ότι οι μικροσωληνίσκοι είναι κατασκευασμένοι από μία πρωτεΐνη που ονομάζεται τουμπουλίνη (tubulin). Σε ένα κύτταρο τα μόρια της τουμπουλίνης συνδέονται μεταξύ τους όπως τα τούβλα που σχηματίζουν μια κυλινδρική καμινάδα. Κάθε μία από τις εξωτερικές ράβδους είναι ένας μικροσωληνίσκος που μας θυμίζει μία ενωμένη διπλή καμινάδα με τούβλα από τουμπουλίνη. Οι εικόνες που μας έδωσε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο μας δείχνουν επίσης δύο ράβδους στο μέσο του κροσσού. Κι αυτές επίσης είναι μικροσωληνίσκοι. Αντί όμως να είναι διπλές καμινάδες, αυτές είναι ατομικές καμινάδες και η κάθε μια τους σχηματίζεται από δεκατρία νήματα τουμπουλίνης.

Όταν έχουμε τις σωστές συνθήκες μέσα στο κύτταρο (για παράδειγμα, όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται ανάμεσα σε κάποια όρια και όταν υπάρχει η σωστή συγκέντρωση του ασβεστίου), οι τουμπουλίνες — τα «τούβλα» από τα οποία κατασκευάζονται οι καμινάδες — αυτόματα μαζεύονται και σχηματίζουν μικροσωληνίσκους. Οι δυνάμεις που συγκεντρώνουν τις τουμπουλίνες μας θυμίζουν τις δυνάμεις που δρουν σε ένα χωριστό μόριο πρωτεΐνης και του δίνουν ένα συμπαγές σχήμα: τα θετικά φορτία έλκουν τα αρνητικά φορτία, τα λιποδιαλυτά αμινοξέα συνωστίζονται μεταξύ τους για να αποβάλουν το νερό, κοκ. Το ένα άκρο ενός μορίου τουμπουλίνης έχει μια επιφάνεια που είναι συμπληρωματική προς το αντίθετο άκρο ενός μορίου μιας δεύτερης τουμπουλίνης και έτσι κολλάνε τα δύο. Ένα τρίτο μόριο τουμπουλίνης τότε κολλά στο άκρο του δεύτερου μορίου, ένα τέταρτο στο άκρο του τρίτου κοκ. Ως μία αναλογία σκεφτείτε μια στοίβα από κονσέρβες τόνου. Στο σούπερ μάρκετ που ψωνίζει κονσέρβες τόνου η οικογένειά μου, οι κονσέρβες έχουν πάτο που κάνει γωνία και έχει την ίδια διάμετρο με την πάνω επιφάνεια, έτσι

³⁴ Μια καλή γενική εισαγωγή στους κροσσούς είναι των Voet, D., και Voet, J. G. (1963) *Biochemistry*, 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, pp. 1253-1259,

κονσέρβες προσαρμόζονται πολύ καλά η μία πάνω στην άλλη. Αν κάποιος κατά λάθος χτυπήσει τη στοίβα, οι κονσέρβες μένουν στη θέση τους.

Αν δύο κονσέρβες τοποθετηθούν έτσι που η μία κορυφή να είναι πάνω στην άλλη κορυφή, τότε δεν στοιβάζονται με ασφάλεια και ένα τυχαίο χτύπημα μπορεί να τις μετατοπίσει. Επιπλέον αν οι κονσέρβες της μάρκας Χ δεν έχουν πάτο με εσοχή, τότε δεν μπορούν να στοιβαχτούν με ασφάλεια γιατί τώρα οι κονσέρβες δεν έχουν συμπληρωματικές επιφάνειες. Η συσχέτιση των μορίων τουμπουλίνης είναι πολύ πιο εξειδικευμένη από ότι γίνεται με το στοίβαγμα των κονσερβών του τόνου. Πρέπει να σκεφτούμε ότι μέσα στο κύτταρο υπάρχουν χιλιάδες διαφορετικές πρωτεΐνες, και θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι μία τουμπουλίνη θα πρέπει να συνδεθεί μόνο με άλλες τουμπουλίνες — και όχι με κάποια τυχαία πρωτεΐνη που θα συναντήσει. Ίσως θα πρέπει να σκεφτούμε το μόριο της τουμπουλίνης ότι μοιάζει με μια κονσέρβα τόνου που έχει δέκα προεκβολές σαν βελόνες που υπάρχουν στην πάνω επιφάνεια και δέκα εσοχές στην κάτω επιφάνεια που ταιριάζουν απόλυτα στις θέσεις των προβολών της πάνω επιφάνειας. Έτσι τώρα κανένας «τόνος» δε θα στοιβαχτεί τυχαία σε κάποιου άλλου είδους κονσέρβα.

Αν επεκτείνουμε την αναλογία μας με «τόνους», ας υποθέσουμε ότι έχουμε διάφορες προβολές που εξέχουν στη μία πλευρά και που είναι συμπληρωματικές προς εσοχές που υπάρχουν σε σχεδόν αντίστοιχη θέση στην άλλη πλευρά. Τότε θα μπορούσαμε να κολλήσουμε τις κονσέρβες πλευρά με πλευρά και, επειδή τώρα οι τρύπες δεν είναι ακριβώς απέναντι από τις προβολές, καθώς προσθέτουμε κι άλλες κονσέρβες, τελικά αυτές κάνουν κύκλο και σχηματίζουν ένα κλειστό βρόχο. Με το να κολλήσουμε βρόχο πάνω σε βρόχο (έχουμε ήδη κάνει αρκετές μεταφορικές εκφράσεις) έχουμε μια δομή που μοιάζει μια καμινάδα που αποτελείται από κονσέρβες τόνου.

Αν και η τουμπουλίνη έχει τη δυνατότητα να αυτό-συγκεντρώνεται και να δίνουν μικροσωληνίσκους, οι μικροσωληνίσκοι δεν συνενώνονται χωρίς να έχουν βοήθεια από άλλες πρωτεΐνες. Υπάρχει μια καλή αιτία γι' αυτό: οι μικροσωληνίσκοι έχουν αρκετές δουλειές να κάνουν μέσα στο κύτταρο. Για τις πιο πολλές δουλειές χρειάζονται μοναχικοί και μη συνδεδεμένοι μικροσωληνίσκοι. Όμως για άλλες δουλειές (στις οποίες συμπεριλαμβάνεται η κίνηση των κροσσών), χρειάζονται δέσμες από μικροσωληνίσκους. Έτσι οι μικροσωληνίσκοι βρίσκονται μέσα στο κύτταρο χωριστά ο ένας από τον άλλο, όπως χυμένα καλαμάκια από σουβλάκια, εκτός αν για κάποιο σκοπό συνενωθούν για κάποια συγκεκριμένη δουλειά.

Σε φωτογραφίες βλεφαριδίων που πάρθηκαν με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, υπάρχουν αρκετά διαφορετικά είδη συνδέσμων που δένουν μεταξύ τους, τους χωριστούς μικροσωληνίσκους (δες εικόνα 3-2). Υπάρχει κάποια πρωτεΐνη που συνδέει τους δύο κεντρικούς χωριστούς μικροσωληνίσκους στο μέσο του κροσσού. Επίσης από κάθε ένα από τους διπλούς μικροσωληνίσκους, μια ακτινική ράβδος προβάλλει προς το κέντρο του κροσσού. Η ακτινική αυτή ράβδος καταλήγει σε μια μάζα που ονομάζεται κεφαλή της ακτίνας. Τελικά, μια πρωτεΐνη που ονομάζεται νεξίνη συνδέει κάθε εξωτερικό διπλό μικροσωληνίσκο σ' αυτόν που είναι δίπλα του.

Δύο άλλες προβολές στολίζουν κάθε περιφερειακό μικροσωληνίσκο· που ονομάζεται ο εξωτερικός βραχίονας και ο εσωτερικός βραχίονας. Η βιοχημική ανάλυση έχει δείξει ότι αυτές οι προβολές περιέχουν μια πρωτεΐνη που ονομάζεται δυνεΐνη. Η δυνεΐνη είναι μέλος μιας τάξης πρωτεϊνών που ονομάζονται κινητήριες πρωτεΐνες και οι οποίες λειτουργούν σαν μικροσκοπικοί κινητήρες στο κύτταρο και δίνουν τη δυνατότητα για παραγωγή μηχανικής κίνησης. □

ΠΩΣ ΔΟΥΛΕΥΕΙ ΤΟ ΤΡΙΧΙΔΙΟ

Το να γνωρίζουμε τη δομή μιας περίπλοκης μηχανής και να γνωρίζουμε το πώς λειτουργεί είναι δύο διαφορετικά ζητήματα. Ένας θα μπορούσε να ανοίξει το καπό ενός αυτοκινήτου και να βγάλει φωτογραφίες της μηχανής από το πρωί ως το βράδυ., όμως οι φωτογραφίες από μόνες τους δε θα μας δώσουν κάποια ξεκάθαρη ιδέα για το πώς τα διάφορα μέρη της κάνουν τη δουλειά τους. Για να βρεις τελικά το πώς λειτουργεί η μηχανή, θα πρέπει να την πάρεις και να τη διαλύ-

σεις και μετά να την ξαναφτιάξεις, και καθώς το κάνεις αυτό θα πρέπει να σταματάς πότε-πότε για να δεις αν έχει αποκατασταθεί η λειτουργία. Ακόμη κι αν το κάνεις αυτό, δε θα έχεις μια καθαρή ιδέα για το πώς λειτουργεί η μηχανή, όμως θα σου δώσει μια πολύ καλή γνώση για το ποια συστατικά είναι κρίσιμα. Η βασική στρατηγική της βιοχημείας αυτόν τον αιώνα είναι να διαλύουν μοριακά συστήματα και να προσπαθούν να τα ξανασυναρμολογήσουν. Η στρατηγική αυτή έχει δώσει πολλές ενοράσεις για τις λειτουργίες του κυττάρου.

□ Τα πειράματα τέτοιου είδους έδωσαν στους βιοχημικούς ενδείξεις για το πώς λειτουργεί ο βλεφαρίδιο. Η πρώτη ένδειξη ήρθε από μεμονωμένα βλεφαρίδια. Η φύση είχε την καλοσύνη να κανονίσει ώστε οι κροσσοί με ένα γερό τράνταγμα να χωρίζονται από τα κύτταρα. Αυτό το τράνταγμα σπάει καθαρά τις προβολές και με τη φυγοκέντρωση του διαλύματος σε μεγάλες ταχύτητες (που το αποτέλεσμα της είναι τα μεγάλα και βαριά σωμάτια να κατακαθίζουν πιο γρήγορα από τα μικρά και ελαφρά σωμάτια), κι έτσι παίρνουμε μέσα σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα ένα διάλυμα που έχει μόνο βλεφαρίδια. Αν αφαιρεθεί η μεμβράνη από οι κροσσοί και μετά εφοδιαστούν με μια χημική μορφή ενέργειας που ονομάζεται ATP, αρχίζουν να χτυπάνε με ένα τρόπο που θυμίζει μαστίγιο. Αυτό μας δείχνει ότι η κινητήρια δύναμη για την κίνηση των κροσσών βρίσκεται στα ίδια οι κροσσοί— και όχι στο εσωτερικό του κυττάρου, που άλλωστε τώρα δεν υπάρχει. Η επόμενη ένδειξη προέρχεται από του αν (μέσα από βιοχημικά τρικ) αφαιρεθούν οι βραχίονες δυνεΐνης και μείνει ακέραιο το υπόλοιπο από ο κροσσός, τότε ο κροσσός παραλύει, όπως στην νεκρική ακαμψία. Βάζοντας εκ νέου δυνεΐνη στα αποσκληρυμένα βλεφαρίδια επιτρέπει να ξαναρχίσει η κίνηση. Έτσι φαίνεται ότι η κινητήρια δύναμη στους κροσσούς βρίσκεται στους βραχίονες της δυνεΐνης.

Άλλες ενδείξεις προήλθαν από επιπλέον πειράματα. Υπάρχουν τα ένζυμα (που ονομάζονται πρωτεάσες) που έχουν την ικανότητα να «μασάνε» άλλες πρωτεΐνες, και τις διασπάνε σε αμινοξέα. Όταν για λίγη ώρα προστεθεί σε ένα διάλυμα που περιέχει βλεφαρίδια ένα μικρό ποσό από πρωτεάση, η πρωτεάση γρήγορα κόβει τη νεξίνη που είναι στις άκρες της δομής. Το υπόλοιπο βλεφαρίδιο παραμένει ακέραιο. Η αιτία γιατί η πρωτεάση τόσο γρήγορα επιτίθεται στους συνδέσμους, είναι ότι ανόμοια με τις άλλες πρωτεΐνες του κροσσού, οι νεξίνες δεν είναι διπλωμένες σφιχτά· αντίθετα είναι χαλαρές και ευλύγιστες αλυσίδες. Επειδή είναι χαλαρές, η πρωτεάση μπορεί να τις κόψουν τόσο γρήγορα όσο ένα ψαλίδι μπορεί να κόψει μια χάρτινη ταινία. (Η πρωτεάση κόβει τις σφιχτά διπλωμένες πρωτεΐνες όσο γρήγορα μπορεί να κόψει ένα ψαλίδι ένα κλειστό paperback βιβλίο.)

Οι πρωτεάσες επέτρεψαν στους βιοχημικούς για να δούνε πως λειτουργούν οι κροσσοί χωρίς τους συνδέσμους της νεξίνης. Τι προκαλεί η αφαίρεση των συνδέσμων; Ίσως το βλεφαρίδιο θα μπορούσε να λειτουργήσει εξ ίσου καλά και χωρίς αυτά, ή ίσως θα περιέλθει σε νεκρική ακαμψία όπως έγινε όταν αφαιρέθηκαν οι βραχίονες της δυνεΐνης. Στην πραγματικότητα δε συνέβηκε καμία από τις δύο αυτές δυνατότητες. Αντίθετα ο κροσσός χωρίς συνδέσμους έκανε κάτι απρόσμενο. Όταν ο κροσσός εφοδιάστηκε με χημική ενέργεια, αντί για να κάνει κάμψη, ξεδιπλώσε γρήγορα. Οι χωριστοί μικροσωληνίσκοι άρχισαν να γλιστρούν ο ένας δίπλα στον άλλο όπως τα τμήματα μιας κεραίας ραδιοφώνου γλιστράνε το ένα στο άλλο καθώς την ανοίγεις. Συνέχισαν να ξεδιπλώνουν μέχρις ότου το μήκος του κροσσού έγινε σχεδόν δεκαπλάσιο. Από το αποτέλεσμα αυτό οι βιοχημικοί έβγαλαν το συμπέρασμα ότι ο κινητήρας λειτουργούσε αφού κάτι θα πρέπει να τα μετακίνησε. Συμπέραναν επίσης ότι οι σύνδεσμοι της νεξίνης χρειαζόντουσαν για να κρατήσουν ο κροσσός ολόκληρο όταν προσπαθεί να λυγίσει.

Οι ενδείξεις αυτές οδήγησαν σε ένα μοντέλο για το πώς δουλεύει ο κροσσός (δες εικόνα 3-2). Φανταστείτε μερικές καμινάδες φτιαγμένες από κουτιά κονσέρβας τόνου που έχουν συνδέσμους μεταξύ τους. Οι καμινάδες από κονσέρβες τόνου συγκρατούνται από χαλαρά σύρματα. Προσκολημένος στην καμινάδα είναι ένας μικρός κινητήρας με ένα βραχίονα που απλώνεται και κρατά μια κονσέρβα τόνου σε μια διπλανή καμινάδα. Ο βραχίονας του κινητήρα σπρώχνει τη δεύτερη καμινάδα προς τα κάτω, κινώντας την δίπλα στην πρώτη. Καθώς οι καμινάδες γλιστράνε η μία

δίπλα στην άλλη, τα χαλαρά σύρματα τεντώνονται και γίνονται σφιχτά. Καθώς ο βραχίονας του κινητήρα σπρώχνει ακόμη περισσότερο, το τέντωμα από τα σύρματα αναγκάζει τις καμινάδες να λυγίσουν. Έτσι η κίνηση του γλιστρήματος μετατράπηκε σε κίνηση λυγίσματος. Ας μεταφράσουμε αυτήν την αναλογία σε βιοχημικούς όρους. Οι βραχίονες δυνεΐνης στον ένα μικροσωληνίσκο συνδέονται με ένα διπλανό μικροσωληνίσκο, και η δυνεΐνη χρησιμοποιεί τη βιολογική ενέργεια του ATP για να «προχωρήσει προς τα πάνω» στον γείτονα της. Όταν συμβεί αυτό οι δύο μικροσωληνίσκοι αρχίζουν να γλιστρούν ο ένας δίπλα στον άλλο. Όταν δεν υπάρχει νεξίνη, θα συνεχίσουν αυτό το γλίστρημα μέχρι να χωριστούν· όμως οι διασταυρωμένες συνδέσεις αυτής της πρωτεΐνης εμποδίζουν τους γειτονικούς μικροσωληνίσκους από του να γλιστρήσουν περισσότερο από μια μικρή απόσταση. Όταν επιμηκυνθούν οι σύνδεσμοι της νεξίνης και φθάσουν στα όρια τους, το επιπλέον προχώρημα της δυνεΐνης αναγκάζει τους συνδέσμους της νεξίνης να τραβήξουν τους μικροσωληνίσκους. Καθώς η δυνεΐνη συνεχίζει να προχωρεί, το τέντωμα αυξάνει. Ευτυχώς οι μικροσωληνίσκοι είναι κάπως ευλύγιστοι, έτσι η κίνηση για γλίστρημα που προκαλεί η δυνεΐνη μετατρέπεται σε κίνηση λυγίσματος. □

Τώρα ας κάτσουμε αναπαυτικά και ας κάνουμε μια ανασκόπηση στις λειτουργίες του κροσσού και ας σκεφτούμε τι μας υπονοούν. Ποια είναι τα συστατικά που απαιτούνται για να λειτουργήσει ένα βλεφαρίδιο; Η κίνηση των κροσσών σίγουρα απαιτεί τους μικροσωληνίσκους· αλλιώς δε θα υπήρχαν «πλεξούδες» που γλιστράνε. Επιπλέον απαιτείται ένας κινητήρας, αλλιώς οι μικροσωληνίσκοι θα ήταν άκαμπτοι και ακίνητοι. Επιπλέον, απαιτεί συνδέσμους για να τραβάνε στις γειτονικές «πλεξούδες», και που να μετατρέπουν την κίνηση γλιστρήματος σε κίνηση λυγίσματος, και που να εμποδίζουν στην κατάρρευση της δομής. Όλα αυτά τα τμήματα είναι απαιτούμενα για να γίνει μια λειτουργία: η κίνηση των κροσσών. Όπως μια ποντικοπαγίδα δεν μπορεί να λειτουργήσει παρά μόνο αν υπάρχουν όλα της τα τμήματα, έτσι και η κίνηση των κροσσών απλά δεν υπάρχει αν δεν υπάρχουν οι μικροσωληνίσκοι, οι σύνδεσμοι και οι κινητήρες. Έτσι λοιπόν συμπεραίνουμε ότι ο κροσσός είναι μη αναγώγιμα περίπλοκο — ένα τεράστιο γαλλικό κλειδί που το πετάμε στην υποτιθέμενη βαθμιαία Δαρβινική εξέλιξη.

Το γεγονός ότι ο κροσσός είναι μη αναγώγιμα περίπλοκο δε θα πρέπει να μας εκπλήξει. Νωρίτερα σ' αυτό το κεφάλαιο είδαμε ότι ένα σύστημα κολύμβησης απαιτεί ένα κουπί για να έρχεται σε επαφή με το νερό, έναν κινητήρα ή μια πηγή ενέργειας, και ένα σύνδεσμο που να συνδέει αυτά τα δύο. Όλα τα συστήματα που κινούνται με «κουπιά» — από το παιχνίδι ψάρι της κόρης μου μέχρι τον έλικα ενός πλοίου — δε μπορούν να λειτουργήσουν αν λείπει ένα από αυτά τα συστατικά. Ο κροσσός είναι ένα μέλος της οικογένειας των συστημάτων κολύμβησης. Οι μικροσωληνίσκοι είναι τα «κουπιά» του, που επιφάνεια έρχεται σε επαφή με το νερό και το σπρώχνει. Οι βραχίονες δυνεΐνης είναι οι κινητήρες που προμηθεύουν με την δύναμη για να κίνηση το σύστημα. Οι βραχίονες νεξίνης είναι οι σύνδεσμοι, που μεταβιβάζουν τη δύναμη του κινητήρα από τον ένα μικροσωληνίσκο στον γειτονικό του.³⁵

Η πολυπλοκότητα του κροσσού και των άλλων συστημάτων κολύμβησης είναι έμφυτη μέσα στην ίδια τη λειτουργία. Δεν εξαρτάται από του πόσο μεγάλο ή μικρό είναι το σύστημα, αν έχει να κινήσει ένα κύτταρο ή ένα πλοίο· για να γίνει η «κωπηλασία» χρειάζονται αρκετά συστατικά. Το ερώτημα είναι: πως εμφανίστηκε ο κροσσός;

ΕΝΑΣ ΕΜΜΕΣΟΣ ΔΡΟΜΟΣ

Μερικοί εξελικτικοί βιολόγοι — όπως ο Richard Dawkins — έχουν πολύ γόνιμες φαντασίες. Αν τους δώσεις ένα σημείο για να ξεκινήσουν μπορούν πάντα να σου πούνε μια ολόκληρη ιστορία

³⁵ Σ' αυτό το σύστημα υπάρχουν και άλλοι σύνδεσμοι. Για παράδειγμα οι επαφές που κάνει ο βραχίονας δυνεΐνης με τους μικροσωληνίσκους λειτουργεί και αυτός ως ένας σύνδεσμος. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ένα σύστημα μπορεί να είναι πιο περίπλοκο από τα πιο απλά σύστημα που μπορούμε να φανταστούμε, και ο κροσσός είναι ένα παράδειγμα για ένα τέτοιο σύστημα.

για να παράγουν το επιθυμητό βιολογικό σύστημα. Αυτό το τάλαντο είναι πολύτιμο, όμως είναι ένα δίκωπο σπαθί. Αν και μπορούν να σκεφτούν για πιθανές εξελικτικές πορείες που άλλοι άνθρωποι τις παραβλέπουν, έχουν την τάση να αγνοούν λεπτομέρειες και μπλόκα στους δρόμους που κάνουν τα σενάρια τους να πέφτουν. Στο φινάλε όμως η επιστήμη, δεν μπορεί να αγνοήσει τις σχετικές λεπτομέρειες, και στο μοριακό επίπεδο όλες αυτές οι «λεπτομέρειες» γίνονται κρίσιμες. Αν λείπει ένα μόριο «παξιμάδι», τότε μπορεί να καταρρεύσει ολόκληρο το σύστημα. Αφού ο κροσσός είναι μη αναγώγιμα περίπλοκο, δεν υπάρχει μια σταδιακή πορεία που να οδηγεί στην παραγωγή του. Έτσι μια εξελικτική ιστορία του κροσσού θα πρέπει να μπορέσει να εμπεριέχει μια κυκλική πορεία, στην οποία θα προσαρμόζονται τμήματα που αρχικά χρησιμοποιούνταν για άλλους σκοπούς. Ας προσπαθήσουμε, λοιπόν, να φανταστούμε μια λογική έμμεση πορεία προς ο κροσσός χρησιμοποιώντας προϋπάρχοντα τμήματα του κυττάρου.

Για να ξεκινήσουμε, μικροσωληνίσκοι υπάρχουν σε πολλά κύτταρα και συνήθως χρησιμοποιούνται για απλά στηρίγματα της δομής, που σαν δοκοί στηρίζουν το σχήμα του κυττάρου. Επιπλέον οι κινητήριες πρωτεΐνες εμπλέκονται σε άλλες λειτουργίες του κυττάρου, όπως μεταφορά φορτίου από το ένα άκρο του κυττάρου στο άλλο. Ένα έμμεσο εξελικτικό επιχείρημα μπορεί να μας υποδείξει ότι σε κάποια στιγμή, κάμποσοι μικροσωληνίσκοι συνενώθηκαν μαζί για ενισχύσουν κάποια κυτταρική δομή. Μετά απ' αυτό πιθανόν κάποια κινητήρια πρωτεΐνη που συνήθως μετακινούταν πάνω σε μικροσωληνίσκους, ίσως απέκτησε τυχαία την ικανότητα να σπρώχνει δύο γειτονικούς μικροσωληνίσκους, προκαλώντας έτσι μια μικρή κίνηση κάμψης που με κάποιο τρόπο βοήθησε στην επιβίωση ενός οργανισμού. Μικρές επιπλέον καλύτερες βαθμιαίες παρήγαγαν οι κροσσοί που βρίσκομε σήμερα στα κύτταρα.

Αν και ακούγεται σαν ένα σενάριο που προκαλεί το ενδιαφέρον, όμως μερικές κρίσιμες λεπτομέρειες έχουν παραβλεφθεί. Η ερώτηση που θα πρέπει να κάνουμε γι' αυτό το έμμεσο σενάριο είναι μια ερώτηση με την οποία εκνευρίζονται πολλοί εξελικτικοί βιολόγοι· όμως *πώς ακριβώς;* Για παράδειγμα, υπόθεσε ότι ήθελες να κάνεις μια ποντικοπαγίδα. Στο γκαράζ σου, ίσως έχεις ένα κομμάτι ξύλο από ένα γλιφιτζούρι (για βάση), ένα ελατήριο από ένα κουρδιστό ρολόι, ένα κομμάτι μετάλλου (για το σφυρί) που έχει σχήμα λοστού, μια βελόνα καρικόματος για ράβδο συγκράτησης, και ένα καπάκι από μπουκάλι για μάνταλο. Όμως αυτά τα κομμάτια δε θα μπορούσαν ποτέ να δώσουν μια λειτουργική ποντικοπαγίδα, χωρίς εκτεταμένες αλλαγές, και ενώ θα προχωρούσαν αυτές οι μεταβολές, η ποντικοπαγίδα δε θα λειτουργούσε. Οι προηγούμενες τους λειτουργίες τα κάνουν ακατάλληλα για σχεδόν οποιοδήποτε ρόλο ως μέρος ενός περίπλοκου συστήματος.

Στην περίπτωση του κροσσού έχουμε ένα ανάλογο πρόβλημα. Οι μεταλλαγμένη πρωτεΐνη που τυχαία κόλλησε πάνω στους μικροσωληνίσκους, θα εμπόδιζε τη λειτουργία τους ως «διόδους» για μεταφορά. Μια πρωτεΐνη που θα κολλούσε αδιάκριτα μεταξύ τους, τους μικροσωληνίσκους, θα χαλούσε το σχήμα του κυττάρου — όπως θα διαταρασσόταν το σχήμα ενός κτιρίου από ένα καλώδιο από ατσάλι που θα τοποθετούνταν λανθασμένα και κατά λάθος θα τραβούσε μαζί δοκούς που στηρίζουν το κτίριο. Ένας συνδετήρας που θα δυνάμωνε τις δέσμες από μικροσωληνίσκους για να αποκτούν δομική στήριξη, θα είχε την τάση να τους κάνει δύσκαμπτους, κάτι πολύ διαφορετικό από την εύκαμπτη νεξίνη. Μια αρρύθμιστη κινητήρια πρωτεΐνη, που πρόσφατα συνδέθηκε με μικροσωληνίσκους θα έσπρωχνε τους μικροσωληνίσκους τον έναν μακριά από τον άλλο, ενώ αυτοί θα έπρεπε να είναι ο ένας κοντά στον άλλο. Το υπό εξέλιξη βλεφαρίδιο θα ήταν στο εσωτερικό του κυττάρου και όχι στην επιφάνεια του. Αν δεν είναι στην επιφάνεια του κυττάρου, τότε το εσωτερικό του χτύπημα θα διατάραζε το κύτταρο· όμως κι αν ήταν στην επιφάνεια του κυττάρου, ο αριθμός των κινητήριων πρωτεϊνών πιθανόν να μην αρκούσε για να κινήσει το κύτταρο. Και αν το κύτταρο κινούνταν θα ήταν μια αρρύθμιστη κίνηση που θα χρησιμοποιούσε ενέργεια αλλά που δε θα ανταποκρίνονταν σε οποιαδήποτε ανάγκη του κυττάρου. Θα έπρεπε να υπερνικηθούν εκατοντάδες άλλες δυσκολίες πριν το εξελισσόμενο βλεφαρίδιο να γίνει μια καλύτερη του κυττάρου.

Ο κροσσός είναι μια γοητευτική δομή που έχει προκαλέσει το ζωηρό ενδιαφέρον σε επιστήμονες από πολλούς επιστημονικούς κλάδους. Η ρύθμιση του μεγέθους του και της δομής του ενδιαφέρει τους βιοχημικούς· οι δυναμικές του χτυπήματος που δίνει την κίνηση ενδιαφέρει τους βιοφυσικούς· το πώς εκφράζονται τα πολλά διαφορετικά γονίδια που κωδικοποιούν τα συστατικά του, συναρπάζουν το νου των μοριακών βιολόγων. Ακόμη και οι γιατροί ενδιαφέρονται γι' αυτά, γιατί οι κροσσοί έχουν ιατρικό ενδιαφέρον: υπάρχουν σε μερικούς μολυσματικούς μικροοργανισμούς, και τα βλεφαρίδια στους πνεύμονες πεδουκλώνονται στην γενετική ασθένεια κυστική ίνωση. Ένα γρήγορο ηλεκτρονικό ψάξιμο στην επιστημονική βιβλιογραφία μας δίνει περισσότερες από χίλιες επιστημονικές εργασίες στα περασμένα λίγα χρόνια που έχουν τη λέξη *βλεφαρίδια* ή κάποια παρόμοια στον τίτλο τους. Έχουν εμφανιστεί επιστημονικές εργασίες σε σχετικά θέματα σε σχεδόν όλα τα σπουδαιότερα περιοδικά βιοχημείας, στα οποία συμπεριλαμβάνονται τα *Science*, *Nature*, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *Biochemistry*, *Journal of Biological Chemistry*, *Journal of Molecular Biology*, *Cell*, και σε πολλά άλλα. Στις περασμένες δεκαετίες, πιθανόν να έχουν δημοσιευτεί δέκα χιλιάδες επιστημονικές εργασίες που αφορούσαν οι κροσσοί. Αφού υπάρχει τόση άφθονη βιβλιογραφία για ο κροσσός, και αφού υπάρχει τόσο ενδιαφέρον γι' αυτό σε τόσα διαφορετικά πεδία, και αφού έχει ευρέως διατυπωθεί η άποψη ότι η θεωρία της εξέλιξης είναι η βάση όλης της σύγχρονης βιολογίας, τότε ένας θα περίμενε ότι η εξέλιξη του κροσσού θα ήταν το θέμα σε ένα σημαντικό αριθμό επιστημονικών εργασιών στην επιστημονική βιβλιογραφία. Ίσως θα περίμενε κανείς ότι αν και μερικές λεπτομέρειες θα είναι δυσκολότερο να εξηγηθούν από άλλες, στο σύνολο η επιστήμη θα έχει μια καλή κατανόηση για τον τρόπο εξέλιξης του κροσσού. Τα ενδιάμεσα στάδια από τα οποία πέρασε, τα προβλήματα που θα είχε συναντήσει στα πρώτα στάδια, οι πιθανές πορείες που θα πήρε για να ξεπεράσει αυτά τα προβλήματα, η αποτελεσματικότητα ενός νεοεμφανιζόμενου βλεφαριδίου ως συστήματος κολύμβησης— όλα αυτά θα πρέπει να τα έχουν επεξεργαστεί διεξοδικά τις περασμένες δύο δεκαετίες, όμως μόνο δύο άρθρα τέτοιου τύπου προσπάθησαν να υποδείξουν ένα μοντέλο για την εξέλιξη του κροσσού και τα οποία προσπαθούν να λάβουν υπόψη πραγματικές μηχανικές θεωρήσεις. Το χειρότερο είναι ότι αυτά τα δύο άρθρα διαφωνούν μεταξύ τους ακόμη και για τη γενική πορεία που θα είχε λάβει η εξέλιξη. Ούτε το ένα ούτε το άλλο άρθρο συζητάνε κρίσιμες ποσοτικές λεπτομέρειες, ή πιθανά προβλήματα που θα γίνουν αιτία να γίνει άχρηστη μια μηχανική συσκευή όπως ο κροσσός ή η ποντικοπαγίδα.

Συγγραφέας του πρώτου άρθρου είναι ο T. Cavalier-Smith και το άρθρο εμφανίστηκε το 1978 στο περιοδικό *BioSystems*.³⁶ Στο άρθρο δεν επιχειρείται καν να γίνει μια παρουσίαση ενός ρεαλιστικού, ποσοτικού μοντέλου έστω και για ένα βήμα της ανάπτυξης ενός βλεφαριδίου για κάποιο είδος κυττάρων που αρχικά δεν είχαν αυτή τη δομή. Αντίθετα ζωγραφίζει μια εικόνα για του τι φαντάζεται ο συγγραφέας ότι ήταν τα σημαντικά γεγονότα στην πορεία προς ο κροσσός. Αυτά τα φανταστικά βήματα περιγράφονται με φράσεις όπως «τα μαστίγια (τα μεγάλα βλεφαρίδια συχνά ονομάζονται 'μαστίγια') είναι τόσο περίπλοκα που η εξέλιξη τους θα πρέπει να περιλάμβανε πολλά στάδια»· «προτείνω ότι τα μαστίγια στην αρχή δεν ήταν ανάγκη να έχουν κινητικότητα, αλλά ήταν λεπτές προεκτάσεις του κυττάρου»· «οι οργανισμοί θα έχουν εξελιχθεί με μια μεγάλη ποικιλία δομών με αξονήματα»· και «είναι πιθανόν ότι οι μηχανισμοί της φωτόταξης [κίνησης προς το φως] αναπτύχθηκαν ταυτόχρονα με τα μαστίγια.»

Οι περικοπές δίνουν μια γεύση από τις θολές εικόνες και λέξεις που είναι τυπικές στην εξελικτική βιολογία. Η έλλειψη ποσοτικών λεπτομερειών —ένας υπολογισμός για την εκτίμηση με βάση τις πληροφορίες που υπάρχουν και που να βασίζεται σε μια ενδιάμεση δομή και του κατά πόσο κάποια ιδιαίτερη μεταβολή θα είχε καλύτερψει την ενεργό ικανότητα για κολύμβηση του οργανι-

³⁶ Cavalier-Smith, T. (1978) "Early Evolution of Microtubules and Undulipodia". *Biosystems*, 10, 93-114

σμού — κάνει μια τέτοια ιστορία εξαιρετικά άχρηστη για την κατανόηση του τρόπου που θα εξελίχθηκε ο κροσσός.

Θα πρέπει να πω χωρίς καθυστέρηση ότι ο συγγραφέας (ένας πολύ γνωστός επιστήμονας που έχει κάνει αρκετές συνεισφορές στη βιολογία του κυττάρου) δεν είχε ως στόχο της εργασίας του να παρουσιάσει ένα ρεαλιστικό μοντέλο, απλώς προσπαθούσε να προκαλέσει συζήτηση. Ήθελε να 'δελεάσει' άλλους ερευνητές να δουλέψουν με το μοντέλο του που ήταν ένα είδος υπόσχεσης, που όμως ήταν πολύ ακαθόριστο — για να τους κινητοποιήσει να κάνουν δουλειά για να δώσουν σάρκα στον αδύνατο αυτό σκελετό. Τέτοια πρόκληση μπορεί να αποτελεί μια σημαντική υπηρεσία στην επιστήμη. Δυστυχώς στα χρόνια που πέρασαν κανείς δεν έχτισε πάνω στο μοντέλο αυτό. Η δεύτερη επιστημονική εργασία, γράφτηκε εννέα χρόνια αργότερα από ένα Ούγγρο επιστήμονα που ονομαζόταν Eős Szathmary και που και αυτή εμφανίστηκε στο *BioSystems* και είναι παρόμοια σε πολλά με το πρώτο άρθρο.³⁷ Ο Szathmary που είναι ένας οπαδός της ιδέας που υποστήριξε η Lynne Margullis, ότι δηλαδή οι κροσσοί προήλθαν από έναν τύπο βακτηρίου που κολυμπούσε και που το ονόμασε «σπειροχαίτη» και το οποίο τυχαία προσκολλήθηκε σε ένα ευκαρυωτικό κύτταρο.³⁸ Η ιδέα αντιμετωπίζει σημαντικές δυσκολίες γιατί οι σπειροχαίτες κινούνται με ένα μηχανισμό (που περιγράφεται πιο κάτω) που είναι τελείως διαφορετικός από οι κροσσοί. Η πρόταση ότι το ένα εξελίχθηκε στο άλλο είναι όμοια με την πρόταση ότι το παιχνίδι ψάρι της κόρης μου θα μπορούσε να αλλάξει βήμα προς βήμα με Δαρβινικά βήματα σε ποταμόπλοιο του Μισισσιππή. Η ίδια η Margullis δεν ενδιαφέρεται για μηχανικές λεπτομέρειες· αρκείται στο να κοιτάξει για γενικές ομοιότητες σε μερικά από τα συστατικά των κροσσών και των συστημάτων κολύμβησης των βακτηρίων. Ο Szathmary προσπάθησε να πάει λίγο πιο πέρα και να συζητήσει πραγματικά τις μηχανικές δυσκολίες που θα συναντούσε ένα τέτοιο σενάριο. Όμως, αναπόφευκτα το άρθρο του (όπως και του Cavalier-Smith) είναι απλώς μια εικόνα με λέξεις και παρουσιάζει για επεξεργασία στην επιστημονική κοινότητα ένα μη αναπτυγμένο μοντέλο. Κι αυτό δεν πέτυχε να προκαλέσει κάποια πειραματική ή θεωρητική δουλειά, είτε από το συγγραφέα είτε από άλλους. Οι Margullis και Cavalier-Smith έχουν συγκρουστεί με δημοσιεύσεις τους πρόσφατα³⁹ Ο καθένας τους σημειώνει τα τεράστια προβλήματα που παρουσιάζουν τα μοντέλα του άλλου και ο καθένας τους έχει δίκιο. Αυτό όμως που είναι θανάσιμο σφάλμα και των δύο, είναι ότι ούτε η μία ούτε η άλλη πλευρά έχει γεμίσει κάποιες μηχανιστικές λεπτομέρειες για το μοντέλο της. Χωρίς λεπτομέρειες η συζήτηση είναι καταδικασμένη να είναι μη επιστημονική και άκαρπη. Η επιστημονική κοινότητα σχεδόν στο σύνολο της έχει αγνοήσει και τις δύο εργασίες, καθώς και οι δύο εργασίες αναφέρονται σε ελάχιστες άλλες εργασίες στα χρόνια που πέρασαν από τη δημοσίευσή τους.⁴⁰

Η ποσότητα επιστημονικής έρευνας που έχει γίνει και γίνεται όσον αφορά ο κροσσός — και η μεγάλη αύξηση στις τελευταίες δεκαετίες στην κατανόηση για της λειτουργίας του κροσσού — οδήγησε πολλούς ανθρώπους να υποθέσουν ότι ακόμη και αν οι ίδιοι δεν γνωρίζουν τον τρόπο εξέλιξης του κροσσού, κάποιος άλλος θα πρέπει να γνωρίζει. Όμως μια αναζήτηση στην επιστημονική βιβλιογραφία αποδεικνύει ότι κάνουν λάθος. Κανένας δε γνωρίζει.

ΤΟ ΒΑΚΤΗΡΙΑΚΟ ΜΑΣΤΙΚΟ

Εμείς οι άνθρωποι έχουμε μια μάλλον υψηλή ιδέα για τον εαυτό μας, και αυτή μας η στάση μπορεί να χρωματίσει τις αντιλήψεις μας για τον βιολογικό κόσμο. Ιδιαίτερα η στάση μας για του τι

³⁷ Szathmary, E (1987) "Early Evolution of Microtubules and Undulipodia," *BioSystems*, 20, 115-131

³⁸ Bermudes, DL, Margulis, Lk, and Tzertinis, G. (1986) "Prokaryotic Origin of Undulipodia," *Annals of the New York Academy of Science*, 503, 187-197

³⁹ Cavalier-Smith, T. (1992) "The Number of Symbiotic Origins of Organelles", *BioSystems*, 28, 91-106, Margulis, L. (1992) "Procariotists and Polyphyly: Comment on 'The Number of Symbiotic...' by T. Cavalier-Smith," *BioSystems*, 28, 107-108

⁴⁰ Μια έρευνα στο *Science Citation Index* δείχνει ότι κάθε εργασία έχει πάρει κατά μέσο όρο λιγότερο από μία αναφορά κάθε χρόνο.

είναι στην βιολογία ανώτερο και τι είναι κατώτερο, ποιος οργανισμός έχει προχωρήσει και ποιος είναι πρωτόγονος, προέρχονται κατά ένα φυσικό τρόπο από την υπόθεση ότι εμείς είμαστε η κορυφή της φύσης. Υπερασπιζόμαστε αυτήν την υπόθεση με το να αναφέρουμε την κυριαρχία του ανθρώπου, και αναφέροντας και φιλοσοφικά επιχειρήματα. Παρόλα αυτά, αν μπορούσαν να μιλήσουν άλλοι οργανισμοί, θα μπορούσαν να δώσουν ισχυρά επιχειρήματα για τη δική τους ανωτερότητα. Σ' αυτούς συμπεριλαμβάνονται και βακτήρια, παρόλο που εμείς τα θεωρούμε ως τις πιο χονδροειδείς μορφές της ζωής.

Μερικά βακτήρια μπορούν να καυχηθούν για μια θαυμάσια συσκευή κολύμβησης, το μαστίγιο, που δεν υπάρχει κάτι το αντίστοιχο σε πιο περίπλοκα κύτταρα.⁴¹ Το 1973 ανακαλύφθηκε ότι μερικά βακτήρια κολυμπούνε περιστρέφοντας τα μαστίγια τους. Έτσι το μαστίγιο αυτών των βακτηρίων δρα ως ένας περιστρεφόμενος έλικας—σε αντίθεση με οι κροσσοί που ενεργούν πιο πολύ σαν ένα κουπί.

- Η δομή ενός μαστίγιου (εικόνα 3-3) είναι αρκετά διαφορετική από τη δομή ενός βλεφαριδίου. Το μαστίγιο, είναι ένα μακρύ νημάτιο σαν τρίχα που είναι ριζωμένο στην κυτταρική μεμβράνη. Το εξωτερικό νημάτιο αποτελείται από ένα είδος πρωτεΐνης που ονομάζεται «φλαγκελίνη (μαστιγίνη)» Το νημάτιο από φλαγκελίνη έχει μια δομή κουπιού που έρχεται σε επαφή με το νερό κατά την κολύμβηση. Στο τέλος του νηματίου από φλαγκελίνη κοντά στην επιφάνεια του κυττάρου, υπάρχει ένα εξόγκωμα που έχει πάχος όσο το μαστίγιο. Εδώ το μαστίγιο έρχεται σε προσκόλλεται με τον οδηγό του ρότορα (περιστρεφόμενο τμήμα κινητήρα). Η προσκόλληση γίνεται με ένα υλικό που ονομάζεται «πρωτεΐνη άγκιστρο». Το νημάτιο του βακτηριακού μαστίγιου, αντίθετα με ο κροσσός, δεν περιέχει κάποια κινητήρια πρωτεΐνη. Αν κοπεί το μαστίγιο, επιπλέει άκαμπτο στο νερό. Έτσι λοιπόν ο κινητήρας που περιστρέφει το νημάτιο-έλικα θα βρίσκεται κάπου αλλού. Τα πειράματα δείχναν ότι βρίσκεται στη βάση του μαστίγιου όπου το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο δείχνει ότι υπάρχουν διάφορες δομές δακτυλίων. Η περιστροφική φύση του μαστίγιου έχει ξεκαθάρες και αναπόφευκτες συνέπειες, όπως παρατηρεί ένα δημοφιλές εγχειρίδιο βιοχημείας:

[Ο βακτηριακός περιστροφικός κινητήρας] έχει τα ίδια μηχανικά στοιχεία όπως οποιαδήποτε περιστρεφόμενη συσκευή: ένα ρότορα (το περιστρεφόμενο στοιχείο) και ένα στάτορα (το σταθερό στοιχείο).⁴²

Στην εικόνα 3-3 ο ρότορας σημειώνεται με το δακτύλιο M, και ο στάτορας με το δακτύλιο S. □

Η απρόσμενη ανακάλυψη της περιστροφικής φύσης του κινητήρα του μαστίγιου προκάλεσε έκπληξη. Αντίθετα με άλλα συστήματα που παράγουν μηχανική κίνηση (για παράδειγμα μύες) ο κινητήρας του βακτηρίου δεν χρησιμοποιεί άμεσα ενέργεια που αποθηκεύτηκε σε ένα μόριο «φορέα» όπως το ATP. Για να παράγει την κίνηση του μαστίγιου μάλλον χρησιμοποιεί την ενέργεια που παράγεται από τη ροή ενός οξέος μέσα από την μεμβράνη του βακτηρίου. Οι απαιτήσεις για ένα κινητήρα που βασίζεται σε μια τέτοια αρχή είναι αρκετά περίπλοκες και είναι θέμα έρευνας. Έχουν προταθεί αρκετά μοντέλα για τον κινητήρα· όμως κανένα δεν είναι απλό. (ένα τέτοιο μοντέλο δείχνεται στην εικόνα 3-3 για να δώσει στον αναγνώστη μια γεύση για την αναμενόμενη πολυπλοκότητα του κινητήρα.)

Το μαστίγιο του βακτηρίου χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό κωπηλασίας. Έτσι λοιπόν θα πρέπει να ικανοποιεί τις ίδιες απαιτήσεις όπως τα άλλα συστήματα κολύμβησης. Επειδή το βακτηριακό μαστίγιο αποτελείται από τουλάχιστο τρία μέρη— ένα κουπί, ένα ρότορα και ένα κινητήρα— είναι μη αναγώγιμα περίπλοκο. Άρα λοιπόν η βαθμιαία εξέλιξη του μαστίγιου, όπως και στην περι-

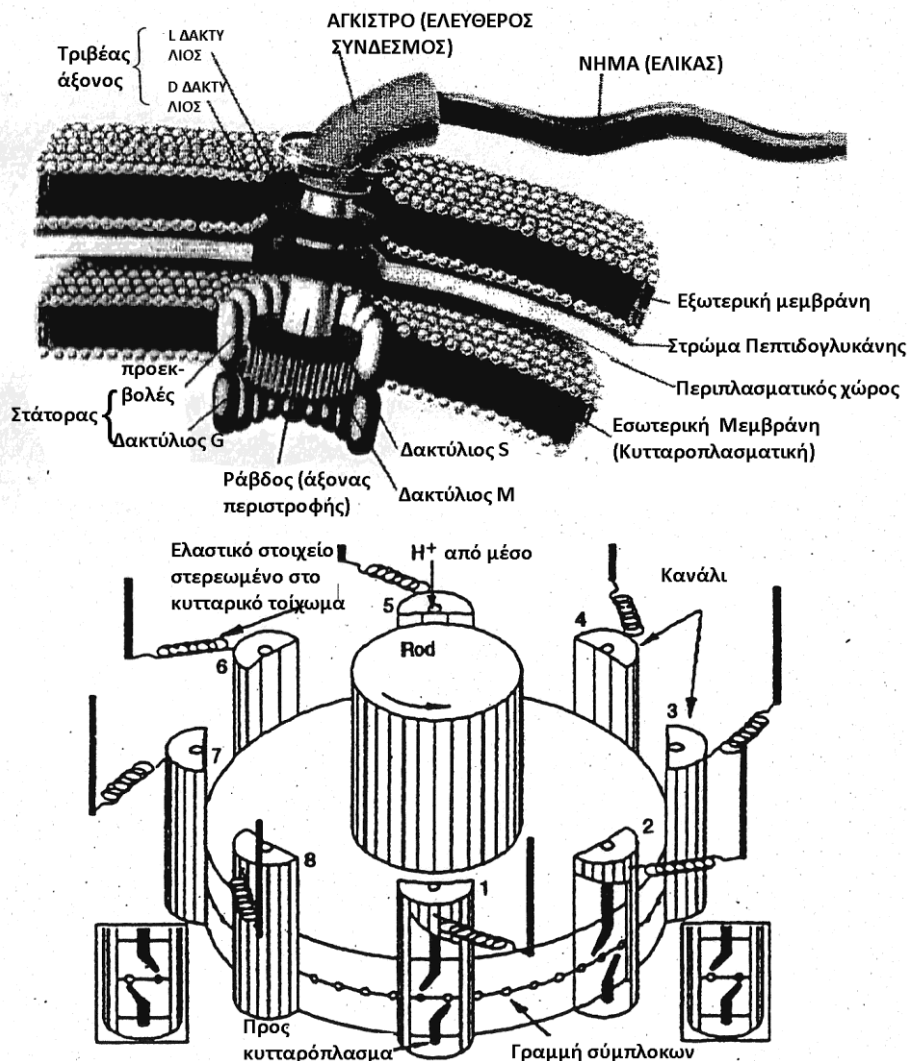
⁴¹ Μια καλή γενική εισαγωγή για τα μαστίγια είναι το βιβλίο των Voet και Voet σελ. 1259-1260. Περισσότερες λεπτομέρειες για τον κινητήρα των μαστιγίων μπορούν να βρεθούν στα ακόλουθα: Schuster, S. C., και Khan, S. (1994) "The Bacterial Flagellar Motor," *Annual Review of Biophysics and Biomolecular Structure*, 23, 509-539· Caplan, S.R., και Kara-Ivanov, M. (1993) "The Bacterial Flagellar Motor" *International Review of Cytology*, 147, 97-164

⁴² Voet και Voet, p. 1260

ΕΙΚΟΝΑ 3-3

(ΠΑΝΩ) ΣΧΕΔΙΟ ΕΝΟΣ ΒΑΚΤΗΡΙΑΚΟΥ ΜΑΣΤΙΓΙΟΥ ΠΟΥ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΟ ΝΗΜΑ ΤΟ ΑΓΚΙΣΤΡΟ, ΚΑΙ ΤΟΝ ΕΜΦΥΤΕΥΜΕΝΟ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΣΤΗΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΜΕΜΒΑΡΑΝΗ ΚΑΙ ΣΤΟ ΚΥΤΤΑΡΙΚΟ ΤΟΙΧΩΜΑ.

(ΚΑΤΩ) ΕΝΑ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΜΕ ΟΞΕΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ, ΚΑΙ ΤΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΕΙΧΝΕΙ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΠΕΡΙΠΛΟΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΠΟΥ ΔΕΝ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΤΑΙ ΣΤΟ ΚΕΙΜΕΝΟ.



Ανω από Voet and Voet, fig. 34-84, p. 1259.

Κάτω από Caplan, S. R., and Kara-Ivanov, M. (1993), fig. 9A, p. 138. Figures reproduced with permission.

πτωση του κροσσού θα αντιμετωπίζει εμπόδια μαμούθ. Η γενική επιστημονική βιβλιογραφία για το βακτηριακό μαστίγιο είναι το ίδιο πλούσια όσο η βιβλιογραφία για ο κροσσός και έχουν δημοσιευτεί για το θέμα αυτά τελευταία χρόνια χιλιάδες εργασίες. Δεν είναι εκπληκτικό· το μαστίγιο είναι ένα γοητευτικό βιοφυσικό σύστημα και τα βακτήρια με μαστίγια έχουν ιατρική σημασία. Όμως και εδώ, απουσιάζει τελείως η εξελικτική βιβλιογραφία. Παρόλο που μας λένε ότι όλη η βιολογία θα πρέπει να ιδωθεί μέσα από το φακό της εξέλιξης, κανένας επιστήμονας δεν έχει ποτέ δημοσιεύσει ένα μοντέλο για να εξηγήσει τη βαθμιαία εξέλιξη αυτής της παράδοξης μοριακής μηχανής.

ΓΙΝΕΤΑΙ ΜΟΝΟ ΧΕΙΡΟΤΕΡΑ

Όπως σημειώσαμε ο κροσσός περιέχει τουμποουλίνη, δυνεΐνη, νεξίνη και αρκετές άλλες συνδετικές πρωτεΐνες. Όμως αν τα πάρεις όλα αυτά και τα ενέσεις σε ένα κύτταρο που δεν έχει βλεφαρίδιο,

τότε δε θα μαζευτούν για να δώσουν ένα λειτουργικό βλεφαρίδιο. Χρειάζεται κάτι πολύ παραπάνω για να αποκτήσουμε πετύχουμε να έχουμε ένα βλεφαρίδιο στο κύτταρο. Μια πλήρης βιοχημική ανάλυση δείχνει ότι ένα βλεφαρίδιο περιέχει πάνω από διακόσια διαφορετικά είδη πρωτεϊνών· η πραγματική πολυπλοκότητα του κροσσού είναι πάρα πολύ μεγαλύτερη από όση έχουμε θεωρήσει. Όλες οι αιτίες για αυτήν την πολυπλοκότητα δεν είναι ξεκάθαρη και περιμένει περισσότερη πειραματική έρευνα. Άλλες λειτουργίες για τις οποίες απαιτούνται πρωτεΐνες, περιλαμβάνουν την προσκόλληση του κροσσού σε μια δομή βάσης μέσα στο κύτταρο, την μετατροπή της ελαστικότητας του κροσσού· έλεγχο του χρονισμού για τα χτυπήματα· και ενδυνάμωση της μεμβράνης του κροσσού.

Το βακτηριακό μαστίγιο, εκτός από τις πρωτεΐνες που ήδη συζητήσαμε, απαιτούν περίπου άλλες σαράντα πρωτεΐνες για να λειτουργήσει. Ξανά οι ακριβείς ρόλοι των πιο πολλών από αυτές τις πρωτεΐνες δεν είναι ακριβώς γνωστοί, όμως συμπεριλαμβάνουν σήματα για να θέσουν τον κινητήρα σε λειτουργία ή να την σταματήσουν.· πρωτεΐνες «τρυπάνια» που επιτρέπουν στο μαστίγιο να διαπερνούν την κυτταρική μεμβράνη και τα κυτταρικά τοιχώματα· πρωτεΐνες που βοηθούν στη συναρμολόγηση της δομής· πρωτεΐνες που ρυθμίζουν την παραγωγή των πρωτεϊνών που δομούν το μαστίγιο.

Συνοπτικά μπορούμε να πούμε, ότι καθώς οι βιοχημικοί άρχισαν να ερευνούν φαινομενικά απλές δομές όπως οι κροσσοί και τα μαστίγια, ανακάλυψαν μια εκθαμβωτική πολυπλοκότητα, με δωδεκάδες ή ακόμη και εκατοντάδες κομμένων και ραμμένων «εξαρτημάτων». Είναι πολύ πιθανόν ότι πολλά από τα «εξαρτήματα» που δεν έχουμε θεωρήσει εδώ, απαιτούνται για τη λειτουργία οποιουδήποτε βλεφαριδίου σε ένα κύτταρο. Καθώς αυξάνει ο αριθμός των απαιτούμενων «εξαρτημάτων», η δυσκολία για τη βαθμιαία συναρμολόγηση του συστήματος πηγαίνει στα ουράνια, ενώ βυθίζεται στην άβυσσο η πιθανότητα για κάποιο έμμεσο σενάριο. Ο Δαρβίνος φαίνεται όλο και περισσότερο σε απελπιστική κατάσταση. Μια νέα έρευνα για το ρόλο των βοηθητικών πρωτεϊνών απλώς δεν πρόκειται να απλοποιήσει το αναγώγιμα περίπλοκο σύστημα. Δεν μπορεί να ελαττωθεί η ακαμψία του συστήματος· μόνο χειρότερη μπορεί να γίνει. Η Δαρβινική θεωρία δεν έχει δώσει καμία εξήγηση για το βλεφαρίδιο ή το μαστίγιο. Η συντριπτική πλειονότητα των συστημάτων κολύμβησης μας ωθεί στο να σκεφτούμε ότι ίσως ποτέ δε θα υπάρξει εξήγηση. Καθώς αυξάνει ο αριθμός των συστημάτων που αντιστέκονται στην εξήγηση με βαθμιαίες διαδικασίες, γίνεται πιο εμφανής η ανάγκη για ένα νέα είδος εξήγησης. Οι κροσσοί και τα μαστίγια δεν είναι τα μόνα προβλήματα που έχει ο Δαρβινισμός. Στο επόμενο κεφάλαιο θα εξετάσω τη βιοχημική πολυπλοκότητα που υπόκειται στην φαινομενικά απλή πήξη του αίματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

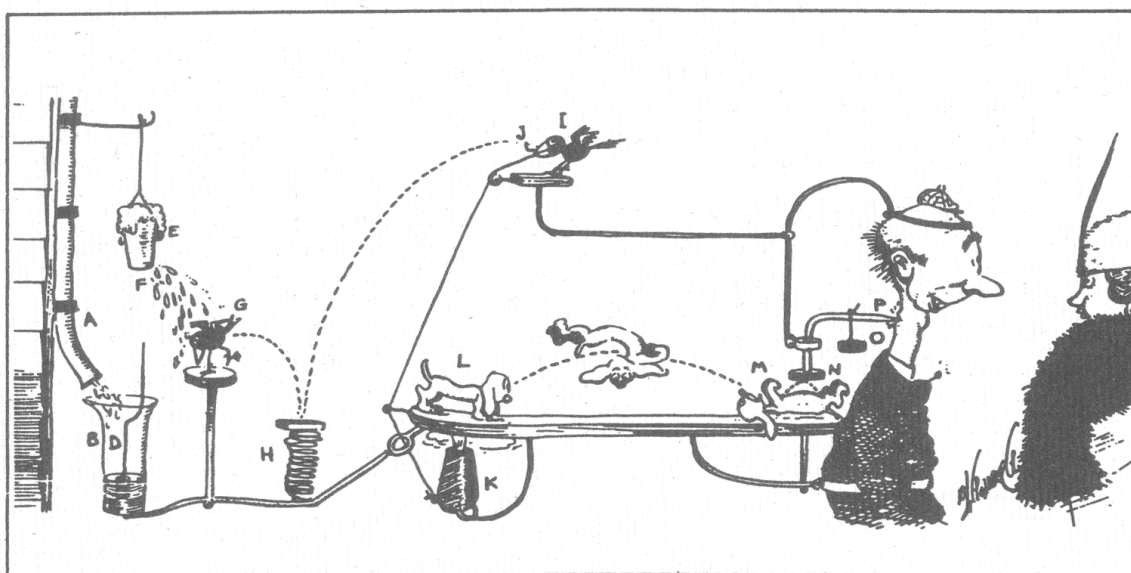
Ο RUBE GOLDBERG ΚΑΙ ΤΟ ΑΙΜΑ

ΚΙΝΟΥΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑ ΣΑΒΒΑΤΟ ΠΡΩΙ

Το όνομα του Goldberg — του μεγάλου γελοιογράφου που διασκέδασε την Αμερική με τις αστείες του μηχανές (εικόνα 4-1) — εξακολουθεί να επηρεάζει την κουλτούρα μας, αν και ο ίδιος έχει εξαφανιστεί. Προσωπικά μπήκα στις ιδέες της μηχανής Rube Goldberg όταν ήμουν παιδί και έβλεπα τα κινούμενα σχέδια Σάββατο πρωί. Έβλεπα τα κινούμενα σχέδια Σάββατο πρωί. Το αγαπημένο μου καρτούν ήταν ο Μπαγκς Μπάνου, και πάνοντε μου άρεσε ο φωνακλός κόκορας Φο-

EIKONA 4- 1 ΜΙΑ ΜΗΧΑΝΗ ΤΟΥ RUBE GOLDBERG

Ενας ξύστης για τσιμπήματα κουνουπιών



Το νερό από το σωλήνα (Α) πέφτει στο δοχείο (Β)— ο φελλός (C) ανυψώνεται κουβαλώντας τη βελόνα (D) - η βελόνα τρυπά το χάρτινο ποτήρι (Ε) που περιέχει τη μύρα (F)- η μύρα ραντίζει το μαυροπούλι (G) και αυτό μεθά και πέφτει στο ελατήριο (Η), που το αναπηδά στην πλατφόρμα (Ι)- όπου τραβά το σπάγκο γιατί τον περνά για σκουλήκι και έτσι προκαλεί την εκπυρσοκρότηση του κανινιού (Κ)

RUBE GOLDBERG property of and copyright Rube Goldberg Inc. Distributed by United Media.

το οποίο τρομοκρατεί το φιλήσυχο σκυλάκι (L) και το κάνει να αναπηδήσει στον αέρα και να προσγειωθεί στη θέση (M)- η βαριά του ανάσα ανυψώνει το δίσκο (N), αλλά το βάρος (Ο) τον επαναφέρει στην αρχική του θέση- η συνεχής αναπνοή του σκυλιού μετακινεί τον ξύστη (Ρ) πάνω - κάτω στο σημείο όπου υπάρχει το τσίμπημα του κουνουπιού, και έτσι δεν έρχεται σε δύσκολη θέση ο άνδρας που συζητά με την κυρία.

γκχορν Λεγχορν. Θυμάμαι αρκετά επεισόδια στα οποία ο Φογκχορν Λεγχορν καθόταν να φυλάει μικρά έξυπνα κοτόπουλα με χοντρά γυαλιά ενώ η χήρα μητέρα (που ήταν συνήθως πλούσια) είχε βγει στα ψώνια Σε κάποιο σημείο ο Φογκχορν θα ενοχλούσε τα μικρά, που τότε συνωμοτούσαν για να τον εκδικηθούν. Μια σύντομη σκηνή έδειχνε το ταραγμένο κοτόπουλο να γράφει μερικές εξισώσεις σε ένα κομμάτι χαρτί Αυτό μας έδινε την ιδέα για το π όσο έξυπνο ήταν (και βέβαια, θα πρέπει να είσαι αρκετά έξυπνος για να αραδιάζεις εξισώσεις) και αυτός ήταν ένας κακός οιωνός ότι η εκδίκηση θα ερχόταν με ένα ακριβή, επιστημονικό τρόπο.

Μία ή δύο σκηνές αργότερα, καθώς περπατούσε ο Φογκχορν θα πρόσεχε ένα δολάριο ή κάποιο άλλο δόλωμα στο έδαφος και θα το σήκωνε. Το δολάριο όμως ήταν δεμένο με ένα σπάγκο σε

ένα ραβδί που ήταν στηριγμένο π άνω σε μια μπάλα. Καθώς κινούσε το δολάριο, ηο σπάγκος θα τραβούσε το ραβδί και τότε η μπάλα θα άρχιζε να κυλά καθώς ο Φογκχορν θα κοιτούσε μα ανοιχτό το στόμα την εξέλιξη. Η μπάλα θα έπεφτε σε ένα γκρεμό στο υψωμένο άκρο μιας τραμπάλας, θα τη χτυπούσε κάτω και αυτή θα έστελνε στον αέρα μια πέτρα που πάνω της είχε κολλημένο ένα γυαλόχαρτο. Καθώς πήγαινε προς τα πάνω το γυαλόχαρτο θα έτριβε ένα σπίρτο που ήταν κολλημένο στο γκρεμό, που άναβε το φυτίλι ενός κανονιού. Το κανόνι θα εκπυρσοκροτούσε· η κανονόμπαλα καθώς θα έπεφτε θα χτυπούσε το χείλος ενός χωνιού (που ήταν το μόνο επιτρεπόμενο περιθώριο για σφάλμα στο όλο σενάριο), θα κυλούσε γύρω στη άκρη μερικές φορές και τελικά θα έπεφτε μέσα. Καθώς θα έβγαινε από το χωνί, η κανονόμπαλα θα έπεφτε πάνω σε ένα μοχλό που θα ξεκινούσε ένα κυκλικό πριόνι. Το πριόνι θα έκοβε ένα σκοινί που κρατούσε ένα τηλεφωνικό στύλο. Αργά θα άρχιζε να πέφτει ο τηλεφωνικός στύλος, και πολύ αργά θα καταλάβαινε ο Φογκχορν ότι όλο αυτό το θέαμα ήταν εις βάρος του. Καθώς γυρνά για να φύγει η άκρη του στύλου τον χτυπά σ το κεφάλι του και τον χώνει σαν ένα πάσαλο στο έδαφος.

Όταν για λίγο το σκεφτείς, συνειδητοποιείς ότι η μηχανή του Rube Goldberg είναι μη αναγώγιμα περίπλοκη. Είναι ένα σύστημα που αποτελείται από πολλά εξαρτήματα που αλληλεπιδρούν και συνεισφέρουν στη βασική λειτουργία, ενώ η αφαίρεση ενός οποιουδήποτε από αυτά κάνει το σύστημα να παύει να λειτουργεί. Κάτι που είναι διαφορετικό από την μη αναγώγιμη περιπλοκότητα των προηγούμενων παραδειγμάτων – της ποντικοπαγίδας, του ευκαρυωτικού κροσσού, και του βακτηριακού μαστίγιου — το σύστημα του καρτούν, δεν είναι μία συγκεκριμένη οντότητα που τα εξαρτήματα της ενεργούν ταυτόχρονα ασκώντας δυνάμεις το ένα στο άλλο.

Επειδή τα εξαρτήματα του συστήματος του καρτούν είναι χωρισμένα το ένα από το άλλο σε χώρο και σε χρόνο, μόνο ένα απ' αυτά (ο τηλεφωνικός στύλος) πραγματοποιεί τον τελικό στόχο του συστήματος (το να χτυπήσει το θύμα στο κεφάλι). Παρόλα αυτά, δεν ελαττώνεται η περιπλοκότητα του συστήματος, γιατί απαιτούνται όλα τα συστατικά του συστήματος για να δοθεί το χτύπημα στην σωστή ώρα και στο σωστό σημείο. Αν δεν υπάρχει ο μηχανισμός που θα προκαλέσει την πτώση, ο Φογκχορν μπορεί να περνά μπροστά από τον τηλεφωνικό στύλο όλη την ημέρα και να μην παθαίνει τίποτε.

Όπως ένας θα μπορούσε να πιάσει ένα ποντίκι με μια παγίδα κόλλας αντί με ποντικοπαγίδα, υπάρχουν και άλλα συστήματα που μπορούν να δώσουν ένα συντριπτικό χτύπημα στον Φογκχορν Λέγκχορν. Θα μπορούσες να χρησιμοποιήσεις ένα ρόπαλο του μπέιζμπολ, ή να κόψεις τον στύλο με ένα τσεκούρι ενώ ο Φόγκχορν στέκεται στη σωστή θέση. Θα μπορούσες να χρησιμοποιήσεις μια πυρηνική βόμβα αντί για μια κολώνα, ή να δέσεις με το σπάγκο κατευθείαν το δόλωμα με ένα πιστόλι. Όμως κανένα απ' αυτά τα συστήματα δεν είναι ένας Δαρβινικός πρόδρομος για το σύστημα που χρησιμοποιείται στο καρτούν. Για παράδειγμα, υποθέστε ότι έχεις συνδέσει ένα δολάριο απευθείας με ένα κανόνι που θα τινάζει τον κόκορα μόλις σηκώσει το δόλωμα. Μια Δαρβινική μεταμόρφωση αυτού του παλιού συστήματος στο πιο περίπλοκο του καρτούν θα απαιτούσε να γίνει σταδιακά μια νέα τοποθέτηση του κανονιού, να σημαδέψει προς διαφορετική κατεύθυνση, να λυθεί ο σπάγκος από το κανόνι, να δεθεί ξανά στο ραβδί, και να προστεθούν όλα τα άλλα σύνεργα. Όμως είναι ξεκάθαρο ότι για τον περισσότερο το σύστημα θα πάψει να λειτουργεί, έτσι λοιπόν δεν είναι δυνατή μια βήμα προς βήμα Δαρβινική μεταμόρφωση.

Τα συστήματα του Rube Goldberg πάντα μας δίνουν ένα ευχάριστο γέλιο, και στους θεατές ιδιαίτερα αρέσει να παρατηρούν πως το εφεύρημα δουλεύει και εκτιμούν το χιούμορ στο να βάλεις πολλές εύστροφες και δημιουργικές ιδέες για ένα γελοίο σκοπό. Όμως καμιά φορά ένα περίπλοκο σύστημα χρησιμοποιείται για ένα σοβαρό σκοπό. Σ' αυτήν την περίπτωση εξαφανίζεται το χιούμορ, όμως παραμένει ο θαυμασμός για τις λεπτές αλληλεπιδράσεις των διαφόρων μερών του συστήματος.

Οι σύγχρονοι βιοχημικοί έχουν ανακαλύψει αρκετά συστήματα που μας θυμίζουν τον Rube Goldberg καθώς εξετάζουν τις λειτουργίες της ζωής στο μοριακό επίπεδο. Στα βιοχημικά συστήματα ο σπάγκος, το ραβδί, η κανονόμπαλα, η τραμπάλα, το σκοινί και ο τηλεφωνικός στύλος του

καρτούν αντικαθίστανται από πρωτεΐνες με παράξενα ονόματα όπως «πρόδρομος της θρομβοπλαστίνης του πλάσματος» ή «kininogen -κινινογόνο υψηλού μοριακού βάρους.» Όμως η εσωτερική ισορροπία και η ακριβής λειτουργία παραμένουν η ίδια.

ΧΑΡΤΙΝΑ ΚΟΥΤΙΑ ΜΕ ΓΑΛΑ ΚΑΙ ΚΟΨΙΜΑΤΑ ΣΤΑ ΔΑΧΤΥΛΑ

Όταν ο Κάρολος Δαρβίνος ανέβαινε πάνω στα βράχια των νησιών Γκαλάπαγκος — ψάχνοντας για τους σπίνους που τελικά θα έπαιρναν το όνομα του — θα πρέπει να έκοψε σε διάφορες περιστάσεις τα δάχτυλα του ή να γρατσούνισε τα γόνατα του. Καθώς ήταν νέος, ο εξερευνητής δε θα έδωσε πολλή σημασία στο μικρό ρυάκι αίμα που έρρεε. Ο πόνος ήταν κάτι το γνωστό στη ζωή του άφοβου εξερευνητή των νησιών, και θα έπρεπε να τον υποφέρει σιωπηλά αν ήθελε να ολοκληρώσει το έργο του.

Τελικά το αίμα σταματούσε να τρέχει, και το κόψιμο θεραπευόταν. Αν το είχε προσέξει ο Δαρβίνος, δε θα του έκανε πολύ καλό αν καθόταν να κάνει διάφορες υποθέσεις για του τι συνέβαινε. Δεν είχε αρκετές πληροφορίες ούτε καν για να κάνει έστω και μια υπόθεση για τον μηχανισμό που υπάρχει πίσω από το σχηματισμό θρόμβων· η ανακάλυψη της δομής των μορίων που αφορούν τη ζωή θα αργοπορούσε κατά ένα αιώνα στο μέλλον. Ο Δαρβίνος ήταν ένας γίγαντας της διανόησης, πολύ σπουδαίος στο να παρουσιάσει πρωτοποριακές ιδέες, όμως κανείς δεν μπορεί να υποθέσει του τι έχει το μέλλον, ιδιαίτερα όσον αφορά τις κρίσιμες λεπτομέρειες.

Το αίμα συμπεριφέρεται περίεργα. Όταν στο δοχείο ενός υγρού — όπως στο χάρτινο κουτί του γάλατος, ή σ' ένα βυτίο γεμάτο βενζίνη — παρουσιαστεί μια διαρροή, τότε το δοχείο αδειάζει. Ο ρυθμός της ροής εξαρτάται από το πόσο παχύρρευστο είναι το υγρό (για παράδειγμα ένα σιρόπι θα αδειάσει πιο αργά από το οινόπνευμα), όμως τελικά όλο το υγρό θα φύγει. Δεν υπάρχει κάποια ενεργή αιτία που να το σταματήσει. Σε αντίθεση, όταν σε κάποιον συμβεί να πάθει ένα κόψιμο, συνήθως αιμορραγεί μόνο για ένα μικρό διάστημα, μέχρις ότου να σχηματιστεί ένας θρόμβος που σταματά τη ροή· ο θρόμβος τελικά σκληραίνει, και το κόψιμο θεραπεύεται. Ο σχηματισμός των θρόμβων μας φαίνεται ότι είναι τόσο οικείος έτσι που οι περισσότεροι να μη τους δίνουν σημασία. Όμως η έρευνα της βιοχημείας έδειξε ότι η θρόμβωση του αίματος είναι ένα πολύ σύνθετο σύστημα που αποτελείται από εικοσάδες αλληλεξαρτώμενα πρωτεϊνικά τμήματα. Η απουσία κάποιου, ή κάποιο σημαντικό ελάττωμα σε ένα από αυτά τα συστατικά, γίνονται αιτία το σύστημα να δυσλειτουργεί· και το αίμα δε σχηματίζει θρόμβο τη σωστή στιγμή και στη σωστή θέση.

Μερικές από τις απαιτούμενες λειτουργίες δεν αφήνουν πολλά περιθώρια σφάλματος. Για παράδειγμα, για μένα, το πιο τρομαχτικό μέρος ενός αεροπορικού ταξιδιού είναι η προσγείωση. Ένα μέρος από το φόβο προέρχεται από του ότι το αεροπλάνο πρέπει να αποφύγει να χτυπήσει τις στέγες των σπιτιών ή των δέντρων που συχνά υπάρχουν κοντά στα αεροδρόμια, και επίσης στο ότι το αεροπλάνο πρέπει να σταματήσει πριν φτάσει στο τέρμα του διαδρόμου προσγείωσης. Πριν λίγα χρόνια ένα αεροπλάνο γλίστρησε στο διάδρομο προσγείωσης στο αεροδρόμιο La Guardia του Λονγκ Άιλαντ με αποτέλεσμα δεκάδες άνθρωποι να σκοτωθούν και αρκετές φορές τα πρωτοσέλιδα στις εφημερίδες αφορούν αεροπλάνα που συντρίφτηκαν λίγο πριν την προσγείωση. Ίσως θα ένιωθε κανείς πιο ασφαλής αν οι διάδρομοι προσγείωσης είχαν μήκος τριάντα χιλιόμετρα αντί για ενάμιση χιλιόμετρο που συνήθως έχουν.

Η προσγείωση ενός αεροπλάνου είναι ένα παράδειγμα ενός συστήματος που θα πρέπει να δουλέψει μέσα σε πολύ αυστηρούς περιορισμούς για να αποφευχθεί η καταστροφή. Ακόμη και οι αδελφοί Ράιτ ανησυχούσαν για το πως μπορεί να γίνει σωστά η προσγείωση. Αν η προσγείωση είναι λίγο πιο σύντομη ή λίγο πιο μακριά, αν η σκόπευση είναι λίγο πιο χαμηλά ή λίγο πιο ψηλά,

τότε το αεροπλάνο και οι επιβάτες βρίσκονται σε μεγάλες δυσκολίες. Όμως φανταστείτε την ακό-
μη μεγαλύτερη δυσκολία του να προσγειώσεις ένα αεροπλάνο με τον αυτόματο πιλότο, — χωρίς
κάποιον ενσυνείδητο παράγοντα που να καθοδηγεί την προσγείωση! Η θρόμβωση του αίματος
είναι ένας αυτόματος πιλότος, και η θρόμβωση απαιτεί εξαιρετική ακρίβεια. Αν γίνει μια τρύπα
στο σύστημα της κυκλοφορίας του αίματος με την πίεση που έχει, τότε απαιτείται να σχηματιστεί
γρήγορα ο θρόμβος, αλλιώς το ζώο θα αιμορραγήσει μέχρι θανάτου. Αν όμως το αίμα «πήξει»
στο λάθος σημείο και σε λάθος ώρα, τότε ο θρόμβος θα εμποδίσει την κυκλοφορία, κάτι που
συμβαίνει στα καρδιακά και στα εγκεφαλικά επεισόδια. Επιπλέον, ένας θρόμβος θα πρέπει να
σταματήσει την αιμορραγία σε όλο το μήκος του κοψίματος, με το να το σφραγίσει τέλεια. Όμως
θα πρέπει να περιοριστεί η θρόμβωση μόνο στο κόψιμο, αλλιώς όλο το αίμα θα στερεοποιηθεί
σκοτώνοντας το ζώο. Κατά συνέπεια η θρόμβωση του αίματος θα πρέπει να ελέγχεται πολύ αυ-
στηρά έτσι που να σχηματίζεται ο θρόμβος μόνο όταν απαιτείται.

ΜΠΑΛΩΜΑΤΑ

Στις επόμενες σελίδες θα συναντήσεις μια εικοσάδα από πρωτεϊνικούς παίχτες στο παιχνίδι της
θρόμβωσης του αίματος και θα μάθεις λίγα πράγματα για τους ρόλους τους. Όπως τα μέλη μιας
αθλητικής ομάδας, μερικοί από τους παίκτες έχουν παράξενα ονόματα. Μην ανησυχείς αν τα
ονόματα ή οι ρόλοι των πρωτεϊνών σου ξεφύγουν σύντομα από το νου σου — ο σκοπός της συζή-
τησης δεν είναι να απομνημονεύσεις λεπτομέρειες. (Εξ άλλου, τα ονόματα και οι σχέσεις δείχνο-
νται στην εικόνα 4-3.) Μάλλον ο σκοπός μου είναι να σε βοηθήσουν να νιώσεις πόσο περίπλοκη
είναι η θρόμβωση και έτσι να σκεφτείς αν θα μπορούσε να είχε εμφανιστεί βαθμιαία.

□ Περίπου 2 με 3 τοις εκατό από τις πρωτεΐνες του πλάσματος του αίματος (το μέρος του
αίματος που απομένει μετά που έχουν αφαιρεθεί τα ερυθρά αιμοσφαίρια) αποτελείται
από ένα σύμπλεγμα πρωτεϊνών που ονομάζεται ινωδογόνο⁴³ Το όνομα ινωδογόνο είναι
εύκολο να το θυμόμαστε γιατί αυτή η πρωτεΐνη δημιουργεί «ίνες» που σχηματίζουν τον
θρόμβο. Όμως το ινωδογόνο δυνητικά δεν είναι το μόνο υλικό για σχηματισμό θρόμβου.
Όπως ο τηλεφωνικός στύλος πριν να πέσει στην ιστορία για τον Φογκχορν Λεγκχορν, το
ινωδογόνο είναι ένα όπλο που περιμένει να ελευθερωθεί για να δράσει. Σχεδόν όλες οι
άλλες πρωτεΐνες που εμπλέκονται στη θρόμβωση του αίματος ελέγχουν το χρόνο και τη
θέση που θα σχηματιστεί ο θρόμβος. Αυτό μοιάζει πολύ με το παράδειγμα του καρτούν
καθώς όλα τα άλλα συστατικά εκτός από τον τηλεφωνικό στύλο ήταν απαιτούμενα για να
ελέγξουν την πτώση του στύλου.

Το ινωδογόνο είναι ένα περίπλοκο σύστημα από έξη πρωτεϊνικές αλυσίδες, που περιέχουν
δίδυμα ζεύγη από τρεις διαφορετικές πρωτεΐνες. Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο έχει δείξει
ότι το ινωδογόνο είναι ένα μόριο με σχήμα ράβδου, με δύο στρογγυλά εξογκώματα στο
κάθε άκρο και ένα στρογγυλό εξόγκωμα στο μέσο. Έτσι το ινωδογόνο μοιάζει σαν βαρά-
κια γυμναστικής που όμως έχουν ένα επιπλέον βάρος στο μέσο της ράβδου.

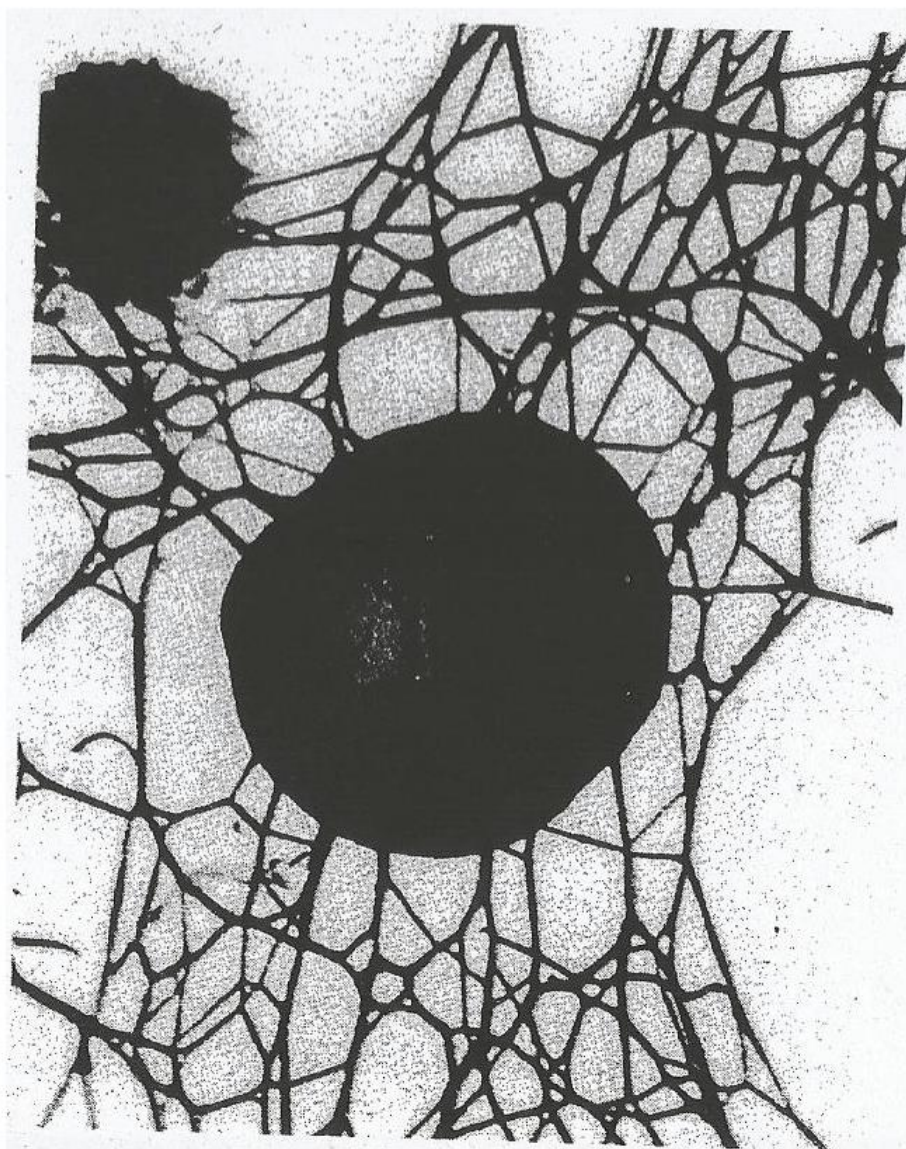
Συνήθως το ινωδογόνο διαλύεται στο πλάσμα, όπως το αλάτι διαλύεται στο νερό του ωκε-
ανού. Επιπλέον, ειρηνικά στο πλάσμα, κοιτάζοντας τη δουλειά του, μέχρις ότου ένα κό-
ψιμο ή μια πληγή γίνεται αιτία να αρχίσει να τρέχει το αίμα. Τότε μια άλλη πρωτεΐνη που
ονομάζεται θρομβίνη, κόβει μερικά μικρά κομμάτια από δύο από τα τρία ζεύγη των αλυ-
σίδων του ινωδογόνου. Η πρωτεΐνη με τις περικοπές — που τώρα ονομάζεται ινώδες (fi-

⁴³ Μια καλή εισαγωγή στην συσσώμωση του αίματος είναι το βιβλίο των Voet, D., και Voet, J. G. (1995) *Biochemis-
try*, John Wiley & Sons, New York, σελ. 1196-1207 Για μια περισσότερο λεπτομερή περιγραφή συμβουλευό-
υ οποιο-
δήποτε από τα ακόλουθα: Fure, B., και Furie, B.C. (1988) "The Molecular Basis of Blood Coagulation," *Cell*, 53, 505-
518· Davie, E. Wl, Fujikawa, K. και Kisiel, W. (1991) "The Coagulation Cascade: Initiation, Maintenance, and Regu-
lation," *Biochemistry*, 30, 10373-10370· Halkier, T. (1991) *Mechanisms in Blood Coagulation, Fibrinolysis and the
Complement System*, Cambridge University Press, Cambridge, England.

brin)⁴⁴ — τώρα έχει κάποιες κολλητικές αποφύσεις που καλυπτόντουσαν από τις κομμάτια που έχουν αποκοπεί. Αυτά τα κολλητικά τμήματα είναι συμπληρωματικά που με μεγάλη ακρίβεια ταιριάζουν σε άλλα τμήματα από μόρια ινώδους. Τα συμπληρωματικά τμήματα επιτρέπουν μεγάλους αριθμούς από μόρια ινώδους να συνενωθούν σε ένα συσσωμάτωμα, κάτι που μας θυμίζει τα μόρια τουμπουλίνης – κονσέρβες τόνου από το 3^ο κεφάλαιο. Όπως τα μόρια της τουμπουλίνης δε συνενώνονται για να σχηματίζουν μια σφαιρική φούσκα αλλά σχηματίζουν μια καμινάδα, το ίδιο και τα μόρια του ινώδους δεν κολλούν τυχαία. Εξαιτίας του σχήματος που έχουν τα μόρια του ινώδους, σχηματίζονται μακριά νήματα, που διασταυρώνονται το ένα με το άλλο, και (όπως το δίχτυ του ψαρά παγιδεύει τα ψάρια) κάνουν ένα είδος διχτύου με πολλούς κόμβους που παγιδεύουν τα κύτταρα του αίματος. Αυτός είναι ο αρχικό κόμβος (εικόνα 4-2). Αυτό το δίχτυ καλύπτει μια μεγάλη έκταση με την ελάχιστη δυνατή ποσότητα πρωτεΐνης· αν απλώς σχημάτιζαν έναν σβόλο τότε θα απαιτούνταν πολύ περισσότερη ποσότητα πρωτεΐνης για να βουλώσει η περιοχή. Η θρομβίνη που κόβει τα κομμάτια του ινωδογόνου, μοιάζει με το κυκλικό πριόνι που

ΕΙΚΟΝΑ 4 -2

ΕΝΑ ΕΡΥΘΡΟ ΑΙΜΟΣΦΑΙΡΙΟ ΠΙΑΣΜΕΝΟ ΜΕΣΑ ΔΙΧΤΥ
ΤΟΥ ΙΝΩΔΟΥΣ ΕΝΟΣ ΘΡΟΜΒΟΥ



⁴⁴ Η κατάληξη –γόνο υποδηλώνει τον ανενεργό προγεννήτορα ενός ενεργού μορίου.

υπάρχει στο καρτούν με τον Φόγκχορν Λεγκχορν. Όπως και το πριόνι, η θρομβίνη βάζει σε ενέργεια το τελικό βήμα μιας ελεγχόμενης διαδικασίας. Όμως τι θα συνέβαινε αν το κυκλικό πριόνι αν λειτουργούσε συνεχώς· χωρίς να χρειάζεται τα άλλα βήματα για να το ξεκινήσουν; Στην περίπτωση αυτή θα έκοβε αμέσως το σκοινί πριν να είχε μπει ο Φόγκχορν στην περιοχή. Παρόμοια, αν οι μόνες πρωτεΐνες που εμπλέκονται στο πήξιμο του αίματος ήταν η θρομβίνη και το ινωδογόνο, η διαδικασία θα ήταν ανεξέλεγκτη. Η θρομβίνη θα έκοβε όλα τα μόρια του ινωδογόνου για να σχηματίσει ινώδες· τότε θα σχηματιζόταν ένας γιγαντιαίος θρόμβος που θα γέμιζε το κυκλοφοριακό σύστημα του ζώου και θα το στερεοποιούσε. Αντίθετα με τους χαρακτήρες των καρτούν τα πραγματικά ζώα θα έχαναν τη ζωή τους. Για να αποφευχθεί ένα τέτοιο άσχημο τέλος ένας οργανισμός θα πρέπει να ελέγξει τη δραστηριότητα της θρομβίνης.

Ο ΚΑΤΑΡΡΑΧΤΗΣ

□ Το σώμα συνήθως αποθηκεύει τα ένζυμα, (πρωτεΐνες που ενεργούν ως καταλύτες για χημικές αντιδράσεις, όπως είναι το κόψιμο του ινωδογόνου), σε μια ανενεργή μορφή για μια κατοπινή δράση. Οι ανενεργές μορφές ονομάζονται προένζυμα. Όταν ληφθεί ένα σήμα ότι απαιτείται ένα ειδικό ένζυμο, τότε ενεργοποιείται το αντίστοιχο προένζυμο για να δώσει το ώριμο ένζυμο. Όπως με την περίπτωση της μετατροπής του ινωδογόνου σε ινώδες, συχνά τα προένζυμα ενεργοποιούνται με το κόψιμο ενός κομματιού από το προένζυμο που καλύπτει μια κρίσιμη περιοχή. Αυτή η στρατηγική χρησιμοποιείται συνήθως με τα πεπτικά ένζυμα. Μεγάλες ποσότητες μπορούν να αποθηκευτούν ως ανενεργά προένζυμα, και όταν φτάσει το επόμενο καλό γεύμα να ενεργοποιηθούν με μεγάλη ταχύτητα.

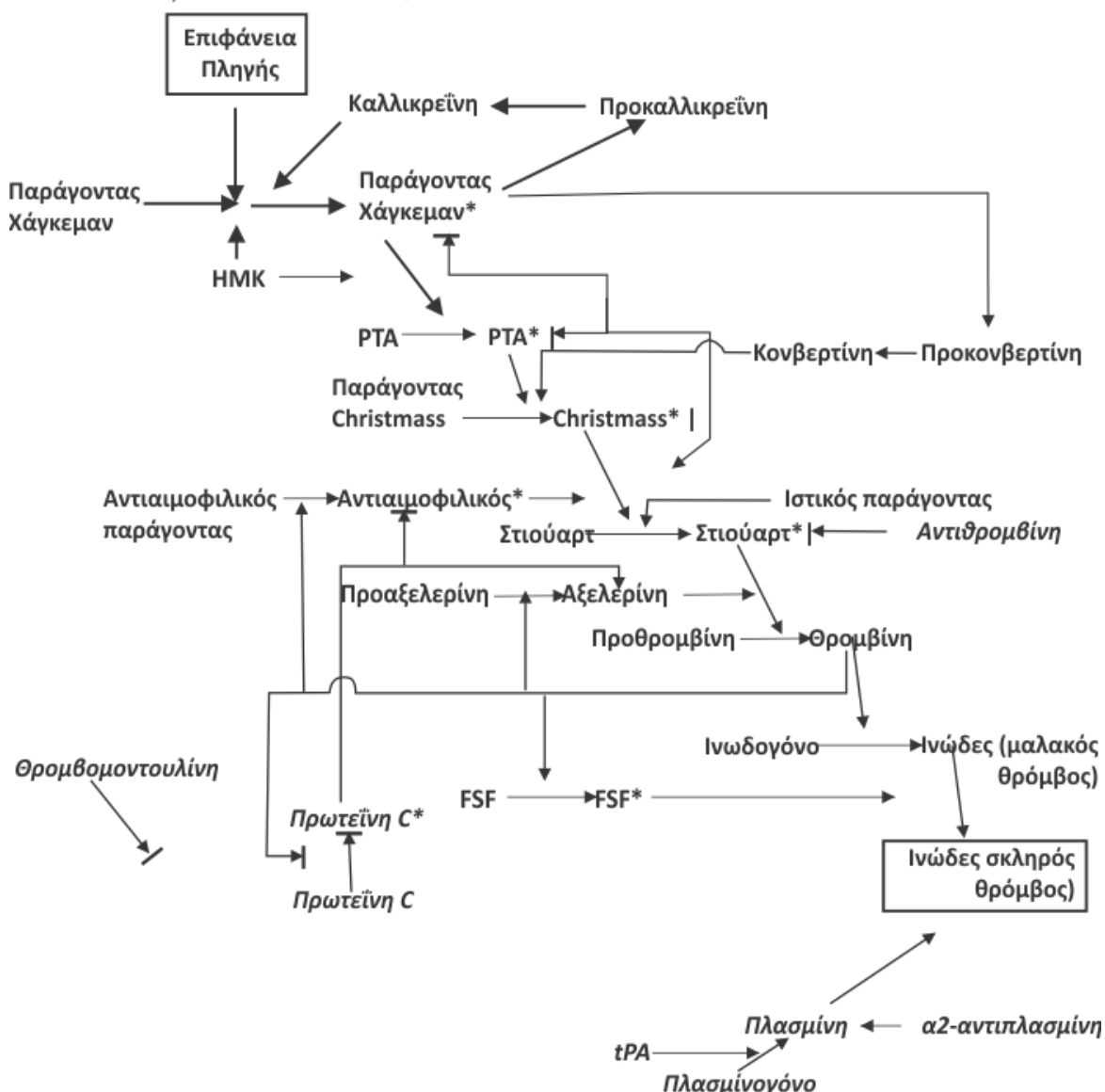
Η θρομβίνη συνήθως υπάρχει με τη μορφή της ανενεργού προθρομβίνης. Επειδή η προθρομβίνη είναι ανενεργή, δεν μπορεί να κόψει το ινωδογόνο, και το ζώο σώζεται από το θάνατο που θα προκαλούσε μια μαζική και ακατάλληλη θρόμβωση. Παρόλα αυτά παραμένει το δίλημμα του ελέγχου. Αν το πριόνι του καρτούν ήταν ανενεργό, τότε ο τηλεφωνικός στύλος θα έπεφτε στην ακατάλληλη στιγμή. Αν δεν υπήρχε τίποτε που να ενεργοποιήσει το πριόνι, τότε το σκοινί ποτέ δε θα κοβόταν, και ο στύλος ποτέ δε θα κοβόταν. Αν το ινωδογόνο και η προθρομβίνη ήταν οι μόνες πρωτεΐνες μέσα στο μονοπάτι της θρόμβωσης του αίματος, τότε το ζώο θα βρισκόταν σε δύσκολη θέση. Τη στιγμή που θα κοβόταν το ζώο, η προθρομβίνη θα έπλεε ανήμπορη δίπλα στο ινωδογόνο ενώ το ζώο θα αιμορραγούσε μέχρι θανάτου. Αφού η προθρομβίνη δεν μπορεί να κόψει το ινωδογόνο για να σχηματιστεί ινώδες, κάτι χρειάζεται για να ενεργοποιήσει την προθρομβίνη. Ίσως ο αναγνώστης να μπορεί να δει γιατί το σύστημα του σχηματισμού θρόμβου ονομάζεται ένας *καταρράχτης* — ένα σύστημα όπου το ένα συστατικό ενεργοποιεί ένα άλλο συστατικό, και αυτό ενεργοποιεί ένα τρίτο συστατικό, κ.ο.κ. Αφού τα πράγματα αρχίζουν να γίνονται περίπλοκα, καλό θα είναι για να μπορέσουμε να παρακολουθήσουμε τη συζήτηση να συμβουλευτούμε την εικόνα 4-3.

Μια πρωτεΐνη που ονομάζεται παράγοντας Στιούαρτ κόβει την προθρομβίνη και τη μετατρέπει σε ενεργή θρομβίνη που με τη σειρά της κόβει το ινωδογόνο σε ινώδες για να σχηματιστεί ο θρόμβος.⁴⁵ Δυστυχώς, όπως ίσως θα έχεις υποπτευθεί, αν ο παράγοντας Στιούαρτ η προθρομβίνη και το ινωδογόνο, ήταν οι μόνες πρωτεΐνες που εμπλέκονται στο σχη-

⁴⁵ Η λέξη *παράγοντας* πολλές φορές χρησιμοποιείται στην έρευνα όταν δεν είναι αρκετά γνωστή η φύση μιας ουσίας που είναι υπό έρευνα — είτε είναι πρωτεΐνη, είτε λίπος, είτε υδατάνθρακας ή κάτι άλλο. Ακόμη και μετά που έχει διακριβωθεί η ταυτότητα του, μερικές φορές το παλιό όνομα εξακολουθεί να χρησιμοποιείται. Στο μονοπάτι του σχηματισμού θρόμβου όλοι οι «παράγοντες» είναι πρωτεΐνες.

Σ' αυτό το σημείο υπάρχει ένα μπέρδεμα στην ανάπτυξη του σεναρίου μας κότα-αβγό. Ακόμη και ο ενεργοποιημένος παράγοντας Στιούαρτ δεν μπορεί να ενεργοποιήσει την προθρομβίνη. Μπορεί κανείς να αναμείξει τον παράγοντα Στίουαρτ και την προθρομβίνη σ' ένα δοκιμαστικό σωλήνα για ένα χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από αυτό που χρειάζεται για να αιμορραγήσει ένα ζώο μέχρι θανάτου χωρίς να έχει παρατηρηθεί κάποια σημαντική παραγωγή θρομβίνης. Αποδεικνύεται ότι χρειάζεται μια άλλη πρωτεΐνη που ονομάζεται αξελερίνη για να αυξηθεί η δράση του παράγοντα Στιούαρτ. Αυτό το δυναμικό ντουέτο—αξελερίνη και παράγοντας Στιούαρτ—κόβουν αρκετά γρήγορα την προθρομβίνη και έτσι κάνουν κάτι το καλό στο ζώο με την αιμορραγία. Έτσι αυτό το βήμα απαιτεί

Ο ΚΑΤΑΡΡΑΚΤΗΣ ΤΗΣ ΠΗΞΗΣ ΤΟΥ ΑΙΜΑΤΟΣ. ΟΙ ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΠΟΥ ΤΑ ΟΝΟΜΑΤΑ ΤΟΥΣ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΟΣΕΙΡΑ ΕΜΠΛΕΚΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΘΡΟΜΒΟΥ, ΟΙ ΠΡΩΤΕΙΝΕΣ ΠΟΥ ΤΑ ΟΝΟΜΑΤΑ ΤΟΥΣ ΕΙΝΑΙ ΓΡΑΜΜΕΝΑ ΜΕ ΠΛΑΓΙΑ ΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΜΠΛΕΚΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΝΑ ΕΜΠΟΔΙΣΤΕΙ ΠΡΟΛΗΨΗ, ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ, Η ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΘΡΟΜΒΩΝ ΤΟΥ ΑΙΜΑΤΟΣ. ΤΑ ΒΕΛΗ ΠΟΥ ΚΑΤΑΛΗΓΟΥΝ ΣΕ ΈΝΑ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΕΙΧΝΟΥΝ ΠΡΩΤΕΙΝΕΣ ΠΟΥ ΕΝΕΡΓΟΥΝ ΓΙΑ ΝΑ ΕΜΠΟΔΙΣΟΥΝ, ΝΑ ΕΝΤΟΠΙΣΟΥΝ Ή ΑΦΑΙΡΕΣΟΥΝ ΘΡΟΜΒΟΥΣ ΤΟΥ ΑΙΜΑΤΟΣ.



60

Ναι, η αξελερίνη αρχικά βρίσκεται σε μια ανενεργή μορφή που ονομάζεται προαξελερίνη (ουφ). Και τι την ενεργοποιεί; Η θρομβίνη! Όμως η θρομβίνη, όπως είδαμε είναι πιο μακριά από την προαξελερίνη στο ρυθμιστικό καταρράχτη. Έτσι η θρομβίνη που ρυθμίζει την παραγωγή της αξελερίνης, είναι σαν την εγγονή που ρυθμίζει την παραγωγή της γιαγιάς. Όμως, εξαιτίας του πολύ χαμηλού ρυθμού κοψίματος της προθρομβίνης από τον παράγοντα Στιούαρτ, φαίνεται ότι πάντα υπάρχει ένα ίχνος θρομβίνης μέσα στην κυκλοφορία του αίματος. Έτσι λοιπόν η δημιουργία θρόμβων στο αίμα είναι *αυτο-καταλυτική*. Γιατί οι πρωτεΐνες στον καταρράχτη επιταχύνουν την παραγωγή για περισσότερες από τις ίδιες πρωτεΐνες.

Χρειάζεται να πάμε σ' αυτό το σημείο λίγο πίσω, γιατί όπως αποδεικνύεται, η προθρομβίνη όταν δημιουργείται στο κύτταρο δεν μπορεί να μετατραπεί σε θρομβίνη, ακόμη και όταν υπάρχει ενεργοποιημένος παράγοντας Στιούαρτ και αξελερίνη. Η προθρομβίνη θα πρέπει πρώτα να τροποποιηθεί (δε δείχνεται στην εικόνα 4-2) με το να αλλαχτούνε δέκα ειδικές ρίζες αμινοξέων, που ονομάζονται ρίζες γλουταμάτης (Glu), και να μετατραπούνε σε ρίζες γ-ανθρακικής γλουταμάτης (Gla). Οι μετατροπές μπορούν να συγκριθούν με το να τοποθετήσουμε την κάτω σιαγόνα στην άνω σιαγόνα ενός κρανίου. Η τελειωμένη δομή μπορεί να δαγκάσει και να μείνει κρεμασμένη σε ένα δαγκαμένο αντικείμενο· χωρίς την κάτω γνάθο, το κρανίο δε θα μπορούσε να μείνει κρεμασμένο. Στην περίπτωση της προθρομβίνης, οι ρίζες Gla «δαγκάνουν» (ή συνδέονται με) το ασβέστιο, επιτρέποντας στην προθρομβίνη να μείνει κολλημένη στις επιφάνειες των κυττάρων. Μόνο τα ολοκληρωμένα και αλλαγμένα συμπλέγματα ασβεστίου – προθρομβίνης, που συνδέονται με την κυτταρική μεμβράνη, μπορούν να κοπούν από τον μεταλλαβμένο παράγοντα Στιούαρτ και την αξελερίνη και να δώσουν θρομβίνη.

Δε συμβαίνει τυχαία η μετατροπή της προθρομβίνης. Όπως σχεδόν όλες οι βιοχημικές αντιδράσεις, απαιτεί κατάλυση από ειδικό ένζυμο. Επιπρόσθετα στο ένζυμο, όμως, η μετατροπή της Glu σε Gla χρειάζεται άλλο ένα συστατικό: τη βιταμίνη Κ. Η βιταμίνη Κ δεν είναι πρωτεΐνη· είναι ένα μάλλον μικρό μόριο, όπως το 11 – cis – ρέτιναλ (που περιγράφεται στο 1^ο κεφάλαιο) που είναι αναγκαίο για την όραση. Όπως το τουφέκι χρειάζεται για να «δουλέψει» σφαίρες, έτσι και το ένζυμο που μετατρέπει τη Glu σε Gla χρειάζεται για να δουλέψει βιταμίνη Κ. Ένας τύπος ποντικοφάρμακου βασίζεται στο ρόλο που παίζει η βιταμίνη Κ στη συσσωμάτωση του αίματος. Το συνθετικό δηλητήριο που ονομάζεται «βαρφαρίνη (warfarin)» (από τα αρχικά των Wisconsin Alumni Research Fund, που λαμβάνει από τις πωλήσεις ένα μερίδιο από τα κέρδη), κατασκευάζεται για να μοιάζει με τη βιταμίνη Κ στο ένζυμο που τη χρησιμοποιεί. Έτσι όταν υπάρχει βαρφαρίνη το ένζυμο δε μπορεί να μετατρέψει τη προθρομβίνη. Όταν τα ποντίκια και οι αρουραίοι τρώνε τροφή δηλητηριασμένη με βαρφαρίνη, η προθρομβίνη ούτε μετατρέπεται και ούτε κόβεται κι έτσι το δηλητηριασμένο ζώο αιμορραγεί μέχρι θανάτου.

Όμως ακόμη δε φαίνεται να έχουμε κάνει πολλή πρόοδο — τώρα πρέπει να επιστρέψουμε και να ρωτήσουμε τι είναι αυτό που ενεργοποιεί τον παράγοντα Στιούαρτ. Φαίνεται ότι μπορεί να ενεργοποιηθεί με δύο διαφορετικές πορείες, η μία ονομάζεται *εσωτερική* και η άλλη *εξωτερική* πορεία. Στην εσωτερική πορεία, όλες οι πρωτεΐνες που απαιτούνται για τη δημιουργία του θρόμβου περιέχονται στο πλάσμα του αίματος, ενώ στην εξωτερική πορεία μερικές από τις πρωτεΐνες της θρόμβωσης υπάρχουν μέσα στα κύτταρα. Ας εξετάσουμε πρώτα την εσωτερική πορεία. (Παρακαλείστε να την παρακολουθήσετε χρησιμοποιώντας την εικόνα 4-3.)

Όταν συμβεί να τραυματιστεί ένα ζώο, μια πρωτεΐνη που ονομάζεται παράγοντας Χάγκεμαν κολλά κοντά στην πληγή στην επιφάνεια των κυττάρων. Ο συνδεδεμένος παράγοντας Χάγκεμαν κόβεται μετά από μια πρωτεΐνη που ονομάζεται ΗΜΚ και δίνει ενεργοποιημένο

παράγοντα Χάγκεμαν. Αμέσως ο ενεργοποιημένος παράγοντας Χάγκεμαν μετατρέπει μια άλ

λη πρωτεΐνη που ονομάζεται προκαλκρεΐνη, στην ενεργή της μορφή, την καλκρεΐνη. Η Καλκρεΐνη βοηθά την ΗΜΚ ώστε να μετατραπεί ακόμη περισσότερος παράγοντας Χάγκεμαν στην ενεργή του μορφή. Ο ενεργοποιημένος παράγοντας Χάγκεμαν και η ΗΜΚ μετατρέπουν μια άλλη πρωτεΐνη που ονομάζεται ΡΤΑ στην ενεργή της μορφή. Με τη σειρά της, η ενεργή ΡΤΑ μαζί με την ενεργή μορφή μιας άλλης πρωτεΐνης (που θα τη συζητήσουμε παρακάτω) που ονομάζεται κονβερτίνη, αλλάζουν μια πρωτεΐνη που ονομάζεται παράγοντας Χριστουγέννων (Christmas factor) στην ενεργή της μορφή. Τελικά ο ενεργοποιημένος παράγοντας Χριστουγέννων μαζί με τον αντισταμοφιλικό παράγοντα (που και αυτός με τη σειρά του ενεργοποιείται από τη θρομβίνη με ένα τρόπο παρόμοιο με την προαξελερίνη) μετατρέπει τον παράγοντα Στιούαρτ στην ενεργή του μορφή.

Όπως την εσωτερική πορεία, η εξωτερική πορεία είναι και αυτή ένας καταρράχτης. Η εξωτερική πορεία αρχίζει με μια πρωτεΐνη που ονομάζεται προκονβερτίνη και μετατρέπεται σε κονβερτίνη από τον ενεργοποιημένο παράγοντα Χάγκεμαν και τη θρομβίνη. Όταν υπάρχει μια άλλη πρωτεΐνη, ο παράγοντας του ιστού, η κονβερτίνη μετατρέπει τον παράγοντα Στιούαρτ στην ενεργή του μορφή. Όμως ο παράγοντας ιστού εμφανίζεται μόνο στο εξωτερικό των κυττάρων που δεν έχουν επαφή με το αίμα. Έτσι λοιπόν, η εξωτερική πορεία ξεκινά μόνο όταν μία πληγή φέρει τον ιστό σε επαφή με το αίμα. (Μια πληγή παίζει ένα ρόλο παρόμοιο με αυτό που έχει ο Φόγκχορν Λεγκχορν καθώς μαζεύει το δολάριο. Είναι αυτό το γεγονός που ξεκινά τη διαδικασία — κάτι έξω από τον ίδιο το μηχανισμό-καταρράχτη.

Η εσωτερική και η εξωτερική πορεία διασταυρώνονται σε αρκετά σημεία. Ο παράγοντας Χάγκεμαν που ενεργοποιείται από την εσωτερική πορεία μπορεί να μεταβάλλει την προκονβερτίνη της εξωτερικής πορείας, Η κονβερτίνη μπορεί να επιδράσει πίσω στην εσωτερική πορεία με το να βοηθήσει την ενεργό ΡΤΑ να ενεργοποιήσει τον παράγοντα Χριστουγέννων. Η ίδια η θρομβίνη μπορεί να «σκανδαλίσει» και τους δύο κλάδους του καταρράχτη της θρόμβωσης με το να ενεργοποιήσει τον αντισταμοφιλικό παράγοντα που απαιτείται για να βοηθήσει τον ενεργοποιημένο παράγοντα Χριστουγέννων για να μετατρέψει τον παράγοντα Στιούαρτ στην ενεργή του μορφή, και επίσης με τ να ενεργοποιήσει την προκονβερτίνη. □

Το να περπατήσει με δυσκολία μέσα στην περιγραφή του συστήματος της θρόμβωσης σε κάνει να ποθείς την απλότητα της μηχανής της γελοιογραφίας του Rube Goldberg

ΟΜΟΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ

Υπάρχουν μερικές νοητικές διαφορές μεταξύ της γελοιογραφίας του Φόγκχορν Λέγκχορν και του συστήματος για θρόμβωση του αίματος που έχουμε στην πραγματικότητα· οι διαφορές τονίζουν τη μεγαλύτερη περιπλοκότητα του βιοχημικού συστήματος. Η πιο σημαντική διαφορά βρίσκεται στο ότι ο καταρράχτης της θρόμβωσης θα πρέπει να σταματήσει σε κάποιο σημείο πριν ο οργανισμός να στερεοποιηθεί τελείως (αυτό θα συζητηθεί παρακάτω). Μια δεύτερη διαφορά είναι ότι η πορεία ελέγχου για τη θρόμβωση του αίματος χωρίζεται σε δύο. Θα υπάρχει λοιπόν η δυνατότητα να υπάρχουν δύο τρόποι για να προκληθεί η θρόμβωση. Η σχετική σημασία αυτών των δύο πορειών στους ζωντανούς οργανισμούς είναι αρκετά θολή. Είναι δύσκολο να εκτελεστούν αρκετά από τα πειράματα που αφορούν τη θρόμβωση· μερικές από τις πρωτεΐνες — ιδιαίτερα αυτές που περιλαμβάνονται στα αρχικά στάδια της πορείας — βρίσκονται στο αίμα μόνο σε μικροσκοπικές ποσότητες. Για παράδειγμα, σε εκατό γαλιόνια αίματος υπάρχει μόνο 1 χιλιοστά από μια ουγγιά από τον αντισταμοφιλικό παράγοντα. Επιπλέον επειδή τα αρχικά στάδια της θρόμβωσης ανατροφοδοτούν για να παράγουν περισσότερες από τις αρχικές ενεργοποιητικές πρωτεΐνες, συχνά είναι δύσκολο να ξεχωρίσουμε ποιος ακριβώς είναι ο ενεργοποιητικός παράγοντας.

Υπάρχει επίσης μια σημαντική εννοιολογική ομοιότητα μεταξύ του συστήματος επίθεσης κατά του Φογκχορν και της πορείας σχηματισμού θρόμβου στο αίμα: και τα δύο είναι μη αναγώγιμα περίπλοκα. Αν αφήσουμε για λίγο το σύστημα πριν το διαχωρισμό στις δύο πορείες, μερικές από τις λεπτομέρειες δεν είναι και πολύ γνωστές. Δηλαδή, είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα που συντίθεται από αρκετά μέρη τα οποία αφενός συνεισφέρουν στη βασική λειτουργία ενώ το ένα αλληλεπιδρά με το άλλο, και κατά συνέπεια η αφαίρεση κάποιου από τα συστατικά μέρη γίνεται αιτία να σταματήσει να λειτουργεί το σύστημα. Η λειτουργία του συστήματος δημιουργίας θρόμβων στο αίμα έχει σκοπό τη δημιουργία ενός στερεού φράγματος στην κατάλληλη στιγμή και στην κατάλληλη θέση έτσι που να σταματήσει η ροή του αίματος από ένα τραυματισμένο αγγείο. Τα συστατικά του συστήματος (πέρα από τη διχάλα στις πορείες) είναι το ινωδογόνο, η προθρομβίνη, ο παράγοντας Στιούαρτ και η προαξελερίνη. Όπως κανένα από τα συστατικά μέρη του συστήματος του Φογκχορν δεν χρησιμοποιείται παρά μόνο για να ελέγξουν την πτώση του τηλεφωνικού στύλου, έτσι και καμία από τις πρωτεΐνες του καταρράχτη δεν χρησιμοποιείται για τίποτε άλλο παρά μόνο για να ελέγξουν το σχηματισμό του θρόμβου του αίματος. Όμως αν απουσιάζει ένα οποιοδήποτε από τα συστατικά, δε σχηματίζεται θρόμβος και το σύστημα καταρρέει.

Υπάρχουν και άλλοι τρόποι για να σταματήσει η ροή του αίματος στις πληγές αλλά αυτοί οι τρόποι δεν είναι πρόδρομοι βήμα προς βήμα του καταρράχτη της θρόμβωσης. Για παράδειγμα το σώμα μπορεί να συσφίξει τα αιμοφόρα αγγεία κοντά σε ένα κόψιμο για να βοηθήσει το σταμάτημα της ροής του αίματος. Επίσης υπάρχουν τα κύτταρα του αίματος που ονομάζονται αιμοπετάλια κολλάνε κοντά στην περιοχή γύρω από το κόψιμο, βοηθώντας στο να κλείσουν για μικρές πληγές. Όμως αυτά τα σύστημα δεν μπορεί να μεταμορφωθεί βαθμιαία στο σύστημα σχηματισμού θρόμβου στο αίμα όπως δεν μπορεί να μεταμορφωθεί μια ποντικοπαγίδα με κόλλα βαθμιαία σε μια μηχανική ποντικοπαγίδα.

Το απλούστερο σύστημα που μπορούμε να φανταστούμε για δημιουργία θρόμβων θα μπορούσε να είναι μια μοναχική πρωτεΐνη που συσσωματώνεται τυχαία όταν ο οργανισμός υφίσταται ένα κόψιμο. Μπορούμε να το παρομοιάσουμε με ένα τηλεφωνικό στύλο που έχει πριονιστεί τελείως, ισορροπώντας επικίνδυνα, και που εξαρτάται από μικρούς κραδασμούς του εδάφους καθώς ο Φογκχορν Λέγκχορν περνά από εκεί για να προκληθεί η πτώση. Ο άνεμος καθώς και άλλοι παράγοντες, μπορούν εύκολα να ανατρέψουν το στύλο ακόμη και όταν δεν είναι εκεί κοντά ο κόκορας. Επιπλέον ο στύλος δεν είναι στραμμένος προς κάποια κατεύθυνση (όπως προς το δόλωμα) όπου έχει μεγάλη πιθανότητα να είναι ο Φόγκχορν. Κατά παρόμοιο τρόπο το απλοϊκό σύστημα θρόμβωσης θα μπορούσε να διεγερθεί με τελείως ακατάλληλο τρόπο με αποτέλεσμα να προκαλεί μια τυχαία βλάβη και σπατάλη των εφοδίων. Ούτε ο απλοποιημένος μηχανισμός της γελοιογραφίας ούτε το απλό «σύστημα» θρόμβωσης θα ικανοποιούσαν το κριτήριο μιας ελάχιστης λειτουργικότητας. Στα συστήματα του Rube Goldberg, δεν είναι η τελική δράση (πέσιμο του στύλου, σχηματισμός θρόμβου) που είναι το πρόβλημα — μάλλον είναι το σύστημα ελέγχου.

Ένας θα μπορούσε να φανταστεί ένα σύστημα σχηματισμού θρόμβου που θα ήταν λίγο απλούστερο από το πραγματικό — όπου για παράδειγμα ο παράγοντας Στιούαρτ μετά την ενεργοποίηση από τον υπόλοιπο καταρράχτη, κόβει αμέσως το ινωδογόνο για να σχηματίσει ινώδες, προσπερνώντας την θρομβίνη. Αφήνοντας κατά μέρος προς στιγμή τα θέματα ελέγχου και συγχρονισμού του σχηματισμού θρόμβου, αν το σκεφτούμε μπορούμε να δούμε ότι ένα τέτοιο ελαφρά απλοποιημένο σύστημα δε μπορεί να μετατραπεί βαθμιαία σε ένα πιο περίπλοκο και ολοκληρωμένο σύστημα. Αν μια νέα πρωτεΐνη προστεθεί στο χωρίς θρομβίνη σύστημα, θα μπορούσε είτε να κάνει το σύστημα να λειτουργήσει αμέσως — προκαλώντας ένα γρήγορο θάνατο — ή δε θα έκανε τίποτε κι έτσι δε θα έχει λόγο για να επιλεγεί. Εξαιτίας της φύσης του καταρράχτη, η νέα πρωτεΐνη θα έπρεπε να ρυθμιστεί αμέσως. Από την αρχή το νέα βήμα στον καταρράχτη θα απαιτούσε και ένα προένζυμο και ταυτόχρονα έναν παράγοντα που να ενεργοποιήσει το πρόενζυμο στη σωστή στιγμή και θέση. Επειδή κάθε βήμα κατ' ανάγκη απαιτεί διάφορα συστατικά, το σύ-

στημα θρόμβωσης του αίματος όχι μόνο είναι μη αναγώγιμα περίπλοκα αλλά το ίδιο συμβαίνει και για κάθε βήμα της πορείας του.

Νομίζω ότι ένα κανάλι για πλοία είναι μια καλή αναλογία για αυτήν την πλευρά του συστήματος σχηματισμού θρόμβου στο αίμα. Το κανάλι του Παναμά επιτρέπει στα πλοία να διασχίζουν τον ισθμό και να περνούν από τον Ειρηνικό Ωκεανό στην Καραϊβική θάλασσα. Επειδή η ξηρά είναι ψηλότερη από το επίπεδο της θάλασσας, διάφορα φράγματα με φράκτες ανεβάζουν το πλοίο σε ένα επίπεδο όπου για ένα διάστημα μπορεί να κινηθεί. Μετά ένα άλλο φράγμα με το φράκτη του υψώνουν το πλοίο σε ανώτερο επίπεδο και μετά με τη βοήθεια άλλων φραγμάτων και φρακτών το πλοίο κατεβαίνει από την άλλη πλευρά και τελικά φτάνει στο επίπεδο της θάλασσας. Η πύλη σε κάθε φράγμα κρατά το νερό καθώς το πλοίο υψώνεται ή κατεβαίνει· υπάρχουν αντλίες είτε αγωγοί που είτε εισάγουν νερό είτε επιτρέπουν σε μια ποσότητα νερού να φύγει. Σε κάθε φράγμα πρέπει να υπάρχουν και οι δύο λειτουργίες: ένας φράκτης και ένας αγωγός αλλιώς δεν μπορεί να λειτουργήσει. Κατά συνέπεια κάθε φράγμα με το σύστημα αντλίας-αγωγών είναι μη αναγώγιμα περίπλοκα. Με ανάλογο τρόπο κάθε ένα από τα συστήματα ελέγχου του καταρράχτη της δημιουργίας θρόμβου χρειάζεται ταυτόχρονα ένα ανενεργό προένζυμο και ένα χωριστό ένζυμο που θα το ενεργοποιήσει.

ΔΕΝ ΕΧΟΥΜΕ ΤΕΛΕΙΩΣΕ ΑΚΟΜΗ

□ Όταν ξεκινήσει η θρόμβωση, τι είναι αυτό που τη σταματά πριν εξαπλωθεί και στερεοποιήσει όλο το αίμα; Η θρόμβωση περιορίζεται στην περιοχή της πληγής με διάφορους τρόπους. (Σας παρακαλώ να συμβουλευτείτε την εικόνα 4-3.) Πρώτα απ' όλα υπάρχει μια πρωτεΐνη του πλάσματος που ονομάζεται αντιθρομβίνη και που συνδέεται με τις ενεργές (όχι με τις ανενεργές) μορφές των περισσότερων πρωτεϊνών που συμβάλλουν στη θρόμβωση και τις εξουδετερώνει. Η αντιθρομβίνη είναι η ίδια σχετικά ανενεργή, και αυτό συμβαίνει σχεδόν πάντα εκτός όταν συνδέεται με μια ουσία που ονομάζεται ηπαρίνη. Η ηπαρίνη βρίσκεται μέσα στα κύτταρα και σε αιμοφόρα αγγεία που δεν έχουν ζημιές. Ένας δεύτερος τρόπος με τον οποίο περιορίζονται οι θρόμβοι είναι μέσα από τη δράση της πρωτεΐνης C. Μετά την ενεργοποίηση από τη θρομβίνη, η πρωτεΐνη C, καταστρέφει την αξελερίνη και τον ενεργοποιημένο αντιαιμοφιλικό παράγοντα. Τελικά μια πρωτεΐνη ου ονομάζεται θρομβομονδουλίνη καλύπτει την επιφάνεια των κυττάρων στο εσωτερικό των αιμοφόρων αγγείων. Η θρομβομονδουλίνη συνδέεται με την θρομβίνη, και την κνάνει λιγότερο ικανή να διασπά το ινωδογόνο και ταυτόχρονα αυξάνει την ικανότητα του να ενεργοποιεί την πρωτεΐνη C.

Όταν τελικά σχηματίζεται ο θρόμβος, είναι αρκετά ευαίσθητος: αν χτυπηθεί η περιοχή της πληγής ο θρόμβος εύκολα μπορεί να διαταραχθεί κι έτσι ξανααρχίζει η αιμορραγία. Για να προληφθεί αυτό, το σώμα διαθέτει μια μέθοδο για να ενισχύσει το θρόμβο μετά που έχει σχηματιστεί. Το συσσωρευμένο ινώδες «δένεται» με μια ενεργοποιημένη πρωτεΐνη που ονομάζεται FSF (από Fibrin stabilizing factor – παράγοντας σταθεροποίησης του δούς.), που σχηματίζει διάφορες διασταυρούμενες συνδέσεις μεταξύ των μορίων ινώδους. Τελικά όμως, ο θρόμβος του αίματος θα πρέπει να αφαιρεθεί μετά την πρόοδο της θεραπείας. Μια πρωτεΐνη που ονομάζεται πλασμίνη ενεργεί σαν ψαλίδι και κατά ένα ι-διαίτερο τρόπο κόβει τα θρόμβους ινώδους. Ευτυχώς όμως που η πλασμίνη δεν επενεργεί στο ινωδογόνο. Η πλασμίνη όμως δεν πρέπει να ενεργήσει αρκετά γρήγορα, αλλιώς η πληγή δε θα έχει αρκετό χρόνο για πλήρη θεραπεία. Έτσι λοιπόν συμβαίνει αρχικά με αυτόματο τρόπο με μια ανενεργή μορφή που ονομάζεται πλασμινογόνο. Για να μετατραπεί το πλασμινογόνο σε πλασμίνη δρα καταλυτικά μια πρωτεΐνη που ονομάζεται t-PA. Υπάρχουν και άλλες πρωτεΐνες που ελέγχουν τη διάλυση του θρόμβου, σ' αυτές συμπεριλαμβάνεται η α2-αντιπλασμίνη, η οποία συνδέεται με την πλασμίνη, και έτσι την εμποδίζει από του να καταστρέψει τους θρόμβους του ινώδους. □

Η μηχανή στη γελοιογραφία που χτύπησε τον Φόγκχορν Λεγκχορν εξαρτάται κρίσιμα από μια ευθυγράμμιση με ακρίβεια, από το χρονισμό, και από τη δομή πολλών συστατικών. Αν ήταν πολύ μακρύς ο σπάγκος που είναι συνδεδεμένος με το χαρτονόμισμα του δολαρίου, ή αν το κανόνι δεν έχει ευθυγραμμιστεί καλά, τότε όλο το σύστημα θα αποτύχει. Με τον ίδιο τρόπο ο καταρράχτης της θρόμβωσης εξαρτάται κρίσιμα από το χρονισμό και από την ταχύτητα με την οποία συμβαίνουν οι αντιδράσεις. Ένα ζώο θα στερεοποιούταν αν στη λανθασμένη στιγμή η θρομβίνη ενεργοποιούσε την προκονβερίνη· θα μπορούσε το ζώο να αιμορραγήσει μέχρι θανάτου αν η προαξελρίνη ή ο αντιαιμοφιλικός παράγοντας ενεργοποιούνταν πολύ αργά. Ένας οργανισμός θα «έμπαινε στην ιστορία» αν η θρομβίνη ενεργοποιούσε την πρωτεΐνη C αρκετά πιο γρήγορα από ότι ενεργοποιούσε την προαξελρίνη, ή αν η αντιθρομβίνη αδρανοποιούσε τον παράγοντα Στιούαρτ με την ίδια ταχύτητα με την οποία σχηματίζεται. Αν το πλασμινογόνο ενεργοποιούνταν αμέσως μετά το σχηματισμό του θρόμβου, θα διέλυε το θρόμβο κι' έτσι θα ματαίωνε τη λειτουργία αυτής της διεργασίας.

Ο σχηματισμός, ο περιορισμός, η ενδυνάμωση και η αφαίρεση ενός θρόμβου του αίματος είναι ένα ολοκληρωμένο βιολογικό σύστημα, και τα προβλήματα που θα συμβούν στα ξεχωριστά συστατικά μπορεί να γίνει αιτία για αποτυχία του συστήματος. Η έλλειψη κάποιων παραγόντων της θρόμβωσης του αίματος, ή η παραγωγή ελαττωματικών παραγόντων, έχει συχνά ως αποτέλεσμα σοβαρά προβλήματα υγείας ή ακόμη και το θάνατο. Η πιο συνηθισμένη μορφή αιμοφιλίας προέρχεται από την έλλειψη του αντιαιμοφιλικού παράγοντα, που βοηθά τον παράγοντα Χριστουγέννων στην μετατροπή του παράγοντα Στιούαρτ στην ενεργή του μορφή. Η έλλειψη του παράγοντα Χριστουγέννων είναι η δεύτερη πιο συχνή μορφή αιμοφιλίας. Σοβαρά προβλήματα υγείας μπορούν να ανακύψουν αν είναι ελαττωματικές οι πρωτεΐνες του μονοπατιού της θρόμβωσης, αν και αυτές είναι λιγότερο συνηθισμένες. Οι ανωμαλίες της θρόμβωσης μπορούν να συνοδεύουν τις ελλείψεις σε FSF, της βιταμίνης K, ή της α2-αντιπλάσμινης, οι οποίες δεν εμπλέκονται άμεσα στη θρόμβωση. Επιπρόσθετα η έλλειψη της πρωτεΐνης C είναι αιτία θανάτου σε βρέφη γιατί γίνονται αιτία για την εμφάνιση πολυάριθμων επικίνδυνων θρόμβων.

ΑΝΑΚΑΤΕΥΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΤΡΑΠΟΥΛΑ

Είναι άραγε δυνατό ολόκληρο αυτό το υπερβολικά περίπλοκο σύστημα να έχει εξελιχθεί σύμφωνα με τη Δαρβινική θεωρία; Αρκετοί επιστήμονες έχουν ξοδέψει πολλές προσπάθειες καθώς αναρωτιόντουσαν πως θα μπορούσε να είχε εξελιχτεί το πήξιμο του αίματος. Στο επόμενο τμήμα θα δείτε ποιες είναι οι καλύτερες υπάρχουσες εξηγήσεις στην επιστημονική βιβλιογραφία που αφορούν το πήξιμο του αίματος. Όμως πρώτα θα πρέπει να κοιτάξουμε μερικές λεπτομέρειες. Στις αρχές της δεκαετίας του 60 είχαν προσέξει ότι μερικές πρωτεΐνες έχουν ακολουθίες αμινοξέων που ήταν όμοιες με άλλες ακολουθίες πρωτεϊνών. Για παράδειγμα ας υποθέσουμε ' ' ότι τα πρώτα δέκα αμινοξέα σε μια ακολουθία πρωτεΐνης είναι ANVLEGKIIIS, και σε μια δεύτερη πρωτεΐνη είναι ANLLDGKIVS. Οι δύο πρωτεΐνες είναι όμοιες σε επτά θέσεις και διαφορετικές για τρεις. Σε μερικές περιπτώσεις οι ακολουθίες των αμινοξέων σε πρωτεΐνες μπορεί να είναι όμοιες για εκατοντάδες θέσεων των αμινοξέων. Για να εξηγηθεί η ομοιότητα των δύο πρωτεϊνών προτάθηκε η θεωρία ότι στο παρελθόν ένα γονίδιο κατά κάποιο τρόπο διπλασιάστηκε και με την πάροδο του χρόνου συγκεντρώθηκαν ανεξάρτητα αλλαγές (μεταλλάξεις) στα δύο αντίγραφα του γονιδίου.⁴⁶ Μετά από λίγο χρονικό διάστημα θα υπάρχουν δύο πρωτεΐνες των οποίων οι ακολουθίες θα είναι παρόμοιες αλλά όχι ταυτόσημες.

Ο βασιλιάς του Σιάμ κάποτε ζήτησε από τους σοφούς του να του δώσουν μια παροιμία που θα ήταν κατάλληλη για κάθε περίπτωση. Αυτοί του πρότειναν «Και αυτό θα περάσει.» Λοιπόν στη βιοχημεία ένα παρόμοιο κατάλληλο ρητό είναι να λέμε σε όλες τις περιστάσεις «τα πράγματα είναι πιο περίπλοκα από ότι φαίνεται.» Στη μέση της δεκαετίας του 1970 είχε δειχτεί ότι τα γονίδια θα μπορούσαν να υπάρχουν κομματιασμένα. Αυτό σημαίνει ότι τα τμήματα του DNA που δί-

⁴⁶ Το γονίδιο είναι μια θέση στο DNA που δίνει οδηγίες στο κύτταρο για το πως θα οικοδομήσει μια πρωτεΐνη.

νου τον κώδικα για το αριστερό τμήμα μιας πρωτεΐνης θα μπορούσε να είναι χωριστό μέσα σε όλη την ακολουθία από τα τμήματα που κωδικοποιούν για το μέσο, και από το DNA που δίνει τον κώδικα για το δεξί μέρος της πρωτεΐνης. Είναι σα να έψαχνες για το λήμμα για τη λέξη *καρναβάλι* μέσα στο λεξικό και να το εύρισκες να καταγράφεται ως «λκγασαφινιβκηγαλκσιυ.» Ένας τύπος γονιδίου μπορεί να υπάρχει σε ένα κομμάτι, άλλος τύπος μπορεί να υπάρχει σε δωδεκάδες κομμάτια.

Η παρατήρηση των κομματιασμένων γονιδίων ωδήγησε στην υπόθεση ότι πιθανόν μερικές πρωτεΐνες θα μπορούσαν να είχαν δημιουργηθεί με το ανακάτεμα των τμημάτων του γονιδίου που δίνουν τον κώδικα για τμήματα των παλαιών πρωτεϊνών στο DNA, όπως όταν πέρνουμε τραπουλόχαρτα από διάφορους σωρούς με αποτέλεσμα να έχουμε ένα νέο συνδυασμό. Για να στηριχτεί η υπόθεση, οι υποστηρικτές της, δείχνουν τις ομοιότητες στις ακολουθίες των αμινοξέων και στα σχήματα των διάκριτων τμημάτων (περιοχές domains) των διαφόρων πρωτεϊνών.

Οι πρωτεΐνες του καταρράχτη για το πήξιμο του αίματος χρησιμοποιούνται συχνά ως παράδειγμα για ανακάτεμα. Μερικές περιοχές από τις πρωτεΐνες του καταρράχτη έχουν κώδικα που βρίσκεται σε χωριστά κομμάτια του γονιδίου και έχουν ομοιότητες στις ακολουθίες των αμινοξέων με άλλες περιοχές της ίδιας πρωτεΐνης — έχουμε «αυτοομοιότητα». Επίσης υπάρχουν ομοιότητες μεταξύ τμημάτων. Για παράδειγμα η προκονβερτίνη, ο παράγοντας Χριστουγέννων, ο παράγοντας Στιούαρτ και η προθρομβίνη όλες έχουν μια χονδρικά παρόμοια περιοχή στις ακολουθίες των αμινοξέων. Επιπρόσθετα σε όλες τις πρωτεΐνες η σειρά διαφοροποιείται με τη βιταμίνη Κ. Επιπλέον οι περιοχές είναι παρόμοιες σε ακολουθίες άλλων πρωτεϊνών (που δεν εμπλέκονται καθόλου με το πήξιμο του αίματος) και που και αυτές μεταβάλλονται με τη βιταμίνη Κ.

Οι ομοιότητες στις ακολουθίες είναι φανερές σε όλους και δεν μπορούν να αμφισβητηθούν. Από μόνη της πρόσφατα όμως η υπόθεση του διπλασιασμού των γονιδίων και ανακατέματος δε λέει τίποτε για το πώς μια συγκεκριμένη πρωτεΐνη ή σύστημα πρωτεϊνών είχε δημιουργηθεί για πρώτη φορά —αν αυτό έγινε με ένα βραδύ ρυθμό ή ξαφνικά, ή αν αυτό έγινε δυνατό με φυσική επιλογή ή κάποιο άλλο μηχανισμό. Να θυμάστε ότι το ελατήριο για μια ποντικοπαγίδα μπορεί να μοιάζει λίγο με το ελατήριο ενός ρολογιού, και ότι ένας λοστός μπορεί να θυμίζει τη «σφύρα» μιας ποντικοπαγίδας, όμως οι ομοιότητες δεν μας λένε τίποτε για το πώς παράγεται μια ποντικοπαγίδα. Για να ισχυριστεί κάποιος ότι ένα σύστημα αναπτύχθηκε βαθμιαία με ένα Δαρβινικό μηχανισμό, θα πρέπει να δείξει ότι η λειτουργία του συστήματος θα μπορούσε «να είχε σχηματιστεί με πολυάριθμες μικρές και διαδοχικές μεταβολές.»

ΟΙ ΚΑΛΥΤΕΡΕΣ ΔΥΝΑΤΕΣ ΕΞΗΓΗΣΕΙΣ

Τώρα είμαστε έτοιμοι να προχωρήσουμε. Σ' αυτό το τμήμα θα αναπαράγω μια προσπάθεια για μια εξελικτική εξήγηση που πρόσφερε ο Russell Doolittle όσον αφορά το σχηματισμό θρόμβων στο αίμα. Αυτό που έκανε είναι να δώσει μια θεωρία για μια σειρά βημάτων με την οποία εμφανίζονται η μια μετά την άλλη οι πρωτεΐνες θρόμβωσης. Όμως, όπως θα δείξω στο επόμενο τμήμα, η εξήγηση έχει σοβαρές ελλείψεις γιατί δεν δίνονται αιτίες για την εμφάνιση των πρωτεϊνών, δε γίνεται κάποια προσπάθεια για να υπολογιστεί η πιθανότητα για την εμφάνιση των πρωτεϊνών, και δε γίνεται προσπάθεια για να γίνει μια εκτίμηση τις ιδιότητες των νέων πρωτεϊνών.

Ο Russell Doolittle είναι καθηγητής της βιοχημείας στο κέντρο της Μοριακής Γενετικής του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας στο Σαν Ντιέγκο, και είναι ο πιο εξέχων επιστήμονας που ενδιαφέρεται για την εξέλιξη του καταρράχτη της θρόμβωσης. Από τότε που πήρε το διδακτορικό του στο Χάρβαρντ με θέμα της διατριβής του «Η συγκριτική Βιοχημεία της συσσωμάτωσης του αίματος (The comparative Biochemistry of Blood Coagulation) (1961) ο καθηγητής Doolittle έχει εξετάσει τα συστήματα θρόμβωσης σε διάφορους «απλούστερους» οργανισμούς με την ελπίδα ότι θα οδηγηθεί στην κατανόηση του πως εμφανίστηκαν τα συστήματα των σπονδυλωτών. Ο Doolittle έκανε μια ανασκόπηση της σύγχρονης γνώσης σε ένα άρθρο στο περιοδικό *Thrombosis and Hae-*

mostasis.⁴⁷ Το περιοδικό απευθύνεται προς επαγγελματίες επιστήμονες και διδάκτορες της ιατρικής που εργάζονται σε διάφορες πλευρές της θρόμβωσης του αίματος. Ουσιαστικά, το ακροατήριο του περιοδικού αυτού είναι άνθρωποι που γνωρίζουν περισσότερο από τον κάθε ένα για τη θρόμβωση.

Ο Doolittle αρχίζει το άρθρο του με το να θέσει το μεγάλο ερώτημα: «Πως συνέβη να υπάρχει αυτή η περίπλοκη και ευαίσθητης ισορροπίας διαδικασίες;»

Το παράδοξο ήταν, αν κάθε πρωτεΐνη εξαρτιόταν στη ενεργοποίηση της από κάποια άλλη, πως θα μπορούσε να εμφανιστεί το σύστημα; Τι αξία θα μπορούσε να έχει κάποιο τμήμα από το σχήμα χωρίς το ολόκληρο σύνολο;»

Αυτά τα ερωτήματα πηγαινούν κατευθείαν στην καρδιά της έρευνας του βιβλίου. Αξίζει να δώσουμε αρκετά τμήματα του άρθρου του Doolittle. (Θα είναι χρήσιμο στον αναγνώστη να αναφέρεται στην εικόνα 4-3.) Έχω μεταβάλει μερικούς από τους τεχνικούς όρους στις περικοπές αυτές για να μπορεί το γενικό κοινό να το διαβάσει.

Η θρόμβωση του αίματος είναι ένα φαινόμενο με μια ευαίσθητη διαδικασία που περιλαμβάνει πρωτεάσες, αντιπρωτεάσες και υποστρώματα πρωτεασών. Γενικά μιλώντας κάθε δράση προς τα μπρος προκαλεί μια ανταπόκριση προς τα πίσω. Διάφορες μεταφορές μπορούν να εφαρμοστούν στην βήμα προς βήμα εξέλιξη: δράση – αντίδραση, σημείο και αντισημείο, ή καλά νέα και κακά νέα. Το προτιμώμενο μου σχήμα είναι το Γιν και Γιανγκ. Στην αρχαία Κινεζική κοσμολογία, όλα όσα έρχονται στην ύπαρξη είναι το αποτέλεσμα των αντιθέτων αρχών Γιν και Γιάνγκ. Γιάνγκ είναι η αρσενική αρχή και ενσωματώνει δραστηριότητα, θερμότητα, φως και ξηρότητα. Το Γιν είναι το θηλυκό αντίστοιχο και είναι η προσωποποίηση της παθητικότητας, του βάθους, της ψυχρότητας, του σκοταδιού και της υγρότητας. Ο γάμος τους δίνει την πραγματική ουσία σε όλα τα πράγματα. Έχοντας υπόψη ότι αυτά είναι μόνο μια μεταφορά, θεωρείστε το ακόλουθο σενάριο Γιν και Γιανγκ για τη εξέλιξη της θρόμβωσης των σπονδυλωτών, Αυθαίρετα έχω καθορίσει τα ένζυμα ή προένζυμα ως Γιανγκ και κα τα μη ένζυμα ως Γιν.

□Γιν: Παράγοντας Ιστού (Tissue Factor TF) εμφανίζεται ως το αποτέλεσμα ενός διπλασιασμού ενός γονιδίου για [κάποια άλλη πρωτεΐνη] που συνδέει περιοχές EGF. Το προϊόν του νέου γονιδίου έρχεται σε επαφή με το αίμα ή με την αιμολέμφο όταν υπάρχει βλάβη στον ιστό.

Γιανγκ: Η προθρομβίνη εμφανίζεται σε μια παλιά μορφή συνδεδεμένη με περιοχές EGF, το αποτέλεσμα του ... διπλασιασμού ενός γονιδίου πρωτεάσης και ... ανακατέμματος. Η περιοχή EGF χρησιμεύει ως περιοχή προσκόλλησης και για ενεργοποίηση από ένα εκτεθειμένο παράγοντα ιστού (TF).

Γιν: Ένας δέκτης θρομβίνης μορφοποιείται με αιτία το διπλασιασμό ενός γονιδίου για μια [περιοχή πρωτεΐνης που θα κολλήσει σε μια κυτταρική μεμβράνη]. Το κόσψιμο από την ενεργοποιημένη προθρομβίνη από τον TF επηρεάζει την δυνατότητα του κυττάρου να συμπιεστεί ή τη συσσωμάτωση.

Γιν ξανά: Το ινιδιογόνο παράγεται, μια νόθα πρωτεΐνη που παράγεται από ένα πάτερ που είναι ευαίσθητος στην πρωτεΐνη [με επιμήκυνση] και μια [πρωτεΐνη με μια συμπυκνωμένη δομή για μια] μητέρα.

Γιν ξανά: Εμφανίζεται η αντιθρομβίνη III, που είναι το προϊόν ενός διπλασιασμού μιας [πρωτεΐνης με παρόμοια γενική δομή].

Γιανγκ: Παράγεται το Πλασμινογόνο από από την ευρεία συλλογή των ... πρωτεασών που ήδη υπάρχουν. Έρχεται από ... περιοχές που ξπορούν να συνδεθούν με το

⁴⁷ Doolittle, R. F. (1993) "The Evolution of Vertebrate Blood Coagulation: A Case of Yin and Yang," *Thrombosis and Haemostasis*, 70, 24-28

ινώδες. Η ενεργοποίηση του με τη σύνδεση του με βακτηριακές πρωτεΐνες... αντανακλά ένα προηγούμενο ρόλο ως ένα αντιβακτηριακό παράγοντα.

Γιν: Εμφανίζεται η Αντιπλασμίνη από το διπλασιασμό και τη μετατροπή μιας [πρωτεΐνης με παρόμοια γενική δομή], πιθανόν της αντιθρομβίνης.

Γιν και Γιανγκ: Εμφανίζεται μια ενεργοποιούμενη από θρομβίνη [πρωτεΐνη που κάνει διασταυρώσεις]

Γιανγκ: Ξεπηδά ο παράγοντας Ενεργοποίησης του Πλστανινογόνου των Ιστών (Tissue Plasminogen Activator TPA). Οι διάφορες περιοχές που έχουν ανακατευτεί επιτρέπουν να συνδέσει διάφορες ουσίες, ανάμεσα στις οποίες το ινώδες.

Γάμος: Η μεταβολή της προθρομβίνης με την προσθήκη μιας δομή «gla». Η ικανότητα να συνδέεται με ειδικές [αρνητικά φορτισμένες] επιφάνειες μεταδίδεται.

Γιν: Η εμφάνιση της προαξελερίνης⁴⁸ ως αποτέλεσμα του διπλασιασμού του [γονιδίου για μια πρωτεΐνη με παρόμοια ολική δομή] και την απόκτηση μερικών άλλων [κομματιών γονιδίου].

Γιάνγκ: Εμφανίζεται ο παράγοντας Στιούαρτ, ένας διπλασιασμός της πρόσφατα χρισμένης με gla προθρομβίνης, η ικανότητα να συνδέεται με την προαξελερίνη μπορεί να φέρει μια ... ενεργοποίηση από τον παραγοντα TF.

Γιάνγκ ξανά: Η προκονβερίνη διπλασιάζεται από τον παράγοντα Στιούαρτ, ελευθερώνεται προθρομβίνη για μια καλύτερη σύνδεση με το ινώδες. Όταν συνδυαστεί με τον παράγοντα ιστού, η προκονβερίνη μπορεί να ενεργοποιήσει τον παράγοντα Στιούαρτ με [το να τον κόψει].

Γιάνγκ ξανά: Ο παράγοντας Χριστουγέννων από τον παράγοντα Στιούαρτ. Για μια περίοδο και οι δύο συνδέονται με την προαξελερίνη.

Γιν: Ο Αντισταμοφιλικός παράγοντας από την προαξελερίνη. Γρήγορα προσαρμόζεται για να αλληλεπιδρά με τον παράγοντα Χριστουγέννων.

Γιάνγκ: Πρωτεΐνη C παράγεται γενετικά από την προθρομβίνη. Αδρανοποιεί την προαξελερίνη και τον Αντισταμοφιλικό παράγοντα με ένα περιορισμένο [κόψιμο].

Διαζύγιο: Η προθρομβίνη εμπλέκεται σε μια ανταλλαγή [κομματιών γονιδίων] που το αφήνουν με [περιοχές] που συνδέονται με το ινώδες στη θέση των περιοχών EGF, που δε χρειάζονται πια για την αλληλεπίδραση με τον TF. □

ΠΩΣ ΞΑΝΑΣΥΜΒΑΙΝΕΙ ΑΥΤΟ;

Ήρθε τώρα η ώρα να ρίξουμε μια κριτική ματιά στο σενάριο του καθηγητή Doolittle. Το πρώτο σημείο που θα προσέξουμε είναι ότι δεν αναφέρεται κανένας αιτιακός παράγοντας. Έτσι ο παράγοντας ιστού (TF) «εμφανίζεται», το ινοδογόνο «γεννιέται», η αντιπλασμίνη «παρουσιάζεται», το TPA «ξεπηδάει», η πρωτεΐνη διασταύρωσης «εξαπολύεται» και ούτω καθ' εξής. Μπορούμε να ρωτήσουμε, τι ακριβώς είναι αυτό που προκαλεί όλα αυτά τα ξεπηδήματα και τις εξαπολύσεις; Ο Doolittle φαίνεται να έχει υπόψη του ένα Δαρβινικό βήμα προς βήμα σενάριο που περιλαμβάνει τον χωρίς κάποια κατεύθυνση, τυχαίο διπλασιασμό και ανασυνδυασμό των κομματιών των γονιδίων. Όμως θα πρέπει να θεωρήσουμε την τεράστια τύχη που χρειάζεται για να έχουμε τα σωστά κομμάτια γονιδίων στα σωστά μέρη. Οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί έχουν αρκετά κομμάτια από τεμάχια γονιδίων, και προφανώς η διαδικασία που ξεκινά του ανασυνδυασμού είναι τυχαίος. Έτσι το να σχηματιστεί με ανακάτεμα μια νέα πρωτεΐνη που θα προκαλεί συσσωμάτωση στο αίμα είναι σαν να διαλέξουμε δώδεκα προτάσεις τυχαία από μια εγκυκλοπαίδεια προ-

⁴⁸ Οι πρωτεΐνες που συνδέονται με το πήξιμο του αίματος συχνά αναφέρονται με ρωμαϊκούς αριθμούς όπως Παράγοντας V και παράγοντας VIII. Ο Doolittle χρησιμοποιεί αυτήν την ορολογία στο άρθρο του στο *Thrombosis and Hemostasis*. Για να είναι καθαρή και συνεπής η παρουσίαση χρησιμοποίησα τα συνήθη ονόματα για τις πρωτεΐνες στα αποσπάσματα.

σπαθώντας να σχηματίσουμε μια παράγραφο με νόημα. Ο καθηγητής Doolittle δεν μπαίνει στον κόπο για να υπολογίσει πόσες λανθασμένες, ανενεργές, άχρηστες «ποικίλες ανακατεμένες περιοχές» θα έπρεπε να απορριφθούν πριν να πετύχουμε μια πρωτεΐνη που να έχει για παράδειγμα τη δραστηριότητα της ΤΡΑ. \

Για να δοθεί μια εικόνα του προβλήματος, ας κάνουμε έναν γρήγορο υπολογισμό. Ας σκεφτούμε ότι τα ζώα με τους «καταρράχτες» για το πήξιμο του αίματος έχουν περίπου 10000 γονίδια, και ότι το καθένα τους είναι χωρισμένο κατά μέσο όρο σε τρία μέρη. Αυτό μας δίνει ένα σύνολο από περίπου 30000 γονίδια. Το ΤΡΑ έχει τέσσερις διαφορετικούς τύπους από περιοχές.⁴⁹ Με μια ποικιλία ανακατεμάτων οι πιθανότητες να έχουμε μαζί αυτές τις περιοχές είναι⁵⁰ είναι 30000 στη τέταρτη δύναμη, που είναι περίπου το ένα δέκατο στην δέκατη όγδοη δύναμη.⁵¹ Αν στο Ιρλανδέζικα Sweepstakes οι πιθανότητες για κέρδος ήταν το ένα δέκατο στην δεκατη όγδοη δύναμη και έπαιζαν ένα εκατομμύριο άνθρωποι κάθε χρόνο σ' αυτό το τυχερό παιχνίδι θα χρειαζόταν κατά μέσο όρο περίπου χίλια δισεκατομμύρια χρόνια πριν *κάποιος* (όχι ένα συγκεκριμένο πρόσωπο) να κερδίσει στη λοταρία αυτή. Χίλια δισεκατομμύρια χρόνια είναι περίπου εκατό φορές η ηλικία του σύμπαντος όπως την υπολογίζουμε σήμερα. Η «άνετη» γλώσσα του Doolittle («ξεπηδάνε», κτλ.) αποκρύπτει τεράστιες δυσκολίες. Το ίδιο πρόβλημα με εξαιρετικά μηδανιμένες πιθανότητες θα διετάρσεν την εμφάνιση της προθρομβίνης («το αποτέλεσμα μιας ... πρωτεΐνης με διπλασιασμό του γονιδίου και ... ανακατέματος»), ινοδογόνου («μιας νόθας πρωτεΐνης που παράγεται από ...»), πλασμινογόνου, προαξελερίνης, και καθενός από διάφορες προτεινόμενες ανακατατάξεις της προθρομβίνης. Προφανώς ο Doolittle χρειάζεται να ανακατέψει και να κερδίσει έναν τέλειο αριθμό από μοιρασιές του μπριτζ για να κερδίσει τον αγώνα. Δυστυχώς το σύμπαν δεν έχει το χρόνο να τον *πέριμένει*.

Το δεύτερο ερώτημα είναι να θεωρήσουμε την υπονοούμενη υπόθεση ότι μια πρωτεΐνη που παράγεται από διπλασιασμό ενός γονιδίου θα έχει αμέσως τις νέες και αναγκαίες ιδιότητες. Έτσι μας έχει ειπωθεί ότι «ο παράγοντας ιστού εμφανίζεται ως αποτέλεσμα του διπλασιασμού ενός γονιδίου για [κάποια άλλη πρωτεΐνη]». Όμως ο παράγοντας ιστού δε θα εμφανιζόταν ως το αποτέλεσμα ενός διπλασιασμού, η άλλη πρωτεΐνη θα εμφανιζόταν. Αν διπλασιαζόταν ένα εργοαστάσιο που κατασκευάζει ποδήλατα, θα έφτιαχνε ποδήλατα όχι μοτοσικλέτες, αυτό εννοούμε με τη λέξη *διπλασιασμό*. Ένα γονίδιο για μια πρωτεΐνη ίσως να διπλασιαστεί από μια τυχαία μετάλλαξη, όμως δε θα «συμβεί» απλώς να έχει τις νέες περίπλοκες ιδιότητες. Αφού ένα διπλασιασμένο γονίδιο είναι απλά το αντίγραφο του παλιού γονιδίου, η εξήγηση για την εμφάνιση του παράγοντα ιστού πρέπει να περιλαμβάνει μια υποτιθέμενη πορεία πορεία που χρειάστηκε για να αποκτήσει τις νέες λειτουργίες. Αυτό το πρόβλημα αποφεύγεται με ένα λεπτό τρόπο. Το σχήμα που προτείνει ο Doolittle πέφτει στα ίδια προβλήματα με την παραγωγή της προθρομβίνης, του δέκτη της προθρομβίνης, της αντιθρομβίνης, του πλασμινογόνου, της αντιπλασμίνης, της προαξελερίνης, του παράγοντα Στιούαρτ, του παράγοντα Χριστουγέννων, του αντιαιμοφιλικού παράγοντα και τις πρωτεΐνες C— κατ' ουσίαν κάθε πρωτεΐνης του συστήματος!

⁴⁹ Το ΤΡΑ έχει πέντε περιοχές. Όμως οι δύο περιοχές είναι του ίδιου τύπου.

⁵⁰ Οι πιθανότητες δεν ελαττώνονται αν οι περιοχές συνδεθούν μεταξύ τους σε διάφορους χρόνους — αν θεωρήσουμε τις περιοχές 1 και 2 ότι συνδέονται σε ένα συμβάν και αργότερα συνδεθεί η περιοχή 3 και ούτω καθ' εξής. Να σκεφθείτε τις πιθανότητες να διαλέξουμε 4 μαύρες μπάλες από ένα βαρέλι που περιέχει μαύρες και άσπρες μπάλες. Αν πάρεις ταυτόχρονα τέσσερις, ή πάρεις τις δύο στο πρώτο άρπαγμα και τα επόμενα κομμάτια σε δύο αρπαγματα, οι πιθανότητες να καταλήξεις με τις τέσσερις μαύρες μπάλες είναι οι ίδιες.

⁵¹ Αυτός ο υπολογισμός είναι εξαιρετικά γενναϊόδωρος. Υποθέτει μόνο ότι τέσσερις τύποι περιοχών θα είναι στη σωστή γραμμή σειρά. Για να δουλέψει όμως ο συνδυασμός θα πρέπει να βρίσκεται σε μια ενεργή περιοχή του γονιδιόματος, τα στάση σημεία για κόψιμο των τμημάτων θα πρέπει να εκπνεφθούν, οι σειρές των αμινοξέων των τεσσάρων περιοχών θα πρέπει να είναι συμβατά το ένα προς το άλλο και άλλες θωρήσεις που θα επηρεάσουν το αποτέλεσμα. Αυτές οι θεωρήσεις θα κάνουν το συμβάν πολύ περισσότερο απίθανο.

Το τρίτο πρόβλημα στο σενάριο του πηξίματος του αίματος είναι ότι αποφεύγει τα κρίσιμα θέματα για το πόσο, πόσο γρήγορο, πόσο και που. Δε μας λέγει τίποτα για την ποσότητα του υλικού το πηξίματος που ήταν αρχικά διαθέσιμη, την αντοχή του θρόμβου που θα σχηματιζόταν από ένα πρωτόγονο σύστημα, τη διάρκεια του χρόνου που ο θρόμβος θα μπορούσε να παραμείνει, πόσο βλαπτικός θα ήταν ο σχηματισμός ακατάλληλων θρόμβων, ή εκατοντάδες άλλα τέτοια ερωτήματα. Οι απόλυτες και σχετικές τιμές αυτών των παραγόντων και άλλων θα μπορούσαν ένα συγκεκριμένο υποθετικό σύστημα είτε να είναι δυνατό να λειτουργήσει ή (το πιο πιθανόν) τελείως λανθασμένο. Για παράδειγμα, αν μόνο μια μικρή ποσότητα ινοδογόνου ήταν διαθέσιμη δε θα μπορούσε να καλύψει μια πληγή: αν ένα πρωτόγονο ινώδες σχημάτιζε μια τυχαία φούσκα αντί για ένα δίκτυο, θα ήταν απίθανο αν μπορούσε να σταματήσει τη ροή του αίματος. Αν η αρχική δράση της αντιθρομβίνης ήταν πολύ γρήγορη, η αρχική δράση τη θρομβίνης πολύ αργή, ή ο αρχικός παράγοντας Στιούαρτ ή ο παράγοντας Χριστουγέννων ή ο αντιαιμοφιλικός παράγοντας συνδεόντουσαν πολύ χαλαρά, ή πολύ σφιχτά (ή αν συνδεόντουσαν τόσο στις ανενεργές όσο και στις ενεργές μορφές των στόχων τους) τότε όλο το σύστημα θα κατέρρεε. Για κανένα βήμα — έστω και ένα — μας δίνει ο Doolittle ένα μοντέλο που περιλαμβάνει αριθμούς ή ποσότητες· και φυσική επιστήμη χωρίς αριθμούς δεν υπάρχει. Όταν μας ζωγραφίζεται με λόγια μια απλή εικόνα της ανάπτυξης ενός τέτοιου περίπλοκου συστήματος δεν υπάρχει απολύτως κανένας τρόπος να γνωρίζουμε αν θα λειτουργούσε πραγματικά. Όταν αγνοούνται τέτοια κρίσιμα ερωτήματα αφήνουμε την επιστήμη και μπαίνουμε στον κόσμο των Κάλβιν και Χομπς.

Όμως δεν ήταν πολύ σοβαρές οι αντιρρήσεις που εγέρθηκαν μέχρι τώρα. Η πιο σοβαρή και πιθανόν πιο προφανής, αφορά την μη αναγνώσιμη περιπλοκότητα. Τονίζω με έμφαση ότι η Δαρβινική εξέλιξη, θα μπορούσε να λειτουργήσει αν υπάρχει κάτι να επιλέξει — κάτι που *αυτή τη στιγμή* είναι χρήσιμο, όχι στο μέλλον. Ακόμη και αν δεχτούμε χάριν συζήτησης το σενάριο, παρόλα αυτά με την ίδια την περιγραφή του Doolittle δεν εμφανίζεται σύστημα για το πήξιμο του αίματος πριν τουλάχιστο το τρίτο βήμα. Δεν εξηγείται ο σχηματισμός του παράγοντα ιστού στο πρώτο βήμα, γιατί τότε απλώς θα περίμενε «καθιστός» χωρίς να κάνει τίποτε. Στο επόμενο βήμα (ξεπέταγμα της προθρομβίνης που είναι ήδη προικισμένη με την ικανότητα να συνδέσει τον παράγοντα ιστού, που κατά κάποιο τρόπο τον ενεργοποιεί) η καυμένη η πρωτο-προθρομβίνη θα έπαιαζε μόνο με τα δάχτυλα της χωρίς να μπορεί να κάνει τίποτε μέχρις ότου, επι τέλους, να εμφανιστεί ένας δέκτης θρομβίνης στο τρίτο βήμα και να πέσει εξ ουρανού το ινοδογόνο στο τέταρτο βήμα. Το πλασμινογόνο εμφανίζεται σε ένα βήμα, όμως ο ενεργοποιητής του (TPA) δεν εμφανίζεται παρά μόνο μετά δύο βήματα. Ο παράγοντας Στιούαρτ εισάγεται σε ένα βήμα, αλλά παραμένει εκτός συστήματος και δεν κάνει τίποτε μέχρις ότου ο ενεργοποιητής του (προκονβερίνη) εμφανιστεί στο επόμενο βήμα και αποφασίσει κατά κάποιο τρόπο ο παράγοντας ιστού ότι αυτό είναι το σύμπλεγμα στο οποίο επιθυμεί να συνδεθεί. Σχεδόν κάθε βήμα του προτεινόμενου δρόμου εμφάνισης αντιμετωπίζει παρόμοια προβλήματα.

Απλές λέξεις όπως «ο ενεργοποιητής δεν εμφανίζεται παρά μόνο δύο βήματα αργότερα» μπορεί να μη φαίνονται εντυπωσιακές μέχρις ότου κάτσεις να αναρωτηθείς για του τι υπονοούν. Αφού δύο πρωτεΐνες — το προένζυμο και ο ενεργοποιητής του — και οι δύο απαιτούνται για να πραγματοποιηθεί ένα βήμα της πορείας, κατά συνέπεια οι πιθανότητες του να έχουμε ταυτόχρονα δύο πρωτεΐνες είναι χονδρικά το τετράγωνο των πιθανοτήτων του να έχουμε μία πρωτεΐνη. Υπολογίσαμε τις πιθανότητες του να πάρουμε μόνη της την πρωτεΐνη TPA και ήταν ένα δέκατο στην δεκάτη ογδόη ($1/10^{18}$)· η πιθανότητα του να έχουμε την πρωτεΐνη TPA και τον ενεργοποιητή της ταυτόχρονα θα είναι περίπου ένα δέκατο στην τριακοστή έκτη δύναμη ($1/10^{36}$)! Αυτός είναι ένα τρομακτικά μεγάλος αριθμός. Ένα τέτοιο συμβάν δε θα το περιμέναμε να συμβεί ακόμη και αν ολόκληρη η ζωή του σύ-

μπαντος που είναι δέκα δισεκατομμύρια χρόνια συμπιεζόταν σε ένα δευτερόλεπτο και την ξαναζούσε κάθε δευτερόλεπτο για δέκα δισεκατομμύρια χρόνια. Όμως η κατάσταση είναι στην πραγματικότητα πολύ χειρότερη: αν μια πρωτεΐνη εμφανιζόταν σε ένα βήμα⁵², χωρίς να έχει κάτι να κάνει, τότε οι μεταλλάξεις και η φυσική επιλογή θα είχαν την τάση να την εξαφανίσουν. Αφού είναι κρίσιμο το ότι δεν έκανε τίποτε, τότε η απώλεια της δε θα έβλαπτε σε τίποτε, και η παραγωγή του γονιδίου και της πρωτεΐνης θα στοίχιζαν σε ενέργεια που τα άλλα ζώα δεν ξόδευαν. Έτσι η παραγωγή της άχρηστης πρωτεΐνης, θα ήταν σε κάποιο έστω και περιθωριακό βαθμό βλαπτική. Ο μηχανισμός της φυσικής επιλογής του Δαρβίνου θα εμπόδιζε στην πραγματικότητα το σχηματισμό μη αναγώγιμα περίπλοκων συστημάτων όπως τον καταρράκτη της πήξης (στερεοποίησης) του αίματος.

Το σενάριο του Doolittle αναγνωρίζει κατά ένα υπονοούμενο τρόπο ότι ο μηχανισμός του σχηματισμού θρόμβων είναι μη αναγώγιμα περίπλοκος, όμως προσπαθεί μέσα στην εργασία του να το συγκαλύψει με ένα μπαράζ από μεταφορικές αναφορές σε γιν και γιάνγκ. Σε τελευταία ανάλυση από το σύμπλεγμα των πρωτεϊνών όλες μαζί πρέπει να εισαχθούν ταυτόχρονα στον καταρράκτη της θρόμβωσης. Αυτό μπορεί να γίνει μόνο με το να θέσουμε αξιωματικά την ύπαρξη ενός «τέρατος» που με πολύ τύχη δίνει όλες τις πρωτεΐνες ταυτόχρονα, ή με την καθοδήγηση ενός ευφυούς παράγοντα.

Ακολουθώντας το παράδειγμα του καθηγητή Doolittle, θα μπορούσαμε να προτείνουμε μια πορεία με την οποία παράχθηκε η πρώτη ποντικοπαγίδα. Η σφύρα της φάκας εμφανίζεται ως αποτέλεσμα του διπλασιασμού ενός λοστού στο γκαράζ μας. Η σφύρα έρχεται σε επαφή με τη βάση, και αυτό είναι αποτέλεσμα του ανακατέματος μερικών γλυφιτζουριών. Το ελατήριο ξεπηδάει από ένα παλιό ρολόι του παππού που είχε χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του χρόνου. Η ράβδος που συγκρατεί τη σφύρα σχηματίζεται από ένα καλάμι που βγάνει μέσα από ένα τενεκεδάκι κόκα κόλας, και το εξάρτημα για την τοποθέτηση του τυριού που ενεργοποιεί και την παγίδα εξαπολύεται από το καπάκι του μπουκαλιού μιας μπίρας. Όμως τα πράγματα δε συμβαίνουν με τον ίδιο τρόπο εκτός κάποιος καθοδηγήσει την πορεία.

Θυμηθείτε ότι το ακροατήριο του Doolittle για το άρθρο του στο *Thrombosis and Haemostasis* είναι οι ηγετικές μορφές στη έρευνα για τη θρόμβωση — αυτοί γνωρίζουν την τελευταία λέξη της έρευνας. Όμως το άρθρο δεν εξηγεί πως η διαδικασία της θρόμβωσης θα μπορούσε να έχει αρχίσει και κατά συνέπεια να εξελιχθεί, αντίθετα, μας λέγει κάποια ιστορία. Το γεγονός είναι ότι *κανείς πάνω στη γη δεν έχει την παραμικρή ιδέα πως ήρθε στην ύπαρξη ο καταρράκτης της συσσωμάτωσης*.

ΧΕΙΡΟΚΡΟΤΑΜΑΤΑ, ΧΕΙΡΟΚΡΟΤΗΜΑΤΑ

Η προηγούμενη συζήτηση δεν είχε ως σκοπό να εξευτελίσει τον Russell Doolittle, που στην πραγματικότητα έχει κάνει στα περασμένα χρόνια πολύ καλή δουλειά στο πεδίο της δομής των πρωτεϊνών. Στην πραγματικότητα αξίζει πολλούς επαίνους γιατί ένας από τους πολύ λίγους — ίσως ο μοναδικός — που πραγματικά προσπαθεί να εξηγήσει πως εμφανίστηκε αυτό το βιοχημικό σύστημα. Κανείς δεν έκανε τόση πολύ προσπάθεια στην αναρώτηση πάνω στην προέλευση της θρόμβωσης του αίματος. Το μόνο νόημα που έχει αυτή η συζήτηση είναι να δείξει τις τεράστιες δυσκολίες (στην πραγματικότητα την προφανή αδυναμία) ενός προβλήματος που αντιστάθηκε στις προσπάθειες ενός κορυφαίου επιστήμονα για τέσσερις δεκαετίες. Η συσσωμάτωση του αίματος είναι ένα παράδειγμα της εξαιρετικά μεγάλης περιπλοκότητας που βρίσκεται πίσω και από φαινομενικά απλές σω-

⁵² Είναι καλό να θυμόμαστε ότι ένα «βήμα» θα μπορούσε πολύ καλά να ήταν χιλιάδες από γενιές. Μια μετάλλαξη θα πρέπει να αρχίσει σε ένα μοναχικό ζώο και μετά να εξαπλωθεί σε όλο τον πληθυσμό. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει οι απόγονοι του μεταλλαγμένου να αντικαταστήσουν τους απογόνους όλων των άλλων ζώων.

ματικές διαδικασίες. Αντιμετωπίζοντας μια τέτοια περιπλοκότητα που βρίσκεται πίσω κι από ακόμη απλά φαινόμενα, η Δαρβινική θεωρία σιωπά.

Σαν κάποια υπερμηχανή του Rube Godberg ο καταρράχτης του πηξίματος του αίματος είναι μια πράξη εξισορόπησης που σου παίρνει την αναπνοή, μέσα στην οποία ένα «θηριο-τροφίο» από βιοχημικές ουσίες — που φοράνε διάφορα στολίδια και διάφορες ανακατατάξεις που τους μεταδόθηκαν από ένζυμα που μεταλλάσσουν — αναπηδούν το ένα από το άλλο σε ακριβείς γωνίες σε μια επιμελημένα τακτοποιημένη ακολουθία, μέχρις ότου στον τερματισμό ο Foghorn Leghorn σπρώχνει τον τηλεφωνικό στύλο και σηκώνεται από το έδαφος, με τις πληγές του σώματος του σταματημένες. Το ακροατήριο τότε σηκώνεται όρθιο και χειροκροτεί επίμονα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟ ΕΔΩ ΕΚΕΙ

Η ΙΛΑΡΑ

Στην κλινική ο γιατρός εξετάζει ένα τρίτο νεαρό ασθενή που έχασε το σχολείο εξαιτίας του πυρετού· πόνων και κόκκινων ματιών. Όπως και τους πρώτους δύο το παιδί έχει ιλαρά. Όχι ερυθρά. Ιλαρά. Όπως και πρώτα δύο το αγόρι δεν είχε εμβολιαστεί ποτέ του. Λίγα παιδιά είχαν εμβολιαστεί στη φτωχογειτονιά στο κέντρο της πόλης. Η ιλαρά είναι σπάνια σήμερα. Οι άνθρωποι ξεχνούν ότι μπορεί να γίνει επικίνδυνη. Οι γονείς νομίζουν ότι είναι είναι απλό θέμα για κάποιες προσωρινές φακίδες και ξεκούραση στο κρεβάτι. Όμως κάνουν λάθος. Η ιλαρά μπορεί να κάνει τον ασθενή πολύ πιο ευαίσθητο σε άλλες μολύνσεις. Όπως την εγκεφαλίτιδα. Ο γιατρός έχει μάθει ότι μόλις πέθανε ο πρώτος ασθενής.

Το να υπάρχουν τρεις περιπτώσεις σε μια βδομάδα στη γειτονιά, σημαίνει ότι η αρρώστεια εξαπλώνεται. Ο γιατρός φοβάται ότι έχει ξεσπάσει μια επιδημία. Αμέσως ειδοποιεί τους υπεύθυνους για την υγεία του δήμου και τους μιλάει για το πρόβλημα. Ο αντιδήμαρχος για θέματα υγείας στέλνει μια αίτηση στα κέντρα δημόσιας υγείας (Centers for Disease Control CDC) στην Ατλάντα για δέκα χιλιάδες δόσεις εμβολίου ιλαράς. Το σχέδιο είναι να ξεκινήσει ένα επείγον πρόγραμμα εμβολιασμό για όλη τη γειτονιά και να σταματήσει η εξάπλωση της ασθένειας. Τα άρρωστα παιδιά θα πρέπει να τα βάλουν σε καραντίνα για να περιοριστεί η εξάπλωση. Θα ξεκινήσει ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα για να προειδοποιήσει τους γονείς για τους μόνιμους κινδύνους από τους ιούς της παιδικής ηλικίας. Όμως το πρώτο που πρέπει να γίνει είναι ο άμεσος εμβολιασμός.

Στο CDC λαμβάνουν το φάξ και εγκρίνεται το αίτημα. Ένας τεχνικός κατεβαίνει στην αποθήκη όπου υπάρχουν πολλά τεράστια ψυγεία — ολόκληρα δωμάτια — γεμάτα με εμβόλια για ιλαρά, ευλογιά, ανεμοβλογιά, διφθερίτιδα, μηνιγγίτιδα και άλλες αρρώστιες. Ο τεχνικός ελέγχει τις ετικέτες στα πακέτα, βλέπει ότι τα κουτιά στο πίσω δωμάτιο περιέχει εμβόλια ιλαράς, και τα φορτώνει σε ένα καροτσάκι. Το σπρώχνει προς την περιοχή φόρτωσης όπου ένα φορτηγό ψυγείο περιμένει για να πάρει τα πακέτα στο αεροδρόμιο. Στο αεροδρόμιο, το φορτηγό φθάνει στο τερματικό μιας υπηρεσίας που μεταφέρει πακέτα. Μερικά αεροπλάνα είναι παρκαρισμένα στο τερματικό, όμως ο οδηγός του φορτηγού βρίσκει την επιγραφή που σημειώνει το αεροπλάνο που κατευθύνεται προς τη σωστή πόλη.

Φορτώνονται οι κάσες με το εμβόλιο στο αεροπλάνο που απογειώνεται. Στο αεροδρόμιο της πόλης με τα κρούσματα περιμένει για να συναντήσει το αεροπλάνο ένα άλλο φορτηγό ψυγείο. Τα πακέτα του εμβολίου αναγνωρίζονται από τις ετικέτες τους, χωρίζονται από άλλα πακέτα που βρίσκονται στο αεροπλάνο, και φορτώνονται στο φορτηγό. Ο οδηγός διαβάζει τη διεύθυνση της κλινικής από ένα κομμάτι χαρτί που είναι κολλημένο στα πακέτα και φεύγει με ένα δυνατό μαρσάρισμα. Στην κλινική, μια φάλαγγα από ιατρικό προσωπικό ξεφορτώνει το φορτηγό και ανοίγει τα κουτιά. Σε λίγο ένα ποτάμι από παιδιά μπαίνει στην κλινική για να εμβολιαστεί ώστε να έχει ανοσία. Καθώς κάθε παιδί περνά, μια νοσοκόμα παίρνει το φιαλίδιο με το εμβόλιο, ανοίγει το μαλακό καπάκι, εισάγει μια βελόνα μιας σύριγγας στο φιαλίδιο, τραβά το υγρό και κάνει την ένεση στο μπράτσο του νεαρού ατόμου που κάνει γκριμάτσες.

Η στρατηγική δουλεύει. Λίγα ακόμη παιδιά κολλάνε ιλαρά, όμως κανένα δεν πεθαίνει. Η επιδημία περιορίζεται και οι αξιωματούχοι της πόλης συνεχίζουν με την εκπαιδευτική εκστρατεία.

ΩΧ ΟΥΧ

Ο διευθυντής γέρνει προς τα πίσω στον πολυθρόνα του και πετά το σενάριο στο τραπέζι. «Επιδημία!» — κάτι που έχει φτιάξει για μια ταινία της τηλεόρασης — και έχει πάρει ένα καλό σχήμα. Έχει δραματικές καταστάσεις, δράση, χαριτωμένα παιδιά, ελκυστικές γιατρίνες και νοσοκόμος, και τίμιους κυβερνητικούς αξιωματούχους. Μια φονική επιδημία έχει νικηθεί με την ανθρώπινη πρωτοβουλία, το σχεδιασμό και την τεχνική ικανότητα.

Μπα! Στο διευθυντή δεν αρέσουν happy endings. Είναι κυνικός μέχρι τα νύχια του, έχει πέσει σε πολλούς βλάκες, ανίκανους ανθρώπους για να το καταπιεί. Η χολή της αδελφής του είχε αφαιρεθεί από έναν ικανό χειρουργό, δυστυχώς είχε πάει στο νοσοκομείο για σκωληκοειδίτιδα. Η επιτροπή που καθόριζε τις ζώνες οικοδόμησης, προεδρευόταν από το θείο ενός γείτονα, επέτρεψε στο γείτονα να ανοίξει ένα μαγαζί για βίντεο σ' α αυτή την ήσυχη γειτονιά. Οι χούλιγκανς από το τοπικό σχολείο είχαν ξεφουσκώσει τα λάστιχα του. Ο διευθυντής δεν αγαπά του γιατρούς, μισεί τους πολιτικούς, και περιφρονεί τα παιδιά.

Από την άλλη ο διευθυντής επιθυμεί να είναι ένας μεγάλος καλλιτέχνης. Υποτίθεται ότι οι μεγάλοι καλλιτέχνες θα πρέπει να δείξουν τις ανθρώπινες αδυναμίες και τις τραγωδίες που προκαλούνται από τους ανθρώπινους περιορισμούς. Δεν έκανε το ίδιο και ο Σαίξπηρ; Δεν χαϊδεύουν τις ευαισθησίες των άπλυτων μαζών. Έτσι ο διευθυντής κλίνει τα μάτια του και αρχίζει να δουλεύει φανταζόμενος διάφορα σενάρια.

Η επιδημία αρχίζει, οι αξιωματούχοι έχουν ζαρώσει, και οι εκκλήσεις φεύγουν προς το CDC. Ο τεχνικός κατεβαίνει στα δωμάτια ψυγεία και αρπάζει τα κουτιά με τις ετικέτες «εμβόλιο ιλαράς». Μέσα στο φορητό, από εκεί στο αεροπλάνο, φεύγουμε για την πόλη και τελικά στην κλινική. Τα παιδιά με θόρυβο έχουν κάνει ουράμπροστά στις νοσοκόμες και παίρνουν τα εμβόλια τους. Οι μέρες περνούν, τρία ακόμη παιδιά πεθαίνουν. Μια εβδομάδα ακόμη περνά και άλλα εικοσιτέσσερα παιδιά πεθαίνουν. Μερικά από τα νεκρά παιδιά είχαν εμβολιαστεί. Δύο μήνες αργότερα, διακόσια παιδιά είναι νεκρά, και χιλιάδες είναι άρρωστα. Σχεδόν όλα τα παιδιά είχαν εμβολιαστεί. Οι προβληματισμένοι αξιωματούχοι διατάζουν μια έρευνα, ου δείχνει ότι τα πακέτα είχαν λάθος ετικέτες· το εμβόλιο ήταν για διφθερίτιδα, όχι ιλαρά. Σχεδόν όλα τα παιδιά της πόλης είναι άρρωστα. Τίποτε δεν μπορεί πια να γίνει. Η αρρώστεια έκανε τον κύκλο της.

Ο διευθυντής χαμογελά. Σίγουρα θα δείξει μερικούς από τους χούλιγκανς σαν καταδικασμένα παιδιά.

Ίσως, αν και το φιλμ, χρειάζεται πιο πολύ αγωνία καθώς η επιδημία προχωρά στη φυσική της πορεία.⁷⁷ Έτσι όταν γίνεται το τηλεφώνημα προς το CDC, ίσως ο τεχνικός πηγαίνει κάτω στην αποθήκη και βλέπει ότι έχουν πέσει όλες οι ετικέτες από τα κουτιά. Ο ανεμιστήρας του ψυγείου τα έχει πετάξει μακριά, τα έχει ανακατέψει όλα μαζί. Ο ιδρώτας τρέχει στο πρόσωπο του τεχνικού καθώς προσπαθεί να δει ποιο κουτί είναι το κάθε εμβόλιο. Στη διάρκεια όλων αυτών των εβδομάδων, οι πολιτικοί θα ουρλιάζουν, τα παιδιά θα πεθαίνουν, ίσως θα απολυθεί.

Οι ποικιλίες πάνω στο θέμα μπορούν εύκολα να γίνουν. Το φορητό βάζει τα κουτιά με το εμβόλιο σε λανθασμένο αεροπλάνο. Το αεροπλάνο ξεφορτώνει το φορτίο του σε λάθος φορητό υποδοχής. Το φορητό απάγεται καθώς πηγαίνει για την κλινική. Το φορητό παίρνει το εμβόλιο σε λάθος κτίριο. Τα καπάκια στα φιαλίδια έχουν κατασκευαστεί από σκληρό μέταλλο και όχι μαλακό και δεν μπορούν να αφαιρεθούν χωρίς να σπάσουν τα φιαλίδια και να μολύνουν το εμβόλιο. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις ο διευθυντής βάζει ε-

γκρίσεις, τονίζεται η ανθρώπινη ανικανότητα. Τα μεγάλα επιτεύγματα της επιστήμης— τα εμβόλια για να νικήθει η αρρώστεια, τα αεροπλάνα και τα αυτοκίνητα για να φέρουν γρήγορα τα εφόδια — όλα ματαιώνονται με μια καθαρή και απλή βλακεία.

Ο διευθυντής χτυπά το γόνατο του. Ναι, το θέμα της ταινίας θα είναι μια μάχη, ένας επικός αγώνας: Ο Αλμπερτ Αϊνστάιν εναντίον των τριών Στούτες. Ο Αϊνστάιν δεν έχει τη δυνατότητα ούτε και γιά προσευχή.

ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ

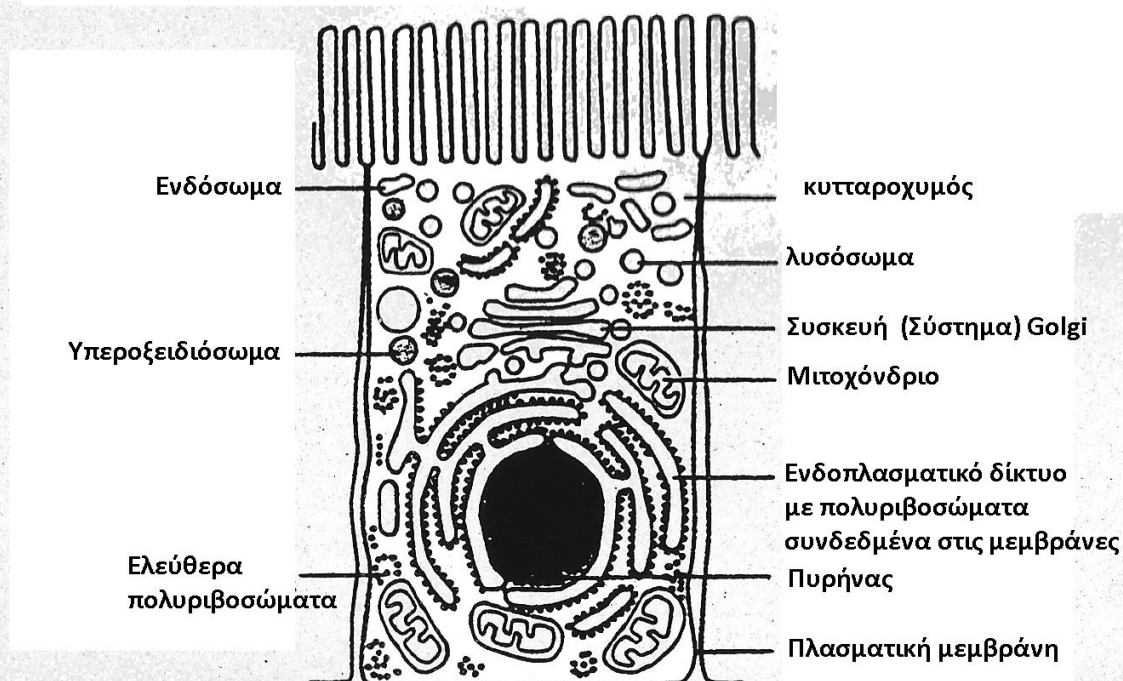
Όλα τα προβλήματα που εμφανίστηκαν στα σενάρια του διευθυντή φορούν την παράδοση ενός πακέτου στον τελικό του προορισμό. Αν και η ταινία τονίζει το θάνατο και την αρρώστεια, τα ίδια ποροβλήματα που έχουμε σε όλες τις προσπάθειες να φέρουμε ένα ειδικό πακέτο σε ένα καθορισμένο προορισμό. Υποθέστε ότι πηγαίνεται στο τερματικό της Φιλαδέλφια για να προλάβετε ένα λεωφορείο για τη Νέα Υόρκη. Εκατό λεωφορεία όλα είναι στη γραμμή και όλα έχουν βάλει μπρος τους κινητήριες τους, έτοιμα να ξεκινήσουν στους προορισμούς τους. Όμως δεν υπάρχουν επιγραφές στα λεωφορεία και οι οδηγοί και επιβάτες όλοι αρνούνται να σου πουνε που πάνε τα λεωφορεία. Έτσι πηδάς στο πιο κοιντό λεωφορείο και καταλήγεις στο Πίτσμπουργκ.

Το σύστημα των λεωφορείων έχει το ίδιο πρόβλημα με το CDC στην παρ'άδοση των σωστών πακέτων (επιβατών) στο σωστό προορισμό. Το πόνι εξπρες είχε το ίδιο πρόβλημα. Καθώς ένας ιππέας έσκυβε κάτω για να πάρει ένα σάκο με ταχυδρομείο, κάποιος έπρεπε να εξασφαλίσει ότι η αλληλογραφία στο σάκο θα πήγανε εκεί που κατευθυνόταν το άλογο. Και ο ιππέας έπρεπε να αναγνωρίσει τον προορισμό του όταν έφθανε εκδί.

Όλα τα συστήματα παράδοσης φορτίων αντιμετωπίζουν κοινά προβλήματα: το φορτίο πρέπει να έχει ετικέτα με τη σωστή διεύθυνση παράδοσης· ο μεταφορέας θα πρέπει να αναγνωρίσει τη διεύθυνση και να βάλει το φορτίο στο σωστό όχημα παράδοσης· το όχημα πρέπει να αναγνωρίσει ότι έφτασε στον προορισμό του· και το φορτίο θα πρέπει να ξεφορτωθεί. Αν ένα από αυτά τα βήμα λείπει, τότε όλο το σύστημα αποτυγχάνει. Και όπως είδαμε στην ταινία για την τηλεόραση, αν το πακέτο έχει λάθος ετικέτα ή δεν έχει ετικέτα, δεν μπορεί να φύγει από την αποθήκη. Αν το πακέτο παραδοθεί σε λάθος διεύθυνση ή αν

ΕΙΚΟΝΑ 5 -1

ΤΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΖΩΙΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ



το δοχείο δεν μπορεί να ανοιχτεί όταν φθάσει, τότε θα ήταν καλύτερο να μην είχε σταλεί καθόλου. Το όλο σύστημα θα πρέπει να είναι τακτοποιημένο πριν να δουλέψει.

Ο Ερνστ Χαίκελ σκέφτηκε ότι ένα κύτταρο είναι «μια ομογενής μάζα από πρωτόπλασμα.» Είχε κάνει λάθος· οι επιστήμονες απέδειξαν ότι τα κύτταρα έχουν περίπλοκες δομές. Ιδιαίτερα τα ευκαρυωτικά κύτταρα (που περιλαμβάνουν τα κύτταρα όλων των οργανισμών εκτός από τα βακτήρια) έχουν πάρα πολλά διαμερίσματα στα οποία εκτελούνται διάφορα καθήκοντα. Όπως ένα σπίτι έχει μια κουζίνα, ένα δωμάτιο με πλυντήριο, υπνοδωμάτια και μπάνιο, ένα κύτταρο έχει εξειδικευμένες περιοχές χωρισμένες σε διάφορα καθήκοντα (εικόνα 5-1). Αυτές οι περιοχές περιλαμβάνουν τον πυρήνα (όπου υπάρχει το DNA παραμένει), τα μιτοχόνδρια (που παράγουν την ενέργεια του κυττάρου), το ενδοπλασματικό δίκτυο (που επεξεργάζεται τις πρωτεΐνες), το όργανο του Γκόλτζι (ένας ενδιάμεσος σταθμός για τις πρωτεΐνες καθώς μετακινούνται από ένα σημείο σε άλλο), το λυσόσωμα (η μονάδα επεξεργασίας σκουπιδιών του κυττάρου), εκκριτικά κυστίδια (που αποθηκεύουν το φορτίο πριν να σταλεί έξω από το κύτταρο), και το υπεροξύσωμα (που βοηθά να μεταβολίζονται τα λίπη). Κάθε διαμέρισμα είναι σφραγισμένο από το υπόλοιπο κύτταρο με τη δική του μεμβράνη με τον ίδιο τρόπο που ένα δωμάτιο χωρίζεται από το υπόλοιπο σπίτι με τους τοίχους του και την πόρτα του. Οι μεμβράνες αυτές καθ' εαυτές μπορούν να θεωρηθούν ως ξεχωριστά διαμερίσματα, επειδή το κύτταρο τοποθετεί υλικό στις μεμβράνες που δεν μπορεί να τοποθετηθεί πουθενά αλλού.

Μερικά τμήματα έχουν διάφορα τμήματα. Για παράδειγμα τα μιτοχόνδρια περιβάλλονται από δύο διαφορετικές μεμβράνες. Έτσι ένα μιτοχόνδριο μπορεί να θεωρηθεί ότι περιέχει τέσσερα διαφορετικά τμήματα: τον εσωτερικό χώρο, μέσα στην εσωτερική μεμβράνη, την ίδια την εσωτερική μεμβράνη, το χώρο μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής μεμβράνης, και την ίδια την εξωτερική μεμβράνη. Μετρώντας μεμβράνες και εσωτερικούς χώρους υπάρχουν πάνω από είκοσι διαφορετικά τμήματα σε ένα κύτταρο.

Το κύτταρο είναι ένα δυναμικό σύστημα· συνεχώς παρασκευάζει νέες δομές και ελευθερώνεται από παλιό υλικό. Αφού τα τμήματα ενός κυττάρου είναι κλειστά, κάθε περιοχή αντιμετωπίζει το πρόβλημα του πως να αποκτήσει νέα υλικά. Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους θα μπορούσε να λύσει το πρόβλημα. Πρώτον, κάθε νέο διαμέρισμα μπορεί να παράγει τα δικά του εφόδια, όπως τόσα πολλά αυτοσυντηρούμενα χωριά. Δεύτερον, νέα υλικά μπόρουν να παράγονται κεντρικά και μετά να αποστέλλονται στα άλλα διαμερίσματα, όπως σε μια μεγάλη πόλη που παράγει τα δικά της μπλου τζιν και ραδιόφωνα και τα στέλνει στις μικρές πόλεις. Ή μπορεί να υπάρχει ένας συνδυασμός από τις δύο δυνατότητες.

Στα κύτταρα, αν και μερικά διαμερίσματα παράγουν μερικά υλικά για τον ευατό τους, η μεγάλη πλειψηφία των πρωτεϊνών παράγεται κεντρικά. Η αποστολή των πρωτεϊνών από το ένα διαμέρισμα στο άλλο είναι μια ενδιαφέρουσα και περίπλοκη διαδικασία. Οι λεπτομέρειες μπορούν να διαφέρουν ανάλογα με τον προορισμό της πρωτεΐνης, όπως διαφέρουν οι λεπτομέρειες αποστολής ανάλογα με το αν ένα πακέτο το στέλνουμε στην άλλη άκρη της πόλης ή θα πρέπει να διασχίσει τον ωκεανό. Σ' αυτό το κεφάλαιο θα επικεντρωθώ στο μηχανισμό που χρησιμοποιεί ένα κύτταρο για να μεταφέρει μια πρωτεΐνη στο σύστημα επεξεργασίας σκουπιδιών του κυττάρου, το λυσόσωμα. Θα δεις ότι το κύτταρο θα πρέπει να αντιμετωπίσει τα ίδια προβλήματα που το κέντρο CDC αντιμετωπίζει καθώς στέλνει ένα ζωτικό φορτίο.

ΧΑΜΕΝΟ ΣΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ

Μια νέα πρωτεΐνη, που μόλις τώρα παράχτηκε μέσα στο κύτταρο, συναντά πολλές μοριακές μηχανές. Μερικές από τις μηχανές αρπάζουν την πρωτεΐνη και την στέλνουν προς τη θέση του προορισμού της. Σε λίγο θα ακολουθήσω την πρωτεΐνη σε ένα μονοπάτι από της απ' την αρχή μέχρι το τέλος. Όλες οι πρωτεϊνικές μηχανές έχουν μάλλον εξωτικά ονόματα, όμ για τους περισσότερους ανθρώπους είναι δύσκολο να τα αναπαραστήσουμε νοητικά καθώς δεν είμαστε συνηθισμένοι να σκεφτόμαστε. Γι' αυτό πρώτα θα χρησιμοποιήσω μια αναλογία που θα τη δούμε στις επόμενες λίγες σελίδες

Ο χρόνος είναι μακριά στο μέλλον. Η ανθρωπότητα έχει προσπαθήσει να μελετήσει το σύμπαν από πρώτο χέρι, όμως ανέμεσα στους κομήτες, στις μαγνητικές θύελλες και τους ληστρικούς εξωγήινους, οι κίνδυνοι ήταν πολύ μεγάλοι. Έτσι η δουλειά δόθηκε σε μηχανικούς εξερευνητές του διαστήματος που εκτοξεύονται στο διάστημα για να εξερευνηθούν τα άκρα του γαλαξία αλλά και ακόμη πιο μακριά, και γι' αυτό το λόγο οι μηχανικοί εξερευνητές έχουν κατασκευαστεί για να είναι αυτάρκεις. Μπορούν να κατεβαίνουν σε ξερούς πλανήτες και να εξορύξουν υλικά, μπορούν να κατασκευάσουν νέες μηχανές από τα ορυκτά και μπορούν να συλλέξουν ενέργεια από το αστρικό φως και να τη χρησιμοποιήσουν για να φορτίσουν τις μπαταρίες τους.

Ο διαστημικός εξερευνητής είναι μια μηχανή, και έτσι μπορεί να εκπληρώσει όλα τα καθήκοντα με εξαιρετικά λεπτομερείς μηχανισμούς, και όχι μαγεία. Το καθήκον μας είναι να ανακυκλώσουμε τις παλιές μπαταρίες, καθώς οι μπαταρίες χαλάνε μετά από ένα χρονικό διάστημα, κι έτσι ο εξερευνητής θα φτιάχνει νέες. Οι νέες μπαταρίες κατασκευάζονται με άλεσμα των παλιών μπαταριών, μαζεύοντας τα παλιά συστατικά, λιώνοντας τα, και ξαναχύνοντας τη θήκη και προσθέτοντας φρέσκα χημικά συστατικά. Μια από τις μηχανές που χρησιμοποιείται για τη διαδικασία ονομάζεται «ο σπαζομπαταρίας».

Ο διαστημικός εξερευνητής έχει σχήμα μια τεράστιας σφαίρας. Μέσα στη σφαίρα υπάρχουν αρκετές μικρότερες, αυτοσυντηρούμενες σφαίρες, κάθε μια από τις οποίες έχει ειδικούς μηχανισμούς για εξειδικευμένα καθήκοντα. Στη μεγαλύτερη από τις εσωτερικές σφαίρες —ας την ονομάσουμε «βιβλιοθήκη»— υπάρχουν τα σχέδια για την κατασκευή των νέων μηχανών μέσα στο διαστημόπλοιο. Δεν είναι όμως συνηθισμένα μηχανικά σχέδια.

Μπορούμε να τα θεωρήσουμε σχέδια σε γραφή braille— ή σαν φύλλα μουσικής για μηχανικά πιάνο — όπου διάφορα φυσικά εξογτώματα και ανοίγματα στο σχέδιο κάνουν την κύρια μηχανή να φτιάξει τα μηχανή με βάση τον κώδικα των σχεδίων.

Κάποια όμορφη μέρα ο εξερευνητής μας του διαστήματος νιώθει (με κάποιο μηχανισμό που αγνοούμε) ότι χρειάζεται να νέο σπαζομπαταρία και να στείλει τη νέα μηχανή να δουλέψει στο τμήμα επεξεργασίας σκουπιδιών όπου θα βοηθήσει στην ανακύκλωση των παλιών μπαταριών. Έτσι η διαδικασία που έχει να εκτελέσει ξεκινά: Το σχέδιο για τον σπαζομπαταρία φωτοτυπείται στη βιβλιοθήκη και το αντίγραφο του σχεδίου αιωρούμενο περνάει από το παράθυρο στη βιβλιοθήκη (να θυμηθείτε ότι δεν υπάρχει βαρύτητα). Στην άκρη του σχεδίου υπάρχουν τρύπες που έχουν ένα ιδιαίτερο σέδιο, που ταιράζει απόλυτα με μικρές σφήνες στο μηχανισμό σκάνερ στο παράθυρο. Όταν το σχέδιο γαντζώνεται στο σκάνερ, ανοίγει η πόρτα του παραθύρου όπως το διάφραγμα μιας φωτογραφικής μηχανής. Το σχέδιο κουνιέται χαλαρό από το σκάνερ και πετάει έξω από τη βιβλιοθήκη στην κύρια περιοχή του διαστημικού εξερευνητή.

Στην κύρια περιοχή υπάρχουν πολλές μηχανές και τμήματα μηχανών: παξιμάδια, μπουλόνια και σύρματα αιωρούνται γύρω. Στο τμήμα υπάρχουν πολλά αντίγραφα αυτού που ονομάζεται κύρια μηχανή, που η εργασία του είναι να κατασκευάζει άλλες μηχανές. Το κάνουν αυτό με το να διαβάζουν τις τρύπες πάνω στο σχέδιο, να αρπάζουν παξιμάδια, μπου-

λόνια, και άλλα τμήματα που αιωρούνται εκεί γύρω, και με μηχανικό τρόπο τα συναρμολογούν τμήμα προς τμήμα για να μας δώσουν μια μηχανή.

Το σχέδιο για τον σπαζομπαταρία, αιωρείται στην κύρια περιοχή και σε λίγο έρχεται σε επαφή με μια κύρια μηχανή. Στριφογυρνώντας, και περιστρίβοντας διάφορες προεξοχές στην κύρια μηχανή αρπάζουν κάποια παξιμάδια και μπουλόνια και αρχίζουν να συναρμολογούν τον σπαζομπαταρία. Πριν όμως να συναρμολογήσουν το κύριο σώμα του σπαστήρα η κύρια μηχανή θα πρέπει να κάνει ένα προσωρινό «στολίδι» που χαρακτηρίζει τον σπαστήρα ως μια μηχανή που θα πρέπει να εγκαταλείψει την κύρια περιοχή.

Στην κύρια περιοχή υπάρχει μια άλλη μηχανή, που ονομάζεται οδηγός. Το σχήμα του οδηγού είναι ακριβώς συμπληρωματικό προς το σχήμα του στολιδιού, και κάποιοι μικροί μαγνήτες στο οδηγού του επιτρέπουν να συνδέεται με ασφάλεια. Καθώς ο οδηγός «σφίγγει» με το στολίδι σπρώχνει προς τα κάτω τον διακόπτη της κύριας μηχανής, και προκαλεί το σταμάτημα της κατασκευής από την κύρια μηχανή του σπαστήρα.

Έξω από μια από τις εσωτερικές σφαίρες (θα ονομάσουμε αυτή τη σφαίρα «δωμάτιο επεξεργασίας #1») είναι ένα σημείο δέκτης που έχει σχήμα συμπληρωματικό προς ένα τμήμα του οδηγού και σε μέρος του στολιδιού. Όταν ο οδηγός, το στολίδι και τα προσκολλημένα τμήματα συγκρουστούν με το σχηματισμένο τμήμα, ο διακόπτης της μηχανής γυρίζει προς τα πίσω ξαναεκκινώντας την οικοδόμηση του σπαστήρα.

Ακριβώς δίπλα στο σχηματισμένο τμήμα είναι ένα παράθυρο. Όταν το στολίδι αγγίξει στο παράθυρο (συμβαίνουν πολλά σπρωξίματα), ενεργοποιεί έναν ιμάντα μεταφοράς μέσα στην αίθουσα επεξεργασίας και ο μεταφορικός ιμάντας τραβά το νέο σπαζομπαταρία μέσα στο δωμάτιο επεξεργασίας, αφήνοντας την κύρια μηχανή, το σχέδιο και τον οδηγό απέξω.

Καθώς ο σπαστήρας τραβιέται μέσα από το παράθυρο, μια άλλη μηχανή αφαιρεί το στολίδι που τώρα πια δε χρειάζεται. Τώρα, και αυτό είναι θαυμαστό, υπάρχουν περιοριστικές μηχανές στο εύκαμπτο τοίχωμα του δωματίου επεξεργασίας #1 και προκαλούν το κλείσιμο σε ένα τμήμα του τοίχου που είναι πάνω και γύρω από κάποιες από τις μηχανές, σχηματίζοντας ένα νέο υπό-δωμάτιο που αιωρείται ελεύθερο. Το υπόλοιπο του τοίχου που έμεινε, σφραγίζεται από μόνο του.

Το υπό – δωμάτιο τώρα αιωρείται για μια μικρή απόσταση μέσα από την κύρια περιοχή πριν να συγκρουστεί με ένα δεύτερο δωμάτιο επεξεργασίας. Το υπο – δωμάτιο συγχωνεύεται με το τοίχωμα και αδειάζει τα περιεχόμενα του στο δωμάτιο επεξεργασίας #2. Ο σπαζομπαταρίας μετά περνά από τα δωμάτια Επεξεργασίας #3 και #4 με παρόμοιους μηχανισμούς όπως αυτόν που τον μετέφερε από το δωμάτιο #1 στο δωμάτιο #2. Μέσα στα δωμάτια επεξεργασίας παίρνει τις ετικέτες που το κατευθύνουν προς τους τελικούς προορισμούς. Μια κεραία τοποθετείται στον σπαζομπαταρία και γρήγορα περικόπτεται για να αποκτήσει μια πολύ ιδιαίτερη διάταξη· το ειδικό σχήμα της περικομμένης κεραίας θα πει σε άλλους μηχανισμού πως να κατευθύνουν τον σπαστήρα στο κέντρο επεξεργασίας σκουπιδιών.

Στο τοίχο του τελευταίου δωματίου επεξεργασίας υπάρχουν μηχανές («τραβηχτές») που έχουν σχήμα συμπληρωματικό προς την περικομμένη κεραία του σπαζομπαταρία. Ο σπαστήρας κολλά στους τραβηχτές και το τμήμα αυτό του τοίχου αρχίζει να δημιουργεί ένα φούσκωμα που τελικά δίνει ένα υπό – δωμάτιο. Έξω από το υπό – δωμάτιο υπάρχει μια άλλη μηχανή (ο «κωδικοποιητής παράδοσης») που έχει ένα σχήμα που συμπληρώνει απόλυτα το σχήμα μιας μηχανής («σημειωτής προορισμού») που προεξέχει από το χώρο επεξεργασίας σκουπιδιών. Το υπό – δωμάτιο γαντζώνεται στο χώρο επεξεργασίας σκουπιδιών με τη βοήθεια των δύο συμπληρωματικών μηχανών. Μια άλλη μηχανή (η «πύλη») περνάει

από εκεί. Η πύλη έχει ένα σχήμα που είναι συμπληρωματικό προς ένα τμήμα του κωδικοποιητή παράδοσης και του σημειωτή προορισμού. Όταν κολλάει σ' αυτούς, η πύλη ανοίγει μια μικρή τρύπα στο δωμάτιο επεξεργασίας σκουπιδιών και η μεταφορική σφαίρα συνενώνεται μαζί του, αδειάζοντας τα περιεχόμενα μέσα στο χώρο. Τελικά μπορεί ο σπαζομπαταρίας να αρχίσει να λειτουργεί.

Ίσως σ' αυτό το σημείο του βιβλίου, εύκολα μπορεί ο αναγνώστης να δει πως το μεταφορικό σύστημα που έστειλε τον σπαζομπαταρία στον προορισμό του είναι μη αναγώγιμο περίπλοκο. Αν κάποιο από τα πολλά εξαρτήματα δεν υπάρχει, δεν μπορεί τότε ο σπαστήρας να παραδοθεί στο χώρο επεξεργασίας σκουπιδιών. Επιπλέον, θα πρέπει να διατηρηθεί η λεπτή ισορροπία του συστήματος κάθε ένα από τα πολλά εξαρτήματα που αλληλοσυνδέονται, θα πρέπει να το κάνουν με ακρίβεια και να απεμπλέκονται, και κέθα ένα να φτάνει και να αναχωρεί την κατάλληλη στιγμή. Κάθε ξεχωριστό σφάλμα θα προκαλέσει κατάρρευση του όλου συστήματος.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Αυτό είναι επιστημονική φαντασία, έτσι δεν είναι; Τόσο περίπλοκα πράγματα δεν υπάρχουν στη φύση, ή μήπως όχι; Το κύτταρο είναι «μια ομογενής μάζα από πρωτόπλασμα.» Έτσι δεν είναι.; Θα λέγαμε, όχι, ναι και όχι.

Όλες αυτές οι φανταστικές μηχανές έχουν τα αντίστοιχα τους στο κύτταρο. Ο εξερευνητής του διαστήματος είναι το ίδιο το κύτταρο, η βιβλιοθήκη είναι ο πυρήνας, το σχέδιο είναι το DNA, το αντίγραφο του σχεδίου είναι το RNA, το παράθυρο στη βιβλιοθήκη είναι ο πόρος του πυρήνα, οι κύριες μηχανές είναι τα ριβοσώματα, η κύρια περιοχή είναι το κυτταρόπλασμα, το στολίδι είναι η σειρά σήματος, ο σπαζομπαταρίας είναι η λυσοσωμική υδρολάση, ο οδηγός είναι το σωματίδιο αναγνώρισης σημάτων (signal recognition particle SRP), η θέση δέκτης είναι ο δέκτης του SRP, ο χώρος επεξεργασίας 1 είναι το ενδοπλασματικό δίκτυο (ER), οι χώροι επεξεργασίας 2 έως 4 είναι το όργανο του Γκόλτζι, η κεραία είναι ένας περίπλοκος υδρογονάνθρακας, τα υπο-δωμάτια είναι κυστίδια καλυμμένα με κλαθρίνη, και διάφορες πρωτεΐνες παίζουν το ρόλο του περικόπτη, του τραβηχτή, του σημειωτή προορισμού και της πύλης. Ο χώρος διαχείρισης σκουπιδιών είναι το λυσόσωμα.

Ας κάνουμε μια γρήγορη περιγραφή του πως μια πρωτεΐνη που έχει συντεθεί στο κυτταρόπλασμα τελικά βρίσκει το δρόμο της στο λυσόσωμα. Αυτό θα χρειαστεί μόνο μία παράγραφο. Μην ανησυχείς αν γρήγορα ξεχάσεις τα ονόματα και τις διαδικασίες της κυτταρικής μεταφοράς· ο σκοπός είναι απλώς να ρίξεις μια ματιά στην περιπλοκότητα του κυττάρου.

□ Ένα αντίγραφο RNA (που ονομάζεται μεταφορικό RNA, ή απλώς mRNA) κατασκευάζεται από το γονίδιο του DNA, που κωδικοποιεί για την πρωτεΐνη που εργάζεται στο χώρο επεξεργασίας σκουπιδιών του κυττάρου — το λυσόσωμα. Ας ονομάσουμε την πρωτεΐνη «σκουπιδάση». Το mRNA κατασκευάζεται στον πυρήνα, μετακινηρείται και περνά μέσα από τον πυρηνικό πόρο. Οι πρωτεΐνες στον πόρο αναγνωρίζουν ένα σήμα στο mRNA, ο πόρος ανοίγει, και το mRNA αιωρείται μέσα στο κυτταρόπλασμα. Στο κυτταρόπλασμα οι «κύριες μηχανές» του κυττάρου — τα ριβοσώματα — αρχίζουν να κατασκευάζουν σκουπιδάση χρησιμοποιώντας πληροφορίες από το mRNA. Το πρώτο τμήμα της αυξανόμενης πρωτεϊνικής αλυσίδας περιέχει μια ακολουθία σήματος που αποτελείται από αμινοξέα. Μόλις σχηματιστεί η ακολουθία του σήματος, ένα σωματίδιο αναγνώρισης σήματος (SRP) αρπάζει το σήμα

και προκαλεί το σταμάτημα του ριβοσώματος. Το SRP και τα σχετιζόμενα μόρια αιωρούνται και καταλήγουν σε ένα δέκτη SRP στη μεμβράνη του ενδοπλασματικού δικτύου (ER) και κολλάνε εκεί. Αυτό ταυτόχρονα κάνει το ριβόσωμα να ξαναξεκινήσει τη διαδικασία σύνθεσης και ένα πρωτεϊνικό κανάλι ανοίγει στη μεμβράνη. Καθώς η πρωτεΐνη περνά μέσα από το κανάλι και μπαίνει στο ER, ένα ένζυμο αποκόπτει την ακολουθία σήματος. Όταν φτάσει στο ER η σκουπιδάση δέχεται έναν περίπλοκο υδρογονάνθρακα. Πρωτεΐνες τύπου coatomer προκαλούν μια πτώση στο ER, που περιέχουν κάποια σκουπιδάση μαζί με άλλες πρωτεΐνες, εδώ δημιουργείται ένα φούσκωμα που ξεκολλάει, μεταβαίνει στο όργανο του Γκόλτζι και συνενώνεται μαζί του. Μερικές από τις πρωτεΐνες επιστρέφουν στο ER. Αυτό συμβαίνει δύο ακόμη φορές καθώς η πρωτεΐνη περνά μέσα από διάφορα διαμερίσματα του οργάνου του Γκόλτζι. Μέσα στο όργανο του Γκόλτζι ένα ένζυμο αναγνωρίζει το κομμάτι του σήματος στην σκουπιδάση και τοποθετεί πάνω της μία ακόμη ομάδα από υδατάνθρακες. Ένα δεύτερο ένζυμο περικόπτει τον υδατάνθρακα που πρόσφατα προσκολληθήκε, αφήνοντας πίσω την φωσφορική – 6 μαννόζη (M6P) Στο τελικό τμήμα του οργάνου του Γκόλτζι, πρωτεΐνες κλαθρίνης μαζεύονται σε ένα μπάλωμα και αρχίζουν να αυξάνουν. Μέσα στο κυστίδιο της κλαθρίνης υπάρχει ένας δέκτης που συνδέεται με το M6P. Ο δέκτης M6P αρπάζει τον M6P της σκουπιδάσης και τον τραβάει μέσα πριν να ξεκολλήσει το κυστίδιο. Έξω από το κυστίδιο υπάρχει μια πρωτεΐνη: η v-SNARE που αναγνωρίζει ειδικά ένα t-SNARE του λυσοσώματος. Όταν συνδεθούν οι πρωτεΐνες NSF και SNAP συνδέουν το κυστίδιο στο λυσόσωμα. Η σκουπιδάση τώρα έχει φτάσει στον προορισμό της και τώρα μπορεί να αρχίζει τη δουλειά για την οποία κατασκευάστηκε. □

Ο φανταστικός εξερευνητής του διαστήματος είναι τόσο περίπλοκος που δεν έχει εφευρεθεί μέχρι σήμερα έστω και κατά υποτυπώδη τρόπο. Το αυθεντικό κυτταρικό σύστημα υπάρχει είδη, και κάθε δευτερόλεπτο κάθε μέρας, αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται άπειρα δισεκατομμύρι φορές στο σώμα σου. Η επιστήμη είναι πιο παράξενη από τη φαντασία.

ΟΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η σκουπιδάση διασχίζει μια απόσταση που είναι περίπου το ένα δια δέκα χιλιάδες μιας ίντσας (0,0002 cm) καθώς ταξιδεύει από το κυτταρόπλασμα στο λυσόσωμα, όμως απαιτεί τις υπηρεσίες από δωδεκάδες διαφορετικές πρωτεΐνες με σκοπό να εξασφαλιστεί η ασφάλης της άφιξης. Στη φανταστική μας ταινία TV, το εμβόλιο ταξίδεψε ίσως χίλια πεντακόσια χιλιόμετρα από το κέντρο ελέγχου ασθενειών στη μεγάλη πόλη όπου χρειαζόταν — ένα τρισεκατομμύριο φορές μεγαλύτερη απόσταση από την απόσταση που διέσχισε η σκουπιδάση. Όμως ολλές από τις απαιτήσεις για τη μεταφορά του εμβολίου ήταν οι ίδιες με το να μεταφερθεί το ένζυμο από το κυτταρόπλασμα στο λυσόσωμα. Οι απαιτήσεις επβάλλονται από τον τύπο της δουλειάς που πρέπει να γίνει· δεν εξαρτώνται από την απόσταση που διασχίζεται, το είδος του οχήματος που χρησιμοποιείται, ή τα υλικά από τα οποία κατασκευάζεται το σήμα.

Ένα σύγχρονο εγχειρίδιο διακρίνει τρεις μεθόδους με τις οποίες ένα κύτταρο μπορεί να μεταφέρει πρωτεΐνες μέσα σε διάφορα διαμερίσματα⁵³. Η πρώτη, όταν ανοίγει ή κλείνει μια μεγάλη πύλη για να ρυθμίσει το πέρασμα των πρωτεϊνών μέσα από τη μεμβράνη, ονομάζεται *μεταφορά μέσα από πύλη*. Αυτός ο μηχανισμός κανονίζει τη ροή υλικού μεταξύ του

¹Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, Ms, Roberts, K., and Watson, J. D. (1994) *Molecular Biology of the Cell*, 3rd ed., Garland Publishing, New York, pp. 556-557

πυρήνα και του κυτταροπλάματος, όπως όταν πρόκειται για νέο mRNA (ή στη χώρα του διαστημικού εξερευνητή, τη ροή του σχεδίου μεταξύ της βιβλιοθήκης και της κύριας περιοχής). Ο δεύτερος μηχανισμός είναι *μεταφορά δια της μεμβράνης*. Αυτό συμβαίνει όταν μια μοναχική πρωτεΐνη περνάει σαν μια κλωστή μέσα από ένα κανάλι πρωτεΐνης, όπως όταν η σκουπιδάση περνά από το κυτταρόπλασμα μέσα στο κυτταροπλασματικό δίκτυο (ER). Ο τρίτος μηχανισμός θα είναι *μέσα από κυστίδια* όπου το φορτίο της πρωτεΐνης, όπως συνέβη κατά τη μεταφορά από το όργανο του Γκόλτζι (το τελικό δωμάτιο επεξεργασίας) στο λυσόσωμα (το χώρο επεξεργασίας σκουπιδιών).

Για τους σκοπούς μας οι δύο πρώτες μέθοδοι μπορούν να θεωρηθούν ως ίδιες: και οι δύο χρησιμοποιούν πύλες σε μια μεμβράνη και αυτές οι πύλες επιτρέπουν επιλεκτικά τη διέλευση των πρωτεϊνών. Στην περίπτωση της μεταφοράς μέσα από πύλη η πύλη είναι αρκετά μεγάλη και οι πρωτεΐνες περνάνε μέσα από αυτή σε μια αναδιπλωμένη μορφή. Στην περίπτωση της μεταφοράς δια της μεμβράνης η πύλη είναι μικρότερη και οι πρωτεΐνες περνάνε από μέσα σε μορφή κλωστής. Όμως κατ' αρχήν δεν υπάρχει κάποιο εμπόδιο στο δρόμο ως προς τη διεύρυνση ή τη σμίκρυνση του μεγέθους μιας πύλης, έτσι αυτές είναι ισοδύναμες. Γι' αυτό και τις δύο θα τις ονομάσω *μεταφορά πύλης*.

Ποιες είναι οι στοιχειώδεις, ουσιαστικές απαιτήσεις για μεταφορά πύλης; Ας φανταστούμε ένα γκαράζ για στάθμευση που αφορά αποκλειστικά για ανθρώπους με διπλωματικές πινακίδες κυκλοφορίας. Στη θέση ενός φύλακα-ανθρώπου το γκαράζ έχει ένα σκάνερ που διαβάζει τον κώδικα πάνω στην πινακίδα του αυτοκινήτου, αν ο κώδικας είναι σωστός η πύλη του γκαράζ ανοίγει. Ένα αυτοκίνητο με διπλωματικές πινακίδες φτάνει, ο σκάνερ σκανάρει την πινακίδα, και η πύλη ανοίγει οπότε το αυτοκίνητο μπαίνει μέσα. Δεν έχει σημασία αν το αυτοκίνητο μετακινήθηκε για τρία μόνο μέτρα ή δεκαπέντε χιλιάδες χιλιόμετρα, ή αν το αυτοκίνητο είναι ένα φορτηγό, τζιπ, ή μια μοτοσυκλέτα. Αν υπάρχει ο σωστός κώδικας στην πινακίδα, μπορεί να περάσει. Έτσι υπάρχουν τρία βασικά συστατικά για μια μεταφορά πύλης: μια ετικέτα ταυτοποίησης· ένας σκάνερ· και μια πύλη που ενεργοποιείται από τον σκάνερ. Αν κάποιο από αυτά τα πράγματα λείπει, τότε είτε το όχημα δεν περνά ή το γκαράζ δεν έχει μια αποκλειστικότητα.

Επειδή η μεταφορά μέσα από πύλη απαιτεί τουλάχιστο τρία διαφορετικά συστατικά για να λειτουργήσει, είναι μη αναγώγιμα περίπλοκη. Γι αυτό το λόγο αντιμετωπίζει τεράστια προβλήματα η υποτιθέμενη βαθμιαία, Δαρβινική εξέλιξη για τη μεταφορά μέσα από πύλη. Αν οι πρωτεΐνες δεν περιείχαν σινιάλα για τη μεταφορά, δε θα αναγνωριζόντουσαν. Αν δεν υπήρχε δέκτης για να ανγνωριστεί το σήμα ή δεν υπήρχε κανάλι για να περάσει από μέσα, και πάλι θα ήταν αδύνατη η μεταφορά. Και αν το κανάλι ήταν ανοιχτό για όλες τις πρωτεΐνες τότε τα κλειστά διαμερίσματα δε θα διέφεραν σε τίποτε από το όλο το κύτταρο.

Η μεταφορά με κυστίδια είναι ακόμη πιο περίπλοκη από την μεταφορά μέσα από πύλη. Υπόθεσε ότι αντί οι τα αυτοκίνητα των διπλωμάτων να μπαίνουν ένα-ένα στο γκαράζ, όλοι οι διπλωμάτες θα έπρεπε να οδηγήσουν τα αυτοκίνητα τους στο πίσω μέρος ενός μεγάλου φορτηγού για μεταφορά αυτοκινήτων, και μετά το φορτηγό θα πήγαινε στο ειδικό γκαράζ και μετά τα αυτοκίνητα θα βγαίναν από το φορτηγό για να παρκάρουν. Τώρα θα χρειαζόμαστε ένα ειδικό μηχανισμό ώστε το φορτηγό να αναγνωρίζει τα σωστά αυτοκίνητα, και ένα τρόπο για το γκαράζ -στο γκαράζ. Ένα τέτοιο σενάριο απαιτεί έξη διαφορετικά συστατικά: (1) μια ετικέτα αναγνώρισης στα αυτοκίνητα, (2) ένα φορτηγό που να μπορεί να μεταφέρει τα αυτοκίνητα, (3) ένα σκάνερ πάνω στο φορτηγό, (4) μια ετικέτα αναγνώρισης πάνω στο φορτηγό, (5) ένα σκάνερ στο γκαράζ, (6) μια πύλη του γκαράζ που να ενεργοποιείται. Μέσα στο σύστημα του κυττάρου για μεταφορά με κυστίδιο αυτά τα συστατικά αντιστοιχούν στην φωσφορική-6-μανόζη, στο κυστίδιο από κλαθρίνη, στον δέκτη M6P που

βρίσκεται στο κυστίδιο της κλαθρίνης, στις πρωτεΐνες v-SNARE, t-SNARE και SNAP/NSF. Όταν δεν υπάρχει μία από αυτές τις λειτουργίες, είτε δεν μπορεί να λάβει χώρα η μεταφορά με κυστίδιο, ή υπάρχει ατέλεια στο διαμέρισμα προορισμού.

Επειδή η μεταφορά με κυστίδια απαιτεί αρκετά περισσότερα συστατικά από την μεταφορά με πύλη, δεν μπορεί να έχει αναπτυχθεί βαθμιαία από τη μεταφορά μέσα από πύλη. Για παράδειγμα, αν έχουμε ετικέτες με κώδικες στα αυτοκίνητα των διπλωμάτων, το να βάλουμε τα αυτοκίνητα μέσα στο φορτηγό (ένα κυστίδιο για να τα μεταφέρει) θα έκρυβε τις ετικέτες και έτσι δε θα μπορούσαν να μπουνε στο γκαράζ. Ή ας υποθέσουμε εναλλακτικά ότι το φορτηγό είχε την ίδια ετικέτα που είχαν τα αυτοκίνητα, έτσι που θα μπορούσε το φορτηγό να μπει στο γκαράζ. Όμως και πάλι θα μας έλειπε ο μηχανισμός που θα έφερνε τα αυτοκίνητα στο φορτηγό, κι έτσι το φορτηγό θα ήταν άχρηστο. Αν μερικά από τα αυτοκίνητα μπαίνουν τυχαία στο φορτηγό, τότε θα μπορούσαν να μπουνε στο γκαράζ και αυτοκίνητα μη διπλωμάτων. Επιστρέφοντας στον κόσμο του κυττάρου, αν ένα κυστίδιο απλώς «συνέβαινε» να δημιουργηθεί, δε θα υπήρχε μηχανισμός για αναγνώριση των πρωτεϊνών που θα έπρεπε να μπουνε μέσα του, και δε θα υπήρχε τρόπος για να καθοριστεί ο προορισμός του. Το να βάλουμε πρωτεΐνες που περιέχουν ετικέτες προορισμού σε ένα κυστίδιο που δεν έχει ετικέτα προορισμού, θα είχε ως αποτέλεσμα οι ετικέτες να μην είναι διαθέσιμες, και έτσι θα ήταν καταστροφικό για τον οργανισμό που είχε ένα μηχανισμό μεταφοράς με πύλη που θα λειτουργούσε καλά. Η μεταφορά με πύλη και η μεταφορά με κυστίδιο είναι δύο διαφορετικοί μηχανισμοί· ο ένας δεν μπορεί να εξηγήσει τον άλλο.

Σ' αυτό το κεφάλι η σύντομη παρουσίαση των απαιτήσεων για μεταφορά με πύλη και μεταφορά με κυστίδιο δεν έλαβε υπόψη της πολλές περιπλοκότητες των συστημάτων. Όμως αφού αυτές κάνει πιο περίπλοκο το σύστημα, δεν μπορούν να καλυτερέψουν τη μη αναγώγιμη περιπλοκότητα των υπό θεώρηση μηχανισμών.

ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΜΕΝΟ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟ

Τα μη αναγώγιμα περίπλοκα συστήματα όπως οι ποντικοπαγίδες, οι μηχανές του Rube Goldberg, και το σύστημα ενδοκυτταρικής μεταφοράς δεν μπορεί να έχουν εξελιχθεί με ένα Δαρβινικό τρόπο. Δεν μπορείς να ξεκινήσεις με μια βάση, να πιάσεις μερικά ποντίκια, να προσθέσεις ένα ελατήριο, να πιάσεις μερικά ακόμη ποντίκια, να προσθέσεις τη σφύρα να πιάσεις ακόμη λίγα και ούτω καθεξής. Το όλο σύστημα πρέπει να συναρμολογηθεί εξ αρχής ή τα ποντίκια θα ξεφύγουν. Παρόμοια, δεν μπορείς να ξεκινήσεις με μια ακολουθία σήματος και να έχεις μια πρωτεΐνη να προχωρήσει για λίγο προς το λυσόσωμα, να προσθέσεις μια πρωτεΐνη που να είναι δέκτης σήματος, και να πας λίγο πιο πολύ, και ούτω καθεξής. Ή όλα ή τίποτε.

Ίσως να έχουμε παραλείψει να προσέξουμε κάτι. Ίσως ένα από τα τμήματα μιας ποντικοπαγίδας είχε χρησιμοποιηθεί για κάποιους σκοπούς και τώρα ξαφνικά ήρθαν όλα μαζί και δώσανε μια ποντικοπαγίδα που μάλιστα λειτουργεί καλά. Και ίσως τα εξαρτήματα του ενδοκυτταρικού μεταφορικού συστήματος να εκτελούσαν στο κύτταρο αρχικά άλλα καθήκοντα, και μετά να μετέβαλλαν τη λειτουργία τους στο σημερινό τους ρόλο. Θα μπορούσε να έχει συμβεί αυτό;

Δεν μπορεί να γίνει μια εξαντλητική θεώρηση όλων των δυνατών ρόλων για ένα εξάρτημα. Όμως μπορούμε να θεωρήσουμε, μερικούς πιθανούς ρόλους για κάποια από τα συστατικά του μεταφορικού συστήματος. Με το να κάνουμε αυτό δεχνει ότι είναι εξαιρετικά απίθανο ότι τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για άλλους σκοπούς θα μπορούσαν με κάπιο συμπτωματικό τρόπο να προσαρμοστούν σε νέους ρόλους σε ένα περίπλοκο σύστημα.

Ας υποθέσουμε ότι θα ξεκινήσουμε εμε μια πρωτεΐνη που είχε μια λιπαρή περιοχή και ήταν πάνω στη μεμβράνη ενός κηττάρου. Ας υποθέσουμε ότι θα ήταν ευεργετικό να είναι εκεί η πρωτεΐνη γιατί καθιστούσε πιο στερεή τη μεμβράνη, κανόντας την να αντέχει και να μην έχει σκισίματα και τρύπες. Θα μπορούσε άραγε αυτή η πρωτεΐνη να μετατρέπεται σε μια πύλη – κανάλι; Αυτό ισοδυναμεί με το να αναρωτηθούμε αν οι σανίδες ενός τοίχου θα μπορούσαν να μετατραπούν βήμα προς βήμα (Δαρβινικά), με μικρές μεταλλάξεις σε μια πόρτα με σκάνερ. Ας υποθέσουμε ότι οι ξύλινες σανίδες ερχόντουσαν όλες μαζί και η περιοχή ανάμεσα τους εξασθενούσε έτσι που ο σουβάς ράγιζε και σχηματιζόταν μια τρύπα στον τοίχο. Θα ήταν αυτό μια καλύτερευση; Η τρύπα στον τοίχο θα επέτρεπε σε έντομα, ποντίκια, φίδια και άλλα όντα να μπουνε στο δωμάτιο· θα γινόταν αιτία ή να χάνουμε θερμότητα ή τον ψυχρό αέρα από το κλιματιστικό. Παρόμοια, μια μετάλλαξη που θα προκαλούσε να μαζεύονται οι πρωτεΐνες στη μεμβράνη, αφήνοντας μια μικρή τρύπα, θα επέτρεπαν στις αποθηκευμένες τροφές, ATP, άλατα και άλλα αναγκαία υλικά να παρασυρθούν προς τα έξω. Αυτό δεν είναι καλύτερευση. Ποτέ δε θα μπορούσες να πουλήσεις ένα σπίτι με μια τρύπα στον τοίχο, και ένα κύτταρο με μια τρύπα στη μεμβράνη θα είχε σοβαρά μειονεκτήματα σε σχέση με τα άλλα κύτταρα.

□ Υπόθεσε ότι μια πρωτεΐνη θα μπορούσε να συνδεθεί στην αρχή νέων πρωτεϊνών καθώς συναρμολογούνται στο ριβόσωμα. Υπόθεσε ότι αυτό ήταν ένα πλεονέκτημα επειδή, οι νέες ξεδιπλωμένες πρωτεΐνες είναι πιο ευάλωτες, έτσι τοποθετώντας μια διπλωμένη πρωτεΐνη πάνω τους θα τις προστατεύσει μέχρις ότου να έχουν πλήρως συναρμολογηθεί και διπλωθεί. Θα μπορούσε μια τέτοια πρωτεΐνη να εξελιχθεί για παράδειγμα σε σωματίδιο αναγνώρισης σήματος (signal recognition particle SPR); Όχι. Μια τέτοια πρωτεΐνη θα βοηθούσε να διπλωθεί γρήγορα μια νέα πρωτεΐνη και όχι να την κρατήσει ξεδιπλωτη—κάτι που κάνει ένα σύγχρονο SPR. Οι διπλωμένες πρωτεΐνες δεν μπορούν να περάσουν μέσα από μία πύλη – κανάλι όπου το παίρνει το σύγχρονο SPR. Επιπλέον αν το πρωτο – SPR προκαλούσε το σταμάτημα της σύνθεσης από το ριβόσωμα, όπως κάνει το σύγχρονο SPR, αλλά δεν υπήρχε ο μηχανισμός για να ξαναξεκινήσει το ριβόσωμα, τότε θα σκότωνε το κύτταρο (μερικά θανάσιμα δηλητήρια σκοτώνουν με το να απενεργοποιούν τα ριβοσώματα του κυττάρου). Έτσι έχουμε ένα δίλημμα: στην αρχή έναν ανεξέλεγκτο απαγορευτή της πρωτεϊνικής σύνθεσης που θα σκότωνε το κύτταρο, όμως μια προσωρινή διακοπή στη σύνθεση της πρωτεΐνης είναι κρίσιμη στα σύγχρονα κύτταρα. Αν το ριβόσωμα δε σταματήσει, τότε η νέα πρωτεΐνη γίνεται τόσο πολύ μεγάλη που δεν μπορεί να ταιριάξει μέσα από την πύλη – κανάλι. Έτσι φαίνεται ότι το σύγχρονο SPR δεν προέρχεται από εξέλιξη μιας πρωτεΐνης που η δουλειά της ήταν να συνδέει νέες πρωτεΐνες και να τις προστατεύει από το να χαλάσουν.

Υπόθεσε ότι ένα ένζυμο τοποθετούσε καθώς συνθέτονται οι πρωτεΐνες μια μεγάλη ομάδα από υδατάνθρακα (το «μπιχλιμπίδι»). Υπόθεσε ότι θα βοηθούσε κατά κάποιο τρόπο να σταθεροποιηθεί η πρωτεΐνη, κάνοντας την να διατηρηθεί περισσότερο μέσα στο κύτταρο. Θα μπορούσε αυτό το βήμα να γίνει τελικά μέρος της ενδοκυτταρικής μεταφορικής αλυσίδας; Όχι. Το «μπιχλιμπίδι», επειδή θα έκανε πιο μεγάλη την πρωτεΐνη, θα την εμπόδιζε να περάσει μέσα από κάποιο πύλη που θα έμοιζε με μια σύγχρονη πύλη του ενδοκυτταρικού δικτύου. Το μπιχλιμπίδι θα ήταν στην πραγματικότητα ένα εμπόδιο στην ανάπτυξη του μεταφορικού συστήματος. Με τον ίδιο τρόπο, άλλα μεμονωμένα τμήματα του συστήματος θα ήταν στην πραγματικότητα επιβλαβή στο σύστημα και όχι ευεργετικά. Ένα ένζυμο που θα περιέκοπτε την ακολουθία σήματος (το «στολίδι») θα ήταν καταστροφικό αν η ακολουθία

του σήματος έπαιζε ένα θετικό ρόλο στο πρωτόγονο κύτταρο. Με την περικοπή του μιχλιμπίδιού θα είχαμε ένα βήμα οπισθοδρόμησης αν το μιχλιμπίδι επιτελούσε κάποια δουλειά. Το να παγιδευτούν οι πρωτεΐνες όπως την «σκουπιδάση» μέσα σε ένα κυστίδιο θα ήταν επιβλαβές αν η σκουπιδάση αρχικά έπρεπε να εργάζεται στο ανοιχτό πεδίο.□

Στο 2^ο κεφάλαιο σημείωσα ότι δεν μπορεί κανείς να πάρει εξειδικευμένα τμήματα άλλων περίπλοκων συστημάτων (όπως το ελατήριο από το ρολόι του παππού) και να τα χρησιμοποιήσει απ' ευθείας ως εξειδικευμένα τμήματα ενός δεύτερου μη αναγώγιμου συστήματος (όπως μιας ποντικοπαγίδας) παρά μόνο αν υπάρξει μια εκτεταμένη μεταβολή. Ανάλογα τμήματα που παίζουν άλλους ρόλους σε άλλα συστήματα δεν μπορούν να μας ανακουφίσουν από τη μη αναγώγιμη περιπλοκότητα ενός νέου συστήματος· απλώς μετατοπίζεται η προσοχή μας από το «φτιάξιμο» των εξαρτημάτων στο να τα «μετατρέψουμε». Και στις δύο περιπτώσεις δεν υπάρχει η νέα λειτουργία παρά μόνο αν ένας ευφυής σχεδιαστής μας καθοδηγήσει για το στήσιμο. Σ' αυτό το κεφάλαιο βλέπουμε ότι μια οικοδόμηση του συστήματος μεταφοράς αντιμετωπίζει ένα παρόμοιο πρόβλημα: το σύστημα δεν μπορεί να συναρμολογηθεί είτε από νέα είτε από μεταχειρισμένα κομμάτια.

ΘΑΝΑΤΟΣ ΣΕ ΝΕΑΡΗ ΗΛΙΚΙΑ

Σε μια εκδοχή της ταινίας TV, μια λανθασμένη ετικέτα είχε τοποθετηθεί σε ένα κουτί με εμβόλια και τα παιδιά πέθαιναν. Ευτυχώς ήταν μόνο κάτι που αφορά μια πιθανή ιστορία που φτιάξαμε για την ιστορία. Στην πραγματική ζωή οι λανθασμένες ετικέτες προκαλούν πραγματικούς θανάτους.

Ένα κοριτσάκι κλαίει καθώς στέκεται μπροστά σε ένα πίνακα με ύψη, με τη βοήθεια του χεριού ενός ενήλικα. Το ύψος της είναι μόνο εξήντα εκατοστά. Το πρόσωπο της και τα μάτια της είναι πρισμένα, τα πόδια της είναι λυγισμένα. Περπατά με δυσκαμψία. Έχει σοβαρή νοητική καθυστέρηση. Μια ιατρική εξέταση δείχνει μια μεγάλη καρδιά, συκώτι και σπλήνα. Ο βήχας και η μύτη που τρέχει μας μιλάνε για το ότι αυτό το νεαρό πλάσμα έχει προσβληθεί από μια μόλυνση του άνω αναπνευστικού συστήματος. Ο γιατρός παίρνει ιστό από το κορίτσι και τον στέλνει σε ένα εργαστήριο για ανάλυση· ο τεχνικός του εργαστηρίου καλλιεργεί τα κύτταρα του δείγματος σε ένα πιατάκι Πέτρι και τα εξετάζει στο μικροσκόπιο. Κάθε ε'να από τα κύτταρα περιέχει χιλιάδες, πυκνούς κόκκους που δεν υπάρχουν σε κανονικά κύτταρα. Οι κόκκοι ονομάζονται «εγκλείσματα»: το μικρό κορίτσι έχει την ασθένεια-κυττάρων.⁵⁴ Εξαιτίας του ότι αυτή η ασθένεια είναι προοδευτική, οι σκελετικές και νευρικές δυσκολίες θα αυξηθούν με το πέρασμα του χρόνου. Το κοριτσάκι θα πεθάνει πριν φθάσει τα πέντε.

Η ασθένεια των Ι-κυττάρων προκαλείται από ένα ελάττωμα στο μονοπάτι μεταφοράς των πρωτεϊνών. Τα κύτταρα των ασθενών που έχουν αυτήν την ασθένεια, έχουν έλλειψη σε μια από τις μηχανές στη μακριά αλυσίδα που παίρνει τις πρωτεΐνες από το κυτταρόπλασμα στο λυσόσωμα. Εξαιτίας αυτού του ελαττώματος, τα ένζυμα που είχαν ως προορισμό το λυσόσωμα ποτέ δε φθάνουν εκεί. Αντίθετα βγαίνουν από την πορεία μέσα σε λανθασμένα κυστίδια και πηγαίνουν στην κυτταρική μεμβράνη όπου απορρίπτονται στον εξωκυτταρικό χώρο.

⁵⁴ Kornfeles, So, and Sly, W.S. (1995) "I – Cell disease and Pseudo – Hurler Polydytrophhy: Disorders of Lysosomal Enzyme Phosphorylation and Localization," in *The Metabolic and Molecular Bases of Inherited Disease*, 7th ed., ed. Ed. C.R. Scriver, A.L. Beauder, W.S. Sly, and D. Valle, McGraw-Hill, New York, pp. 2495-2508.

Το κύτταρο είναι ένα δυναμικό σύστημα, και με τον ίδιο τρόπο που πρέπει να οικοδομήσει νέες δομές θα πρέπει συνεχώς να υποβαθμίζει τις παλιές. Το παλιό υλικό μεταφέρεται στο λυσόσωμα για διάσπαση. Στα παιδιά με την ασθένεια των Ι-κυττάρων, τα σκουπίδια ρίχνονται στον «σκουπιδοτενεκε» όπως θα έπρεπε, όμως ο σκουπιδοτενεκές σπάει: δεν υπάρχουν ούτε η «σκουπιδάση» ούτε κάποιο από τα άλλα αποσυνθετικά ένζυμα. Ως αποτέλεσμα τα σκουπίδια συσσωρεύονται και το λυσόσωμα γεμίζει. Το κύτταρο κατασκευάζει νέα λυσοσώματα για να βολέψει τον αυξανόμενο σωρό σκουπιδιών, όμως τα νέα τμήματα τελικά γεμίζουν με τα υπολείματα της κυτταρικής ζωής. Με το χρόνο ολόκληρο το κύτταρο φουσκώνει, οι ιστοί διογκώνονται και ο ασθενής πεθαίνει.

Ένα παιδί μπορεί να πεθάνει από ένα μόνο ελάττωμα σε μια από τις πολλές μηχανές που είναι απαραίτητες για να παίρνουν τις πρωτεΐνες στο λυσόσωμα. Ένα μόνο ελάττωμα στον λαβυρινθώδη δρόμο για μεταφορά πρωτεϊνών του κυττάρου είναι θανατηφόρο. Μόνο αν ολόκληρο το σύστημα ήταν τακτοποιημένο εξ' αρχής, οι πρόγονοι μας θα υπέφεραν από παρόμοια μοίρα. Οι προσπάθειες να εξηγήσουμε με βαθμιαία εξέλιξη του συστήματος μεταφοράς πρωτεϊνών είναι μια συνταγή για εξαφάνιση.

Εξαιτίας των ιατρικών προβλημάτων που σχετίζονται με την αποτυχία του μεταφορικού συστήματος, και επειδή το σύστημα είναι τόσο περίπλοκο και ενδιαφέρον θα περιμέναμε να είναι ένας πολυάσχολος τομέας έρευνας το θέμα της εξελεκτικής ανάπτυξης του συστήματος μεταφοράς με κυστίδια. Πώς θα μπορούσε ένα τέτοιο σύστημα να έχει εξελιχθεί βήμα προς βήμα; Ποια εμπόδια θα έπρεπε να ξεπεράσει το κύτταρο καθώς μετακινούταν από μια άλλη στη μέθοδο για αντιμετώπιση των σκουπιδιών στο σύστημα με τα επικαλυμμένα κυστίδια, που είναι εξειδικευμένα και εφοδιασμένα για να συγχωνεύονται με το λυσόσωμα; Ξανά, καθώς κοιτάζουμε στη βιβλιογραφία για μια εξήγηση της εξέλιξης της μεταφοράς με κυστίδια παθαίνουμε μια συντριπτική απογοήτευση. Τίποτε δεν υπάρχει.

Το *Annual Reviews of Biochemistry (ARB)* είναι μια σειρά βιβλίων, που είναι πολύ δημοφιλής στους βιοχημικούς, και κάνει ανασκόπηση της παρούσας κατάστασης της γνώσης σε επιλεγμένες περιοχές. Το 1992 δημοσιεύτηκε στο ARB ένα άρθρο με τίτλο «Ξεδιάλεγμα των πρωτεϊνών που μεταφέρονται από κυστίδια (Vesicle – Mediated Protein Sorting.)»⁵⁵. Οι συγγραφείς αρχίζουν την ανασκόπηση τους με το να πούνε το προφανές: «Η μεταφορά των πρωτεϊνών μεταξύ οργανιδίων που είναι περιορισμένα με μεμβράνες είναι μια υπερβολικά περίπλοκη διαδικασία». Προχωρούν με επαγγελματικό τρόπο στο να περιγράψουν τα συστήματα και την σύγχρονη έρευνα σ' αυτήν την περιοχή. Μπορούμε όμως να διαβάσουμε από την αρχή ως το τέλος αυτήν την ανασκόπηση σαραντάξι σελίδων και να μη διαβάσουμε μια εξήγηση για το πως θα μπορούσε να είχε εξελιχτεί βαθμιαία αυτό το σύστημα. Το θέμα είναι έξω από την οθόνη του ραντάρ.

Το να μπει στο διαδίκτυο στη βάση δεδομένων για την επαγγελματική βιβλιογραφία στις βιο-ιατρικές επιστήμες σου επιτρέπει μια γρήγορη έρευνα με βάση λέξεις κλειδιά καθώς ψάχνεις στους τίτλους από εκατοντάδες χιλιάδες εργασίες. Μια έρευνα για να δεις πόσοι τίτλοι έχουν ταυτόχρονα τη λέξη *εξέλιξη* και *κυστίδια* καταλήγει χωρίς τίποτε. Αν ψάξουμε αργά – αργά μέσα από τη βιβλιογραφία με έναν παλιομοδίτικο τρόπο βρίσκεις μερικά σκόρπια άρθρα που κάνουν εικασίες για το πως η μεταφορά με πύλες ανάμεσα στα διαμερίσματα ενός ευκαρυωτικού κυττάρου πιθανόν να έχει εξελιχτεί⁵⁶. Όμως όλες αυτές οι

⁵⁵ Pryer, N.K., Wuestehube, L.J., and Schekman, R. (1992) "Vesicle – Mediated Protein Sorting," *Annual Review of*

⁵⁶ Roise, D., and Maduke, M. (1994) "Import of a Mitochondrial Presequence into P. Denitrificans," *FEBS Letters*, 337, 9 – 13· Cavalier-Smith, T. (1987) "The Simultaneous Symbiotic Origin of Mitochondria, Chloroplasts and Microbodies", *Annals of the New York Academy of Science*, 503, 55-71· Cavlaier-Smith t. (1992) "The

εργασίες υποθέτουν ότι τα μεταφορικά συστήματα προέρχονται από προηγούμενα βακτηριακά μεταφορικά συστήματα που είχαν όλα τα συστατικά που έχει ένα σύγχρονο κύτταρο. Αυτό δε μας βοηθά. Αν και οι υποθέσεις έχουν κάτι να κάνουν με το πως θα μπορούσαν να έχουν διπλασιαστεί τα μεταφορικά συστήματα, δε μας λένε τίποτε για το πως ήρθαν στην ύπαρξη τα αρχικά συστήματα. Σε κάποιο σημείο θα έπρεπε αυτή η περίπλοκη μηχανή να ερχόταν στην ύπαρξη, και δε θα μπορούσε να γίνει αυτό με ένα τρόπο βήμα – βήμα.

Ίσως το καλύτερο μέρος για να βρούμε μια επισκόπηση της μεταφοράς με κυστίδια είναι από το εγχειρίδιο *Μοριακή βιολογία του Κυτταρου (Molecular Biology of the Cell)* του προέδρου της Εθνικής ακαδημίας των επιστημών Bruce Alberts, του Νομπελίστα James Watson και αρκετών άλλων συγγραφέων. Το εγχειρίδιο αυτό αφιερώνει 100 σελίδες με ενδιαφέρουσες λεπτομέρειες για μεταφορά με πύλη και με κυστίδια.⁵⁷ Στις 100 σελίδες υπάρχει ένα τμήμα από μίαμιση σελίδα με τίτλο «Οι τοπολογικές σχέσεις των οργανιδίων που περιορίζονται από μεμβράνες μπορούν να ερμηνευτούν με βάση Όρων των εξελικτικών τους προελεύσεων.» Σ' αυτό το τμήμα οι συγγραφείς τονίζουν ότι αν το κυστίδιο φουσκώνει και βγαίνει από την κυτταρική μεμβράνη στο κύτταρο τότε το εσωτερικό του θα είναι το ίδιο με τω εξωτερικό του κυττάρου. Μετά υποδεικνύουν ότι η πυρηνική μεμβράνη, το ενδοκυτταρικό δίκτυο, το όργανο του Γκόλτζι και τα λυσοσώματα εμφανίστηκαν στην αρχή όταν μέρη της κυτταρικής μεμβράνης φούσκωσαν προς τα μέσα. Αυτό μπορεί να είναι ή να μην είναι σωστό, όμως δε μας λέει τίποτε για την προέλευση της μεταφορά των πρωτεϊνών, είτε αυτή γίνεται με πύλες είτε με κυστίδια. Η Κλαθρίνη δεν αναφέρεται σ' αυτό το σύντομο τμήμα του βιβλίου, ούτε τα προβλήματα για το πως να φορτώνεις το σωστό φορτίο στο σωστό κυστίδιο και να το στοχεύεις στο σωστό διαμέρισμα. Σε συντομία η συζήτηση είναι άσχετη με το ερώτημα που έχουμε. Στο τέλος της βιβλιογραφικής μας έρευνας δε γνωρίζουμε περισσότερα από όσα όταν την ξεκινήσαμε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΚΟΙΤΑΓΜΑ ΠΡΟΣ ΤΑ ΜΠΡΟΣ

Η μεταφορά με κυστίδια είναι μια διαδικασία που ζαλίζει το μυαλό, και δεν είναι λιγότερο περίπλοκη από μια τελείως αυτόματη παράδοση εμβολίου από μια αποθήκη σε μια κλινική που βρίσκεται χίλια πεντακόσια χιλιόμετρα μακριά. Τα ελαττώματα στη μεταφορά με κυστίδια θα μπορούσαν να έχουν τις ίδιες θανάσιμες συνέπειες όπως η αποτυχία να παραδοθεί ένα απαραίτητο εμβόλιο σε μια πόλη που μαστιάζεται από μια επιδημία. Μια ανάλυση δείχνει ότι το σύστημα μεταφοράς με κυστίδια είναι μη αναγώγιμο περίπλοκο, και κατά συνέπεια η ανάπτυξη του επίμονα αντιστέκεται σε εξηγήσεις με βαθμιαία βήματα όπως θα ήταν η Δαρβινική εξέλιξη. Μια έρευνα στην επιστημονική βιοχημική βιβλιογραφία και στα εγχειρίδια μας δείχνει ότι κανείς δεν έχει προτείνει μια λεπτομερή πορεία με την οποία ένα τέτοιο σύστημα θα μπορούσε να έχει έρθει στην ύπαρξη. Η Δαρβινική θεωρία είναι βουβή μπροστά στην τεράστια περιπλοκότητα του συστήματος μεταφοράς με κυστίδια.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα εξετάσω την τέχνη της αυτοάμυνας—αλλά βέβαια σε μοριακό επίπεδο. Όπως τα πολυβόλα, τα θωρηκατά και οι πυρηνικές βόμβες είναι κατ' ανάγκη πολύ εξελιγμένες μηχανές στον κόσμο μας, έτσι μπορούμε να δούμε ότι οι μικροσκοπικοί μηχανισμοί άμυνας είναι και αυτοί περίπλοκοι. Λίγα πράγματα είναι απλά στο Μαύρο Κουτί του Δαρβίνου.

Number of Symbiotic Origins of Organelles,” *BioSystems*, 28, 91-106· Hartl, F., Ostermann, J., Guiard, B., and Neupert, W. (1987) “successive Translocation into and out of the Mitochondrial Matrix: Targeting of Proteins to the Inner Membrane Space by a Bipartite Signal Peptide,” *Cell*, 51, 1027-1037

⁵⁷ Alberts et al. pp. 551-651

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΝΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΣ ΚΟΣΜΟΣ

ΟΛΑ ΤΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΑ ΜΕΓΕΘΗ

Υπάρχουν άφθονοι εχθροί. Μ' αυτό που είπαμε δεν έχει καμία σχέση με την παράνοια· είμαστε περικυκλωμένοι από πλάσματα, που για τον ένα ή για τον άλλο λόγο θέλουν να μας καταβάλουν. Αφού οι πιο πολλοί άνθρωποι δε θέλουν ακόμη να πεθάνουν, παίρνουν τα μέτρα τους για να υπερασπιστούν τον εαυτό τους.

Οι απειλές από επιθέσεις μπορούν να έχουν όλα τα σχήματα και τα μεγέθη, γι' αυτό και η άμυνα θα πρέπει να είναι ευέλικτη. Οι μεγαλύτερης κλίμακας απειλές είναι οι πόλεμοι μεταξύ των εθνών. Φαίνεται ότι οι άρχοντες των εθνών εποφθαλμιούν τις πηγές πλούτου των γειτονικών τους κρατών, κι έτσι τα απειλούμενα κράτη θα πρέπει να υπερασπιστούν τον εαυτό τους, αλλιώς θα υποστούν τις συνέπειες. Στη σύγχρονη εποχή, οι χώρες έχουν πραγματι πολλά εκλεπτυσμένα μέσα για την άμυνα. Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν συσσωρεύει ατομικές βόμβες· αν κάποια άλλη χώρα υψώσει τη γροθιά της εναντίον των ΗΠΑ, τότε αυτές θα κάνουν να κροταλίσουν οι βόμβες τους. Αν οι απειλές κορυφωθούν στο σημείο της βίας και οι ΗΠΑ για διάφορες αιτίες δε θέλουν να χρησιμοποιήσουν ατομικές βόμβες, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλες μηχανές: αεριοβόμβες που ρίχνουν «έξυπνες» βόμβες, αεροπλάνα ραντάρ που παρακολουθούν σε πολύ μεγάλες αποστάσεις τον εναέριο χώρο, τανκ που είναι εφοδιασμένα για νυχτερινή μάχη, πύραυλοι εδάφους αέρα, και πολλά περισσότερα. Ο αιώνας μας είναι μια χρυσή εποχή για τον τεχνο – πόλεμο – κάπηλο.

Είναι βέβαια σημαντικές οι μεγάλες απειλές του πολέμου, όμως υπάρχουν και άλλες επιθετικές ενέργειες που μπορούν κι αυτές να σκοτώσουν. Οι βόμβες που τοποθετούν οι τρομοκράτες στα αεροπλάνα, οι επιθέσεις με αέρια στον υπόγειο σιδηρόδρομο, έχουν γίνει δυστυχώς ανησυχητικές και μας δημιουργούν δυσφορία. Το χειρότερο είναι, ότι κανένα από τα όπλα που αναφέρθηκαν προηγουμένως δεν μπορούν να βοηθήσουν να προλάβουν μια επίθεση αερίου σε υπόγειο σιδηρόδρομο. Όταν αλλάζει δραματικά η φύση του εχθρού — από μια ξένη χώρα σε μια εγχώρια ομάδα τρομοκρατών — η φύση της άμυνας κι' αυτή θα πρέπει να αλλάξει. Αντί για βόμβες, οι κυβερνητικοί αξιωματούχοι θα πρέπει να τοποθετήσουν ανιχνευτές στα αεροδρόμια και να τοποθετήσουν ένοπλους φρουρούς σε στρατηγικές τοποθεσίες.

Η τρομοκρατία και ο πόλεμος μας απειλούν, όμως δε συμβαίνουν συχνά. Σε μια καθημερινή βάση, περισσότεροι άνθρωποι ληστεύονται ή υφίστανται βία στη γειτονιά τους από ότι από παράξενες ομάδες ή ξένες χώρες. Σε πολλές πόλεις οι ένοικοι έχουν τοποθετήσει στα παράθυρα του δρόμου σίδερα, στην είσοδο τηλεοράσεις, και κυκλοφορούν με σπρέι πιπεριού ή περπατούν με ένα σκύλο. Σε χώρες όπου δεν είναι διαθέσιμα τέτοια μέσα, χτίζουν πέτρινους ή ξύλινους τοίχους για να εμποδίσουν εισβολείς (δίποδους και τετράποδους), ενώ ταυτόχρονα έχουν μία λόγχη δίπλα στο κρεβάτι σε περίπτωση που παραβιαστεί ο τοίχος.

Ένα ραβδί, μια πέτρα, ένα φράγμα, ένα πιστόλι, ένας συναγερμός, ένα τανκ, και μια ατομική βόμβα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποτρέψουν απειλές. Αφού οι περιστάσεις που κάθε όπλο μπορεί να φανεί χρήσιμο διαφέρουν πολύ, υπάρχουν πολλές αλληλοκαλύψεις. Και το ραβδί και το πιστόλι ίσως βοηθήσουν να τρομοκρατήσεις έναν ληστή, ένα

πιστόλι και ένα τανκ μπορεί να απειλήσουν μια ομάδα τρομοκρατών· το τανκ και η ατομική βόμβα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενάντια σε μια ξένη χώρα. Αν τα δούμε με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να μιλήσουμε για μια «εξέλιξη» των αμυντικών συστημάτων. Μπορούμε να μιλήσουμε για τον αγώνα δρόμου των εξοπλισμών με τον οποίο γίνεται όλο και πιο εκλεπτυσμένος ο εξοπλισμός των ανταγωνιστικών χωρών. Μπορούμε να πούμε ιστορίες σύμφωνα με τις οποίες η ζωή είναι ένας αγώνας όπου οι άνθρωποι ή οι χώρες με τις καλύτερες άμυνες επιβιώνουν. Πριν όμως να πηδήξουμε μέσα σε ένα κουτί και να πετάξουμε με τον Κάλβιν και τον Χομπς, χρειάζεται να θυμηθούμε τη διαφορά μεταξύ των νοητικών προδρόμων και των φυσικών προδρόμων. Μια πέτρα και ένα πιστόλι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αμυντικούς λόγους, όμως η πέτρα δε μπορεί να μετατραπεί σε πιστόλι μέσα από μια ακολουθία μικρών βημάτων. Ένα σπρέι πιπεριού δεν είναι η εξέλιξη της χειροβομβίδας. Ένα αεριωθούμενο δεν μπορεί να μετατραπεί σε μια ατομική βόμβα αλλάζοντας σε κάθε βήμα ένα παξιμάδι και ένα μπουλόνι, παρόλο που τόσο η ατομική βόμβα όσο και το αεροπλάνο περιέχουν μπουλόνια και παξιμάδια. Στη Δαρβινική εξέλιξη μόνο οι πρόδρομοι έχουν σημασία.

Δεν είναι μόνο οι άνθρωποι και τα μεγάλα ζώα που μπορούν να θεωρηθούν απειλές για κάποιο πρόσωπο ή κάποια χώρα. Υπάρχουν και λιλιπούτσιοι επιτιθέμενοι εναντίον των οποίων ούτε οι βόμβες, ούτε τα πιστόλια ούτε οι πέτρες έχουν κάποιο αποτέλεσμα. Τα βακτήρια, οι ιοί και οι μύκητες — θα τους άρεσε να μας φάνε αν θα μπορούσαν. Καμιά φορά το κάνουν, όμως τις πιο πολλές φορές δεν τα καταφέρνουν γιατί τα σώματα μας έχουν μια σειρά από αμυντικά συστήματα για να αντιμετωπίσει αυτές τις μικροσκοπικές επιθέσεις. Η πρώτη γραμμή άμυνας είναι το δέρμα. Όπως ένας φράχτη που έχει φτιαχτεί από πασσάλους, το δέρμα εργάζεται με μια μέθοδο σχετικά χαμηλής τεχνολογίας: είναι ένα φράγμα που είναι δύσκολο να το σπάσεις. Τα θύματα εγκαυμάτων πολλές φορές υποκύπτουν σε μαζικές μολύνσεις γιατί έσπασε το φράγμα του δέρματος και οι εσωτερικές άμυνες δεν επαρκούν για να αντιμετωπίσουν τους υπερβολικούς αριθμούς των εισβολέων. Όμως παρόλο που το δέρμα είναι ένα σημαντικό τμήμα της άμυνας του σώματος, δεν είναι ο φυσικός πρόδρομος του ανοσοποιητικού συστήματος.

Για να αποθαρρυνθεί ένας ξένος εισβολέας που μπορεί να σκαρφαλώσει, οι πασσαλόπηκτοι φράκτες έχουν οξείες μύτες πάνω τους. Όταν ζούσα στο Μπρονξ, όλοι σχεδόν οι φράκτες είχαν στην κορυφή τους ένα σύρμα σαν ξυράφι, που ήταν πιο αποτελεσματικό στο να προκαλεί κοψίματα στους επίδοξους εισβολείς από ότι το παραδοσιακό αγκαθωτό συρματόπλεγμα. Οι οξείες μύτες και το σύρμα ξυράφι δεν είναι κανονικά μέρη του ίδιου του φράκτη· είναι πράγματα που προστέθηκαν για να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα του φράγματος. Όμως, όπως και ο ίδιος ο φράκτης, το σύρμα ξυράφι δεν είναι ο φυσικός πρόδρομος του πιστολιού ή της αμυντικής νάρκης.

Και το ίδιο το δέρμα έχει τα δικά του πρόσθετα, για να αυξάνουν την αποτελεσματικότητά του ως ένα φράγμα. Στο βιοχημικό εργαστήριο σου δίνουν συχνά να φορέσεις γάντια για να προστατέψεις τον εαυτό σου από το υλικό που χειρίζεσαι, όμως καμιά φορά πρέπει να φοράς τα γάντια για να προστατέψεις το ίδιο το υλικό από σένα. Οι άνθρωποι που δουλεύουν στο RNA φοράνε γάντια γιατί το ανθρώπινο δέρμα εκκρίνει ένα ένζυμο που καταστρέφει το RNA. Γιατί; Αποδεικνύεται ότι πολλοί ιοί είναι φτιαγμένοι από RNA. Για έναν τέτοιο ιό το ένζυμο είναι σαν ένα σύρμα ξυράφι στο δέρμα: οποιοδήποτε RNA προσπαθήσει να σπάσει το φράγμα κομματιάζεται.

Υπάρχουν και άλλοι τύποι από οξείες κορυφές στο δέρμα μας. Ένας από τους πιο ενδιαφέροντες είναι μια τάξη μορίων που ονομάζονται μεγαϊνίνες (megainins) που ανακαλύφθηκαν από ένα βιοχημικό με το όνομα Μάικ Ζασλόφ όταν αυτός αναρωτήθηκε γιατί οι ζωντανοί

βάτραχοι του εργαστηρίου που κόβονται και μετά ξαναράβονται μέσα σε μη αποστειρωμένες συνθήκες, σπάνια μολύνονται. Έδειξε ότι το δέρμα τους εκκρίνει μια ουσία που μπορεί να σκοτώσει βακτηριακά κύτταρα· και από τότε, ανακαλύφθηκαν οι μεγαϊνίνες σε πολλά είδη ζώων. Όμως οι μεγαϊνίνες, όπως τα ένζυμα που καταστρέφουν το RNA, δεν είναι πρόδρομοι του πολύπλοκου αμυντικού συστήματος που υπάρχει κάτω από το δέρμα των ζώων.

Για να βρούμε τον βαρύ εξοπλισμό πρέπει να κρυφοκοιτάξουμε κάτω από τα δέρματα μας. Σου προκαλεί ζάλη η πολυπλοκότητα που έχει το εσωτερικό αμυντικό σύστημα των σπονδυλωτών. Όπως το σύγχρονο στρατό των ΗΠΑ, έχει κι' αυτό μια ποικιλία από διαφορετικά όπλα, για τα οποία μπορεί να υπάρχει αλληλοεπικάλυψη στη χρήση τους. Όμως όπως και πριν, δε θα πρέπει να θεωρήσουμε κατά έναν αυτόματο τρόπο ότι τα διάφορα μέρη του ανοσοποιητικού συστήματος είναι φυσικοί πρόδρομοι το ένα του άλλου. Αν και οι άμυνες του κυττάρου είναι ένα ζωντανό πεδίο έρευνας, πολλά έχουν γίνει γνωστά με λεπτομέρειες για κάποιες ιδιαίτερες της πλευρές. Σ' αυτό το κεφάλαιο, θα συζητήσω μερικά επιλεγμένα σημεία του ανοσοποιητικού συστήματος και θα δείξω ποια είναι τα προβλήματα που υπάρχουν για το μοντέλο της βαθμιαίας εξέλιξης. Όσων διεγερθεί το ενδιαφέρον από την εξυπνάδα των συστημάτων και θέλουν να μάθουν περισσότερο μπορούν για να μάθουν λεπτομέρειες να διαλέξουν ένα οποιοδήποτε βιβλίο που αφορά την ανοσία.⁵⁸

ΤΟ ΣΩΣΤΟ ΥΛΙΚΟ

Όταν ένας μικροσκοπικός εισβολέας σπάζει την εξωτερική άμυνα, τότε το ανοσοποιητικό σύστημα, ξεσηκώνεται για να δράσει. Αυτό συμβαίνει αυτόματα. Τα μοριακά συστήματα του σώματος, όπως το αντιπυραυλικό σύστημα του «πολέμου των άστρων» που κάποτε σχεδίαζαν οι στρατιωτικοί των ΗΠΑ, είναι ρομπότ που σχεδιάστηκαν να λειτουργούν με αυτόματο πιλότο. Αφού η άμυνα είναι αυτόματη, για κάθε βήμα θα πρέπει να υπάρχει ο αντίστοιχος μηχανισμός. Το πρώτο πρόβλημα που κάθε αυτόματο αμυντικό σύστημα είναι πως να αναγνωρίζει έναν εισβολέα. Τα βακτηριακά κύτταρα θα πρέπει να ξεχωρίζονται από τα ερυθρά αιμοσφαίρια· ομοίως θα πρέπει να ξεχωρίζονται από το συνδετικό ιστό. Αντίθετα από μας, το ανοσοποιητικό σύστημα δεν μπορεί να δει, και έτσι θα πρέπει αρχικά να στηριχτεί σε κάτι που είναι όμοιο με την αίσθηση της αφής.

□ Τα αντισώματα είναι τα «δάχτυλα» του τυφλού ανοσοποιητικού συστήματος— επιτρέπουν να διακριθεί ένας ξένος εισβολέας από το ίδιο το σώμα. Τα αντισώματα σχηματίζονται από μια συνένωση τεσσάρων αλυσίδων από αμινοξέα (εικόνα 6-1)· δύο παρόμοιες ελαφρές αλυσίδες, και δύο παρόμοιες βαριές αλυσίδες. Οι βαριές αλυσίδες έχουν διπλάσιο μέγεθος από τις ελαφρές αλυσίδες. Στο κύτταρο, οι τέσσερις αλυσίδες δημιουργούν ένα σύμπλεγμα που μας θυμίζει το γράμμα Υ. Επειδή οι δύο βαριές αλυσίδες είναι ίδιες και οι ελαφριές αλυσίδες είναι ίδιες, το Υ είναι συμμετρικό: αν πάρεις ένα μαχαίρι και κόψεις κατά μήκος στο μέσο θα πάρεις δύο παρόμοια μισά, με μια βαριά και μια ελαφριά αλυσίδα στο κάθε μισό. Στο τέλος του άκρου με την προεξοχή του Υ υπάρχει ένα βαθούλωμα (που ονομάζεται θέση σύνδεσης). Ως τοιχώματα της θέσης σύνδεσης είναι τμήματα της ελαφριάς και της βα-

⁵⁸ Ένα καλό εισαγωγικό υλικό για το ανοσοποιητικό σύστημα βρίσκεται στο βιβλίο των Voet, D., and Voet, J. G. (1995) *Biochemistry* 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, pp 1207-1234, και στο βιβλίο των Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., and Watson, J. D. (1994) *Molecular Biology of the Cell*, 3rd ed., Garland Publishing, New York, chap. 23.

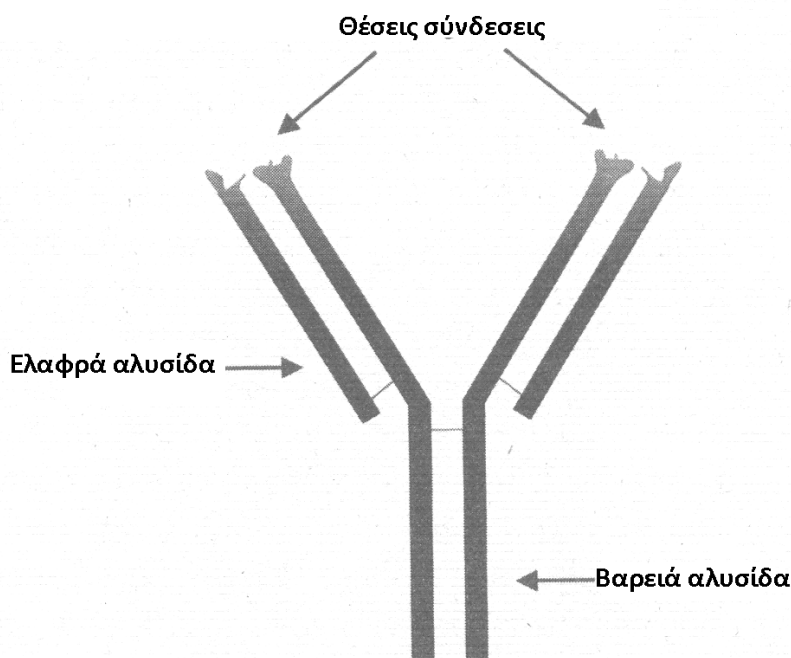
ριάς αλυσίδας. Οι θέσεις σύνδεσης εμφανίζονται σε μια μεγάλη ποικιλία από διάφορες μορφές. Ένα αντίσωμα μπορεί να έχει μια θέση σύνδεσης με ένα τεμάχιο που να ξεπηδά εδώ, μια τρύπα εκεί, ένα λιπόφιλο κομμάτι στην άκρη. Ένα δεύτερο αντίσωμα μπορεί να έχει ένα θετικό φορτίο αριστερά, ένα λάκκο στο μέσο και ένα εξόγκωμα στα δεξιά

Αν το σχήμα της θέσης σύνδεσης τυγχάνει να είναι ακριβώς συμπληρωματικό με το σχήμα ενός μορίου στην επιφάνεια ενός εισβολέα ιού ή ενός βακτηρίου, τότε το αντίσωμα θα συνδεθεί με αυτό το μόριο. Για να το νιώσετε, φανταστείτε ένα αντικείμενο από το σπίτι με μια λακκούβα και μερικά κουμπιά που βγαίνουν στη λακκούβα. Η μικρότερη μου κόρη έχει ένα βαγονάκι για κούκλες με μπρος και πίσω καρέκλες—κάτι που ταιριάζει όμορφα. Τώρα πάρε το βαγόνι/αντικείμενο, πήγαινε γύρω σπίτι, και δες με πόσα άλλα αντικείμενα θα ταιριάζει σφιχτά στο βαθούλωμα, που να γεμίζει τόσο την μπρος όσο και την πίσω θέση χωρίς να αφήνει καθόλου κενό χώρο. Αν βρεις έστω και ένα, είσαι πιο τυχερός από μένα. Τίποτε στο σπίτι μου δεν ταιριάζει σφιχτά με το βαγόνι, ούτε τίποτε άλλο στο εργαστήριο ή στο γραφείο. Φαντάζομαι ότι υπάρχει κάποιο αντικείμενο έξω στον κόσμο που να έχει σχήμα συμπληρωματικό με το βαγόνι όμως δεν το βρήκα ακόμη.

Το σώμα έχει ένα παρόμοιο πρόβλημα: οι πιθανότητες ότι ένα δεδομένο αντίσωμα θα συνδεθεί με ένα δεδομένο εισβολέα είναι πολύ μικρές. Για να υπάρχει σιγουριά ότι τουλάχιστο ένα αντίσωμα είναι διαθέσιμο για κάθε εισβολέα, θα κάνουμε δισεκατομμύρια με τρισεκατομμύρια από αυτά. Συνήθως για οποιοδήποτε εισβολέα,

ΕΙΚΟΝΑ 6 - 1

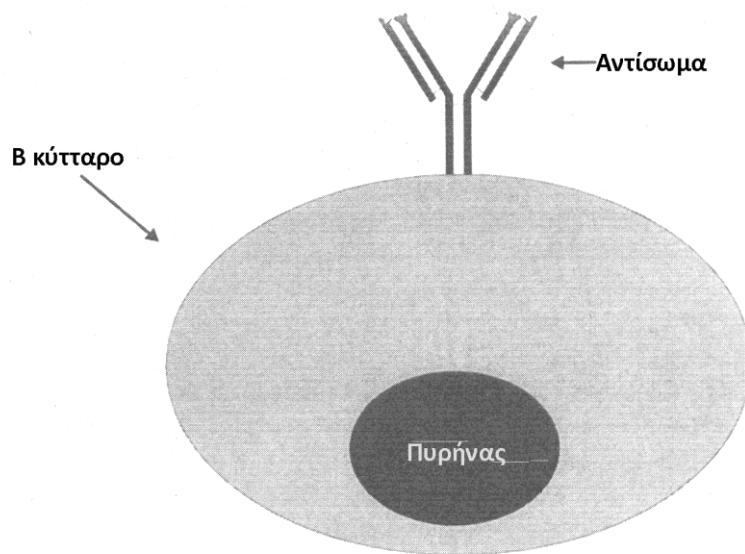
ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΝΟΣ ΜΟΡΙΟΥ ΑΝΤΙΣΩΜΑΤΟΣ



χρειάζεται 100000 για να βρει ένα αντίσωμα που μπορέσει να έχει αποτέλεσμα.

ΕΙΚΟΝΑ 6-2

ΣΧΗΜΑΤΙΚΑ ΕΝΑ Β ΚΥΤΤΑΡΟ



Όταν τα βακτήρια εισβάλουν στο σώμα, τότε πολλαπλασιάζονται. Τη στιγμή που το αντίσωμα θα συνδεθεί με το βακτήριο, ήδη θα υπάρχουν πολλά, πάρα πολλά αντίγραφα του βακτηρίου. Απέναντι σ' αυτόν τον Δούρειο Ίππο, που πολλαπλασιάζεται, το σώμα έχει 100000 τουφέκια, όμως μόνο

το ένα μπορεί να έχει αποτέλεσμα. Ένα όπλο του χεριού δεν μπορεί να έχει πολλά αποτελέσματα απέναντι σε μια ορδή· πρέπει να έρθουν ενισχύσεις. Υπάρχει ένας τρόπος για να γίνει αυτό, αλλά πρέπει να πάω πίσω και να εξηγήσω λίγα πιο πολλά για το από που προέρχονται τα αντισώματα.

Υπάρχουν δισεκατομμύρια από διάφορα είδη αντισωμάτων. Κάθε αντίσωμα κατασκευάζεται για ένα ξεχωριστό κύτταρο. Τα κύτταρα που κατασκευάζουν τα αντισώματα ονομάζονται Β κύτταρα, και θα πρέπει να θυμόμαστε ότι παράγονται στον μυελό των οστών.⁵⁹ Όταν ένα Β κύτταρο γεννηθεί, κάποιοι μηχανισμοί μέσα του επιλέγουν κατά τυχαίο τρόπο ένα από τα γονίδια για αντισώματα που θα κωδικοποιούνται από το DNA του. Τότε λέμε ότι το γονίδιο αυτό «ενεργοποιείται»· όλα τα άλλα γονίδια «απενεργοποιούνται». Έτσι το κύτταρο παράγει μόνο ένα είδος αντισώματος, με ένα είδος θέσης σύνδεσης. Το επόμενο κύτταρο κατά πάσα πιθανότητα θα έχει ενεργοποιημένο ένα άλλο είδος γονιδίου αντισώματος, κι έτσι θα κατασκευάσει μια διαφορετική πρωτεΐνη με μια διαφορετική θέση σύνδεσης. Έχουμε λοιπόν την αρχή, ότι για κάθε κύτταρο υπάρχει ένας τύπος αντισώματος.

Όταν ένα κύτταρο δεσμεύεται για να κάνει ένα είδος αντισώματος, ίσως να νομίζεις ότι το αντίσωμα θα αφήσει το κύτταρο για να κάνει περιπολία στο σώμα. Όμως αν χυθούν στο σώμα τα περιεχόμενα από όλα τα άλλα Β κύτταρα, δε θα υπάρχει τρόπος να πούμε από ποιο κύτταρο προήλθε το αντίσωμα. Το κύτταρο είναι το εργοστάσιο που κάνει έναν ιδιαίτερο τύπο αντισώματος· αν κάποιο αντίσωμα βρει ένα βακτήριο, θα πρέπει να πούμε στο κύτταρο να στείλει ενισχύσεις. Όμως με αυτό το υποθετικό στήσιμο του συστήματος, δεν μπορούμε να έχουμε ένα μήνυμα προς τα πίσω.

Ευτυχώς το σώμα είναι πιο έξυπνο από αυτό. Όταν ένα Β κύτταρο κάνει το αντίσωμα του, το αντίσωμα αγκυροβολεί στη μεμβράνη. Αυτό το βήμα είναι κρίσιμο, γιατί τώρα το σημείο σύνδεσης του αντισώματος έχει συνδεθεί με το εργοστάσιο του.

⁵⁹ Τα κύτταρα ονομάζονται Β κύτταρα γιατί ανακαλύφθηκαν πρώτη φορά στο *Bursa fabricius* των πουλιών.

Ολόκληρο το εργοστάσιο του Β-κυττάρου περιπολεί το σώμα· όταν μπει ένας ξένος εισβολέας, το αντίσωμα με το συνδεδεμένο κύτταρο δένει μαζί του.

Τώρα έχουμε το εργοστάσιο αρκετά κοντά στους εισβολείς. Αν το κύτταρο θα μπορούσε να πάρει ένα σήμα για να κάνει πιο πολλά αντισώματα, τότε ο αγώνας μπορεί να βοηθηθεί με ενισχύσεις. Ευτυχώς, υπάρχει ο τρόπος για την αποστολή του σήματος· δυστυχώς ο τρόπος αυτός είναι αρκετά μπερδεμένος. Όταν ένα αντίσωμα στο Β κύτταρο δένεται με το ξένο μόριο προκαλεί το ξεκίνημα ενός πολύπλοκου μηχανισμού για να καταποθεί ο εισβολέας. Στην πραγματικότητα, το εργοστάσιο που κατασκευάζει τα πολεμοφόδια πιάνει έναν όμηρο. Το αντίσωμα τότε σπάζει ένα μέρος της μεμβράνης για να κάνει ένα μικρό κυστίδιο — ένα μικρό ταξί. Σ' αυτό το ταξί, ο όμηρος φέρνεται μέσα στο εργοστάσιο του Β κυττάρου. Μέσα στο κύτταρο (και ακόμη στο ταξί) η ξένη πρωτεΐνη αποκόπτεται, και ένα τμήμα της ξένης πρωτεΐνης κολλά σε μια άλλη πρωτεΐνη (που ονομάζεται πρωτεΐνη ΜΗC). Το ταξί τότε επιστρέφει στη μεμβράνη του κυττάρου. Έξω από το εργοστάσιο, έρχεται ένα άλλο κύτταρο (που ονομάζεται βοηθητικό Τ- κύτταρο). Το βοηθητικό Τ κύτταρο συνδέεται με το Β κύτταρο, που «παρουσιάζει» το κομματιασμένο τμήμα του εισβολέα (το ξένο απόκομμα στην ΜΗC πρωτεΐνη) για να το θεωρήσει το Τ- κύτταρο. Αν το ταίριασμα είναι σωστό, προκαλεί το βοηθητικό Τ- κύτταρο να εκκρίνει μια ουσία που ονομάζεται ιντερλευκίνη. Η ιντερλευκίνη είναι σαν να έχουμε ένα σήμα από το υπουργείο αμύνης προς το εργοστάσιο πολεμοφοδίων. Με το να συνδεθεί με μια άλλη πρωτεΐνη στην επιφάνεια του Β κυττάρου, η ιντερλευκίνη ξεκινά μια αλυσίδα συμβάντων που στέλνουν ένα μήνυμα στον πυρήνα του Β κυττάρου. Το μήνυμα είναι: άρχισε να μεγαλώνεις!

Το Β- κύτταρο αρχίζει να παράγει με ταχύ ρυθμό. Τα Τ- κύτταρα συνεχίζουν να εκκρίνουν ιντερλευκίνη αν είναι συνδεδεμένα με ένα Β κύτταρο. Τελικά το αυξανόμενο εργοστάσιο του Β- κυττάρου παράγει μια σειρά από νέα εργοστάσια στη μορφή εξειδικευμένων κυττάρων που ονομάζονται 'κύτταρα πλάσματος'. Αντί να παράγουν μια μορφή του αντισώματος που κολλά στην μεμβράνη τα κύτταρα πλάσματος παράγουν μόνο το λιπόφιλο τμήμα μιας πρωτεΐνης. Τώρα τα ελεύθερα αντισώματα εξαγονται σε μεγάλες ποσότητες στο εξωκυτταρικό υγρό. Αυτή η αλλαγή είναι κρίσιμη. Αν τα νέα κύτταρα πλάσματος ήταν τα ίδια όπως τα παλιά εργοστάσια των Β-κυττάρων, τα αντισώματα θα περιοριζόντουσαν σε μικρά διαμερίσματα και θα ήταν πολύ λιγότερο αποτελεσματικά στο να εμποδίσουν τους εισβολείς.□

ΒΗΜΑ ΠΡΟΣ ΒΗΜΑ

Θα μπορούσε αυτό το σύστημα να έχει εξελιχθεί βήμα προς βήμα; Σκεφθείτε τη μεγάλη δεξαμενή από δισεκατομμύρια μέχρι τρισεκατομμύρια από εργοστάσια Β κύτταρα. Η διαδικασία του να ξεδιαλεχτεί το σωστό κύτταρο από ένα μείγμα κυττάρων που παράγουν αντισώματα ονομάζεται κλωνική επιλογή. Η κλωνική επιλογή είναι ένας κομψός τρόπος για να δημιουργηθεί μια εξειδικευμένη ανταπόκριση με μεγάλους αριθμούς σε μια μεγάλη ποικιλία από πιθανούς ξένους εισβολείς. Η διαδικασία εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό βημάτων, μερικά από τα οποία δεν τα έχω συζητήσει ακόμη. Παραβλέποντας προς το παρόν τα βήματα αυτά, ας αναρωτηθούμε ποιες είναι οι ελάχιστες απαιτήσεις για ένα σύστη-

μα κλωνικής επιλογής, και αν αυτές οι ελάχιστες απαιτήσεις θα μπορούσαν να παραχθούν με μια διαδικασία βήμα προς βήμα.

Το κλειδί για το σύστημα είναι μια φυσική σχέση της ικανότητας σύνδεσης μιας πρωτεΐνης με τη γενετική πληροφορία για την πρωτεΐνη. Θεωρητικά αυτό θα μπορούσε να γίνει αν δημιουργούταν ένα αντίσωμα στο οποίο η ουρά του Υ θα συνδέεται με το DNA που κωδικοποιεί την πρωτεΐνη. Στην πραγματική ζωή, όμως αυτή η μέθοδος δεν θα απέδιδε. Η πρωτεΐνη θα πρέπει να έχει σχέση με τη γενετικής της πληροφορία, αλλά επειδή το κύτταρο περιβάλλεται με μια μεμβράνη, το αντίσωμα δε θα ερχόταν ποτέ σε επαφή με το ξένο υλικό, που αιωρείται έξω από το κύτταρο. Ένα σύστημα όπου και το αντίσωμα και το συνδεδεμένο γονίδιο μπορούσαν να εξαχθούν από το κύτταρο θα υπερνικούσε το πρόβλημα, μόνο που θα πέφταμε σε ένα διαφορετικό: έξω από το κύτταρο δε θα υπήρχε κυτταρικός μηχανισμός για να μεταφράσει το μήνυμα DNA σε περισσότερες πρωτεΐνες.

Το αγκυροβόλημα του αντισώματος στη μεμβράνη είναι μια καλή λύση για το πρόβλημα: τώρα το αντίσωμα μπορεί να έρθει σε επαφή με το ξένο κύτταρο και από την άλλη να είναι κοντά στο DNA του. Όμως παρότι το αντίσωμα μπορεί να συνδεθεί με το ξένο υλικό χωρίς να απομακρυνθεί από το κύτταρο, δεν έχει άμεση επαφή με το DNA. Αφού η πρωτεΐνη και το DNA είναι τυφλά, θα πρέπει να υπάρχει ένας τρόπος για να μεταφερθεί ένα μήνυμα από το ένα στο άλλο.

Προς το παρόν, χάριν της συζήτησης, ας ξεχάσουμε για τον πολύπλοκο δρόμο που με τον οποίο το μήνυμα για σύνδεση πηγαίνει στον πυρήνα του Β-κυττάρου (που απαιτεί το ταξί, την κατάποση, MHC, βοηθητικά Τ κύτταρα, ιντερλευκίνη, κοκ). Αντίθετα ας φανταστούμε ένα απλούστερο σύστημα όπου υπάρχει μόνο μια άλλη πρωτεΐνη. Ας πούμε ότι όταν το αντίσωμα συνδεθεί με ένα ξένο σώμα, κάτι συμβαίνει που έλκει κάποια άλλη πρωτεΐνη — έναν αγγελιοφόρο που μεταφέρει τα λόγια ενός ομήρου προς τον πυρήνα του εργοστασίου. Ίσως όταν ο όμηρος βρέθηκε την πρώτη φορά, να μεταβληθεί το σχήμα του αντισώματος, ίσως με το να τραβήξει λίγο την ουρά του αντισώματος. Ίσως ένα μέρος της ουράς του αντισώματος να βυθιστεί μέσα στο κύτταρο, και αυτό να προκαλεί ένα «σκανδαλισμό» για την πρωτεΐνη = αγγελιοφόρο. Η αλλαγή στην ουρά μπορούσε να προκαλέσει ένα εσπευσμένο τρέξιμο της πρωτεΐνης μέσα στον πυρήνα όπου συνδέεται με το DNA σε κάποιο ιδιαίτερο σημείο. Κάνοντας σύνδεση στη σωστή θέση στο DNA είναι ακριβώς αυτό που κάνει το κύτταρο να αρχίσει να μεγαλώνει και να αρχίσει να παράγει αντισώματα χωρίς την λιπαρή ουρά—αντισώματα που αποστέλλονται έξω από το κύτταρο για να πολεμήσουν την εισβολή.

Ακόμη και σ' αυτό το απλοποιημένο σχήμα, έχουμε παραμείνει με τρία βασικά συστατικά: (1) το αντίσωμα που συνδέεται με τη μεμβράνη, (2) τον αγγελιοφόρο, και (3) το αντίσωμα σε εξαγωγίμη μορφή. Αν λείπει κάποιο από αυτά τα συστατικά, το σύστημα δεν μπορεί να λειτουργήσει. Αν δεν υπάρχει αντίσωμα στη μεμβράνη, δεν υπάρχει τρόπος για να συνδεθεί ένα πετυχημένο αντίσωμα που προσκολλάται στον ξένο εισβολέα με το κύτταρο που περιέχει τη γενετική πληροφορία. Αν δεν υπάρχει αντίσωμα σε εξαγωγίμη μορφή όταν λαμβάνεται το σήμα δεν υπάρχει κάτι που να στείλουμε έξω για να πολεμήσει τον εισβολέα. Αν δεν υπάρχει πρωτεΐνη αγγελιοφόρος, τότε δεν υπάρχει σύνδεση μεταξύ της σύνδεσης του αντισώματος στην μεμβράνη και του να ενεργοποιηθεί το σωστό γονίδιο (που τότε θα έκανε το σύστημα τόσο χρήσιμο όσο ένα κουδούνι στην πόρτα στο οποίο έχουν κοπεί τα καλώδια).

Ένα κύτταρο που ελπίζει να εξελίξει ένα τέτοιο σύστημα με βαθμιαία Δαρβινικά βήματα θα βρισκόταν σε αμηχανία. Τι θα έπρεπε να κάνει πρώτα; Το να εκκρίνει λίγα αντισώματα μέσα στον μεγάλο χώρο έξω από το κύτταρο θα ήταν σπατάλη εφοδίων αν δεν υπάρχει τρό-

πος να ξέρουμε αν αυτό κάνει κάτι καλό. Κάτι παρόμοιο μπορούμε να πούμε για ένα αντίσωμα που συνδέεται στη μεμβράνη. Και γιατί να κάνει μια πρωτεΐνη – αγγελιοφόρο αν δεν υπάρχει κάποιος ο οποίος θα της δώσει το μήνυμα, και κανείς για να λάβει το μήνυμα αν αυτή έπαιρνε το μήνυμα; Οδηγούμαστε μοιραία στο συμπέρασμα ότι ακόμη και αυτό το υπερβολικά απλοποιημένο σχήμα κλωνοποιημένης επιλογής δε θα μπορούσε να εξελιχθεί με βαθμιαία βήματα.

Ακόμη και σ' αυτό το απλοποιημένο επίπεδο, και τα τρία συστατικά θα έπρεπε να εξελιχθούν ταυτόχρονα. Κάθε ένα από τα τρία στοιχεία — το κολλημένο αντίσωμα, η πρωτεΐνη αγγελιοφόρος, και τα ελεύθερα αντισώματα — θα έπρεπε να παραχθούν σε ένα ιδιαίτερο ιστορικό βήμα, ίσως με μια συντονισμένη σειρά από μεταλλάξεις που μεταβάλλουν προϋπάρχουσες μορφές πρωτεϊνών που έκαναν άλλα καθήκοντα στα συστατικά του συστήματος των αντισωμάτων. Τα μικρά βήματα του Δαρβίνου έγιναν μια σειρά από τεράστια απίθανα πηδήματα. Όμως η ανάλυση μας έχει παραλείψει πολλές περιπλοκές. Πώς το κύτταρο μεταβάλλεται από το να βάζει το επί πλέον λιπαρό τμήμα της πρωτεΐνης στη μεμβράνη στο να μη το βάζει; Το σύστημα για τα μηνύματα είναι φανταστικά πολύ πιο πολύπλοκο από την απλουστευμένη μας έκδοση. Η «κατάποση» της πρωτεΐνης, το κόψιμο της, το να την παρουσιάσουμε στον έξω κόσμο πάνω σε μια πρωτεΐνη MHC, η εξειδικευμένη αναγνώριση του MHC/κομμάτι από ένα βοηθητικό T-κύτταρο, η έκκριση της ιντερλευκίνης, η σύνδεση της ιντερλευκίνης στο B-κύτταρο, η αποστολή του μηνύματος ότι η ιντερλευκίνη έχει συνδεθεί μέσα στον πυρήνα—η προοπτική του να επινοήσουμε ένα μονοπάτι βήμα προς βήμα για την προέλευση του συστήματος είναι αρκετό για να κάνει κάποιους δυνατούς άντρες να ασπρίσουν.

ΑΝΑΜΕΙΞΗ ΚΑΙ ΤΑΙΡΙΑΣΜΑ

Τα εργοστάσια επιπλέουν γύρω τριγύρω σε μεγάλους αριθμούς, έτοιμα να παραδώσουν αντισώματα που μπορούν να κολλήσουν σε έναν εισβολέα με σχεδόν κάθε σχήμα. Πώς όμως το σώμα θα κατασκευάσει όλα αυτά τα δισεκατομμύρια από διάφορα αντισώματα; Αποδεικνύεται ότι υπάρχει ένα πολύ κομψό «κόλπο» για να κατασκευάζονται πάρα πολλά διαφορετικά αντισώματα χωρίς να απαιτούνται τεράστιες ποσότητες γενετικού υλικού που θα κωδικοποιούν τις πρωτεΐνες. Στις επόμενες λίγες σελίδες θα περιγράψω με κάποια λεπτομέρεια το σύστημα. Ξανά, μην σκοτίζετε αν γρήγορα ξεχάσετε τις λεπτομέρειες, ο σκοπός μου είναι εδώ να εκτιμήσετε την πολυπλοκότητα του ανοσοποιητικού συστήματος.

□ Χρειάστηκε μια πολύ ενδιαφέρουσα ανακάλυψη για να οδηγήσει τους επιστήμονες να ξεδιαλύνουν το μυστήριο του ανοσοποιητικού συστήματος. Η ανακάλυψη ξεκίνησε με ένα δυνητικά σκληρό, όμως αναγκαίο, πείραμα. Απλώς για να δούνε τι θα συμβεί μερικοί χημικοί δημιούργησαν μερικά μόρια που δεν υπάρχουν στη φύση και τα συνέδεσαν με μια πρωτεΐνη. Όταν η πρωτεΐνη που έφερε τα συνθετικά μόρια εισάχθηκε με ένεση σε ένα κουνέλι, οι επιστήμονες έμειναν έκπληκτοι όταν βρήκαν ότι, ναι, το κουνέλι δημιούργησε αντισώματα που συνδέθηκαν σφιχτά με το συνθετικό μόριο. Πώς θα μπορούσε να είχε συμβεί αυτό; Ούτε το κουνέλι, ούτε οι πρόγονοι του είχαν ποτέ τους αυτό το συνθετικό μόριο, πώς λοιπόν ήξερε πως να κάνει αντισώματα εναντίον του; Γιατί θα μπορούσε να αναγνωρίσει ένα μόριο που ποτέ του προηγουμένως δεν είχε «δει»;

Το αίνιγμα της «ποικιλομορφίας» των αντισωμάτων προκαλούσε την περιέργεια των επιστημόνων που μελετούσαν την ανοσολογία. Κυκλοφορούσαν αρκετές ιδέες

για πιθανές εξηγήσεις. Ήταν γνωστό ότι οι πρωτεΐνες είναι ευέλικτα μόρια, και τα αντισώματα είναι πρωτεΐνες. Ίσως όταν ένα νέο μόριο μπαίνει στο σώμα ένα αντίσωμα τυλίγεται γύρω του, και έχοντας το για καλούπι παίρνει αυτό το σχήμα και μετά κατά κάποιο τρόπο στερεοποιείται σ' αυτή τη μορφή. Ή ίσως, επειδή η άμυνα είναι τόσο σημαντική, το DNA των οργανισμών περιέχει ένα τεράστιο αριθμό γονιδίων για αντισώματα με πολλά διαφορετικά σχήματα — αρκετά για να τους επιτρέπουν να αναγνωρίζουν πράγματα που δεν έχουν δει ποτέ. Όμως ένας τέτοιος τεράστιος αριθμός αντισωμάτων θα έπαιρνε όλο το χώρο κωδικοποίησης του DNA. Ή ίσως να υπήρχαν μόνο μερικά αντισώματα, και όταν διαιρείται ένα κύτταρο, ίσως να υπήρχε ένας τρόπος για να υπάρξουν πολλές μεταλλάξεις στις περιοχές που κωδικοποιούν για τις θέσεις σύνδεσης των αντισωμάτων. Με τον τρόπο αυτό κάθε νέο B-κύτταρο στο σώμα θα είχε διαφορετικές μεταλλάξεις, που θα κωδικοποιούν για ένα αντίσωμα που θα είναι διαφορετικό από αυτά που παράγουν τα άλλα B-κύτταρα. Ή ίσως η απάντηση να ήταν ένας συνδυασμός όλων αυτών ή να περιλάμβανε κάτι τελείως νέο.

Η απάντηση για το πρόβλημα της ποικιλίας των αντισωμάτων έπρεπε να περιμένει μια εκπληκτική ανακάλυψη: ένα γονίδιο που κωδικοποιεί για μια πρωτεΐνη δεν είναι κατ' ανάγκη ένα ενιαίο τμήμα του DNA — μπορεί να διακόπτεται.⁶⁰ Αν συγκρίνουμε ένα γονίδιο με μια πρόταση, αν ήταν σε κώδικα πρωτεΐνης: «Η γρήγορη καφέ αλεπού πήδηξε πάνω από το τεμπέλικο σκυλί», θα μπορούσε να μεταβληθεί (χωρίς να καταστρέψει την πρωτεΐνη) και να διαβάσουμε «*Η γρήγορη καρδκκηφβθφ η-χρθοφέ αλεφαπού πήδηξε πάαηγηξλνω από το τεπφεκμζδα κρμνδεζ κρπαβμπέλικο σκυλί*». Το κατανοητό μήνυμα DNA έχει σπάσει με τμήματα από γράμματα χωρίς νόημα που δεν περιλαμβάνονται στην πρωτεΐνη. Η επιπλέον έρευνα έδειξε ότι για τα περισσότερα γονίδια, μπορούσαν να γίνουν συνδέσεις — με το να ξεχωριστούν τα χωρίς νόημα τμήματα — μετά που γίνεται το αντίγραφο RNA του γονιδίου DNA. Ακόμη και με το «διακεκομμένο» DNA, ένα επιμελημένο και διορθωμένο μήνυμα στο RNA μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από το μηχανισμό του κυττάρου για να συνθέσει τη σωστή πρωτεΐνη. Το πιο εκπληκτικό ακόμη, για τα γονίδια των αντισωμάτων, *το ίδιο το DNA μπορεί να κοπεί*. Με άλλα λόγια το DNA που έχει κληρονομηθεί μπορεί να μεταβληθεί. Θαυμαστό!

Ο χωρισμός και η αναδιάταξη του DNA παίζει ένα μεγάλο ρόλο στο να εξηγηθεί ο μεγάλος αριθμός των αντισωμάτων που παράγει το σώμα. Τα ακόλουθα είναι μια σύντομη περιγραφή μας εργασίας που χρειάστηκαν χρόνια για να την ολοκληρώσουν πολλοί ερευνητές, και εξαιτίας των προσπαθειών τους λύθηκε ο γρίφος της ποικιλίας των αντισωμάτων.

Κατά τη σύλληψη υπάρχει στο γονιμοποιημένο ωάριο ένας αριθμός από τμήματα γονιδίων που συνεισφέρουν στο να κάνουν αντισώματα. Τα γονίδια είναι τακτοποιημένα σε συμπλέγματα που απλώς θα τα ονομάσω ομάδα 1, ομάδα 2, κοκ. Στους ανθρώπους υπάρχουν περίπου 250 τμήματα γονιδίων στην ομάδα 1, καθώς προχωράμε αρκετά στο DNA μακριά από την ομάδα 1, υπάρχουν δέκα κομμάτια γονιδίων που κάνουν την ομάδα 2, πιο κάτω στο δρόμο του DNA υπάρχει μια ομάδα από έξη τμήματα που συνιστούν την ομάδα 3, και πιο κάτω ένα τμήμα όπου υπάρ-

⁶⁰ Το κύτταρο μπαίνει σε μεγάλη «φασαρία» για να ενώσει μαζί διάφορα κομμάτια από γονίδια — χρησιμοποιώντας έναν πολύπλοκο μηχανισμό για να ευθυγραμμίσει σωστά τα άκρα τους και να συρράψει τα τεμάχια. Εκτός από την περίπτωση των γονιδίων για τα αντισώματα, η *αιτία* για τα «διακεκομμένα γονίδια» εξακολουθεί να είναι ένα μυστήριο.

χουν οχτώ ακόμη τμήματα γονιδίων και τα οποία μας κάνουν την ομάδα 4. Αυτοί λοιπόν είναι οι παίκτες.

Καθώς μεγαλώνει λίγο ο νεαρός και αποφασίζει να γεννηθεί, ένα πράγμα που θέλει να κάνει είναι να παράγει Β-κύτταρα. Κατά την κατασκευή των Β-κυττάρων συμβαίνει κάτι το αστείο: αναδιατάσσεται το γονιδίωμα στο DNA και κάποιο μέρος από αυτό απορρίπτεται. Ένα τμήμα από την ομάδα 1 ξεδιαλέγεται, προφανώς κατά τυχαίο τρόπο, και μετά ενώνεται με ένα τμήμα από την ομάδα 2. Το ενδιάμεσο DNA αποκόπτεται και απορρίπτεται. Μετά ένα τμήμα από την ομάδα 3 επιλέγεται, προφανώς ξανά κατά τυχαίο τρόπο, και ενώνεται με το τμήμα από την ομάδα 1-2.

Ο ανασυνδυασμός των τμημάτων είναι λίγο ακατάστατος—κάτι που δεν περιμένεις από ένα κύτταρο. Επειδή η διαδικασία είναι ακατάστατη, οι κώδικες για κάποια αμινοξέα (θυμηθείτε ότι τα αμινοξέα είναι οι οικοδομικές μονάδες των πρωτεϊνών) μπορούν να χαθούν ή να προστεθούν. Όταν συνδεθούν οι ομάδες 1-2-3 σε ένα τμήμα, σταματά η αναδιάταξη του DNA.⁶¹ Όταν έρθει η ώρα για να συντεθεί ένα αντισωμα, το κύτταρο κάνει ένα αντίγραφο RNA για ένα τμήμα από την ομάδα 4. Τώρα τελικά οι περιοχές που κωδικοποιούν για γειτονικά τμήματα σε μια πρωτεΐνη είναι μεταξύ τους γειτονικά πάνω στο RNA.

Πώς αυτή η διαδικασία εξηγεί την ποικιλομορφία των αντισωμάτων; Αποδεικνύεται ότι κάποια τμήματα από τις ομάδες 1, 2 και 3 σχηματίζουν ένα μέρος από τη θέση σύνδεσης—τις άκρες του Υ. Το να ανακατευτούν και να ταιριάξουν διάφορα τμήματα από τις τρεις διαφορετικές ομάδες πολλαπλασιάζει τον αριθμό των θέσεων σύνδεσης με διάφορα σχήματα. Για παράδειγμα, υπόθεσε ότι ένα τμήμα από την ομάδα 1 κωδικοποιούσε για ένα εξόγκωμα στη θέση σύνδεσης, και ένα άλλο κωδικοποιούσε για ένα θετικό φορτίο. Και υπόθεσε ότι διάφορα τμήματα από την ομάδα 2 κωδικοποιούσαν για ένα λιπαρό τμήμα, ένα αρνητικό φορτίο και ένα βαθύ βαθούλωμα αντίστοιχα. Διαλέγοντας τυχαία ένα τμήμα από την ομάδα 1 και από την ομάδα 2, θα μπορούσες να έχεις έξη διαφορετικούς συνδυασμούς: ένα εξόγκωμα, μετά ένα λιπόφιλο τμήμα, αρνητικό φορτίο, ή βαθύ βαθούλωμα, ή θετικό φορτίο μετά το λιπαρό τμήμα, αρνητικό φορτίο ή βαθύ βαθούλωμα. (Αυτή είναι βασικά η ίδια αρχή που τραβώντας 3 αριθμούς από ένα καπέλο εξηγεί την ποικιλία σε λοταρίες, διαλέγοντας 3 μόνο αριθμούς από το 0 έως το 9 έχεις ένα σύνολο από χίλιους δυνατούς συνδυασμούς.) Όταν κατασκευάζεται η βαριά αλυσίδα ενός αντισώματος, το κύτταρο μπορεί να διαλέξει ένα από διακόσια πενήντα τμήματα από την ομάδα 1, ένα από δέκα από την ομάδα 2 και ένα από έξη από την ομάδα 3. Επιπλέον η ακαταστασία κατά τον ανασυνδυασμό τραντάζει τα τμήματα (με το να εισάγει κάποιο άλλο αμινοξύ στην αλυσίδα), ή με το να βγάλει ένα, το αποτέλεσμα προσθέτει ακόμη έναν παράγοντα περίπου 100 στην ποικιλία. Με το ανακάτεμα και το ταίριασμα τα τμήματα DNA σου δίνουν $250 \times 10 \times 6 \times 100$, που είναι περίπου ένα εκατομμύριο συνδυασμοί από τμήματα βαριάς αλυσίδας. Παρόμοιες διεργασίες παράγουν περίπου δέκα χιλιάδες διαφορετικούς συνδυασμούς ελαφριάς αλυσίδας. Ταιριάζοντας το γονίδιο για μια ελαφριά αλυσίδα κατά τυχαίο τρόπο μας δίνει ένα γενικό σύνολο από δέκα χιλιάδες επί ένα εκατομμύριο, ή δέκα δισεκατομμύρια συνδυασμούς! Ο τεράστιος αριθμός διαφορετικών αντισωμάτων μας δίνει τόσες πολλές διαφορετικές θέσεις σύνδεσης που είναι σχεδόν βέβαιο ότι τουλάχιστον μία από αυτές θα συνδεθεί με σχεδόν οποιοδήποτε μόριο—ακόμη και συνθετικά. Και όλη

⁶¹ Εκτός από τα κυτταρα που κάνουν ειδικές τάξεις αντισωμάτων. Δε θα συζητήσω αυτήν την επιπλέον περιπλοκή.

αυτή η ποικιλία προέρχεται από ένα σύνολο από περίπου τετρακόσια διαφορετικά τμήματα γονιδίων.

Το κύτταρο διαθέτει κι άλλα κόλπα για να «τσιμπήσει» τον αριθμό των δυνατών αντισωμάτων. Ένα κόλπο συμβαίνει μετά από μια ξένη εισβολή. Όταν ένα κύτταρο συνδέεται με το ξένο υλικό, δέχεται ένα σήμα να δημιουργήσει ένα αντίγραφο· κατά τη διάρκεια πολλών επαναλήψεων της αντιγραφής το κύτταρο «εσκεμμένα» επιτρέπει ένα υψηλό επίπεδο μεταλλάξεων ακριβώς στις μεταβλητές περιοχές των γονιδίων για τη βαριά και για την ελαφριά αλυσίδα. Αυτό προκαλεί ποικιλίες σε ένα θέμα που «κερδίζει». Επειδή το αρχικό κύτταρο κωδικοποιούσε για ένα αντίσωμα που ήδη ήταν γνωστό ότι χειριζόταν αρκετά καλά την κατάσταση, με το να γίνει μετάλλαξη στην ακολουθία, πιθανόν να παράγει μια μεγαλύτερη ικανότητα σύνδεσης. Πράγματι οι μελέτες έδειξαν ότι τα αντισώματα που παράγονται από τα κύτταρα αργότερα σε μια μόλυνση, συνδέονται πολύ πιο σφιχτά με τα ξένα μόρια από ότι τα αντισώματα που παράγονται στα αρχικά στάδια της μόλυνσης. Αυτή η «σωματική υπερμετάλλαξη» προσθέτει αρκετές τάξεις μεγέθους στη δυνατότητα για αντισώματα.

Θυμάστε τη διαφορά μεταξύ των B-κυττάρων -εργοστασίων και των εργοστασίων πλάσματος; Το ένα τμήμα του Y που αγκυροβολεί στο αντίσωμα στην μεμβράνη του B-κυττάρου; Για το κυτταρόπλασμα, όταν γίνεται το αντίγραφο RNA, το τμήμα της μεμβράνης δεν αντιγράφεται. Το τμήμα είναι πιο κάτω από το υπόλοιπο γονίδιο. Το DNA μπορεί να παρομοιαστεί με ένα μήνυμα που λέγει «*Η γρήγορη καρδοκηφθφ ηχρθοφέ αλεφαπού πήδηξε πάαηηξκλνω από το τεπφεκμζδα κρμνδεζ κρπαβμπέλικο σκυλί μναβρεδ και έφαγε κλπφας το κλς κουνέλι*». Οι τελευταίες λέξεις μπορούν να αφεθούν ή να παρθούν και το μήνυμα εξακολουθεί να έχει νόημα. □

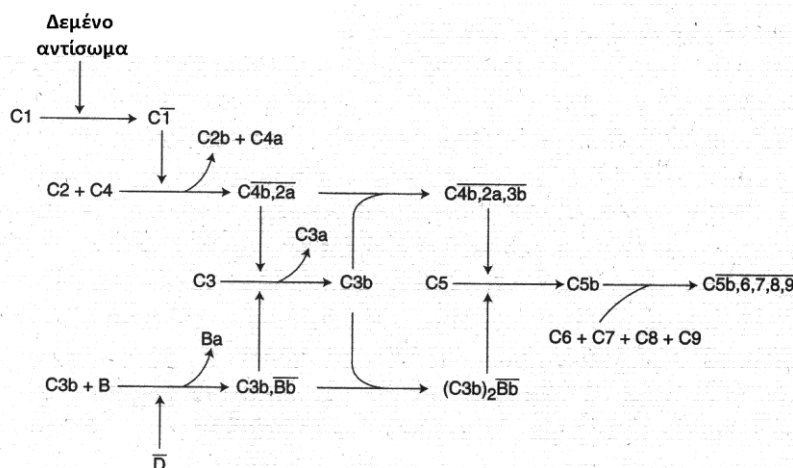
ΕΚΑΤΟΣΤΟ ΜΕ ΕΚΑΤΟΣΤΟ

Το σύστημα με την ποικιλία των αντισωμάτων απαιτούσε να υπάρχουν διάφορα συστατικά για να δουλέψει. Το πρώτο βέβαια είναι τα ίδια τα γονίδια. Το δεύτερο είναι ένα σήμα που αναγνωρίζει την αρχή και το τέλος τμημάτων γονιδίων. Στους σύγχρονους οργανισμούς, κάθε τμήμα έχει στα πλευρά του ειδικά σήματα που λένε στο ένζυμο να έρθει και να ενώσει τα δύο τμήματα μαζί. Αυτό είναι σαν τη φράση που λέει «*Η γρήγορη κα κόψε εδώ [ρδκδηφθφ ηχρθο] κόψε εδώ φέ αλε κόψε εδώ [φα] κόψε εδώ πού πήδηξε πά κόψε εδώ [αηηξκλ] κόψε εδώ νω από το τε κόψε εδώ [πφεκμζδα κρμνδεζ κρπαβ] κόψε εδώ μπέλικο σκυλί*» — όσο υπάρχουν οι αρχές και το τέλος, το κύτταρο ξέρει να τα κρατά ενωμένα. Το

τρίτο συστατικό είναι η μοριακή μηχανή που εξειδικευμένα αναγνωρίζει τα σήματα για κόψιμο και ενώνει τα τμήματα στη σωστή σειρά. Στην απουσία της μηχανής, τα τμήματα ποτέ δεν κόβονται και ενώνονται. Στην απουσία των σημάτων, είναι

ΕΙΚΟΝΑ 6 - 3

ΤΟ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΟΠΑΤΙ



σαν να περιμένουμε ότι μια μηχανή που κατά τυχαίο τρόπο κόβει χαρτιά, να μας δώσει μια χάρτινη κούκλα. Και βέβαια, στην απουσία του μηνύματος για το ίδιο το αντίσωμα, τα άλλα συστατικά δε θα έχουν νόημα.

Η ανάγκη για ελάχιστη λειτουργικότητα ενισχύει την μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα του συστήματος. Να φανταστείς ότι επιπλέεις πάνω σε μια σχεδία διάσωσης σε μια θυελλώδη θάλασσα, και ότι τυχαία ένα κουτί περνά επιπλέοντας και έχει μέσα του μια εξωλέμβια μηχανή. Η χαρά σου και η ελπίδα σου θα ήταν πολύ λίγης διάρκειας αν μετά που θα την τοποθετούσες στη λέμβο σου, ανακάλυπτες ότι ο ρυθμός περιστροφής του έλικα ήταν μια περιστροφή κάθε μέρα. Ακόμη αν το πολύπλοκο σύστημα λειτουργεί, το σύστημα θα είναι αποτυχημένο αν το επίπεδο λειτουργίας του δεν είναι ικανοποιητικό.

Το πρόβλημα της προέλευσης της ποικιλίας των αντισωμάτων έρχεται σε μετωπική σύγκρουση με τις απαιτήσεις για μια ελάχιστη λειτουργικότητα. Ένα πρωτόγονο σύστημα με μόνο ένα ή λίγα μόρια αντισωμάτων, θα ήταν σαν έναν έλικα που θα περιστρέφεται με μια περιστροφή κάθε μέρα: δε θα ήταν αρκετό για να κάνει οποιαδήποτε διαφορά. (Περισσότερο κοντά στο σημείο, θα ήταν αν το FBI είχε στη βάση δεδομένων μόνο δύο σύνολα από δακτυλικά αποτυπώματα. Μέσα από τις εκατοντάδες χιλιάδες των εγκληματιών, το FBI δε θα μπορούσε να ελπίσει ότι θα πιάσει πάρα μόνο αυτούς τους δύο.) Επειδή η πιθανότητα είναι τόσο μικρή για το σχήμα του αντισώματος να είναι συμπληρωματικό προς το σχήμα ενός απειλητικού βακτηρίου — πιθανόν μία στις εκατό χιλιάδες περίπου — ένα ζώο που ξοδεύει ενέργεια για να κατασκευάσει πέντε ή δέκα γονίδια αντισωμάτων θα ξόδευε τα εφόδια που θα μπορούσαν να επενδυθούν για να κάνει περισσότερους απογόνους, ή να κάνει δυνατότερο δέρμα, ή να κάνει ένα ένζυμο που θα καταστρέφει το RNA. Για να κάνει κάποιο καλό, ένα σύστημα παραγωγής αντισωμάτων θα χρειαζόταν να παράγει εξ αρχής πάρα πολλά αντισώματα.

Ο ΕΚΤΕΛΕΣΤΗΣ

Ας υποθέσουμε ότι είμαστε πριν χίλια χρόνια και ότι ζεις σε ένα μεγάλο περιφραγμένο χώρο με μια ομάδα ανθρώπων. Επειδή είμαστε κοντά στην ακτή ανησυχούμε για επιδρομές από τους επιδρομείς Βίκινγκς. Η περιοχή περιβάλλεται από ένα δυνατό και ψηλό ξύλινο φράχτη· αν συμβεί μια επιδρομή, χύνεται από δοχεία βραστό λάδι στους ανθρώπους που προσπαθούν να ανέβουν με ανεμόσκαλες. Κάποια παράξενη μέρα ένας περιπλανώμενος μάγος χτυπά στην πόρτα του στρατοπέδου. Ανοίγοντας το σάκο του, σου προσφέρει κάτι που λέει ότι είναι ένα όπλο από το μέλλον. Το ονομάζει «περίστροφο». Όταν τραβάς τη σκανδάλη, το περίστροφο εκτοξεύει ένα βλήμα κατά την κατεύθυνση στην οποία στοχεύεις. Το όπλο είναι φορητό, και εύκολα μπορείς να το μεταφέρεις από τη μια άκρη του στρατοπέδου στην άλλη, αν ο εχθρός με πονηριά μεταβάλει την κατεύθυνση της επίθεσης. Εσύ και τα άλλα μέλη του στρατοπέδου πληρώνετε για το όπλο το μάγο με δύο αγελάδες και τέσσερις κατσίκες.

Τελικά μια μέρα γίνεται επίθεση στο στρατόπεδο. Το καυτό λάδι ρέει σε μεγάλες ποσότητες, όμως οι επιδρομείς έχουν έναν πολιορκητικό κριό. Καθώς ακούς το χτύπημα πάνω στην πύλη τρέχεις γρήγορα εκεί που έχεις κρυμμένο το περίστροφο και επιστρέφεις με το όπλο στο χέρι. Τελικά η πύλη συντρίβεται και οι επιδρομείς ξεχύνονται, ουρλιάζοντας και ανεμίζοντας τους πολεμικούς τους πελέκεις. Εσύ στοχεύεις με το περίστροφο και πυροβολείς τον αρχηγό τους. Το βλήμα πετά μέσα στον αέρα και κολλά στη μύτη του αρχηγού των Βίκινγκς. Στο γεμιστήρα του όπλου, με γράμματα που δεν μπορείς να διαβάσεις, υπάρχει η

επιγραφή «Ασμε περίστροφο παιχνίδι για βελάκια». Ο αρχηγός σταματά, σε κοιτάζει άγρια, και χαμογελά καθώς το δικό σου χαμόγελο εξαφανίζεται. Αυτός και οι φίλοι του ορμούν πάνω σου, ευτυχώς μετενσαρκώνεσαι ως βιοχημικός στον εικοστό αιώνα.

Τα αντισώματα είναι σαν τα βελάκια παιχνίδια: δεν βλάπτουν κανένα. Όπως υπάρχουν επιγραφές «προς κατεδάφιση» σε κάποια παλιά σπίτια ή ένα πορτοκαλί «X» σχεδιασμένο σε ένα δέντρο που θα ξεριζωθεί, τα αντισώματα είναι μόνο σήματα για άλλα συστήματα να καταστρέψουν το σημειωμένο αντικείμενο. Μπορούμε να σκεφτούμε ότι είναι εκπληκτικό το ότι το σώμα έχει κάνει τόση προσπάθεια για να αναπτύξει ένα πολύπλοκο σύστημα για να παράγει όλη αυτή την ποικιλία των αντισωμάτων, και αφού με πολύ κόπο έχει επιλέξει μερικά κύτταρα μέσα από αυτήν την παράξενη πορεία της κλωνικής επιλογής, ότι παρ' όλα αυτά εξακολουθεί να είναι κατ' ουσία ανυπεράσπιστο στους εξωτερικούς εισβολείς.

□ Το περισσότερο μέρος από την εξόντωση των ξένων κυττάρων που έχουν σημειωθεί από τα αντισώματα, γίνεται από το «συμπληρωματικό» σύστημα, που ονομάζεται έτσι επειδή συμπληρώνει την ενέργεια των αντισωμάτων με το να ελευθερώνει το σώμα από τους εισβολείς. Το μονοπάτι είναι αξιοσημείωτα πολύπλοκο (Εικόνα 6-3)· κατά πολλούς τρόπους, θυμίζει τον καταρράκτη για το πήξιμο του αίματος που συζητήθηκε στο κεφάλαιο 4. Συνίσταται από περίπου 20 είδη πρωτεϊνών που σχηματίζουν δύο σχετιζόμενα μονοπάτια, που ονομάζονται κλασσικό μονοπάτι και εναλλακτικό μονοπάτι. Το κλασσικό μονοπάτι αρχίζει με ένα μεγάλο άθροισμα πρωτεϊνών που ονομάζεται C1, και συνδέεται με ένα αντίσωμα που και αυτό είναι συνδεδεμένο με την επιφάνεια ενός ξένου κυττάρου. Είναι κρίσιμο να μπορεί το C1 να αναγνωρίζει μόνο κάποιο συνδεδεμένο αντίσωμα· αν το C1 προσκολληόταν σε κάποιο αντίσωμα που επέπλεε μέσα στο αίμα, τότε όλα τα C1 θα απορροφόντουσαν και δε θα έμεναν διαθέσιμα για τη μάχη εναντίον των εχθρών. Ή αν το C1 συνδεόταν στα αντισώματα που είναι προσκολλημένα στη μεμβράνη των Β-κυττάρων, θα ξεκινούσε αντιδράσεις που τελικά θα κατέληγαν στην εξόντωση καλών κυττάρων. Το C1 αποτελείται από 22 πρωτεϊνικές αλυσίδες. Αυτές μπορούν να χωριστούν σε τρεις ομάδες. Η πρώτη ονομάζεται C1q

. Περιέχει έξη αντίγραφα από τρεις διαφορετικούς τύπους πρωτεϊνών, που μας δίνουν ένα σύνολο από 18. Οι δύο άλλες ομάδες ονομάζονται C1r και C1s. Και τα δύο έχουν δύο αντίγραφα από διαφορετικές πρωτεΐνες. Και οι τρεις διαφορετικοί τύποι των πρωτεϊνών του C1q αρχίζουν με μια ειδική ακολουθία αμινοξέων που θυμίζουν την ακολουθία της πρωτεΐνης του δέρματος που ονομάζεται κολλαγόνο. Η ακολουθία επιτρέπει στις ουρές των τριών τύπων των πρωτεϊνών του C1q να τυλίγονται η μια γύρω από την άλλη σαν πλεξούδες. Αυτή η διευθέτηση κρατά κάθε τύπο της πρωτεΐνης σε ένα μίνι-σύμπλεγμα. Οι υπόλοιπες πρωτεϊνικές αλυσίδες διπλώνονται σε περίπλοκα σφαιρικά σχήματα που βρίσκονται στην κορυφή στις πλεξούδες. Έξη από τα μίνι-συμπλέγματα βρίσκονται μαζί. Οι έξη πλεξούδες κολλάνε η μία κατά μήκος της άλλης για να δημιουργήσουν ένα κεντρικό «κοτσάνι», από το οποίο εξέχουν έξη κεφάλια. Οι εικόνες του C1q που λήφθηκαν με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο δείχνουν κάτι που μοιάζει με ένα τέρας με κεφάλια ύδρας. (Άλλοι το έχουν παρομοιάσει με ένα μπουκέτο από τουλίπες, όμως εμένα μου αρέσουν οι πιο δραματικές εικόνες.) Τα κεφάλια C1q προσκολλώνται στο σύμπλεγμα του αντισώματος με το ξένο κύτταρο. Θα πρέπει να προσκολληθούν τουλάχιστο δύο από τα κεφάλια πριν αρχίσει το μονοπάτι. Όταν κολλήσουν κάτι αλλάζει στο C1q και αυτή η αλλαγή στο C1q γίνεται αιτία να προσκολληθούν τα C1r και C1s πιο σφιχτά στο C1q. Όταν

συμβεί αυτό τότε το $C1r$ κόβει τον εαυτό του (επικεφαλίδα εφημερίδας: σκύλος δαγκάνει τον εαυτό του!) για να δώσει $C\overline{1r}$ (Οι «ενεργοποιημένες» πρωτεΐνες σημειώνονται με μια γραμμή πάνω από τον αριθμό και το μικρό γράμμα). Το $C\overline{1r}$ μπορεί τότε να κόψει το $C1s$ και να δώσει $C\overline{1s}$.

Αφού έχει κοπεί το $C1s$, έχουμε ακόμη να πάμε ένα μεγάλο δρόμο για τελειώσει το έργο της καταστροφής του κυττάρου – εισβολέα. Οι πρωτεΐνες του $C1$ ονομάζονται συλλογικά «μονάδα αναγνώρισης». Η επόμενη ομάδα των πρωτεϊνών (που ονομάζονται $C2$, $C3$, και $C4$) ονομάζεται «μονάδα ενεργοποίησης». Με ένα διαφορετικό τρόπο από την μονάδα αναγνώρισης, η ομάδα ενεργοποίησης δε υπάρχει εκ των προτέρων σε ένα κομμάτι· θα πρέπει πρώτα να συγκροτηθεί. Το πρώτο βήμα για το σχηματισμό της μονάδας ενεργοποίησης είναι το κόψιμο της $C4$ από τη $C\overline{1s}$. Όταν η $C4$ κοπεί από τη $C\overline{1s}$, μια πολύ μεγάλη ομάδα αντίδρασης που ήταν μέσα σε ένα τμήμα ($C4b$) εκτίθεται προς το περιβάλλον. Αν η ομάδα είναι κοντά στη μεμβράνη μπορεί να δράσει μαζί της χημικά. Η προσκόλληση της $C4b$ είναι αναγκαία ώστε οι υπόλοιπες πρωτεΐνες στη μονάδα ενεργοποίησης να έχουν μια άγκυρα να τις συγκρατεί κοντά στον εισβολέα. Αν αντίθετα, η $C4b$ κατευθύνεται προς τη λανθασμένη κατεύθυνση ή επιπλέει στο γύρω διάλυμα, τότε η ομάδα αντίδρασης γρήγορα φθείρεται χωρίς να μπορεί να προσκολληθεί στη σωστή μεμβράνη.

Μετά που η $C4b$ έχει προσκολληθεί στη μεμβράνη στόχο, με μια συνεργασία με τη $C\overline{1s}$ κόβει τη $C2$ σε δύο κομμάτια. Το μεγαλύτερο κομμάτι $C2a$ παραμένει κολλημένο στη $C4b$ για να δώσει $C\overline{4b}, 2a$, που είναι γνωστή επίσης ως « $C3$ κονβερτάση». Η $C3$ κονβερτάση πρέπει να δράσει γρήγορα, αλλιώς διασπάται και η $C2$ παρασύρεται μακριά. Αν ένα μόριο της $C3$ είναι στην περιοχή, η $C3$ κονβερτάση το κόβει σε δύο κομμάτια. Η $C3b$ κολλάει με τη $C3$ κονβερτάση για να σχηματίσει τη $C\overline{4b}, 2a, 3b$, που ονομάζεται κι αυτή « $C5$ κονβερτάση». Η τελική αντίδραση της μονάδας ενεργοποίησης είναι το κόψιμο της $C5$ σε δύο τμήματα.

Όταν φτάσουμε σ' αυτό το σημείο, το σύστημα είναι επί τέλους έτοιμο να χώσει ένα μαχαίρι στον εισβολέα. Ένα από τα τμήματα της $C5$ κολλά με τη $C6$ και τη $C7$. Αυτή η δομή έχει την αξιοσημείωτη ιδιότητα να μπορεί να μπει μέσα στη μεμβράνη του κυττάρου. Τότε η $C\overline{5b}, 6, 7$ συνδέεται με το μόριο της $C8$ και ένα μεταβλητό αριθμό (από ένα μέχρι δεκαοχτώ) από $C9$ μόρια που προστίθενται σ' αυτήν. Οι πρωτεΐνες, όμως δε σχηματίζουν μια άμορφη σφαίρα. Μάλλον οργανώνονται σε μια μορφή σωλήνα που κάνει μια τρύπα στη μεμβράνη του εισβολέα – βακτηριακού κυττάρου. Επειδή το εσωτερικό των κυττάρων περιέχει πολύ συμπυκνωμένα διαλύματα, η οσμωτική πίεση προκαλεί την εισροή νερού μέσα του. Το νερό που εισρέει φουσκώνει το βακτηριακό κύτταρο μέχρι που σκάει.

Υπάρχει ένα εναλλακτικό μονοπάτι για την ενεργοποίηση του συμπλέγματος για την επίθεση κατά της μεμβράνης που μπορεί να ενεργήσει γρήγορα μετά τη μόλυνση, και δε χρειάζεται να περιμένει την παραγωγή ειδικών αντισωμάτων. Στο εναλλακτικό μονοπάτι μια μικρή ποσότητα από $C3b$, που προφανώς παράγεται συνεχώς σε μικρές ποσότητες, συνδέεται με μια πρωτεΐνη που ονομάζεται παράγοντας B . Η $C3b, B$ μπορεί τότε να κοπεί από μια άλλη πρωτεΐνη, τον παράγοντα D , για να δώσει $C\overline{3b}, B\overline{b}$. Αυτή μπορεί να ενεργήσει όπως μια $C3$ κονβερτάση. Όταν παρασκευαστεί περισσότερη $C3b$, ένα δεύτερο μόριο της $C3b$ προσκολλάται για να δώσει $(C\overline{3b})_2 B\overline{b}$. Το αξιοσημείωτο είναι ότι τώρα έχουμε μια $C5$ κονβερτάση, που παράγει $C5b$, που μετά πηγαίνει στην αρχή του σχηματισμού του συμπλέγματος επίθεσης κατά της μεμβράνης, με τον τρόπο που περιγράφεται στον πρώτο μονοπάτι.

Η C3b είναι μια επικίνδυνη πρωτεΐνη αν παραμένει στο χώρο, γιατί μπορεί να ενεργοποιήσει το καταστροφικό τέλος του συμπληρωματικού μονοπατιού. Για να ελαχιστοποιηθεί η περίπτωση της τυχαίας βλάβης, δύο πρωτεΐνες (οι παράγοντες I και H), ψάχνουν, κολλάνε, και καταστρέφουν τη C3b στο διάλυμα. Αν όμως η C3b είναι στην επιφάνεια ενός κυττάρου, τότε μια άλλη πρωτεΐνη (προπερδίνη), συνδέεται και προστατεύει τη C3b από την καταστροφή της, έτσι ώστε να μπορέσει να κάνει τη δουλειά της. Πώς μπορεί η C3b να προσβάλλει τα ξένα κύτταρα όταν δεν υπάρχει το αντίσωμα; Η C3b είναι αποτελεσματική μόνο όταν κολλά στην επιφάνεια του κυττάρου. Οι χημικές αντιδράσεις που κάνει προχωράνε πιο γρήγορα όταν υπάρχουν τα μόρια που τυπικά βρίσκονται στην επιφάνεια πολλών βακτηρίων και ιών. □

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ, ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Όπως το μονοπάτι για το πήξιμο του αίματος, το συμπληρωματικό μονοπάτι είναι ένας καταρράχτης. Αναπόφευκτα και στις δύο περιπτώσεις συναντάμε τα ίδια προβλήματα καθώς προσπαθούμε να φανταστούμε τη βαθμιαία τους παραγωγή. Το πρόβλημα δε βρίσκεται στην τελική τους παραγωγή. Δεν είναι η τελευταία δραστηριότητα του καταρράχτη που είναι το πρόβλημα. Ο σχηματισμός της τρύπας στη μεμβράνη δεν απαιτεί κατ' ανάγκη πολλά διαφορετικά συστατικά· μια πρωτεΐνη φονιάς θα αρκούσε για να κάνει τη δουλειά. Ούτε ο σχηματισμό του συμπλέγματος πρωτεϊνών, όπως στο πήξιμο του αίματος, κατ' ανάγκη απαιτεί πολλά συστατικά· όταν υπάρχουν οι σωστές συνθήκες, οποιαδήποτε πρωτεΐνη θα μπορούσε να σχηματίσει συσσωματώματα. (Τα ιδιαίτερα όμως σχήματα του συμπλέγματος της τρύπας του συμπληρωματικού μονοπατιού και το συσσωμάτωμα του ινώδους, είναι κατά κάποιο ειδικό τρόπο κατάλληλα για τις δουλειές που κάνουν και χρειάζεται να δοθούν εξηγήσεις) Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 4, αρκούσε ένας τηλεφωνικός στύλος από μόνος του για να χτυπήσει τον Φόγκχορν Λέγκχορν.

Το πρόβλημα βρίσκεται στα συστήματα ελέγχου. Σε κάθε σημείο ελέγχου τόσο η ρυθμιστική πρωτεΐνη όσο και η καλυμμένη πρωτεΐνη που την ενεργοποιεί, χρειάζεται να είναι παρούσες από την αρχή. Αν ήταν παρούσα η C5b, όλος ο καταρράχτης μπορούσε να αρχίσει· όμως αν υπήρχε η C5 χωρίς όμως τίποτε που να μπορεί να την ενεργοποιήσει, τότε ολόκληρο το σύστημα θα ήταν ανενεργό. Ακόμη και αν φανταστούμε ένα πολύ πιο σύντομο μονοπάτι (όπου η C1s, κόβει άμεσα τη C5), η εισαγωγή πρόσθετων σημείων ελέγχου στο μέσο του καταρράχτη πέφτει στα ίδια προβλήματα: τη μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα των «διακοπών».

□ Επιπρόσθετα προς τα γενικά προβλήματα του να δημιουργηθεί ο καταρράχτης, το συμπληρωματικό μονοπάτι μοιράζεται ένα άλλο πρόβλημα με τον καταρράχτη για το πήξιμο του αίματος: η προσκόλληση των πρωτεϊνών στις μεμβράνες είναι κρίσιμη. Θα πρέπει πρώτα να μεταβληθούν διάφοροι παράγοντες θρόμβωσης για να συντεθούν οι ρίζες G1a για να μπορέσουν να κολλήσουν στη μεμβράνη. Στο συμπληρωματικό μονοπάτι, και οι C3 και η C4 έχουν ασυνήθιστα υψηλής αντιδραστικότητας εσωτερικές ομάδες που συνδέονται χημικά με τη μεμβράνη μετά το κόψιμο των πρωτεϊνών από άλλους παράγοντες. Αυτά τα ειδικά χαρακτηριστικά θα πρέπει να είναι διαθέσιμα πριν να μπορέσει να είναι λειτουργικό το μονοπάτι, και αυτά προσθέτουν ένα σοβαρό εμπόδιο στη βαθμιαία τους ανάπτυξη.

Πολυάριθμα μικρά χαρακτηριστικά στο συμπληρωματικό σύστημα είναι λίθοι προσκόμματος για τη βαθμιαία ανάπτυξη. Ας θεωρήσουμε μερικά λεπτά χαρακτηριστικά μόνο στο σύστημα C1. Οι τρεις τύποι των πρωτεϊνών στην C1q δημιουργούν

πλεξίδες ο ένας γύρω από τον άλλο· όμως δεν κάνουν πλεξίδες με αντίγραφα τους. Αν το έκαναν, τότε ο λόγος των διαφόρων τύπων των αλυσίδων στο σύμπλεγμα θα μεταβαλλόταν, και θα υπήρχε μια πολύ μικρότερη πιθανότητα για να έχουμε το πραγματικό σύμπλεγμα C1q με τα έξη αντίγραφα των τριών διαφορετικών αλυσίδων. Αν η σύνδεση του C1q με το αντίσωμα-ξένο κύτταρο δε προκαλούσε το αυτόσχισιμο της C1r, τότε ο καταρράχτης θα σταματούσε στη μέση. Αντίθετα, αν η C1r αυτό-κοβόταν πριν να συνδεόταν η C1q με το σύμπλεγμα του αντισώματος, τότε θα ξεκινούσε πρόωρα ο καταρράχτης. Και ούτω καθ' εξής. □

Ο ΣΙΣΥΦΟΣ ΘΑ ΕΔΕΙΧΝΕ ΣΥΜΠΑΘΕΙΑ

Η σωστή λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος είναι ένα προαπαιτούμενο για την υγεία. Δύσκολες αρρώστιες όπως ο καρκίνος και το AIDS έχουν την αιτία τους ή τη θεραπεία τους, ή και τα δύο σε ιδιοτροπίες του συστήματος. Επειδή έχει μεγάλη επίδραση στη δημόσια υγεία, το ανοσοποιητικό σύστημα είναι το αντικείμενο έντονων ερευνών. Σ' όλο τον κόσμο χιλιάδες από ερευνητικά εργαστήρια εργάζονται πάνω σε διάφορες πλευρές του ανοσοποιητικού συστήματος. Οι προσπάθειες τους έχουν ήδη σώσει πολλές ζωές και υπόσχονται να σώσουν ακόμη περισσότερες στο μέλλον.

Αν και έχουν γίνει μεγάλες πρόοδοι για την κατανόηση της λειτουργίας του ανοσοποιητικού συστήματος, έχουμε άγνοια, για το πως ήρθε στην ύπαρξη. Στα ερωτήματα που τέθηκαν σ' αυτό το κεφάλαιο δε δόθηκε καμία απάντηση από τους χιλιάδες επιστήμονες που εργάζονται σ' αυτό το πεδίο· λίγοι απλώς έθεσαν τα ερωτήματα. Μια έρευνα της βιβλιογραφίας της ανοσολογίας δείχνει ότι η εργασία συνεχίζεται στη συγκριτική ανοσολογία (τη μελέτη των ανοσοποιητικών συστημάτων σε διάφορα είδη). Όμως παρόλο που αυτό το έργο είναι πολύτιμο, δεν απευθύνεται σε μοριακό επίπεδο στο ερώτημα για το πως προήλθε το ανοσοποιητικό σύστημα. Ίσως οι καλύτερες προσπάθειες προς αυτήν την κατεύθυνση έγιναν μέσα σε δύο σύντομα άρθρα. Το πρώτο από τον Νομπελίστα David Baltimore και δύο άλλους εξέχοντες επιστήμονες, έχει τον περίεργο τίτλο «Μοριακή Εξέλιξη του ανοσοποιητικού συστήματος των Σπονδυλωτών». Είναι δύσκολο να δικαιολογήσεις έναν τέτοιο τίτλο σε δύο μόνο σελίδες. Οι συγγραφείς μας τονίζουν ότι:

Για να έχει ένας οργανισμός ανοσοποιητικό σύστημα όμοιο με αυτόν που βλέπουμε στα θηλαστικά, οι ελάχιστες απαιτήσεις για απαιτούμενα μόρια είναι οι δέκτες των αντιγόνων (ιμιουνογκλομίνη και TCR), το μόριο της παρουσίας αντιγόνου (MHC), και ένα γονίδιο για την αναδιάταξη των πρωτεϊνών.⁶²

(Οι ιμιουνογκλομίνες είναι αντισώματα, τα μόρια TCR είναι όμοια με αντισώματα.) Οι συγγραφείς συζητούν ότι οι καρχαρίες, που έχουν μακρινή σχέση με τα θηλαστικά, φαίνεται ότι έχουν και τα τρία συστατικά. Όμως είναι άλλο πράγμα να λες ότι ένας οργανισμός έχει ένα πλήρες, λειτουργικό σύστημα, και άλλο να πούμε ότι το σύστημα εξελίχθηκε. Σίγουρα οι συγγραφείς το καταλαβαίνουν. Σημειώνουν ότι

Τα γονίδια της ιμιουνογκλομίνης και του TCR απαιτούν πρωτεΐνες RAG για να έχουμε αναδιατάξεις. Απ' την άλλη οι πρωτεΐνες RAG απαιτούν ειδικά σήματα για αναδιάταξη για να αναδιατάξουν τα γονίδια της ιμιουνογκλομίνης και του TCR.

⁶² Bartl, S. Baltimore, D.I., and Weissman, I. I. (1994) "Molecular Evolution of the Vertebrate Immune System." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91, 10769-10770

(RAG είναι το στοιχείο που αναδιάτασσε τα γονίδια.) Κάνουν μια γενναία προσπάθεια για να δώσουν εξήγηση των τμημάτων τους, αλλά στο τέλος έχουμε ένα πήδημα στο κουτί με τον Κάλβιν και τον Χομπς. Οι συγγραφείς διατυπώνουν την εικασία ότι ένα γονίδιο από το βακτήριο μπορεί να είχε την τύχη να μεταφερθεί σε ένα ζώο. Ήταν τυχερό, ότι η πρωτεΐνη που κωδικοποιείται από το γονίδιο θα μπορούσε η ίδια να αναδιατάσσει γονίδια· και κατά ένα τυχερό τρόπο, στο DNA του ζώου υπήρχαν σήματα που ήταν κοντά στα γονίδια των αντισωμάτων· και ούτω καθ' εξής. Σε τελική ανάλυση οι συγγραφείς αναγνωρίζουν τα βασικά προβλήματα με τη βαθμιαία εξέλιξη στο ανοσοποιητικό σύστημα, αλλά οι λύσεις που πρότειναν είναι ένα συγκαλυμμένο ανασήκωμα των ώμων τους.

Ένα άλλο άρθρο που λεβέντικα προσπαθεί να δώσει μια εξήγηση για ένα τμήμα του ανοσοποιητικού συστήματος ονομάζεται «Εξέλιξη του Συμπληρωματικού συστήματος.»⁶³ Όπως και το άρθρο που συζητήσαμε πιο πάνω, είναι πολύ σύντομο και είναι ένα άρθρο – σχόλιο — με άλλα λόγια δεν είναι ερευνητικό. Οι συγγραφείς κάνουν μερικές φανταστικές υποθέσεις για του τι εμφανίστηκε πρώτο και τι δεύτερο, αλλά τελικά ενώνονται με τον Russell Doolittle στο να προτείνουν ανεξήγητες πρωτεΐνες που «εξαπολύονται» και «ξεπηδούν». («Σε κάποιο σημείο μία κρίσιμη συνένωση ενός γονιδίου δημιούργησε μια πρωτεάση με μια θέση σύνδεσης για ένα πρωτόγονο C3b»· «Η εξέλιξη των συστατικών του εναλλακτικού μονοπατιού επιπλέον καλυτέρεψε την ενίσχυση και την εξειδίκευση»· και «Η C2, δημιουργήθηκε με το διπλασιασμό του γονιδίου για τον παράγοντα Β, θα επέτρεπε επιπλέον αποκλίσεις και εξειδικεύσεις στα δύο μονοπάτια».) Δεν υπάρχουν ποσοτικοί υπολογισμοί στο άρθρο και δε βοηθά η αναγνώριση ότι ο διπλασιασμός δε θα παρήγαγε αμέσως μια νέα πρωτεΐνη. Ούτε βοηθά η κάποια ανησυχία για κάποια έλλειψη ελέγχων για να ρυθμίζουν το μονοπάτι. Όμως, θα ήταν δύσκολο να χωρέσουν όλες αυτές οι ανησυχίες στις τέσσερις παραγράφους του άρθρου που ασχολείται με τους μοριακούς μηχανισμούς. Υπάρχουν και άλλα άρθρα και βιβλία που συζητούν την εξέλιξη των ανοσοποιητικών συστημάτων.⁶⁴ Τα περισσότερα, όμως είναι στο επίπεδο της κυτταρικής βιολογίας και έτσι δεν ενδιαφέρονται με λεπτομερείς μοριακούς μηχανισμούς, ή αλλιώς ενδιαφέρονται απλώς με τη σύγκριση του DNA ή ακολουθιών πρωτεϊνών, όμως τα αποτελέσματα δεν μπορούν να μας πούνε τίποτε για το μηχανισμό που πρώτη φορά παρήγαγε τα συστήματα. Μπορούμε να κοιτάξουμε ψηλά, ή χαμηλά, σε βιβλία ή σε περιοδικά, όμως το αποτέλεσμα είναι το ίδιο. Η επιστημονική βιβλιογραφία δεν μας δίνει απαντήσεις για την προέλευση του ανοσοποιητικού συστήματος.

Σ' αυτό το κεφάλαιο κοίταξα σε τρία χαρακτηριστικά του ανοσοποιητικού συστήματος — κλωνική επιλογή, ποικιλία αντισωμάτων, και το συμπληρωματικό σύστημα — και έδειξα ότι κάθε ένα ατομικά θέτει μαζικές προκλήσεις σε μια πιθανή βήμα προς βήμα εξέλιξη. Δείχνοντας ότι τα μέρη δεν μπορούν να οικοδομηθούν βήμα προς βήμα μας λέει μόνο ένα μέρος από την ιστορία, επειδή τα μέρη αλληλεπιδρούν το ένα με το άλλο. Όπως ένα αυτοκίνητο που δεν έχει τιμόνι, ή δεν έχει μπαταρία, ή δεν έχει καρμπιρατέρ δε θα σου κάνει και πολύ καλό, ένα ζώο που έχει σύστημα κλωνικής επιλογής δε θα μας δώσει μεγάλο κέρδος αν δεν υπάρχει τρόπος για να παραχθεί ποικιλία για αντισώματα. Ένα μεγάλο ρεπερτόριο

⁶³ Farries, T. C., and Arkinson, J. P. (1991) "Evolution of the Complement System," *Immunology today*, 12, 295-399

⁶⁴ Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν: DuPasquier, L. (1992) "Origin and Evolution of the Vertebrate Immune System," *APMIS*, 100,383-392; Stewart, J. (1994) *The Primordial VRM System and the Evolution of Vertebrate Immunity*, R. G. Landes Co., Austin; Sima, P., and Vetvick, V. (1993) "Evolution of Immune Reactions," *Critical Reviews in Immunology*, 13, 83-114.

από αντισώματα δε θα κάνει και πολύ καλό αν δεν υπάρχει σύστημα για να σκοτώνει τους εισβολείς. Ένα σύστημα για να σκοτώνει εισβολείς δε θα κάνει πολύ καλό αν δεν υπάρχει ένας τρόπος για να τους αναγνωρίσει. Σε κάθε βήμα μας σταματάνε όχι μόνο τα προβλήματα του τοπικού συστήματος, αλλά και από τις απαιτήσεις για ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Κοιτάξαμε σε μερικά θετικά χαρακτηριστικά του ανοσοποιητικού συστήματος, αλλά υπάρχουν κάποια μειονεκτήματα όταν κάποιος τριγυρνά με γεμισμένα όπλα. Θα πρέπει να είσαι σίγουρος ότι δεν θα πυροβολήσεις το πόδι σου. Το ανοσοποιητικό σύστημα πρέπει να κάνει διάκριση μεταξύ του εαυτού του και του υπόλοιπου κόσμου. Όταν εισβάλουν τα βακτήρια, γιατί το σώμα κάνει αντισώματα εναντίον τους και όχι εναντίον των ερυθρών αιμοσφαιρίων που συνεχώς κυκλοφορούν στο κυκλοφοριακό σύστημα, ή ενάντια σε κάποιον άλλο από τους ιστούς με τους οποίους έρχεται συνέχεια σε επαφή το ανοσοποιητικό σύστημα; Όταν το σώμα κάνει αντισώματα εναντίον του ίδιου του εαυτού του, γενικά δημιουργεί καταστροφή. Για παράδειγμα, οι άνθρωποι που έχουν σκλήρυνση κατά πλάκας κάνουν αντισώματα που κατευθύνονται εναντίον της μόνωσης των νευρικών κυττάρων. Ως αποτέλεσμα το ανοσοποιητικό σύστημα καταστρέφει τη μόνωση, τα νεύρα είναι γυμνά και παθαίνουν βραχυκυκλώματα, και τελικά οδηγούν σε παράλυση. Στον παιδικό διαβήτη, δημιουργούνται αντισώματα κατά των β κυττάρων του παγκρέατος, με αποτέλεσμα την καταστροφή τους. Ο άτυχος άνθρωπος δεν μπορεί πια να παράγει την ινσουλίνη του και συνήθως πεθαίνει, εκτός αν προμηθευτεί τεχνητά την ινσουλίνη. Δεν έχει ξεκαθαριστεί πώς το σώμα αποκτά ανοχή στους ίδιους τους ιστούς του, όμως όποιος και αν είναι ο μηχανισμός, γνωρίζουμε ένα πράγμα: ένα σύστημα αυτο-ανοχής θα πρέπει να είναι παρόν από τότε που εμφανίστηκε το ανοσοποιητικό σύστημα.

Η ποικιλία, η αναγνώριση, η καταστροφή και η ανοχή — όλα αυτά και περισσότερα, αλληλεπιδρούν το ένα με το άλλο. Όπου και να στραφούμε, μια εξήγηση με βαθμιαία βήματα για το ανοσοποιητικό σύστημα, συναντά φράγματα από τις πολλαπλές απαιτήσεις για αλληλοσυνδέσεις. Ως επιστήμονες επιθυμούμε να κατανοήσουμε πως ήρθε στην ύπαρξη αυτός ο θαυμάσιος μηχανισμός, όμως η πολυπλοκότητα του συστήματος καταδικάζει κάθε Δαρβινική εξήγηση σε αποτυχία. Ο Σίσυφος θα ένιωθε λύπη για μας.

Ίσως δεν είναι εκπληκτικό να ανακαλύψουμε μια αδυσώπητη πολυπλοκότητα στις μηχανές — που μας θυμίζουν *«Πολέμους των Αστρων»* — του ανοσοποιητικού συστήματος. Τι μπορούμε όμως να πούμε για πιο ταπεινά συστήματα; Τι να πούμε για τα εργοστάσια που κάνουν τις βίδες και τα παξιμάδια από τα οποία κατασκευάζονται οι μηχανές; Σε ένα τελευταίο κεφάλαιο για ενδείξεις, θέλω να εξετάσω το σύστημα που κάνει τα «οικοδομικά υλικά». Θα δούμε ότι η πολυπλοκότητα φθάνει μέχρι τον πάτο του κυττάρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΚΟΤΩΜΟΣ ΣΤΟ ΔΡΟΜΟ

ΚΟΙΤΑΞΕ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΔΥΟ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

Η οικογένεια μου κι εγώ ζούμε περίπου οχτώ χιλιόμετρα από την πανεπιστημιούπολη σε ένα από τα πολλά όμορφα βουνά που στολίζουν την Πενσυλβάνια. Η περιοχή, αν και είναι κοντά σε μια πόλη, θεωρείται αγροτική με ένα πυκνό δάσος όπου δεν έχει καθαριστεί για να οικοδομηθούν σπίτια. Οδηγώντας προς το σπίτι μας είναι ένας στενός επαρχιακός δρόμος, που στριφογυρίζει καθώς ανεβαίνουμε στο βουνό. Καθώς οδηγώ για τη δουλειά το πρωί ή πηγαίνοντας στο σπίτι το βράδυ πάντοτε βλέπω μερικά μικρά ζώα να είναι ζαρωμένα στο πλάι του δρόμου, έτοιμα να τρέξουν να τον διασχίσουν. Είτε κάνουν ένα τόλμημα για να εντυπωσιάσουν το αντίθετο φύλο, είτε είναι απλώς αγχωμένα για να πάνε στο σπίτι τους, δεν το γνωρίζω. Όμως το παιχνίδι που παίζουν είναι επικίνδυνο και καμιά φορά πληρώνουν την τιμή.

Τα χειρότερα είναι οι σκίουροι. Αντίθετα από τα άλλα έξυπνα ζώα, οι σκίουροι δεν διασχίζουν απλώς το δρόμο. Ενώ είσαι μακριά μπορείς να τους εντοπίσεις να κάθονται στη μια πλευρά του δρόμου. Καθώς πλησιάζεις, ορμούν σαν βέλη στην άλλη πλευρά, σταματούν, αναστρέφουν και στέκονται στο κέντρο. Εσύ πλησιάζεις όλο και πιο κοντά, και αυτοί ακόμη είναι στο δρόμο. Τελικά, καθώς περνάς δίπλα τους, αποφασίζουν ότι η δική σου πλευρά είναι που θέλουνε να πάνε. Οι σκίουροι πάντοτε χωράνε κάτω από το αυτοκίνητο κι έτσι πάντα έχει την ελπίδα ότι καθώς εξαφανίζονται από μπρος θα τους ξαναδείς από τον πίσω καθρέφτη να τρέχουν προς την ασφάλεια. Καμιά φορά τα καταφέρνουν, καμιά φορά όχι. Οι σκαντζόχοιροι συνήθως κινούνται σε μια ευθεία γραμμή κατά μήκος του δρόμου, κάνουν εύκολο να προβλέψεις τη θέση τους, όμως δεν έχεις αρκετή προειδοποίηση. Συνήθως καθώς οδηγείς, και σκέφτεσαι για το δείπνο, όταν ξαφνικά, μια μικρή στρογγυλή μορφή περπατά σαν πάπια μέσα στο σκοτάδι στη δική σου τη λωρίδα. Σ' αυτό το σημείο το μόνο που μπορείς να κάνεις είναι να σφίξεις τα δόντια σου και να περιμένεις για το γδούπο—οι σκαντζόχοιροι αντίθετα από τους σκίουρους δε χωρούνε κάτω από το αυτοκίνητο. Το άλλο πρωί αυτό που έχει μείνει είναι μια μικρή κηλίδα στο δρόμο, τα άλλα αυτοκίνητα έχουν εξαφανίσει το πτώμα. Η φύση με κόκκινα δόντια, νύχια και ασφαλτο.

Αν και η κυκλοφορία έχει αυξηθεί τελευταία στο δρόμο, είναι αρκετά αργή—ένα αυτοκίνητο κάθε λίγα λεπτά κατά τη διάρκεια της ημέρας, και ένα κάθε μισή ώρα τη νύχτα. Έτσι τα περισσότερα ζώα που διασχίζουν το δρόμο το καταφέρνουν εύκολα να περνούν στην άλλη πλευρά. Αυτό όμως δεν ισχύει πια. Η Οδός ταχείας κυκλοφορίας Schuylkill, που είναι ο κύριος μεγάλος δρόμος προς τη Φιλαδέλφεια από τα βορειοδυτικά, έχει σε μερικά σημεία φάρδος οχτώ ή δέκα λωρίδες. Ο όγκος της κυκλοφορίας θα μπορούσε εύκολα να είναι χιλιάδες φορές πιο μεγάλη από ότι στο δρόμο για το σπίτι μου. Δε θα είναι καθόλου έξυπνο για ένα σκαντζόχοιρο να στοιχηματίσει ότι θα ξεκινήσει από τη μια πλευρά και θα φθάσει στην άλλη την ώρα της μεγάλης κίνησης.

Ας υποθέσουμε ότι είσαι ένας σκαντζόχοιρος και κάθεσαι στην πλευρά ενός δρόμο που είναι αρκετές εκατοντάδες φορές πιο φαρδύς από την οδό ταχείας κυκλοφορίας Schuylkill. Υπάρχουν χίλιες λωρίδες που πάνε ανατολικά και χίλιες που πηγαίνουν δυτικά, και η κάθε μία τους είναι γεμάτη με φορτηγά, αυτοκίνητα σπορ, μικρά λεωφορεία, και όλα πηγαίνουν

με το όριο ταχύτητας. Η αγαπημένη του σκαντζόχοιρου σου είναι στην άλλη πλευρά, και σε καλεί να έρθεις. Παρατηρείς ότι τα υπολείμματα των ερωτικών σου αντιπάλων είναι στη λωρίδα ένα, υπάρχουν και μερικά στη λωρίδα δύο, και μερικές κηλίδες στις λωρίδες τρία και τέσσερα, όμως δεν υπάρχει τίποτε πιο πέρα. Επιπλέον ο ρομαντικός κανόνας είναι ότι πρέπει να κρατάς τα μάτια σου κλειστά καθώς κινείσαι, και εμπιστεύεσαι ότι η μοίρα θα σε μεταφέρει με ασφάλεια στην άλλη πλευρά. Βλέπεις το στρογγυλό καφέ πρόσωπο της γλυκιάς σου να χαμογελά, τα μουστάκια της να κουνιούνται και τα γλυκά της μάτια να σε καλούνε. Ακούς τις τεράστιες νταλίκες με δεκαοχτώ ρόδες να ουρλιάζουν. Το μόνο που μπορείς να κάνεις είναι να κλείσεις τα μάτια σου και να προσευχηθείς.

Το παράδειγμα των σκαντζόχοιρων να διασχίζουν ένα δρόμο μας δίνει την εικόνα ενός προβλήματος για την εξέλιξη κατά βήματα. Μέχρις αυτό το σημείο έχω τονίσει την μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα—συστήματα που απαιτούν διάφορα συστατικά για να λειτουργήσουν, κι έτσι είναι φράγματα μαμούθ για τη βαθμιαία εξέλιξη. Συζήτησα μερικά παραδείγματα, τα πιο πολλά μπορεί κανείς να τα βρει με το να φυλλομετρήσει ένα εγχειρίδιο βιοχημείας. Όμως υπάρχουν μερικά βιοχημικά συστήματα που δεν είναι μη αναγώγιμα περίπλοκα. Δεν απαιτούν κατ' ανάγκη διάφορα τμήματα για να λειτουργήσουν, και φαίνεται να υπάρχουν (τουλάχιστο στο πρώτο κοίταγμα) τρόποι για να συναρμολογηθούν βήμα προς βήμα. Παρόλα αυτά, σε μια πιο κοντινή εξέταση, ξεπετιούνται άσχημα προβλήματα. Για παράδειγμα, οι ομαλές μεταβάσεις αποδεικνύονται εφήμερες όταν τις ελέγχουμε στο φως της ημέρας. Έτσι αν και τα συστήματα δεν είναι μη αναγώγιμα περίπλοκα, δε σημαίνει ότι μπορεί να συναρμολογηθεί κατά ένα Δαρβινικό τρόπο. Όπως ο σκαντζόχοιρος που προσπαθεί να διασχίσει μια οδό ταχείας κυκλοφορίας που έχει χίλιες λωρίδες, δεν υπάρχει κανένα φράγμα να συντεθούν βαθμιαία μερικά βιοχημικά συστήματα. Όμως οι ευκαιρίες για κάτι να πάει στραβά είναι υπερβολικές.

ΤΑ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Τα μεγάλα μόρια που κάνουν τη δουλειά στο κύτταρο —πρωτεΐνες και νουκλεϊκά οξέα— είναι πολυμερή (δηλαδή, κατασκευάζονται από διακριτές μονάδες που μπαίνουν σε μια σειρά). Τα οικοδομικά τούβλα των πρωτεϊνών είναι τα αμινοξέα, και τα οικοδομικά υλικά των νουκλεϊκών οξέων είναι τα νουκλεοτίδια. Όπως τα χαντράκια από ένα παιδικό παιχνίδι που κουμπώνουν το ένα με το άλλο, τα αμινοξέα ή τα νουκλεοτίδια μπορούν να συνδεθούν για να δώσουν μια σχεδόν άπειρη ποικιλία από διαφορετικά μόρια. Όμως από που προέρχονται όμως τα χαντράκια; Τα χαντράκια που κουμπώνουν το ένα από το άλλο κατασκευάζονται σε ένα εργοστάσιο. Το εργοστάσιο κατασκευάζει τις χάντρες σε ειδικά σχήματα έτσι που η μικρή τρύπα στο ένα άκρο να έχει το σωστό μέγεθος για το εξόγκωμα στο άλλο να κολλήσουν μαζί. Αν το εξόγκωμα είναι πολύ μεγάλο, τότε η αλυσίδα με τα χαντράκια δε θα μπορέσουν να συνενωθούν, αν οι τρύπες είναι πολύ μεγάλες τότε η αλυσίδα θα διαλυθεί. Ο κατασκευαστής που κάνει τις χάντρες φροντίζει να κάνει καλούπια του σωστού μεγέθους και να χρησιμοποιήσει το σωστό είδος πλαστικού. Και το κύτταρο επίσης, φροντίζει με μεγάλη επιμέλεια πολύ για την κατασκευή των οικοδομικών τούβλων του.

Το DNA που είναι το πιο γνωστό από τα νουκλεϊκά οξέα κατασκευάζεται από τέσσερα είδη νουκλεοτίδια: A, C, G και T.⁶⁵ Σ' αυτό το κεφάλαιο θα μιλήσω κυρίως για το οικοδομικό τούβλο A. Όταν το οικοδομικό τούβλο δε συνδέεται με ένα πολυμερές, μπορεί να έχει διάφορες μορφές, που σημειώνονται ως AMP, ADP, ή ATP. Η μορφή που συνήθως συντίθεται

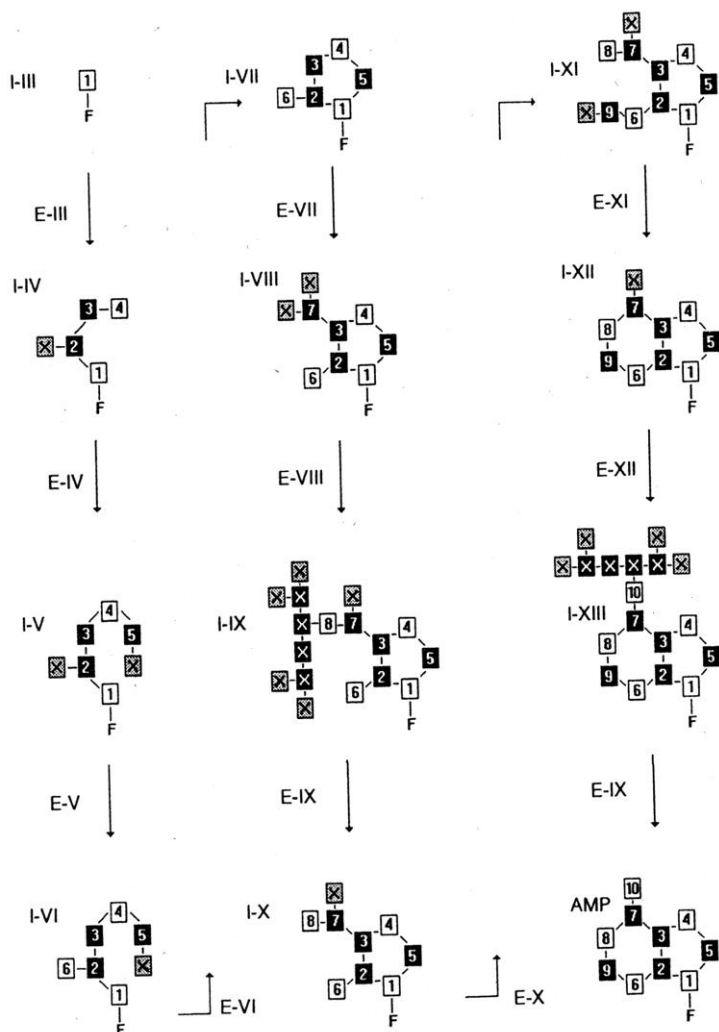
⁶⁵ Το RNA κατασκευάζεται από τα τέσσερα νουκλεοτίδια A, C, G και U.

στο κύτταρο είναι η AMP. Όπως τις χάντρες που κουμπώνουν, η AMP πρέπει να κατασκευαστεί προσεκτικά. Τα πιο πολλά μόρια στους βιολογικούς οργανισμούς κατασκευάζονται από λίγα διαφορετικά είδη ατόμων, και η AMP δεν αποτελεί εξαίρεση. Αποτελείται από πέντε διαφορετικά είδη: δέκα άνθρακες, ένδεκα υδρογόνα, επτά οξυγόνα, τέσσερα άζωτα και ένα φωσφόρο.

Χρησιμοποίησα την αναλογία με τις χάντρες που κουμπώνουν για να δώσω μια ιδέα για το πως τα νουκλεοτίδια μπορούν να συνδεθούν για να φτιάξουν μακριές αλυσίδες. Για να καταλάβουμε πως συντίθεται η AMP, ας σκεφτούμε πως κατασκευάζονται τα παιχνίδια που κολλάνε (tinkertoys). Για τους αναγνώστες που δεν είναι οικείοι με tinkertoys, τα παιχνίδια αυτά έχουν δύο είδη κομματιών — μια ξύλινη ρόδα με τρύπες στην περιφέρεια και το κέντρο, και ξύλινα ραβδιά που έχουν την ίδια διάμετρο με τις τρύπες. Με το να σπρώχνουμε τα ραβδάκια στις τρύπες μπορούμε να συνδέσουμε αρκετές ρόδες. Με το να χρησιμοποιήσουμε περισσότερα ραβδάκια και ρόδες μπορείς να οικοδομήσεις ένα ολόκληρο δίκτυο. Οι δομές που μπορείς να κάνεις από αυτούς τους δύο τύπους κομματιών, από κάστρα και αυ-

ΕΙΚΟΝΑ 7-1

ΒΙΟΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ AMP. Η ΕΙΚΟΝΑ ΑΡΧΙΖΕΙ ΜΕ ΤΟ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ III-F ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΑ ΤΗ "ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ" - ΦΩΣΦΟΡΙΚΗ-5-RIBOΖΗ. ΤΑ ΛΕΥΚΑ ΚΟΥΤΙΑ ΕΙΝΑΙ ΑΤΟΜΑ ΑΖΩΤΟΥ. ΤΑ ΜΑΥΡΑ ΕΙΝΑΙ ΑΤΟΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ, ΚΑΙ ΤΑ ΓΚΡΙΖΑ ΕΙΝΑΙ ΑΤΟΜΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ. ΤΑ ΑΤΟΜΑ ΕΧΟΥΝ ΑΡΙΘΜΗΘΕΙ ΜΕ ΤΗ ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΠΡΟΣΚΟΛΛΟΥΝΤΑΙ. ΑΡΙΘΜΟΥΝΤΑΙ ΜΟΝΟ ΤΑ ΑΤΟΜΑ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ. ΤΑ ΑΤΟΜΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΚΟΛΛΟΥΝΤΑΙ ΑΛΛΑ ΑΡΓΟΤΕΡΑ ΑΝΤΙΚΑΘΙΣΤΩΝΤΑΙ Ή ΑΠΟΚΟΠΤΟΝΤΑΙ ΣΗΜΕΙΩΝΟΝΤΑΙ ΜΕ Χ



τοκίνητα, μέχρι κουκλόσπιτα και γέφυρες, έχουν ως μόνο εμπόδιο τη φαντασία μας.

Τα άτομα είναι σαν τα κομμάτια ενός σερ για τέτοιο παιχνίδι για κόλλημα: τα άτομα είναι οι ξύλινες ρόδες, και οι χημικοί δεσμοί που φτιάχνονται μεταξύ των ατόμων είναι τα ραβδάκια. Όπως τα tinkertoys, τα άτομα μπορούν να συνδεθούν για να δώσουν διάφορα σχήματα. Μια μεγάλη διαφορά είναι ότι το κύτταρο είναι μια μηχανή, και έτσι ο μηχανισμός για να συναρμολογηθούν τα μόρια της ζωής μπορούν να αυτοματοποιηθούν. Φανταστείτε την πολυπλοκότητα μιας μηχανής που θα συνέδεε αυτόματα ένα παιχνίδι για κόλλημα για να μας δώσει ένα κάστρο! Ο μηχανισμός που χρησιμοποιεί το κύτταρο για να κάνει AMP είναι αυτόματος, και όπως αναμένεται δεν είναι καθόλου απλός.

Τα άτομα πάντοτε βρίσκονται σε μόρια· δε βρίσκονται ελεύθερα όπως τα κομμάτια του tinkertoy. Για να κατασκευαστεί ένα νέο μόριο γενικά θα πρέπει να πάρεις παλιά μόρια και να ενώσεις μεταξύ τους διάφορα τμήματα. Είναι σαν να παίρνεις ένα πύργο από ένα κάστρο tinker toy και το χρησιμοποιήσεις για το σώμα ενός αυτοκινήτου, χρησιμοποιώντας έναν έλικα από ένα αεροπλάνο tinker toy για να κάνεις το τιμόνι ενός αυτοκινήτου, κτλ. Παρόμοια τα νέα μόρια χτίζονται από κομμάτια των παλιών μορίων. Τα μόρια που χρησιμοποιούνται για την οικοδόμηση του AMP έχει μάλλον μακριά και περίπλοκα χημικά ονόματα· δε θα τα χρησιμοποιήσω για την περιγραφή εκτός αν είναι τελείως απαραίτητο. Αντίθετα θα περιγράψω τα μόρια με λέξεις που θα ακούγονται αθώα όπως «ενδιάμεσο III» και «ΈνζυμοVII».

Η εικόνα 7-1 δείχνει τα μόρια που εμπλέκονται σε μια βήμα προς βήμα σύνθεση. Οι πιο πολλοί αναγνώστες πιθανόν να βρουν την περιγραφή στις επόμενες λίγες σελίδες πιο εύκολο να την παρακολουθήσουν αν αναφέρονται συχνά στην εικόνα. Μην ανησυχείτε, βέβαια — δε πρόκειται να μιλήσω για κάποιες «εσωτερικές» έννοιες· απλώς ποιος συνδέεται με ποιον. Το θέμα είναι να εκτιμηθεί η πολυπλοκότητα του συστήματος, να δείτε τον αριθμό των απαιτούμενων βημάτων, να σημειώσουμε την εξειδίκευση των συστατικών που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Ο σχηματισμός των βιολογικών μορίων δε συμβαίνει στο μυαλό των Κάλβιν και Χομπς που έχουν μπερδεμένες σκέψεις· απαιτεί ειδικά, με υψηλή εξειδίκευση ρομπότ για να κάνουν τη δουλειά. Σας παροτρύνω να περάσετε βιαστικά τα δύο επόμενα τμήματα και να θαυμάσετε.

Η ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ ΑΡΧΙΖΕΙ

□ Για να χτίσεις ένα σπίτι χρειάζεσαι ενέργεια. Καμιά φορά η ενέργεια βρίσκεται στους μύες των εργατών, καμιά φορά στη βενζίνη που με την καύση της κινεί τις μπουλντόζες ή σε ηλεκτρισμό που κινεί τα τρυπάνια. Το κύτταρο χρειάζεται ενέργεια για να κατασκευάσει AMP. Η ενέργεια του κυττάρου έρχεται σε χωριστά πακέτακια «χάπια ενέργειας». Να σκεφτείτε μοριακές καραμελίτσες, που δίνουν ενέργεια σε μύες, ή δοχεία βενζίνης ενός γαλονιού (περίπου 4,5 λίτρα) που δίνουν τη δύναμη σε μηχανές. Υπάρχουν διάφορα είδη «χαπιών» ενέργειας, ανάμεσα στα οποία περιλαμβάνονται η ATP και η GTP. Μην ανησυχείς για το ποια μορφή έχουν ή πως ενεργούν· απλώς θα σημειώσουμε σε ποια βήματα τα χρειαζόμαστε.

Στην εικόνα 7-1 δε δείχνονται τα πρώτα δύο βήματα για τη σύνθεση της AMP— αυτά συμβαίνουν «εκτός σκηνής». Όπως σε ένα κτίριο ή σε ένα σπίτι η οικοδόμηση αρχίζει από τα θεμέλια, έτσι συμβαίνει και με την οικοδόμηση της AMP. Το θεμέλιο είναι ένα περίπλοκο μόριο του οποίου δε θα συζητήσω τη σύνθεση. Αποτελείται από ένα δακτύλιο ατόμων: τέσσερις άνθρακες και ένα οξυγόνο. Στους τρεις άνθρα-

κες είναι συνδεδεμένο από ένα άτομο οξυγόνου. Στον τέταρτο άνθρακα του δακτυλίου είναι συνδεδεμένος ακόμη ένας άνθρακας, στον οποίο είναι γαντζωμένο ένα οξυγόνο, στο οποίο είναι συνδεδεμένο ένα άτομο φωσφόρου με τρία οξυγόνα. Στο πρώτο βήμα της σύνθεσης της AMP, μια ομάδα που αποτελείται από δύο άτομα φωσφόρου και έξη άτομα οξυγόνου μεταφέρεται μαζικά από το ένζυμο I, σε ένα από τα οξυγόνα του θεμελίου για να δημιουργήσουν το ενδιάμεσο II. Αυτό χρειάζεται ένα ενεργειακό χάπι από ATP. Το ενδιάμεσο II χρησιμοποιείται από το σώμα ως το σημείο έναρξης για να κάνει διάφορα μόρια ανάμεσα στα οποία περιλαμβάνεται η AMP.

Στο επόμενο βήμα το Ένζυμο II παίρνει ένα άτομο αζώτου από το αμινοξύ γλουταμίνη και το τοποθετεί σε ένα άνθρακα του δακτυλίου οπότε δίνει το Ενδιάμεσο III. Στο ίδιο βήμα εκδιώκεται η ομάδα φωσφόρου/οξυγόνου που είχε συνδεθεί στο τελευταίο βήμα. Αυτό είναι το σημείο στο οποίο η εικόνα 7-1 παίρνει τη συνέχεια της ιστορίας. Για να γίνει πιο εύκολη η παρακολούθηση της εικόνας, θα χρησιμοποιήσω το γράμμα F (Foundation) για να υποδηλώσω το θεμέλιο. Έτσι σ' αυτό το σημείο στην εικόνα 1 βλέπουμε ότι ένα άτομο αζώτου έχει συνδεθεί με ένα γράμμα F.⁶⁶ Τα άτομα του αζώτου έχουν άσπρο χρώμα, ενώ του άνθρακα είναι μαύρα, και τα οξυγόνα είναι γκρίζα. Τα άτομα που θα καταλήξουν στο τελικό προϊόν (AMP) έχουν αριθμούς σύμφωνα με τη σειρά με την οποία προσκολλούνται. Τα άτομα που δεν καταλήγουν στην AMP έχουν ένα «X».

Με την καθοδήγηση του Ενζύμου III, ένα αμινοξύ που ονομάζεται γλυκίνη (που αποτελείται από ένα άτομο αζώτου που είναι συνδεδεμένο σε ένα άνθρακα, και αυτός με τη σειρά του είναι συνδεδεμένος με έναν άλλο άνθρακα που έχει συνδεδεμένα άλλα δύο οξυγόνα) έρχεται και γαντζώνεται στο άζωτο του Ενδιαμέσου III με τη βοήθεια ενός ατόμου άνθρακα. Αυτό χρησιμοποιεί ένα χάπι ενέργειας από ATP. Στη διαδικασία διώχνεται ένα από τα δύο οξυγόνα που ήταν αρχικά συνδεδεμένα με τον άνθρακα #2. Σ' αυτό το σημείο το μόριο μοιάζει σαν να έχει το θεμέλιο μια ουρά που την κουνά στην αύρα. Το τελικό προϊόν AMP, θα είναι πολύ διαφορετικό: ένα ζευγάρι από άκαμπτους συνενωμένους δακτυλίους που είναι προσκολλημένοι στο θεμέλιο. Για να φτάσουμε σ' αυτό το σημείο από το σημείο στο οποίο βρισκόμαστε τώρα, το μόριο θα πρέπει να προετοιμαστεί χημικά με τη σωστή σειρά.

Στο επόμενο βήμα ένα μόριο από μυρμηκικό οξύ (στην πραγματικότητα ένα σχετιζόμενο ιόν, από το άλας του μυρμηκικού οξέος formate), που αποτελείται από δύο άτομα οξυγόνου συνδεδεμένα με ένα άτομο άνθρακα, κολλά στο άζωτο #4 του Ενδιαμέσου IV για να κάνει το Ενδιάμεσο V. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας εκδιώκεται ένα από τα οξυγόνα του μυρμηκικού αλάτος. Συνήθως το μυρμηκικό άλας δεν είναι δραστικό, γι' αυτό χρειάζεται κάποια προετοιμασία για να μπορέσει να γαντζωθεί σε άλλα μόρια. Ένα εγχειρίδιο βιοχημείας τονίζει το πρόβλημα:

Το μυρμηκικό άλας... δεν είναι δραστικό κάτω από φυσιολογικές συνθήκες και θα πρέπει να ενεργοποιηθεί για να δράσει ως ένας αποτελεσματικό παράγοντας για δημιουργία φορμαλδεΐδης. Η βασική σημασία της [THF] είναι να διατηρεί τη φορμαλδεΐδη και το μυρμηκικό άλας σε καταστάσεις χημικής

⁶⁶ Θα χρησιμοποιηθούν αρκετές άλλες απλοποιήσεις. Τα άτομα του υδρογόνου στο μόριο δε θα συζητηθούν και δε δείχνονται στην εικόνα 7-1. Τα άτομα του υδρογόνου στο μεγαλύτερο τους μέρος, βρίσκονται μαζί με άλλα άτομα στη σύνθεση της AMP γι' αυτό δε χρειάζεται να τους δώσουμε ιδιαίτερη προσοχή για να δώσουμε τη βασική ιδέα. Επιπρόσθετα δεν διακρίνονται οι διπλοί από τους απλούς δεσμούς, γιατί το μόνο που μας ενδιαφέρει είναι οι συνδέσεις.

ετοιμότητας, όμως όχι τόσο μεγάλης έτσι ώστε να μη βάζει κινδύνους στο κύτταρο αλλά να είναι διαθέσιμο για ουσιώδεις διαδικασίες με εξειδικευμένη ενζυματική δράση.⁶⁷

Το ευτύχημα είναι, όπως λέγει αυτή η περικοπή, ότι το μυρμηκικό άλας δεν επιπλέει γύρω-γύρω στο διάλυμα. Είναι κολλημένο σε μια βιταμίνη που ονομάζεται THF, που είναι ξαδέλφη της βιταμίνης B φολικό οξύ (μη ρωτάς πώς συντίθεται η βιταμίνη). Όταν προσκολληθεί από κάποιο ένζυμο στη βιταμίνη (σε μια αντίδραση που χρειάζεται ένα χάπι ενέργειας ATP), το μυρμηκικό άλας είναι «φουλαρισμένο» και έτοιμο για δράση. Το σύμπλεγμα THF – μυρμηκικού άλατος, όμως δε θα ενωνόταν με το Ενδιάμεσο IV για να δώσει το Ενδιάμεσο V, παρά μόνο αν κατευθυνθεί γι' αυτό το σκοπό από το Ένζυμο IV, και τότε θα έφευγε μακριά από το κύτταρο μέχρις ότου να αντιδράσει με κάτι άλλο ή να διασπαστεί, και τότε θα χαλούσε η όλη σύνθεση της AMP. Όμως παρόλα αυτά, αυτό δε συμβαίνει, γιατί το ένζυμο καθοδηγεί την αντίδραση για να δώσει τα σωστά προϊόντα.

Το επόμενο βήμα είναι να αντικατασταθεί το άτομο οξυγόνου που έχει γαντζώσει στον Άνθρακα #2 του Ενδιαμέσου V με ένα άτομο αζώτου. Αυτό μπορεί να γίνει χημικά με το να εκτεθεί το μόριο σε αμμωνία—όμως δε μπορείς απλά να ρίξεις αμμωνία μέσα σ' ένα κύτταρο, επειδή θα αντιδρούσε εκόν- άκων και θα έδινε πολλά πράγματα με τα οποία δε θα έπρεπε να αντιδράσει. Έτσι ένα μέρος του αμινοξέος χρησιμοποιείται για να δωρίσει το άτομο του αζώτου που χρειάζεται. Το αμινοξύ γλουταμίνη, κάτω από τα προσεχτικά μάτια του Ενζύμου V, καταλήγει κατά λοξό τρόπο στο Ενδιάμεσο V έτσι που το άζωτο του αμινοξέος είναι κοντά στο πρώτο οξυγόνου του Ενδιαμέσου V, και το άζωτο παίρνει τη θέση για να δώσει τον Ενδιάμεσο VI. Αυτό το βήμα χρησιμοποιεί ένα ενεργειακό χάπι ATP. □

ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟ

□ Το επόμενο βήμα για να οικοδομήσουμε ένα μόριο AMP είναι κατά κάποιο τρόπο το τελευταίο βήμα. Ξανά θα πάμε να πάρουμε ένα άτομο αζώτου και θα το χρησιμοποιήσουμε για να αντικαταστήσουμε ένα άτομο οξυγόνου που έχει συνδεθεί με έναν άνθρακα και ξανά αυτό το βήμα χρησιμοποιεί ένα χάπι ενέργειας από ATP. Όμως αυτή τη φορά δε θα μεταφέρουμε ένα άζωτο από έξω. Αντίθετα θα χρησιμοποιήσουμε το άζωτο #1, που ήδη βρίσκεται στο μόριο. Το πρώτο άζωτο που τοποθετήθηκε στο θεμέλιο — αυτό που διώχτηκε από την από την ομάδα φωσφόρου/οξυγόνου μερικά βήματα πιο πριν—τώρα μπαίνει στο παιχνίδι. Παίρνει τη θέση ενός ατόμου οξυγόνου που ήταν τελευταίο την αλυσίδα. Όμως αντίθετα από το άζωτο που προήλθε από το αμινοξύ στο προηγούμενο βήμα, αυτό το άζωτο δε σπάει κάποιον από τους δεσμούς με άλλα άτομα. Απλώς κάνει ένα νέο δεσμό, όπως φαίνεται στο Ενδιάμεσο VII. Κάτι το ενδιαφέρον για αυτήν την τακτοποίηση είναι ότι τώρα έχουμε ένα δακτύλιο ατόμων· ο δακτύλιος έχει πέντε μέλη, με δύο ομάδες που εξέχουν. Η πρώτη ομάδα είναι το άζωτο #6, που εισάχθηκε στο τελευταίο βήμα και η δεύτερη ομάδα είναι το θεμέλιο. Όταν τραντάξεις ένα τενεκεδάκι με σόδα και ανοίξεις το καπάκι, συνήθως μουσκεύεις από τους αφρούς του υγρού. Αυτός ο αφρός ενεργοποιείται από την ξαφνική

⁶⁷ Zubay, G., Parson, W. W., and Vance, D. E. (1995) *Principles of Biochemistry* Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, IA, pp. 215-216

ελευθέρωση του αερίου του διοξειδίου του άνθρακα που ήταν διαλυμένο στο υγρό. Λίγο διοξείδιο του άνθρακα είναι διαλυμένο στο κυτταρικό υγρό (αν και ένα ζώο συνήθως δεν αφρίζει όταν τρανταχτεί) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις χημικές αντιδράσεις. Αυτό είναι καλό, γιατί το επόμενο βήμα στη σύνθεση του AMP χρειάζεται διοξείδιο του άνθρακα. Αν η αντίδραση του μορίου του αερίου (στην πραγματικότητα του συνδεδεμένου με νερό ανθρακικού οξέος) τοποθετείται από το Ένζυμο VII στον άνθρακα #3 για να δημιουργήσει το Ενδιάμεσο VIII. Ένα ενεργειακό χάπι ATP δίνει τη δυνατότητα γι' αυτό το βήμα.⁶⁸

Και τώρα ήρθε η ώρα για να προστεθεί κάποια άλλη αμμωνία. Και αυτό το βήμα χρειάζεται ένα χάπι ATP. Όπως την τελευταία φορά που προστέθηκε η αμμωνία, δε βρίσκεται απλώς να κολυμπάει ελεύθερη στο διάλυμα (όπως έκανε το διοξείδιο του άνθρακα), αλλά «δωρίζεται» από ένα αμινοξύ. Όμως αυτή τη φορά το αμινοξύ ονομάζεται ασπαρτικό οξύ. Και, σε ένα ακόμη βήμα, το άζωτο δεν αφήνει το αμινοξύ όταν αντιδρά με το Ενδιάμεσο VIII· παίρνουμε το άζωτο που χρειαζόμαστε, αλλά έχουμε μια άσχημη έξτρα αλυσίδα από άτομα που κρέμονται από το άκρο του Ενδιάμεσου IX. Το Ένζυμο IX αφαιρεί το άχρηστο προσάρτημα, και πριονίζει το παραπάνω τμήμα.

Το αποτέλεσμα, που είναι το Ενδιάμεσο X, είναι ένα μισο-φτιαγμένο μόριο. Κάποιο άλλο μόριο του ενεργοποιημένου άλατος μυρμηκικού οξέος — ξανά συνδεδεμένο με μια βιταμίνη — συνδέεται στο άζωτο #6 του Ενδιάμεσου X για να δώσει το Ενδιάμεσο XI. Στο επόμενο βήμα, το Ένζυμο XI κατευθύνει το άζωτο #8 για να διώξει το οξυγόνο από το άλας του μυρμηκικού που μόλις έχει συνδεθεί για να κάνει ένα δεσμό με τον άνθρακα #9· κι έτσι δίνει το ενδιάμεσο XII. Επειδή το άζωτο που αντιδρά δε σπάει το δεσμό του με τον άνθρακα στον οποίο ήταν αρχικά κολλημένος, η αντίδραση δημιουργεί έναν ακόμη δακτύλιο. Οι δύο ενωμένοι δακτύλιοι του Ενδιάμεσου XII δεν είναι στερεοί, αλλά ευέλικτοι όπως τις αλυσίδες των ατόμων του προηγούμενου σχηματισμού δακτυλίων. Ο σχηματισμός του δακτυλίου με έξη μέλη σ' αυτό το βήμα είναι όμοιος με το σχηματισμό του δακτυλίου με πέντε μέλη αρκετά βήματα πιο πριν, και η αντίδραση του άλατος του μυρμηκικού οξέος είναι το τελευταίο βήμα σε μια παρόμοια χημικά με την προηγούμενη προσθήκη του άλατος του μυρμηκικού οξέος. Όμως παρόλο που τα δύο σύνολα των βημάτων είναι παρόμοια, οι καταλύτες τους είναι διαφορετικά σύνολα ενζύμων. Αυτό είναι αναγκαίο γιατί το σχήμα του μορίου έχει μεταβληθεί με τη σύνθεση και τα ένζυμα συχνά είναι ευαίσθητα σε μεταβολές των σχημάτων.

Το Ενδιάμεσο XII είναι ένα νουκλεοτίδιο που ονομάζεται IMP, που χρησιμοποιείται από μερικά βιομόρια (για παράδειγμα, ένας ειδικός τύπος του RNA που βοηθά να δημιουργήσει πρωτεΐνες περιέχει λίγο IMP). Για να δημιουργήσει την AMP από το IMP απαιτεί δύο ακόμη βήματα, που φαίνονται στην Εικόνα 7-1. Σε ένα βήμα που μας θυμίζει κάποιο προηγούμενο βήμα, το Ένζυμο XII προσκολλάται σε ένα μόριο του ασπαρτικού οξέος προς τον δακτύλιο με έξη μέλη, και διώχνει ένα άτομο οξυγόνου από το άτομο αζώτου του εισερχόμενου μορίου. Αυτό δίνει το ενδιάμεσο XIII. Η αντίδραση χρησιμοποιεί ένα χάπι ενέργειας, όχι όμως ATP· αντίθετα, για λόγους που θα συζητήσω αργότερα, χρησιμοποιεί GTP. Ξανά όπως συνέβη την τελευταία φορά που συνδέθηκε το ασπαρτικό οξύ, αυτό μας αφήνει με ένα άσχημο βλαπτικό προσάρτημα. Το Ένζυμο IX έρχεται πίσω (το μόνο ένζυμο που χρησιμοποιείται δύο

⁶⁸ Hall, R. H. (1971) *The Modified Nucleotides in Nucleic Acids*, Columbia University Press, New York, pp. 26-29

φορές σ' αυτό το μονοπάτι) για να πριονίσει το μη αναγκαίο μέρος και αφήνει πίσω το απαιτούμενο άτομο αζώτου.

Τελικά έχουμε AMP — όπου ένα από τα 'οικοδομικά υλικά' του νουκλεϊκού οξέος. □

ΦΤΑΝΟΥΜΕ ΕΚΕΙ

Υποθέτω ότι οι έχω χάσει μέσα στο λαβύρινθο τους πιο πολλούς αναγνώστες, έτσι βοηθήστε με να εξηγήσω και να δώσω μια περίληψη για τη βιοσύνθεση της AMP. Η σύνθεση χρησιμοποιεί δεκατρία βήματα και περιλαμβάνει δώδεκα ένζυμα· ένα από τα ένζυμα το IX, ενεργεί ως καταλύτης σε δύο βήματα. Εκτός από το θεμελιώδες μόριο, φωσφορική -5-ριβόζη, η σύνθεση χρειάζεται πέντε μόρια ATP για να δοθεί η αναγκαία ενέργεια για να οδηγηθούν οι χημικές αντιδράσεις των διαφόρων βημάτων, ένα μόριο GTP, ένα μόριο διοξειδίου του άνθρακα, δύο μόρια γλουταμίνης για να δοθούν άτομα αζώτου σε διάφορα βήματα, ένα μόριο γλυκίνης, δύο ομάδες φορμαλδεΐδης από την THF σε διάφορα βήματα, και δύο μόρια ασπαρτικό οξύ για να δοθούν άτομα αζώτου σε άλλα δύο βήματα. Επιπρόσθετα, σε δύο χωριστά βήματα τα υπολείμματα των μορίων του ασπαρτικού οξέος θα πρέπει να κοπούν, και σε δύο χωριστά βήματα τμήματα από το αυξανόμενο μόριο θα πρέπει να αντιδράσουν το ένα με το άλλο για να κλείσουν οι δύο δακτύλιοι. Και τα δεκατρία βήματα συμβαίνουν για να παραχθεί ένα μόνο είδος μορίου. Τα μόρια πρόδρομοι στο συνθετικό αυτό μονοπάτι — Ενδιάμεσα III μέχρι XI — δεν παίζουν έναν ανεξάρτητο ρόλο· δε χρησιμοποιούνται για κανένα άλλο λόγο παρά μόνο για να κάνουν AMP ή GMP.

Λένε ότι όλοι οι δρόμοι οδηγούν στη Ρώμη, και κατά έναν όμοιο τρόπο υπάρχουν πολλοί δρόμοι για να συντεθεί η AMP. Έχω στα ράφια μου ένα βιβλίο που προορίζεται για χημικούς, στο οποίο αναφέρονται οχτώ διαφορετικοί τρόποι για να φτιαχτεί αδενίνη (που είναι το πάνω μέρος της AMP, χωρίς το θεμέλιο).⁶⁹ το υπόλοιπο του μορίου μπορεί κι αυτό να προστεθεί με μια ποικιλία από τρόπους. Όμως οι χημικοί που θέλουνε να συνθέσουν την αδενίνη, χρησιμοποιούν τελείως διαφορετικούς δρόμους από αυτούς που χρησιμοποιούν τα κύτταρα. Επειδή αυτοί οι δρόμοι χρησιμοποιούν αντιδράσεις μέσα σε έλαια (υγρά λίπη) που έχουν μεγάλη οξύτητα, αυτές οι συνθήκες θα καταστρέφανε πολύ γρήγορα οποιονδήποτε οργανισμό.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1960, οι επιστήμονες που ενδιαφερόντουσαν για την προέλευση της ζωής ανακάλυψαν έναν ενδιαφέροντα τρόπο για να συνθέσουν αδενίνη.⁷⁰ Παρατήρησαν ότι τα απλά μόρια υδρογόνο, κυάνιο και αμμωνία — που θεωρούνται ότι ήταν άφθονα στις αρχικές συνθήκες της γης— θα σχηματίσουν αδενίνη κάτω από τις σωστές συνθήκες. Η ευκολία της σύνθεσης εντυπωσίασε τόσο πολύ τον Stanley Miller που την ονόμασε «ο βράχος της πίστωσης» για τους ερευνητές της προέλευσης της ζωής.⁷¹ Όμως παραμονεύει ένα πρόβλημα: το υδροκυάνιο και η αμμωνία δε χρησιμοποιούνται στη βιοσύνθεση της AMP. Όμως ακόμη και αν αυτό συνέβαινε στην αρχέγονη γη, και ακόμη αν

⁶⁹ Hall, R. H. (1971) *The Modified Nucleotides in Nucleic Acids*, Columbia University Press, New York, pp. 26-29

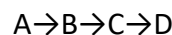
⁷⁰ Oró, J. (1961) "Mechanism of Synthesis of Adenine from Hydrogen Cyanide Under Plausible Primitive Earth Conditions" *Nature*, 191, 1193-1194. Θα πρέπει να θυμόμαστε ότι η βάση αδενίνη κατασκευάζεται από αντιδράσεις αμμωνίας και υδροκυανίου. Το νουκλεοτίδιο AMP είναι εξαιρετικά δύσκολο να παρασκευαστεί κάτω από τις θεωρούμενες ως πιθανές πρώιμες συνθήκες της γης, από παρατηρήθηκε από την εργασία: Joyce, G. E. (1989) "RNA Evolution and the Origins of Life," *Nature*, 338, 217-224

⁷¹ Αναφέρεται στην εργασία Joyce, G. E. and Orgel, I. E. 1993. "Prospects for Understanding the Origin of the RNA World," in *The RNA World*, ed. R.F. Gesterland and J. F. Atikns, Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, NY. p. 18.

έχουν κάποια σχέση με την προέλευση της ζωής (που είναι προβληματικό για πολλές άλλες αιτίες), η σύνθεση της αδερίνης από απλά μόρια στις φιάλες των χημικών δε δίνει απολύτως καμία πληροφορία για το δρόμο που φτιάχνονται τα μόρια μέσα στο κύτταρο.

Ο Stanley Miller εντυπωσιάστηκε από την ευκολία της σύνθεσης της αδερίνης από απλά μόρια, όμως το κύτταρο αποφεύγει τις απλές συνθέσεις. Στην πραγματικότητα αν διαλύαμε στο νερό (χρησιμοποιούμε τυπικά ονόματα της χημείας: 0 φωσφορική-5-ριβόζη, γλουταμίνη, ασπαρτικό οξύ, γλυκίνη, N¹⁰-φορμαλ-THF, διοξειδίο του άνθρακα και «χάπια» ενέργεια από ATP και GTP— όλα τα μικρά μόρια που χρησιμοποιούνται από το κύτταρο για να κάνει AMP— και τα αφήσουμε για αρκετό χρόνο (π.χ. χίλια ή ένα εκατομμύριο χρόνια) δε θα πάρουμε καθόλου AMP.⁷² Αν ο Stanley Miller αναμίγνυε αυτές τις χημικές ουσίες ελπίζοντας να βρει έναν ακόμη βράχο της πίστης, θα είχε απογοητευτεί πολύ.

Ίσως το μόνο που θα χρειαστεί κανείς για να πάει από στο Μιλάνο στη Ρώμη να είναι παπούτσια. Όμως θα χρειαζόμαστε κάτι περισσότερο από παπούτσια για να πάμε από τη Σικελία στη Ρώμη, θα χρειαζόμασταν και μία βάρκα. Και αν είναι να πάμε στη Ρώμη από τον Άρη, θα χρειαζόμαστε πραγματικά μια πολύ ανεπτυγμένη τεχνολογία. Για να κάνουμε AMP από τα συστατικά που χρησιμοποιεί το κύτταρο θα χρειαστούμε πραγματικά πολύ υψηλή τεχνολογία: τα ένζυμα που δρουν ως καταλύτες για τις αντιδράσεις του μονοπατιού. Αν απουσιάζουν τα ένζυμα, η AMP απλά δε δημιουργείται από τις αντιδράσεις που δείχνονται στην Εικόνα 7-1. Το σημείο που θέλουμε να τονίσουμε είναι ότι κι αν ακόμη η αδερίνη ή AMP θα μπορούσαν να φτιαχτούν από απλά μονοπάτια, αυτά τα μονοπάτια δεν μπορεί να είναι πρόδρομοι για την πορεία της βιολογίας για τη σύνθεση από ότι είναι τα παπούτσια πρόδρομοι για τα διαστημόπλοια.



Θεωρείστε ένα όπου η ουσία A μεταμορφώνεται στην ουσία D μέσα από τα ενδιάμεσα B και C. Θα μπορούσε το μονοπάτι να έχει εξελιχθεί βαθμιαία; Εξαρτάται. Αν οι A, B και C είναι χρήσιμες ουσίες για το κύτταρο, και αν ούτε οι B, C, ούτε η D είναι ουσιαστικά από την αρχή, τότε ίσως να είναι μια αργή ανάπτυξη. Στην περίπτωση αυτή θα μπορούσαμε να φανταστούμε ότι θα μπορούσε να μεταλλάσσονταν ένα κύτταρο που έκανε «με την άνεση του» την A, έτσι που να παραγόταν η ουσία B κατά ένα τυχαίο τρόπο. Αν δεν έβλαφτε σε τίποτε, τότε ίσως με την πάροδο του χρόνου το κύτταρο να εύρισκε μια χρησιμότητα για την ουσία B. Και ίσως μετά να μπορούσαμε να έχουμε μια επανάληψη του σεναρίου. Μια τυχαία μετάλλαξη προκαλεί το κύτταρο να παράγει κάποια C από τη B, και αργότερα βρίσκεται μια χρησιμότητα για τη C, και ούτω καθ' εξής.

Όμως ας υποθέσουμε ότι η D είναι ήταν εξ' αρχής αναγκαία. Η AMP χρειάζεται για τη ζωή στη γη: χρησιμοποιείται για την κατασκευή του DNA και του RNA, καθώς και για έναν αριθμό από άλλα κρίσιμα μόρια. Μπορεί να υπάρχει ένας τρόπος για να δομηθεί ένας ζωντανός οργανισμό που δεν απαιτεί AMP, όμως κανείς δεν έχει κάποια ιδέα για του πως να γίνει αυτό. Το πρόβλημα με τη Δαρβινική εξέλιξη είναι το εξής: Αν μόνο το τελικό προϊόν σε ένα περίπλοκο βιοσυνθετικό μονοπάτι χρησιμοποιείται στο κύτταρο, πως εξελίχθηκε σε βήματα το μονοπάτι; Αν οι A, B και C, δεν έχουν καμιά άλλη χρησιμότητα παρά μόνο ως πρόδρομοι της D, τότε ποιο πλεονέκτημα έχει ο οργανισμός για να κάνει απλώς την A; Ή, αν κάνει την A, για να κάνει τη B; Αν το κύτταρο χρειάζεται AMP τι το καλό θα είχε αν έκανε μόνο τα ενδιάμεσα III, ή IV, ή V; Τα μεταβολικά μονοπάτια όπου οι ενδιάμεσες ουσίες δεν

⁷² Εκτός από τη φθορά της ATP, που θα πρέπει εξ' αρχής να δημιουργηθεί από την AMP

έχουν κάποια χρησιμότητα παρουσιάζουν σοβαρές προκλήσεις για ένα Δαρβινικό σχήμα της εξέλιξης. Αυτό μας παρουσιάζει μια μεγάλη δυσκολία την AMP, γιατί το κύτταρο δεν έχει καμιά επιλογή: Η AMP είναι απαραίτητη για τη ζωή. Είτε διαθέτει άμεσα έναν τρόπο να παρασκευάζει την AMP ή αλλιώς το κύτταρο πεθαίνει.

Μερικά εγχειρίδια αναφέρουν αυτό το πρόβλημα. Η τυπική εξήγηση εκφράζεται από τον Thomas Creighton:

Πώς άραγε εξελίχθηκε η βιοχημική πολυπλοκότητα των μεταβολικών μονοπατιών; Στην περίπτωση των βιοσυνθετικών μονοπατιών που οικοδομούν τα βασικά οικοδομικά υλικά από αμινοξέα, νουκλεοτίδια, υδατάνθρακες και ούτω καθ' εξής, είναι πιθανόν να ήταν παρούσες εξ αρχής αυτές οι οικοδομικές μονάδες στην «πρωτόγονη» σούπα και χρησιμοποιήθηκαν άμεσα. Καθώς όμως αυξήθηκαν οι οργανισμοί σε αριθμούς, αυτά τα συστατικά θα έγιναν σπάνια. Οποιοσδήποτε οργανισμός θα μπορούσε να παράγει ένα από αυτά από κάποιο αχρησιμοποίητο συστατικό της πρωτόγονης σούπας, χάρις σε ένα νέο εξελιγμένο ένζυμο, θα είχε ένα επιλεκτικό πλεονέκτημα. Όταν όμως η διαθεσιμότητα αυτού του συστατικού ήταν περιορισμένη, τότε θα γινόταν επιλογή για οποιοδήποτε οργανισμό που θα μπορούσε να παράγει από κάποιο άλλο³ συστατικό της πρωτόγονης σούπας. Σύμφωνα με το σενάριο, τα ένζυμα των μεταβολικών μονοπατιών θα είχαν εξελιχθεί σε μια σειρά αντίθετη από αυτή που έχουν σε κάποιο σύγχρονο μονοπάτι.⁷³

Για να το πούμε απλά, ο Creighton λέγει ότι αν βρούμε ένα μονοπάτι αντιδράσεων σε μια σύγχρονη αντίδραση που προχωρά ως $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$, τότε η D ήταν διαθέσιμη στην πρωτόγονη σούπα—συντέθηκε από απλούς χημικούς πρόδρομους χωρίς το ευεργέτημα των ενζύμων. Καθώς ελαττώνεται η προμήθεια της D, μερικοί οργανισμοί θα «μάθουν» να κάνουν τη D από τη C. Καθώς η C εξαντλείται, τότε θα κατασκευάσει τη C από τη B. Καθώς επαπειλείται ξανά λιμός, τότε θα μάθει να κάνει τη B από την A κοκ. Το ίδιο σχήμα περιγράφεται στη *Μοριακή Βιολογία του Κυττάρου*, ένα δημοφιλές κείμενο που έχει γραφτεί από το Νομπελίστα James Watson, που ήταν πρόεδρος της Εθνικής Ακαδημίας των Επιστημών, τον Bruce Alberts και αρκετούς άλλους συγγραφείς. Μας λένε σε μια ετικέτα από μια εικόνα ότι το πρωτόγονο κύτταρο

Έδινε μια προμήθεια από σχετιζόμενες ουσίες (A, B, C και D) που παράγονται από προβιοτική σύνθεση. Μία από αυτές, η ουσία D, είναι χρήσιμη μεταβολικά. Καθώς το κύτταρο εξαντλεί τη διαθέσιμη ποσότητα της D, ένα επιλεκτικό πλεονέκτημα πετυχαίνεται με την εξέλιξη ενός νέου ενζύμου που είναι ικανό να παράγει τη D από τη συγγενική της ουσία C.⁷⁴

Ναι, ο καθένας συμφωνεί, ότι αν σου τελειώσει η D, ένα πράγμα που θα πρέπει να κάνεις είναι να τη φτιάξεις από C. Και βέβαια, θα είναι κάτι το απλό να μετατρέψεις τη B στη C. Επίσης είναι καλό το ότι στο αλφάβητο το ένα είναι δίπλα στο άλλο. Και που θα βρούμε τις A, B και τις υπόλοιπες; Και βέβαια από μια πρωτόγονη αλφαβητική σούπα. Το γεγονός είναι ότι κανείς ποτέ δε βάζει πραγματικά χημικά ονόματα σε κάποια από τα μυθικά μου γράμματα στην ιστορία με την $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$. Στα εγχειρίδια που αναφέρθηκαν

⁷³ Creighton, T. (1993) *Proteins: Structure and Molecular Properties*, W. H. Freeman and Col., New York, p. 131

⁷⁴ Alberts, B., Bray, D, Lewis, JI, Raff, M., Roberts, KI, and Watson, J. D. (1994) *Molecular Biology of the Cell*, 3rd ed., Garland Publishing, New York, p. 14

πιο πάνω, δεν αναπτύσσονται περισσότερο οι εξηγήσεις με καρικατούρες, ακόμη αν και τα βιβλία χρησιμοποιούνται για να διδάξουν φοιτητές που είναι υποψήφιοι για διδακτορική διατριβή και οι οποίοι εύκολα θα μπορούσαν να διαβάσουν τις λεπτομερείς εξηγήσεις. Σίγουρα δεν είναι κάτι το δύσκολο να φανταστούμε ότι η πρωτόγονη σούπα θα έχει και λίγη C που θα επιπλέει και η οποία εύκολα θα μετατραπεί σε D· οι Κάλβιν και Χομπς εύκολα θα μπορούσαν να το φανταστούν χωρίς καμιά δυσκολία. Είναι όμως πολύ πιο δύσκολο να πιστέψουμε ότι υπήρχε πολύ περισσότερη Αδενυλο succinate (Ενδιάμεσο XIII) για να μετατραπεί σε AMP. Είναι ακόμη πιο δύσκολο να πιστέψουμε ότι η ουσία boxyaminoimidazole robotide (ενδιάμεσο VIII) καθόταν και περίμενε για να μετατραπεί σε 5-aminoimidazole-4 (N- succinlocarboxamide) riboride (ενδιάμεσο IX). Είναι δύσκολο να το πιστέψουμε γιατί, όταν βάζεις πραγματικά ονόματα στις χημικές ουσίες, τότε θα πρέπει να βρεις και τις πραγματικές χημικές αντιδράσεις που θα μπορούσαν να το κάνουν αυτό. Κανείς δεν το έκανε αυτό μέχρι σήμερα.

Τα προβλήματα με τη θεωρία για $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ είναι πάρα πολλά. Ας δούμε μερικά από τα πιο βασικά. Πρώτα απ' όλα, εκτός από το Ενδιάμεσο X, τα πειράματα για τη προβιοτική σύνθεση δεν έδωσαν κανένα από τα ενδιάμεσα στη βιοσύνθεση της AMP⁷⁵. Αν και η αδενίνη μπορεί να παραχθεί κατά την αντίδραση της αμμωνίας με υδροκυάνιο, οι βιοχημικοί πρόδρομοι της αδενίνης δεν μπορούν να παραχθούν. Δεύτερον, υπάρχουν χημικά αίτια για να σκεφτούμε ότι τα ενδιάμεσα στο βιοχημικό μονοπάτι δε μπορούν να παραχθούν παρά μόνο με τη προσεχτική καθοδήγηση των ενζύμων. Για παράδειγμα, αν τα σωστά ένζυμα δεν ήταν παρόντα για να καθοδηγήσουν τις αντιδράσεις προς τα Ενδιάμεσα V και XI, το άλας του μυρμηκικού οξέος δε θα αντιδρούσε με τρόπο που δε θα ήταν παραγωγικός για το σκοπό να παραχθεί AMP. Να σημειώσετε ότι αυτά τα ένζυμα θα πρέπει να είναι διαθέσιμα για τα επόμενα βήματα θα μπορούσαν να αναπτυχθούν, αλλιώς τα κατοπινά ένζυμα δε θα είχαν κάτι να δουλέψουν. Επιπλέον τα βήματα που απαιτούν ενεργειακά χάπια θα πρέπει να καθοδηγηθούν προσεχτικά για να μη ξοδευτεί σε κάτι άχρηστο. Για παράδειγμα, η ενέργεια της βενζίνης μπορεί να κάνει ένα αυτοκίνητο να κινηθεί γιατί οδηγείται με το σωστό τρόπο χάρις σε μια περίπλοκη μηχανή, αλλιώς η βενζίνη θα καιγόταν άδικα σε μια λιμνούλα και το αυτοκίνητο δε θα κινούνταν καθόλου. Αν δεν υπάρχει η καθοδήγηση των ενζύμων η ενέργεια από την ATP θα σπαταλιόταν. Πρόσεξε ακόμη μια φορά ότι το ένζυμο που χρησιμοποιείται για να καθοδηγήσει αυτά τα βήματα θα έπρεπε να υπάρχει πριν ο οργανισμός να μπορούσε να δώσει το χημικό που θα παραχθεί στο επόμενο βήμα του μονοπατιού.

Ένα τρίτο πρόβλημα με την ιστορία για το $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ είναι ότι μερικά από τα ενδιάμεσα του μονοπατιού είναι ασταθή. Έτσι ακόμη και παρ' όλη την ελπίδα, αν είχαν παραχθεί σε μια προβιοτική αντίδραση, τότε και πάλι είτε θα κατέρρεαν ή θα αντιδρούσαν γρήγορα και με το λανθασμένο τρόπο: ξανά δε θα ήταν διαθέσιμες για να συνεχιστεί το μονοπάτι. Και άλλες αιτίες θα μπορούσαν να θεωρηθούν ενάντια στην ιστορία της $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$, όμως αυτοί φτάνουνε.

TOTE KAI TΩPA

Πριν λίγα χρόνια διάβασα το βιβλίο *Το κλείσιμο του Αμερικανικού μυαλού (The Closing of the American Mind)* του Allan Bloom. Εξεπλάγην από τον ισχυρισμό του ότι πολλές από τις

⁷⁵ Ferris, J.P. and Hagan, W.J. (1984) "HCN and Chemical Evolution. The Possible Role of Cyano Compounds in Prebiotic Synthesis," *Tetrahedron*, 40, 1093-1120. Θα πρέπει να θυμόμαστε ότι οι ενώσεις που περιγράφονται στην εργασία αυτή δεν έχουν προσκολλημένο το θεμέλιο.

σύγχρονες Αμερικανικές ιδέες έχουν στην πραγματικότητα τις ρίζες τους σε παλιές Ευρωπαϊκές φιλοσοφίες. Ιδιαίτερα εξεπλάγην ότι το τραγούδι “Mack the Knife” ήταν μια μετάφραση του Γερμανικού τραγουδιού «Mackie Messer» που την έμπνευση του ο Bloom την αποδίδει στη «χαρά του μαχαιριού» ενός δολοφόνου που περιγράφει ο Νίτσε στο *Τάδε Έφη Ζαρατούστρα*.⁷⁶ Στους πιο πολλούς από μας, μας αρέσει να νομίζουμε ότι οι ιδέες μας είναι δικές μας— ή τουλάχιστο, αν τις πρότεινε κάποιος άλλος, ότι έχουμε συμφωνήσει μαζί τους μόνο μετά που κάναμε μια ενσυνείδητη μελέτη και μετά συμφωνήσαμε. Μας κάνει να χάνουμε, όπως ισχυρίστηκε ο Bloom, ότι πολλές από τις σημαντικές μας ιδέες για το πως λειτουργεί ο κόσμος, απλώς διανοητικά τις πήραμε από το πολιτιστικό μέσο μέσα στο οποίο βρισκόμαστε.

Η ιστορία για την $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ είναι μια παλιά ιδέα που έχει περάσει χωρίς πολύ σκέψη το 1945 από τον Ν. Η. Horowitz στο περιοδικό *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Ο Horowitz βλέπει το πρόβλημα:

Αφού η φυσική επιλογή δεν μπορεί να διατηρήσει μη λειτουργικούς χαρακτήρες, το πιο προφανές επακόλουθο το γεγονότος φαίνεται να είναι ότι μια εξέλιξη βήμα — βήμα της βιοσύνθεσης με την επιλογή μιας όνο μετάλλαξης γονιδίου κάθε φορά είναι αδύνατη.⁷⁷

Όμως υπάρχει ελπίδα:

Κατ’ ουσία η προτεινόμενη υπόθεση μας λέγει ότι η εξέλιξη της σύνθεσης των βάσεων προχώρησε κατά βήματα, περιλαμβάνοντας μια μετάλλαξη κάθε φορά, όμως η σειρά της επίτευξης των ατομικών βημάτων ήταν στην αντίθετη κατεύθυνση από την οποία προχωρά η σύνθεση, δηλ. το τελευταίο βήμα στην αλυσίδα ήταν το πρώτο που χρειαζόταν για την πορεία της εξέλιξης, με το προτελευταίο βήμα ως επόμενο, και ούτω καθ’ εξής. Αυτή η διαδικασία απαιτεί για τη λειτουργία της ένα ειδικό είδος από χημικό περιβάλλον· δηλαδή, ένα στο οποίο είναι διαθέσιμα τα τελικά προϊόντα και τα ενδιάμεσα. Ας αναβάλουμε προς το παρόν το ερώτημα για το πως προήλθε ένα τέτοιο περιβάλλον, και ας θεωρήσουμε τη λειτουργία του προτεινόμενου μηχανισμού. Υποτίθεται ότι τα είδη από την αρχή (απαιτούν) κάποιο ουσιαστικό οργανικό μόριο, D, ... Ως αποτέλεσμα της βιολογικής δραστηριότητας εξαντλείται το ποσό της διαθέσιμης D μέχρι σημείου που περιορίζεται η επιπλέον ανάπτυξη του είδους. Σ’ αυτό το σημείο θα υπάρχει ένα αξιοσημείωτο πλεονέκτημα στα μεταλλαγμένα που θα μπορούν να συνεχίσουν την αντίδραση $B+C \rightarrow D$... Συν τω χρόνω η B μπορεί να γίνει περιοριστική για το είδος, πράγμα που καθιστά αναγκαία τη σύνθεση της από άλλες ουσίες.⁷⁸

Εδώ έχουμε την πηγή για την εξήγηση των βιοχημικών μονοπατιών που δίνονται στα σύγχρονα εγχειρίδια. Ποια όμως ήταν η κατάσταση της επιστήμης στις μέρες του Horowitz; Το 1945 όταν εμφανίστηκε το άρθρο αυτό, ήταν άγνωστη η φύση των γονιδίων, όπως ήταν άγνωστη και η δομή των νουκλεϊνικών οξέων και των πρωτεϊνών. Δεν είχαν γίνει καθόλου πειράματα για να δούμε αν ήταν δυνατό «το ειδικό είδος του χημικού περιβάλλοντος» που

⁷⁶ Bloom, A.(1987) *The Closing of the American Mind*, Simon and Schuster, New York. P 151.

⁷⁷ Horowitz, N. H. (1945) “On the Evolution of Biochemical Synthesis.” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 31, 153-157

⁷⁸ Για συνέπεια με τις άλλες περιγραφές, έχω αλλάξει στα γράμματα A και B στην εργασία του Horowitz.

διατύπωσε κατά αξιωματικό τρόπο ο Horowitz. Στα χρόνια που επακολούθησαν, η βιοχημεία είχε τεράστια πρόοδο, όμως δεν υπήρξε κάποια πρόοδος στο να ενθαρρύνει την υπόθεση του. Τώρα είναι γνωστό ότι οι δομές των γονιδίων και των πρωτεϊνών είναι πολύ περισσότερο περίπλοκες από όσο φανταζόντουσαν στις μέρες του Horowitz. Υπάρχουν βάσιμες χημικές αιτίες για να πιστεύουμε ότι τα ενδιάμεσα στη σύνθεση της AMP δε θα ήταν διαθέσιμα έξω από το ζωντανό κυτταρο, και δεν υπάρχει κάποιο πείραμα που να μας έδειξε το αντίθετο. Η «στιγμή» για την οποία ο Horowitz ανέβαλε «το ερώτημα για το από που προήλθε ένα τέτοιο περιβάλλον» έχει ήδη πάρει πενήντα χρόνια αναβολής. Παρά τις προφανείς δυσκολίες, η παλιά ιστορία επαναλαμβάνεται στα εγχειρίδια σαν να πρόκειται για κάτι το προφανές όσο η μύτη στο πρόσωπο σου· η πρόοδος των πενήντα ετών δεν έχει κάνει την παραμικρή αμυχή στη δεδομένη «σοφία». Διαβάζοντας τα σύγχρονα κείμενα, σχεδόν ακούς τους ήχους του «Mack the Knife».

Αν και πολλά εγχειρίδια παρουσιάζουν την στάνταρ ιδέα, μερικοί άνθρωποι είναι ανήσυχοι. Ο Νομπελίστας Christian de Duve, στο βιβλίο του *Το Σχέδιο του Κυττάρου (Blueprint of the Cell)*, εκφράζει ένα σκεπτικισμό για τη σημασία του μονοπατιού κυανίου/αμμωνίας. Προτείνει αντίθετα ότι η AMP προήλθε μέσα από «πρωτομεταβολικά μονοπάτια». Στα οποία πολλές μικρές πρωτεΐνες συνέβη να έχουν την ικανότητα να κάνουν πολλές διαφορετικές χημικές ενώσεις, μερικές από τις οποίες θα ήταν ενδιάμεσα στο μονοπάτι AMP. Για να δώσει εικονικά τη θεωρία του έχει μια εικόνα στην οποία τα βέλη δείχνουν από τις λέξεις *αβιοτική σύνθεση* προς τα γράμματα A, B, C και D. Όμως δίνοντας κάτι το νέο έχει βέλη που ξεκινούν από τα A, B, C και D προς M, N, S, T και, από εκεί προς τα P, O, Q, R, και U. Εκτός από αυτά τα βέλη έχει γράψει τη λέξη *Cat* (ως μια συντομογραφία για τη λέξη «καταλύτης») για να δείξει πως προήλθαν τα γράμματα, όμως δεν έχει καμία εξήγηση: η μόνη «ένδειξη» για το σχήμα είναι αυτή η εικόνα! Πουθενά ούτε αυτός ούτε κάποιος άλλος ερευνητής παραθέτουν ονόματα για τις πραγματικές χημικές ουσίες που αφορούν τα μυθικά γράμματα. Αυτοί που εργάζονται πάνω στο θέμα της προέλευσης της ζωής ποτέ δεν έδειξαν ότι τα ενδιάμεσα της σύνθεσης της AMP θα μπορούσαν να υπάρχουν ή να παραχθούν στην προβιοτική σούπα, πόσο μάλλον τα εξελιγμένα ένζυμα τα οποία συνδέου το ένα ενδιάμεσο με το επόμενο. Δεν υπάρχει κάποια ένδειξη ότι τα γράμματα υπάρχουν κάπου αλλού εκτός από το μυαλό του de Duve.

Ένας άλλος ανήσυχος επιστήμονας είναι ο Stuart Kauffman από το ινστιτούτο της Σάντα Φε. Η πολυπλοκότητα του μεταβολισμού των ζωντανών οργανισμών τον κάνει να αμφιβάλει αν θα μπορούσε να είναι αποτελεσματική μια πορεία βήμα—βήμα.

Για να λειτουργήσει καθόλου ο μεταβολισμός θα πρέπει να είναι μια συνδεδεμένη σειρά από μετασχηματισμούς που γίνονται με τη βοήθεια καταλυτών, και που οδηγούν από την τροφή στα αναγκαία προϊόντα. Το αντίστροφο όμως χωρίς να υπάρχει ο συνδεδεμένος ιστός για να διατηρεί τη ροή της ενέργειας και των προϊόντων, πως θα μπορούσε να υπάρχει μια ζωντανή οντότητα για να εξελίξει τα συνδεδεμένα μεταβολικά μονοπάτια;⁷⁹

Για να απαντήσει στο ερώτημα, προτείνει, με μαθηματικούς όρους, κάτι παρόμοιο με αυτό που έπαιξε ο de Duve: ένα περίπλοκο μείγμα στο οποίο μερικές χημικές ουσίες συμβαίνει να μεταμορφώνονται σε άλλες χημικές ουσίες, και κατά κάποιο τρόπο αυτό σχηματίζει ένα αυτοσυντηρούμενο δίκτυο. Φαίνεται ξεκάθαρα από τα γραπτά του ότι ο Kauffman είναι

⁷⁹ Kauffman, S. (1993) *The Origins of Order*, Oxford University Press, New York, p 344.

πολύ έξυπνος άνθρωπος, όμως είναι πολύ χαλαρή η σύνδεση μεταξύ των μαθηματικών του και της χημείας. Ο Kauffman συζητά τις ιδέες του σε ένα κεφάλαιο με τίτλο «Η προέλευση του συνδεδεμένου Μεταβολισμού», όμως διαβάζοντας το κεφάλαιο από την αρχή ως το τέλος *δε βρίσκεις ούτε ένα όνομα μιας χημικής ουσίας*— ούτε AMP, ούτε ασπαρτικό οξύ, ούτε τίποτε άλλο. Πράγματι ψάχνεις προσεχτικά όλο τον κατάλογο στο τέλος του βιβλίου, και *δε βρίσκεις ούτε ένα χημικό όνομα*. Ο John Maynard Smith, που ήταν ο μέντορας του Kauffman, τον κατηγόρησε ότι εξασκεί «επιστήμη χωρίς δεδομένα»⁸⁰ Αυτή είναι μια σκληρή κατηγορία, όμως η πλήρης έλλειψη χημικών λεπτομερειών στο βιβλίο του, φαίνεται να δικαιολογεί αυτήν την κριτική.

Οι Kauffman και de Dune αναγνωρίζουν το πραγματικό πρόβλημα της βαθμιαίας εξέλιξης. Όμως οι λύσεις που προτείνουν, είναι παραλλαγές στην παλιά ιδέα του Horowitz. Αντί για $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$, απλά προτείνουν $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ επί εκατό. Το χειρότερο είναι ότι όσο αυξάνουν τα βήματα των φανταστικών γραμμάτων, υπάρχει η τάση να φύγουμε πιο μακριά και πιο μακριά από την πραγματική χημεία και να παγιδευτούμε σε ένα διανοητικό κόσμο μαθηματικών.

ΠΑΡΑ ΠΟΛΥ ΑΠΟ ΕΝΑ ΚΑΛΟ ΠΡΑΓΜΑ

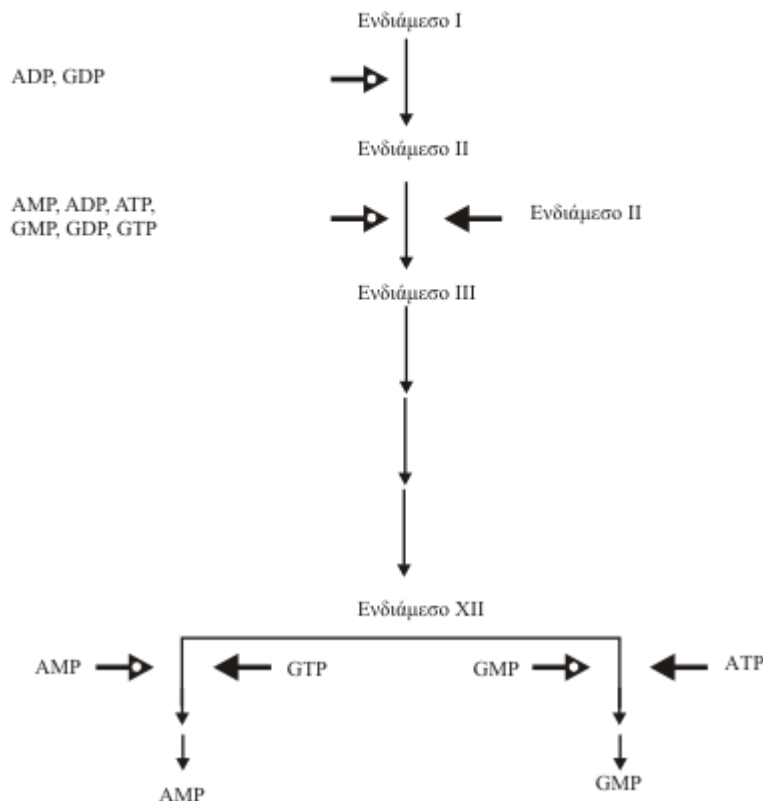
Κάθε παιδί θα έχει ακούσει μια τουλάχιστο φορά την ιστορία του βασιλιά Μίδα. Ο άπληστος βασιλιάς αγαπούσε περισσότερο από όλα το χρυσάφι, ή τουλάχιστο έτσι νόμιζε. Όταν του δόθηκε το μαγικό χάρισμα να μετατρέπει με το άγγιγμα του οτιδήποτε σε χρυσάφια, χάρηκε πολύ. Τα παλιά βάζα, οι άχρηστες πέτρες, τα χρησιμοποιημένα ρούχα, όλα έγιναν όμορφα και ανεκτίμητα με το απλό του άγγιγμα. Όμως φάνηκαν να μαζεύονται τα σύννεφα της θύελλας όταν ο Μίδας άγγιξε λουλούδια που ήταν ήδη πολύ όμορφα και που χάσανε το άρωμα τους. Κατάλαβε ότι βρισκόταν σε μεγάλη δυσκολία, όταν το φαγητό που προσπάθησε να φάγει μετατράπηκε σε χρυσάφι. Τελικά η ανοησία μετατράπηκε σε πένθος όταν η κόρη του πήγε να χαϊδέψει τον πατέρα της και μετατράπηκε σε ένα χρυσό άγαλμα. Η ιστορία του βασιλιά Μίδα μας διδάσκει κάποια πολύτιμα μαθήματα: μην είσαι άπληστος, η αγάπη αξίζει περισσότερο από τα χρήματα, και ούτω καθ' εξής. Όμως υπάρχει και ένα λιγότερο προφανές μάθημα για τη σημασία της ρύθμισης. Δεν είναι αρκετό να έχεις μια μηχανή ή μια διαδικασία (μαγική ή άλλη) που κάνει κάτι, θα πρέπει όταν χρειάζεται να μπορείς να τη θέτεις σε λειτουργία ή να τη σταματάς. Αν ο βασιλιάς επιθυμούσε να έχει το μαγικό του άγγιγμα και την ικανότητα να το θέτει σε λειτουργία ή να το σταματά όποτε ήθελε, θα μπορούσε να είχε μετατρέψει σε χρυσό μερικές πέτρες, όχι όμως και την κόρη του. Θα μπορούσε να μετατρέψει σε χρυσά τα πιάτα, όχι όμως το φαγητό.

Η ανάγκη για τη ρύθμιση είναι προφανής για μηχανές που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή. Ένα αλυσοπρίονο που *δε* θα μπορούσες να το «σβήσεις» θα ήταν επικίνδυνο και ένα αυτοκίνητο χωρίς φρένα και που *δεν* έχει την «ουδέτερη» λειτουργία *δε* θα είχε πολλή αξία. Τα βιοχημικά συστήματα είναι και αυτά μηχανές που χρησιμοποιούμε στη καθημερινή μας ζωή (είτε το σκεφτόμαστε είτε όχι), και έτσι θα πρέπει να ρυθμίζονται. Για να το δείξουμε με εικόνα ας ξοδέψουμε τις τρεις επόμενες παραγράφους για να δούμε τους τρόπους με τους οποίους ρυθμίζεται η σύνθεση της AMP (συμβουλευτείτε την εικόνα 7-2)

⁸⁰ Smith, J. M. (1995) "Life at the Edge of Chaos?" *New York Review*, March 2, pp 28-30

ΕΙΚΟΝΑ 7 -2

ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΟΠΑΤΙΟΥ ΤΗΣ AMP. ΤΑ ΠΑΧΙΑ ΒΕΛΗ ΔΕΙΧΝΟΥΝ ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΟΥΝ ΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ, ΤΑ ΠΑΧΙΑ ΜΑΥΡΑ ΒΕΛΗ ΔΕΙΧΝΟΥΝ ΟΥΣΙΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΥΝ ΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ.



□ Το ένζυμο I απαιτεί ένα χάπι ενέργειας ATP για να μεταμορφώσει τη φωσφορική-5- ριβόζη (το θεμέλιο) στο ενδιάμεσο II. Το ένζυμο έχει μια περιοχή στην επιφάνεια του που μπορεί να συνδεθεί είτε με την ADP είτε με την GDP, όταν υπάρχει μια περίσσεια από αυτές τις χημικές ουσίες στο κύτταρο. Η σύνδεση της ADP ή της GDP λειτουργεί σαν μία βαλβίδα, ελαττώνει τη δραστηριότητα του ενζύμου και έτσι λιγοστεύει τη σύνθεση της AMP. Αυτό έχει μια καλή φυσιολογική λογική, αφού η ADP είναι το υπόλοιπο από μια ξοδεμένη ATP (όπως ο κάλυκας μιας σφαίρας μετά που έχει εκपुरσοκροτήσει το όπλο), μεγάλες συγκεντρώσεις της ADP στο κύτταρο, σημαίνουν ότι η συγκέντρωση της ATP, που είναι το χάπι ενέργειας του κυττάρου, είναι χαμηλή. Αντί να κάνει AMP, το Ενδιάμεσο I χρησιμοποιείται ως καύσιμο για να παραχθεί περισσότερη ATP.

Συνήθως στη βιοχημεία, το πρώτο ένζυμο που ξεκινά την παρασκευή ενός μορίου σε κάποιο ιδιαίτερο μεταβολικό μονοπάτι υφίσταται μια έντονη ρύθμιση. Έτσι και το μονοπάτι της AMP δεν είναι εξαίρεση. Αν και το Ενδιάμεσο II μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλα πράγματα, όταν έχει μεταμορφωθεί στο Ενδιάμεσο III το μόριο αναπόφευκτα σπρώχνεται είτε προς την AMP είτε προς τη GMP από τα άλλα ένζυμα του μονοπατιού. Έτσι και το ένζυμο που δρα ως καταλύτης την κρίσιμη αντίδραση (Ένζυμο II) ρυμίζεται και αυτό. Το Ένζυμο II εκτός από τις θέσεις για σύνδεση με τα αντιδρώντα μόρια, έχει δύο άλλες θέσεις σύνδεσης πάνω στην επιφάνεια του: μια που θα κρατά είτε AMP, ADP είτε GTP. Αν γεμίσει η μία θέση, το ένζυμο εργάζεται με πιο αργό ρυθμό· αν γεμίσουν και οι δύο αυτές θέσεις τότε εργάζεται με πιο αργό ακόμη ρυθμό. Επιπλέον, επιπρόσθετα στη θέση όπου λαμβάνει χώρα η αντίδραση

το Ένζυμο II περιέχει ακόμη μια άλλη θέση που συνδέει το Ενδιάμεσο II, που και το ίδιο είναι ένα αντιδραστήριο. Η σύνδεση του Ενδιάμεσου II σ' αυτή τη θέση κάνει το ένζυμο να εργάζεται με ταχύτερο ρυθμό. Ξανά κι αυτό έχει μια λογική από απόψεως φυσιολογίας: αν υπάρχει τριγύρω τόσο πολύ Ενδιάμεσο II που συνδέεται με τις δύο θέσεις του ενζύμου, τότε το κύτταρο έχει μείνει πίσω στο έργο της σύνθεσης και χρειάζεται να επεξεργαστεί πιο γρήγορα το Ενδιάμεσο II.

Η σύνθεση ρυθμίζεται επίσης και σε άλλες θέσεις. Μετά που η IMP έχει κατασκευαστεί το μονοπάτι χωρίζεται για να οικοδομήσει είτε AMP, είτε GMP. Το Ένζυμο XII, που ενεργεί καταλυτικά στο πρώτο βήμα, όπου από IMP παρασκευάζεται AMP, το ίδιο επιβραδύνεται από την παραπανίσια ποσότητα της AMP. Κατά όμοιο τρόπο η κατάλυση της IMP σε GMP, εμποδίζεται από την παραπανίσια ποσότητα της GMP (Αντίθετα από το βασιλιά Μίδα, τα ένζυμα μπορούν να καταλάβουν πότε έχουν πολύ από κάτι το καλό.) Τελικά, το Ένζυμο XII χρησιμοποιεί τη GTP ως ένα χάπι ενέργειας γιατί αν υπάρχει αφθονία GTP, θα πρέπει να υπάρχουν περισσότερα «Α» νουκλεοτίδια (AMP, ADP, και ATP) για να κρατάνε μια ισορροπημένη προμήθεια. Για παρόμοιες αιτίες στο τελικό βήμα στη σύνθεση της GMP χρησιμοποιεί την ATP ως πηγή ενέργειας. □

ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗ ΑΠΟΤΥΧΙΑ

Όταν αποτυγχάνει η ρύθμιση του μεταβολισμού, το αποτέλεσμα είναι είτε ασθένεια είτε θάνατος. Ένα παράδειγμα είναι ο διαβήτης: επιβραδύνεται η πρόσλυση υδατανθράκων στα κύτταρα, αν και τα μόρια των σακχάρων που κατορθώνουν να εισέλθουν στα κύτταρα αλλιώς μεταβολίζονται κανονικά. Μια ασθένεια που είναι πολύ λιγότερο συνηθισμένη από το διαβήτη και που προέρχεται από την αδυναμία να ρυθμιστεί η σύνθεση AMP, ονομάζεται σύνδρομο Lesch-Nyhan. Στο σύνδρομο Lesch-Nyhan λείπει ή είναι ανενεργό ένα ένζυμο που απαιτείται για να ανακυκλώσει χρησιμοποιημένα νουκλεοτίδια από διασπασμένο DNA ή RNA· αυτό προκαλεί τη συσσώρευση του Ενδιάμεσου II. Δυστυχώς, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, το Ενδιάμεσο II διεγείρει το Ένζυμο II, που με τη σειρά του προκαλεί αύξηση της σύνθεσης του AMP και της GMP. Η αυξημένη σύνθεση οδηγεί στην παραγωγή αυξημένης ποσότητας ουρικού οξέως (τα προϊόντα της διάσπασης της AMP και της GMP), που καθιζάνει από το διάλυμα και κρυσταλλοποιείται. Οι τυχαίες αποθέσεις κρυστάλλων του ουρικού οξέως μπορεί να διαταράξει τις κανονικές λειτουργίες του σώματος, όπως συμβαίνει στην αρθρίτιδα. Στο σύνδρομο Lesch-Nyhan, όμως, οι συνέπειες είναι πιο σοβαρές. Περιλαμβάνουν τη νοητική καθυστέρηση και μια παρόρμηση για αυτό-ακροτηριασμό — ο ασθενής δαγκάνει τα χείλη του και τα δάχτυλα του.

Η ρύθμιση της βιοσύνθεσης της AMP είναι ένα καλό παράδειγμα από περίπλοκους μηχανισμού που απαιτούνται για να κρατάνε την προμήθεια των βιομορίων σε ένα υψηλό επίπεδο: όχι τόσο πολύ, ούτε τόσο λίγο, και στο σωστό ποσοστό σε σχέση με τα σχετικά μόρια. Το πρόβλημα για τη βαθμιαία εξέλιξη του Δαρβίνου είναι ότι τα κύτταρα δε θα έχουν αιτία για να αναπτύξουν ρυθμιστικούς μηχανισμούς πριν από την εμφάνιση ενός νέου καταλύτη. Όμως η εμφάνιση ενός νέου, αρρυθμιστού μονοπατιού, μακριά από του να είναι ευεργετική, θα φαίνεται σαν μια γενετική ασθένεια του οργανισμού. Αυτό θα προκαλούσε δυσκολίες στα παλιά κύτταρα, που καθώς θα προχωρούσαν σε μια υποτιθέμενη βήμα προς βήμα ανάπτυξη, και αυτή θα άφηνε λίγο χώρο για σφάλματα. Τα κύτταρα θα συντριβόντουσαν μεταξύ της Σκύλλας της έλλειψης διαθεσιμότητας και της Χάρυβδης της ρύθμισης.

Κανέννας δεν έχει μια ιδέα για το πως αναπτύχθηκε το μονοπάτι της AMP. Αν και μερικοί ερευνητές έχουν παρατηρήσει ότι το ίδιο το μονοπάτι παρουσιάζει μια σοβαρή πρόκληση για τη βαθμιαία ανάπτυξη, κανέννας δεν έχει γράψει για το εμπόδιο που τίθεται από την ανάγκη για να ρυθμιστεί το μεταβολικό μονοπάτι του κύτταρου αμέσως μετά την «σύλληψη» του. Καθόλου παράξενο — κανέννας δε θέλει να γράψει κανείς τίποτε για το σκοτωμό στο δρόμο.

Στο μακρινό παρελθόν, ένα κύτταρο κοιτάζει προς την άλλη μεριά ενός φαρδιού δρόμου ταχείας κυκλοφορίας. Στην άλλη πλευρά είναι ένα νέο μεταβολικό μονοπάτι. Τα χημικά φορτηγά, τα λεωφορεία, τα στέισιον βάγκονς, και οι μοτοσυκλότες περνούν με μεγάλη ταχύτητα χωρίς να ναπροσέχουν τον μικρό φίλο. Στην πρώτη λωρίδα, που έχει μια επιγραφή «ενδιάμεσα δεν υπάρχουν στη σούπα», και βλέπει τα υπολείμματα από τα προηγούμενα κύτταρα που άκουσαν το κάλεσμα της σειρήνας. Υπάρχουν και λίγα υπολείμματα στη δεύτερη λωρίδα, που σημειώνεται με την επιγραφή, «απαιτείται καθοδηγητικός μηχανισμός». Υπάρχουν ένα ή δύο στην Τρίτη λωρίδα, με την ονομασία «αστάθια των ενδιάμεσων». Δεν υπάρχουν πτώματα από κύτταρα στην 4^η λωρίδα «ρύθμιση»· κανένα δεν τα κατάφερε μέχρι εκεί. Η άλλη πλευρά είναι πράγματι πολύ μακριά.

ΑΥΣΤΗΡΗ ΔΟΜΗΣΗ

Στην έννατη προσθήκη του Συντάγματος των ΗΠΑ διατυπώνεται ότι «η απαρίμνημη στο Σύνταγμα, μερικών δικαιωμάτων, δε θα ερμηνευτεί ότι αρνείται ή να ευτελίζει άλλα που τα διατηρεί ο λαός». Αυτός είναι ένας ευέλικτος τρόπος για να πούμε ότι ένα σύντομο έγγραφο δεν μπορεί να ελπίζει ότι θα καλύψει όλα τα βασικά θέματα, κι έτσι δεν υπονοεί τίποτε για πράγματα που δεν έχουν συζητηθεί. Θα ήθελα να κάνω μια παρόμοια δήλωση για τα θέματα που συζητήσαμε σ' αυτό το βιβλίο. Στα κεφάλαια 3 με 6, συζήτησα αρκετά μη αναγώγιμα περίπλοκα συστήματα, και έδωσα αρκετές λεπτομέρειες για να δείξω ότι δε θα μπορούσαν να σχηματιστούν μέσα από ένα βαθμιαίο τρόπο. Η λεπτομέρεια ήταν αναγκαία στην περιγραφή, για να μπορέσει να κατανοήσει ο αναγνώστης που ακριβώς βρίσκεται το πρόβλημα. Επειδή ξόδεψα αρκετό χρόνο σ' αυτά τα συστήματα δεν είχα χρόνο για να πάω σε άλλα βιοχημικά συστήματα, αυτό όμως δε σημαίνει ότι δεν παρουσιάζουν κι αυτά προβλήματα για το Δαρβινισμό. Υπάρχουν κι άλλα παραδείγματα για μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα, στα οποία περιλαμβάνονται διάφορες πλευρές από το διπλασιασμό του DNA, τη μεταφορά των ηλεκτρονίων, τη σύνθεση «τελομερών», φωτοσύνθεση, ρύθμιση των αντιγραφών, και άλλα περισσότερα. Ο αναγνώστης ενθαρρύνεται να δανειστεί ένα εγχειρίδιο βιοχημείας από τη βιβλιοθήκη και να δει πόσα πολλά προβλήματα μπορεί να εντοπίσει για τη βαθμιαία εξέλιξη.

Αυτό το κεφάλαιο ήταν κάπως διαφορετικό. Σ' αυτό το κεφάλαιο ήθελα να δείξω ότι δεν είναι μόνο τα μη αναγώγιμα περίπλοκα συστήματα που παρουσιάζουν προβλήματα για το Δαρβινισμό. Ακόμη και συστήματα που σε μια πρώτη ματιά φαίνονται ότι μπορούν να θεωρηθούν ότι συμφωνούν με μια βαθμιζία προσέγγιση, αποδεικνύονται ότι είναι ένας μεγάλος πονοκέφαλος σε μια πιο προσεχτική μελέτη — ή όταν παρουσιαστούν τα πειραματικά αποτελέσματα — και δε δίνουν κανένα λόγο να ελπίζουμε ότι θα μπορούσαν να λυθούν μέσα στο Δαρβινικό πλαίσιο.

Η ιδέα που προσφέρθηκε για πρώτη φορά από τον Horowitz είχε φανεί πολύ καλή στις μέρες του, θα μπορούσε να είχε αποτελέσματα· θα μπορούσε να αποδειχθεί αληθινή. Σίγουρα αν κάποιο περίπλοκο μεταβολικό μονοπάτι θα μπορούσε να εμφανιστεί βαθμιαία, το σχήμα που σκιαγράφησε ο Horowitz θα πρέπει να ήταν ο τρόπος που είχε συμβεί. Όμως τα

χρόνια πέρασαν και η επιστήμη προώδευσε, και τα προαπαιτούμενα γι' αυτό το σχήμα θρυμματίστηκαν. Δεν ξέρει κανείς, αν υπάρχει κάποια λεπτομερειακή Δαρβινική εξήγηση για την παραγωγή της AMP. Οι σκληροτράχηλοι χημικοί άρχισαν να πνίγουν τις απογοητεύσεις τους στα μαθηματικά.

Η AMP δεν είναι το μόνο μεταβολικό δίλημμα για τον Δαρβίνο. Η βιοσύνθεση των μεγαλύτερων αμινοξέων, των λιπιδίων, των βιταμινών, της αίμης, και πολλών άλλων πέφτουν στα ίδια προβλήματα, και υπάρχουν άλλες δυσκολίες πέραν από το μεταβολισμό. Όμως δε μας ενδιαφέρουν τα άλλα προβλήματα. Θα στρέψω την προσοχή μου μακριά από την αυτού καθαυτού βιοχημεία και θα επικεντρώσουμε την προσοχή μας σε άλλα θέματα. Τα επιστημονικά εμπόδια που συζητήθηκαν στα τελευταία πέντε κεφάλαια θα εξυπηρετήσουν ως δυνατά παραδείγματα για τα βουνά και τα χάσματα που μπλοκάρουν τη Δαρβινική εξήγηση της ζωής.

ΜΕΡΟΣ III

ΤΙ ΜΑΣ *ΛΕΓΕΙ* ΤΟ ΚΟΥΤΙ;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕ Ή ΧΑΝΕΣΑΙ

ΤΟ ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΤΗΣ ΜΟΡΙΑΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ

Στα κεφάλαια 3 μέχρι 7, έδειξα ότι κανείς δεν εξήγησε την προέλευση των περίπλοκων βιοχημικών συστημάτων που συζήτησα. Όμως υπάρχουν δεκάδες χιλιάδες επιστήμονες στις ΗΠΑ, που ενδιαφέρονται για τη μοριακή βάση της ζωής. Οι πιο πολλοί ξοδεύουν το χρόνο τους σε μια δύσκολη εργασία για να απομονώσουν πρωτεΐνες, να αναλύσουν δομές, και να ξεδιαλύνουν τις λεπτομέρειες για τους τρόπους που εργάζονται τα λιπιούτεια πράγματα. Παρόλα αυτά μερικοί επιστήμονες έχουν ενδιαφερθεί για την εξέλιξη και έχουν δημοσιεύσει μεγάλες ποσότητες εργασίας στην επαγγελματική βιβλιογραφία. Αν δεν μπορούν να εξηγηθούν τα περίπλοκα βιοχημικά συστήματα, τι τύπος βιοχημικής εργασίας έχει δημοσιευτεί κάτω από τον τίτλο «εξέλιξη»; Σ' αυτό το κεφάλαιο θα δείτε τι έχει μελετηθεί — και τι δεν έχει μελετηθεί.

Όταν ανακαλύφθηκε η μοριακή βάση για τη ζωή, εφαρμόστηκε η εξελικτική σκέψη στα μόρια. Καθώς διευρύνθηκαν οι ερευνητικές εργασίες σ' αυτήν την περιοχή, ιδρύθηκε ένα εξειδικευμένο περιοδικό, το *Journal of Molecular Evolution*. Αφού διοργανώθηκε το 1971 το *JME* έχει αφιερωθεί αποκλειστικά σε έρευνες που έχουν στόχο την εξήγηση για το πως εμφανίστηκε η ζωή στο μοριακό επίπεδο. Σ' αυτό το περιοδικό έχουν δημοσιεύσει οι κορυφαίοι του πεδίου αυτού. Ανάμεσα στους περισσότερους από πενήντα ανθρώπους που συναποτελούν το εκδοτικό προσωπικό και την εκδοτικής επιτροπή, υπάρχουν δώδεκα μέλη της Εθνικής Ακαδημίας των Επιστημών των ΗΠΑ. Ο εκδότης είναι ένας άνδρας που ονομάζεται Emile Zuckerkandl, που (μαζί με τον Linus Pauling) πρότεινε ότι οι διαφορές στις ακολουθίες των αμινοξέων σε όμοιες πρωτεΐνες διαφόρων ειδών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιοριστεί ο χρόνος στον οποίο τα είδη μοιραζόντουσαν για τελευταία φορά έναν κοινό πρόγονο.

Κάθε μηνιαίο τεύχος του *JME* περιέχει περίπου δέκα επιστημονικές εργασίες σε διάφορες πλευρές της μοριακής εξέλιξης. Δέκα άρθρα το μήνα σημαίνουν εκατό περίπου εργασίες το χρόνο, και περίπου χίλιες εργασίες σε μια δεκαετία. Μια επισκόπηση χιλίων εργασιών σε μία εξειδικευμένη περιοχή μπορεί να σου δώσει μια αρκετά καλή ιδέα για του ποια προβλήματα έχουν λυθεί, ποια προβλήματα συζητούνται, και ποια προβλήματα έχουν αγνοηθεί. Μια ματιά στην τελευταία δεκαετία, δείχνει ότι τα άρθρα του *JME*, μπορούν να διαιρεθούν εύκολα σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες: χημική σύνθεση των μορίων που θεωρούνται αναγκαία για την προέλευση της ζωής, συγκρίσεις του DNA ή ακολουθίες πρωτεϊνών, και αφηρημένα μαθηματικά μοντέλα.

ΕΝ ΑΡΧΗ

Το ερώτημα για την προέλευση της ζωής έχει τεράστια σημασία και ενδιαφέρον. Η βιολογία θα πρέπει τελικά να ασχοληθεί με το ερώτημα: ακόμη και αν η ζωή εξελίσσεται με φυσική επιλογή που δρα πάνω στην ποικιλότητα, πώς κατά πρώτο λόγο εμφανίστηκε η ζωή; Οι δημοσιεύσεις που αφορούν τη χημική σύνθεση των μορίων που θεωρούνται απαραίτητα για την προέλευση της ζωής αποτελούν περίπου το 10 τοις εκατόν από όλα τα άρθρα στο *JME*.

Η ιστορία του Stanley Miller είναι μια από τις πιο γνωστές σε όλη τη σύγχρονη επιστήμη. Ως ένας νέος μεταπτυχιακός φοιτητής μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο και ενώ εργαζόταν στο εργαστήριο του Νομπελίστα Harold Urey στο Πανεπιστήμιο του Σικάγο, ο Miller θέλησε να προσδιορίσει ποιες χημικές ουσίες θα μπορούσαν να ήταν παρούσες πριν από δισεκατομμύρια χρόνια στην αρχαία και άβια γη. Ήξερε ότι το υδρογόνο ήταν το κυρίαρχο στοιχείο του σύμπαντος. Όταν το υδρογόνο αντιδρά με τον άνθρακα, το άζωτο και το οξυγόνο —που είναι τα συνηθισμένα στοιχεία στη γη— σχηματίζεται μεθάνιο, αμμωνία και νερό. Έτσι ο Miller αποφάσισε να δει ποιες χημικές ουσίες θα μπορούσαν να παραχθούν σε μια εξομοίωση της ατμόσφαιρας που θα περιείχε μεθάνιο, αμμωνία, υδρατμούς και υδρογόνο.⁸¹

Συνήθως το μεθάνιο η αμμωνία και οι υδρατμοί είναι αδρανείς. Ο Miller το γνώριζε αυτό, και έτσι για να εξαναγκάσει τα αέρια να παράγουν χημικές ουσίες που θα είχαν τη δυνατότητα να είναι ενδιαφέρουσες, θα έπρεπε να παράσχει κάποια ενέργεια σ' αυτό το σύστημα για να ανακατευτούν λίγο τα πράγματα. Μια πηγή ενέργειας που θα μπορούσε να είναι διαθέσιμη στην πρωτόγονη γη θα ήταν οι κεραυνοί. Έτσι ο Miller κατασκεύασε στο εργαστήριο του μια συσκευή που θα συγκρατούσε τα αέρια που περίμενε να ήταν παρόντα στην πρωτόγονη γη, μια λιμνούλα με νερό και καλώδια για παραγωγή σπινθήρων με τους οποίους θα έκανε μια εξομοίωση των κεραυνών.

Ο Miller έβρασε το νερό και έκανε σπινθήρες στο μείγμα των αερίων για μια βδομάδα περίπου. Κατά τη διάρκεια αυτού του πειράματος, μαζεύτηκε μια αδιάλυτη πίσσα στα τοιχώματα της φιάλης, και η δεξαμενή του νερού έγινε πιο πολύ και πιο πολύ κοκκινωπή καθώς διάφορα υλικά συγκεντρωνόντουσαν εκεί. Στο τέλος της βδομάδας ο Miller ανάλυσε το μείγμα των χημικών ουσιών που ήταν διαλυμένες στο νερό και είδε ότι περιείχε διάφορα είδη αμινοξέων. Το αποτέλεσμα ήταν να «ηλεκτριστεί» ο κόσμος. Αφού τα αμινοξέα είναι οι δομικές μονάδες των πρωτεϊνών, φάνηκε σε μια πρώτη ματιά ότι θα ήταν άφθονα τα υλικά που χρειάζονται για την κατασκευή των μηχανών της ζωής. Οι ενθουσιασμένοι επιστήμονες δεν είχαν κάποια δυσκολία να φανταστούν ότι η φυσική επιλογή θα μπορούσε να προκαλέσει τα αμινοξέα να πλησιάσει το ένα το άλλο και να σχηματίσουν πρωτεΐνες, και ότι μερικές πρωτεΐνες θα ενεργούσαν ως καταλύτες για σημαντικές χημικές αντιδράσεις, και ότι οι πρωτεΐνες θα παγιδευόντουσαν μέσα σε μεμβράνες που θα θύμιζαν κύτταρα, και ότι τα νουκλεϊκά οξέα θα παραγόντουσαν με παρόμοιες διαδικασίες, κι έτσι βαθμιαία θα παραγόταν το πρώτο κύτταρο που θα μπορούσε να αναδιπλασιαστεί. Όπως ο μυθικός Φρανκεστάιν της Μαίρης Σέλεϋ, φάνηκε σαν ο ηλεκτρισμός να περνά μέσα από την άβια ύλη και να παράγει στην πραγματικότητα ζωή.

Άλλοι πειραματιστές τρέξαν να οικοδομήσουν στο δημιουργικό έργο του Stanley Miller. Είχε ανιχνεύσει μερικούς διαφορετικούς τύπους αμινοξέων στο πείραμα του, όμως οι ζωντανοί οργανισμοί περιέχουν είκοσι διαφορετικά είδη από αμινοξέα. Άλλοι μελετητές έκαναν παραλλαγές στις πειραματικές συνθήκες του Miller. Μεταβλήθηκε το μείγμα των αερίων στην εξομοιωμένη ατμόσφαιρα, η πηγή ενέργειας άλλαξε από ηλεκτρικούς σπινθήρες σε υπεριώδη ακτινοβολία (για να εξομοιωθεί το ηλιακό φως) ή πολύ δυνατοί παλμοί πίεσης (για να εξομοιωθούν εκρήξεις). Πιο εκλεπτυσμένες αναλυτικές μέθοδοι ανακάλυψαν χημικές ουσίες που υπήρχαν σε πολύ μικρές ποσότητες. Τελικά η επίμονη προσπάθεια από πολλούς ερευνητές έδωσε καρπούς: σχεδόν και τα είκοσι αμινοξέα που βρίσκονται στη φύση, είχαν ανακαλυφθεί στα πειράματα για τη προέλευση της ζωής.

⁸¹ Η ατμόσφαιρα της αρχικής γης, τώρα θεωρείται ότι ήταν αρκετά διαφορετική από αυτήν που υπέθεσε ο Μίλλερ, και πολύ λιγότερο πιθανή να παράγει αμινοξέα μέσα από ατμοσφαιρικές διαδικασίες.

Στα πρώτα χρόνια της έρευνας για την προέλευση της ζωής ανακοινώθηκαν και άλλες επιτυχίες. Ίσως τα πιο αξιοσημείωτα επιτεύγματα ήταν αυτά που έγιναν στο εργαστήριο του Χουάν Ορό (Juan Oro). Έδειξαν ότι η απλή χημική ουσία υδροκυάνιο, αντιδρά με τον εαυτό της και παράγει αρκετά προϊόντα ανάμεσα στα οποία περιλαμβάνεται η αδενίνη, που είναι συστατικό μιας από τις δομικές μονάδες των νουκλεϊκών οξέων. Το αποτέλεσμα άνοιξε την πόρτα για να θεωρηθούν τα DNA και RNA ως στόχοι της χημικής έρευνας για την προέλευση της ζωής. Με το πέρασμα των ετών και άλλα συστατικά των νουκλεϊκών οξέων — οι άλλες «βάσεις» καθώς και το σάκχαρο ριβόζη που σχηματίζει μέρος του RNA — παραγό- ντουσαν μέσα σε πειράματα χημικής εξομοίωσης.

Υπό το φως αυτών των δημοσιευμένων επιτυχιών, ένας εξωτερικός παρατηρητής μπορεί να δικαιολογηθεί με το να νιώσει ένα αίσθημα σοκ όταν σκοντάψει σε κάποιες απογοητευτι- κές ανασκοπήσεις της έρευνας για την προέλευση της ζωής που μπορεί να τις βρει σε επι- στημονικά περιοδικά, όπως μια που έγραψε ο Klaus Dose, ένας εξέχων μελετητής του πε- δίου. Στη δική του αξιολόγηση για την κατάσταση του προβλήματος, ο Dose δεν αποφεύγει να δώσει μερικές γροθιές.

Περισσότερα από 30 χρόνια σε πειραματισμούς για την προέλευση της ζωής στα πε- δία της χημικής και της μοριακής εξέλιξης έδωσαν μια καλύτερη αντίληψη για το πόσο τεράστιο είναι το πρόβλημα για την προέλευση της ζωής στη Γη, και όχι μια λύση. Προς το παρόν όλες οι συζητήσεις για τις κυρίες θεωρίες και πειράματα στο πεδίο είτε βρίσκονται σε τέλμα είτε στην ομολογία της άγνοιας.⁸²

Τι είναι αυτό που οδήγησε έναν επαγγελματία του πεδίου να έχει μια τόσο ζοφερή άποψη, ιδιαίτερα μετά την πρόοδο που σημειώθηκε στις φουριόζικες ημέρες που ακολούθησαν το πρωτοποριακό πείραμα του Miller; Όπως αποδείχτηκε, παρόλο που οι επιτυχίες ήταν πραγματικές, σκεπάζουν μια πληθώρα προβλημάτων που μπορείς πραγματικά να εκτιμή- σεις όταν κινηθείς πιο πέρα από μια απλή χημική παραγωγή μερικών από τα «γυμνά» βα- σικά συστατικά της ζωής. Ας ρίξουμε μια ματιά σε μερικά από αυτά τα προβλήματα.

Δεν είναι καθόλου εύκολη η παρασκευή με χημικές διαδικασίες των μορίων της ζωής έξω από το κύτταρο. Κάθε ικανός χημικός μπορεί να αγοράσει μερικές χημικές ουσίες από μια σχετική εταιρεία, να τα ζυγίσει και να τα διαλύσει σε σωστές αναλογίες στον κατάλληλο διαλύτη, να τα θερμάνει σε μια κατάλληλη χημική φιάλη για έναν καθορισμένο χρόνο, και αφού καθαρίσει το επιθυμητό χημικό προϊόν από ανεπιθύμητες χημικές ουσίες που παρά- γονται από παράπλευρες χημικές αντιδράσεις. Όχι μόνο τα αμινοξέα και τα νουκλεοτίδια— οι δομικές μονάδες —μπορούν να γίνουν, αλλά ένας χημικός μπορεί να τα πάρει αυτά και να παράγει τα ίδια τα κτίρια δηλ. πρωτεΐνες και νουκλεϊκά οξέα. Ως ένα αναμφίβολο γεγο- νός, η διαδικασία για αυτό έχει αυτοματοποιηθεί, και διάφορα μηχανήματα μπορούν να ανακατέψουν και να οδηγήσουν σε αντίδραση τις χημικές ουσίες για να δώσουν πρωτεΐ- νες και νουκλεϊκά οξέα που πουλιούνται από ορισμένες εμπορικές φίρμες. Οποιοσδήποτε φοιτητής μπορεί να διαβάσει το εγχειρίδιο και να παράγει σε μια ή δυο μέρες ένα μεγάλο κομμάτι από DNA—ίσως το γονίδιο που κωδικοποιεί για κάποια γνωστή πρωτεΐνη.

Οι πιο πολλοί αναγνώστες θα δούνε γρήγορα το πρόβλημα. Δεν υπήρχαν χημικοί πριν τέσ- σερα δισεκατομμύρια χρόνια. Ούτε υπήρχαν αποθήκες για προμήθεια χημικών ουσιών, ούτε φιάλες για διύλιση, ούτε κάποιες άλλες συσκευές που χρησιμοποιεί ο σύγχρονος χη- μικός στο εργαστήριο του ή στο εργαστήριο της, και που είναι αναγκαία για να έχουμε κα-

⁸² Dose, K. (1986) "The Origin of Life: More Questions than Answers". *Interdisciplinary Science Reviews*, 13, 348

λά αποτελέσματα. Ένα πειστικό σενάριο για την προέλευση της ζωής απαιτεί την ελαχιστοποίηση όσον το δυνατόν περισσότερο της ευφυούς κατεύθυνσης των χημικών αντιδράσεων. Όμως, παρόλα αυτά, είναι αναπόφευκτη η εμπλοκή κάποιας ευφυΐας είναι αναπόφευκτη. Οι λογικές υποθέσεις για τις ουσίες που ήταν διαθέσιμες στην πρωτόγονη γη — όπως αυτές που έκανε ο Stanley Miller — είναι ένα αναγκαίο σημείο εκκίνησης. Το κόλπο είναι ο ερευνητής να διαλέξει ένα πιθανό σημείο έναρξης και μετά να αποφύγει να ανακατευτεί.

Για να έχουμε μια αναλογία: υπόθεσε ότι ένας διάσημος σεφ είπε ότι με τυχαίες φυσικές διαδικασίες θα μπορούσε να παράγει ένα κέικ σοκολάτας. Καθώς προσπαθεί να το αποδείξει, δε θα γκρινιάζαμε αν έπαιρνε ολόκληρα εργοστάσια — ανάμεσα σ' αυτά εργοστάσια που παράγουν σιτάρι, κακάο, και ζαχαροκάλαμο — και τα βάζαμε κοντά σε μια θερμή πηγή, με την ελπίδα ότι το ζεστό νερό θα έβγαζε τα σωστά υλικά και θα τα έψηνε. Θα αρχίζαμε όμως να ανησυχούμε όμως αν ο σεφ είχε αγοράσει ψιλό αλεύρι, κακάο και ζάχαρη από το κατάστημα, λέγοντας ότι δεν είχε καιρό για να περιμένει το ζεστό νερό να τα βγάλει μέσα από τα εργοστάσια. Θα κουνούσαμε τα κεφάλια μας αν άλλαζε το πείραμα του και αντί για τη θερμή πηγή θα χρησιμοποιούσε έναν ηλεκτρικό φούρνο, για να «επιταχύνει τα πράγματα». Και τελικά θα φεύγαμε μακριά αν μετρούσε προσεχτικά τις ποσότητες για τα συστατικά, τις ανακάτευε σε ένα μπολ, τα έβαζε στο φούρνο, τα έψηνε στο φούρνο του. Τα αποτελέσματα δε θα είχαν καμία σχέση με την αρχική ιδέα ότι θα μπορούσε να παραχθεί ένα κέικ με φυσικές διαδικασίες.

Το πείραμα που ανέφερε το 1952 ο Stanley Miller κατάπληξε τον κόσμο. Όπως πρόθυμα εξήγησε ο Miller, το πείραμα δεν ήταν το πρώτο που προσπάθησε. Προηγούμενα είχε συναρμολογήσει κάπως διαφορετικά τις συσκευές του με ένα διαφορετικό τρόπο και είχε βρει ότι σχηματίστηκαν λίγα λίπη, όμως δεν υπήρχε κανένα αμινοξύ. Αφού τα αμινοξέα θα ήταν οι πιο ενδιαφέρουσες χημικές ουσίες που θα μπορούσε να βρει, ανατάρaxε λίγο τις συσκευές με την ελπίδα ότι θα τα βρει. Βέβαια, αν οι συνθήκες στην αρχαία γη, έμοιαζαν πραγματικά με τις συνθήκες της αποτυχημένης προσπάθειας του Miller, τότε δε θα παραγόντουσαν αμινοξέα.

Επιπλέον η ένωση πολλών αμινοξέων μεταξύ τους για να σχηματιστεί μια πρωτεΐνη που να κάνει κάποια χρήσιμη βιολογική λειτουργία, είναι πολύ περισσότερο δύσκολο χημικό πρόβλημα από ότι το να φτιάξεις αμινοξέα όπως στην πρώτη περίπτωση. Το μεγαλύτερο πρόβλημα για να γαντζωθούν μαζί δύο αμινοξέα είναι ότι, χημικά, περιλαμβάνει την αφαίρεση ενός μορίου νερού για κάθε αμινοξύ που ενώνεται στην αυξανόμενη πρωτεϊνική αλυσίδα. Το αντίστροφο, δηλ. η παρουσία του νερού, έντονα εμποδίζει τα αμινοξέα να σχηματίσουν πρωτεΐνες. Επειδή το νερό είναι τόσο άφθονο στη γη, και επειδή τα αμινοξέα έχουν την τάση να διαλύονται γρήγορα στο νερό, αναγκάστηκαν οι ερευνητές της προέλευσης της ζωής, να προτείνουν ένα ασυνήθιστο σενάριο για να ξεπεράσουν το πρόβλημα. Για παράδειγμα ένας επιστήμονας που ονομάζεται Sidney Fox, πρότεινε ότι ίσως κάποια από τα αμινοξέα να είχαν ξεπλυθεί από τον πρωτόγονο ωκεανό, σε μια πολύ ζεστή επιφάνεια, όπως στην άκρη ενός ενεργού ηφαιστείου. Όπως, συνεχίζεται η ιστορία, θα θερμαινότουσαν πάνω από το σημείο βρασμού του νερού, και καθώς εξαφανίστηκε το νερό, τα αμινοξέα θα μπορούσαν να συνενωθούν. Δυστυχώς, οι άλλοι ερευνητές είχαν δείξει νωρίτερα ότι η θέρμανση ξερών αμινοξέων θα έδινε μια βρωμερή, μαύρη πίσσα, όμως δε δίνουν πρωτεΐνες. Ο Fox όμως, έδειξε ότι αν ένα υπερβολικά μεγάλο μερίδιο από ένα από τρία διαφορετικά αμινοξέα προστεθεί σε ένα μείγμα από καθαρισμένα αμινοξέα και θερμανθεί σε ένα εργαστηριακό φούρνο, τότε τα αμινοξέα ενώνονται. Όμως ακόμη και αν ενωθούν δε θα ενωθούν για να δώσουν πρωτεΐνες — οι δομές που σχηματίζονται είναι χημικά διαφορετικές. Έτσι ο Fox και οι συνεργάτες του ονόμασαν τις δομές «πρωτεΐνοειδή», και συνέχισαν

με το να δείξουν ότι τα πρωτεϊνοειδή έχουν ενδιαφέρουσες ιδιότητες, στις οποίες περιλαμβάνονται μέτριες καταλυτικές ικανότητες, που μας θυμίζουν πραγματικές πρωτεΐνες. Η επιστημονική κοινότητα έμεινε βαθιά σκεπτικιστική για αυτά τα πειράματα. Όπως με το φανταστικό μα φούρναρη, μια βαριά μυρωδιά από εμπλοκή των ερευνητών κρέμεται πάνω από τα πρωτεϊνοειδή. Οι ειδικές συνθήκες που απαιτούνται για να τα κάνουν —ζεστές, ξερές συνθήκες (που δυνατόν να αναπαριστούν σπάνια σημεία όπως στεφάνες ηφαιστειών) με ακριβείς ποσότητες από αμινοξέα που έχουν ήδη καθαριστεί και ζυγιστεί εκ των προτέρων— ρίχνει μαύρες σκιές για το αν έχουν σημασία αυτά τα πειράματα. Το χειρότερο, επειδή τα πρωτεϊνοειδή δεν είναι πραγματικές πρωτεΐνες, παραμένει το πρόβλημα της παραγωγής αυθεντικών πρωτεϊνών. Στο βιβλίο του όπου κάνει μια ανασκόπηση των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι θεωρίες για την προέλευση της ζωής, ο Ρόμπερτ Σαπίρο σημειώνει ότι το έργο για τα πρωτεϊνοειδή, έχει παράγει μια εκπληκτική ομοφωνία απόψεων:

[η θεωρία των πρωτεϊνοειδών] έλκυσε αρκετούς να διατυπώσουν βίαιες κριτικές, από τον χημικό Stanley Miller...μέχρι το δημιουργιστή Duane Gish. Δεν υπάρχει καμία άλλη θεωρία για την προέλευση της ζωής όπου μπορούμε να βρούμε μια αρμονία μεταξύ εξελικτικών και Δημιουργιστών όσο στην αντίθεση στα πειράματα του Sidney Fox.⁸³

Άλλοι ερευνητές έχουν προτείνει μερικούς άλλους τρόπους με τους οποίους τα αμινοξέα θα μπορούν να συνενωθούν για να δώσουν πρωτεΐνες. Όλοι υποφέρουν από πάνω - κάτω τα ίδια προβλήματα που βασανίζουν τα πρωτεϊνοειδή, και κανένα δεν βρήκε μεγάλη υποστήριξη από την επιστημονική κοινότητα.

Ο ΚΟΣΜΟΣ ΤΟΥ RNA

Στα 1980 ένας επιστήμονας που ονομαζόταν Thomas Cech έδειξε ότι κάποιο RNA έχει μέτριες ικανότητες για κατάλυση.⁸⁴ Επειδή το RNA αντίθετα από τις πρωτεΐνες μπορεί να δράσει ως ένα καλούπι και έτσι έχει τη δυνατότητα να γίνει καταλύτης του δικού του διπλασιασμού, προτάθηκε ότι το RNA—και όχι η πρωτεΐνη—ήταν το ξεκίνημα της ζωής στη γη. Αφού ανακοινώθηκε το έργο του Cech, διάφοροι ενθουσιώδεις παρατηρητές, φανταστήκαν ότι υπήρξε κάποια εποχή που ο κόσμος ήταν μουσκεμένες με RNA καθώς όδευε για το δρόμο προς τη ζωή· αυτό το μοντέλο πήρε το παρατσούκλι «ο κόσμος του RNA». Δυστυχώς η αισιοδοξία που περίβαλε τον κόσμο του RNA, αγνοεί τη γνωστή χημεία. Σε πολλούς τρόπους ο οπαδός τους κόσμου του RNA μας θυμίζει το φαινόμενο Stanley Miller κατά τη δεκαετία του 1960: η ελπίδα παλεύει γενναία ενάντια στα πειραματικά δεδομένα.

Το να φανταστούμε ένα ρεαλιστικό σενάριο με το οποίο οι φυσικές διαδικασίες μπορεί να έχουν κάνει τις πρωτεΐνες σε μια προβιωτική γη—αν και είναι κάτι εξαιρετικά δύσκολο—είναι σαν να περπατάς μέσα σε ένα πάρκο σε σύγκριση με το να φανταστούμε το σχηματισμό νουκλεϊκών οξέων όπως το RNA. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι ότι κάθε νουκλεοτίδιο είναι μια «οικοδομική μονάδα» και το ίδιο κατασκευάζεται από διάφορα συστατικά, και οι διαδικασίες που σχηματίζουν τα συστατικά είναι χημικά ασυμβίβαστες. Αν και ο χημικός μπορεί να δημιουργεί νουκλεοτίδια με ευκολία στο εργαστήριο με το να συνθέσει κάθε

⁸³ Shapiro, R (1986) *Origins: A Skeptic's Guide to the Creation of Life on Earth*, Su.,ot Bppls, New York. P. 192

⁸⁴ Ο Cech κέρδισε το βραβείο Νόμπελ για το έργο του. Στο κείμενο της απονομής αναφέρεται η επίδραση του Cech στις μελέτες για την προέλευση της ζωής. Ο ίδιος όμως ο Cech σπάνια αναφέρει την προέλευση της ζωής σε σχέση με το έργο του.

συστατικό χωριστά, να τα καθαρίσει, και μετά να τα συνδέσει καθώς αλληλεπιδρούν το ένα με το άλλο, όμως οι μη κατευθυνόμενες χημικές αντιδράσεις κατά συντριπτική πλειοψηφία παράγουν ανεπιθύμητα προϊόντα και μια άμορφη βρώμα στον πάτο του δοκιμαστικού σωλήνα. Ο Τζέραλντ Τζόις και ο Λέσλι Όργκελ—δύο επιστήμονες που είχαν εργαστεί για πολύ και σκληρά στο πρόβλημα της προέλευσης της ζωής—ονομάζουν το RNA «ο προβιοτικός εφιάλτης του χημικού». Είναι κτηνωδώς ειλικρινείς:

Οι επιστήμονες που ενδιαφέρονται για την προέλευση της ζωής φαίνεται ότι είναι διαιρεμένοι σε δύο κατηγορίες. Στη πρώτη, συνήθως αλλά όχι σχεδόν πάντα, οι μοριακοί βιολόγοι, πιστεύουν ότι το RNA θα πρέπει να ήταν το πρώτο μόριο που είχε διπλασιαστεί και ότι οι χημικοί υπερέβαλαν τις δυσκολίες της σύνθεσης των νουκλεοτιδίων. ... Η δεύτερη ομάδα των επιστημόνων είναι πολύ περισσότερο απαισιόδοξοι. Πιστεύουν ότι η εξ αρχής (de novo) εμφάνιση των ολιγονουκλεοτιδίων στην πρωτόγονη γη θα ήταν σχεδόν ένα θαύμα. (Οι συγγραφείς υπογράφουν την τελευταία άποψη). Ο χρόνος θα μας δείξει ποιος έχει δίκιο.⁸⁵

Ακόμη και αν γινόταν η σα θαύμα σύμπτωση και παραγόταν το RNA, οι Τζόις και Όργκελ δε βλέπουν παρά προβλήματα και σένα τμήμα του άρθρου με τον τίτλο «Άλλο ένα παράδοξο της κότας και του Αυγού» έχουν γράψει τα ακόλουθα:

Αυτή η συζήτηση... έχει κατά κάποια έννοια επικεντρωθεί σε έναν αχυράνθρωπο: το μύθο ενός αυτοδιπλασιαζόμενου μορίου RNA που εμφανίστηκε de novo από μια σούπα με τυχαία πολυνουκλεοτίδια. Δεν είναι μόνο αυτή η έννοια μη ρεαλιστική με βάση τη σύγχρονη μας κατανόηση της προβιοτικής χημείας, αλλά θα κάνει ακόμη πιο δύσκολη την πιστευτότητα για την άποψη του αισιόδοξου ότι το RNA έχει καταλυτική δυνατότητα ... Χωρίς την εξέλιξη μας φαίνεται απίθανο ότι μπορούσε να εμφανιστεί ένα αυτο-διπλασιαζόμενο ριβόζυμο, αλλά χωρίς αυτοδιπλασιασμό δεν υπάρχει τρόπος να διεξαχθεί μια εξελικτική έρευνα για το πρωτόγονο ριβόζυμο που διπλασιάζεται.⁸⁶

Με άλλα λόγια, δε θα έφτανε το θαύμα που παρήγαγε χημικά ένα πλήρες RNA. Αφού η μεγάλη πλειοψηφία των RNA δεν έχουν χρήσιμες καταλυτικές ιδιότητες, θα χρειαζόταν μια δεύτερη σύμπτωση – θαύμα, για να έχουμε το σωστό χημικά πλήρες RNA.

Υπάρχει ένα βαρύ πρόβλημα για τη χημεία της προέλευσης της ζωής: είναι ο σκοτωμός στο δρόμο, που συζητήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Όπως δεν υπάρχει ένα απόλυτο φράγμα που θα εμπόδιζε ένα σκαντζόχοιρο να διασχίσει μια λεωφόρο με χίλιες λωρίδες κατά την ώρα αιχμής, έτσι δεν υπάρχει κανένα απόλυτο φράγμα για την παραγωγή των πρωτεϊνών, των νουκλεϊκών οξέων, ή οποιασδήποτε χημικής ουσίας με φυσικές χημικές διαδικασίες που θα μπορούσαμε να φανταστούμε· όμως είναι αβάσταχτη αυτή η σφαγή στη λεωφόρο. Η λύση για κάποιους προβιοτικούς χημικούς είναι απλή. Αφήνουν χίλιους σκαντζόχοιρους από τη μια πλευρά του δρόμου, και παρατηρούν αυτό που καταφέρνει να περάσει την πρώτη γραμμή. Μετά φορτώνουν στο ελικόπτερο χίλιους ακόμη σκαντζόχοιρους και τα πετάνε στην αρχή της δεύτερης λωρίδας, και τα αφήνουν στη λεωφόρο. Όταν

⁸⁵ Joyce, G. E., and Orgel, L. E. (1993) "Propsects for Understanding the Origin of the RNA World" in *The RNA World*, ed. R. F. Gesteland and J.F. Atkins, Cold Spring Harbor Laboratory Press Cold Spring Harbor, NY, p. 19.

⁸⁶ Joyce and Orgel, p. 13

επιβιώνει ένα καθώς διασχίζει τη δεύτερη προς την τρίτη λωρίδα, μεταφέρουν με το ελικόπτερο ακόμη χίλια στη λωρίδα τρία. Οι οπαδοί του κόσμου RNA, που ξεκινούν τα πειράματά τους με μακριά, καθαρισμένα, και συντεθειμένα από ερευνητές RNA, πετάνε τους σκαντζόχειρους στη λωρίδα 700 και παρατηρούν καθώς περνάνε ένα στη λωρίδα 701. Είναι μια γενναία προσπάθεια, αλλά ποτέ δε φθάνουν στην άλλη πλευρά, η νίκη δεν έχει αξία.

Οι επιστήμονες που εργάζονται στην προέλευση της ζωής αξίζουν ένα μεγάλο έπαινο· έχουν προσεγγίσει το πρόβλημα με πειράματα και υπολογισμούς, όπως θα έπρεπε να κάνουν οι επιστήμονες. Αν και τα πειράματα δεν απέδωσαν αυτά που αναμένονται, μέσα από αυτές τις προσπάθειες έχουμε μια ξεκάθαρη ιδέα για τις εκπληκτικές δυσκολίες που θα αντιμετώπιζε η προέλευση της ζωής με φυσικές χημικές διαδικασίες.

Σε ιδιωτικές συζητήσεις οι επιστήμονες παραδέχονται ότι δεν έχουν εξηγήσεις για την εμφάνιση της ζωής.⁸⁷ Από την άλλη, πολλοί επιστήμονες θεωρούν ότι δεδομένης της προέλευσης της ζωής, είναι εύκολο να φανταστούμε την επακόλουθη εξέλιξη, παρόλες τις μεγάλες δυσκολίες που έχουν παρουσιαστεί περιληπτικά σ' αυτό το βιβλίο. Η αιτία για αυτές τις παράξενες περιστάσεις είναι ότι ενώ οι χημικοί προσπαθούν να ελέγξουν τα σενάρια για την προέλευση της ζωής με πειράματα ή υπολογισμούς, οι εξελικτικοί βιολόγοι δεν κάνουν καμία προσπάθεια για να ελέγξουν τα εξελικτικά σενάρια στο μοριακό επίπεδο με πειράματα ή υπολογισμούς. Το αποτέλεσμα είναι, ότι η εξελικτική βιολογία έχει κολλήσει στο ίδιο νοητικό πλαίσιο που κυριαρχούσε στις μελέτες της προέλευσης της ζωής στις αρχές της δεκαετίας του πενήντα, πριν να γίνουν τα περισσότερα πειράματα: άγρια φαντασία. Η βιοχημεία, έχει πράγματι αποκαλύψει ένα μοριακό κόσμο που αντιστέκεται γενναία στην εξήγηση που για τόσο μακρό διάστημα έχει εφαρμοστεί σε ολόκληρο τον οργανισμό. Ούτε το ένα ούτε το άλλο από τα σημεία έναρξης του Δαρβίνου—η προέλευση της ζωής, η προέλευση της όρασης— δεν έχουν εξηγηθεί από τη θεωρία. Ο Δαρβίνος ποτέ δεν φανταζόταν την εξαιρετική και βαθιά πολυπλοκότητα που υπάρχει ακόμη και στα πιο βασικά επίπεδα της ζωής.

Στη διάρκεια των ετών που υπάρχει το *Journal of Molecular Evolution* έχει δημοσιεύσει έρευνες που αφορούν πολλά ερωτήματα για την προέλευση της ζωής, όπως τις ακόλουθες: Θα μπορούσαν να παραχθούν άλλα αμινοξέα που δεν βρέθηκαν από τον Miller; Τι θα συνέβαινε αν κυριαρχούσε το διοξείδιο του άνθρακα στην αρχέγονη γη και όχι το μεθάνιο; Θα μπορούσαν άλλα νουκλεοτίδια και όχι τα σύγχρονα να έχουν ξεκινήσει τη ζωή; Τέτοια ερωτήματα έχουν συζητηθεί σε άρθρα του *JME* με τίτλους όπως «Προβιοτική σύνθεση σε Ατμόσφαιρες που περιέχουν CH₄, CO και CO₂»⁸⁸ «Ραδιόλυση των υδατικών διαλυμάτων του Υδροκυανίου (pH 6): Ενδιαφέρουσες χημικές ενώσεις που αφορούν τις μελέτες της Χημι-

⁸⁷ Αν και πολλές διατυπώσεις μέσα στα περιοδικά της ίδιας της επιστημονικής κοινότητας φαίνονται πεσιμιστικά, οι δημόσιες ανακοινώσεις προς τα μέσα ενημέρωσης έχουν την τάση να είναι της μορφής «όλα είναι υπό έλεγχο». Ο καθηγητής της ρητορικής του Πανεπιστημίου της Μέμφις John Angus Campbell έχει παρατηρήσει ότι «τεράστια ιδρύματα ιδεών — όπως ο θετικισμός—δεν πεθαίνουν ποτέ στην πραγματικότητα. Οι σκεπτόμενοι άνθρωποι τις παρατούν σιγά – σιγά και αν και τις κοροϊδεύουν μεταξύ τους, όμως κρατούνε τα πειστικά χρήσιμα μέρη για να φοβίσουν αυτούς που δεν είναι πληροφορημένοι.» Campbell, J. A. (1994) “Το κωμικό πλαίσιο και η Ρητορική της Επιστήμης: Επιστημολογία και Ηθική στην *Προέλευση των Ειδών* του Δαρβίνου (The Comic Frame and the Rhetoric of Science: Epistemology and Ethics in Darwin's *Origin*,” *Rhetoric Society Quarterly*, 24, 27-50. Αυτό σίγουρα εφαρμόζεται στο τρόπο που η επιστημονική κοινότητα χειρίζεται τα ζητήματα της προέλευσης της ζωής.

⁸⁸ Schlesinger, G. and Miller, S. I., (1983) Prebiotic Syntheses in Atmospheres Containing CH₄, CO and CO₂” *Journal of Molecular Evolution*, 19, 376-382.

κής Εξέλιξης»⁸⁹ «Εναλλακτικές βάσεις στον κόσμο RNA: Η προβιοτική σύνθεση της Ουραζόλης και των Ριβοζιδίων»⁹⁰ και «Κυκλοποίηση των Νουκλετιδικών Ανάλογων ως ένα εμπόδιο στο Πολυμερισμό.»⁹¹ Αυτά είναι ενδιαφέροντα ερωτήματα για τους επιστήμονες, όμως δε θα δίνουν απάντηση στην πρόκληση προς την εξέλιξη από τη θρόμβωση του αίματος, την κυτταρική μεταφορά ή την καταπολέμηση των ασθενειών.

ΤΑ ΑΡΘΡΑ ΠΟΥ ΛΕΙΠΟΥΝ

Η δεύτερη κατηγορία των άρθρων που βρίσκονται συνήθως στο *Journal of Molecular Evolution*, και που καλύπτουν περίπου 5 τοις εκατόν επί του συνόλου, αφορούν τα μαθηματικά μοντέλα της εξέλιξης ή νέες μαθηματικές μεθόδους για τη σύγκριση και ερμηνεία των δεδομένων για τις ακολουθίες. Αυτό συμπεριλαμβάνει άρθρα με τίτλους όπως «Μια Εξαγωγή όλων των Γραμμικών Αναλλοίωτων για το Μη εξισορροπημένο Εγκάρσιο Μοντέλο»⁹², και «Προσομοίωση Μόντε Κάρλο στις φυλογενέσεις» Μια εφαρμογή στον Έλεγχο της Σταθερότητας στους Εξελικτικούς Ρυθμούς»⁹³ Αν και είναι χρήσιμα για την κατανόηση του πως οι βαθμιαίες διαδικασίες συμπεριφέρονται χρονικά, τα μαθηματικά υποθέτουν ότι η εξέλιξη είναι μια βαθμιαία τυχαία διαδικασία· δεν (και δεν μπορούν) το αποδεικνύουν.

Η μεγαλύτερη κατηγορία των άρθρων που δημοσιεύονται στο *JME*, και περιλαμβάνει περίπου τα 80 τοις εκατόν από όλες τις εργασίες, είναι οι συγκρίσεις των ακολουθιών. Μια σύγκριση ακολουθιών είναι μια σύγκριση αμινοξυ προς αμινοξύ για δύο διαφορετικές πρωτεΐνες, ή νουκλεοτίδιο προς νουκλεοτίδιο για δύο διαφορετικά κομμάτια DNA, και σημειώνονται οι θέσεις όπου είναι όμοια ή ταυτόσημα, και τις θέσεις που δεν είναι.

Όταν οι μέθοδοι αναπτύχθηκαν στη δεκαετία του 1950 για να καθοριστούν οι ακολουθίες των πρωτεϊνών, έγινε δυνατόν να συγκριθούν η ακολουθία μιας πρωτεΐνης με μια άλλη.

Ένα ερώτημα που αμέσως ρωτήθηκε ήταν αν ανάλογες πρωτεΐνες σε διάφορα είδη, όπως η ανθρώπινη αιμοσφαιρίνη και η αιμοσφαιρίνη του ίππου, είχαν την ίδια ακολουθία αμινοξέων. Η απάντηση δημιούργησε μεγάλο ενδιαφέρον: Τα αμινοξέα ήταν τα ίδια σε 129 από τις 146 θέσεις σε μια από τις αλυσίδες των πρωτεϊνών της αιμοσφαιρίνης, όμως ήταν διαφορετικά στις υπόλοιπες θέσεις. Όταν έγιναν διαθέσιμες οι ακολουθίες των αιμοσφαιρινών στους πιθήκους, κότες, βατράχια, οι ακολουθίες τους συγκρίθηκαν με την ανθρώπινη αιμοσφαιρίνη και το ένα είδος με το άλλο. Η αιμοσφαιρίνη του πιθήκου είχε 5 διαφορές σε σχέση με του ανθρώπου, οι κότες είχαν 26 διαφορές και τα βατράχια είχαν 46 διαφορές. Αυτές οι ομοιότητες μας έδειχναν πολλά. Πολλοί ερευνητές συμπέραναν ότι παρόμοιες ακολουθίες υποστηρίζουν ισχυρά έναν κοινό πρόγονο.

Για το μεγαλύτερο μέρος, δείχτηκε ότι ανάλογες πρωτεΐνες από τα είδη που ήδη θεωρήθηκαν ότι ήταν συγγενικά (όπως τον άνθρωπο και το χιμπατζή, ή μεταξύ πάπιας και κότας) είχαν αρκετά όμοιες ακολουθίες, και πρωτεΐνες από είδη που θεωρήθηκαν ότι είχαν μακρινή συγγένεια (όπως το skunk και το skunk cabbage) δεν ήταν και πολύ όμοια, και η συ-

⁸⁹ Niketic, V., Draganic, Z. D., Neskovic, S., Jovanovic, S., and Draganic I. G, (1983) "Radiolysis of Aqueous Solutions of Hydrogen Cyanide (pH 6). Compounds of Interest in Chemical Evolution Studies," *Journal of Chemical Evolution*, 19, 184-191

⁹⁰ Kolb, V.M. Dworkn, JI Pl, and Miller, S. L. (1994) "Alternative Bases in the RNA World: The Prebiotic Synthesis of Urazole and Its Ribosides," *Journal of Molecular Evolution*, 38, 549-557

⁹¹ Hill, A. R., Jr., Nord, L.D., Orgel, L.E. , and Robins, R. K (1989) "Cyclization of Nucloetide Analogues as an Obstacle to Polymerization," *Journal of Molecular Evolution*, 28, 170-171

⁹² Nguyen, Il, and Speed, T.E. (1992) "A Derivation of AllLinear Invariants fo a Nonobalanced Transversion Model," *Journal of Molecular Evolution*, 35, 60-76

⁹³ Adell, J. C., and Dopazo, J. (1994) "Monte Carlo Simulation in Phylogenetics. An Application to Test the Constancy of Evolutionary Rates," *Journal of Molecular Evolution*, 38, 305-309

σχέτιση ήταν αρκετά καλή. Οι Emile Zuckerkandl και Linus Pauling πρότειναν τότε τη θεωρία του μοριακού ρολογιού, που μας λέγει ότι η συσχέτιση προκαλείται από πρωτεΐνες που συσσωρεύουν με το χρόνο μεταλλάξεις. Μετά την πρόταση του το μοριακό ρολόι έχει συζητηθεί έντονα, και σε πολλές περιπτώσεις διάφορα θέματα που το περιβάλλουν συζητούνται ακόμη έντονα. Γενικά παραμένει μια ζωντανή δυνατότητα.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970, έγιναν διαθέσιμες γρήγορες και εύκολες μέθοδοι για να βρίσκουν τη σειρά νουκλεοτιδίων του DNA. Έτσι ένας θα μπορούσε να μελετήσει όχι μόνο τη σειρά των πρωτεϊνών αλλά επίσης και το γονίδιο για την πρωτεΐνη και για το DNA που περιβάλλει το γονίδιο και που περιείχε περιοχές ελέγχου και άλλα χαρακτηριστικά. Τα γονίδια από ανώτερους οργανισμούς φάνηκε να περιέχει διακοπές (τα ίντρους) στις ακολουθίες κωδικοποίησης. Μερικά γονίδια περιέχουν δωδεκάδες από ίντρους· άλλα γονίδια έχουν μόνο ένα ή δύο. Έτσι ένας βιοχημικός θα μπορούσε να δημοσιεύσει συγκρίσεις των ακολουθιών στα ίντρους στα γονίδια και τις ακολουθίες στα ίντρους των γονιδίων από διάφορα είδη, όπως και σε μελέτες στον ολικό αριθμό των ίντρους, τις σχετικές τους θέσεις στις ακολουθίες, τα μήκη και η σύνθεση των βάσεων, και δωδεκάδες άλλοι παράγοντες. Μπορούσαν να συγκριθούν κι άλλες πλευρές της γενετικής «συσκευής»: οι πρωτεΐνες των γονιδίων σχετικά με άλλα γονίδια, η συχνότητα με την οποία ένας τύπος νουκλεοτιδίου βρισκόταν δίπλα σε ένα άλλο, και ο αριθμός των χημικά αλλαγμένων νουκλεοτιδίων και ούτω καθ' εξής. Πάρα πολλά τέτοια άρθρα έχουν δημοσιευτεί με το πέρασμα του χρόνου στο *Journal of Molecular Evolution*, συμπεριλαμβανομένων των «εξέταση των Ομολόγων των Πρωτεϊνικών Ακολουθιών: IV, είκοσι-εφτά βακτηριακές Φερεντοξίνες,»⁹⁴ «Εξέλιξη των γονιδίων α – και β - Τουμπουλίνης όπως εξάγεται από τις ακολουθίες Νουκλεοτιδίων των κλώνων του cDNA του αχινού»,⁹⁵ «Φυλογένεση των Πρωτόζωων που εξάγεται από τις ακολουθίες 5S rRNA»⁹⁶ και «Κατεύθυνση Ουρά προς Ουρά των γονιδίων Άλφα και Βήτα σφαιρινών του Σολωμού του Ατλαντικού.»⁹⁷

Αν και είναι χρήσιμα για τον καθορισμό των δυνατών γραμμών καταγωγής, που είναι και αυτό ένα ενδιαφέρον ερώτημα από μόνο του, η σύγκριση των ακολουθιών δεν μπορεί να δείξει πως απέκτησε ένα περίπλοκο βιοχημικό σύστημα τη λειτουργία του —το ερώτημα που μας ενδιαφέρει πιο πολύ απ' όλα αυτό το βιβλίο.⁹⁸ Κατ' αναλογία, τα εγχειρίδια οδηγιών για δύο διαφορετικά μοντέλα του ηλ. υπολογιστή, που τα παρήγαγε η ίδια εταιρία μπορούν να έχουν παρόμοιες λέξεις, φράσεις και ακόμη και παραγράφους, και υποδεικνύει έναν κοινό πρόγονο (ίσως τον ίδιο συγγραφέα που έγραψε και τα δύο εγχειρίδια), αλλά

⁹⁴ Otake, El, and Ooi, T. (1987) "Examination of Protein Sequence Homologies: IV Twenty-Seven Bacterial Ferredoxins," *Journal of Molecular Evolution*, 26, 257-268

⁹⁵ Alexandrakl, DI, and Ruderman, J. V. (1983) "Evolution of α and β 0 Tubulin Gees as Inferred by the Nuclo-tide Sequences of Sea Urchin cDNA clones," *Journal of Molecular Evolution*, 19, 397-410

⁹⁶ Kamazaki, T., Hori, H., and Osawa, S. (1983) :Phylogeny of Protozoa Deduced from 5S rRNA Sequences," *Journal of Molecular Evolution*, 19, 411-419

⁹⁷ Wagner, A., Deryckere, F., McMorro, T., and Gannon, F.(1994) "Tail and Tail Orientation of the Atlantic Salmon Alpha and Beta- Globin Genes," *Journal of Molecular Evolution*, 38, 28-35

⁹⁸ Πραγματικά μερικές από τις πρωτεΐνες που έχουν συζητηθεί σ' αυτό το βιβλίο έχουν ακολουθίες με σχήματα όμοια με άλλες πρωτεΐνες. Για παράδειγμα, τα αντισώματα έχουν σχήματα όμοια με μια πρωτεΐνη που ονομάζεται υποροξειδιο δισμουτάση, που βοηθά να προστατεύει το κύτταρο ενάντια σε ζημιές από το οξυγόνο. Και η ροδοψίνη που χρησιμοποιείται στην όραση, είναι όμοια με μια πρωτεΐνη που βρίσκεται στα βακτήρια, και ονομάζεται βακτηριο-ροδοψίνη, που συμβάλει στην παραγωγή ενέργειας. Παρόλα αυτά, οι ομοιότητες δε μας λένε τίποτε για το πώς η όραση ή το ανοσοποιητικό σύστημα θα μπορούσαν να αναπτυχθούν βήμα προς βήμα. Ένας θα έλπιζε ότι το να βρεθούνε πρωτεΐνες με όμοιες ακολουθίες θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια πρόταση μοντέλων για το πως μπορεί να εξελίχθηκαν τα περίπλοκα βιοχημικά συστήματα. Αντίστροφα, το γεγονός ότι τέτοιες συγκρίσεις των ακολουθιών δε βοηθούν στο να κατανοήσουμε την προέλευση των περίπλοκων βιοχημικών συστημάτων, βαρύνει πολύ εναντίον της θεωρίας μιας βαθμιαίας εξέλιξης.

συγκρίνοντας τις ακολουθίες των γραμμάτων στα εγχειρίδια των οδηγιών ποτέ δε θα μας πούνε αν ο υπολογιστής μπορεί να έχει παραχθεί βήμα προς βήμα ξεκινώντας από μια γραφομηχανή.

Τα τρία γενικά θέματα των άρθρων που δημοσιεύονται από το *JMF* — η προέλευση της ζωής, τα μαθηματικά μοντέλα της εξέλιξης και η ανάλυση των ακολουθιών — έχουν συμπεριλάβει πολλές δύσκολες, και πολύ μελετημένες μελέτες. Τέτοιο πολύτιμο και ενδιαφέρον έργο έρχεται σε αντίθεση με το μήνυμα αυτού του βιβλίου; Καθόλου. Για να πούμε ότι η Δαρβινική Εξέλιξη δεν μπορεί να εξηγήσει τα πάντα στη φύση δε σημαίνει ότι η εξέλιξη, οι τυχαίες μεταλλάξεις και η φυσική επιλογή δε συμβαίνουν· έχουν παρατηρηθεί (τουλάχιστο ως μικροεξέλιξη) σε διάφορες περιπτώσεις. Όπως η ανάλυση των ακολουθιών, πιστεύω ότι η ένδειξη υποστηρίζει κατά ένα ισχυρό τρόπο έναν κοινό πρόγονο. Όμως η βασική ερώτηση παραμένει χωρίς απάντηση. Τι έχει προκαλέσει το σχηματισμό των περίπλοκων συστημάτων; Κανείς δεν έχει εξηγήσει με λεπτομερειακή επιστημονική μέθοδο πως οι μεταλλάξεις και η φυσική επιλογή θα μπορούσαν να δημιουργήσουν τις περίπλοκες και δυσνόητες δομές που έχουν συζητηθεί σ' αυτό το βιβλίο.

Πράγματι κανένα από τα άρθρα που δημοσιεύτηκαν στο *JME* σε όλα τα χρόνια που εκδίδεται ως περιοδικό, δεν έχει καν προτείνει ένα λεπτομερειακό μοντέλο με το οποίο ένα περίπλοκο βιοχημικό σύστημα θα μπορούσε να είχε παραχθεί σε μια βήμα προς βήμα Δαρβινική πορεία. Αν και πολλοί επιστήμονες ρωτούν πως μπορούν να μεταβληθούν οι ακολουθίες, ή το πως οι χημικές ουσίες που είναι αναγκαίες για τη ζωή μπορεί να έχουν παραχθεί έξω από το κύτταρο, ούτε ένας έχει ρωτήσει στις σελίδες του *JME* ένα ερώτημα όπως τα ακόλουθα: Πώς μπόρεσε να αναπτυχθεί το κέντρο της φωτοσυνθετικής αντίδρασης; Πώς άρχισε να υπάρχει η ενδοκυτταρική μεταφορά ουσιών; Πώς άρχισε η βιοσύνθεση της χοληστερίνης; Μόνο το γεγονός ότι δεν έχουν ασχοληθεί με κανένα από αυτά τα προβλήματα, ούτε και βέβαια κανένα τους δεν έχει λυθεί, είναι μια πολύ ισχυρή ένδειξη ότι ο Δαρβινισμός είναι ένα ανεπαρκές πλαίσιο για κατανόηση των περίπλοκων βιοχημικών συστημάτων.

Για να αναληφθούν τα ερωτήματα που ηγέρθηκαν σ' αυτό το βιβλίο, ένας θα πρέπει να βρει άρθρα με τίτλους όπως «Δώδεκα ενδιάμεσα βήματα που οδηγούν στο Βακτηριακό Φωτοσυνθετικό κέντρο Αντιδράσεων», «Ένας πρωτο-κροσσός θα μπορούσε να δημιουργήσει αρκετή ισχύ για να στρέψει ένα κύτταρο κατά δέκα μοίρες.» , «Ενδιάμεσα στη Βιοσύνθεση της Αδενοσίνης μιμείται αποτελεσματικά την ίδια την Αδενοσίνη στη λειτουργία του RNA», και «Ένας πρωτόγονος θρόμβος κατασκευασμένος από τυχαία διατεταγμένες ίνες θα εμπόδιζε την κυκλοφορία σε φλέβες μικρότερες από 0,3 χιλιοστά». Όμως τα άρθρα λείπουν, Τίποτε που έστω και να έχει μια μακρινή ομοιότητα δεν έχει ποτέ δημοσιευτεί.

Ίσως θα μπορούσαμε να κατανοήσουμε γιατί τα λεπτομερή μοντέλα λείπουν από το *JME* με το να ρωτήσουμε με τι θα έμοιαζε μια πραγματική επιστημονική έρευνα της ποντικοπαγίδας από έναν ενθουσιώδη νέο επιστήμονα. Θα έπρεπε πρώτα να σκεφτεί για ένα πρόδρομο της σύγχρονης ποντικοπαγίδας, μιας που ήταν απλούστερη. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι θα άρχιζε με μια ξύλινη πλατφόρμα; Όχι, αυτή δε θα έπιανε ποντίκια. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι θα άρχιζε με μια σύγχρονη ποντικοπαγίδα που θα είχε μια πιο κοντή ράβδο στήριξης; Όχι, αν η ράβδος ήταν πολύ κοντή δε θα έφθανε στο πιάσιμο, και η παγίδα θα πετιώταν χωρίς να δίνει κάτι το χρήσιμο ενώ θα την κρατούσε στα χέρια του. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι θα ξεκινούσε με μια μικρότερη παγίδα; Όχι, αυτή δε θα εξηγούσε την πολυπλοκότητα. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα τμήματα αναπτύχθηκαν ανεξάρτητα για άλλες λειτουργίες — όπως ένα γλειφιτζούρι για πλατφόρμα, ένα ελατήριο ρολογιού για το ελατήριο της παγίδας, κοκ — και μετά τυχαία συναρμολογήθηκαν; Όχι, οι προηγούμενες

τους λειτουργίες θα τα καθιστούσαν άχρηστα στο να πιάσουν ποντίκια, και θα έπρεπε να εξηγήσουμε πως βαθμιαία αναπτύχθηκαν σε ποντικοπαγίδα. Καθώς θα ερχόταν σε λίγο καιρό η κρίση για μια μόνιμη θέση στο πανεπιστήμιο, ένας έξυπνος νέος επιστήμονας θα άλλαζε τα ενδιαφέροντα του σε κάτι που θα ήταν πιο βατό.

Οι προσπάθειες για να εξηγηθεί η εξέλιξη των υψηλά εξειδικευμένων, μη αναγώγιμα περίπλοκων συστημάτων— είτε αυτό αφορά ποντικοπαγίδες είτε κροσσοί ή θρόμβους στο αίμα— με μια πορεία βήμα-βήμα δεν ήταν συνεπής, όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια. Κανένα επιστημονικό περιοδικό δε θα δημοσίευε άρθρα που δεν είχαν μια εσωτερική συνέπεια, και έτσι δε βρίσκονται μελέτες που ρωτάνε για λεπτομερειακές ερωτήσεις για τη μοριακή εξήγηση. Οι ιστορίες των Κάλβιν και Χομπς μπορούν να φτιάχνουν αγνοώντας κρίσιμες λεπτομέρειες, όπως έκανε ο Russell Doolittle όταν φαντάστηκε την εξέλιξη της θρόμβωσης του αίματος, όμως ακόμη και τέτοιες επιφανειακές προσπάθειες είναι σπάνιες. Πράγματι, οι εξελικτικές εξηγήσεις για συστήματα που δεν φαίνονται να είναι μη αναγώγιμα περίπλοκα, όπως ειδικοί δρόμοι μεταβολισμού, λείπουν από τη βιβλιογραφία. Οι αιτίες γι' αυτό φαίνεται να είναι παρόμοιες με την αιτία για την αποτυχία της προέλευσης της ζωής: μια αποπνιχτική πολυπλοκότητα στραγγαλίζει τέτοιες προσπάθειες.

ΨΑΧΝΟΝΤΑΣ ΨΗΛΑ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΑ

Υπάρχουν εικοσάδες περιοδικά που είναι αφιερωμένα σε βιοχημική έρευνα. Αν και το *JME* έχει άρθρα που ασχολούνται αποκλειστικά με τη μοριακή εξέλιξη υπάρχουν και άλλα περιοδικά που δημοσιεύουν κι αυτά τέτοιου είδους άρθρα, ανάμεσα σε άρθρα που αφορούν έρευνα σε άλλα θέματα. Ίσως, τότε είναι λάθος να βγάλουμε συμπεράσματα που να στηρίζονται σε μια επισκόπηση του *JME*. Ίσως άλλα μη εξειδικευμένα περιοδικά να δημοσιεύουν έρευνα στη προέλευση περίπλοκων βιοχημικών συστημάτων. Για να δούμε αν το *JME* ήταν απλώς το λάθος μέρος για ψάξιμο, ας ρίξουμε μια ματιά σε ένα πολύ περίβλεπτο περιοδικό που καλύπτει μια ευρεία περιοχή βιοχημικών θεμάτων: το περιοδικό *Proceedings of the National Academy of Sciences* (*PNAS*)

Μεταξύ του 1984 και 1994 το *PNAS* δημοσίευσε περίπου είκοσι χιλιάδες άρθρα, που στη μεγάλη τους πλειονότητα αφορούσαν της επιστήμης της ζωής. Κάθε χρόνο το περιοδικό συντάσσει ένα αλφαβητικό ευρετήριο στο οποίο καταλογραφεί τα άρθρα κάθε χρονιάς ανάλογα με την κατηγορία τους. Το ευρετήριο σου δείχνει ότι στα δέκα αυτά χρόνια, έχουν δημοσιευτεί περίπου 400 εργασίες που αφορούν τη μοριακή εξέλιξη.⁹⁹ Αυτό είναι περίπου το ένα τρίτο από τις εργασίες του *Journal of Molecular Evolution* που έχουν δημοσιευτεί στην ίδια χρονική περίοδο. Έχει αυξηθεί σημαντικά ο αριθμός των εργασιών που δημοσιεύονται ετησίως στο *PNAS*, φθάνοντας από 15 το 1984 σε περίπου 100 το 1994· προφανώς είναι μια περιοχή αύξησης. Όμως η μεγάλη πλειονότητα (περίπου 85 τοις εκατό) αφορά την ανάλυση ακολουθιών, όπως και οι πιο πολλές εργασίες στο *JME*, και προσπερνάνε το βασικό ερώτημα του «πώς». Περίπου τα 10 τοις εκατό των εργασιών για μοριακή εξέλιξη είναι μαθηματικές μελέτες—είτε νέες μέθοδοι για να καλυτερέψει η σύγκριση των ακολουθιών ή πολύ αφηρημένα μοντέλα. Δεν έχουν δημοσιευτεί εργασίες στο *PNAS* όπου να προτείνονται με λεπτομέρειες κάποιες πορείες μέσα από τις οποίες θα μπορούσαν να έχουν αναπτυχθεί οι βιοχημικές δομές. Η επισκόπηση και άλλων βιοχημικών περιοδικών δείχνει το ίδιο αποτέλεσμα: η μια ακολουθία μετά την άλλη, όμως δεν υπάρχει καμία εξήγηση.

⁹⁹ Έχω καταμετρήσει σ' αυτήν την κατηγορία εργασίες που έχουν τίτλους στο ευρετήριο του περιοδικού κάτω από τους τίτλους «Μοριακή Εξέλιξη», «Εξέλιξη των Πρωτεϊνών», και κάποια ποικίλα θέματα.

Ίσως αν δεν υπάρχουν απαντήσεις στα περιοδικά να μπορούμε να ψάξουμε σε βιβλία. Ο Δαρβίνος πρότεινε την επαναστατική του θεωρία σε ένα βιβλίο, το ίδιο έκανε και ο Νεύτων. Το πλεονέκτημα του βιβλίου είναι ότι δίνει στο συγγραφέα άφθονο χώρο για να αναπτύξει τις ιδέες του ή τις ιδέες της. Το να μπει μια νέα ιδέα στο πλαίσιο της, να παρουσιαστούν τα κατάλληλα παραδείγματα, το να εξηγηθούν πολλά βήματα με λεπτομέρειες, το να απαντηθούν πολλές αναμενόμενες αντιρρήσεις, — όλα αυτά μπορούν να χρειαστούν αρκετό χώρο. Ένα καλό παράδειγμα στη σύγχρονη εξελικτική βιβλιογραφία είναι ένα βιβλίο που ονομάζεται *Η Ουδέτερη Θεωρία της Μοριακής Εξέλιξης* υπό Μότου Κιμούρα.¹⁰⁰ Σ' αυτό το βιβλίο είχε το χώρο για να εξηγήσει την ιδέα του ότι οι πιο πολλές αλλαγές που συμβαίνουν στο DNA και στις πρωτεΐνες δεν επηρεάζουν τον τρόπο που κάνουν τη δουλειά τους, οι μεταλλάξεις είναι ουδέτερες. Ένα δεύτερο παράδειγμα είναι *Η Προέλευση της Τάξης* του Στιούαρτ Κάουφμαν¹⁰¹, που συζητά ότι οι προελεύσεις της ζωής, του μεταβολισμού, των γενετικών προγραμμάτων και των σχεδίων του σώματος, είναι όλα τους πέραν από τη Δαρβινική εξήγηση, όμως μπορεί να έχουν εμφανιστεί αυθόρμητα μέσα στην Αυτο-Οργάνωση. Ούτε το ένα ούτε το άλλο βιβλίο εξηγούν τις βιοχημικές δομές. Το έργο του Κιμούρα ασχολείται μόνο με ακολουθίες, και του Κάουφμαν είναι μια μαθηματική ανάλυση. Ίσως σε κάποια βιβλιοθήκη του κόσμου να υπάρχει ένα βιβλίο που να μας λέει πως ήρθαν στην ύπαρξη κάποιες ειδικές βιοχημικές δομές.

Δυστυχώς μια έρευνα με ηλεκτρονικό υπολογιστή των καταλόγων των βιβλιοθηκών δείχνει ότι δεν υπάρχει κάποιο τέτοιο βιβλίο. Αυτό δεν είναι πολύ εκπληκτικό στις μέρες μας και στην εποχή μας: ακόμη και τα βιβλία όπως του Κιμούρα και του Κάουφμαν που προτείνουν νέες θεωρίες, συνήθως πριν από αυτά έχουν προηγηθεί άρθρα που έχουν δημοσιευτεί σε επιστημονικά περιοδικά. Η απουσία άρθρων για την εξέλιξη των βιοχημικών δομών στα περιοδικά σχεδόν σκοτώνει κάθε πιθανότητα ότι θα υπάρχει κάποιο βιβλίο πάνω σ' αυτά τα θέματα.

Κατά μια έρευνα με υπολογιστή για βιβλία πάνω στην βιοχημική εξέλιξη, ίσως έρθεις αντιμέτωπος με αρκετούς «ζουμερούς» τίτλους. Ένα παράδειγμα είναι ένα βιβλίο του Τζων Γκίλεσπι που δημοσιεύτηκε το 1991 με το δελεαστικό όνομα *Οι Αιτίες της Μοριακής Εξέλιξης (The Cause of Molecular Evolution)*. Όμως δεν ενδιαφέρεται για ειδικά βιοχημικά συστήματα. Όπως και το βιβλίο του Κάουφμαν, είναι μια μαθηματική ανάλυση που αφήνει έξω όλα τα ειδικά χαρακτηριστικά των οργανισμών, και τους μετατρέπει σε μαθηματικά σύμβολα και μετά χειρίζεται τα σύμβολα. Η Φύση έχει αποχρωματιστεί. (Θα πρέπει να προσθέσω, ότι βέβαια τα μαθηματικά είναι ένα εξαιρετικά ισχυρό εργαλείο. Όμως τα μαθηματικά είναι χρήσιμα στην επιστήμη ότι όταν οι υποθέσεις της μαθηματικής ανάλυσης είναι αληθινές.)

Ένα άλλο βιβλίο που δημοσιεύτηκε την ίδια χρονιά είναι το *Εξέλιξη στο Μοριακό Επίπεδο*.¹⁰² Αν και ο τίτλος ακούγεται πολύ ελπιδοφόρος, δεν είναι ένα βιβλίο από κάποιον που έρχεται να μας προτείνει μια νέα ιδέα. Είναι ένα από τα πολλά ακαδημαϊκά βιβλία που περιέχουν συλλογές άρθρων από διάφορους συγγραφείς, και ο καθένας αναπτύσσει μια ειδική περιοχή σε βάθος που δεν ξεπερνά ένα άρθρο ενός επιστημονικού περιοδικού. Το αναπόφευκτο είναι ότι τα περιεχόμενα του βιβλίου μοιάζουν πολύ με τα περιεχόμενα των περιοδικών, πολλά για ακολουθίες, λίγα μαθηματικά και καμία απάντηση.

¹⁰⁰ Kimura, M. (1983) *The Neutral Theory of Evolution*, Cambridge University Press, New York.

¹⁰¹ Kauffman, S. A. (1993) *The Origins of Order, Self Organization and Selection in Evolution*, Oxford University Press, New York.

¹⁰² Selander, R. K., Clark, A. G., & Whittam, T. S. (1991) *Evolution at the Molecular Level*, Sinauer Associates, Sunderland, MA.

Ένα κάπως διαφορετικού τύπου βιβλίο, είναι ένα που αναφέρει τα αποτελέσματα από μια επιστημονική συνάντηση. Τα εργαστήρια στο Κολντ Σπρινγκ Χάρμπορ στο Λονγκ Άιλαντ έχουν προσφέρει κατά τη διάρκεια των ετών μια σειρά από επιστημονικά συμπόσια σε διάφορα θέματα. Ένα συμπόσιο που έγινε εκεί στο 1987 είχε ως το θέμα «Εξέλιξη της Καταλυτικής Λειτουργίας», και δημοσιεύτηκαν περίπου εκατό εργασίες συμμετεχόντων σε έναν τόμο.¹⁰³ Όπως είναι τυπικό για βιβλία (πρακτικά) επιστημονικών συμποσίων είναι συνήθως ανασκοπήσεις του τι συμβαίνει στο εργαστήριο του συγγραφέα στην εποχή εκείνη, με λίγη ή καμία προσπάθεια για να το δέσει με το θέμα του βιβλίου. Στις υπόλοιπες σελίδες τα περισσότερα είναι αναλύσεις ακολουθιών, και μερικά αφορούν προβιοτική χημεία ή απλούς καταλύτες (όχι τους περίπλοκους μηχανισμούς των γνωστών οργανισμών). Η έρευνα μπορεί να επεκταθεί, όμως τα αποτελέσματα θα είναι τα ίδια. Ποτέ δεν υπήρξε ένα συνέδριο, ή ένα βιβλίο, ή μια εργασία που να αφορούν τις λεπτομέρειες για την εξέλιξη των περίπλοκων βιοχημικών συστημάτων.

ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΟΥΛΤΟΥΡΑΣ

Πολλοί επιστήμονες είναι σκεπτικιστές ως προς το αν οι Δαρβινικοί μηχανισμοί, μπορούν να εξηγήσουν τα πάντα για τη ζωή, όμως ένας μεγάλος αριθμός τους την πιστεύουν. Αφού όπως είδαμε η επαγγελματική βιοχημική βιβλιογραφία δεν περιέχει εργασίες ή βιβλία που εξηγούν λεπτομερειακά πως εμφανίστηκαν τα περίπλοκα συστήματα, γιατί παρόλα αυτά είναι πιστευτός ο Δαρβινισμός σε τόσους πολλούς βιοχημικούς; Ένα μεγάλο μέρος της απάντησης βρίσκεται στο ότι διδάχτηκαν μέσα στα πλαίσια της εκπαίδευσης τους ότι ο Δαρβινισμός είναι αληθινός. Για να κατανοήσουμε ταυτόχρονα την επιτυχία του Δαρβινισμού ως ορθοδοξίας και την αποτυχία του στο μοριακό επίπεδο ως επιστήμης, αποφασίσαμε να εξετάσουμε τα εκπαιδευτικά βιβλία που χρησιμοποιούνται για να διδάξουν αυτούς που αποβλέπουν να γίνουν επιστήμονες.

Ένα από τα πιο πετυχημένα βιβλία βιοχημείας στις παρελθούσες δεκαετίες, πρωτογράφηκε το 1970 από τον Άλμπερτ Λενινγκερ, έναν καθηγητή βιοφυσικής στο Πανεπιστήμιο Τζων Χόπκινς, και έχει επανεκδοθεί με νέα στοιχεία αρκετές φορές μέσα στα χρόνια που πέρασαν Στην πρώτη σελίδα του πρώτου κεφαλαίου του βιβλίου του, ο Λένινγκερ αναφέρει την εξέλιξη. Ρωτά γιατί τα βιομόρια που υπάρχουν σε σχεδόν όλα τα κύτταρα, φαίνεται να είναι τόσο καλά ταιριασμένα στα καθήκοντα τους:

Σ' αυτό το κεφάλαιο, που είναι το πρώτο από μια σειρά από 12 που είναι αφιερωμένα στις δομές και ιδιότητες της μεγάλης τάξης των βιομορίων, θα αναπτύξουμε την ιδέα ότι τα βιομόρια θα πρέπει να μελετηθούν από δύο απόψεις. Θα πρέπει βέβαια να εξετάσουμε τη δομή τους και τις ιδιότητες τους όπως κάνουμε και για τα μη βιολογικά μόρια, με βάση τις αρχές και προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται στην κλασική χημεία. Όμως πρέπει να τα εξετάσουμε υπό το φως της υπόθεσης ότι τα βιομόρια είναι προϊόντα της εξελικτικής επιλογής, ότι είναι τα πιο κατάλληλα μόρια για τις βιολογικές τους λειτουργίες¹⁰⁴

Ο Λένινγκερ, είναι ένας καλός δάσκαλος, και περνά στους φοιτητές τους την άποψη για τον κόσμο των επαγγελματικών της βιοχημείας— ότι η εξέλιξη είναι σημαντική για να κατα-

¹⁰³ Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology (1987), vol. 52, *Evolution of Catalytic Function*, Cold Spring Harbor Laboratory Press. Cold Spring Harbor, NY.

¹⁰⁴ Lehninger, A. I. (1970) *Biochemistry*, Worth Publishers, New York, p. 17

νοήσουμε τη βιοχημεία, και ότι είναι μια από τις δύο «απόψεις» με τις οποίες θε πρέπει να μελετήσουμε τα μόρια της ζωής. Αν και ένας άπειρος φοιτητής μπορεί να πάρει ως δεδομένο το λόγο του Λένινγκερ γι' αυτό, ένας ανεξάρτητος παρατηρητής θα ψάξει για ένδειξη που να μας λέγει πόσο σημαντική είναι η εξέλιξη για τη μελέτη της βιοχημείας. Ένα πολύ καλό μέρος για να αρχίσουμε να ψάχνουμε είναι το αλφαβητικό ευρετήριο του βιβλίου. Ο Λένινγκερ μας έχει προμηθεύσει με ένα πολύ λεπτομερές ευρετήριο για να βοηθά τους φοιτητές να βρίσκουν εύκολα τις πληροφορίες. Πολλά θέματα του ευρετηρίου έχουν πολλαπλές καταχωρίσεις, γιατί θα πρέπει να θεωρηθούν σε διάφορα πλαίσια. Για παράδειγμα, τα ριβοσώματα έχουν 21 καταχωρίσεις στην πρώτη έκδοση του έργου του Λένινγκερ, η φωτοσύνθεση έχει 26 καταχωρίσεις, το βακτήριο *E. Coli* έχει 42 καταχωρίσεις· και κάτω από το «πρωτεΐνες» υπάρχουν 70 αναφορές. Το σύνολο των καταχωρίσεων στο ευρετήριο είναι 8000, όμως μόνο δύο είναι με τον τίτλο «εξέλιξη». Η πρώτη αναφορά αφορά μια συζήτηση για τις ακολουθίες των πρωτεϊνών· όπως το συζητήσαμε νεωρίτερα αν και τα δεδομένα από τις ακολουθίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συμπεράνουμε συγγένειες, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουμε την προέλευση μιας περίπλοκης βιοχημικής δομής. Η δεύτερη αναφορά του Λένινγκερ είναι σε ένα κεφάλαιο για την προέλευση της ζωής, στο οποίο συζητά τα πρωτεϊνοειδή, και άλλα θέματα που δεν έχουν αντέξει στη δοκιμασία του χρόνου.

Με μόνο δύο αναφορές στις 6000 η δασκαλίστικη συμβουλή του Λένινγκερ στους φοιτητές του, όσον αφορά τη σημασία της εξέλιξης, διαψεύδεται από το ευρετήριο του. Σ' αυτό ο Λένινγκερ έχει συμπεριλάβει κάθε τι που έχει σημασία στην βιοχημεία. Παρόλα αυτά είναι προφανές ότι η εξέλιξη είναι σπάνια ένα θέμα που έχει σημασία.

Ο Λένινγκερ δημοσίεψε μια νέα έκδοση του κειμένου του το 1982, το ευρετήριο του περιέχει μόνο δύο αναφορές για την εξέλιξη μέσα σε 7000 καταχωρίσεις. Μετά το θάνατο του Λένινγκερ το 1986, Ο Μάικελ Κοξ και Ντέιβιντ Νέλσον του πανεπιστημίου του Ουισκόνσιν ανανέωσαν το ξανάγραψαν το κείμενο του 1982. Στο πρόλογο οι νέοι συγγραφείς περιλαμβάνουν τα ακόλουθα κάτω από τη λίστα των στόχων τους

Για να προβάλουμε μια καθαρή και επανελεειμένη έμφαση στα κυριότερα θέματα, ειδικά σ' αυτά που σχετίζονται με την εξέλιξη, τη θερμοδυναμική, τη ρύθμιση και τη σχέση μεταξύ δομής και λειτουργίας¹⁰⁵

Πράγματι, στο ευρετήριο της νέας έκδοσης υπάρχουν 22 αναφορές στην εξέλιξη μέσα από ένα σύνολο από 8000, μια αύξηση περισσότερο από δέκα φορές από την τελευταία φορά. Όμως όταν ξεπεράσουμε τη χημεία της προέλευσης της ζωής και τις συγκρίσεις των ακολουθιών (οι δύο αναφορές στην προηγούμενη έκδοση του Λένινγκερ), βρίσκομαι ότι η νέα έκδοση χρησιμοποιεί τη λέξη *εξέλιξη* ως μια λέξη για να ξεπεράσει δυσκολίες. Για παράδειγμα μια αναφορά είναι «εξέλιξη, προσαρμογή μιας σπερματικής φάλαινας». Όταν γυρίσουμε στην σελίδα που υποδεικνύεται, μαθαίνουμε ότι οι σπερματικές φάλαινες έχουν αρκετούς τόνους από λάδι στα κεφάλια τους που γίνεται πιο πυκνό σε χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτό επιτρέπει στη φάλαινα να ταιριάζει την πυκνότητα του νερού σε μεγάλα βάθη όπου συχνά βουτά και έτσι κολυμπά με μεγαλύτερη ευκολία. Μετά που περιγράφει τη φάλαινα το βιβλίο παρατηρεί «Έτσι βλέπουμε ότι η σπερματική φάλαινα έχει μια αξιοσημείωτη ανατομική και βιοχημική προσαρμογή, που τελειοποιήθηκε με την εξέλιξη.»¹⁰⁶ Όμως αυτή

¹⁰⁵ Lehninger, A. L., Nelson, D. L., and Cox, M. M. (1993) *Principles of Biochemistry*, 2nd ed, Worth Publishers, New York, p. viii

¹⁰⁶ Lehninger et al. (1993) p. 244

η μία γραμμή είναι όλα όσα λέγει! Η φάλαινα έχει σφραγιστεί «τελειοποιήθηκε με την εξέλιξη», και όλοι γυρνούν στο σπίτι τους. Ο συγγραφέας δεν έκανε καμία προσπάθεια να εξηγήσει πως μια σπερματική φάλαινα έχει αποκτήσει τη δομή που έχει.

Οι επιπλέον αναφορές στην εξέλιξη στη νεώτερη έκδοση του βιβλίου του Λένινγκερ μπορούν να ταιριαστούν σε τρεις κατηγορίες: ομοιότητες ακολουθιών, σχόλια στους προγόνους των κυττάρων, και ευσεβείς αλλά αστήρικτες αποδόσεις ενός χαρακτηριστικού στην εξέλιξη. Όμως καμία από αυτές, ούτε και κατ' αρχήν, δεν μπορεί να μας πει πως εμφανίστηκε βήμα προς βήμα ο μοριακός μηχανισμός. Δεν υπάρχει περίπτωση για μια λεπτομερειακή πορεία με την οποία θα μπορεί να έχει εμφανιστεί ένα οποιοδήποτε περίπλοκο βιοχημικό σύστημα μέσα από ένα Δαρβινικό τρόπο.

Μια ανασκόπηση τριάντα εκπαιδευτικών βιβλίων βιοχημείας (που γίνεται περιληπτικά στον Πίνακα 8-1) που έχουν χρησιμοποιηθεί στα κυριότερα πανεπιστήμια στην προηγούμενη γενιά, δείχνουν ότι πολλά βιβλία αγνοούν τελείως την εξέλιξη. Για παράδειγμα ο Τόμας Ντέβλιν του Πανεπιστημίου Τζέφφερσον της Φιλαδέλφια, έγραψε ένα βιβλίο βιοχημείας που δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά από την εταιρεία John Wiley and Sons το 1982· ακολούθησαν νέες εκδόσεις το 1986 και 1992. Η πρώτη έκδοση είχε 2500 καταχωρίσεις στο ευρετήριο του, η δεύτερη είχε 2500 και η τρίτη έχει 5000. Από αυτές ο αριθμός που αναφέρονται στην εξέλιξη είναι αντίστοιχα μηδέν, μηδέν και μηδέν. Ένα εκπαιδευτικό κείμενο από τον Φρανκ Αρμστرونγκ του Κρατικού Πανεπιστημίου της Βορείας Καρολίνας, που δημοσιεύτηκε από το Oxford University Press, είναι το μόνο πρόσφατο βιβλίο που περιλαμβάνει ένα κεφάλαιο ιστορίας που κάνει ανασκόπηση τις σημαντικές εξελίξεις στη βιοχημεία, αρχίζοντας με τη σύνθεση της ουρίας από τον Φρήντριχ Βέλερ το 1828. Το κεφάλαιο δεν αναφέρεται ούτε στον Δαρβίνο ούτε στην Εξέλιξη. Στις τρεις εκδόσεις του βιβλίου του, ο Αρμστρονγκ δεν βρήκε αναγκαίο να αναφέρει την εξέλιξη στο ευρετήριο. Ένα άλλο βιβλίο που εκδόθηκε από τον οίκο John Wiley & Sons έχει μια αναφορά στην εξέλιξη στο ευρετήριο του από ένα σύνολο 2500. Αναφέρεται σε μια φράση στη σελίδα 4: «Οι οργανισμοί έχουν εξελιχθεί και προσαρμοστεί σε μεταβαλλόμενες συνθήκες στη διάρκεια της κλίμακας του γεωλογικού χρόνου και συνεχίζουν να το κάνουν.»

Μερικά εκπαιδευτικά βιβλία κάνουν μια έντονη προσπάθεια για να ενσταλάξουν στους φοιτητές την εξελικτική άποψη του κόσμου. Για παράδειγμα, ένα εκπαιδευτικό βιβλίο των Voet και Voet περιέχει μια θαυμάσια, χρωματιστή εικόνα που αποδίδει την ορθόδοξη άποψη.¹⁰⁷ Το πάνω ένα τρίτο της εικόνας δείχνει ένα ηφαίστειο, αστραπές, έναν ωκεανό, και μικρές ακτίνες από ηλιακό φως, για να υποδείξουν το πως εμφανίστηκε η ζωή. Στο μέσο της εικόνας έχει μια τυποποιημένη εικόνα του μορίου DNA που μας οδηγεί από τον ωκεανό της προέλευσης της ζωής μέσα σε ένα βακτηριακό κύτταρο, για να μας δείξει πως ξεκίνησε η ζωή. Το κάτω ένα τρίτο της εικόνας— δε λέμε αστεία— είναι κάτι σαν το Κήπο της Εδέμ, δείχνει έναν αριθμό ζώων που έχουν παραχθεί από το μύλο της εξέλιξης. Μέσα στο πλήθος περιλαμβάνονται ένας άνδρας και μια γυναίκα (η γυναίκα προσφέρει στον άνδρα ένα μήλο), και οι δύο είναι ιδιαίτερα ελκυστικοί και γυαλιστεροί. Αυτό σίγουρα προσθέτει κάτι στο ενδιαφέρον των φοιτητών, όμως η ζωγραφιά είναι ένα αστείο. Η υπονοούμενη υπόσχεση είναι ότι θα αποκαλυφθούν τα μυστικά της εξέλιξης ποτέ δεν ολοκληρώνεται.¹⁰⁸

¹⁰⁷ Conn, E. E., Stumpf, P. K., Btuening, G., and Doi, R. H. (1987) *Outlines of Biochemistry*, 5th ed. John Wiley & Sons, New York, p. 4

¹⁰⁸ Είναι προς τιμήν των Voet και Voet ότι το κείμενο περιέχει μια επιφύλαξη καθώς ξεκινά τη συνηθισμένη συζήτηση του σενάριου του Στάνλεϋ Μίλερ για την προέλευση της ζωής, που μας λέγει ότι υπάρχουν «ισχυρές επιστημονικές αντιρρήσεις για το σενάριο.»

Οι περισσότεροι φοιτητές μαθαίνουν από τα βιβλία τους πως να βλέπον τονκόσμο μέσα από ένα εξελικτικό φακό. Όμως δεν μαθαίνουν πως θα μπορούσε να είχε παράγει η Δαρβινική εξέλιξη κάτι από τα αξιοσημείωτα περίπλοκα βιοχημικά συστήματα που περιγράφουν αυτά τα κείμενα.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΣΤΑ ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ
ΒΙΒΛΙΩΝ ΤΗΣ ΒΙΟΧΗΜΕΙΑΣ

Συγγραφέας	Έτος	Εκδοτής	Ολικός	Καταχωρίσεις
			Αριθμός	που
			Καταχωρίσεων	αναφέρονται
			στο ευερέχιο	στην εξέλιξη
Lehninger	1970	Worth	6,000	2
Lehninger	1982	Worth	7,000	2
Lehninger et al.	1993	Worth	8,000	22
Devlin	1982	John Wiley & Sons	3,506	0
Devlin	1986	John Wiley & Sons	2,500	0
Devlin	1992	Wiley-Liss	5,000	0
Stryer	1975	Freeman	3,000	0
Stryer	1981	Freeman	4,000	0
Stryer	1988	Freeman	4,000	14
Stryer	1995	Freeman	4,000	9
Voet & Voet	1990	John Wiley & Sons	9,000	12
Voet & Voet	1995	John Wiley & Sons	10,000	13
Mathews & van Holde	1990	Benjamin Cummings	6,000	9
Horton et al.	1993	Prentice Hall	4,500	11
Moran et al.	1994	Prentice Hall	9,000	12
Zubay	1983	Addison Wesley	5,000	1
Zubay	1988	Macmillan	5,000	3
Zubay	1993	Wm. C. Brown	6,000	19
Zubay et al.	1995	Wm. C. Brown	7,000	2
Armstrong & Bennett	1979	Oxford University	2,500	0
Armstrong	1983	Oxford University	3,000	0
Armstrong	1989	Oxford University	4,000	0
Scheve	1984	Allyn and Bacon	3,000	0
Abeles et al.	1992	Jones and Bartlett	4,500	0
Garrett & Grisham	1995	Harcourt Brace	6,000	5
Wood et al.	1981	Benjamin Cummings	4,000	1
Conn & Stumpf	1976	John Wiley & Sons	2,500	0
Conn et al.	1987	John Wiley & Sons	2,500	1
Kuchel & Ralston	1988	McGraw-Hill	3,500	0
Gilbert	1992	McGraw-Hill	1,000	0

ΠΩΣ ΓΝΩΡΙΖΕΙΣ;

Πως γνωρίζουμε αυτά που λέμε ότι γνωρίζουμε—όχι σε κάποια βαθιά φιλοσοφική έννοια. Αλλά σε ένα πρακτικό, καθημερινό επίπεδο; Σε κάποια ιδιαίτερη μέρα μπορεί να πεις σε κάποιον που γνωρίζεις ότι το καθημερινό σου δωμάτιο είναι πράσινο, ότι οι Philadelphia Eagles θα κερδίσουν το Super Bowl, ότι γνωρίζουμε ότι η γη περιφέρεται γύρω από τον ήλιο, ότι γνωρίζεις ότι η δημοκρατία είναι η καλύτερη μορφή κυβέρνησης, ότι γνωρίζεις το δρόμο στο Σαν Τζοσέ. Σίγουρα οι διάφορες αυτές διαβεβαιώσεις βασίζονται σε διάφορους τρόπους γνώσης. Ποιοί είναι αυτοί;

Βέβαια το πρώτο βήμα για να γνωρίσουμε κάτι, είναι μέσα από μια προσωπική εμπειρία. Γνωρίζεις ότι το καθημερινό σου δωμάτιο είναι βαμμένο πράσινο γιατί ήσουν στο καθημερινό σου δωμάτιο και το βλέπεις ότι είναι πράσινο. (Δε θα ανησυχώ για αυτά τα πράγματα όπως πως γνωρίζεις ότι δεν ονειρεύεσαι ή ότι δεν είσαι τρελλός ή κάτι τέτοια.) Παρόμοια γνωρίζεις τι είναι ένα πουλί, πως ενεργεί η βαρύτητα (μιλάμε για μια γενική έννοι-

α), και γνωρίζουμε πως να πάμε στο πιο κοντινό εμπορικό κέντρο, όλα αυτά από άμεση εμπειρία.

Ο δεύτερος τρόπος που γνωρίζουμε κάτι βασίζεται σε μια «αυθεντία». Δηλαδή βασίζεται σε κάποια πηγή πληροφορίας που τη θεωρείς ότι είναι αξιόπιστη, όταν εσύ δεν έχεις δικές σου εμπειρίες. Έτσι σχεδόν κάθε άνθρωπος που έχει πάει στο σχολείο, πιστεύει ότι η γη περιφέρεται γύρω από τον ήλιο, ακόμη και αν λίγοι άνθρωποι θα μπορούσαν να σου πούνε πως θα μπορούσες να εξακριβώσεις αυτήν την κίνηση. Βασίζεται στην αυθεντία κάποιου όταν σε ρωτήσουν αν μπορείς να πας στο Σαν Τζοσέ, η απάντησή σου είναι ναι, και ανοίγεις ένα χάρτη. Μπορείς προσωπικά να ελέγξεις την αξιοπιστία του χάρτη με το να τον χρησιμοποιήσεις για να ταξιδέψεις στο Σαν Τζοσέ, αλλά μέχρις ότου να το κάνεις αυτό βασίζεσαι στην αυθεντία. Πολλοί άνθρωποι πιστεύουν ότι η δημοκρατία είναι ανώτερη από άλλες μορφές διακυβέρνησης ακόμη και αν δεν έχουν ζήσει κάτω από άλλες μορφές διακυβέρνησης. Βασίζονται στην αυθεντία των σχολικών βιβλίων, των πολιτικών και ίσως πάνω σε λόγια και σε εικονικές περιγραφές του τι συμβαίνει σε μια άλλη κοινωνία. Βέβαια και άλλες κοινωνίες κάνουν το ίδιο, και οι πιο πολλοί υπερασπιστές τους βασίζονται στην αυθεντία.

Τι συμβαίνει όμως με την ομάδα των Eagles; Πώς γνωρίζεις ότι θα κερδίσουν όλα αυτή τη χρονιά; Αν σε πιάσω ίσως να παραδεχτείς ότι κανείς σχολιαστής αθλητικών δεν τους θεωρεί ότι πρόκειται να νικήσουν, έτσι δε βασίζεσαι σε αυθεντία. Επιλέον, δεν έχεις μια πληροφορία από πρώτο χέρι που μας λέγει ότι οι παίκτες προπονούνται μυστικά κάτω από ένα δάσκαλο Zen, που τους υπόσχεται μια μεγάλη αύξηση στην ευκινησία τους. Δε βασίζεσαι στις αποδόσεις τους στους πρόσφατους αγώνες, που ήταν από μέτρια μέχρι χάλια. Αν πραγματικά πιαστείς ίσως να μιλήσεις για επισυχίες στο μακρινό παρελθόν (π.χ. ότι κέρδισαν τα πρωταθλήματα το 1948, το 1949 και το 1960, ή στην εμφάνιση που είχαν στο Super Bowl το 1981) και να πεις ότι γνωρίζεις ότι οι Eagles θα κερδίσουν αυτή τη χρονιά. Ήταν απλώς μια κουβέντα. Η διαβέβαιωση σου δε βασίζεται ούτε στην εμπειρία ούτε σε αυθεντία. Ήταν ένας κομπασμός.

Και οι επιστήμονες είναι άνθρωποι, έτσι μπορούμε να ρωτήσουμε για το πως γνωρίζουν οι επιστήμονες για αυτά που λένε ότι γνωρίζουν. Όπως ο κάθε άλλος άνθρωπος, οι επιστήμονες γνωρίζουν τα πράγματα είτε από την εμπειρία τους, ή από κάποια αυθεντία. Στη δεκαετία του 1950 οι Γουάτσον και Κρικ είδαν ένα σχήμα περίθλασης που παράχθηκε καθώς ακτινοβολήθηκαν ακτίνες X πάνω σε ίνες DNA και χρησιμοποιώντας τις μαθηματικές τους ικανότητες, προσδιόρισαν ότι το DNA είναι ένας διπλός έλικας. Γνώρισαν με το να κάνουν, από την εμπειρία τους. Όταν ήμουν προπτυχιακός φοιτητής έμαθα ότι το DNA είναι διπλός έλικας, αλλά ποτέ δεν έκανα ένα πείραμα για να το δείξω· στηρίζομαι στην αυθεντία. Όλοι οι επιστήμονες βασίζονται στην αυθεντία για σχεδόν όλες τους τις επιστημονικές γνώσεις. Αν ρωτήσει έναν επιστήμονα πως γνωρίζει για τη δομή της χοληστερίνης, ή για το εσωτερικό της αιμοσφαιρίνης, ή για το ρόλο των βιταμινών, θα σου δείξει πάντα προς κάποια επιστημονική βιβλιογραφία παρά στις δικές της καταγραφές του τι έκανε στο εργαστήριο της.

Το όμορφο πράγμα για την επιστήμη είναι ότι μπορούμε εύκολα να εντοπίσουμε την αυθεντία· είναι στη βιβλιοθήκη. Η εργασία των Γουάτσον και Κρικ για τη δομή του DNA μπορεί να ιχνηλατηθεί και να τη διαβάσουμε στο περιοδικό *Nature*. Η δομή της χοληστερίνης και άλλων πραγμάτων μπορεί να βρεθεί εκεί. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι γνωρίζουμε τη δομή του DNA ή της χοληστερίνης βασιζόμενοι σε κάποια επιστημονική αυθεντία αν τα άρθρα εκείνης της εποχής βρίσκονται σε βιβλιογραφία. Όμως αν ο Τζέιμς Γουάτσον ή μια Προεδρική Επιστημονική Επιτροπή έλεγε ότι το DNA αποτελείται από πράσινο τυρί, αλλά δεν

δημοσίευε κάποια ένδειξη που να το στηρίζει αυτό που είπαν στη βιβλιογραφία, δε θα μπορούσαμε να πούμε ότι η πίστη στο τυρένιο DNA βασίζεται σε επιστημονική αυθεντία. Η επιστημονική αυθεντία βασίζεται σε δημοσιευμένο έργο και όχι στις ονεροπωλήσεις κάποιου. Επιπλέον το δημοσιευμένο έργο θα πρέπει να περιέχει τη σχετική ένδειξη. Αν ο Γουάτσον δημοσίευε μια απλή φράση για τη σβολιασμένη υφή του DNA σε ένα άρθρο που θα ήταν κατά το μέγιστο μέρος αφιερωμένο σε κάτι άλλο, αλλά δεν μας έδινε κάποια σχετική στήριξη, τότε δε θα είχε κάποια επιστημονική αυθεντία για να στηρίξει τον ισχυρισμό. Η μοριακή εξέλιξη δε βασίζεται σε επιστημονική αυθεντία. Δεν υπάρχει μια δημοσίευση στην επιστημονική βιβλιογραφία —σε έγκυρα επιστημονικά περιοδικά, ειδικά περιοδικά, ή βιβλία— που να περιγράφουν πως η μοριακή εξέλιξη για κάποιο πραγματικό, περίπλοκο, βιοχημικό σύστημα είτε συνέβη ή αν ποτέ θα μπορούσε να είχε συμβεί. Υπάρχουν διαβεβαιώσεις ότι συνέβη αυτή η εξέλιξη, όμως καμία δε στηρίζεται σε σχετικά πειράματα ή υπολογισμούς. Αφού κανείς δε γνωρίζει τη μοριακή εξέλιξη από άμεση εμπειρία και αφού δεν υπάρχει εξουσία πάνω στην οποία να βασίσει τους ισχυρισμούς της γνώσης, το μόνο που μπορούμε να πούμε —όπως ο ισχυρισμός ότι οι Eagles θα κερδίσουν το Super Bowl αυτή τη χρονιά— είναι ότι η διαβεβαίωση ότι είναι σωστή η Δαρβινική εξέλιξη είναι ένας απλός κομπασμός.

«Δημοσίευσε ή χάνεσαι» είναι μια παροιμία που λαμβάνεται σοβαρά στους ακαδημαϊκούς κύκλους. Αν δεν δημοσιεύσεις το έργο σου έτσι που να μπορεί να το αξιολογήσει η υπόλοιπη επιστημονική κοινότητα, τότε δεν έχεις πια δουλειά στα ακαδημαϊκά ιδρύματα (και αν δεν έχεις πάρει ακόμη μονιμότητα, θα σε διώξουν). Όμως αυτή η φράση μπορεί επίσης να εφαρμοστεί και στις θεωρίες. Αν μια θεωρία ισχυρίζεται ότι μπορεί να εξηγήσει κάποιο φαινόμενο αλλά δεν παράγει έστω και μια προσπάθεια για την εξήγηση, τότε θα πρέπει να διωχτεί. Παρά τις συγκρίσεις ακολουθιών και τα μαθηματικά μοντέλα, η μοριακή εξέλιξη ποτέ δεν έχει απαντήσει στο ερώτημα για το πώς ήρθαν στην ύπαρξη οι περίπλοκες δομές, η θεωρία της Δαρβινικής μοριακής εξέλιξης δεν έχει δημοσιεύσει, άρα πρέπει να χαθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΕΥΦΥΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΤΙ ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ;

Η αδυναμία της Δαρβινικής θεωρίας στο να εξηγήσει τη μοριακή εξήγηση της ζωής δεν είναι προφανής μόνο από τις αναλύσεις που έγιναν σ' αυτό το βιβλίο, αλλά και από την πλήρη απουσία στα επιστημονικά περιοδικά, οποιουδήποτε πλήρους μοντέλου, με το οποίο θα μπορούσαν να είχαν παραχτει περίπλοκα βιοχημικά συστήματα, όπως αυτό δείχτηκε στο Κεφάλαιο 8. Πράγματι η τεράστια πολυπλοκότητα του κυττάρου που αποκάλυψε η σύγχρονη βιοχημεία, έχει παραλύσει την επιστημονική κοινότητα. Κανείς στο πανεπιστήμιο Χάρβαρντ, κανείς στο Εθνικό Ινστιτούτο Υγείας, κανένα μέλος της Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών, κανένας Νομπελίστας—κανένας μα κανένας δεν μπορεί να δώσει μια λεπτομερή περιγραφή για το πως οι κροσσοί, ή η όραση, ή η θρόμβωση του αίματος, ή οποιαδήποτε περίπλοκη βιοχημική διαδικασία μπορεί να είχε αναπτυχθεί Δαρβινικά. Όμως εμείς είμαστε εδώ. Τα φυτά και τα ζώα είναι εδώ. Τα περίπλοκα συστήματα είαι εδώ. Όλα τα πράγματα ήρθαν εδώ από κάπου: αν δεν υπάρχει Δαρβινικός τρόπος τότε πως;

Το ξεκάθαρο είναι, ότι αν κάτι δεν έχει συναρμολογηθεί βαθμιαία, τότε θα πρέπει να έχει γίνει γρήγορα ή ακόμη και ξαφνικά. Αν προσθέτοντας τα ατομικά τμήματα δεν καλυτερεύει κατά ένα συνεχή τρόπο τη λειτουργία ενός συστήματος, τότε τα πολλαπλά τμήματα θα πρέπει να έχουν προστεθεί όλα μαζί. Έχουν προταθεί από τους επιστήμονες τα τελευταία χρόνια, δύο τρόποι για μια γρήγορη συναρμολόγηση των περίπλοκων συστημάτων. Ας θεωρήσουμε σύντομα αυτές τις προτάσεις και μετά ας δούμε σε βάθος ένα τρίτο εναλλακτικό.

Η πρώτη εναλλακτική προς τη βαθμιαία μεταβολή, τον υπεραμύνθηκε η Lynn Margulis. Στη θέση της Δαρβινικής άποψης για πρόοδο μέσα από το συναγωνισμό και πάλη, έχει προτείνει μια πρόοδο μέσα από συνεργασία και συμβίωση. Οι οργανισμοί κατα τις απόψεις της βοηθούν ο ένας τον άλλο, ενώνουνε δυνάμεις, και πετυχαίνουν μαζί αυτό που δε θα μπορούσαν να το πετύχουν ο ένας χωριστά από τον άλλο. Ενώ ήταν ακόμη μεταπτυχιακή φοιτήτρια πήρε την ιδέα της και την εφάρμοσε σε προβλήματα της κυτταρικής δομής. Αν και αρχικά η Margulis τόσο ενθαρρύνθηκε όσο και κοροϊδεύτηκε, τελικά κέρδισε μια απρόθυμη αποδοχή—και μετά χειροκρότημα (τότε εκλέχτηκε στην Εθνική Ακαδημία Επιστημών)—για την ιδέα της ότι τα μέρη του κυττάρου ήταν κάποτε οργανισμοί που ζούσαν ελεύθεροι ο ένας από τον άλλο.

Το ευκαρυωτικό κύτταρο, όπως είδαμε, είναι παραγεμισμένο από περίπλοκες μοριακές μηχανές που χωρίζονται σε πολλά διακριτά διαμερίσματα. Το μεγαλύτερο από αυτά τα διαμερίσματα είναι ο πυρήνας, που θα μπορούσε να φανεί ακόμη και με τα χονδροειδή μικροσκόπια του δέκατου έβδομου αιώνα. Τα μικρότερα διαμερίσματα δεν ανακαλύφθηκαν παρά μόνο όταν έγιναν διαθέσιμα καλύτερα μικροσκόπια στο τέλος του δέκατου ένατου και στο εικοστό αιώνα. Ένα από τα μικρότερα διαμερίσματα είναι το μιτοχόνδριο.

Ίσως θα έπρεπε να πω ότι πολλά από τα μικρότερα διαμερίσματα είναι μιτοχόνδρια: το τυπικό κύτταρο περιέχει δύο χιλιάδες απο αυτά, και καταλαμβάνουν στο σύνολο περίπου 20

τοις εκατόν του όγκου του κυττάρου. Κάθε ένα από τα μικρά διαμερίσματα περιέχουν μηχανισμούς αναγκαίους για να δεσμεύουν την ενέργεια από τις τροφές και να την αποθηκεύουν σε μια χημικά σταθερή, όμως έτοιμη για διάθεση, μορφή. Οι μιτοχονδριακοί μηχανισμοί που το κάνουν αυτό είναι αρκετά περίπλοκοι. Το σύστημα χρησιμοποιεί τη ροή οξέων για να δώσει ισχύ στις μηχανές του, που μεταφέρουν ηλεκτρόνια κατά μήκος μισής δωδεκάδας μεταφορέων, και απαιτούν πολύ ευαίσθητες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σε πολλά συστατικά.

Τα μιτοχόνδρια έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος και σχήμα όπως μερικά βακτήρια που ζούνε ελεύθερα. Η Lynn Margulis πρότεινε ότι κάποτε στην πρωτόγονη γη, ένα μεγαλύτερο κύτταρο «κατάπιε» ένα βακτηριακό κύτταρο, αλλά δεν το χώνεψε. Αντί για αυτό τα δύο κύτταρα—το ένα τώρα ζούσε μέσα στο άλλο—προσαρμόστηκαν για αυτήν την κατάσταση. Το μικρότερο κύτταρο δεχόταν τροφή από το μεγαλύτερο και ως αντάλλαγμα, του έδινε λίγη από την αποθηκευμένη του χημική ενέργεια στο μεγαλύτερο κύτταρο. Όταν αναπαραγόταν το μεγαλύτερο κύτταρο, το μικρότερο έκανε το ίδιο, και οι απόγονοι του εξακολουθούσαν να μένουν μέσα στον ξενιστή. Με το χρόνο το συμβιωτικό κύτταρο έχασε πολλά από τα συστήματα που χρειάζεται το ελεύθερο κύτταρο, και εξειδικεύτηκε όλο και περισσότερο στο να προμηθεύει ενέργεια στον ξενιστή. Τελικά έγινε μιτοχόνδριο.

Τα πνιχτά γέλια και τα ανόητα χαμόγελα αυταρέσκειας, με τα οποία έγινε η υποδοχή της πρότασης της Lynn Margulis, έσβησαν όταν αναπτύχθηκαν νέες τεχνικές ανάλυσης των ακολουθιών μετά την πρόταση της θεωρίας της, και έδειξαν ότι οι πρωτεΐνες των μιτοχονδρίων είχαν μια στενότερη ομοιότητα με τις βακτηριακές πρωτεΐνες από ότι με τις πρωτεΐνες των ξενιστών. Τότε πρόσεξαν κι άλλες ομοιότητες μεταξύ των μιτοχονδρίων και των βακτηρίων. Επιπλέον οι οπαδοί της συμβιωτικής προέλευσης των μιτοχονδρίων επεσήμαναν τα συμβιωτικά κύτταρα σε σύγχρονους οργανισμούς για να υποστηρίξουν τη θεωρία τους. Για παράδειγμα, ένα είδος πλατέλμινθα δεν έχει στόμα γιατί δε χρειάζεται ποτέ να τρώγει—περιέχει φωτοσυνθετικά φύκη που το προμηθεύουν με ενέργεια! Με τέτοιου είδους ενδείξεις φάνηκε να επικρατεί η άποψη. Τώρα η θεωρία της Margulis όσον αφορά τα μιτοχόνδρια έχει γ'νει η ορθοδοξία των εκπαιδευτικών βιβλίων.

Από καιρού σε καιρό, τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η Margulis και άλλοι επιστήμονες προτείνουν ότι και άλλα κυτταρικά διαμερίσματα είναι το αποτέλεσμα συμβιώσεων. Αυτές οι προτάσεις δεν έχουν γίνει τόσο ευρέως δεκτές. Για τους σκοπούς όμως της συζήτησής μας υποθέσουμε ότι η συμβίωση που φαντάζεται η Margulis ήταν ένα συνηθισμένο συμβάν σε όλη την ιστορία της ζωής. Το σημαντικό ερώτημα για εμάς τους βιοχημικούς είναι, μπορεί η συμβίωση να εξηγήσει την προέλευση των περίπλοκων βιοχημικών συστημάτων; Είναι ξεκάθαρο, ότι δεν μπορεί. Η ουσία της συμβίωσης είναι η συνένωση δύο χωριστών κυττάρων, ή δύο ξεχωριστών συστημάτων, που όμως και τα δύο τους ήδη λειτουργούσαν. Στο σενάριο του μιτοχονδρίου, ένα βιώσιμο κύτταρο που προϋπήρχε, μπήκε σε μια συμβιωτική σχέση με ένα άλλο τέτοιο κύτταρο. Ούτε η Margulis, ούτε κάποιος άλλος, μας πρόσφερε μια λεπτομερή εξήγηση για την προέλευση των προϋπαρχόντων κυττάρων. Οι οπαδοί της συμβιωτικής θεωρίας των μιτοχονδρίων υποθέτουν ρητά ότι τα κύτταρα που εισβάλλανε μπορούσε ήδη να παράγει ενέργεια από τις τροφές, και ρητά υποθέτουν ότι ο ξενιστής ήδη μπορούσε να διατηρήσει ένα σταθερό εσωτερικό περιβάλλον που θα ήταν ευεργετικό για τη συμβίωση.

Επειδή η συμβίωση ξεκινά με περίπλοκα συστήματα που ήδη λειτουργούσαν, δεν μπορεί να εξηγήσει τα θεμελιώδη βιοχημικά συστήματα που συζητήσαμε σ' αυτό το βιβλίο. Ίσως η θεωρία της συμβίωσης να έχει να μας πει σημαντικά πράγματα για την ανάπτυξη της ζωής στη γη, όμως δεν μπορεί να εξηγήσει την αρχική προέλευση των περίπλοκων συστημάτων.

Η δεύτερη εναλλακτική λύση σε σχέση με τη Δαρβινική βαθμιαία εξέλιξη, προτάθηκε τα τελευταία χρόνια από τον Stewart Kauffman και είναι γνωστή ως «θεωρία της πολυπλοκότητας». Σύντομα, η θεωρία της πολυπλοκότητας λέγει ότι ένα σύστημα με έναν αριθμό από συστατικά που αλληλεπιδρούν, οργανώνονται αυθόρμητα σε διατεταγμένα σχήματα. Καμιά φορά είναι διαθέσιμα διάφορα σχήματα για τα περίπλοκα συστήματα, και κάποιες «διαταραχές» στο σύστημα μπορούν να το προκαλέσουν μία μεταβολή από το ένα σχήμα σε κάποιο άλλο. Ο Kauffman πρότεινε ότι οι χημικές ουσίες στην προβιοτική σούπα αυτο-οργανώθηκαν σε περίπλοκους μεταβολικούς δρόμους. Επιπλέον πρότεινε ότι η αλλαγή μεταξύ διαφόρων κυτταρικών «τύπων» (όπως όταν ένας αναπτυσσόμενος οργανισμός ξεκινά με ένα γονιμοποιημένο ωάριο και μετά συνεχίζει για να κάνει κύτταρα του ήπατος, δερματικά κύτταρα κτο) είναι μια διαταραχή σε ένα περίπλοκο σύστημα και προέρχεται από την αυτοοργάνωση που φαντάζεται.

Ίσως η πιο πάνω εξήγηση να ακούγεται λίγο «θολή». Ίσως ένα μέρος της θολούρας να οφείλεται στις δικές μου μέτριες ικανότητες για περιγραφή, Όμως ένα μεγάλο μέρος οφείλεται στο ότι η θεωρία πολυπλοκότητας ξεκίνησε ως μία μαθηματική έννοια για να περιγράψει τη συμπεριφορά μερικών προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή, και οι δημιουργοί της δεν κατόρθωσαν ακόμη να τη συνδέσουν με την πραγματική ζωή. Αυτό που μάλλον είναι ο κύριος τρόπος με τον οποίο επιχειρηματολογούν, είναι να δείξουν τη συμπεριφορά ενός προγράμματος Η/Υ και μετά να διαβεβαιώσουν ότι η συμπεριφορά του υπολογιστή μοιάζει με τη συμπεριφορά ενός βιολογικού συστήματος. Για παράδειγμα ο Kauffman γράφει για αλλαγές (που τις ονομάζει μεταλλάξεις) σε κάποια προγράμματα υπολογιστή που είχε γράψει:

Οι περισσότερες μεταλλάξεις έχουν μικρές συνέπειες εξαιτίας της φύσης (που αντιστέκεται στις μεταβολές) του συστήματος. Μερικές όμως μεταλλάξεις, προκαλούν μεγαλύτερους καταρράχτες μεταβολών. Τα ισορροπημένα συστήματα συνήθως προσαρμόζονται βαθμιαία σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον, όμως αν είναι ανάγκη μπορούν να μεταβληθούν γρήγορα. Αυτές οι ιδιότητες παρατηρούνται στους οργανισμούς.¹⁰⁹

Με άλλα λόγια, μερικές μικρές αλλαγές σε ένα πρόγραμμα υπολογιστή, προκαλούν μεγάλες αλλαγές σ' αυτά που παράγει το πρόγραμμα (συνήθως ένα σχήμα από τελείες σε μια οθόνη υπολογιστή), και έτσι ίσως και οι μικρές μεταβολές στο DNA, να μπορούν να παράγουν μεγάλες, συνδυασμένες βιολογικές μεταβολές. Το επιχείρημα ποτέ δεν προχωρά πέραν από αυτά. Κανένας υπέρμαχος της θεωρίας της πολυπλοκότητας δεν έχει πάει στο εργαστήριο, ανέμειξε μια μεγάλη ποικιλία χημικών ουσιών σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα, και μετά έψαξε να δει αν οι αυτο-διατηρούμενοι μεταβολικοί δρόμοι από μόνοι τους οργανώνονται αυθόρμητα. Αν ποτέ τους προσπαθήσουν να κάνουν ένα τέτοιο πείραμα, θα επαναλάβουν απλώς το απογοητευτικό έργο των επιστημόνων που ερευνούν την προέλευση της ζωής και που έχουν προηγηθεί — και που είδαν ότι τα περίπλοκα μείγματα παράγουν πολλή λάσπη στα τοιχώματα μιας φιάλης, αλλά δε δίνουν τίποτε άλλο.

Στο βιβλίο του για το θέμα αυτό ο Kauffman ονειροπωλεί ότι η θεωρία πολυπλοκότητας μπορεί να εξηγήσει όχι μόνο την προέλευση της ζωής και του μεταβολισμού, αλλά και τα σχήματα των σωμάτων, τις οικολογικές σχέσεις, την ψυχολογία, τα πολιτιστικά σχήματα, και την οικονομία.¹¹⁰ Όμως, η αοριστία της πολυπλοκότητας, έχει αρχίσει να αποστρέφει

¹⁰⁹ Kauffman, S. A. (1991) "Antichaos and Adaptation," *Scientific American*, August, p. 82

¹¹⁰ Kauffman, S. A (1993) *The Origins of Order*, Oxford University Press, Oxford, England.

τους αρχικούς προωθητές της θεωρία. Το περιοδικό *Scientific American* για μερικά χρόνια παρουσίαζε ευνοϊκά άρθρα (ένα με συγγραφέα τον ίδιο τον Kauffman). Όμως στο εξώφυλλο του, στο τεύχος του Ιουνίου 1995 αναρωτιέται «Είναι η Παρπλοκότητα μια απάτη;» Μέσα υπήρχε ένα άρθρο «Από την Πολυπλοκότητα στην Αμνηχανία» που παρατήρησε τα εξής

Η τεχνητή ζωή, που είναι ένα σπουδαίο πεδίο μέσα στις μελέτες της πολυπλοκότητας, είναι στην πραγματικότητα «μια επιστήμη χωρίς δεδομένα,» σύμφωνα με έναν κριτικό. Όμως είναι εξαιρετική στο να παράγει γραφικές παραστάσεις στον Η/Υ.

Πράγματι, μερικοί υπέρμαχοι της θεωρίας βλέπουν μια μεγάλη σημασία στο γεγονός ότι μπορούν να γράψουν σύντομα προγράμματα Η/Υ που δείχνουν στην οθόνη εικόνες που μας θυμίζουν βιολογικά αντικείμενα όπως το κέλυφος ενός όστρακου. Υποννοούν ότι δε χρειάζεται και πολλή προσπάθεια για να δημιουργηθεί ένα όστρακο. Όμως ένας βιολόγος ή ένας βιοχημικός, θα ήθελαν να γνωρίζουν, αν θα άνοιγες αυτό το όστρακο, θα μπορούσες να βρεις μέσα του ένα μαργαριτάρι; Αν μεγέθυνες αρκετά την εικόνα, θα έβλεπες κροσσούς και ριβοσώματα και μιτοχόνδρια και ενδοκυτταρικά συστήματα μεταφοράς και όλα τα άλλα συστήματα που χρειάζονται οι πραγματικοί, ζωντανοί οργανισμοί; Με το να τη ρωτάς αυτή την ερώτηση την απαντάς. Στο άρθρο, ο Kauffman παρατηρεί ότι «σε κάποιο σημείο η τεχνητή ζωή έχει διολισθήσει σε κάποιο σημείο όπου δεν μπορώ να πω που βρίσκεται το όριο μεταξύ του αν μιλάμε για τον κόσμο —εννοώ κάθε τι που βρίσκεται εκεί έξω— και αν μιλάμε στην πραγματικότητα για όμορφα παιχνίδια Η/Υ και μορφές τέχνης και παιχνίδια.» Οι πιο πολλοί άνθρωποι αρχισαν να σκέφτονται ότι αυτή η διολίσθηση έχει συμβεί εδώ και πολύ καιρό.

Όμως για χάρη της συζήτησης, ας υποθέσουμε ότι είναι αληθινή η θεωρία της πολυπλοκότητας— ότι τα πολύπλοκα μείγματα θα μπορούσαν να οργανώσουν τον εαυτό τους, έτσι και ότι αυτή η οργάνωση είχε σχέση με την προέλευση της ζωής. Δεδομένων αυτών των προϋποθέσεων, μπορεί η θεωρία πολυπλοκότητας να εξηγήσει τα πολύπλοκα βιοχημικά συστήματα που συζητήσαμε σ' αυτό το βιβλίο; Δεν το πιστεύω. Το πολύπλοκο μείγμα των χημικών ουσιών που μεταξύ τους αλληλεπιδρούν ίσως να υπήρχε πριν να αναπτυχθεί η ζωή (και πάλι θέλω να τονίσω ότι δεν υπάρχει καμία ένδειξη που έστω κι αυτό να μπορεί να υποστηριχτεί), όμως δε θα είχε σημασία όταν εμφανίστηκε η κυτταρική μορφή της ζωής. Η ρύθμιση είναι η ουσία της κυτταρικής ζωής. Ένα ελεγχόμενο κυτταρικό περιβάλλον δεν επιτρέπει μια μοιραία αλληλεπίδραση μεταξύ των χημικών ουσιών (που πάντα είναι α-προσδιορίστη) και που χρειάζεται ο Kauffman. Επειδή μπορεί να ζήσει το κύτταρο κρατά τις χημικές του ουσίες με λίγες ελευθερίες για διακυμάνσεις, κι έτσι θα είχε την τάση να *εμποδίζει νέους*, πολύπλοκους μεταβολικούς δρόμους να οργανωθούν κατά τύχη.

Ας υποθέσουμε επιπλέον ότι ένα σχήμα των γονιδίων που άλλοτε είναι ενεργά και άλλοτε ανενεργά μέσα σε ένα κύτταρο, σε αντίστοιχα διαφορετικούς τύπους κυττάρων, μπορούν να αλλάξουνε κατάσταση σύμφωνα με τις θεωρίες του Stewart Kauffman. (Διάφοροι τύποι κυττάρων σχηματίζονται όταν διαφορετικά γονίδια ενεργοποιούνται ή γίνονται ανενεργά. Για παράδειγμα τα γονίδια της αιμοσφαιρίνης —της πρωτεΐνης που μεταφέρει οξυγόνο στους ιστούς— ενεργοποιούνται στα κύτταρα που παράγουν τα ερυθρά αιμοσφαίρια, όμως είναι ανενεργά σε όλα τα άλλα κύτταρα.) Αν και δεν υπάρχει ένδειξη γι' αυτό, ας πούμε ότι η θεωρία της πολυπλοκότητας έχει κάποια σχέση με τον διακόπτη που μετατρέπει ένα κύτταρο σε ερυθρό αιμοσφαίριο και ένα άλλο κύτταρο σε νευρικό κύτταρο. Μπορεί αυτό να εξηγήσει την προέλευση των πολύπλοκων βιοχημικών συστημάτων; Όχι. Όπως και η θεωρία της συμβίωσης, αυτή η πλευρά της θεφρίας πολυπλοκότητας απαιτεί προϋπάρχοντα

και λειτουργικ' συστήματα. Έτσι αν ένα κύτταρο έχει σχεδόν όλα τα γονίδια του ανενεργά εκτός από αυτά που κάνουν αιμοσφαιρίνη, ίσως τότε να μετατραπεί σε ερυθρό αιμοσφαίριο· αν κάποιο άλλο κύτταρο κάνει ανενεργό ένα άλλο σύνολο από γονίδια, μπορεί να δημιουργήσει τις πρωτεΐνες που είναι χαρακτηριστικές στα νευρικά κύτταρα. Όμως κανένα ευκαρυωτικό κύτταρο δεν μπορεί να ενεργοποιήσει προϋπάρχοντα γονίδια και ξαφνικά να αποκτήσει ένα βακτηριακό μαστίγιο, γιατί καμία από τις προϋπάρχουσες πρωτεΐνες του κυττάρου δεν μπορούν να αλληλεπιδράσουν με αυτόν τον τρόπο. Ο μόνος τρόπος που θα μπορούσε ένα κύτταρο να κατασκευάσει ένα μαστίγιο, είναι αν η δομή του έχει κωδικοποιηθεί ήδη στο DNA του. Στην πραγματικότητα ο Kauffman ποτέ δεν ισχυρίστηκε ότι τέτοιες νέες και πολύπλοκες δομές μπορούν να παραχθούν ξαφνικά σύμφωνα με τη θεωρία πολυπολοκότητας.

Η θεωρία πολυπολοκότητας ίσως να κάνει σημαντικές συνεισφορές στα μαθηματικά, ίσως να κάνει κάποιες μέτριες συνεισφορές στη βιοχημεία. Όμως δεν μπορεί να εξηγήσει την προέλευση των πολύπλοκων βιοχημικών δομών που είναι το θεμέλιο της ζωής. Δεν το προσπαθεί καν.

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ

Φανταστείτε ένα δωμάτιο στο οποίο βρίσκεται ένα σώμα, συντριμένο και επίπεδο σαν μια πίτα. Καμιά ντουζίνα ντετέκτιβς σέρνονται γύρω καθώς εξετάζουν το πάτωμα με μεγεθυντικούς φακούς για κάποια ένδειξη που να μπορεί να οδηγήσει στην ταυτότητα του δράστη. Στο μέσο του δωματίου, δίπλα στο πτώμα, στέκεται ένας μεγάλος, γκρίζος ελέφαντας. Οι ντετέκτιβς προσεχτικά αποφεύγουν να σκοντάψουν στα πόδια του παχύδερμου και ποτέ δεν κοιτάζουν καν σ' αυτό. Με το χρόνο οι ντετέκτιβς απογοητεύονται με την έλλειψη προόδου αλλά συνεχίζουν με αποφασιστικότητα., κοιτάζουν όλο και πιο προσεχτικά στο π'τωμα. Βλέπετε τα εγχειρίδιαλένε ότι οι ντετέκτιβς πρέπει να «βρουν τον άνθρωπο», έτσι ποτέ δεν σκέφτονται ελέφαντες.

Υπάρχει ένας ελέφαντας σε ένα δωμάτιο που είναι γεμάτο με επιστήμονες που προσπαθούν να εξηγήσουν την ανάπτυξη της ζωής. Ο ελέφαντας ονομάζεται «ευφυής σχεδιασμός». Για κάθε πρόσωπο που δε νιώθει ότι είναι υποχρεωμένος να περιορίσει την έρευνα του σε μη ευφυή αίτια., το άμεσο συμπέρασμα είναι ότι πολλά βιοχημικά συστήματα έχουν σχεδιαστεί. Έχουν σχεδιαστεί όχι από τους νόμους της φύσης, ούτε από την τύχη και την αναγκαιότητα· μάλλον έχουν *σχεδιαστεί λεπτομερώς*. Ο σχεδιαστής ηξευρε πως θα έμοιαζε το σύστημα όταν θα τέλειωναν, και μετά έκανε τα αναγκαία βήματα για να πραγματώσει τα συτήματα. Η ζωή στη γη στο πιοβασικότης επίπεδο, στα πιο κρίσιμα συστατικά της , είναι το προϊόν μιας ευφυούς δραστηριότητας.

Το συμπέρασμαγια ευφυή σχεδιασμό ρέεικατά φυσικό τρόπο από τα ίδια τα δεδομένα—όχι απόιερά βιβλία ή από πεποιθήσεις κάποιας σέκτας. Το να συμπεράνουμε ότι τα βιοχημικά συστήματα σχεδιάστηκαν σχεδιάστηκαν από ένα ευφυή παράγοντα είναι μια ανιαρή διαδικασία που δεν απαιτεί νέες αρχές ή λογική ή επιστήμη. Προέρχεται από τη σκληρή εργασία που έγινε στη βιοχημεία στα περασμένα σαράντα χρόνια, συνδυασμένη με τη θεώρηση του δρόμου με τονοποία βγάζουμε συμπεράσματα για σχεδιασμό κάθε μέρα. Όμως παρόλα αυτά, λέγοντας ότι τα βιοχημικά συστήματα έχουν σχεδιαστεί σίγουρα θα χτυπήσει πολλούς ανθρώπους ως κάτι το παράξενο, έτσι επιτρέψτε μου να το κάνω να ακούγεται λιγότερο παράξενο.

Τι είναι «σχέδιο»; Το σχέδιο είναι μια *σκοπίμη διευθέτηση των τμημάτων του*. Με έναν τέτοιο ευρύ ορισμο μπορούμε να δούμε ότι οτιδήποτε *μπορεί να έχει σχεδιαστεί*. Υπόθεση

ότι καθώς οδηγείς στη δουλειά σου ένα λαμπερό πρωινό, παρατηρείς ένα αυτοκίνητο που καίγεται στην άκρη του δρόμου—το μπροστινό του μέρος είναι τσαλακωμένο και ολόγυρα υπάρχουν θρύψαλα απόγυαλιά. Έξη μέτρα έξω από το αυτοκίνητο βλέπεις ένα ακίνητο σώμα σε ένα σωρό. Πατώντας άγρια τα φρένα παρκάρεις στην πλευρά του δρόμου. Τρέχεις στο σώμα, πιάνεις τον καρπό για να νιώσεις αν υπάρχει παλμός, και τότε βλέπεις έναν νεαρό με μια μικρή κάμερα να στέκεται στο διπλανό δέντρο. Του ουρλιάζεις να φωνάξει ένα ασθενοφόρο, όμως αυτός συνεχίζει να καταγράφει φιλμ. Γυρίζεις πίσω στο σώμα, και βλέπεις ότι σου χαμογελά. Ο ηθοποιός που δεν έχει τραυματιστεί σου εξηγεί ότι είναι μεταπτυχιακός φοιτητής σε ένα τμήμα κοινωνικής εργασίας και ότι κάνει έρευνα για την προθυμία των οδηγών να έρθουν να βοηθήσουν τραυματισμένους ξένους. Κοιτάζεις άγρια στον χαμογελαστό τσαρλατάνο καθώς στέκεται και σκουπίζει το ψεύτικο αίμα από το πρόσωπο του. Μετά τον βοηθό να πάρει μια πιο ρεαλιστική εμφάνιση και φεύγεις ευχαριστημένος καθώς ο εικονολήπτης τρέχει να φωνάξει ένα ασθενοφόρο.

Το φαινομενικό δυστύχημα έχει σχεδιαστεί· διάφορα μέρη έχουν κανονιστεί να φαίνονται ως ένα πραγματικό ατύχημα. Ίσως, άλλα λιγότερο αξιοσημείωτα μπορούσαν να έχουν και αυτά σχεδιαστεί: τα παλτά στο κρεμαστάρι ενός εστιατορίου μπορεί να έχουν τακτοποιηθεί από τον ιδιοκτήτη πριν να έχεις φτάσει. Οι σκουπιδοτενεκέδες και τα τενεκεδάκια από αναψυκτικά στην άκρη της λεωφόρου μπορεί να έχουν τακτοποιηθεί από έναν καλλιτέχνη που προσπαθεί να κάνει μια σκοτεινή περιβαλλοντική δήλωση. Προφανώς οι τυχαίες συναντήσεις μεταξύ ανθρώπων να είναι το αποτέλεσμα ενός μεγάλου σχεδίου (οι θεωρίες της συνομωσίας ευδοκιμούν στο να ισχυρίζονται για τέτοια σχέδια). Στην πανεπιστημιούπολη του πανεπιστημίου υπάρχουν κάποια αγάλματα που, αν τα έβλεπα να είναι στο πλευρό του δρόμου, θα υπέθετα ότι είναι το αποτέλεσμα τυχαίων χτυπημάτων πάνω σε υπολείμματα μετάλλων, αλλά ότι έχουν σχεδιαστεί.

Το αποτέλεσμα αυτού του συμπεράσματος —ότι οτιδήποτε θα μπορούσε να έχει προσχεδιαστεί— είναι ότι δεν μπορούμε να γνωρίζουμε ότι κάτι δεν έχει σχεδιαστεί. Το επιστημονικό πρόβλημα τότε γίνεται πώς μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι κάτι έχει σχεδιαστεί; Πότε είναι λογικό να συμπεράνουμε, παρά την απουσία της από πρώτο χέρι γνώσης ή από περιγραφών αυτοπτών μαρτύρων, ότι κάτι έχει σχεδιαστεί; Για διάκριτα φυσικά συστήματα —αν δεν υπάρχει μια βαθμιαία πορεία για την παραγωγή τους— ο σχεδιασμός είναι προφανής όταν ένας αριθμός από χωριστά, αλληλεπιδρώντα συστήματα έχουν τακτοποιηθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να πετυχαίνουν μια λειτουργία που είναι πέραν από αυτή που κάνουν τα συστατικά χωριστά.¹¹¹ Όσο μεγαλύτερη είναι η εξειδίκευση των αλληλεπιδρώντων συστατικών που απαιτούνται για να παράγουν τη λειτουργία, τόσο μεγαλύτερη είναι η πεποίθησή μας για το συμπέρασμα ότι υπάρχει σχεδιασμός.

Αυτό μπορεί να φανεί καθαρά στα παραδείγματα από διάφορα συστήματα. Υπόθεσε ότι εσύ και η σύζυγός σου φιλοξενείτε ένα άλλο ζευγάρι μια Κυριακή απόγευμα για να παίξετε Scrabble. Όταν τελειώσει το παιχνίδι, φεύγεις από το δωμάτιο για λίγο για να κάνεις ένα διάλειμμα. Όταν γυρίσεις πίσω βρίσκεις ότι τα γράμματα του Scrabble είναι όλα τους στο κουτί, μερικά με το πρόσωπο προς τα πάνω και μερικά προς τα κάτω. Δε σκέφτεσαι τίποτε για αυτό μέχρις ότου παρατηρείς ότι τα γράμματα που είναι προς τα πάνω γράφουν «ΒΓΑΛΤΕ ΜΑΣ ΓΙΑ ΤΡΑΠΕΖΙ ΤΣΙΓΓΟΥΝΗΔΕΣ» Εκείνη τη στιγμή αμέσως βγάζεις το συμπέρασμα ότι υπάρχει σχεδιασμός, δεν κάθεσαι καν να σκεφτείς ότι ο άνεμος ή ένας σεισμός, ή ο γάτος σου μπορεί κατά τύχη να γύρισαν τα σωστά γράμματα. Βγάζεις συμπέρασμα για σχεδιασμό

¹¹¹ Η ανίχνευση σχεδίου σε σχήματα ρίψεων νομισμάτων ή σε άλλα συστήματα που δεν αλληλεπιδρούν φυσικά γίνεται με άλλους τρόπους. Δες Dembski, W. (1996) *The Design Inference: Eliminating Chance Through Small Probabilities*, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο του Illinois.

γιατί ο αριθμός των ξεχωριστών συστατικών (τα γράμματα) έχουν μια διάταξη για να ταιριάζουν με ένα σκοπό (το μήνυμα) που κανένα από τα συστατικά δεν μπορεί να το κάνει απο μόνο του. Επιπλέον το μήνυμα είναι πολύ ειδικό· αν αλλάξεις μερικά γράμματα θα ήταν αδύνατο να το διαβάσεις. Για τον ίδιο λόγο, δεν υπάρχει κάποια βαθμιαία πορεία προς το μήνυμα: ένα γράμμα δε σου δίνει ένα μέρος του μηνυματος, λίγα ακόμη γράμματα δε σου δίνουν λίγο περισσότερο από το μήνυμα, και ούτω καθ' εξής

Παρόλο που δεν έχω την ικανότητα να αναγνωρίσω ένα σχέδιο στα γλυπτά που είναι τριγύρω στην πανεπιστημιούπολη, είναι εύκολο να αναγνωρίσω στο ίδιο μέρος σχεδιασμό σε άλλα κομμάτια έργων τέχνης. Για παράδειγμα, οι κηπουροί έχουν τακτοποιήσει τα λουλούδια δίπλα στο φοιτητικό κέντρο για να φαίνεται το όνομα του πανεπιστημίου. Ακόμη και αν δεν τους έχεις δει να δουλεύουν, σου είναι εύκολο να πεις ότι τα λουλούδια έχουν σκόπιμα τοποθετηθεί. Στο ίδιο θέμα, αν προχωρούσες βαθμιαία μέσα στο δάσος και έβρισκες λουλούδια που θα σου διναν ξεκάθαρα το όνομα «LEHIGH», δε θα είχες καμία αμφιβολία ότι το σχήμα είναι αποτέλεσμα ενός ευφυούς σχεδιασμού.

Πιο εύκολα μπορούμε να συνάγουμε ότι υπάρχει σχεδιασμός για μηχανικά αντικείμενα. Αν περπατήσεις σε ένα σκουπιδότοπο με παλιοσίδερα ίσως να παρατηρήσεις χωριστές βίδες και παξιμάδια, και κομμάτια πλαστικά και γυαλικά—τα πιο πολλά σκορπισμένα, μερικά στοιβαγμένα το ένα πάνω στο άλλο, μερικά σφηνωμένα μέσα σε άλλα. Υπόθεσε ότι η ματιά σου πέφτει πάνω σε μια στοίβα που φαίνεται να είναι ιδιαίτερα συμπαγής, και όταν τραβήξεις μια ράβδο που εξέρχεται μέσα από τη στοίβα, η όλη στοίβα τραβιέται μαζί της, όταν την σπρώχνεις προς τα μέσα, γλυστρά ομαλά στην πλευρά της στοίβας και τραβά μαζί της μια αλυσίδα που είναι προσδεμένη μαζί της. Η αλυσίδα με τη σειρά της τραβά απότομα ένα γρανάζι που με τη σειρά στρέφει άλλα τρία γρανάζια που στρέφουν μια ράβδο, και την κάνουν να περιστρέφεται ομαλά. Συμπεραίνεις γρήγορα ότι η στοίβα δεν ήταν μια τυχαία συσσώρευση από σκουπίδια αλλά ήταν σχεδιασμένη (δηλαδή, ήταν συναρμολογημένη με αυτόν τον τρόπο από έναν ευφυή παράγοντα), επειδή βλέπεις ότι τα συστατικά του συστήματος αλληλεπιδρούν με τα γρανάζια ώστε να κάνουν κάτι.

Τα συστήματα που αποτελούνται στην ολότητα τους από φυσικά εξαρτήματα, μπορεί να μας μαρτυρούν σχεδιασμό· Υπόθεσε ότι περπατάς με ένα φίλο στο δάσος. Ξαφνικά ο φίλος σου τραβιέται ψηλά στον αέρα και μένει κρεμασμένος από το πόδι του από μια κληματαριά που είναι προσδεμένη σε ένα μεγάλο κλαδί ενός δέντρου. Μετά που κόβεις την κληματαριά και τον τραβάς κάτω, ξαναφτιάχνεις την παγίδα. Βλέπεις ότι η κληματαριά είχε τυλιχτεί γύρω από το κλαδί του δέντρου, και ότι η άλλη άκρη ήταν μπηγμένη σφιχτά μέσα στο έδαφος. Ήταν καλά αγκυροβολημένη στο έδαφος με ένα κλαδί που έμοιαζε με πηρούνι. Το κλαδί ήταν προσδεμένο με μια άλλη κληματαριά — που ήταν κρυμμένη με τα φύλλα της—έτσι που όταν πειραζόταν η κληματαριά «σκανδάλη», τραβούσε έξω το πηρούνι κι έτσι ελευθεωνόταν η κληματαριά «ελατήριο». Η άκρη της κληματαριάς σχημάτιζε ένα βρόχο συρτοθηλιά για να πιάσει οτιδήποτε προεξείχε και να το αρπάξει ψηλά στον αέρα. Παρόλο που η παγίδα είχε φτιαχτεί τελείως από φυσικά υλικά αμέσως θα έβγαζες το συμπέρασμα ότι ήταν προϊόν ευφυούς σχεδιασμού.

Για απλά τεχνητά αντικείμενα όπως μια ατσαλένια ράβδο, το πλαίσιο στο οποίο βρίσκεται είναι σημαντικό για να βγάλεις το συμπέρασμα ότι υπάρχει σχεδιασμός. Αν έβλεπες τη ράβδο έξω από ένα χαλυβουργείο, τότε μπορείς να συνάγεις σχεδιασμό. Υπόθεσε όμως ότι ταξιδεύεις με ένα διαστημόπλοιο σε έναν ξερό, παράξενο πλανήτη που ποτέ δεν είχε εξερευνηθεί. Αν έβλεπες δωδεκάδες κυλινδρικές ατσαλένιες ράβδους να είναι στην πλευρά ενός ηφαιστείου, θα χρειαζόσουν περισσότερες πληροφορίες πριν να είσαι σίγουρος ότι δεν ήταν προϊόν από παράξενες γεωλογικές διεργασίες —που όμως είναι φυσικές

σ'αυτόντον πλανήτη. Αντίθετα αν έβρισκες δωδεκάδες ποντικοπαγίδες δίπλα στο ηφαίστειο, θα κοίταζες με ανησυχία προς τα πίσω για να δεις σημάδια για έναν σχεδιαστή. Για να φτάσεις στο συμπέρασμα ότι υπάρχει σχεδιασμός για κάτι που δεν είναι ένα τεχνητό αντικείμενο (για παράδειγμα, μια διευθέτηση από κληματαριές και ράβδους στο δάσος για να κάνουν μια παγίδα), ή για να φτάσεις στο συμπέρασμα ότι υπάρχει σχεδιασμός σε ένα σύστημα που αποτελείται από πολλά τεχνητά αντικείμενα, *θα πρέπει να υπάρχει μια αναγνωρίσιμη λειτουργία στο σύστημα*. Όμως θα πρέπει να είσαι προσεχτικός στο να ορίσεις ποια είναι η λειτουργία. Ένας πολύ αναπτυγμένος ηλεκτρονικός υπολογιστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν βάρος για να κρατά κάτω χαρτιά· αυτή είναι η λειτουργία του; Ένα πολύ εξελιγμένο αυτοκίνητο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός φράγματος σε ένα ρυάκι· είναι αυτή η λειτουργία του; Όχι. Όταν σκεφτόμαστε για σχεδιασμό, η λειτουργία του συστήματος είναι αυτή που απαιτεί *το μεγαλύτερο ποσό από την εσωτερική πολυπλοκότητα του συστήματος*. Τότε μπορούμε να κρίνουμε πόσο καλά τα μέρη ταιριάζουν στη λειτουργία.¹¹²

Η λειτουργία του συστήματος καθορίζεται από την εσωτερική λογική του συστήματος: η λειτουργία δεν είναι κατ' ανάγκη το ίδιο πράγμα με το σκοπό που επιθυμούσε ο σχεδιαστής για το σύστημα. Ένα άτομο που βλέπει για πρώτη φορά μια ποντικοπαγίδα, ίσως να μην γνωρίζει ότι ο κατασκευαστής περίμεν να χρησιμοποιηθεί για να πιάνει ποντίκια. Ίσως να το χρησιμοποιήσει για άμυνα εναντίον διαρρηκτών ή ως σύστημα προειδοποίησης για σεισμούς (αν οι ταλαντώσεις του εδάφους κάνουν τη φάκα να λειτουργήσει), όμως παρόλα αυτά γνωρίζει από την παρατήρηση πως έχουν σχεδιαστεί τα εξαρτήματα να αλληλεπιδρούν. Παρόμοια, ένας ίσως να προσπαθήσει να χρησιμοποιήσει ένα χορτοκοπτικό για τη χλόη ως ανεμιστήρα ή ως μια εξωλέμβια μηχανή. Όμως η λειτουργία του εργαλείου —να περιστρέφει ένα πτερύγιο— καθορίζεται κατά τον καλύτερο τρόπο από την εσωτερική του λογική.

ΠΟΙΟΣ ΕΙΝΑΙ ΕΚΕΙ;

Το ότι βγάζουμε το συμπέρασμα για σχεδιασμό, δεν απαιτεί ότι ήδη έχουμε έναν υποψήφιο για το ρόλο του σχεδιαστή. Μπορούμε να προσδιορίσουμε το ότι ένα σύστημα έχει σχεδιαστεί με το να εξετάσουμε το ίδιο το σύστημα, και μπορούμε να έχουμε πολύ πιο έντονα την πεποίθηση για σχεδιασμό από ότι μια πεποίθηση για την ταυτότητα του σχεδιαστή. Σε πολλά από τα πιο πάνω παραδείγματα, δεν είναι προφανής η ταυτότητα του σχεδιαστή. Δεν έχουμε ιδέα ποιος έφτιαξε την συσκευή που βρήκαμε στον σκουπιδότοπο, ή την παγίδα με τις κληματαριές, και γιατί. Παρόλα αυτά, γνωρίζουμε ότι όλα αυτά τα πράγματα έχουν σχεδιαστεί επειδή η διάταξη των ανεξαρτήτων εξαρτημάτων τους πετυχαίνει κάποιο σκοπό.

Αυτός ο συμπερασμός για σχεδιασμό μπορεί να γίνει με ένα υψηλό βαθμό πεποίθησης ακόμη και αν ο σχεδιαστής είναι πολύ απομακρυσμένος. Οι αρχαιολόγοι που ανασκάπτουν μια χαμένη πόλη, μπορεί να βρουν τετράγωνες πέτρες, που είναι θαμμένες πολλά μέτρα κάτω από τη γη, πάνω στις οποίες υπάρχουν εικόνες από καμήλες και γάτες, γρυπαετούς και δράκοντες. Ακόμη αν και αυτά ήταν όλα όσα είχαν βρει αυτά, θα έβγαζαν το συμπέρασμα ότι οι πέτρες είχαν σχεδιαστεί. Όμως μπορούμε να πάμε ακόμη πιο πέρα. Ήμουν έφηβος όταν είδα το έργο 2001: *Μια Οδύσσεια του Διαστήματος*. Για να πω την αλήθεια δεν

¹¹² Αυτό αποτελεί μια κλήση για κρίση. Ένας ποτέ δεν μπορεί να αποδείξει ότι μια ορισμένη λειτουργία είναι η μόνη απασκοπούμενη λειτουργία —ή έστω ότι αυτή ήταν η αποσκοπούμενη. Όμως η ένδειξη μπορεί παρόλα αυτά να γίνει αρκετά πειστική.

με ένοιαξε πολύ η ταινία· δεν την κατάλαβα. Άρχισε με κάποιους πιθήκους που χτυπούσαν ο ένας τον άλλο με ραβδιά, μετά σε μετέφερε σε ένα διαστημικό ταξίδι με έναν ανδρoειδή υπολογιστή, και τελείωνε με έναν γέρο που έχυne ένα πιoτό και ένα αγέννητο παιδάκι να αιωρείται στο διάστημα. Είμαι σίγουρος ότι είχε κάποιο βαθύ νόημα, όμως εμείς που έχουμε τάση για θετικές επιστήμες δεν είμαστε γρήγοροι στο να «αρπάξουμε» τέτοιου είδους τέχνη.

Όμως υπήρχε μια σκηνή, που την έπιασα αμέσως. Η πρώτη διαστημική πτήση είχε προσσεληνωθεί στο φεγγάρι, κι ένας αστροναύτης βγήκε για να το εξερευνήσει. Καθώς περιπλανιόταν ήρθε ξαφνικά αντιμέτωπος με ένα λειo οβελίσκο που ορθωνόταν στο σεληνιακό τοπίο. Εγώ, ο αστροναύτης, και οι υπόλοιποι θεατές, καταλάβαμε, χωρίς να χρειάζονται λογια, ότι το αντικείμενο είχε σχεδιαστή — ότι κάποιος ευφυής σχεδιαστής είχε πάει στη σελήνη και κατασκεύασε αυτόν τον οβελίσκο. Αργότερα στην ταινία μας έδειχνε ότι υπήρχαν κάποιοι εξωγήινοι στον πλανήτη Δία, όμως δεν μπορούσαμε να το πούμε αυτό κοιτάζοντας τον οβελίσκο. Το μόνο που μπορούσαμε να πούμε κοιτάζοντας το ίδιο το αντικείμενο, είναι ότι μπορεί να είχε σχεδιαστεί από εξωγήινους, αγγέλους, ανθρώπους από το παρελθόν (είτε Ρώσους είτε κατοίκους του χαμένου πολιτισμού της Ατλαντίδας) που μπορούσαν να πετάξουν στο διάστημα, ή ακόμη από έναν άλλο αστροναύτη της πτήσης (που για να κάνει μια φάρσα, είχε αποθηκεύσει τον οβελίσκο και τον έστησε στο φεγγάρι πριν από τον αστροναύτη που τον ανακάλυψε). Αν η πλοκή του έργου εξελισσόταν σε κάποια από αυτές τις κατευθύνσεις, το ακροατήριο δε θα μπορούσε να πει ότι η πλοκή βρισκόταν σε αντίφαση με την εμφάνιση του οβελίσκου. Όμως αν η ταινία είχε σχεδιαστεί για να μας βεβαιώσει ότι ο οβελίσκος δεν είχε σχεδιαστεί, οι θεατές θα γιουχάιζαν τόσο πολύ, έτσι που ο υπεύθυνος για την προβολή θα αναγκαζόταν να σταματήσει την προβολή της ταινίας.

Το συμπέρασμα ότι κάτι έχει σχεδιαστεί, μπορεί να γίνει ανεξάρτητα από τη γνώση για τον σχεδιαστή. Η σωστή διαδικασία είναι ότι το σχέδιο πρώτα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι υπάρχει σχεδιασμός πριν να τεθεί το ερώτημα για το ποιος είναι ο σχεδιαστής. Ο συμπερασμός για σχεδιασμό μπορεί να γίνει με όλη τη δυνατή σταθερότητα που είναι δυνατή σ' αυτόν τον κόσμο, χωρίς να γνωρίζουμε τίποτε για τον σχεδιαστή.

ΣΤΗΝ ΑΚΡΗ

Οποιοσδήποτε μπορεί να πει ότι το όρος Rushmore έχει σχεδιαστεί—αλλά όπως είπε ο βασιλιάς του Σιάμ, μια μέρα κι αυτό θα εξαφανιστεί. Καθώς περνά ο χρόνος και πέφτουν οι βροχές και πνέουν οι άνεμοι, το όρος Rushmore θα αλλάξει. Μετά από μερικές χιλιετίες στο μέλλον, ίσως να περνούν οι άνθρωποι δίπλα από το βουνό και να βλέπουν κάποια ελάχιστα ίχνη από τα πρόσωπα στους βράχους. Θα μπορούσε κάποιος να πει ότι το διαβρωμένο όρος Rushmore είχε σχεδιαστεί; Εξαρτάται. Το συμπέρασμα για σχεδιασμό απαιτεί την αναγνώριση χωριστών συστατικών που είχαν διαταχθεί για να εκπληρώνουν κάποιο σκοπό, και δεν είναι εύκολο να ποσοτικοποιήσουμε τη δύναμη του συμπεράσματος. Ένα διαβρωμένο όρος Rushmore ίσως δώσει σε μελλοντικούς αρχαιολόγους παροξυσμούς, αν θα μπορούσαν να δούνε κάτι που μοιάζει με αυτί, μια μύτη, ή ένα κάτω χείλος, καί σως ένα πηγούνι, κάθε ένα από μια διαφορετική προεδρική μορφή. Τα τμήματα δεν βρίσκονται σε τάξη το ένα σε σχέση με το άλλο και ίσως απλώς να πρόκειται για κάποιο ασυνήθιστο σχηματισμό των πετρωμάτων.

Μας φαίνεται ότι υπάρχει ένα πρόσωπο στην επιφάνεια του φεγγαριού. Μπορεί κανείς να δείξει στις πιο σκοτεινές περιοχές που μοιάζουν σαν μάτια και ένα στόμα. Ίσως να έχουν σχεδιαστεί, πιθανόν από εξωγήινους, όμως ο αριθμός και η εξειδίκευση των συστατικών

δεν επαρκεί για να καθορίσει το σκοπό είχε ως στόχο του. Η Ιταλία μπορεί σκόπιμα να έχει σχεδιαστεί για να μοιάζει σαν μπότα, ή ίσως όχι. Δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα για να φθάσουμε σε ένα ασφαλές συμπέρασμα. Η εφημερίδα *National Enquirer* κάποτε δημοσίευε μια ιστορία που υπονοούσε ότι στο Άρη εμφανιζότανη μορφήενόςανθρώπου· όμως η ομοιότητα ήταν πολύ λίγη. Για τέτοιες περιπτώσεις μπορούμε να πού, όπως για οτιδήποτε, ότι μπορεί να έχει σχεδιαστεί, όμως δεν είμαστε σίγουροι.

Καθώς αυξάνουν ο αριθμός και η ποιότητα των στοιχείων που μπορούν να ταιριαστούν μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα σύστημα, μπορούμε όλο και πιο πολύ να πούμε ότι έχουμε πεποίθηση για σχεδιασμό. Λίγα χρόνια πριν, είχε αναφερθεί ότι σχηματίστηκε η εικόνα του Έλβις πάνω στη μούχλα ενός ψυγείου μιας κυρίας από το Tennessee. Και πάλι μπορούσε κανείς να δει την ομοιότητα, όμως ήταν μικρή. Υποθέστε όμως ότι η ομοιότητα ήταν στην πραγματικότητα πολύ καλή. Υποθέστε μάλιστα ότι η εικόνα δεν είχε σχηματιστεί μόνο από μαύρη μούχλα. Υποθέστε ότι υπήρχε και *Serratia marcescens* — ένα βακτήριο που δίνει κόκκινες επιφάνειες. Και υποθέστε ότι υπήρχαν και αποικίες της ζύμης *Saccharomyces acruiginosa*, που είναι πράσινη, και *Chromobacterium violaceum*, που έχει βυσσινί χρώμα, και *Staphylococcus aureus*, που δίνει κίτρινο χρώμα. Και υποθέστε ότι οι πράσινοι μικροοργανισμοί καθώς αυξανόντουσαν έδιναν το σχήμα του παντελονιού του Έλβις, ενώ τα βυσσινί βακτήρια σχημάτιζαν το πουκάμισο του. Και πολύ μικρές τελείες από εναλλασσόμενα κόκκινα και άσπρα βακτήρια έδιναν το πρόσωπο του με το χρώμα της σάρκας.

Ας υποθέσουμε, ότι πράγματι τα βακτήρια και η μούχλα στο ψυγείο σχημάτιζαν μια εικόνα του Έλβις που ήταν σχεδόν ταυτόσημοι με αυτά τα βελούδινα πόστερ που βλέπουμε στα καταστήματα. Μπορούμε τότε να βγάλουμε συμπέρασμα ότι σχεδιάστηκε; Ναι, μπορούμε—με την ίδια πεποίθηση που έχουμε ότι σχεδιάστηκαν τα πόστερ των 10 σεντ.

Αν ο «άνθρωπος στο φεγγάρι» είχε μια γενειάδα και αυτιά και γυαλιά και φρίδια, τότε θα βγάζαμε το συμπέρασμα ότι έχει σχεδιαστεί. Αν η Ιταλία είχε τρύπες για κορδόνια και κορδόνια και αν η Ιταλία έμοιαζε με μπάλα του ποδοσφαίρου, με χρωματιστές λωρίδες και κάποια επιγραφή, θα λέγαμε ότι σχεδιάστηκαν. Καθώς αυξάνει ο αριθμός των τμημάτων που βρίσκονται σε σχέση το ένα με το άλλο, η κρίση μας για σχεδιασμό θα αύξανε και αυτή και θα έφθανε στη βεβαιότητα. Είναι δύσκολο να ποσοτικοποιήσουμε αυτά τα πράγματα.¹¹³

Όμως είναι εύκολο να συμπεράνουμε ότι ένα σύστημα που έχει τόσες λεπτομέρειες όπως ο βακτηριακός Έλβις.

BIOΧΗΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Είναι εύκολο να δούμε το σχεδιασμό στα πόστερ του Έλβις, στις ποντικοπαγίδες και στα μηνύματα με κομμάτια Scrabble. Όμως τα βιοχημικά συστήματα δεν είναι άψυχα αντικείμενα· είναι τμήματα από ζωντανούς οργανισμούς. Μπορεί άραγε τα ζωντανά βιοχημικά συστήματα να έχουν σχεδιαστεί ευφυώς; Δεν έχει περάσει και πολύς χρόνος από τότε που πίστευαν ότι η ζωή αποτελείται από ένα ειδικό είδος υλικού, διαφορετικού από το υλικό από το οποίο αποτελούνται τα άβια αντικείμενα. Ο Φρίντριχ Βέλερ απομυθοποίησε αυτή την ιδέα. Για πολύ καιρό αργότερα η πολυπλοκότητα της ζωής νίκησε τις πιο πολλές από τις προσπάθειες για να την κατανοήσουμε και να τη διαχειριστούμε. Όμως στις τελευταίες δεκαετίες η βιοχημεία έκανε μεγάλα βήματα ώστε φτάσαμε στο σημείο να μπορούν οι ε-

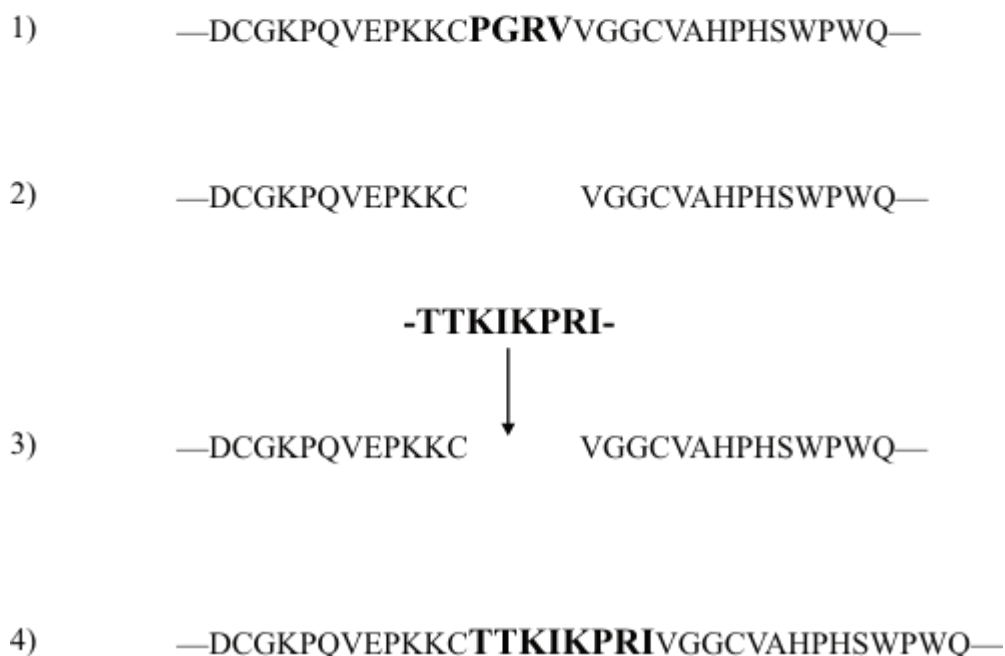
¹¹³ Είναι δύσκολο να ποσοτικοποιήσουμε το σχεδιασμό, αλλά δεν είναι αδύνατο, και οι μελλοντικές έρευνες θα πρέπει να προχωρήσουν σ' αυτήν την κατεύθυνση. Μια εξαιρετική αρχή έγινε από τον Bill Dembski στην διατριβή του (Dembski 1996), στην οποία προσπαθεί να ποσοτικοποιήσει τους συμπερασμούς για σχεδιασμό με βάση αυτά που ονομάζει «εφόδια πιθανότητας» ενός συστήματος.

πιστήμονες να σχεδιάσουν βασικές αλλαγές σε ζωντανούς οργανισμούς. Ας κοιτάξουμε μερικά παραδείγματα από βιοχημικό σχεδιασμό.

Όταν το σύστημα σχηματισμού θρόμβων ξεφύγει από τον έλεγχο, ένας ανεξέλεγκτος θρόμβος μπορεί να εμποδίσει τη ροή του αίματος μέσα από την καρδιά και να βάλει σε κίνδυνο τη ζωή. Στις σύγχρονες θεραπείες, γίνεται ένεση μιας πρωτεΐνης που βρίσκεται στη φύση, και η οποία βοηθά στο να διασπάται ο θρόμβος. Όμως η φυσική πρωτεΐνη έχει μερικά μειονεκτήματα κι έτσι κάποιοι καινοτόμοι επιστήμονες σκέφτηκαν να *συνθέσουν στο εργαστήριο μια νέα πρωτεΐνη* που θα κάνει καλύτερη δουλειά.¹¹⁴ Σύντομα, η στρατηγική είναι η ακόλουθη (Εικόνα 9-1). Πολλές από τις πρωτεΐνες του συστήματος θρόμβωσης του αίματος ενεργοποιούνται από άλλους παράγοντες που αποκόπτουν ένα τμήμα της πρωτεΐνης στόχου και με αυτόν τον τρόπο την ενεργοποιούν. Όμως το τμήμα που αποκόπτεται, μπορεί να αποκοπεί μόνο από τον ειδικό του παράγοντα που το ενεργοποιεί και από τίποτε άλλο. Το πλασμινογόνο—που είναι ο πρόδρομος της πλασμίνης, της πρωτεΐνης που διασπά τους θρόμβους—περιέχει ένα στόχο που αποκόπτεται πολύ αργά, μετά το σχηματισμό του θρόμβου και την έναρξη της θεραπείας. Για να αντιμετωπιστεί ένα καρδιακό επεισόδιο, χρειάζεται άμεσα η πλασμίνη στο σημείο του θρόμβου που εμποδίζει την κυκλοφορία.

ΕΙΚΟΝΑ 9 -1

(1) ΑΠΟΜΟΝΩΝΕΤΑΙ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΑΣΜΙΝΟΓΟΝΟ (ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ ΔΕΙΧΝΟΝΤΑΙ ΤΑ ΑΜΙΝΟΞΕΑ, ΟΧΙ ΤΟ DNA ΠΟΥ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΕΙ.)
 (2) ΑΦΑΙΡΕΙΤΑΙ ΤΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΓΟΝΙΔΙΟΥ ΠΟΥ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΕΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΡΩΤΕΪΝΗΣ ΠΟΥ ΚΟΒΕΤΑΙ ΑΡΓΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ.
 (3) ΤΟ ΤΜΗΜΑ ΕΝΟΣ ΑΛΛΟΥ ΓΟΝΙΔΙΟΥ ΠΟΥ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΕΙ ΓΙΑ ΜΙΑ ΠΡΩΤΕΪΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΟΥ ΚΟΒΕΤΑΙ ΓΡΗΓΟΡΑ ΑΠΟ ΤΗ ΘΡΟΜΒΙΝΗ ΤΟΠΟΘΕΤΕΙΤΑΙ ΣΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΤΟΥ ΠΛΑΣΜΙΝΟΓΟΝΟΥ.
 (4) ΤΩΡΑ ΥΠΑΡΧΕΙ ΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΠΟΥ ΟΤΑΝ ΤΟ ΠΟΘΕΤΗΘΕΙ ΣΕ ΕΝΑ ΚΥΤΤΑΡΟ, ΘΑ ΠΑΡΑΓΕΙ ΠΛΑΣΜΙΝΟΓΟΝΟ ΠΟΥ ΘΑ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΓΡΗΓΟΡΑ ΑΠΟ ΤΗ ΘΡΟΜΒΙΝΗ.



Για να γίνει αμέσως διαθέσιμη η πλασμίνη και στη σωστή θέση, το γονίδιο για το πλασμινογόνο απομονώθηκε από τους ερευνητές και τροποποιήθηκε. Αντικαθίσταται το μέρος

¹¹⁴ Dawson, K. m., Cook, A., Devine, J. M., Edwards, R. M., Hunter, M. G., Raper, R.H., and Roberts G. (1994) "Plasminogen Mutants Activated by Thrombin,": *Journal of Biological Chemistry*, 269, 15989-15992

του γονιδίου που κωδικοποιεί για τη θέση που κόβεται στο πλασμινογόνο για να ενεργοποιηθεί η πρωτεΐνη. Αντικαθίσταται από ένα τμήμα γονιδίου για ένα άλλο συστατικό του μονοπατιού για τη θρόμβωση του αίματος (όπως τον πρόδρομο της προθρομβίνης, ή ΡΤΑ) που έχει την ιδιότητα να κόβεται γρήγορα από την προθρομβίνη. Τώρα έχουμε την εξής ιδέα: το κατασκευασμένο πλασμινογόνο, που φέρνει το κομμάτι που κόβεται από τη θρομβίνη, μπορεί γρήγορα να κοπεί και να ενεργοποιηθεί όταν είναι στη γειτονιά ενός θρόμβου. Όμως η δραστηριότητα που εξαπολύεται γρήγορα δεν είναι του ΡΤΑ, είναι μάλλον της πλασμίνης. Αν τώρα γίνει γρήγορα μια ένεση τέτοιας πρωτεΐνης σε ένα θύμα καρδιακού επεισοδίου, υπάρχει ελπίδα ότι η πλασμίνη θα τον /την βοηθήσει να ανανήψει με την ελάχιστη δυνατή μόνιμη βλάβη.

Η νέα πρωτεΐνη είναι προϊόν ευφυούς σχεδιασμού. Κάποιος που έχει τη γνώση του συστήματος θρόμβωσης του αίματος, έκατσε στο γραφείο του και έκανε σκίτσα για μια νέα πορεία που θα παράγει μια πρωτεΐνη που συνδυαζόμενη με τις ιδιότητες της διάλυσης θρόμβων που έχει η πλασμίνη, με την ιδιότητα για γρήγορη ενεργοποίηση των πρωτεϊνών που κόβονται από τη θρομβίνη. Ο σχεδιαστής γνώριζε ποιο θα είναι το τελικό προϊόν του έργου που θα επρόκειτο να κάνει, και εργάστηκε για να πετύχει αυτό το σκοπό. Μετά τη σύνταξη του σχεδίου, ο σχεδιαστής (ή ο μεταπτυχιακός του φοιτητής) πήγε στο εργαστήριο και έκανε όλα τα αναγκαία βήματα για να εκτελέσει το σχέδιο του. Το αποτέλεσμα είναι μία πρωτεΐνη που κανείς στο παρελθόν δεν έχει δει στον κόσμο—μία πρωτεΐνη που θα εκτελέσει το σχέδιο του σχεδιαστή. Τα βιοχημικά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν πραγματικά. Στις μέρες μας ο ευφυής σχεδιασμός των βιοχημικών συστημάτων είναι στην πραγματικότητα κάτι το αρκετά συνηθισμένο. Για να προμηθευτούν οι διαβητικοί την ανθρώπινη ινσουλίνη που είναι δύσκολο να ληφθεί, οι ερευνητές πριν μια δεκαετία απομόνωσαν το γονίδιο της ανθρώπινης ινσουλίνης. Το τοποθέτησαν σε ένα τμήμα του DNA που θα μπορούσε να επιβιώσει μέσα σε ένα βακτηριακό κύτταρο και ανέπτυξαν τα τροποποιημένα βακτήρια. Ο κυτταρικός μηχανισμός του βακτηρίου παρήγαγε ανθρώπινη ινσουλίνη, που απομονώθηκε και χρησιμοποιήθηκε για τη θεραπεία ασθενών. Μερικά εργαστήρια τώρα τροποποιούν ανώτερους οργανισμούς με το να ενσωματώνουν άμεσα αλλαγμένο DNA στα κύτταρα τους. Για αρκετό διάστημα έχουν εισαχθεί τροποποιημένα φυτά που αντέχουν στην παγωνιά και στα παρασιτικά έντομα, κάτι πιο καινούριο είναι η εφαρμογή των τεχνικών αυτών για την παραγωγή αγελάδων που δίνουν γάλα με μεγαλύτερα ποσά από χρήσιμες πρωτεΐνες. (Οι άνθρωποι που το κάνουν αυτό με το να κάνουν ένεση επιπλέον γονιδίων σε έμβρυα αγελάδων, ονομάζουν τον εαυτό τους pharmlers, φαρμαγρότες ως συντομία για το φαρμακευτικοί αγρότες.)

Ίσως θα μπορούσε να παρατηρηθεί ότι αν και τα συστήματα που περιγράφηκαν πιο πάνω είναι παραδείγματα βιοχημικού σχεδιασμού, σε κάθε περίπτωση ο σχεδιαστής το μόνο που έκανε ήταν να αναδιατάξει κομμάτια της φύσης: αυτός ή αυτή δεν παρήγαγαν ένα τελείως νέο σύστημα από το μηδέν. Αυτό είναι σωστό, όμως πιθανόν δε θα περάσει πολύς καιρός που θα πάψει να είναι σωστό. Σήμερα οι επιστήμονες εργάζονται εντατικά για να αποκαλύψουν τα μυστικά για το τι δίνει σε κάθε πρωτεΐνη την δική της δραστηριότητα. Η πρόοδος είναι αργή, όμως σταθερή. Δε θα περάσει πολύς χρόνος, όταν θα φθάσουμε στο σημείο να κατασκευάζονται οι πρωτεΐνες από το μηδέν, και να σχεδιασμένες για ειδικούς και νέους σκοπούς. Ακόμη πιο εντυπωσιακό είναι ότι τα νέα χημικά συστήματα αναπτύσσονται από οργανικούς χημικούς για να μιμηθούν τις δραστηριότητες της ζωής. Αυτό το παρουσίασαν τα μέσα ενημέρωσης ως «συνθετική» ζωή. Αν και αυτό είναι μια χονδροειδής υπερβολή που σχεδιάστηκε για να πουλιούνται τα περιοδικά, όμως δείχνει αυτό το έργο ότι ένας ευφυής παράγοντας μπορεί να σχεδιάσει ένα σύστημα που να δείχνει ιδιότητες που να είναι

όμοιες με τις βιοχημικές, χωρίς να χρησιμοποιεί βιοχημικές ουσίες που υπάρχουν στα ζωντανά συστήματα.

Τα τελευταία χρόνια μερικοί επιστήμονες έχουν φθάσει στο σημείο να σχεδιάζουν νέες βιοχημικές ουσίες χρησιμοποιώντας τις αρχές της μικροεξέλιξης —μεταλλάξεις και επιλογή.¹¹⁵ Η ιδέα είναι απλή: να κατασκευαστούν χημικά πολλά διαφορεικά κομμάτια από DNA ή RNA μετά να βγάλουμε από το μείγμα τα λίγα κομμάτια που έχουν μια ιδιότητα που επιθυμεί ο σχεδιαστής, όπως την ικανότητα να συνδέεται με μια βιταμίνη ή μια πρωτεΐνη. Αυτό γίνεται με το να αναμειγνύονται στερεά σώματα πάνω στα οποία έχει ήδη προσκολληθεί η βιταμίνη ή η πρωτεΐνη σε ένα διάλυμα που περιέχει ένα μείγμα των κομματιών DNA ή RNA, και μετά να ξεπλυθεί το διάλυμα. Τα κομμάτια DNA ή RNA που προσκολλώνται στη βιταμίνη ή πρωτεΐνη παραμένουν κολλημένα στο στερεό, όλα τα άλλα που δεν ενώνονται ξεπλένονται. Μετά που επιλέγονται τα σωστά κομμάτια, ο πειραματιστής χρησιμοποιεί ένζυμα για να κάνει πολλά αντίγραφα τους. Ο Gerald Joyce που είναι ηγετική μορφή σ' αυτό το πεδίο, παρομοιάζει τη διαδικασία με επιλεκτική εκτροφή ζώων: «Αν ένας επιθυμεί μια πιο κόκκινη μύτη ή μια πιο χνουδωτή γάτα Αγκύρας, επιλέγει να εκθρέψει αυτά τα άτομα που δείχνουν πιο πολύ το επιθυμητό χαρακτηριστικό. Έτσι και εδώ, αν ένας επιθυμεί ένα μόριο που να δείχνει ένα ιδιαίτερο χημικό χαρακτηριστικό, από ένα μεγάλο πληθυσμό μορίων, επιλέγει αυτά τα μόρια που επιδεικνύουν καλύτερα την ιδιότητα.¹¹⁶ Όπως στην επιλεκτική εκτροφή, η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα της μικροεξέλιξης, όμως έχει και τους περιορισμούς της. Μπορούν να παραχθούν απλές βιοχημικές δραστηριότητες, αλλά όχι τα περίπλοκα συστήματα που έχουν συζητηθεί σ' αυτό το βιβλίο.

Η τεχνική αυτή μοιάζει κατά πολλούς τρόπους με την κλωνική επιλογή των αντισωμάτων που συζητήθηκε στο 7^ο Κεφάλαιο. Πράγματι, άλλοι επιστήμονες εκμεταλλεύονται την ικανότητα του ανοσοποιητικού συστήματος να παράγει αντισώματα εναντίον σχεδόν κάθε είδους μορίου. Οι επιστήμονες κάνουν μια ένεση σε ένα ζώο με ένα μόριο που τους ενδιαφέρει (για παράδειγμα ένα φάρμακο) και μετά απομονώνουν τα αντισώματα που έχουν παραχθεί εναντίον του. Τα αντισώματα τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κλινικά ή βιομηχανικά αντιδραστήρια για να ανακαλύπτεται το μόριο. Σε μερικές περιπτώσεις μπορούν να παραχθούν αντισώματα που συμπεριφέρονται ως απλά ένζυμα¹¹⁷ (ονομάζονται «άμπζυμα»). Και οι δύο αυτές προσεγγίσεις—DNA/RNA ή αντισώματα — μας υπόσχονται να βρουν πολλές βιομηχανικές και ιατρικές εφαρμογές τα επόμενα χρόνια.

Το γεγονός ότι τα βιοχημικά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν από ευφυείς παράγοντες για να κάνουν το δικό τους σκοπό το παραδέχονται όλοι οι επιστήμονες, ακόμη και ο Ρίτσαρντ Ντόουκινς. Στο νεώτερο του βιβλίο ο Ντόουκινς φαντάζεται ένα υποθετικό σενάριο όπου ένας ηγετικός επιστήμονας απάγεται και αναγκάζεται να εργαστεί για την κατασκευή βιολογικών όπλων από μια σατανική, στρατοκρατούμενη χώρα.¹¹⁸ Ο επιστήμονας παίρνει βοήθεια με το να κωδικοποιήσει ένα μήνυμα σε μια ακολουθία DNA σε ένα ιό γρίπης: μολύνει τον εαυτό του με τον τροποποιημένο ιό, φταρνίζεται σε ένα πλήθος ανθρώπων, και υπομονετικά περιμένει να εξαπλωθεί η γρίπη σε όλο τον κόσμο, έχοντας την πεποίθηση ότι άλλοι επιστήμονες θα απομονώσουν τον ιό, και θα βρουν τη σειρά των νουκλεοτιδίων του DNA του και θα αποκωδικοποιήσουν τον κώδικα του. Αφού ο Ντόουκινς συμφωνεί ότι μπορούν να σχεδιαστούν τα βιοχημικά συστήματα, και ότι οι άνθρωποι που δεν έχουν δει

¹¹⁵ Ανασκόπηση στο Gold, I., Polisky, B., Uhlenbeck, O. & Yarus M. (1995) "Diversity of Oligonucleotide Functions," *Annual Review of Biochemistry* 64, 763-797

¹¹⁶ Joyce, G. F. (1992) "Directed Molecular Evolution," *Scientific American*, December, p. 90

¹¹⁷ Benkovic, S. J. (1992) "Catalytic Antibodies" *Annual Review of Biochemistry* 61, 29-54

¹¹⁸ Dawkins, R. (1995) *River Out of Eden*, Basic Books, New York, pp. 17-18

ή ακούσει για σχεδιασμό, μπορούν παρόλα αυτά να τον ανιχνεύσουν, τότε το ερώτημα αν ένα δεδομένο βιοχημικό σύστημα είχε σχεδιαστεί είναι σε τελευταία ανάλυση να προσκομιστεί ένδειξη που υποστηρίζει το σχεδιασμό.

Θα πρέπει να σκεφτούμε το ρόλο των νόμων της φύσης. Οι νόμοι της φύσης μπορούν να οργανώσουν την ύλη—για παράδειγμα, η ροή του νερού μπορεί να δημιουργήσει μια απόθεση λάσπης για να φράξει το τμήμα ενός ποταμού, και να τον αναγκάσει να αλλάξει πορεία. Οι πιο σχετικοί νόμοι είναι οι νόμοι της βιολογικής αναπαραγωγής, της μετάλλαξης και της φυσικής επιλογής. Αν μία βιολογική δομή μπορεί να εξηγηθεί με βάση αυτούς τους φυσικούς νόμους, τότε δε μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι σχεδιάστηκε. Σ' όλο αυτό το βιβλίο έχω δείξει γιατί πολλά βιοχημικά συστήματα δεν μπορούν να οικοδομηθούν με το να εργάζεται η φυσική επιλογή πάνω στις μεταλλάξεις, δεν υπάρχει ένας άμεσος, βαθμιαίος δρόμος που να οδηγεί σ' αυτά τα μη αναγώγιμα πολύπλοκα συστήματα, και οι νόμοι της χημείας αντιστρατεύονται έντονα την χωρίς κατεύθυνση ανάπτυξη των βιοχημικών συστημάτων που παρασκευάζουν μόρια όπως την AMP. Οι εναλλακτικές δυνατότητες σε σχέση με τη βαθμιαία εξέλιξη που επενεργούν μέσα από μη ευφυείς αιτίες, όπως τη συμβίωση και τη θεωρία πολυπλοκότητας, δεν μπορούν (και ούτε καν προσπαθούν) να εξηγήσουν τις θεμελιώδεις βιοχημικές μηχανές της ζωής. Αν οι φυσικοί νόμοι που ιδιαίτερα σχετίζονται με τη ζωή δεν μπορούν να εξηγήσουν ένα βιολογικό σύστημα, τότε τα κριτήρια για να συμπεράνουμε σχεδιασμό γίνονται τα ίδια όπως και για άψυχα συστήματα. Δεν υπάρχει κάποιο μαγικό σημείο για τη μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα όπου ο Δαρβινισμός είναι λογικά αδύνατος. Όμως τα εμπόδια για τη βαθμιαία εξέλιξη γίνονται πιο ψηλά και πιο ψηλά καθώς οι δομές είναι πιο πολύπλοκες και πιο πολύ αλληλεξαρτημένες.

Μήπως υπάρχει μια άλλη φυσική διαδικασία που δεν έχει ανακαλυφθεί ακόμη που θα μπορούσε να εξηγήσει τη βιοχημική πολυπλοκότητα; Κανένας δεν είναι τόσο ανόητος που κατηγορηματικά να αρνείται αυτή τη δυνατότητα. Παρόλα αυτά, μπορούμε να πούμε ότι και αν υπήρχε αυτή η διαδικασία, κανένας δε θα είχε κάποια ιδέα για το πως θα δρούσε. Επιπλέον θα ήταν ενάντια σε κάθε ανθρώπινη εμπειρία, όπως το να πούμε αξιωματικά, ότι μία φυσική διαδικασία θα μπορούσε να εξηγήσει τους υπολογιστές. Το να συμπεράνουμε ότι δεν υπάρχει μια τέτοια διαδικασία, είναι τόσο σωστή επιστημονικά όσο το να συμπεράνουμε ότι η διανοητική τηλεπάθεια δεν είναι δυνατή, ή ότι το τέρας του Λοχ Νες δεν υπάρχει. Έχοντας τη μαζική ένδειξη που έχουμε για το βιοχημικό σχεδιασμό, και αγνοώντας αυτήν την ένδειξη ενονόματι μιας διαδικασίας φάντασμα, θα ήταν να παίξουμε το ρόλο των ελεφάντων που αγνοούν τον ελέφαντα.

Έχοντας ξεκαθαρίσει από το δρόμο μας αυτά τα προκαταρκτικά ερωτήματα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα βιοχημικά συστήματα που συζητήθηκαν στα Κεφάλαια 3 μέχρι 6 έχουν σχεδιαστεί από έναν ευφυή παράγοντα. Μπορούμε να έχουμε πεποίθηση ότι το συμπέρασμα μας για αυτές τις περιπτώσεις, όσο είμαστε σίγουροι ότι μια ποντικοπαγίδα έχει σχεδιαστεί, ή ότι οι φιγούρες του όρους Rushmore ή ότι το πόστερ του Έλβις έχουν σχεδιαστεί. Δεν υπάρχει γι' αυτά τα συστήματα ένα ερώτημα βαθμού, όπως για τον άνθρωπο στο φεγγάρι ή το σχήμα της Ιταλίας. Η ικανότητα μας να έχουμε πεποίθηση για το σχεδιασμό του κροσσού, ή της ενδοκυτταρικής μεταφοράς, βρίσκεται στις ίδιες αρχές που έχει η ικανότητα μας να είμαστε πεισμένοι για το σχεδιασμό οποιουδήποτε πράγματος: η διάταξη των χωριστών συστατικών για να επιτευχθεί μια αναγνωρίσιμη λειτουργία που εξαρτάται κρίσιμα από τα συστατικά.

Η λειτουργία του κροσσού είναι: κουπί με κινητήρα. Για να πετύχει αυτή τη λειτουργία οι μικροσωληνίσκοι, οι σύνδεσμοι νεξίνης και οι κινητικές πρωτεΐνες πρέπει να διαταχθούν με έναν ακριβή τρόπο. Θα πρέπει να αλληλοαναγνωρίζονται στενά, και να έχουν ακριβείς αλ-

ληλεπιδράσεις. Η λειτουργία δεν μπορεί να επιτευχθεί αν λείπει ένας από αυτούς τους παράγοντες. Επιπλέον, πολλοί άλλοι παράγοντες εκτός από αυτούς που αναφέρθηκαν απαιτούνται για να κάνουν χρήσιμο το σύστημα για έναν ζωντανό οργανισμό: ο κροσσός θα πρέπει να είναι τοποθετημένο στη σωστή θέση, να κατευθύνεται σωστά, και να αρχίζει ή να σταματά η λειτουργία του ανάλογα με τις ανάγκες του κυττάρου.

Η λειτουργία του ενδοκυτταρικού συστήματος μεταφοράς είναι να μεταφέρει φορτία από το ένα μέρος στο άλλο. Για να το κάνει αυτό θα πρέπει τα πακέτα να έχουν ετικέτες, να αναγνωρίζονται οι προορισμοί, και τα οχήματα να είναι εφοδιασμένα. Οι μηχανισμοί να είναι σε θέση να αφήσουν μια περικλειστη περιοχή του κυττάρου και να μπουν σε μια άλλη περικλειστη περιοχή. Η αποτυχία του συστήματος δημιουργεί εδώ ένα έλειμμα από κρίσιμα εφόδια κι εκεί μια αποπνικτική αφθονία. Τα ένζυμα που είναι χρήσιμα σε μια περιοχή μπορούν να δημιουργήσουν ένα χάος σε μια άλλη.

Οι λειτουργίες των άλλων βιοχημικών συστημάτων που συζητήσα μπορούν να αναγνωριστούν πιο εύκολα, και να καταμετρηθούν τα μέρη τους που αλληλεπιδρούν. Επειδή οι λειτουργίες εξαρτώνται κρίσιμα από τις περίπλοκες αλληλεπιδράσεις των μερών, θα πρέπει να συμπεράνουμε, ότι κι αυτά, όπως μια ποντικοπαγίδα έχουν σχεδιαστεί.

Ο σχεδιασμός που σήμερα συμβαίνει στα βιοχημικά εργαστήρια όλου του κόσμου—η δραστηριότητα που τόσο πολύ χρειάζεται για να σχεδιαστεί λεπτομερειακά ένα νέο πλασμινογόνο που θα μπορεί να κοπεί από την θρομβίνη, ή μια αγελάδα που δίνει αυξητική ορμόνη στο γάλα της, ή ενός βακτηρίου που εκκρίνει ανθρώπινη ινσουλίνη—είναι ανάλογη με το σχεδιασμό που προηγήθηκε για το σύστημα θρόμβωσης του αίματος. Το εργαστηριακό έργο που κάνουν οι μεταπτυχιακοί φοιτητές καθώς ενώνουν μαζί κομμάτια γονιδίων σε μια εσκεμμένη προσπάθεια να κάνουν κάτι νέο είναι ανάλογο με το έργο που έγινε για να προκαλέσει την ύπαρξη του πρώτου κροσσού.

ΚΑΝΟΝΤΑΣ ΔΙΑΚΡΙΣΕΙΣ

Το ότι μπορούμε να συμπεράνουμε ότι κάποια βιοχημικά συστήματα έχουν σχεδιαστεί, δε σημαίνει ότι για όλα τα υποκυτταρικά συστήματα μπορούμε να πούμε άμεσα ότι σχεδιάστηκαν. Επιπλέον μερικά συστήματα μπορεί να έχουν σχεδιαστεί, όμως η απόδειξη του σχεδιασμού τους να είναι δύσκολη. Το πρόσωπο του Έλβις μπορεί να είναι ξεκάθαρο και διακριτό ενώ η (υποτιθέμενη) κιθάρα του να είναι μια ιμπρεσιονιστική θολούρα. Μπορεί να είναι πολύ εύκολο να ανιχνεύσουμε σχεδιασμό στον κροσσό, όμως ο σχεδιασμός για ένα άλλο σύστημα μπορεί να είναι στα όρια του να είναι ή να μην είναι ανιχνεύσιμος. Αποδεικνύεται ότι το κύτταρο περιέχει συστήματα που εκτείνονται από τα προφανώς σχεδιασμένα μέχρι αυτά που δεν έχουν προφανή σχεδιασμό. Το να έχουμε υπόψη μας ότι οτιδήποτε θα μπορούσε να είχε σχεδιαστεί, ως δούμε σύντομα δύο συστήματα που είναι δύσκολο να δούμε το σχεδιασμό τους.

Η βάση της ζωής είναι το κύτταρο, στο οποίο οι βιοχημικές διαδικασίες που υποστηρίζουν την ύπαρξη του κυττάρου προφυλάσσονται από το υπόλοιπο περιβάλλον. Η δομή που περικλείει το κύτταρο ονομάζεται κυτταρική μεμβράνη. Δημιουργείται από μόρια που είναι όμοια με τα απορρυπαντικά με τα οποία πλένουμε τα πιάτα και τα ρούχα. Ο ακριβής τύπος του μορίου που μοιάζει με απορρυπαντικό και που χρησιμοποιείται στις μεμβράνες έχει μεγάλες διαφορές καθώς πάμε από το ένα είδος κυττάρου σ' ένα άλλο είδος: μερικά είναι μακρύτερα, μερικά είναι πιο κοντά, μερικά είναι πιο χαλαρά, μερικά είναι πιο άκαμπτα· μερικά έχουν θετικά φορτία, μερικά έχουν αρνητικά φορτία, και μερικά είναι ουδέτερα. Τα

περισσότερα κύτταρα περιέχουν ένα μείγμα από διάφορους τύπους μορίων στις μεμβράνες τους και το μείγμα θα είναι διαφορετικό για διάφορους τύπους κυττάρων.

Όταν τα μόρια του απορρυπαντικού βρεθούν στο νερό, τείνουν να προσκολληθούν το ένα με το άλλο. Ένα καλό παράδειγμα για αυτήν την προσκόλληση φαίνεται στις σαπουνόφουσκες που ξεχόνονται από το πλυντήριο καθώς κάνεις την πλύση. Οι φούσκες αποτελούνται από πολύ λεπτά στρώματα του απορρυπαντικού (συν λίγο νερό) και σ' αυτές τα μόρια είναι τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο. Το σφαιριό σχήμα που έχουν οι φούσκες οφείλεται σε μια φυσική δύναμη που ονομάζεται επιφανειακή τάση, και που ενεργεί έτσι ώστε να ελαττώνεται η επιφάνεια της φούσκας στη μικρότερη δυνατή περιοχή που μπορεί να βολέψει την ποσότητα του απορρυπαντικού. Αν πάρεις τα μόρια από μια κυτταρική μεμβράνη, τα καθαρίσεις από όλα τα άλλα συστατικά του κυττάρου, και τα διαλύσεις στο νερό, τότε και πάλι πακετάρονται μεταξύ τους και δίνουν σφαιρικά περίκλειστα σχήματα.

Επειδή αυτά τα μόρια σχηματίζουν φούσκες από μόνα τους, επειδή η σύνδεση των μορίων δεν παρουσιάζει διάκριση, και επειδή δεν είναι απαραίτητο ένα είδος μορίου για να σχηματιστεί μια μεμβράνη, είναι δύσκολο να συμπεράνουμε ότι υπάρχει ευφυής σχεδιασμός για τις κυτταρικές μεμβράνες. Όπως οι πέτρες ενός πέτρινου τοίχου, κάθε ένα από τα συστατικά μπορεί να αντικατασθεί εύκολα από ένα διαφορετικό συστατικό. Όπως και για τη μούχλα στο ψυγείο μου, δεν ανιχνεύεται ο σχεδιασμός.

Ή ας θεωρήσουμε την αιμοσφαιρίνη— την πρωτεΐνη στα ερυθρά μας αιμοσφαίρια που μεταφέρει το οξυγόνο από τους πνεύμονες στους περιφερειακούς μας ιστούς. Η αιμοσφαιρίνη κατασκευάζεται από τέσσερις ατομικές πρωτεΐνες που κολλάνε μεταξύ τους, και κάθε μια από τις τέσσερις πρωτεΐνες μπορεί να ενωθεί με οξυγόνο. Οι δύο από τις τέσσερις πρωτεΐνες είναι ταυτοσημες η μία με την άλλη, όπως και οι άλλες δύο η μία με την άλλη. Αποδεικνύεται ότι, εξαιτίας του τρόπου που κολλάνε οι τέσσερις συστατικές πρωτεΐνες της αιμοσφαιρίνης, το πρώτο οξυγόνο που πηδά μέσα συνδέεται λιγότερο δυνατά από τα άλλα τρία. Η διαφορά στη δύναμη της σύνδεσης του οξυγόνου οδηγεί σε μια συμπεριφορά που ονομάζεται «συνεργασιμότητα». Αν το πούμε απλά, αυτό σημαίνει ότι η ποσότητα του οξυγόνου που ενώνεται με ένα μεγάλο αριθμό μορίων αιμοσφαιρίνης (όπως συμβαίνει στο αίμα) δεν αυξάνει ανάλογα με το ποσό του οξυγόνου που υπάρχει στον αέρα. Αυτό που μάλλον συμβαίνει είναι ότι όταν το οξυγόνο στον περιβάλλοντα χώρο είναι λίγο, δε συνδέεται καθόλου οξυγόνο με την αιμοσφαιρίνη— πολύ λιγότερο από ότι αν δεν υπήρχε η συνεργασιμότητα. Από την άλλη αν το οξυγόνο στο περιβάλλον αυξάνει, η ποσότητα του οξυγόνου που συνδέεται με την αιμοσφαιρίνη του αίματος αυξάνει με έναν πολύ γρήγορο ρυθμό. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως ένα φαινόμενο ντόμινο· χρειάζεται κάποια προσπάθεια για να ρίξεις το πρώτο ντόμινο (να συνδεθεί το πρώτο οξυγόνο), αλλά τα άλλα ντόμινο πέφτουν κάτω αυτοματα. Η συνεργασιμότητα έχει σημαντικές φυσιολογικές συνέπειες: επιτρέπει στην αιμοσφαιρίνη να κορεσθεί πλήρως όταν υπάρχει πολύ οξυγόνο (όπως γίνεται στους πνεύμονες) και να το αποβάλει εύκολα εκεί που χρειάζεται το οξυγόνο (όπως στους περιφερειακούς ιστούς).

Επίσης υπάρχει μια άλλη πρωτεΐνη, που ονομάζεται μυοσφαιρίνη, που είναι πολύ όμοια με την αιμοσφαιρίνη, εκτός από το ότι έχει μόνο μία πρωτεϊνική αλυσίδα, και όχι τέσσερις και έτσι μαζί της συνδέεται μόνο ένα οξυγόνο. Η σύνδεση του οξυγόνου με τη μυοσφαιρίνη δεν περιέχει συνεργασιμότητα. Το ερώτημα είναι, αν υποθέσουμε ότι ήδη έχουμε ένα σύστημα που προσλαμβάνει το οξυγόνο όπως η μυοσφαιρίνη, μπορούμε να συμπεράνουμε ευφυή σχεδιασμό από τη λειτουργία της αιμοσφαιρίνης; Η υπεράσπιση του σχεδιασμού δεν είναι ισχυρή. Το σημείο έναρξης, η μυοσφαιρίνη, ήδη μπορεί να δεσμεύει οξυγόνο. Η συμπεριφορά της αιμοσφαιρίνης μπορεί να επιτευχθεί με μια μάλλον απλή μετατροπή της

συμπεριφοράς της μυσσφαιρίνης, και οι ατομικές πρωτεΐνες της αιμοσφαιρίνης μας θυμίζουν έντονα τη μυσσφαιρίνη. Έτσι παρόλο που η αιμοσφαιρίνη μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύστημα με αλληλεπιδρώντα τμήματα, η αλληλεπίδραση δεν κάνει πολλά που δεν είναι ξεκάθαρα πέραν από τις δυνατότητες που έχουν τα ατομικά συστατικά του συστήματος. Αν είναι δεδομένο το σημείο έναρξης της μυσσφαιρίνης, θα 'λεγα ότι η αιμοσφαιρίνη δείχνει την ίδια ένδειξη για σχεδιασμό όπως ο άνθρωπος στο φεγγάρι: είναι ενδιαφέρουσα αλλά δεν είναι πειστική.

Το τελικό βιοχημικό σύστημα είναι αυτό για το οποίο ήδη μίλησα στο κεφάλαιο 7—το σύστημα που παράγει την AMP. Το να συμπεράνουμε εδώ σχεδιασμό είναι σαν να συμπεραίνουμε ότι μια ζωγραφική που αποδίδεται σε κάποιο διάσημο-αλλά – νεκρό καλλιτέχνη, δεν είναι παρά μια πλαστογραφία από κάποιο άλλο πρόσωπο από την ίδια εποχή. Ίσως μπορείς να δεις ότι η ζωγραφική έχει γραμμένο το όνομα του διάσημου καλλιτέχνη στην κάτω αριστερή γωνία, όμως οι πινελιές, ο συνδυασμός των χρωμάτων, και το υλικό για το θέμα, το υλικό για τον κανβά, και η ίδια ζωγραφική είναι όλα διαφορετικά.

Επειδή χρειάζονται τόσα πολλά διαδοχικά βήματα για να γίνει η AMP, επειδή τα ενδιάμεσα δε χρησιμοποιούνται και επειδή η καλύτερη γνώση της χημείας μας δίνουν επιχειρήματα κατά της μη κατευθυνόμενης παραγωγής του μονοπατιού, φαίνεται ότι είναι πολύ καλή η δυνατότητα υπεράσπισης του σχεδιασμού για το μονοπάτι παραγωγής της AMP. Θεωρητικά το συμπέρασμα για σχεδιασμό είναι σ' αυτήν την περίπτωση ευάλωτο σε ένα σενάριο του τύπου Stewart Kauffman· όμως η θεωρία πολυπλοκότητας δεν είναι προς το παρόν παρά ένα φάντασμα, και η γνωστή συμπεριφορά των μορίων μας επιβάλλει να είμαστε εναντίον του σεναρίου. Επιπλέον το συμπέρασμα για ευφυή σχεδιασμό άλλων βιοχημικών συστημάτων ισχυροποιεί την πιστευτότητα του να επικαλεσθούμε σχεδιασμό και γι' αυτό το σύστημα.

Αφού το κάθε τι θα μπορούσε να έχει σχεδιαστεί, και αφού η ανάγκη για να δείξουμε ενδείξεις για σχεδιασμό, δεν είναι εκπληκτικό το ότι μπορούμε να έχουμε περισσότερη επιτυχία στο να επιδείξουμε σχεδιασμό με ένα βιοχημικό σύστημα και λιγότερο επιτυχημένοι σε κάποιο άλλο. Μερικά χαρακτηριστικά του κυττάρου φαίνονται να είναι το αποτέλεσμα απλών φυσικών διαδικασιών, άλλα ίσως να είναι. Όμως άλλα χαρακτηριστικά ήταν σχεδόν σίγουρα σχεδιασμένα. Και με μερικά χαρακτηριστικά μπορούμε να έχουμε τόση σιγουριά ότι έχουν σχεδιαστεί όσο τίποτε άλλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

ΑΠΛΕΣ ΙΔΕΕΣ

Ίσως να χρειαστεί ένα εκπληκτικά μακρό χρονικό διάστημα για να αναπτυχθεί μια απλή ιδέα, ακόμη κι αν αυτή είναι πολύ ισχυρή. Ίσως το πιο διάσημο παράδειγμα είναι η εφεύρεση του τροχού. Πριν από τον τροχό οι άνθρωποι μοχλούσαν γύρω – τριγύρω καθώς τραβούσαν φορτία πάνω σε πλατφόρμες φτιαγμένες από κορμούς, που καθώς σερνόντουσαν στο έδαφος παραγόταν πάρα πολλή τριβή. Στη σημερινή μας εποχή, ένα οποιοδήποτε παιδί του σχολείου θα τους συμβούλευε να φτιάξουν κάρα με ρόδες, γιατί ο μαθητής έχει μάθει για τον τροχό. Η ιδέα για τον τροχό, είναι ταυτόχρονα και πολύ ισχυρή, αλλά και εκπληκτικά απλή, και οδηγεί σε πάρα πολλά πρακτικά πλεονεκτήματα στη ζωή. Όμως αυτή η ιδέα με δυσκολία σχηματίστηκε και αναπτύχθηκε.

Μια άλλη πολύ ισχυρή ιδέα είναι το φωνητικό αλφάβητο. Τα φωνητικά αλφάβητα αποτελούνται από σύμβολα που αναπαριστούν ήχους· με το να συνδυάσουμε μερικά από αυτά τα σύμβολα, παίρνουμε μια αλυσίδα συμβόλων που μας δίνει τον ήχο μιας πραγματικής λέξης. Τα φωνητικά αλφάβητα έρχονται σε αντίθεση με τα ιερογλυφικά συστήματα γραφής, στα οποία διάφοροι εικονικοί χαρακτήρες συμβολίζουν λέξεις. Τα ιερογλυφικά είναι κατά πολλούς τρόπους ένας πιο φυσικός τρόπος για γραφή, ειδικά για κάποιον που είναι αρχάριος. Για κάποιον που δεν έχει καμία γνώση της γραπτής επικοινωνίας, είναι πολύ πιο πιθανόν να σχεδιάσει ένα σκύλο που τρώει ένα κόκαλο παρά να γράψει στο χαρτί τη μορφή «ΣΚΥΛΟΣ ΤΡΩΕΙ ΚΟΚΑΛΟ» και μετά να πει στους φίλους του ότι το σημάδια που αναπαριστάνεται με μια γραμμή προς τα κάτω και δύο γραμμές που ξεκινάνε από τη μέση της, η μία προς τα πάνω και η άλλη προς τα κάτω (K) αναπαριστάνει τον ήχο «ΚΟΥ», ο κύκλος (O) αναπαριστάνει τον ήχο «ο» κοκ. Αν είχε ήδη εγκαθιδρυθεί, το πολύ πιο φυσικό ιερογλυφικό σύστημα θα έτεινε πολύ περισσότερο να εμποδίσει την υιοθέτηση ενός φωνητικού, αν και το φωνητικό είναι πολύ πιο ευέλικτο, καθώς η γλώσσα γίνεται όλο και πιο πολύπλοκη. Στο Δημοτικό σχολείο, μαθαίνουμε ότι στον αριθμό 561, το ψηφίο 1 αναπαριστάνει 1, ενώ το ψηφίο 6 αντιπροσωπεύει 60 και το ψηφίο 5 αντιπροσωπεύει 500. Επειδή αυτότο κόλπο με τη σχέση αξίας – θέσης, είναι τόσο απλό, ένα παιδί μπορεί να μάθει να το χρησιμοποιεί. Κάθε δεκάχρονο παιδί που έχει διδαχτεί σωστά μπορεί να προσθέσει το 561 με το 427 για να πάρει 988, και κάθε δωδεκάχρονο παιδί μπορεί να πολλαπλασιάσει το 41 με το 17 για να πάρει 697. Προσπάθησε όμως να προσθέσεις και να πολλαπλασιάσεις αυτούς τους αριθμούς χρησιμοποιώντας το αριθμητικό σύστημα των Ρωμαίων! Προσπάθησε να προσθέσεις XXIV με το LXXVI για να πάρεις C (χωρίς πρώτα να μετατρέψεις τα Ρωμαϊκά σύμβολα σε Αραβικούς αριθμούς). Τα Ρωμαϊκά σύμβολα των αριθμών χρησιμοποιήθηκαν στην Ευρώπη μέχρι το Μεσαίωνα· κατά συνέπεια, η μεγάλη πλειοψηφία του πληθυσμού δε μπορούσε να κάνει τους απλούς υπολογισμούς που ένας σύγχρονος ταμίας σε κατάστημα ή σε τράπεζα μπορεί να κάνει. Τα απλά αθροίσματα απαιτούσαν τα таланτα ειδικά εκπαιδευμένων ανθρώπων που μπορούσαν να κερδίσουν τα προς το ζειν με το να μετράνε.

Η ιδέα του ευφυούς σχεδιασμού, είναι επίσης απλή, ισχυρή και προφανής που όμως έχει τεθεί στο περιθώριο λόγω του συναγωνισμού, και μόλυνσης με παρείσακτες ιδέες. Από την αρχή ο κύριος ανταγωνισμός ήταν η υπόθεση για αυστηρό σχεδιασμό, που ήταν το θολό αίσθημα ότι αν κάτι ταιριάζει με τον τρόπο που θα πρέπει να είναι τα πράγματα, τότε υπάρχει ένδειξη για σχεδιασμό. Ο Αρχαίος Έλληνας φιλόσοφος Διογένης έβλεπε σχεδιασμό στην τακτική εναλλαγή των εποχών:

Μια τέτοια κατανομή δε θα ήταν δυνατή χωρίς έναν Νου, όλα τα πράγματα θα πρέπει να έχουν το μέτρο τους: χειμώνας και καλοκαίρι και νύχτα και ημέρα και βροχή και άνεμοι και περίοδοι καλού καιρού· και άλλα πράγματα επίσης, αν κάποιος τα μελετήσει προσεχτικά, θα τα βρει ότι έχουν την καλύτερη δυνατή διευθέτηση.¹¹⁹

Ο Σωκράτης λέγεται ότι παρατήρησε:

Δεν πρέπει να είναι θαυμαστό... ότι το στόμα μέσα από το οποίο μεταφέρεται η τροφή ότι θα πρέπει να είναι τοποθετημένο τόσο κοντά στη μύτη και τα μάτια έτσι που να εμποδίζει την απαραίτητη διέλευση οποιουδήποτε είναι ακατάλληλο για τροφή; Και δεν μπορείς να αμφιβάλλεις, Αριστόδημε, αν αυτή η διάταξη των μερών όπως αυτή θα πρέπει να είναι το έργο της τύχης, ή της σοφίας και της επινόησης;¹²⁰

Αν και τέτοια συναισθήματα είναι κατανόητα από ανθρώπινης πλευράς, βασίζονται απλά στο ότι ο κόσμος δεν είναι τίποτε παραπάνω από ένα όμορφο μέρος. Δε θα είναι δύσκολο να φανταστούμε ότι αν ο Διογένης ζουσε στη Χαβάη όπου δεν υπάρχει χειμώνας, θα σκεφτόνταν ότι η μη ύπαρξη εποχών είναι «η καλύτερη δυνατή διευθέτηση.» Αν το στόμα του Σωκράτη ήταν δίπλα στο χέρι του, μπορούμε να τον φανταστούμε να έλεγε ότι είναι βολικό για τη μεταφορά της τροφής στο στόμα. Τα επιχειρήματα για σχεδιασμό που βασίζονται σε μια απλή διαβεβαίωση της «ορθότητας», εξατμίζονται σαν την πρωινή αυγή όταν αντιμετωπίσουν τον παραμικρό σκεπτικισμό.

Σε όλη την ανθρώπινη ιστορία, οι πιο πολλοί μορφωμένοι άνθρωποι (αλλά και οι πιο πολλοί αμόρφωτοι) σκέφτονταν ότι ο σχεδιασμός είναι προφανής στη φύση. Μέχρι και την εποχή του Δαρβίνου, το επιχειρήμα για τον σχεδιασμό του κόσμου ήταν κάτι το πολύ συνηθισμένο, τόσο στη φιλοσοφία όσο και στην επιστήμη. Όμως η νοητική ορθότητα του επιχειρήματος ήταν φτωχή, ίσως λόγω έλλειψης συναγωνισμού από άλλες ιδέες. Η προ Δαρβίνου ισχύς του επιχειρήματος για σχεδιασμό έφτασε στο ζενίθ της στα γραπτά του Αγγλικανού ιερωμένου William Paley. Ως ένας ενθουσιώδης του Θεού του, ο Paley έφερε μια ευρεία επιστημονική γνώση μέσα στα γραπτά του, όμως ετοίμασε τον εαυτό του για απόρριψη με το να παρατεντώσει τη λογική.

Η περίφημη παράγραφος με την οποία ξεκινά το έργο του Paley Φυσική Θεολογία, δείχνει την ισχύ του επιχειρήματος και ταυτόχρονα μερικά από τα σφάλματα που οδήγησαν στη κατοπινή του απόρριψη:

¹¹⁹ Αναφέρεται στο βιβλίο των Barrow, J. D, and Tipler, F. J. (1986) *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford University Press, New York, p. 36.

¹²⁰ Barrow and Tipler, p. 36

Διασχίζοντας ένα θαμνότοπο, υπόθεσε ότι χτύπησα το πόδι μου πάνω σε μια πέτρα, και μετά αναρωτήθηκα πως βρέθηκε εκεί αυτή η πέτρα, ίσως θα απαντούσα, εκτός αν γνώριζα κάτι διαφορετικό, ότι βρισκόταν εκεί για πάντα· δε νομίζω ότι θα ήταν πολύ εύκολο να δείξουμε την ανοησία αυτής της απάντησης. Υπόθεσε όμως ότι εύρισκα ένα ρολόι πάνω στο έδαφος, και μετά αναρωτιόμουν πως συνέβη να βρίσκεται εκεί. Δε θα σκεφτόμουν καθόλου για την απάντηση που έδωσα πιο πάνω, αν δηλαδή σύμφωνα με αυτά που ξέρω, το ρολόι θα μπορούσε να ήταν εκεί για πάντα. Όμως γιατί αυτή η απάντηση να μην ισχύει για το ρολόι όπως και για την πέτρα; Γιατί δεν μπορούμε να τη δεχτούμε στη δεύτερη περίπτωση όπως και στην πρώτη; Για αυτό το λόγο, και για κανένα άλλο, δηλαδή, όταν ερχόμαστε για να εξετάσουμε το ρολόι, αντιλαμβανόμαστε — κάτι που δεν μπορούσαμε να ανακαλύψουμε στην πέτρα— ότι διάφορα εξαρτήματα έχουν σχηματιστεί και έχουν συναρμολογηθεί για κάποιο σκοπό, δηλ. έχουν σχηματιστεί και προσαρμοστεί για να παράγουν κίνηση, και αυτή η κίνηση έχει ρυθμιστεί για να δείχνει την ώρα της ημέρας και ότι τα διάφορα μέρη αν είχαν διαφορετικά σχήματα από αυτά που έχουν, ή είχαν τοποθετηθεί με οποιοδήποτε άλλο τρόπο ή με οποιαδήποτε άλλη διάταξη από αυτήν με την οποία έχουν τοποθετηθεί, είτε δε θα υπήρχε καθόλου κίνηση μέσα σ' αυτή τη μηχανή, ή τίποτε δε θα μας έλεγε από αυτά που τώρα εξυπηρετεί για να μας πει. Ας σκεφτούμε για μερικά από τα πιο απλά από αυτά τα μέρη και τη λειτουργία τους, όλα δίνουν ένα αποτέλεσμα: Βλέπουμε ένα κυλινδρικό κουτί που περιέχει ένα ελικοειδές ελαστικό ελατήριο, το οποίο καθώς προσπαθεί να χαλαρώσει, στρέφεται μέσα στο κουτί. Μετά παρατηρούμε μια ευλύγιστη αλυσσίδα... Μετά βρίσκουμε μια σειρά από τροχούς.... Παρατηρούμε ότι οι τροχοί είναι κατασκευασμένοι από μπρούτζο, για να εμποδίζεται να σκουριάσουν... ότι στο μπροστινό μέρος του ρολογιού υπάρχει ένα τζάμι, ένα υλικό που δε χρησιμοποιείται στα άλλα τμήματα του έργου αυτού, όμως που στο χώρο του, αν υπήρχε κάτι διαφορετικό από ένα διαφανές υλικό, δε θα μπορούσαμε να δούμε την ώρα χωρίς να ανοίξουμε το κουτί. Όταν παρατηρούμε το μηχανισμό— απαιτεί μια εξέταση του οργ'ναου, και ίσως κάποια πρότερη γνώση του θέματος, για να αντιληφθούμε και να το καταλάβουμε, αλλά όταν μια φορά το έχουμε παρατηρήσει και κατανοήσει, το συμπέρασμα στο οποίο φθάνουμε είναι αναπόφευκτο, ότι το ρολόι θα πρέπει να έχει έναν κατασκευαστή— ότι θα πρέπει να υπήρχε, σε κάποιο χρόνο και σε κάποιο τόπο ή σε άλλο, ένας τεχνίτης ή τεχνίτες που το σχημάτισαν για τον σκοπό που το βρίσκουμε να εξυπηρετεί, που κατανόησε την κατασκευή του και σχεδίασε τη χρήση του¹²¹

Σε σύγκριση με τους Έλληνες, το επιχείρημα του Paley έχει μια σημαντική καλυτέρευση, Αν και η *Φυσική Θεολογία* περιέχει τόσο φτωχά παραδείγματα για σχεδιασμό (που μοιάζουν με τα επιχειρήματα του Διογένη και του Σωκράτη), όμως πολλές φορές «χτυπά το σφυρί στο κεφάλι του καρφιού». Ανάμεσα σε άλλα πράγματα, ο Paley μιλάει για διάκριτα συστήματα, όπως μύες, κόκαλα, και αδένες μαστών, που θα έπαιναν να λειτουργούν αν ένα ή διάφορα συστατικά τους λείπανε. Αυτή είναι η ουσία του επιχειρήματος για σχεδίαση. Όμως, θα πρέπει να δοθεί έμφαση στο σύγχρονο αναγνώστη, ότι ακόμη και στις καλύτερες περιπτώσεις, ο Paley μιλάει για βιολογικά μαύρα κουτιά, συστήματα που είναι μεγαλύτερα από το κύτταρο. Το παράδειγμα του Paley για το ρολόι, είναι εξαίρετο, γιατί το ρολόι δεν είναι ένα μαύρο κουτί, είναι γνωστά τόσιστα συστατικά του όσο και οι ρόλοι τους.

¹²¹ Paley, W. *Natural Theology*, American Tract Society, New York, pp. 9-10

ΠΑΡΑΚΑΜΨΗ

Ο Paley περιγράφει το επιχείρημα για σχεδιασμό τόσο καλά που φθάνει στο σημείο να κερδίζει τον σεβασμό αφοσιωμένων εξελικτικών. Ο Richard Dawkins στον *Τυφλό Ωρολογοποιό* παίρνει τον τίτλο του από την αναλογία του ρολογιού του Paley, όμως ισχυρίζεται ότι μάλλον η εξέλιξη, και όχι ένας ευφυής σχεδιαστής, παίζει το ρόλο του ωρολογοποιού.

Ο Paley μας πηγαίνει εκεί που πρέπει με περιγραφές που έχουν είναι όμορφες και με σεβασμό για την μηχανή της ζωής που έχει ανατμηθεί, ξεκινώντας από το ανθρώπινο μάτι... Το επιχείρημα του Paley γίνεται με παθιασμένη ειλικρίνεια και είναι πολύ καλά πληροφορημένος με την καλύτερη βιολογική γνώση των ημερών του, όμως έχει κάνει λάθος, είναι εκπληκτικά και τελειως λάθος.... Αν μπορούμε να πούμε ότι [η φυσική επιλογή] μπορεί να παίζει στη φύση το ρόλο του ωρολογοποιού, είναι του *τυφλού ωρολογοποιού*. ...Όμως δε θα μειώσω το θαύμα των ζωντανών «ρολογιών» που τόσο ενέπνευσαν τον Paley. Αντίθετα θα προσπαθήσω να δώσω με μαιικόντα τα αισθήματα ότι εδώ ο Paley θα μπορούσε να είχε πάει πιο μακριά.¹²²

Ο Dawkins νιώθει για τον Paley όπως ένας νικητής προς έναν άξιο αλλά νικημένο εχθρό. Μεγαλόψυχος στη νίκη, ο επιστήμονας της Οξφόρδης έχει τη δυνατότητα να τιμήσει τον κληρικό που μοιραζόταν το ενδιαφέρον του Dawkins για την πολυπλοκότητα στη φύση. Σίγουρα δικαιούται ο Dawkins να θεωρεί τον Paley ως ένα νικημένο, έτσι κι αλλιώς πολύ λίγοι επιστήμονες και φιλόσοφοι αναφέρονται πια σ' αυτόν. Αυτοί που το κάνουν, όπως και ο Dawkins, το κάνουν για να τον απορρίψουν παρά για να μπουν σε συζήτηση μαζί τους. Ο Paley έχει ταξινομηθεί μαζί με τη γεωκεντρική αστρονομία, τη θεωρία του φλογιστού για την καύση —άλλος ένας που νικήθηκε στην πάλη της επιστήμης για να εξηγήσει τον κόσμο.

Όμως μπορούμε να ρωτήσουμε, πού αντικρούστηκε ο Paley; Ποιος απάντησε στα επιχειρήματα του; Πώς μπορούσε το ρολόι να παραχτεί χωρίς έναν ευφυή σχεδιαστή; Το εκπληκτικό είναι ότι το κύριο επιχείρημα του εξευτελισμένου Paley δεν έχει αντικρουστεί ποτέ. Ούτε ο Δαρβίνος, ούτε ο Dawkins, ούτε η επιστήμη ούτε η φιλοσοφία έχουν εξηγήσει πως ένα μη αναγώγιμο πολύπλοκο σύστημα όπως ένα ρολόι θα μπορούσαν να παραχθούν χωρίς σχεδιαστή. Αντίθετα έχουν παρακάμψει το επιχείρημα του Paley με επιθέσεις εναντίον ατυχών παραδειγμάτων και με άσχετες θεολογικές συζητήσεις. Θα πρέπει βέβαια να κατηγορηθεί ο Paley γιατί δε διατύπωσε πιο σωστά το επιχείρημα του. Όμως θα πρέπει να κατηγορηθούν πολλοί από τους δυσφημιστές του Paley, γιατί αρνούνται να εμπλακούν σε συζήτηση για το κύριο θέμα, σιωπούν για να φτάσουν σε ένα πιο αρεστό συμπέρασμα.

ΕΝΑ ΑΝΑΜΕΙΚΤΟ ΣΑΚΟΥΛΙ

Στη *Φυσική Θεολογία* ο Paley δείχνει σε διάφορα βιολογικά παραδείγματα, που όπως συζητά, είναι συστήματα από αλληλεπιδρώντα συστατικά όπως ένα ρολόι και γι αυτό δείχνουν ότι υπάρχει σχεδιαστής. Τα παραδείγματα του Paley είναι ένα ανάμεικτο σακούλι,

¹²² Dawkins, R. (1985) *The Blind Watchmaker*, W. W. Norton, London, p. 5

και κυμαίνονται από πραγματικά εκπληκτικά, σε μέτρια ενδιαφέροντα και μέχρι ανόητα, από μηχανικά συστήματα σε περίπλοκα και σε απλά σχήματα. Σχεδόν κανένα από τα παραδείγματα δεν έχει απορριφθεί ειδικά με το να δείχτεί ότι τα χαρακτηριστικά μπορούσαν να εμφανιστούν χωρίς ένα σχεδιαστή, αλλά γιατί σε πολλά παραδείγματα ο Paley δεν επικαλείται καμία αρχή που θα εμπόδιζε την σταδιακή ανάπτυξη, που οι άνθρωποι έχουν υποθέσει από την εποχή του Δαρβίνου, πιστεύουν ότι είναι δυνατή.

Ο Paley βρίσκεται στις καλύτερες του στιγμές όταν συζητά για μηχανικά συστήματα. Όσον αφορά την καρδιά, κάνει παρατηρήσεις όπως ακολούθως:

Είναι προφανές ότι θα πρέπει να ζητήσουμε τη τοποθέτηση των *βαλβίδων*—ότι η επιτυχία της δράσης της θα πρέπει να εξαρτάται από αυτές· γιατί όταν μια από τις κοιλοτητες συστέλεται, η αναγκαία τάση της δύναμης θα είναι να οδηγήσει το εγκλεισμένο αίμα όχι προς το στόμιο της αρτηρίας όπου θα έπρεπε να πάει αλλά πίσω προς το στόμιο της φλέγβας από όπου έρευσε. Όπως είναι δομημένη η καρδιά, δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς βαλβίδα, όπως ακριβώς συμβαίνει με μια αντλία.¹²³

Εδώ αναγνωρίζει μία λειτουργία του συστήματος και λέγει στον αναγνώστη γιατί η καρδιά χρειάζεται διάφορα τμήματα — όχι μόνο μια αντλία, αλλά και βαλβίδες.

Όμως ο Paley γίνεται μέτριος όταν περιγράφει τα ένστικτα:

Τι θα πρέπει να προκαλέσει το θηλυκό πουλί να ετοιμάζει μια φωλιά πριν να αποθέσει τα αυγά του;.... Το ότι ένα φούσκωμα που μπορεί να νιώσει σε κάποιο ιδιαίτερο μέρος του σώματος, από την αύξηση και στερεότητα του αυγού μέσα της, δε θα μπορούσε να την πληροφορήσει ότι σε λίγο θα παράγει κάτι, που όταν παραχτεί, θα πρέπει να διατηρηθεί και μετά να το φροντίσει... Πως θα μπορούσαν τα πουλιά να γνωρίζουν ότι τα αυγά τους περιέχουν τα μικρά τους;¹²⁴

Το παράδειγμα μπορεί να είναι ενδιαφέρον, αλλά είναι δύσκολο να δείξεις την ακριβή λειτουργία σ' αυτότο παράδειγμα. Επίσης, και πολλά από τα συστατικά μέρη του συστήματος (ίσως που βρίσκονται στον εγκέφαλο του πουλιού) είναι άγνωστα, έτσι έχουμε ένα μαύρο κουτί.

Ο Paley ίσως ήταν πολύ κουρασμένος όταν έγραφε για την ανάπτυξη του εμβρύου.

Το μάτι δεν χρειάζεται τη στιγμή που σχηματίζεται. Είναι ένα οπτικό εργαλείο που δημιουργείται σε ένα μπουντρούμι· δομείται για τη διάθλαση του φωτός ώστε να εστιάζεται, και τελειοποιείται για αυτό το σκοπό πριν μια ακτίνα φωτός να έχει πρόσοδο σ' αυτό... Είναι μια πρόνοια για το μέλλον.¹²⁵

Σ' αυτό το παράδειγμα ο Paley μας προσκαλεί να θαυμάσουμε το χρονισμό ενός συμβάντος, ούτε κάποιο χαρακτηριστικό ενός ιδιαίτερου, αναγνωρίσιμου συστήματος.

Ο Paley φαίνεται ότι ενεργητικά προσκαλεί το ρεζίλεμα όταν γράφει για αυτό που ονομάζει αποζημίωση:

¹²³ Paley, pp.110-111

¹²⁴ Paley, pp. 199-200

¹²⁵ Paley, pp.171-172

Ο μικρός αλύγιστος λαιμός του *ελέφαντα* αποζημιώνεται από την ευλυγισία της προβοσκίδας.

Τα είδη των *γερανών* ζούνε και ψάχνουν την τροφή τους μέσα στα νερά, όμως επειδή δεν έχουν πόδι σαν δίχτυ έτσι δεν μπορούν να κολυμπήσουν. Για να αποζημιωθούν για αυτήν την έλλειψη, έχουν εφοδιαστεί με μακριά πόδια για να περπατάνε μέσα στα νερά, ή μεγάλα ράμφη για να ψάχνουν, ή συνήθως και τα δύο. Αυτό είναι η *αποζημίωση*.¹²⁶

Μια τέτοια λογική, ένας μπορεί να μας προμηθεύσει με μια πλουσία πηγή για κωμικό υλικό (είναι ψηλός για να αποζημιωθεί την ασχήμια του· είναι πλούσιος για να αποζημιωθεί για το ότι είναι κουτή· κοκ.), αλλά δε λέει τίποτε για να δείξει τον σχεδιασμό. Για να έχουμε έλεος, ίσως ο Paley να σκέφτηκε ότι τα ισχυρά του επιχειρήματα να έκαναν ακαταμάχητο τον σχεδιασμό, και χρησιμοποίησε τα αδύνατα του παραδείγματα ως «κρέμα» για το κέικ του. Πιθανόν δε μπορούσε να υπολογίσει ότι οι αντίπαλοι που θα εμφανιζόντουσαν αργότερα θα αντίκρουαν το επιχείρημα του με το να επιτεθούν στην κρέμα.

Η ΑΝΤΙΚΡΟΥΣΗ ΤΟΥ PALEY

Παρά τα παραπλανημένα του παραδείγματα, η διάσημη πρώτη παράγραφος του Paley που αφορά το ρολόι είναι απόλυτα σωστή—κανείς δε θα μπορούσε να αρνηθεί ότι αν έβρισκες ένα ρολόι θα μπορούσες άμεσα και με σιγουριά να συμπεράνεις ότι έχει σχεδιαστεί. Η αιτία για το συμπέρασμα είναι όπως το υπονοούσε ο Paley: η διάταξη των ξεχωριστών εξαρτημάτων για να πετυχαίνουν μια λειτουργία που είναι πέραν από αυτήν που θα έκαναν τα ατομικά συστατικά. Η λειτουργία του ρολογιού είναι να ενεργεί σαν συσκευή που μετρά το χρόνο. Τα εξαρτήματα του είναι διάφορα γρανάζια, ελατήρια, αλυσσίδες και τα όμοια που δίνει τον κατάλογο τους ο Paley.

Μέχρι εδώ καλά. Αν ο Paley γνώριζε που να κοιτάξει για το μηχανικό του παράδειγμα, γιατί τόσο γρήγορα να «πάρει την κατηφόρα»; Γιατί παρασύρθηκε κι άρχισε να κοιτάζει στα λάθος χαρακτηριστικά του ρολογιού.

Τα προβλήματα αρχίζουν όταν ο Paley ξεφεύγει από τα συστήματα συστατικών που αναγκαία αλληλεπιδρούν για να μιλήσει για διευθετήσεις που απλά ταιριάζουν στην ιδέα του για το πως θα έπρεπε να είναι τα πράγματα. Η πρώτη υποψία για δυσκολίες εμφανίζεται στην πρώτη παράγραφο όταν ο Paley αναφέρει ότι οι τροχοί του ρολογιού είναι φτιαγμένοι από μπρουτζο για να μη σκουριάζουν. Το πρόβλημα είναι ότι το ακριβές υλικό, ο μπρούτζος, δεν *απαιτείται* για να λειτουργήσει το ρολόι. Ίσως να βοηθά, όμως ένα ρολόι μπορεί να λειτουργήσει με τροχούς που είναι φτιαγμένοι από όλα σχεδόν τα σκληρά υλικά, ίσως ακόμη και το ξύλο ή το κόκαλο. Τα πράγματα χειροτερεύουν όταν ο Paley αναφέρει το γυάλινο κάλυμμα του ρολογιού. Όχι μόνο αυτό το υλικό δε χρειάζεται, αλλά ολόκληρο το εξάρτημα μπορεί να παραληφθεί: ένα κάλυμμα δεν είναι αναγκαίο για τη λειτουργία του ρολογιού. Ένα κάλυμμα ρολογιού είναι μια διευκόλυνση που έχει προσκολληθεί σε ένα μη αναγώγιμο πολύπλοκο σύστημα, αλλά δεν είναι μέρος του συστήματος.

Σ' όλο του το βιβλίο ο Paley ξεφεύγει από το χαρακτηριστικό του ρολογιού—ένα σύστημα που αποτελείται από συστατικά που *αλληλεπιδρούν*—που τον έκανε να το επιλέξει ως ένα παράδειγμα για την πρώτη θέση. Όπως είναι συχνά η περίπτωση και για τους υπόλοιπους από εμάς, επίσης, το επιχείρημα του θα καλυπτόταν πολύ περισσότερο αν έλεγε λιγότερα.

¹²⁶ Paley, pp.184-185

Λόγω της αδιακρίσιάς του, το επιχείρημα του Paley με τα χρόνια μετατράπηκε σε ένα αχυράνθρωπο που τον χτυπάνε και τον γκρεμίζουν. Αντί να ασχοληθεί με την πραγματική πολυπλοκότητα ενός συστήματος (όπως τον αμφιβληστροειδή ή το ρολόι), μερικοί υπερασπιστές του Δαρβινισμού ικανοποιούνται με το να δίνουν μια ιστορία για να εξηγήσουν τα περιφερειακά χαρακτηριστικά. Ως μια αναλογία, για μια Δαρβινική «εξήγηση» για ένα ρολό θα μπρούσαμε να ξεκινήσουμε με το να υποθέσουμε ότι ένα εργοστάσιο ήδη έκανε ρολόγια χωρίς κάλυμμα: Και τότε η εξήγηση θα μπορούσε να μας δείξει ότι τι καλύτερη ψη θα ήταν το κάλυμμα.

Καϋμένε Paley. Οι σύγχρονοι αντίπαλοι του, νιώθουν δικαιωμένοι με το να υποθέτουν ότι τα σημεία έναρξης με τεράστια πολυπλοκότητα ως δεδομένα (όπως ένα ρολόι ή ο αμφιβληστροειδής) αν νομίζουν ότι μπορούν να εξηγήσουν μια απλή καλύτερευση (όπως ένα κάλυμμα του ρολογιού ή την καμπύλωση του ματιού). Δεν γίνονται παραπέρα επιχειρήματα· δεν δίνονται εξηγήσεις για την πραγματική πολυπλοκότητα, την μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα. Μας βεβαιώνουν ότι η απόρριψη της υπερβολικής επέκτασης του Paley είναι μια απόρριψη των κύριων σημείων του Paley, ακόμη και από αυτούς που γνωρίζουν καλύτερα.

ΤΟ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑ ΚΑΤΑ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Όπως τα επιχειρήματα για τον ευφυή σχεδιασμό υπάρχουν για πολύ καιρό, και τα επιχειρήματα κατά του σχεδιασμού υπάρχουν για πολύ καιρό κι αυτά. Τα καλύτερα επιχειρήματα έχουν γίνει από τον Δαρβίνο και τους διαδόχους του, όμως μερικά επιχειρήματα είναι παλαιότερα από τη θεωρία του Δαρβίνου. Ο φιλόσοφος Ντέιβιντ Χιούμ είχε επιχειρηματολογήσει κατά του σχεδιασμού στο βιβλίο του *Διάλογοι που αφορούν τη Φυσική Θρησκεία*, που δημοσιεύτηκε το 1779. Εις τον *Τυφλό Ωρολογοποιό* ο Richard Dawkins αναφέρει για τη συζήτηση σε ένα δείπνο με ένα «πολύ γνωστό αθεϊστή» που άγιξε το θέμα:

Είπα ότι δεν μπορούσα να φανταστώ ότι θα ήμουν αθεϊστής πριν το 1859, όταν δημοσιεύτηκε το βιβλίο του Δαρβίνου *Προέλευση των Ειδών*. «Τι λες για τον Χιούμ;», απάντησε ο φιλόσοφος, «Πως θα εξηγούσε ο Χιούμ την οργανωμένη πολυπλοκότητα του ζωντανού κόσμου;» ρώτησα, «δεν το έκανε», είπε ο φιλόσοφος, «Γιατί χρειάζεται κάποια ειδική εξήγηση;»¹²⁷

Ο Dawkins συνεχίζει με την εξήγηση:

Για τον ίδιο τον Ντέιβιντ Χιούμ, λέγεται καμιά φορά ότι ο μεγάλος Σκώτος φιλόσοφος ξεφορτώθηκε από το Επιχείρημα για Σχεδιασμό έναν αιώνα πριν από το Δαρβίνο. Όμως αυτό που κριτικάρε ο Χιούμ ήταν η λογική του να χρησιμοποιούμε τον σχεδιασμό στη φύση ως *μία θετική ένδειξη* για την ύπαρξη του Θεού. Δεν πρόσφερε όμως μια εναλλακτική εξήγηση για τον πολύπλοκο βιολογικό σχεδιασμό.¹²⁸

Ένας σύγχρονος φιλόσοφος, ο Elliot Sober του Πανεπιστημίου του Βισκόνσιν στο βιβλίο του *Φιλοσοφία της Βιολογίας* εξηγεί τη λογική του Χιούμ με περισσότερες λεπτομέρειες:

¹²⁷ Dawkins, p. 5.

¹²⁸ Dawkins, p.6.

Ο Χιούμ πιστεύει ... ότι πρέπει να ρωτήσουμε πόσο παρόμοια στην πραγματικότητα είναι τα ρολόγια και οι οργανισμοί. Αν σκεφτούμε για μια στιγμή αυτό θα μας δείξει ότι είναι πολύ ανόμοια. Τα ρολόγια είναι φτιαγμένα από γυαλί και μέταλλο· δεν αναπνέουν, δεν έχουν εκκρίσεις, δεν αναπαράγουν... Η άμεση συνέπεια, είναι βέβαια ότι το επιχείρημα για σχεδιασμό είναι ένα πολύ αδύνατο επιχείρημα αναλογίας. Είναι τερατώδες ότι οι οργανισμοί έχουν μια δεδομένη ιδιότητα επειδή απλώς τα ρολόγια τυχαίνει να την έχουν.¹²⁹

Όμως ο Sober δεν συμφωνεί με τον Χιούμ:

Αν και η κριτική του Χιούμ είναι καταστροφική αν το επιχείρημα του σχεδιασμού είναι επιχείρημα αναλογίας, δε βλέπω για ποιο λόγο το επιχείρημα σχεδιασμού θα πρέπει να το ερμηνεύσουμε με αυτόν τον τρόπο. Το επιχείρημα του Paley για τους οργανισμούς στέκεται μόνο του, ανεξάρτητα αν τα ρολόγια και οι οργανισμοί τυχαίνει να είναι όμοιοι. Το θέμα που έχουμε είναι να μιλήσουμε για ρολόγια για να βοηθήσει τον αναγνώστη να δει ότι το επιχείρημα για τους οργανισμούς είναι ακαταμάχητο.¹³⁰

Με άλλα λόγια, ο Ντέιβιντ Χιούμ σκέφτηκε ότι το επιχείρημα του σχεδιασμού εξαρτάται από μια στενή ομοιότητα στις *συμπτωματικές λεπτομέρειες* των βιολογικών οργανισμών με άλλα σχεδιασμένα αντικείμενα. Όμως αυτός ο τρόπος σκέψης θα κατέστρεφε όλες τις αναλογίες, γιατί οποιαδήποτε δύο μη ταυτόσημα αντικείμενα θα διεφέραν σε περισσότερους τρόπους από όσους θα είναι όμοια. Για παράδειγμα, με τον τρόπο σκέψης του Χιούμ, δε θα μπορούσες να παρομοιάσεις ένα αυτοκίνητο με ένα αεροπλάνο, ακόμη και αν και τα δύο είναι συσκευές για μεταφορά, επειδή το αεροπλάνο έχει φτερά και ένα αυτοκίνητο δεν έχει. Ο Sober απορρίπτει τον τρόπο σκέψης του Χιούμ επειδή λέει ότι το επιχείρημα για τον ευφυή σχεδιασμό είναι στην πραγματικότητα αυτό που καλείται συμπερασμός προς την άριστη εξήγηση. Αυτό μας λέγει απλά ότι, δεδομένης της επιλογής μεταξύ των ανταγωνιστικών εξηγήσεων του ευφυούς σχεδιασμού έναντι των μη καθοδηγούμενων φυσικών δυνάμεων. Το επιχείρημα φαίνεται πιο πιθανό (τουλάχιστο, λέγει ο Sober πριν να εμφανιστεί ο Δαρβίνος).

Το συμπέρασμα του Sober είναι πολύ καλό, μέχρι εκεί που φθάνει, όμως θα μπορούσε να παρατηρηθεί ότι το επιχείρημα από αναλογία εξακολουθεί να είναι ισχυρό, απλώς ο Χιούμ το παραμόρφωσε. Οι αναλογίες διατυπώνονται έτσι που είτε ξεκάθαρα είτε (πιο συχνά) υπονοούμενα προτείνουν ότι το Α είναι σαν το Β σε ένα περιορισμένο υποσύνολο ιδιοτήτων. Η σκουριά είναι σαν τη τερηδόνα των δοντιών με το ότι και οι δύο αρχίζουν σαν μικρές τελείες και προχωρούν προς τα έξω, ακόμη αν και η φθορά των δοντιών λαμβάνει χώρα σε ζωντανούς οργανισμούς, προκαλείται από βακτήρια, και μπορεί να εμποδιστεί από το φθόριο, κοκ. Η μηχανή του Rube Goldberg μοιάζει με το σύστημα θρόμβωσης του αίματος με το ότι και τα δύο είναι μη αναγώγιμα πολύπλοκα συστήματα, ακόμη αν και έχουν πολλές διαφορές. Για να φθάσουμε σε ένα συμπέρασμα με βάση μια αναλογία, είναι αναγκαίο τα συμπεράσματα να προέρχονται από τις κοινές ιδιότητες. Τα μη αναγώγιμα πολύπλοκα μηχανήματα του Rube Goldberg χρειαζόταν έναν ευφυή σχεδιαστή για να το παράγει· για αυτό και το μη αναγώγιμο πολύπλοκο σύστημα της θρόμβωσης του αίματος απαιτούσε και αυτό ένα σχεδιαστή.

¹²⁹ Sober, E. (1993) *Philosophy of Biology*, Westview Press, Boulder, Co, p. 34

¹³⁰ Sober, p. 34-35

Παρεπιμπτόντως ακόμη και με τα κριτήρια του Χιούμ, η αναλογία μεταξύ ενός ρολογιού και ενός ζωντανού οργανισμού μπορεί να γίνει πολύ ισχυρή. Η σύγχρονη βιοχημεία ίσως θα μπορούσε να κάνει ένα ρολόι, ή μια συσκευή μέτρησης του χρόνου, από βιολογικά υλικά— αν όχι τώρα, τότε σίγουρα στο προσεχές μέλλον. Πολλά βιοχημικά συστήματα μετρούνε το χρόνο, και σ'αυτά περιλαμβάνονται τα κύτταρα που δίνουν το ρυθμό στην καρδιά, το σύστημα που δίνει το σήμα για την έναρξη της εφηβείας, και οι πρωτεΐνες που λένε στο κύτταρο πότε να διαιρεθεί. Επιπλέον είναι γνωστό ότι βιοχημικά συστατικά που μπορούν να δράσουν ως γρανάζια και ευέλικτες αλυσίδες, και μηχανισμοί ανατροφοδότησης (που είναι απαραίτητοι για η ρύθμιση ενός ρολογιού) είναι συνηθισμένα στη βιοχημεία. Το κριτήριο του Χιούμ για το επιχείρημα από σχεδιασμό με το οποίο διαβεβαιώνει ότι υπάρχει μια θεμελιώδης διαφορά ανάμεσα στα μηχανικά συστήματα και στα έμβια συστήματα είναι ξεπερασμένα, έχουν καταστραφεί από την πρόοδο της επιστήμης που έχει ανακαλύψει το μηχανισμό της ζωής.

Ο Sober συνεχίζει την κριτική του για τον Χιούμ:

Τώρα στρέφομαι στο δεύτερο κριτήριο του Χιούμ για το επιχείρημα του σχεδιασμού, που δεν είναι πιο πετυχημένο από το πρώτο.... [ο Χιούμ] ισχυρίζεται ότι αν θα πρόκειται να έχουμε ένα καλό αίτιο για να σκεφτούμε ότι οι οργανισμοί που βρίσκονται στο δικό μας κόσμο είναι τα τα προϊόντα ενός ευφυούς σχεδιασμού, τότε θα πρέπει να κοιτάξουμε σε πολλούς άλλους κόσμους και να παρατηρήσουμε ευφυείς σχεδιαστές που παράγουν εκεί οργανισμούς.¹³¹

Ο Χιούμ κριτικάρει το σχεδιασμό ως ένα επαγωγικό επιχείρημα. Ένα παράδειγμα επαγωγής είναι το επιχείρημα ότι επειδή ποτέ δεν παρατηρήθηκαν κάποια γουρούνια να πετούνε, κατά πάσα πιθανότητα τα γουρούνια δεν πετούνε. Ένα συμπέρασμα για σχεδιασμό που βασίζεται στην επαγωγή, θα απαιτούσε να έχουμε μια εμπειρία από έμβια όντα που σχεδιάζονται. Ο Χιούμ θεωρεί, ότι αφού δεν έχουμε παρατηρήσει στον κόσμο τέτοιο σχεδιασμό, θα πρέπει να κοιτάξουμε σε άλλους κόσμους, όμως τότε δεν έχουμε καμία εμπειρία για να κάνουμε επαγωγή. Ο Sober πιστεύει ότι το επιχείρημα του Χιούμ είναι άκυρο, γιατί ξανά, ο ευφυής σχεδιασμός είναι ένα συμπέρασμα για την καλύτερη δυνατή εξήγηση, όχι ένα επαγωγικό επιχείρημα.

Και ξανά ο Sober έχει δικίο μέχρι το σημείο στο οποίο έφθασε, όμως θα μπορούσε να είχε προχωρήσει περισσότερο. Αν και η αντίρρηση του Χιούμ για το επαγωγικό επιχείρημα μπορούσε στις μέρες του να ήταν ισχυρό, έχει καταστραφεί από την πρόοδο της επιστήμης. Στη σύγχρονη βιοχημεία είναι θέμα ρουτίνας να σχεδιάζονται βιοχημικά συστήματα, που γνωρίζουμε τώρα ότι είναι η βάση της ζωής. Για αυτό έχουμε την εμπειρία της παρατήρησης του ευφυούς σχεδιασμού για τα συστατικά της ζωής. Πιθανόν να υπάρχουν δεκάψες χιλιάδες πειράματα στα οποία συναρμολογούνται νέα βιοχημικά συστήματα, και στο μέλλον θα υπάρξουν πολλά πολλά περισσότερα.

Η αποτυχία των επιχειρημάτων του Ντέιβιντ Χιούμ απαιτήσε από τους αντιπάλους του σχεδιασμού να προχωρήσουν άλλους τρόπους σκέψης για τις απόψεις τους. Στο υπόλοιπο του κεφαλαίου θα θεωρήσω αυτό που θεωρείται ως το πιο συχνά επαναλαμβανόμενο επιχείρημα κατά του σχεδιασμού.

¹³¹ Sober, p.35

Ο φίλος του Richard Dawkins που ήταν και φιλόσοφος και σκέφτηκε ότι ο Ντέιβιντ Χιούμ είχε αντικρούσει το επιχείρημα από σχεδιασμό έκανε λάθος τόσο στη φιλοσοφία του όσο και στην επιστήμη του. Ο Elliot Sober είναι πιο πετυχημένος με τη φιλοσοφία του, όμως προφανώς δεν είναι ενήμερος για τις σχετικές προόδους στην επιστήμη.. Ο Sober δε βλέπει με συμπάθεια τους ισχυρισμούς του ευφυούς σχεδιασμού γιατί νομίζει ότι η Δαρβινική εξέλιξη παρέχει έναν μηχανισμό για την προέλευση της ζωής. Δε βασίζει το συμπέρασμα του σε κάποια δημοσιευμένα μοντέλα που αφορούν τη βαθμιαία παραγωγή των μη αναγνώσιμων πολύπλοκων βιοχημικών συστημάτων· δε θεωρεί καν τη μοριακή βάση της ζωής. Μάλλον, απορρίπτει το σχεδιασμό και ασπάζεται το Δαρβινισμό κυρίως (και ειρωνικά) με βάση μια αναλογία. Εξηγεί στο βιβλίο *Φιλοσοφία της Βιολογίας*:

Το γεγονός ότι υπάρχουν δύο μέρη στη διαδικασία μετάλλαξη-επαγωγή... μας φανερώνεται πολύ ζωντανά από τον Richard Dawkins στο βιβλίο του *Ο Τυφλός Ωρολογοποιός*. Φανταστείτε μια συσκευή που είναι κάτι σαν μια κλειδαριά με κωδικό. Αποτελείται από μια σειρά από δίσκους που είναι τοποθετημένοι ο ένας δίπλα στον άλλο. Στη άκρη κάθε δίσκου, εμφανίζονται τα εικοσιέξη γράμματα του Αγγλικού αλφαβήτου. Οι δίσκοι μπορούν να περιστραφούν ο ένας χωριστά από τον άλλο κι έτσι μπορούν να εμφανιστούν διαφορετικές ακολουθίες γραμμάτων στο «παράθυρο» της κλειδαριάς.

Πόσοι διαφορετικοί συνδυασμών μπορούν να εμφανιστούν στο παράθυρο; Υπάρχουν 26 δυνατότητες για κάθε δίσκο και στο σύνολο έχουμε 19 δίσκους. Έτσι υπάρχουν 26^{19} πιθανές ακολουθίες. Μια από αυτές είναι METHINKSITISAWASEL... Η πιθανότητα ότι θα εμφανιστεί METHINKSITISAWASEL στο παράθυρο της κλειδαριάς αν περιστραφούν οι δίσκοι είναι $1/26^{19}$, που είναι πραγματικά ένας πολύ μικρός αριθμός...

Όμως τώρα φαναστείτε ότι ένας δίσκος παγώνει αν συμβεί να μπει ένα γράμμα στο παράθυρο που ταιριάζει αυτό που έχει το μήνυμα στόχος. Οι υπόλοιποι δίσκοι που δεν ταιριάζουν τον στόχο, περιστρέφονται τυχαία, και επαναλαμβάνεται η διαδικασία. Ποια είναι η πιθανότητα ότι οι δίσκοι θα δείξουν το μήνυμα METHINKSITISAWASEL ας πούμε μετά από πενήντα επαναλήψεις;

Η απάντηση είναι ότι περιμένουμε να εμφανιστεί το μήνυμα μετά από έναν εκπληκτικά μικρό αριθμό γενεών της διαδικασίας.

Η ποικιλία παράγεται τυχαία, όμως η επιλογή ανάμεσα στις διάφορες ποικιλίες δεν είναι τυχαία.¹³²

Αυτή η αναλογία έχει ως σκοπό να φωτίσει το θέμα για το πως τα πολύπλοκα βιολογικά συστήματα μπορεί να έχουν παραχθεί. Έτσι μας ζητείται να συμπεράνουμε, με βάση την αναλογία με τους περιστρεφόμενους δίσκους, ότι το βλεφαρίδιο εξελίχθηκε βήμα προς βήμα, ότι τα αρχικά βήματα για την όραση θα μπορούσαν να είχαν παραχθεί τυχαία, και ούτω καθ' εξής. Η αναλογία δίνεται στη θέση μιας πραγματικής ένδειξης ότι αυτά τα συστήματα ή άλλα συστήματα θα μπορούσαν να είχαν εξελιχθεί κατά μια Δαρβινική πορεία. Και πιστεύει ο Sober ότι η αναλογία είναι τόσο ακαταμάχητη ώστε με βάση αυτήν, η Δαρβινική

¹³² Sober, pp. 37-38

εξέλιξη κερδίζει ως ο συμπερασμός που είναι η καλύτερη εξήγηση. Η αναλογία του Dawkins (που είναι ελαφρά διαφορετική στις λεπτομέρειες στο βιβλίο του έναντι της απόδοσης του Sober), αν και είναι διάφανα λανθασμένη, εμφανίζεται να έχει κατακτήσει τη φαντασία μερικών από τους φιλόσοφους της βιολογίας. Εκτός από τον Sober, ο Michael Ruse (Michael Ruse: *Darwinism Defended*) έχει κάνει ένα παρόμοιο παράδειγμα στο βιβλίο του *Υπεράσπιση του Δαρβινισμού*, το ίδιο και ο Daniel Dennett στο βιβλίο του: *Η επικίνδυνη ιδέα του Δαρβίνου* (Daniel Dennett: *Darwin's Dangerous Idea*).

Τι το στραβό υπάρχει στην αναλογία Dawkins-Sober; Μόνο τα πάντα, έχει το νόημα να δώσει μια αναλογία για τη φυσική επιλογή, που απαιτεί μια λειτουργία που να επιλέγει. Ποια λειτουργία υπάρχει σε μια κλειδαριά με κωδικό που είναι λανθασμένη; Υπόθεσε ότι αφού περιστρέψεις μερικές φορές τους δίσκους έχεις τα μισά γράμματα σωστά, κάτι σαν MDTUIFKQINIOAFERSCL (εναλλάξ έχουμε σωστό-λάθος σε όλο το μήκος). Η αναλογία μας βεβαιώνει ότι είναι μια *καλύτερευση* έναντι στη τυχαία σειρά των γραμμάτων, και ότι κατά κάποιο τρόπο θα μας βοηθήσει να ανοίξουμε την κλειδαριά με κώδικα. Όμως αν η ζωή σου εξαρτώταν από του να ανοίξεις την κλειδαριά με το συνδυασμό METHINKSITISAWASEL, και προσπαθούσες με τον MDTUIFKQINIOAFERSCL, ίσως σε λίγο από πάνω σου να φυτρώνουν μαργαρίτες. Αν η αναπαραγωγική σου επιτυχία εξαρτώταν από του να άνοιγες την κλειδαριά, δε θα άφηνες καθόλου απογόνους. Η ειρωνία είναι ότι για τους Sober και Dawkins, η κλειδαριά με κώδικα, είναι ένα σύστημα πολύ εξειδικευμένο και μη αναγνώγιμα πολύπλοκο, που πολύ όμορφα μας δίνει μια εικόνα γιατί σε τέτοια συστήματα η λειτουργία δεν μπορεί να προσεγγιστεί βαθμιαία.

Η εξέλιξη, μας έχουν πει οι υπέρμαχοι της θεωρίας, δεν κατευθύνεται από ένα στόχο. Όμως τότε αν αρχίσουμε από μια τυχαία σειρά γραμμάτων, γιατί να κταλήγουμε στο METHINKSITISAWASEL αντί για το MYDARLINGCLEMENTINE, ή για το MEBETARZANYOUBE-JANE; Καθώς περιστρέφεται ο δίσκος, ποιος αποφασίζει σε ποια γράμματα να παγώσει και γιατί; Αντί να είναι μια αναλογία για φυσική επιλογή που δρα πάνω σε τυχαίες μεταλλάξεις, το σενάριο των Dawkins και Sober, στην πραγματικότητα είναι ένα παράδειγμα για ακριβώς το αντίθετο: ένας ευφυής παράγοντας κατευθύνει τη δόμηση ενός μη αναγνώγιμα πολύπλοκου συστήματος. Ο παράγονας αυτός (εδώ ο Sober) έχει στο νου του τη φράση στόχο (συνδυασμός για την κλειδαριά) και κατευθύνει το αποτέλεσμα προς αυτή την κατεύθυνση με τόση σιγουριά όση έχει κάποιος μάντης για το μέλλον που οδηγεί τη σανίδα Ουίτζα. Αυτό πολύ δύσκολα μπορείς να το θεωρήσεις ως ένα σίγουρο θεμέλιο πάνω στο οποίο μπορείς να οικοδομήσεις μια φιλοσοφία της βιολογίας.

Δεν είναι δύσκολο να δούμε τα θανάσιμα προβλήματα με την αναλογία. Τη «σούβλισε» διασκεδαστικά ο Robert Shapiro, καθηγητής της χημείας στο Πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης, στο βιβλίο του *Προελεύσεις: Ένας οδηγός του σκεπτικιστή στην προέλευση της ζωής*, που δημοσιεύτηκε επτά χρόνια πριν από το βιβλίο του Sober.¹³³ Το γεγονός ότι ένας διακεκριμένος καθηγητής φιλοσοφίας παραβλέπει απλά λογικά προβλήματα που εύκολα τα βλέπει ένας χημικός μας υποδεικνύει ότι χρειάζεται μια εκπαιδευτική άδεια (σαββατικό έτος) σε ένα εργαστήριο βιοχημείας.

ΜΙΑ ΤΡΥΠΑ ΣΤΟ ΜΑΤΙ

Στη συζήτηση για τον ευφυή σχεδιασμό, η αντίρρηση που επαναλαμβάνεται πιο συχνά είναι το επιχείρημα για ατέλειες. Μπορούμε να τη δώσουμε με συντομία. Αν υπάρχει κά-

¹³³ Shapiro, R. (1986) *Origins: A Skeptic's Guide to the Creation of Life on Earth* Summit Books, New York, pp. 179-180.

ποιος ευφυής παράγοντας που σχεδίασε τη ζωή στη γη, τότε θα ήταν ικανός να δημιουργήσει μια ζωή που δε θα περιείχε σφάλματα, επιπλέον θα το είχε πετύχει αυτό. Το επιχείρημα φαίνεται να έχει ένα μέτρο ελκυστικότητας για το κοινό. Όμως είναι η αντίστροφη πλευρά του επιχειρήματος του Διογένη: επειδή κάτι δεν ταριάζει στην ιδέα μας για το πως έπρεπε να είναι τα πράγματα, τότε αυτό είναι ένδειξη *ενάντια* στο σχεδιασμό.

Το επιχείρημα το έχουν επαναλάβει εξέχοντες επιστήμονες και φιλόσοφοι, όμως παροσιάζεται κατά έναν ιδιαίτερα καλότερο από τον Kenneth Miller, που είναι καθηγητής βιολογίας στο πανεπιστήμιο Μπράουν:

Ένας άλλος τρόπος για να απαντήσουμε στη θεωρία του ευφυούς σχεδιασμού είναι να εξετάσουμε προσεχτικά πολύπλοκα βιολογικά συστήματα για να δούμε αν υπάρχουν σφάλματα που δε θα διέπραττε ένας ευφυής σχεδιαστής. Αφού ο σχεδιασμός ξεκινά από το μηδέν, θα έπρεπε να παράγει οργανισμούς που θα ήταν άριστα σχεδιασμένοι για το κθήκον που θα εκτελούσαν. Αντίστροφα, επειδή η εξέλιξη περιορίζεται στο να τροποποιεί τις υπάρχουσες δομές, δε θα ήταν κατ' ανάγκη τέλεια τα προϊόντα της. Ποιο από τα δύο;

Το μάτι που θεωρείται ένα σπουδαίο θέμα για ευφυή σχεδιασμό, μας προσφέρει μια απάντηση. Έχουμε ήδη τραγουδήσει τις αρετές αυτού του όλως ιδιαίτερου οργάνου, όμως δε θεωρήσαμε ειδικές πλευρές για το σχεδιασμό του, όπως τη νευρωνική του καλωδίωση που έχουν οι μονάδες που δρουν ως αισθητήρες του φωτός. Αυτά τα κύτταρα που είναι φωτοδέκτες, βρίσκονται στον αμφιβληστροειδή, και διοχετεύουν ωθήσεις σε μια σειρά αλληλοσυνδεδεμένων κυττάρων που τελικά διοχετεύουν την πληροφορία στα κύτταρα του οπτικού νεύρου, που οδηγεί στον εγκέφαλο.

Ένας ευφυής σχεδιαστής που εργάζεται με τα στοιχεία αυτής της καλωδίωσης θα διάλεγε την κατεύθυνση που παράγει τον υψηλότερο βαθμό σε οπτική ποιότητα. Κανένας, για παράδειγμα, δε θα πρότεινε να τοποθετηθούν οι νευρωνικές συνδέσεις μπροστά από τα κύτταρα φωτοδέκτες— που με τον τρόπο αυτό εμποδίζουν το φως να τους φτάσει—μάλλον θα τους τοποθετούσε πίσω από τον αμφιβληστροειδή.

Το απίστευτο είναι, ότι αυτός είναι ο τρόπος που είναι δομημένος ο ανθρώπινος αμφιβληστροειδής.

Συμβαίνει ένα πιο σοβαρό σφάλμα καθώς η νευρωνική καλωδίωση θα πρέπει να τρυπήσει μέσα από το τοίχωμα του αμφιβληστροειδή για να μεταφέρει τις νευρικές ωθήσεις που παράγονται από τα κύτταρα φωτοδέκτες στον εγκέφαλο. Το αποτέλεσμα είναι το τυφλό σημείο στον αμφιβληστροειδή— μια περιοχή όπου χιλιάδες από κύτταρα που μεταφέρουν ωθήσεις έχουν σπρώξει στην άκρη τα αισθητικά κύτταρα. Κανένα από αυτά δε θα πρέπει να εκληφθεί ότι μας λέγει ότι λειτουργεί άσχημα το μάτι. Είναι ένα έξοχο οπτικό εργαλείο που μας εξυπηρετεί εξαιρετικά καλά... Το κλειδί για τη θεωρία του ευφυή σχεδιασμού,... δεν είναι αν το όργανο ή το σύστημα λειτουργεί καλά, αλλά αν το σχέδιο της βασικής δομής είναι το προφανές προϊόν σχεδιασμού. Το δομικό σχέδιο του ματιού δεν είναι.¹³⁴

Ο Miller εκφράζει κομπά μια βασική σύγχυση· το κλειδί για τη θεωρία ευφυούς σχεδιασμού δεν είναι του αν «το σχέδιο της βασικής δομής είναι το προφανές προϊόν σχεδια-

¹³⁴ Miller, K. R. (1994) "Life's Grand Design." *Technology Review* February/March pp. 29-30

σμού. “Το συμπέρασμα του ευφυούς σχεδιασμού για συστήματα που αλληλεπιδρούν φυσικά βασίζεται στην παρατήρηση υψηλά εξειδικευμένης, μη αναγώγιμης πολυπλοκότητας—τη διάταξη χωριστών, καλά ταιριασμένων «εξαρτημάτων» για να πετυχαίνουν μια λειτουργία που είναι πέραν από τις δυνατότητες των ίδιων των συστατικών. Αν και δίνω έμφαση ότι ένας θα πρέπει να εξετάσει τα μοριακά συστήματα για να δει την ένδειξη για σχεδιασμό, ας χρησιμοποιήσουμε την εργασία του Miller ως σημείο εκκίνησης για να εξετάσουμε άλλα προβλήματα που υπάρχουν στο επιχείρημα της ατέλειας.

Το πιο βασικό πρόβλημα είναι ότι το επιχείρημα απαιτεί τελειότητα σε όλα. Σίγουρα, οι σχεδιαστές που έχουν την ικανότητα να κάνουν καλύτερα σχέδια δεν το κάνουν κατ’ ανάγκη. Για παράδειγμα στη βιομηχανία έχουμε αρκετά συχνά «ενσωματωμένη παλαιότητα»—ένα προϊόν σκόπιμα κατασκευάζεται έτσι που να μην αντέξει τόσο όσο θα μπορούσε, για αιτίες που ξεπερνούν τον απλό στόχο της μηχανικής τελειότητας. Ένα άλλο παράδειγμα είναι προσωπικό: Δε δίνω στα παιδιά μου τα καλύτερα, τα πιο «φανταστικά» παιχνίδια γιατί δε θέλω να τα χαλάσω, και γιατί θέλω να τα κάνω να μάθουν την αξία του χρήματος. Το επιχείρημα της ατέλειας παραβλέπει τη δυνατότητα ότι ο σχεδιαστής μπορεί να είχε πολλαπλά κίνητρα, και πολλές φορές η μηχανική τελειότητα να παίζει ένα δευτερεύοντα ρόλο. Οι πιο πολλοί άνθρωποι στην ιστορία πιστευαν ότι η ζωή έχει σχεδιαστεί, παρόλες τις αρρώστιες, το θάνατο και άλλες προφανείς ατέλειες.

Ένα άλλο πρόβλημα με το επιχείρημα από ατέλεια είναι ότι εξαρτάται κίρσιμα από μια ψυχοανάλυση του ακαθόριστου σχεδιαστή. Όμως οι αιτίες για ποιο λόγο ο σχεδιαστής έκανε ή δεν έκανε κάτι, είναι πρακτικά τελείως αδύνατο να τις πούμε παρά μόνο αν ο σχεδιαστής σου πει ειδικά ποιες ήταν αυτές οι αιτίες. Απλώς χρειάζεται κανείς να πάει σε μια έκθεση μοντέρνας τέχνης και θα έλθει αντιμέτωπος με σχεδιασμένα αντικείμενα για τα οποία οι σκοποί τους είναι τελείως σκοτεινοί (τουλάχιστον για μένα. Χαρακτηριστικά ενός σχεδίου που για μας φαίνονται παράξενα ίσως να έχουν τοποθετηθεί εκεί για κάποια αιτία από το σχεδιαστή—για καλλιτεχνικούς λόγους, για ποικιλία, για να κάνει επίδειξη, για κάποια κάποια άλλη πρακτική αιτία που δεν έχει, ή για κάποια αιτία που δεν μπορούμε να κάνουμε καμία υπόθεση—ή μπορεί και όχι. Μπορεί να είναι παράξενα, όμως παρόλα αυτά να έχουν σχεδιαστεί από μια ευφυΐα. Το σημείο που μας ενδιαφέρει επιστημονικά δεν είναι η εσωτερική νοητική κατάσταση του σχεδιαστή, αλλά αν μπορεί κανείς να ανιχνεύσει σχεδιασμό. Συζητώντας γιατί οι εξωγήινοι από άλλους πλανήτες θα θέλανε να κατασκευάσουν τεχνητές δομές που θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε από τη γη, ο φυσικός Freeman Dyson έγραψε:

Δε θέλω να συζητήσω ερωτήματα για τα κίνητρα, ποιος θα ήθελε να κάνει αυτά τα πράγματα ή γιατί. Γιατί το ανθρώπινο είδος έκανε εκρήξεις υδρογονικών βομβών ή έστειλε πυραύλους στη Σελήνη; Είναι δύσκολο να πούμε ακριβώς το γιατί.¹³⁵

Καθώς θεωρούσαν αν θα προσπαθούσαν οι εξωγήινοι να σπείρουν άλλους πλανήτες με ζωή, οι Francis Crick και Leslie Orgel έγραψαν:

Η ψυχολογία των εξωγήινων κοινωνιών δεν είναι καλύτερα κατανοητή από τη γήινη ψυχολογία. Είναι τελείως δυνατό ότι οι εξωγήινες κοινωνίες θα μπορούσαν να μολύνουν άλλους πλανήτες για διαφορετικούς λόγους από αυτούς που προτάθηκαν.¹³⁶

¹³⁵ Dyson, J. F. (1966) “The Search for Extraterrestrial Technology” in *Perspectives in Modern Physics*, ed. R.E. Marshak, John Wiley and Sons, New York pp. 643-644.

¹³⁶ Crick, F. H. C., and Orgel, L. El (1973) “Directed Panspermia,” *Icarus*, 19, 344

Στα γραφτά τους, σωστά έχουν συμπεράνει αυτοί οι συγγραφείς ότι ο σχεδιασμός θα μπορούσε να έχει ανιχνευθεί χωρίς να γνωρίζουμε τα κίνητρα του σχεδιαστή.

Το επόμενο πρόβλημα είναι ότι οι υπέρμαχοι για το επιχείρημα από ατέλεια, συχνά χρησιμοποιούν τη δική τους ψυχολογική αξιολόγηση του σχεδιαστή ως μια θετική ένδειξη για μη κατευθυνόμενη εξέλιξη. Η λογική μπορεί να παρουσιαστεί ως ένας συλλογισμός:

1. Ένας σχεδιαστής θα μπορούσε να είχε κάνει το μάτι των σπονδυλωτών χωρίς τυφλό σημείο.
2. Το μάτι των σπονδυλωτών έχει τυφλό σημείο.
3. Άρα η Δαρβινική εξέλιξη παρήγαγε το μάτι.

Για τέτοιους συλλογισμούς έχει εφευρεθεί η φράση *non sequitur* (ανακόλουθος συλλογισμός). Η επιστημονική βιβλιογραφία δεν περιέχει κάποια ένδειξη ότι η φυσική επιλογή που εργάζεται σε μεταλλάξεις μπορεί να παράγει είτε ένα μάτι με τυφλό σημείο, ένα μάτι χωρίς τυφλό σημείο, ένα βλέφαρο, ένα φακό, έναν αμφιβληστροειδή, ροδοψίνη, ή ρετινάλη. Ο συζητητής έφτασε στο συμπέρασμα υπέρ του Δαρβινισμού βασιζόμενος μόνο σε ένα συναισθηματικό αίσθημα για του πως έπρεπε να είναι τα πράγματα. Ένας πιο αντικειμενικός παρατηρητής θα συμπέρανε μόνο ότι το μάτι των σπονδυλωτών δε σχεδιάστηκε από κάποιο πρόσωπο που εντυπωσιάστηκε από το επιχείρημα για ατέλεια, η προέκταση σε άλλους ευφυείς παράγοντες δεν είναι δυνατή.

Το άρθρο του Κεν Μίλερ δεν γράφτηκε για το *Reader's Digest*, αλλά για το *Technology Review*, Το αναγνωστικό του κοινό, είναι εκλεπτυσμένο σε τεχνολογικά θάματα, μπορεί να χειριστεί αφηρημένες επιστημονικές έννοιες, και έχει συνηθίσει να ακολουθεί τα δύσκολα επιχειρήματα μέχρι το ασφαλές συμπέρασμα τους. Το γεγονός ότι προσφέρει στους αναγνώστες επιχειρήματα που βασίζονται στην ψυχολογία και στα συναισθήματα, αντί σε πραγματική επιστήμη, δίνει το αντίθετο μήνυμα από αυτό που σκόπευε για τα σχετικά πλεονεκτήματα του ευφυούς σχεδιασμού έναντι της εξέλιξης.

ΤΙ ΚΑΝΕΙ ΑΥΤΟ;

Υπάρχει μια υπο-κατηγορία από επιχειρήματα του τύπου κανείς-σχεδιαστής-δε –θα – το έκανε –έτσι, που χρειάζεται μια διαφορετική απάντηση. Αντί να γράψει για μια χρήσιμη δομή που περιέχει ανεπίτρεπτα σφάλματα, ο συγγραφέας γράφει για κάποιο χαρακτηριστικό που δε φαίνεται να έχει κάποια προφανή χρήση. Συχνά το χαρακτηριστικό μοιάζει με κάτι που χρησιμοποιείται πραγματικά σε άλλα είδη, και φαίνεται να είναι κάτι που χρησιμοποιόταν σε άλλους χρόνους αλλά μετά έχασε τη λειτουργία του. Τα υποτυπώδη – υπολειμματικά αυτά όργανα, παίζουν έναν εξεχόντα ρόλο σ' αυτό το επιχείρημα. Ο εξελικτικός βιολόγος Douglas Futuyma αναφέρει τα «υποτυπώδη μάτια των ζώων των σπηλαίων· τα μικρά άχρηστα πόδια για πολλές σαύρες που μοιάζουν με φίδια, [και] τα υπολείμματα για μια λεκάνη στον πύθωνα» ως ένδειξη για το ότι συνέβη πράγματι η εξέλιξη.¹³⁷ Αφού είμαι βιοχημικός προτιμώ μια μοριακή εκδοχή αυτού του επιχειρήματος. Ο Ken Miller μιλά για διάφορα γονίδια που παράγουν στους ανθρώπους διάφορες μορφές αιμοσφαιρίνης :

¹³⁷ Futuyma, D. (1982) *Science on Trial*, Pantheon Books, New York, p. 207

Είναι άραγε τα πέντε γονίδια από αυτό το σύμπλεγμα τα κομψά προϊόντα ενός σχεδιασμού, ή μια σειρά από σφάλματα από τα οποία επωφελήθηκε η εξέλιξη; Το ίδιο το σύμπλεγμα, ή πιο ειδικά το γονίδιο για την έκτη β-σφαιρίνη στο σύμπλεγμα, μας δίνει την απάντηση. Το γονίδιο είναι...σχεδόν ταυτόσημο με τα άλλα πέντε γονίδια. Το παράξενο όμως, γι' αυτό το γονίδιο....δεν παίζει κανένα ρόλο στην παραγωγή της αιμοσφαιρίνης. Οι βιολόγοι τα ονομάζουν «ψευδογονίδια», και μ' αυτότον όρο αποδίδουν το γεγονός ότι όσο και αν μοιάζουν με ενεργά γονίδια,στην πραγματικότητα δεν είναι.¹³⁸

Ο Miller λέει στους αναγνώστες του, ότι τα ψευδογονίδια δεν έχουν τα κατάλληλα σήματα για να πληροφορήσουν τον υπόλοιπο μηχανισμό του κυττάρου να παράγει μια πρωτεΐνη απ' αυτό. Μετά βγάζει τα συμπεράσματα του ως ακολούθως:

Η θεωρία του ευφυούς σχεδιασμού δεν μπορεί να εξηγήσει την παρουσία των ανενεργών ψευδογονιδίων, εκτός αν θέλει να επιτρέψει την εκδοχή, ότι ο σχεδιαστής έκανε σοβαρά σφάλματα, γράφοντας εκατομμύρια βάσεων του DNA σε ένα πρότυπο σχέδιο γεμάτο σκουπίδια και μουντζούρες. Αντίθετα η εξέλιξη, μπορεί εύκολα να τα εξηγήσει ως τίποτε περισσότερο από αποτυχημένα πειράματα στην τυχαία διαδικασία του διπλασιασμού των γονιδίων που παραμένουν στο γονιδίωμα ως εξελικτικά υπολείμματα.¹³⁹

Υπάρχουν τρεις λόγοι για τους οποίους δεν πείθει αυτό το επιχείρημα. Πρώτος, επειδή δεν έχουμε ακόμη ανακαλύψει μια χρήση για μια δομή, δε σημαίνει ότι δεν υπάρχει κάποια χρήση. Οι αμυγδαλές κάποτε θεωρούντουσαν ότι είναι άχρηστα όργανα, όμως βρέθηκε γι αυτές μια σημαντική λειτουργία στην ανοσία. Η λεκάνη του πύθονα μπορεί να κάνει κάτι το χρήσιμο γι' αυτόν που εμείς το αγνοούμε. Αυτό το σημείο εφαρμόζεται και στο μοριακό επίπεδο· τα ψευδογονίδια της αιμοσφαιρίνης καθώς και άλλα ψευδογονίδια,αν και δεν χρησιμοποιούνται για να κάνουν πρωτεΐνες, ίσως χρησιμοποιούνται για άλλα πράγματα που σήμερα δεν το γνωρίζουμε. Έρχονται δύο πράγματα για πιθανή χρήση, καθώς κάθομαι στο γραφείο μου: σύνδεση με ενεργά γονίδια της αιμοσφαιρίνης κατά τον διπλασιασμό του DNA για να σταθεροποιήσουν το DNA, καθοδηγούν τον ανασυνδυασμό του DNA· και προσανατολίζουν πρωτεϊνικούς παράγοντες που έχουν σχέση με τα ενεργά γονίδια. Δεν έχει σημασία αν κάποια από αυτά είναι πραγματικά καθήκοντα του ψευδογονιδίου για την αιμοσφαιρίνη. Το θέμα είναιίότη διαβεβαίωση του Miller στηρίζεται μόνο σε υποθέσεις. Ο δεύτερος λόγος για τον οποίο το επιχείρημα του Miller, αποτυγχάνει είναι ότι ακόμη και αν τα ψευδογονίδια δεν έχουν καμία λειτουργία, η εξέλιξη δεν «εξήγησε» τίποτε για το πως εμφανίστηκαν τα ψευδογονίδια. Για να γίνει ακόμη και ένα ψευδοαντίγραφο ενός γονιδίου, χρειάζονται καμιά δωδεκαριά εξεζητημένες πρωτεΐνες: για να ανοιχτεί το DNA σε δύο λωρίδες, να ευθυγραμμίσει το μηχανισμό αντιγραφής στη σωστή θέση, να ραφτούν μεταξύ τους τα νουκλεοτίδια σε μια σειρά, και να εισαχθεί ξανά το ψευδοαντίγραφο στο DNA,και πολλά περισσότερα. Στο άρθρο του ο Miller δεν μας λέει για το πως μπορεί να έχουν εμφανιστεί αυτές οι λειτουργίες σε μια διαδικασία βήμα προς βήμα, ούτε μας έδειξε κάποια άρθρα στην επιστημονική βιβλιογραφία όπου μπορούμε να βρούμε την πληροφορία. Δεν μπορεί να το κάνει επειδή δεν υπάρχει πουθενά αυτή η πληροφορία.

¹³⁸ Miller, pp. 31-32.

¹³⁹ Miller, p 32.

Οι άνθρωποι όπως τον Douglas Futuyma, που αναφέρουν υπολειμματικά όργανα ως ένδειξη για εξέλιξη, έχουν το ίδιο πρόβλημα. Ο Futuyma δεν εξηγεί ποτέ πως αναπτύχθηκαν στην αρχή μια πραγματική λεκάνη ή ένα μάτι, για να μπορέσουν να μας δώσουν αργότερα ένα υπολειμματικό όργανο, όμως και τα δύο, το λειτουργικό όργανο και το υπολειμματικό όργανο χρειάζονται εξήγηση. Δεν σκοπεύω να κατανοήσω τα πάντα για το σχεδιασμό ή την εξέλιξη—μακράν από αυτό· απλά δεν μπορώ να αγνοήσω την ένδειξη για σχεδιασμό. Αν για παράδειγμα βάλω ένα γράμμα σε ένα φωτοτυπικό, και αυτό κάνει μια ντουζίνα από καλά αντίγραφα και ένα αντίγραφο που έχει μια μουτζούρα, θα ήταν λάθος να χρησιμοποιήσω το μουτζουρωμένο αντίγραφο ως ένδειξη ότι το φωτοτυπικό έχει εμφανιστεί κατά τύχη.

Τα επιχειρήματα που βασίζονται σε σφάλματα που αντιλαμβανόμαστε ή σε υπολειμματικά γονίδια και όργανα βρίσκονται στον κίνδυνο των επιχειρημάτων του Διογένη ότι η σειρά των εποχών δείχνει ευφυή σχεδιασμό. Δεν είναι σωστό επιστημονικά να βγάζουμε υποθέσεις για τον τρόπο που θα έπρεπε να είναι τα πράγματα.

ΠΟΛΥ, ΠΟΛΥ ΚΑΙΡΟ ΠΡΙΝ

Ο τρίτος λόγος για τον οποίο το επιχείρημα του Miller πέφτει έξω, είναι αρκετά κατανοητός. Προέρχεται από τη σύγχυση μεταξύ δύο χωριστών ιδεών—τη θεωρία ότι η ζωή έχει ευφυώς σχεδιαστεί και τη θεωρία ότι η γη είναι νέα σε ηλικία. Επειδή υπάρχουν θρησκευτικές ομάδες που υπερασπίζονται τις δύο ιδέες και ήταν στις επικεφαλίδες στις περασμένες λίγες δεκαετίες, ένα μεγάλο μέρος του κοινού πιστεύει ότι οι δύο ιδέες έχουν μια αναγκαστική σύνδεση. Μέσα στο επιχείρημα του Ken Miller για τα ψευδογονίδια, και κάτι που απόλυτα το χρειάζεται για τα συμπεράσματά του, είναι η ιδέα ότι ο σχεδιαστής θα πρέπει να έκανε πρόσφατα τη ζωή. *Αυτό δεν είναι ένα μέρος της θεωρίας για ευφυή σχεδιασμό.* Μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι μερικά χαρακτηριστικά της ζωής έχουν σχεδιαστεί ακόμη και με απουσία της γνώσης για το πότε έλαβε χώρα ο σχεδιασμός. Ένα παιδί που βλέπει στα γλυπτά πρόσωπα στο Όρος Rushmore, αμέσως μπορεί να γνωρίζει ότι σχεδιάστηκαν αλλά ίσως δεν έχει ιδέα για την ιστορία τους· όλο αυτό που μπορεί να γνωρίζει είναι ότι τα πρόσωπα μπορεί να έχουν σχεδιαστεί μια μέρα πριν πάει εκεί, ή ότι μπορεί να υπάρχει από την έναρξη του χρόνου. Ένα μουσείο τέχνης ίσως να έχει στην έκθεση του ένα άγαλμα μιας μπρούτζινης γάτας που μπορεί να έχει σχεδιαστεί χιλιάδες χρόνια πριν—μέχρις ότου μετά την εξέταση από κάποιες προχωρημένες τεχνολογικές μεθόδους, οπότε αποκαλύπτεται ότι είναι μια πλαστή απομίμηση. Και στις δύο περιπτώσεις, η μπρούτζινη γάτα σίγουρα σχεδιαστηκε από κάποιο ευφυή πράκτορα.

Τα μη αναγώγιμα πολύπλοκα συστήματα που έχω συζητήσει σ' αυτό το βιβλίο δεν είναι απαραίτητο να έχουν παραχθεί πρόσφατα. Είναι τελείως δυνατό, με βάση απλά την εξέταση των ίδιων των συστημάτων, να έχουν σχεδιαστεί δισεκατομμύρια χρόνια πριν και να έχουν μεταφερθεί μέχρι σήμερα με κανονικές διαδικασίες κυτταρικής αναπαραγωγής. Ίσως αυτό το εικονολογικό σενάριο θα δείξει το σημείο. Υποθέστε ότι πριν περίπου τέσσερα δισεκατομμύρια χρόνια ο σχεδιαστής έκανε το πρώτο κύτταρο που ήδη είχε όλα τα μη αναγώγιμα πολύπλοκα βιοχημικά συστήματα που συζητήθηκαν μέχρι εδώ και πολλά άλλα. (Ένας μπορεί να το θέσει αξιωματικά ότι τα συστήματα που θα χρησιμοποιούντουσαν αργότερα, όπως η θρόμβωση του αίματος, ήταν παρόντα αλλά «δεν είχαν ενεργοποιηθεί».

Στους σημερινούς οργανισμούς πολλά γονίδια απενεργοποιούνται για λίγο, μερικές φορές για γενεές, για να ενεργοποιηθούν αργότερα.) Επιπρόσθετα, υποθέσε ότι ο σχεδιαστής έθεσε στο κύτταρο κάποια άλλα συστήματα για τα οποία δεν μπορούμε να προσκομίσουμε

αρκετή ένδειξη για να συμπεράνουμε σχεδιασμό. Το κύτταρο περιέχει μερικά σχεδιασμένα συστήματα και μετά το άφησε στον αυτόματο πιλότο μεταλάσσεται τρώγει και τρώγεται, χτυπά πάνω σε πέτρες, και υποφέρει από όλες τις ιδιοτροπίες της ζωής. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, μπορεί από καιρού σε καιρό, *με την άδεια* του Ken Miller, να εμφανιστούν ψευδογονίδια και ένα πολύπλοκο όργανο ίσως να γίνει μη λειτουργικό. Αυτά τα τυχαία γεγονότα δε σημαίνουν ότι δε σχεδιάστηκαν τα αρχικά βιοχημικά συστήματα. Οι κυτταρικές κρεατοελιές και ζαρωματιές που ο Miller θεωρεί ως ένδειξη της εξέλιξης μπορεί να είναι απλά μια ένδειξη για μεγάλη ηλικία.

Οι απλές ιδέες μπορεί να χρειαστούν μια εκπληκτική χρονική διάρκεια για να αναπτυχθούν σωστά. Ένας τρόπος που μπορεί μια απλή ιδέα να παρακαμφθεί είναι μέσα από την σύνδεση της με μια άλλη ιδέα. Όταν την κοιτάζουμε από μόνη της— μακριά από λογικά άσχετες ιδέες—η θεωρία του ευφυούς σχεδιασμού φαίνεται ότι είναι αρκετά ρωμαλέα, και απαντά στο επιχείρημα της ατέλειας.

ΕΝΑΣ ΠΕΡΙΠΛΟΚΟΣ ΚΟΣΜΟΣ

Η παραγωγή μερικών βιολογικών καλυτερεύσεων με την μετάλλαξη και την φυσική επιλογή—με την εξέλιξη—είναι αρκετά συμβατή με τη θεωρία του ευφυή σχεδιασμού. Ο Steven Jay Gould του πανεπιστημίου Χάρβαρντ έκανε αρκετό θόρυβο με τον «αντίχειρα» του Πάντα. Το γιγαντιαίο Πάντα που ζει με μια δίαιτα μπαμπού. Για να τραβήξει τα φύλλα από τους κορμούς του μπαμπού, το Πάντα τους αρπάζει με το πόδι του που έχει μία οστέινη προεξοχή που βγαίνει μέσα από τον καρπό του· υπάρχουν και τα κανονικά του πέντε δάχτυλα. Ο Gould επιχειρηματολογεί ότι ένας σχεδιαστής θα έδινε στο Πάντα ένα πραγματικό αντίχειρα που θα ήταν απέναντι από τα άλλα δάχτυλα, και έτσι συμπεραίνει ότι το Πάντα εξελίχθηκε. Το συμπέρασμα του Gould υποφέρει από τα προβλήματα που συζητήσα προηγουμένως. Υποθέτει ότι ο σχεδιαστής θα ενεργούσε όπως αυτός θα το έκανε, ότι οι αντίχειρες του Πάντα «έπρεπε» να είναι τοποθετημένοι διαφορετικά. Μετά παίρνει αυτές τις διαβεβαιώσεις ως μια θετική ένδειξη για εξέλιξη. Ο Gould δεν έκανε ποτέ μια επιστημονική στήριξη στην ιδέα του: δεν έχει δείξει ή υπολογίσει ποιο θα ήταν το μικρότερο μήκος αυτής της προέκτασης του οστού από τον καρπό που θα βοηθούσε το Πάντα· δε δικαιολόγησε τις συμπεριφορικές αλλαγές που θα ήταν αναγκαίες για να εκμεταλλευτεί την αλλαγή στη δομή του οστού· και δεν ανέφερε πως ήταν τα Πάντα πριν αποκτήσουν αυτόν τον αντίχειρα. Δεν έκανε τίποτε παραπάνω από του να μας πει ένα παραμύθι.

Ας σγνοήσουμε όμως προς το παρόν, αυτές τις ερωτήσεις· ας υποθέσουμε ότι συνέβη πραγματικά αυτή η ιστορία. Γιατί όμως το σενάριο του Gould για το Πάντα να είναι ασυμβίβαστο με τη θεωρία ευφυούς σχεδιασμού; Ο αντίχειρας του Πάντα αποτελεί ένα μαύρο κουτί. Είναι *τελείως* πιθανόν ότι για τη παραγωγή του αντίχειρα του Πάντα, δε χρειάστηκαν στο κύτταρο νέα μη αναγώγιμα πολύπλοκα συστήματα. Είναι δυνατόν τα συστήματα που ήταν ήδη παρόντα—τα συστήματα που θα έκαναν τις πρωτεΐνες των μυών και τις νευρικές ίνες, που βρίσκονται πάνω στο οστό, και τις πρωτεΐνες που προκαλούν για λίγο διάστημα τη διάιρεση των κυττάρων και μετά σταματούν τη διάιρεση τους—να ήταν αρκετά. Είναι πιθανόν ότι αυτά τα συστήματα ήταν αρκετά επαρκή για να προακλέσουν μια προεξοχή οστού όταν κάποια τυχαία συμβάντα διατάραξαν αυτό το κανονικό σχήμα λειτουργίας, και είναι δυνατό τότε η φυσική επιλογή να ευνόησε αυτήν την αλλαγή. Η θεωρία σχεδιασμού δεν έχει κάτι να μας πει για ένα βιοχημικό ή βιολογικό σύστημα εκτός αν όλα τα συστατικά του συστήματος είναι γνωστά και δείχνει ότι το σύστημα αποτελείται από μερικά

μέρη που αλληλεπιδρούν. Η θεωρία του ευφυούς σχεδιασμού μπορεί να συνυπάρχει ειρηνικά με τον αντίχειρα του πάντα.

Ζούμε σε ένα περίπλοκο κόσμο όπου πολλά διάφορα πράγματα μπορούν να συμβούν. Όταν αποφασίζει ένας γεωλόγος πως διάφοροι πετρώματα πήραν το σχήμα που έχουν, ίσως θεωρήσει μια ολόκληρη περιοχή παραγόντων: βροχή, άνεμο, κίνηση παγετώνων, δραστηριότητα βρύων και λειχήνων, ηφαιστειακή δραστηριότητα, πυρηνικές εκρήξεις, προσκρούσεις αστεροειδών ή το χέρι ενός γλύπτη. Το σχήμα ενός πετρώματος ίσως να έχει ένα βασικό παράγοντα που το έχει διαμορφώσει, το σχήμα ενός άλλου πετρώματος να έχει έναν άλλο μηχανισμό. Η δυνατότητα για την πρόσκρουση ενός μετεωρίτη, δε σημαίνει ότι μπορούν να αγνοηθούν τα ηφαιστεια· η ύπαρξη γλυπτών δε σημαίνει ότι τα πιο πολλά πετρώματα δεν έχουν επηρεαστεί από τον καιρό. Παρόμοια, οι εξελικτικοί βιολόγοι έχουν αναγνωρίσει ότι ένας αριθμός παραγόντων μπορεί να έχουν επηρεάσει την ανάπτυξη της ζωής: κοινή προέλευση, φυσική επιλογή, μετανάστευση, μέγεθος του πληθυσμού, επίδραση του ιδρυτή (επίδραση που μπορεί να οφείλεται στον περιορισμένο αριθμό οργανισμών που ξεκινούν ένα νέο είδος), γενετική μετατόπιση (η ταχύτητα «ουδέτερων», μη επιλεκτικών μεταλλάξεων), ροή γονιδίων (η ενσωμάτωση των γονιδίων σε ένα πληθυσμό από ένα χωριστό πληθυσμό), σύνδεση (ύπαρξη δύο γονιδίων στο ίδιο χρωμόσωμα) μειωτική παρόρμηση (η επιλεκτική επιλογή κατά την παραγωγή γενετικών κυττάρων από ένα από δύο αντίγραφα ενός γονιδίου που έχει κληρονομηθεί από τους γονείς του οργανισμού), μετατόπιση (η μεταφορά γονιδίων ανάμεσα σε πολύ διαφορετικά είδη από μη γενετικά μέσα), και πολλοί περισσότεροι. Το γεγονός ότι κάποια βιοχημικά συστήματα μπορεί να έχουν σχεδιαστεί από κάποιο ευφυή παράγοντα δε σημαίνει ότι οποιοσδήποτε από τους άλλους παράγοντες δεν είναι λειτουργικοί, συνηθισμένοι ή σημαντικοί.

ΤΙ ΘΑ ΚΑΝΕΙ Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ;

Η ανακάλυψη του σχεδιασμού διευρύνει τον αριθμό των παραγόντων που θα πρέπει να θεωρηθούν από την επιστήμη όταν προσπαθεί να ερμηνεύσει τη ζωή. Ποια θα είναι τα αποτελέσματα στους διάφορους κλάδους της επιστήμης από το ότι είμαστε ενήμεροι για τον ευφυή σχεδιασμό; Οι βιολόγοι που εργάζονται στο μοριακό επίπεδο ή πιο πάνω, μπορούν να συνεχίσουν την έρευνα τους χωρίς να δίνουν πολλή προσοχή στο σχεδιασμό, γιατί στο μοριακό επίπεδο οι οργανισμοί είναι μαύρα κουτιά, και είναι δύσκολο να αποδειχτεί ο σχεδιασμός. Έτσι, αυτοί που εργάζονται στα πεδία της παλαιοντολογίας, συγκριτικής ανατομικής, γενετικής των πληθυσμών δε θα πρέπει να επικαλούνται τον σχεδιασμό μέχρις ότου οι μοριακές επιστήμες δείξουν ότι ο σχεδιασμός έχει επίδραση στα ανώτερα επίπεδα. Βέβαια, η δυνατότητα για σχεδιασμό θα πρέπει να κάνει τους ερευνητές στη βιολογία να διστάζουν πριν να ισχυριστούν ότι κάποιο ιδιαίτερο βιολογικό χαρακτηριστικό έχει ουσιαστικά παραχθεί από έναν άλλο μηχανισμό, όπως από φυσική επιλογή ή από αναδιάταξη των γονιδίων. Αντίθετα θα πρέπει να παρουσιάζονται λεπτομερή μοντέλα για να δικαιολογούν τη διακήρυξη ότι ένας δεδομένος μηχανισμός παρήγαγε ένα δεδομένο βιολογικό χαρακτηριστικό.

Αντίθετα με τη Δαρβινική εξέλιξη, η θεωρία του ευφυούς σχεδιασμού είναι κάτι το νέο στη σύγχρονη επιστήμη, έτσι υπάρχουν ένα πλήθος από ερωτήματα που απαιτούν να απαντηθούν και μπροστά μας βρίσκεται πολλή δουλειά που πρέπει να γίνει. Γι αυτούς που εργάζονται στο μοριακό επίπεδο, η πρόκληση θα είναι να προσδιορίσουν ποια συστήματα έχουν σχεδιαστεί και ποια θα μπορούσαν να έχουν εμφανιστεί με άλλους μηχανισμούς. Για να φθάσει κανείς σε ένα συμπέρασμα για σχεδιασμό, αυτό θα απαιτήσει την ταυτοποίηση

των άλληλεπιδρώντων συστατικών ενός μοριακού συστήματος, κι επίσης τους ρόλους που παίζουν, καθώς και έναν προσδιορισμό ότι το σύστημα δεν είναι σύνθετο και αποτελείται από πολλά χωριστά συστήματα. Για να φθάσουμε σε μια ισχυρή πεποίθηση για μη σχεδιασμό θα απαιτήσει την απόδειξη ότι το σύστημα δεν είναι μη αναγώγιμα πολύπλοκο ή ότι δεν υπάρχει πολλή εξειδίκευση ανάμεσα στα συστατικά του. Για να ληφθεί μια απόφαση για οριακές περιπτώσεις σχεδιασμού, θα απαιτηθεί πειραματική ή θεωρητική διερεύνηση μοντέλων με τα οποία ένα σύστημα θα μπορούσε να έχει αναπτυχθεί με ένα συνεχή τρόπο ή να δειχτούν τα σημεία όπου η ανάπτυξη του συστήματος θα ήταν κατ' ανάγκη ασυνεχής. Η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να πάρει διάφορες κατευθύνσεις. Θα πρέπει να αναληφθεί εργασία για να προσδιοριστεί αν η πληροφορία για σχεδιασμένα συστήματα θα μπορούσε να μένει σε ύπνωση για μακριά περίοδο χρόνου, ή αν η πληροφορία θα έπρεπε να προστεθεί κοντά στο χρόνο όταν το σύστημα έγινε λειτουργικό. Αφού το απλούστερο δυνατό σενάριο σχεδιασμού ζητά να υπάρχει ένα μοναχικό κύτταρο —που φτιάχτηκε πριν από δισεκατομμύρια χρόνια— που ήδη είχε όλες τις πληροφορίες για να παραχτούν απόγονοι οργανισμοί, άλλες μελέτες θα μπορούσαν να ελέγξουν αυτό το σενάριο με το να προσπαθήσουν να υπολογίσουν πόσο πολύ DNA θα χρειαζόταν για να κωδικοποιήσουν την πληροφορία (έχοντας υπόψη ότι μεγάλο μέρος της πληροφορίας θα είναι υπονοούμενο). Αν το ίδιο το DNA δεν επαρκεί, οι μελέτες θα μπορούσαν να δούνε αν η πληροφορία θα μπορούσε να αποθηκευτεί στο κύτταρο με άλλους τρόπους—για παράδειγμα, ως πληροφορία τοποθετημένη σε κάποια θέση. Άλλες εργασίες θα μπορούσαν να εστιαστούν αν είτε μεγαλύτερα, σύνθετα συστήματα (που περιέχουν δύο ή περισσότερα μη αναγώγιμα πολύπλοκα συστήματα) θα μπορούσαν να αναπτυχθούν βαθμιαία είτε υπάρχουν σύνθετες αναγωγιμότητες.

Τα προηγούμενα είναι ακριβώς οι προφανείς ερωτήσεις που ρέουν μέσα από τη θεωρία του σχεδιασμού. Χωρίς αμφιβολία, περισσότερες και καλύτερα σχηματισμένες ερωτήσεις θα παραχτούν καθώς περισσότεροι και περισσότεροι επιστήμονες γίνονται όλο και πιο περιέργοι για το σχεδιασμό. Η θεωρία της ευφυούς σχεδιασμού υπόσχεται να αναζωπυρώσει ένα πεδίο της επιστήμης που έχει «μπαγιατέψει» από την έλλειψη λύσεων σε αδιέξοδα προβλήματα. Ο διανοητικός ανταγωνισμός που δημιουργείται από την ανακάλυψη του σχεδιασμού θα φέρει πιο οξεία ανάλυση στην επαγγελματική επιστημονική βιβλιογραφία και θα απαιτήσει ότι οι διαβεβαιώσεις τους θα στηρίζονται σε στερεά δεδομένα. Η θεωρία θα γίνει ένας σπινθήρας για πειραματικές προσεγγίσεις και νέες υποθέσεις που αλλιώς δε θα είχαν δοκιμαστεί. Μια αυστηρή θεωρία για τον ευφυή σχεδιασμό θα γίνει ένα χρήσιμο εργαλείο για την πρόοδο της επιστήμης σε μια περιοχή που για δεκαετίες είναι ετοιμοθάνατη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 ΕΠΙΣΤΗΜΗ, ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ, ΘΡΗΣΚΕΙΑ

ΤΟ ΔΙΛΗΜΜΑ

Στις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες η σύγχρονη βιοχημεία έχει αποκαλύψει τα μυστικά του κυττάρου. Η πρόοδος κερδίστηκε με μεγάλη δυσκολία. Απαίτησε δεκάδες χιλιάδες ανθρώπους να αφιερώσουν το καλύτερο μέρος της ζωής τους στη σκληρή εργασία του εργαστηρίου. Μεταπτυχιακοί φοιτητές με λυμένα παπούτσια σπορτέξ, σέρνονται αργά τη νύχτα του Σαββάτου μέσα στο εργαστήριο, μεταπτυχιακοί συνεργάτες εργάζονται δεκατέσσερις ώρες την ημέρα εφτά μέρες την εβδομάδα, καθηγητές αγνοούν τα παιδιά τους για να λουστράρουν και να ξαναλουστράρουν τις προτάσεις που θα υποβάλλουν με την αίτηση χρηματοδότησης, ελπίζοντας να κατορθώσουν να αποσπάσουν λίγα χρήματα από τους πολιτικούς που έχουν πολλά άλλα θέματα που έχουν για να ταΐσουν στους ψηφοφόρους τους— αυτοί είναι οι άνθρωποι που κάνουν να προχωρήσει μπροστά η επιστημονική έρευνα. Η γνώση που τώρα έχουμε για τη ζωή στο μοριακό επίπεδο έχει συρραφεί από αναρίθμητα πειράματα στα οποία καθαρίστηκαν πρωτεΐνες, γονίδια κλωνοποιήθηκαν, λήφθηκαν ηλεκτρονικές μικρογραφίες, καλλιεργήθηκαν κύτταρα, προσδιορίστηκαν δομές, συγκρίθηκαν ακολουθίες, μεταβλήθηκαν παράμετροι, και έγιναν διάφοροι έλεγχοι. Δημοσιεύτηκαν εργασίες, ελέγχθηκαν τα αποτελέσματα, γράφτηκαν ανασκοπήσεις, ερευνήθηκαν τυφλά αδιέξοδα και νέες προσεγγίσεις απέκτησαν σάρκα και οστά.

Το αποτέλεσμα όλων αυτών των συσσωρευμένων προσπαθειών στην έρευνα του κυττάρου —για να ερευνηθεί η ζωή στο μοριακό επίπεδο— ήταν μία δυνατή, καθαρή και διαπεραστική κραυγή «σχεδιασμός!» Το αποτέλεσμα είναι τόσο αναμφίβολο και τόσο σημαντικό που θα πρέπει να ταξινομηθεί ως ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της ιστορίας των επιστημών. Η ανακάλυψη αμιλλάται αυτές που έκαναν ο Νεύτων, ο Αϊνστάιν, ο Λαβουαζιέ και ο Σρέντιγκερ, ο Παστέρ και ο Δαρβίνος. Η παρατήρηση του ευφυούς σχεδιασμού της ζωής είναι τόσο βαρυσήμαντη, όσο η ανακάλυψη ότι η γη περιφέρεται γύρω από τον ήλιο, ή ότι η ασθένεια προκαλείται από βακτήρια ή ότι οι ακτινοβολίες εκπέμπονται σε κβάντα. Το μέγεθος της νίκης, που κερδήθηκε με τόσο μεγάλο κόστος μέσα από την επίμονη προσπάθεια στη διάρκεια δεκαετιών, θα πρέπει να περιμέναμε να έκανε τους φελλούς από σαμπάνιες να πετάνε στα εργαστήρια σε όλον τον κόσμο. Αυτός ο θρίαμβος της επιστήμης θα έπρεπε να προκαλέσει κραυγές «Εύρηκα!» από δέκαχιλιάδες λαρύγγια, θα έπρεπε να γίνει αφορμή για χειροκροτήματα και ύψωμα του χεριού σε V, καί ίσως ακόμη και μια δικαιολογία για να υπάρξει ημέρα αργίας.

Όμως δεν πετάχτηκαν οι φελλοί από σαμπάνιες, δεν υπήρξαν χειροκροτήματα. Αντίθετα επεκράτησε μια περίεργη και αμήχανη σιωπή για την προφανή πολυπλοκότητα του κυττάρου. Όταν το θέμα αναφέρεται δημόσια, τα πόδια αρχίζουν να σέρνονται, η αναπνοές γίνονται πιο δύσκολες. Σε ιδιωτικές συναντήσεις οι άνθρωποι είναι λίγο πιο χαλαροί, πολλοί παραδέχονται ξεκάθαρα το προφανές αλλά μετά χαμηλώνουν τα βλέμματα προς το έδαφος, κουνάνε τα κεφάλια τους, και αλλάζουνε θέμα.

Γιατί δεν αγγάλιασε η επιστημονική κοινότητα με ανυπομονησία αυτήν την καταπληκτική ανακάλυψη; Γιατί ο χειρισμός της παρατήρησης του σχεδιασμού έγινε με διανοητικά γάντια; Το δίλημμα είναι ενώ η μια πλευρά του ελέφαντα ονομάζεται ευφυής σχεδιασμός, η άλλη πλευρά ονομάζεται Θεός.

Κάποιος μη επιστήμονας ίσως να κάνει την προφανή ερώτηση: και τι μ' αυτό; Η ιδέα ότι υπάρχει ένα όνομα όπως ο Θεός είναι αρκετά δημοφιλής. Οι δημοσκοπήσεις δείχνουν ότι περισσότερο από 90 τοις εκατό των Αμερικανών πιστεύουν στο Θεό, και ότι περίπου οι μισοί παρακολουθούν τακτικά λατρευτικές συνάξεις. Οι πολιτικοί με μεγάλη κανονικότητα επικαλούνται το όνομα του Θεού (πιο συχνά όταν πλησιάζουν εκλογές). Πολλοί προπονητές του Αμερικανικού ποδοσφαίρου προσεύχονται πριν τους αγώνες με τις ομάδες τους, διάφοροι μουσικοί συνθέτουν ύμνους, καλλιτέχνες ζωγραφίζουν πίνακες με θρησκευτικά γεγονότα, οργανώσεις από επιχειρηματίες συγκεντρώνονται για προσευχές. Τα νοσοκομεία και τα αεροδρόμια έχουν παρεκλήσια· ο στρατός και το Κονγκρέσο χρησιμοποιούν θρησκευτικούς λειτουργούς. Ως χώρα τιμούμε ανθρώπους, όπως τον Μάρτιν Λούθερ Κινγκ των οποίων οι πράξεις είχαν βαθιές ρίζες σε μια πίστη στο Θεό. Με όλη αυτή την δημόσια επικύρωση, γιατί θα έπρεπε η επιστήμη να το βρίσκει δύσκολο να δεχτεί μια θεωρία που υποστηρίζει αυτό που εν πάσει περιπτώσει πιστεύουν οι πιο πολλοί άνθρωποι; Υπάρχουν διάφορες αιτίες. Η πρώτη είναι ένα πρόβλημα που έχουμε οι πιο πολλοί την τάση να έχουμε —σοβινισμός. Οι άλλες αιτίες εξαρτώνται από ιστορικές και φιλοσοφικές σχέσεις που είναι ιδιαίτερες στην επιστήμη. Αυτές οι διάφορες αιτίες όλες αλληλεπιδρούν κατά περίεργους τρόπους η μία με την άλλη, όμως θα προσπαθήσουμε να τις προκαλέσουμε να χωριστούν.

ΑΦΟΣΙΩΣΗ

Οι άνθρωποι που αφοσιώνουν τη ζωή τους σε μια ευγενή επιδίωξη συχνά γίνονται άγρια πιστοί σ' αυτήν. Για παράδειγμα μια πρόεδρος ενός κολεγίου ίσως να αφιερώσει όλες της τις προσπάθειες στο δυνάμωμα του σχολείου της, επειδή η εκπαίδευση των ανθρώπων είναι μια ανεκτίμητη υπηρεσία. Ένας αξιωματικός καριέρας θα εργαστεί για να καλυτερέψει τον δικό του κλάδο υπηρεσίας, επειδή η άμυνα της πατρίδας του είναι ένας σπουδαίος σκοπός. Όμως καμιά φορά, η αφοσίωση σε κάποιο θεσμό δημιουργεί συγκρούσεις συμπεριφερόντων -ενδιαφερόντων με το σκοπό που εξυπηρετεί ο θεσμός. Ο αξιωματικός μπορεί να σπρώξει το πεζικό σε μια μάχη ώστε ο στρατός ξηράς να πάρει την τιμή για τη νίκη ενώ πιο συνετό θα ήταν να αφήνει την αεροπορία να αναλάβει την πρώτη δράση. Η πρόεδρος του κολεγίου, ίσως να πείσει τους βουλευτές της πολιτείας της να ξεχωρίσουν κάποια ομοσπονδιακά χρήματα για ένα νέο κτίριο στην πανεπιστημιούπολη της, παρόλο που τα χρήματα θα μπορούσαν να βοηθήσουν κάπου αλλού την εκπαίδευση.

Η επιστήμη είναι μια ευγενής επιδίωξη που γεννά μια άγρια αφοσίωση. Ο σκοπός μιας φυσικής επιστήμης είναι να εξηγήσει τον φυσικό κόσμο—μια πολλή σοβαρή υπόθεση. Όμως υπάρχουν άλλοι τομείς γνώσεων (κυρίως η φιλοσοφία και θεολογία) που και αυτοί έχουν ως σκοπό τους να εξηγήσουν μέρη του κόσμου. Αν και τον περισσότερο χρόνο αυτοί οι τομείς γνώσεων στεκονται έξω από την πορεία των άλλων τομέων γνώσεων, καμιά φορά υπάρχουν συγκρούσεις. Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο μερικοί αφιερωμένοι άνθρωποι βάζουν τον δικό τους τομέα μπροστά από τον στόχο από αυτόν που υποτίθεται ότι υπηρετεί. Μπορεί να φανεί ένα καλό παράδειγμα τομεακού σοβινισμού στο όμορφο βιβλίο του Robert Shapiro, *Προελεύσεις: Ένας οδηγός του σκεπτικιστή στη Δημιουργία της ζωής στη Γη* (*A Skeptic's Guide to the Creation of Life on the Earth*). Μετά που μας έχει παρουσιάσει μια πολύ εύκολη να αναγνωστεί και πολύ σαρωτική κριτική στις επιστημονικές μελέτες για την προέλευση της ζωής, ο Shapiro διακηρύττει τη σταθερή του πιστότητα — όχι στο στόχο της «εξήγησης του φυσικού κόσμου», αλλά στην επιστήμη.

Ίσως να έρθει μια μελλοντική μέρα, όταν όλα τα λογικά χημικά πειράματα που θα έχουν γίνει για να ανακαλύψουμε μια πιθανή προέλευση της ζωής να έχουν αποτύχει χωρίς καμία αμφιβολία. Οι νέες γεωλογικές ανακαλύψεις να μας δίνουν ένδειξη ότι η ζωή εμφανίστηκε ξαφνικά στη γη. Τελικά, αφού ίσως έχουμε εξερευνήσει το σύμπαν να μην έχουμε βρει κάπου κάποιο ίχνος ζωής, ή κάποια διαδικασία που οδηγεί στη ζωή. Αν υπάρξει μια τέτοια περίπτωση, ίσως μερικοί επιστήμονες να διαλέξουν να στραφούν για απάντηση στη θρησκεία. Όμως άλλοι, στους οποίους συμπεριλαμβάνομαι κι εγώ, θα προσπαθούσαμε να κοιτούσαμε σε κάποια λιγότερο πιθανή επιστημονική εξήγηση που να έχει «επιβιώσει» με την ελπίδα ότι θα επιλέξουμε αυτή που είναι πιο πιθανή από τις υπόλοιπες.¹⁴⁰

Ο Shapiro προχωρά άφοβα για να μας πει ότι τα πράγματα δε φαίνονται τόσο άσχημα τώρα, ερχόμενος σε αντίφαση με το κάθε τι που έχει γράψει μέχρις αυτό το σημείο. Νιώθει ασφαλής στη γνώση ότι ποτέ δε θα έρθει κάποια στιγμή που όλα τα πειράματα θα έχουν «αποτύχει χωρίς καμία αμφιβολία», όπως δε θα υπάρξει ποτέ κάποια χρονική στιγμή που θα έχει απόλυτα αποκλειστεί η ύπαρξη του τέρατος του Λοχ Νες. Και φυσικά είναι πολύ βολικό το ότι αποκλείεται να έρθει η στιγμή που θα έχει εξερευνηθεί το σύμπαν.

Ένας που δεν είναι προκατειλημμένος μπορεί να νομίζει, ότι αν εξευτελιστεί και η πιο πιθανή επιστημονική εξήγηση, τότε ίσως να χρειάζεται μια θεμελιωδώς νέα εξήγηση. Αφού η προέλευση της ζωής είναι ένα ιστορικό γεγονός— όχι όπως θα λέγαμε η έρευνα για τη θεραπεία του καρκίνου, όπου η επιστήμη θα συνεχίσει να προσπαθεί μέχρις ότου να επιτύχει. Ίσως η προέλευση της ζωής δεν έχει συμβεί με μη κατευθυνόμενες χημικές αντιδράσεις, όπως ελπίζει ο Shapiro. Όμως για έναν που συμμετέχει ενεργά στη έρευνα, το συμπέρασμα για σχεδιασμό μπορεί να τον κάνει να νιώθει βαθιά ανικανοποίητος. Θα πρέπει να παραδεχτούμε ότι είναι πολύ απογοητευτική για πολλούς επιστήμονες η σκέψη ότι η γνώση του μηχανισμού που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή της ζωής μπορεί να μείνει για πάντα πέραν από τα όρια τους. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να είμαστε προσεχτικοί να μην αφήσουμε την απέχθεια για μια θεωρία να μας κάνει να αποκτήσουμε μια προκατάληψη για μια ακριβοδίκαιη ανάγνωση των δεδομένων.

Είναι καλή η αφοσίωση σε ένα θεσμό, όμως η απλή αφοσίωση, δεν είναι ένα επιχείρημα. Συνοψίζοντας, το αποτέλεσμα του επιστημονικού σοβινισμού στις θεωρίες της ανάπτυξης της ζωής, είναι ένα σημαντικό κοινωνιολογικό εμπόδιο που θα πρέπει να το υπολογίζουμε, όμως τελικά είναι μηδενική η διανοητική του αξία για το θέμα του ευφυούς σχεδιασμού.

ΜΑΘΗΜΑ ΙΣΤΟΡΙΑΣ

Η δεύτερη αιτία για την οποία υπάρχει αυτός ο δισταγμός της επιστήμης να ασχοληθεί με τον ελέφαντα, προέρχεται από την ιστορία. Από την εποχή που προτάθηκε, μερικοί επιστήμονες συγκρούστηκαν με ορισμένους θεολόγους για τη Δαρβινική θεωρία της εξέλιξης. Παρόλο που πολλοί επιστήμονες και θεολόγοι σκέφτηκαν ότι η Δαρβινική εξέλιξη θα μπορούσε μάλλον εύκολα να συμφιλιωθεί με τις βασικές πεποιθήσεις των περισσότερων θρησκειών, δημοσίως πάντα υπήρχε εστίαση στη σύγκρουση. Πιθανόν να μπήκε αυτός ο τονι-

¹⁴⁰ Shapiro, R. (1986) *Origins: A Skeptic's Guide to the Creation of Life on Earth* Summit Books, New York, p. 130

σμός από τότε που ο Αγγλικανός επίσκοπος Σάμιουελ Γουίλμπερφορς φιλονίκησε με τον Τόξας Χένρι Χάξλεϊ, έναν επιστήμονα που ήταν ένθερμος οπαδός της εξέλιξης, περίπου μετά ένα χρόνο από την έκδοση του πρωτοποριακού έργου του Δαρβίνου. Αναφέρεται ότι ο επίσκοπος —που ήταν καλός θεολόγος αλλά κακός βιολόγος— τέλειωσε την ομιλία του με την ερώτηση, «Θα ήθελα πολύ να γνωρίζω, αν από τη μεριά του πατέρα του, ή της μητέρας του, ισχυρίζεται ο Χάξλεϋ ότι προέρχεται από τον πίθηκο;» Ο Χάξλεϋ ψέλισε κάτι όπως, «Ο Κύριος τον παρέδωσε στα χέρια μου», και προχώρησε για να δώσει στο ακροατήριο και στον επίσκοπο ένα πολύ μελετημένο μάθημα βιολογίας. Κατά το τέλος της έκθεσης του ο Χάξλεϊ διακύρηξε ότι δεν ήξερε αν ήταν από τη μητέρα του ή τον πατέρα του αυτό που τον κάνει συγγενή με τον πίθηκο, αλλά θα προτιμούσε να προέρχεται από πιθήκους παρά να είναι ένας άνθρωπος που κατέχει το χάρισμα της λογικής και να το χρησιμοποιούσε όπως έκανε ο επίσκοπος εκείνη την ημέρα. Οι κυρίες λιποθύμησαν, οι επιστήμονες φώναξαν χαρούμενα ενώ οι δημοσιογράφοι έτρεξαν να γράψουν την επικεφαλίδα: «Πόλεμος μεταξύ Επιστήμης και Θεολογίας».

Το συμβάν στην Αμερική που καθόρισε τη δημόσια αντίληψη των σχέσεων επιστήμης και θεολογίας ήταν η δίκη του Σκόουπς (Scopes). Το 1925 ο Τζων Σκόουπς, ήταν δάσκαλος βιολογίας στο γυμνάσιο της μικρής πόλης Ντέιτον, στο Τενεσί, και προσφέρθηκε εθελοντικά για να παραβιάσει ένα νόμο της πολιτείας που μέχρι τότε δεν είχε εφαρμοστεί, και που απαγόρευε τη διδασκαλία της εξέλιξης. Η εμπλοκή ενός δικηγόρου υψηλής περιωπής, του Κλάρενς Ντάρου για την υπεράσπιση και του Γούλιαμ Τζένινγκς Μράιαν που έχασε τρεις φορές την υποψηφιότητα για την προεδρία, για την πολιτική αγωγή, ήταν μία εγγύηση για το τσίρκο των μέσων που ακολούθησε. Αν και η ομάδα του Σκόουπς έχασε τη δίκη, η κατάδική του ανατράπηκε πάνω σε ένα θέμα κακοδικίας. Όμως το πιο σημαντικό ήταν η δημοσιότητα που έβαλε έναν τόνο ανταγωνισμού μεταξύ θρησκείας και επιστήμης.

Η δίκη του Σκόουπς και η φιλονικία Χάξλεϊ-Γουίλμπερφορς συνέβησαν πριν από πολύ καιρό, όμως μερικά πρόσφατα συμβάντα έχουν κρατήσει τη διαμάχη να σιγοβράζει. Τις περασμένες λίγες δεκαετίες κάποιες θρησκευτικές ομάδες, που πιστεύουν ότι η γη είναι σχετικά νέα (της τάξεως των δέκα χιλιάδων ετών) έχουν προσπαθήσει να επιβάλουν τη διδασκαλία της άποψης τους στα δημόσια σχολεία. Οι κοινωνιολογικοί και πολιτικοί παράγοντες που εμπλέκονται στην κατάσταση είναι περίπλοκοι—ένα ισχυρό μείγμα από θέματα που έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν διαιρέσεις σε θέματα θρησκευτικής ελευθερίας, δικαιώματα των γονεών, κυβερνητικός έλεγχος της εκπαίδευσης, και δικαιώματα της πολιτείας έναντι της ομοσπονδιακής κυβέρνησης —και γίνονται πιο πολύ συναισθηματικά φορτισμένα γιατί η μάχη αφορά τα παιδιά.

Επειδή από φυσικές μετρήσεις μπορούν να βγούνε συμπεράσματα για την ηλικία της γης, πολλοί επιστήμονες νιώσανε αρκετά φυσικά, ότι οι θρησκευτικές ομάδες έχουν μπει στην δική τους περιοχή στην οποία αυτοί είναι οι ειδικοί και τους κάλεσαν να απολογηθούν. Όταν οι ομάδες προσέφεραν φυσικές ενδείξεις που έλεγαν ότι υποστήριζαν την νέα γη, οι επιστήμονες τις κορόιδεψαν ως ανεπαρκείς και προκατειλημμένες. Τα νεύρα άναψαν και στις δύο πλευρές, και συσσωρεύτηκαν πολλά κακά. Μερικές από τις κακές διαθέσεις μπήκαν μέσα σε ινστιτούτα., για παράδειγμα, πριν δώδεκα χρόνια ιδρύθηκε μια οργάνωση που ονομάζεται Εθνικό Κέντρο για Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες — όταν διάφορες πολιτείες περνούσαν νόμους που ήταν φιλικοί στο δημιουργισμό — για να πολεμήσει το δημιουργισμό όπου αυτός θα προσπαθούσε να επηρεάσει την πολιτική των σχολείων

Αυτές οι συγκρούσεις συνεχίζουν τις αναταράξεις τους μέχρι σήμερα. Το 1990 το *Scientific American*, ζήτησε από έναν συγγραφέα φυσικών επιστημών με το όνομα Φόρεστ Μιμς να γράψει αρκετές στήλες για τη στήλη «Ερασιτέχνης Επιστήμονας». Ο «Ερασιτέχνης Επιστή-

μονας» ασχολείται με θέματα όπως τη μέτρηση του μήκους των κεραυνών, την κατασκευή φορητών παρατηρητηρίων του ήλιου, και την κατασκευή οικιακών σεισμομέτρων για να καταγράφουν τις κινήσεις της γης— για θέματα που ενδιαφέρουν αυτούς που έχουν ως χόμπι τους τις φυσικές επιστήμες. Ήταν κατανοητό ότι αυτή η στήλη άρεσε τόσο στους εκδότες, όσο και στο κοινό., και ο Μιμς θα προσλαμβανόταν ως μόνιμος συγγραφέας. Η δοκιμαστικές στήλες πήγαν πολύ καλά, αλλά όταν ο Μιμς ήρθε στη Νέα Υόρκη για την τελική συνέντευξη, ρωτήθηκε τι πιστεύει για την εξέλιξη. Ο Μιμς απάντησε, ωραία, όχι, πίστευε στη βιβλική εξιστόρηση της δημιουργίας.

Το περιοδικό αρνήθηκε να τον προσλάβει, το *Scientific American* φοβόταν ότι με το να έχει απλώς ένα δημιουργιστή στο προσωπικό του, θα έβλαφτε την φήμη του ανάμεσα στους επιστήμονες, παρόλο που ο Μιμς είχε πολύ καλά προσόντα και δεν είχε κανένα σκοπό να γράψει για την εξέλιξη. Χωρίς αμφιβολία κάποιες σκηνές από το έργο *Κληρονόμησε τον Άνεμο* (*Inherit the Wind* το έργο που βασιζόταν κατά ένα χαλαρό τρόπο στη δίκη Σκόουπς) και τα διάφορα νέα για μάχες μεταξύ δημιουργιστών και των πολιτικών τους εχθρών, σπινθηροβόλησαν στα μυαλά των εκδοτών του περιοδικού. Τέτοιες μικρο-υποθέσεις που διαδόθηκαν ευρέως, όπως η υπόθεση Μιμς—αν και δεν έχουν τίποτε να κάνουν με πραγματικά διανοητικά θέματα για το πως εμφανίστηκε η ζωή στη γη—τροφοδοτούν με καύσιμα τις φωτιές για τη διαμάχη μεταξύ επιστήμης και θρησκείας, και πείθουν πολλούς ανθρώπους ότι θα πρέπει να ανήκεις ή στο ένα στρατόπεδο ή στο άλλο.

Τα ιστορικά συμβάντα στα οποία οι επιστήμονες έχουν συγκρουστεί με θρησκευτικές ομάδες είναι πραγματικά και προκαλούν πραγματικές συναισθηματικές αντιδράσεις. Κάνουν μερικούς καλοπροαίρετους ανθρώπους να σκέφτονται ότι θα πρέπει να διατηρείται μια αποστρατιωτικοποιημένη ζώνη μεταξύ των δύο, και δε θα επιτρέπεται καμία σχέση φιλίας. Όμως, όπως συμβαίνει με τον επιστημονικό σοβινισμό, η σημασία αυτών των ιστορικών συγκρούσεων για την πραγματική επιστημονική κατανόηση της ανάπτυξης της ζωής είναι πρακτικά μηδέν. Δεν ελπίζω αφελώς ότι οι ανακαλύψεις της βιοχημείας θα μπορέσουν να αξιολογηθούν ελεύθερα από τις σκιές της ιστορίας, όμως θα έπρεπε αυτό να γινόταν κατά το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό.

Αντίθετα από τα επιχειρήματα των σοβινιστών και τα ιστορικά θέματα, τα φιλοσοφικά επιχειρήματα που αναζητούν να αποδιώξουν τα συμπεράσματα για ευφυή σχεδιασμό είναι ουσιαστικά· επηρεάζουν τα θέματα σε ένα διανοητικό επίπεδο, όχι μόνο στο συναισθηματικό. Υπάρχουν διάφορα φιλοσοφικά θέματα. Ας τα εξετάσουμε.

Ο ΚΑΝΟΝΑΣ

Ο Robert Dickerson είναι ένας εξέχων βιοχημικός, ένα εκλεγμένο μέλος της επίλεκτης Εθνικής Ακαδημίας των Επιστημών και έχει ως ειδικότητα του τις κρυσταλλογραφικές μελέτες με ακτίνες Χ των πρωτεϊνών και του DNA. Αυτός και οι συνεργάτες του στο εργαστήριο του, έκαναν αξιοσημείωτες συνεισφορές στην κατανόηση μας για τη δομή των μορίων της ζωής. Δεν είναι ο πιο διάσημος επιστήμονας των ΗΠΑ, και οι συνεισφορές του δεν ήταν οι περισσότερες αστραφτερές, όμως ο Dickerson με πολλούς τρόπους ήταν το παράδειγμα ενός αφιερωμένου επιστήμονα. Είναι τέτοιου είδους άνθρωπος, και έχει τέτοιου είδους επαγγελματικής κατάστασης, που χιλιάδες μεταπτυχιακοί φοιτητές έχουν στο νου τους καθώς εργάζονται σκληρά νύχτα και ημέρα στα εργαστήρια, και ονειρεύονται την ημέρα που και αυτοί θα γίνουν αξιοσέβαστα μέλη της επιστημονικής κοινότητας.

Ο Dickerson δημοσίευσε γνώμες που πολύ όμορφα παρουσιάζουν τον τρόπο που πολλοί επιστήμονες βλέπον τον κόσμο της θρησκείας. Λίγα χρόνια πριν ο Dickerson δημοσίευσε

ένα σύντομο άρθρο που παρουσίαζε περιληπτικά τις απόψεις του για την επιστήμη έναντι της θρησκείας, και το άρθρο του δημοσιεύτηκε τόσο στο *Journal of Molecular Evolution* (ένα κοσμικό επιστημονικό περιοδικό) και στο *Perspectives on Science and Christian Faith* (ένα περιοδικό που δημοσιεύεται από την American Scientific Affiliation, που είναι μια οργάνωση επιστημόνων που ταυτόχρονα είναι και Ευαγγελικοί Χριστιανοί). Έτσι είναι ασφαλές να συμπεράνουμε ότι ο Dickerson δεν κατεύθυνε τις παρατηρήσεις του σε ανθρώπους που ήδη συμεριζόντουσαν τις ιδέες του—έκανε μια έντιμη προσπάθεια να παρουσιάσει αυτά που νόμιζε ότι είναι λογικές και πειστικές απόψεις σε ανθρώπους με γνώμες που διαφέρουν πολύ. Επειδή είναι σε συντονισμό με τις απόψεις των περισσότερων επιστημόνων για την επιστήμη, το άρθρο του Dickerson έχει δημιουργήσει ένα εφελκυστικό για να θεωρήσουμε πως η θεωρία του ευφυούς σχεδιασμού ταιριάζει στην επιστήμη.

Η επιστήμη, είναι βασικά ένα παιχνίδι. Είναι ένα παιχνίδι με έναν κανόνα που είναι κυριαρχικός και που δίνει έναν ορισμό.

Κανόνας #1: Ας δουμε πόσο μακριά και σε ποια έκταση μπορούμε να εξηγήσουμε τη συμπεριφορά του φυσικού και υλικού σύμπαντος με όρους που να είναι ξεκάθαρα φυσικές και υλικές αιτές, χωρίς να επικαλούμαστε το υπερφυσικό.

Η λειτουργική επιστήμη δεν παίρνει θέση για την ύπαρξη ή μη ύπαρξη του υπερφυσικού· απαιτεί μόνο δεν θα πρέπει να καλείται αυτός ο παράγοντας σε κάποιες επιστημονικές εξηγήσεις. Το να επικαλούμαστε σε κάποια εξήγηση θαύματα για κάποιο ειδικό σκοπό, συνιστά μια μορφή διανοητικής «εξαπάτησης». Ένας παίκτης σκακιού είναι απόλυτα ικανός στο μέσο ενός προταθλήματος να αφαιρέσει κατά φυσικό τρόπο τον Βασιλιά του αντιπάλου του από τη σκακιέρα και να τον σπάσει. Όμως αυτό δε θα τον καθιστούσε πρωταθλητή του σκακιού, γιατί δεν ακολουθήθηκαν οι κανόνες. Ένας δρομέας μπορεί να έχει τον πειρασμό να πάρει μια συντομία σε έναν ελλειψοειδή στίβο και να περάσει στη γραμμή τερματισμού μπροστά από όλους τους γρηγορότερους συναδέλφους του. Όμως αποφεύγει να το κάνει αυτό, γιατί αυτό δε θα συνιστούσε μια «νίκη» σύμφωνα με τους κανόνες του αθλήματος.

141

Ας ξαναδιατυπώσουμε τον κανόνα του Dickerson ως ακολούθως: Η επιστήμη θα πρέπει να επικαλείται μόνο φυσικά αίτια, και να δίνει εξηγήσεις με αναφορά μόνο σε φυσικούς νόμους.¹⁴² Η αναδιατύπωση κάνει ξεκάθαρο τι υπονοείται από τη φράση «ας δούμε πόσο μακριά».

¹⁴¹ Η εργασία του Dickerson μπορεί να βρεθεί στο *Journal of Molecular Evolution* 34, 277 (1992) και στο *Perspectives on Science & Christian Faith*, 44qt;, 137-138 (1992)

¹⁴² Ο αναδιατυπωμένος κανόνας είναι κατ' ουσίαν ταυτόσημος με αυτόν που έδωσε ένας περιπατητικός φιλόσοφος της επιστήμης με το όνομα Michael Ruse σε κατάθεση ως μάρτυρας κατά τη δίκη του 1981 όπου έδωσε τα χαρακτηριστικά που ορίζουν τι είναι επιστήμη. Η δίκη αφορούσε τη συνταγματικότητα της πράξης του Αρκάνσας για «εξισορροπημένη αντιμετώπιση για την Επιστήμη της Δημιουργίας και της Εξελικτικής Επιστήμης». Η γνώμη του δικαστή William Overton που απέρριψε το νόμο κατά πολύ βασίστηκε στην κατάθεση του Ruse. Πολλά σχετικά έγγραφα της δίκης έχουν συλλεχθεί στο έργο των Ruse M., ed. (1989) *But Is it Science?* Prometheus Books, Buffalo, NY.

Ο δικαστής Overton απηχώντας τον Ruse, έγραψε για την επιστήμη ότι: «(1) καθοδηγείται από φυσικούς νόμους· (2) θα πρέπει να δίνει εξηγήσεις με αναφορά στο φυσικό νόμο· (3) θα πρέπει να είναι δυνατόν να ελεγχθεί σε σχέση με τον εμπειρικό κόσμο· (4) Τα συμπεράσματα της είναι δοκιμαστικά, δηλ. δεν είναι κατ' ανάγκη η τελευταία λέξη· και (5) Μπορεί να διαψευσθεί (Μαρτυρία του Ruse και άλλων επιστημόνων που κλήθηκαν

Στην πραγματεία του ο Dickerson δε μας λέει ότι η επιστημονική ένδειξη έχει δείξει ότι το υπερφυσικό ποτέ δεν επέδρασε στη φύση (για όσους ανησυχούν για τη λέξη *υπερφυσικό* ως την αντικαταστήσουν με «ανώτερη ευφυΐα»). Μάλλον, συζητά ότι κατ' αρχήν, η επιστήμη δεν θα πρέπει να το επικαλείται. Αυτό που ξεκάθαρε υπονοείται είναι ότι δε θα πρέπει να το επικαλούνται είτε είναι *αληθινά* είτε *όχι*. Είναι σχετικό για την αιολόγηση του επιχειρήματος του ότι ο Dickerson είναι μέλος της American Scientific Affiliation, κατά συνέπεια πιστεύει στο Θεό. Δεν έχει έναν εκ των προτέρων λόγο να σκεφτόμαστε ότι τίποτε δεν υπάρχει πέραν από τη φύση, όμως πιστεύει ότι δεν είναι καλή επιστήμη να χρησιμοποιούμε το υπερφυσικό ως μια εξήγηση για ένα φυσικό συμβάν.

(Παρεπιμπτόντως, οι επιστήμονες που πιστεύουν στο Θεό, ή σε κάποια πραγματικότητα πέραν από τη φύση, είναι κάτι πολύ πιο συνηθισμένο από ότι μας κάνουν να πιστεύουμε οι δημοφιλείς ιστορίες των μέσων ενημέρωσης—δεν υπάρχει λόγος να θεωρούμε ότι ο αριθμός 90 τοις εκατό από το γενικό πληθυσμό που πιστεύει στο Θεό, είναι πολυ διαφορετικός για τους επιστήμονες. Ο Ken Miller, του οποίου ανέλυσα το επιχειρήμα στο προηγούμενο κεφάλαιο από ατέλειες, είναι σαν κι εμένα Καθολικός, και δημοσίως λέγει ότι η πίστη στην εξέλιξη είναι συμβατή με τις θρησκευτικές του απόψεις. Συμφωνώ μαζί του στο ότι είναι συμβατές.¹⁴³ Η συμβατότητα ή μη συμβατότητα, όμως είναι άσχετη με την επιστημονική ερώτηση του αν είναι αληθινή η Δαρβινική εξέλιξη των βιοχημικών συστημάτων.)

Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι το επιχειρήμα του Dickerson δεν είναι επιστημονικό—δεν ανακαλύφθηκε από ένα πείραμα σε εργαστήριο· δεν ήταν το αποτέλεσμα της ανάμειξης χημικών ουσιών μέσα σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα· δεν είναι μια ελέγξιμη υπόθεση. Μάλλον είναι ένα φιλοσοφικό επιχειρήμα. Μπορεί να είναι καλή ή κακή φιλοσοφία. Ας το εξετάσουμε πιο προσετικά.

Οι πιο πολλοί άνθρωποι εκπλήσσονται όταν μαθαίνουν ότι «Η επιστήμη, είναι βασικά ένα παιχνίδι.» Σίγουρα οι φορολογούμενοι που χρηματοδοτούν την επιστήμη με αρκετά δισεκατομμύρια δολάρια το χρόνο θα εκπλαγούν. Πιθανόν θα νομίζουν ότι τα χρήματα τους ξοδεύονται για να βρεθούν θεραπείες για τον καρκίνο, για το AIDS, για τις καρδιοπάθειες.

για μάρτυρες).» (στο Ruse, 1988, σελ 384). Ο Larry Laudan σημείωσε τα προβλήματα «Μερικές επιστημονικές θεωρίες έχουν ελεγχθεί πολύ καλά· μερικές δεν έχουν. Μερικοί κλάδοι της επιστήμης δείχνουν στο παρόν πολύ υψηλούς βαθμούς ανάπτυξης· άλλοι όχι. Μερικές επιστημονικές θεωρίες έχουν κάνει ένα πλήθος από πετυχημένες προβλέψεις για εκπληκτικά φαινόμενα, μερικές έκαναν λίγες τέτοιες προβλέψεις. Μερικές επιστημονικές υποθέσεις είναι αυθαίρετες· άλλες δεν είναι. Μερικοί έχουν πετυχει μια 'συμφωνία επαγωγών' άλλες όχι. (στο Ruse, 1988, p. 348) Ο Laudan ανέφερε πολλές εξαιρέσεις ως προς τη γνώμη του Overton. «Αυτή η απαίτηση (για εξηγήσεις από φυσικό νόμο) είναι ένα εξ ολοκλήρου ακατάλληλο κριτήριο για να διαβεβαιώσουμε ότι κάποιος ισχυρισμός είναι επιστημονικός. Για πολλούς αιώνες οι επιστήμονες είχαν αναγνωρίσει μια διαφορά μεταξύ του να βεβαιωθούν για την ύπαρξη ενός φαινομένου και της εξήγησης αυτού του φαινομένου με έναν τρόπο που μοιάζει με νόμο... Οι Γαλιλαίος και Νεύτωνας είχαν βεβαιωθεί για την ύπαρξη των βαρυτικών φαινομένων, πολύ καιρό πριν κάποιος να μπορέσει να δώσει μια αιτιακή ή εξηγητική εξήγηση για τη βαρύτητα. Ο Δαρβίνος εδραίωσε την ύπαρξη της φυσικής επιλογής σχεδόν μισό αιώνα πριν οι γενετιστές να διατυπώσουν τους νόμους της κληρονομικότητας από τους οποίους εξαρτώταν η φυσική επιλογή» (Ruse 1988, σελ. 354) Ο Laudan δεν είδε καμία αιτία για χαρά: «η νίκη στην περίπτωση του Αρκάνσας ήταν κούφια, γιατί επετέυχθη μόνο με το να έχουμε μια συνέχιση και κανονικοποίηση ενός ψευδούς στερεοτύπου του τι είναι επιστήμη και πως αυτή δουλεύει (στο Ruse, 1988, sel. 355)

¹⁴³ Βέβαια, το αν η «εξέλιξη» και η «θρησκεία» είναι συμβατές, εξαρτάται από τον ορισμό σου και για τις δύο. Αν ένας έχει την άποψη ότι η εξέλιξη συνέβη μόνο με βάση έναν φυσικό νόμο που δεν έχει διακοπεί ποτέ, αλλά λέγει ταυτόχρονα ότι αυτή η διαδικασία σε μια μεταφυσική έννοια είναι «χωρίς σκοπό» και «απρόβλεπτη» τότε βρίσκεται σε μια πορεία σύγκρουσης με πολλές θρησκευτικές ομάδες. Ο Phillip Johnson έκανε μια θαυμάσια δουλειά δείχνοντας τους πολλούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να χρησιμοποιηθεί η λέξη *εξέλιξη*, και πως αλλάζοντας τους ορισμούς ένας μπορεί να περδέψει τη δημόσια συζήτηση του θέματος, Johnson, P.E. (1991) *Darwin on Trial*, Regnery Gateway, Washington, DC.

Οι πολίτες που ανησυχούν για αρρώστειες που έχουν ή που θα αποκτήσουν στα γεράματα τους, θέλουν να μπορέσει η επιστήμη να θεραπεύσει τις αρρώστειες τους, όχι να παίζει ένα παιχνίδι που δεν έχει σχέση με την πραγματικότητα. Αμφιβάλλω αν σκεφτόντουσαν μ' αυτόν τον τρόπο για την επιστήμη ο Δαρβίνος, ο Νεύτωνας ή ο Αϊνστάιν. Οι γίγαντες της επιστήμης είχαν ως κίνητρα μιαδίψα για να γνωρίσουν τον πραγματικό κόσμο, και μερικοί (όπως ο Γαλιλαίος) πλήρωσαν ακριβά για τη γνώση τους. Στους φοιτητές δεν παρουσιάζεται από τα εκπαιδευτικά βιβλία η επιστήμη σαν ένα παιχνίδι αλλά σαν μια έντιμη αναζήτηση της αλήθειας. Οι πιο πολλοί άνθρωποι, από τους συνήθεις φορολογούμενους μέχρι τους εξέχοντες επιστήμονες δε θα έβλεπαν την επιστήμη ως ένα παιχνίδι, αλλά ως *μια έντονη προσπάθεια να διατυπωθούν αληθείς προτάσεις για τον φυσικό κόσμο*.

Η διαβεβαίωση ότι η επιστήμη είναι ένα παιχνίδι δεν μπορεί να σταθεί έστω και σε μια πρόχειρη εξέταση. Κανείς αν τον ρωτούσαν δε θα διατηρούσε για αρκετό καιρό σοβαρά την άποψη. Ο ίδιος ο Richard Dickerson θα έπαιρνε γρήγορα πίσω αυτό που είπε αν θα χρειαζόταν να την υπερασπιστεί μπροστά σε ένα σκεπτικιστικό ακροατήριο. Φαίνεται καθαρά ότι ο Dickerson είχε κάτι άλλο στο νου του. Ίσως να εννοεί ότι η επιστήμη, όπως και τα παιχνίδια, είναι μια δραστηριότητα που έχει δεσμευτικούς κανόνες. Κι άλλες σοβαρές δραστηριότητες, όπως οι δίκες εγκληματιών, οι προεκλογικές εκστρατείες είναι δραστηριότητες που δεσμεύονται από κανόνες. Ισχύει κι αυτό για την επιστήμη; Αν ναι, ποιοι είναι αυτοί οι κανόνες;

Παρόλα αυτά, ας ρωτήσουμε: βοηθά σε κάτι ο κανόνας του Dickerson; Μας λέει ο κανόνας αυτός ποια υποκείμενα είναι πέρα από τις δυνατότητες της επιστήμης; Άραγε μας δίνει οδηγητικές γραμμές για να διακρίνουμε την επιστήμη από την ψευδο-επιστήμη; Μας δίνει τον ορισμό του τι είναι επιστήμη; Η απάντηση σε όλες αυτές τις ερωτήσεις είναι, όχι. Πριν μερικά χρόνια δημοσιεύτηκε σε ένα περίβλεπτο επιστημονικό περιοδικό το άρθρο ενός Νομπελίστα· το άρθρο ανέλυε με όρους εξελικτικών αναπαραγωγικών στρατηγικών, τη λογικότητα των ανθρώπων που παραιτούνται από του να αποκτήσουν παιδιά για να βοηθήσουν άλλους (όπως για παράδειγμα την Μητέρα Τερέζα).¹⁴⁴ Μια τέτοια «επιστήμη» δεν παραβιάζει τον κανόνα του Dickerson, τον «έναν κανόνα που είναι κυριαρχικός και που δίνει έναν ορισμό» και θα ανεχόταν χωρίς δυσφορία την επιστήμη της φρενολογίας (προσπάθεια για να διακρίνουμε την ευφυΐα και χαρακτήρα των ανθρώπων από το σχήμα των κρανίων τους) του δέκατου ένατου αιώνα που έχασε την αξιοπιστία της. Ο κανόνας του δε μας δίνει καμία καθοδήγηση για τη νομιμότητα του Μαρξισμού και του Φροϋδισμού, των «επιστημών» της ιστορίας και του νου, αντίστοιχα. Ο κανόνας αυτός δε μας βοηθά να αποφασίσουμε εκ των προτέρων αν έχει αποτέλεσμα του να τοποθετήσουμε βδέλες στους αρρώστους ή τους αφήσουμε να αιμορραγήσουν για να κατεβεί ο πυρετός τους. Έτσι φαίνεται ότι πολλά πράγματα θα μπορούν να ισχυρίζονται ότι τους ανήκει ο τίτλος της «επιστήμης» σύμφωνα με τον κανόνα του Dickerson, αρκεί να επικαλούνται μόνο υλικές δυνάμεις, άσχετα με το πόσο ακαθόριστες και απροσδιόριστες είναι αυτές.

Πράγματι, ο κανόνας του Dickerson μοιάζει περισσότερο με έναν επαγγελματικό ρητό — όπως «ο πελάτης έχει πάντα δίκιο». Είναι κάτι με το οποίο έχουν ζήσει οι παλιοί επαγγελματίες και είναι κάτι για τους οποίους είχε αποτελέσματα, και περικλείει σε συντομία κάποια από τη σοφία που επιθυμούν να περάσουν στη νέα γενιά των επαγγελματιών. Πίσω από τον κανόνα του Dickerson υπάρχουν οι απροσδιόριστες εικόνες των Βίκινγκς που αποδίδουν τη βροντή και την αστραπή στις ενέργειες των θεών, και των μάγων γιατρών που προσπαθούν να διώξουν τα κακά πνεύματα από τους αρρώστους. Πιο κοντά στην ίδια τη

¹⁴⁴ Simon, H. (1990) "A Mechanism for Social Selection and Successful Altruism," *Science*, 250, 1665-1668

σύγχρονη επιστήμη είναι ο ίδιος ο Ισαάκ Νεύτων που πρότεινε ότι ο Θεός σε ορισμένες περιστάσεις παρεμβαίνει για να σταθεροποιήσει το ηλιακό σύστημα. Η αγωνία που υπάρχει είναι ότι αν επιτραπεί το υπερφυσικό ως μία εξήγηση, τότε δε θα υπήρχε τίποτε για να το σταματήσει—θα γίνεται μια συχνή επίκληση του για να εξηγηθούν πολλά πράγματα που στην πραγματικότητα εξηγούνται φυσικά. Είναι όμως αυτός ο φόβος κάτι το λογικό; Δεν μπορεί κανείς να προβλέψει τη συμπεριφορά των ανθρώπινων όντων, όμως φαίνεται ότι έχει παραφουσκωθεί ο κίνδυνος ότι το υπερφυσικό θα ξεπηδά παντού στην επιστήμη. Αν μια μεταπτυχιακή μου φοιτήτρια ερχόταν στο γραφείο μου και μου έλεγε ότι ο άγγελος του θανάτου σκότωσε την καλλιέργεια των βακτηρίων της, δε θα είχα την τάση να την πιστέψω. Είναι απίθανο το περιοδικό *Journal of Biological Chemistry* να ξεκινήσει ένα νέο τμήμα που θα ασχολείται με την πνευματική ρύθμιση της ενζυμικής δραστηριότητας. Η επιστήμη έχει μάθει τα τελευταία πεντακόσια χρόνια, ότι το σύμπαν λειτουργεί με μια μεγάλη κανονικότητα στη συντριπτική πλειοψηφία του χρόνου, και ότι διάφοροι απλοί νόμοι και προβλέψιμες συμπεριφορές εξηγούν τα πιο πολλά φυσικά φαινόμενα. Οι ιστορικοί της επιστήμης έχουν δώσει έμφαση στο ότι η επιστήμη γεννήθηκε μέσα σε μια θρησκευτική κουλτούρα—Ευρώπη στο Μεσαίωνα—που η θρησκευτική της παράδοση περιλάμβανε έναν λογικό Θεό που έκανε ένα λογικό, κατανοητό και δεσμευμένο από νόμους σύμπαν.¹⁴⁵ Και η επιστήμη και η θρησκεία περιμένουν ότι ο κόσμος θα περιστρέφεται σύμφωνα με το σταθερό νόμο της βαρύτητας.

Όμως υπάρχουν εξαιρέσεις. Καμιά φορά κάποια μοναδικά ιστορικά γεγονότα πρέπει να συμπεριληφθούν για να εξηγηθεί κάποιο αποτέλεσμα. Το αρχείο των απολιθωμάτων δείχνει ότι πριν περίπου 60 εκατομμύρια χρόνια, όλοι οι δεινόσαυροι πέθαναν μέσα σε μια σύντομη γεωλογική περίοδο. Μια θεωρία που προσφέρθηκε για να εξηγήσει αυτό το φαινόμενο ήταν ότι ένας μεγάλος μετεωρίτης έπεσε πάνω στη γη, στέλνοντας μεγάλα σύννεφα σκόνης ψηλά στην ατμόσφαιρα κι αυτό έκανε πολλά φυτά να πεθάνουν κι έτσι διетάραξε την τροφική αλυσίδα. Κάποια έμμεση ένδειξη στηρίζει αυτή την υπόθεση—τα επίπεδα του στοιχείου ιριδίου που σπάνια βρίσκεται στη γη, αλλά είναι που είναι αρκετά συχνό στους μετεωρίτες, βρέθηκε ότι ήταν ανεβασμένα σ' αυτήν την περίοδο. Η υπόθεση έγινε δεκτή από πολλούς επιστήμονες. Παρόλα αυτά δεν υπήρξε μια προσπάθεια για να τεθούν οι μετεωρίτες ως εξήγηση όλων των πραγμάτων. Κανένας δεν είπε ότι κάποιος μετεωρίτης προκάλεσε το Γκραν Κάνιον, ή την εξαφάνιση των αλόγων από τη Βόρειο Αμερική. Κανένας δεν είπε ότι η σκόνη από μικρούς, αόρατους μετεωρίτες προκαλεί άσθμα, ή ότι οι μετεωρίτες προκαλούν ανεμοστρόβιλους. Η υπόθεση για την εμπλοκή ενός μετεωρίτη στην εξόντωση των δεινοσαύρων, αξιολογήθηκε με βάση τη φυσική ένδειξη για το ιδιαίτερο αυτό ιστορικό συμβάν. Είναι πολύ λογικό να περιμένουμε ότι θα αξιολογηθούν ενδείξεις για κάθε μια περίπτωση που θα γίνει επίκληση των μετεωριτών για να εξηγηθούν άλλα ιστορικά συμβάντα.

Παρόμοια, υποθέσεις για την εμπλοκή κάποιου ευφυούς παράγοντα για την ανάπτυξη της ζωής ή κάποιων άλλων ιστορικών συμβάντων, θα πρέπει να αξιολογηθούν κάθε μια περίπτωση χωριστά. Όπως σημειώθηκε στο 9^ο Κεφάλαιο, η ένδειξη είναι συντριπτική για ορισμένες περιπτώσεις βιοχημικών συστημάτων, όμως δεν είναι ανιχνεύσιμη για άλλες. Αν κάποιος ή κάποια επιστήμονας θέσει αξιωματικά την εμπλοκή μιας ευφυΐας για κάποιο άλλο συμβάν, τότε το βάρος πέφτει πάνω του ή πάνω της για να στηρίξει αυτό που λέγει με κάποια παρατηρήσιμη ένδειξη. Η επιστημονική κονότητα δεν είναι τόσο ευθραυστή που να φθάσει να μετατραπεί ο υγιής της σκεπτικισμός σε ευπιστία.

¹⁴⁵ Η επίδραση που είχαν οι διάφορες θρησκευτικές κουλτούρες στην ανάπτυξη της επιστήμης περιγράφεται στο έργο του Jaki, S. (1986) *Science and Creation*, Scottish Academic Press, Edinburgh.

Μπορεί να υπάρχει μια άλλη ανησυχία πίσω από την πραγματεία του Dickerson , που αφορά την «επιστημονική μέθοδο». Υπόθεση, προσεχτικός έλεγχος, επαναληψιμότητα—όλα αυτά έχουν εξυπηρετήσει καλά την επιστήμη. Όμως πως μπορεί να ελεγχθεί ένας ευφυής σχεδιαστής; Μπορούμε να βάλουμε τον ευφυή σχεδιαστή στο δοκιμαστικό σωλήνα; Όχι, βέβαια όχι. Όμως ούτε και τους κοινούς προγόνους που έχουν εκλείψει μπορούμε να τους βάλουμε σε δοκιμαστικούς σωλήνες. Το πρόβλημα είναι ότι όποτε η επιστήμη προσπαθεί να εξηγήσει ένα μοναδικό ιστορικό γεγονός, τόσο ο προσεχτικός έλεγχος όσο και η επαναληψιμότητα είναι εξ ορισμού αδύνατα. Η επιστήμη μπορεί να μελετήσει την κίνηση των σύγχρονων κομητών, να ελέγξει τους νόμους της κίνησης του Νεύτωνα που περιγράφουν πως κινούνται οι σύγχρονοι κομήτες. Όμως η επιστήμη δεν μπορεί να μελετήσει τον κομήτη που πιθανόν να χτύπησε τη γη πριν από πολλά εκατομμύρια χρόνια. Όμως η επιστήμη μπορεί να παρατηρήσει τα αποτελέσματα του κομήτη που εξακολουθούν να παραμένουν στη σύγχρονη γη. Όμοια η επιστήμη μπορεί να δει τα αποτελέσματα που έχει ένας σχεδιαστής στη ζωή.

Η τελική παρατήρηση που επιθυμώ να κάνω πάνω στη πραγματεία του Dickerson , είναι ότι παρά του ότι σίγουρα δεν ήταν ο σκοπός του, είναι μια συνταγή για δειλία. Προσπαθεί να περιορίσει την επιστήμη στο να κάνει τα ίδια, μη επιτρέποντας κάποιες θεμελιωδώς διαφορετικές εξηγήσεις. Προσπαθεί να θέσει την πραγματικότητα σε ένα καθαρό κουτί, όμως το σύμπαν δεν μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα κουτί. Η προέλευση της ζωής και η ανάπτυξη της ζωής είναι τα φυσικά υποστηρίγματα που έχουν ως αποτέλεσμα ένα κόσμο γεμάτο με ενσυνείδητους παράγοντες. Δεν υπάρχει εκ των προτέρων μαιαιτία για κάποια πολύ βασικά γεγονότα που θα πρέπει εξηγηθούν με τον ίδιο τρόπο με άλλα φυσικά συμβάντα. Η επιστήμη δεν είναι παιχνίδι και οι επιστήμονες ακολουθούν τη φυσική ένδειξη όπου οδηγεί, χωρίς όμως τεχνητούς περιορισμούς.

ΚΥΝΗΓΟΙ ΦΑΝΤΑΣΜΑΤΩΝ

Η τέτατη και πιο ισχυρή αιτία για το δισταγμό της επιστήμης να δεχτεί μια θεωρία για ευφυή σχεδιασμό βασίζεται κι αυτή σε φιλοσοφικές θεωρήσεις. Πολλοί άνθρωποι, και σ' αυτούς περιλαμβάνονται πολλοί σημαντικοί αλλά και πολύ σεβαστοί επιστήμονες, απλώς δεν θέλουν να υπάρχει κάτι πέραν από τη φύση. Δε θέλουν κάποιο υπερφυσικό ον να αλληλεπιδρά με τη φύση άσχετα με το πόσο σύντομη και εποικοδομητική ήταν αυτή. Με άλλα λόγια, όπως τους δημιουργιστές της μικρής ηλικίας γης, φέρνουν μια εκ των προτέρων φιλοσοφική αφοσίωση στην επιστήμη τους, που τους περιορίζει ποια είδη εξηγήσεων θα δεχτούν για το φυσικό κόσμο. Καμιά φορά αυτό οδηγεί σε μια παράξενη συμπεριφορά.

Πριν περίπου εβδομήντα χρόνια, οι πιο πολλοί επιστήμονες σκεφτόντουσαν ότι το σύμπαν έχει άπειρη ηλικία και μέγεθος. Αυτήν την άποψη είχαν μερικοί αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι, καθώς και διάφορες θρησκευτικές ομάδες, και από αυτούς που θεωρούσαν ότι δεν υπάρχει τίποτε πέραν από τη φύση. Σε αντίθεση ο Ιουδαϊσμός και αργότερα ο Χριστιανισμός σκεφτόντουσαν ότι το σύμπαν έχει δημιουργηθεί στο χρόνο και δεν ήταν αιώνιος. Μη έχοντας παρά πολύ λίγους επιστήμονες οι αρχαίοι Ιουδαίοι δεν προσπάθησαν να προσθέσουν ενδείξεις για το ότι το σύμπαν είναι περατόν, και στο Μεσαίωνα ο Θωμάς Ακινάτης, ο διαπρεπής θεολόγος, είπε ότι αυτό θα μπορούσε να γίνει γνωστό μόνο από την πίστη ότι το σύμπαν είχε μια αρχή. Όμως ο χρόνος προχωρά. Στις αρχές του εικοστού αιώνα, ο Αϊνστάιν ανακάλυψε τη γενική θεωρία σχετικότητας που πρόβλεψε ένα ασταθές σύμπαν—ένα που είτε θα διαστέλλεται είτε θα συστέλλεται , αλλά δεν παραμένει σταθερό Για τον Αϊνστάιν φάνηκε απεχθές ένα τέτοιο σύμπαν, και, αργότερα δήλωσε ότι ήταν το μεγαλύτερο σφάλ-

μα της ζωής του όταν έβαλε ένα «παράγοντα διόρθωσης» μέσα στις εξισώσεις του απλώς για να τις κάνει να προβλέπουν ένα σταθερό κι αιώνιο σύμπαν.

Όπως λένε πάντοτε οι γονείς και οι δάσκαλοι, οι απατεώνες δεν προκόβουν. Λίγο χρόνο αργότερα, ο αστρονόμος Edwin Hubble, παρατήρησε ότι όπου κι αν έστρεφε το τηλεσκόπιο στον ουρανό, τα άστρα φαινοντούσαν ότι απομακρύνονται από τη γη. (Στην πραγματικότητα δεν μπορούσε να δει τα άστρα να κινούνται. Έβγαλε τα υπεράσματα για την κίνηση τους από ένα φαινόμενο που ονομάζεται «μετατόπιση Ντόπλερ», σύμφωνα με το οποίο στα άστρα που απομακρύνονται από τον παρατηρητή, παρατηρούμε μεγαλύτερο μήκος κύματος — όσο ταχύτερα κινούνται, τόσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος.) Επιπλέον η ταχύτητα με την οποία απομακρύνονται τα άστρα ήταν ανάλογη με την απόσταση τους από τη γη. Αυτή ήταν η πρώτη παρατηρησιακή ένδειξη ότι οι ανελέητες εξισώσεις του Αϊνστάιν, ήταν σωστές όσον αφορά την πρόβλεψη τους για τη διαστολή του σύμπαντος. Και δε χρειάζεται να είσαι επιστήμονας για πυραύλους (αν και υπάρχουν μπόλικοι απ' αυτούς) για να αντιστρέψεις διανοητικά τη διαστολή του σύμπαντος και να συμπεράνεις ότι υπήρξε κάποια στιγμή στο παρελθόν που όλη η ύλη του σύμπαντος ήταν συγκεντρωμένη σε έναν πολύ μικρό χώρο. Αυτή ήταν η αρχή της υπόθεσης του Μπιγκ Μπανγκ.

Για πολλούς η ιδέα του Μπιγκ Μπανγκ ήταν φορτισμένη με τόνους ενός υπερφυσικού γεγονότος—της δημιουργίας, της αρχής του σύμπαντος. Ο διακεκριμένος φυσικός Α. Σ. Έντιγκτον πιθανόν να μίλησε για πολλούς εκφράζοντας την ολική του απέχθεια για μια τέτοια ιδέα:

Φιλοσοφικά, η έννοια της απότομης αρχής της παρούσας τάξης της Φύσης ήταν απεχθής για μένα, όπως νομίζω και για τους περισσότερους· και ακόμη και γι' αυτούς που θα καλοδεχόντουσαν μια απόδειξη της παρέμβασης ενός Δημιουργού θα θεωρούσαν κατά πάσαν πιθανότητα ότι ένα αρχικό κούρδισμα σε κάποια μακρινή εποχή δεν είναι το είδος της σχέσης μεταξύ του Θεού και του κόσμου και φέρνει ικανοποίηση στο μυαλό.¹⁴⁶

Παρ' όλα αυτά, παρά τις θρησκευτικές υπονοήσεις, το Μπιγκ Μπανγκ ήταν μια επιστημονική θεωρία που έρεε φυσικά από τα δεδομένα των παρατηρήσεων, όχι από ιερές γραφές ή από υπερβατικά οράματα. Οι πιο πολλοί φυσικοί υιοθέτησαν τη θεωρία Μπιγκ Μπανγκ και διευθέτησαν ανάλογα τα ερευνητικά τους προγράμματα. Λίγοι, όπως και ο Αϊνστάιν πριν απ' αυτούς, δεν τους άρεσαν αυτά που υπονοούσε η θεωρία και εργάστηκαν για να αναπτύξουν εναλλακτικές.

Στο μέσο του εικοστού αιώνα, ο αστρονόμος Fred Hoyle έγινε υπέρμαχος μιας άλλης θεωρίας για το σύμπαν, που ονομάστηκε η θεωρία της σταθερής κατάστασης. Ο Hoyle πρότεινε ότι το σύμπαν ήταν άπειρο και αιώνιο, όμως κι αυτός παραδέχτηκε ότι το σύμπαν διαστέλλεται. Αν όμως το σύμπαν διαστέλλεται για μια άπειρη χρονική περίοδο η πυκνότητα του θα ήταν απείρως μικρή, ακόμη και αν ξεκίνησε με ένα άπειρο ποσό ύλης. Ο Hoyle έπρεπε να εξηγήσει γιατί το σύμπαν σήμερα έχει αρκετά μεγάλη πυκνότητα. Ο εξέχων επιστήμονας πρότεινε ότι αν η ύλη συνεχώς έρχεται στην ύπαρξη στο εξωτερικό σύμπαν με ένα ρυθμό ενός ατόμου υδρογόνου για κάθε κυβικό μίλι του χώρου ανά έτος. Τώρα, θα πρέπει να δοθεί έμφαση ότι ο Hoyle πρότεινε τη δημιουργία υδρογόνου *από το μηδέν και χωρίς κάποια αιτία*. Η ύλη απλώς ξεπηδούσε στην ύπαρξη στον απαιτούμενο ρυθμό. Αφού δεν υπήρχε κάποια παρατηρησιακή ένδειξη για να υποστηρίξει αυτήν την ιδέα, γιατί την

¹⁴⁶ Η αντίδραση της επιστήμης για την υπόθεση του Μπιγκ Μπανγκ, συμπεριλαμβανομένης του Έντιγκτον και άλλων εξέχοντων φυσικών, περιγράφεται στο βιβλίο του Jaki, S. (1980) *Cosmos and Creator*, Regnery Gateway, Chikago.

πρότεινε ο Hoyle; Όπως αποδεικνύεται, ο Hoyle, όπως και ο Έντιγκτον, σκέφτηκαν ότι το Μπιγκ Μπανγκ, υπονοούσε κατά έναν πολύ ισχυρό τρόπο το υπερφυσικό και βρήκαν αυτήν την προοπτική μη ικανοποιητική.

Ήταν πάντα δύσκολο για τη θεωρία του Hoyle για τη σταθερή κατάσταση, να εξηγήσει πολλές από τις παρατηρησιακές ενδείξεις της αστρονομίας. Στη δεκαετία του 1960, οι αστρονόμοι Penzias και Wilson, τελικά βγάλανε τη θεωρία από τη δυστυχία της με την παρατήρηση τους για την ακτινοβολία του υπόβαθρου που προβλεπόταν ως ένα έμμεσο αποτέλεσμα του Μπιγκ Μπανγκ. Η παρατήρηση της ακτινοβολίας υποβάθρου, ήταν και εξακολουθεί να είναι η δόξα που στεφάνωσε τη θεωρία του Μπιγκ Μπανγκ.

Είναι αδύνατο να αρνηθούμε ότι το Μπιγκ Μπανγκ ήταν ένα τρομερά καρποφόρο φυσικό μοντέλο για το σύμπαν και, ότι ακόμη και παραμένουν μεγάλα ερωτήματα (όπως συμβαίνει και στη βασική επιστήμη, το ότι δικαιώθηκε το μοντέλο από τα παρατηρησιακά δεδομένα, και ότι επιστήμονες όπως τον Αϊνστάιν, τον Eddington και τον Hoyle έκαναν διάφορες προσπάθειες έστω και γκάφες προσπαθώντας να αντισταθούν σε μια επιστημονική θεωρία που έρεε ελεύθερα από τα δεδομένα, επειδή νόμιζαν ότι θα αναγκάζοντουσαν να δεχτούν δυσάρεστα φιλοσοφικά ή θεολογικά συμπεράσματα. Δεν μπόρεσαν, γιατί δεν είχαν άλλες επιλογές.

ΜΗ ΜΕ ΒΑΖΕΙΣ ΜΕΣΑ ΣΕ ΦΡΑΧΤΗ

Η επιτυχία του μοντέλου του Μπιγκ Μπανγκ, δεν είχε κάποια σχέση με υπονοήσεις θρησκευτικές. Φαινόταν ότι συμφωνεί με το Ιουδαίο-Χριστιανικό δόγμα ότι το σύμπαν έχει κάποια αρχή· φαινόταν ότι διαφωνεί με άλλες θρησκείες που πιστεύουν ότι το σύμπαν είναι αιώνιο. Όμως η θεωρία δικαίωσε τον εαυτό της με αναφορά σε παρατηρησιακά δεδομένα—τη διαστολή του σύμπαντος—και όχι με το να επικαλεστεί ιερά κείμενα ή μυστικές εμπειρίες αγίων ανδρών. Το μοντέλο προήλθε κατ' ευθείαν από τις παρατηρησιακές ενδείξεις· και δεν ταιριάζει στο Προκρούστιο κρεβάτι ενός θρησκευτικού δόγματος.

Όμως θα πρέπει να σημειωθεί, ότι παρόλο που το Μπιγκ Μπανγκ είναι φιλικό σε μια θρησκευτική άποψη, δεν σε σπρώχνει αναγκαστικά στην πίστη. Κανένας άνθρωπος δεν απαιτείται από μια λογική εντύπωση να φτάσει σε υπερφυσικά συμπεράσματα με βάση μόνο τις επιστημονικές παρατηρήσεις και θεωρίες. Αυτό φάνηκε από τις αρχικές προσπάθειες του Αϊνστάιν και του Hoyle να βρουν εναλλακτικά μοντέλα που θα ταίριαζαν στα παρατηρησιακά δεδομένα και θα απέφευγαν τη δυσάρεστη σκέψη της ύπαρξης μιας αρχής στο σύμπαν. Όταν τελικά έχασε την αξιοπιστία της η θεωρία της σταθερής κατάστασης, ξεπήδησαν άλλες θεωρίες που θα καταργούσαν τη φιλοσοφική δέσμευση για μια απόλυτη αρχή. Η πιο δημοφιλής επιλογή ήταν η ιδέα του κυκλικού σύμπαντος, στο οποίο η διαστολή που άρχισε με το Μπιγκ Μπανγκ τελικά θα επιβραδυνθεί και μετά κάτω από την επίδραση των βαρυτικών δυνάμεων το σύμπαν θα καταρρεύσει σε μια «μεγάλη κατάρρευση». Μετά από αυτό, όπως μας λέει αυτή η ιστορία, ίσως να ξανασυμβεί ένα άλλο Μπιγκ Μπανγκ, και να υπάρχουν άπειρες επαναλήψεις αυτού του κύκλου που θα μας ξαναδώσει μια φύση που έχει άπειρο χρόνο. Είναι ενδιαφέρον (αν και επιστημονικά αδιάφορο) ότι η ιδέα του κυκλικού σύμπαντος θα ήταν συμβατή με πολλές άλλες θρησκείες, ανάμεσα σ' αυτές των αρχαίων Αιγυπτίων, των Αζτέκων και των Ινδών.¹⁴⁷

Σήμερα η ιδέα του κυκλικού σύμπαντος φαίνεται ότι έχει χάσει υποστήριξη των φυσικών. Έχει παρατηρηθεί ότι η ύλη δεν επαρκεί για να προκαλέσει μια μελλοντική βαρυτική κα-

¹⁴⁷ Jaki, S.(1986)

τάρρευση— και ακόμη και αν υπήρχε αυτή η ύλη, οι υπολογισμοί δείχνουν ότι οι διαδοχικοί κύκλοι θα έπρεπε να γίνουν μεγαλύτεροι και μεγαλύτεροι, και τελικά να καταλήξουν σε ένα σύμπαν που δε θα μπορεί να συσταλεί. Όμως ακόμη κι αν απορριφθεί αυτή η επιλογή, υπάρχουν διαθέσιμες άλλες ιδέες που θα βγάλουν το κεντρί από το Μπιγκ Μπανγκ. Μια πιο πρόσφατη πρόταση, θα ήθελε το πραγματικό σύμπαν να είναι τρομακτικά μεγαλύτερο από αυτό που παρατηρούμε, και ότι το τμήμα του σύμπαντος που βλέπουμε να είναι μια «φούσκα» μέσα σε εάν άπειρο σύμπαν. Και ο φυσικός Stephen Hawking πρότεινε ότι αν και το σύμπαν είναι πεπερασμένο, δεν έχει αρχή αν υπάρχει κάτι που στις μαθηματικές του εξισώσεις το ονομάζει «φανταστικό χρόνο». Μια άλλη ιδέα είναι ότι υπάρχουν άπειρα σύμπαντα, και ότι το σύμπαν που βρισκόμαστε συμβαίνει να βρίσκεται σε κάποιες πολύ περιορισμένες συνθήκες που απαιτούνται για τη δυνατότητα της ζωής. Αυτή η ιδέα έχει γίνει δημοφιλής με τον τίτλο «ανθρωπική αρχή.» Κατ' ουσίαν η ανθρωπική αρχή μας λέγει ότι υπάρχουν πολλά (ή απείρως πολλά) σύμπαντα με μια ποικιλία φυσικών νόμων, και ότι μόνο αυτά που έχουν συνθήκες κατάλληλες για ζωή θα μπορέσουν να παράγουν στην πραγματικότητα ζωή, και ίσως και ενσυνείδητους παρατηρητές. Έτσι υπάρχουν ζίλιον στείρα σύμπαντα και εμείς να ζούμε στο ζίλιον συν ένα σύμπαν, γιατί έχει τις φυσικές ιδιότητες που είναι συμβατές με τη ζωή.

Για τους πιο πολλούς ανθρώπους η ανθρωπική αρχή φαίνεται να είναι μια σκέτη ανοησία, γιατί δεν ξέρουν που θα μπορούν να βάλουν τα υπόλοιπα σύμπαντα. Όμως υπάρχουν κι άλλες διαθέσιμες ιδέες για το πρόσωπο που ακόμη δεν θα ήθελε να επικαλεσθεί το υπερφυσικό. Στη κβαντική φυσική, πιστεύεται ότι υπάρχουν μικροσκοπικές οντότητες που ονομάζονται «εικονικά σωματίδια» που μπορούν να ξεπηδήσουν στην ύπαρξη με το να δανειστούν ενέργεια από το περιβάλλον (που κατά τρόπο που μπερδεύει, το ονομάζουν «κενό», παρόλο που οι φυσικοί δεν εννοούν ότι είναι το «τίποτε»). Μερικοί φυσικοί έχουν προωθήσει αυτήν την ιδέα και πρότειναν ότι ολόκληρο το σύμπαν ξεπήδησε στην ύπαρξη, όχι από το περιβάλλον του, αλλά από το απολύτως τίποτε—«μια κβαντική διακύμανση από τη μη ύπαρξη στην ύπαρξη»—και χωρίς καμιά αιτία. Αυτά όλα μας δείχνουν πως μερικοί επιστήμονες έχουν μάθει να παρουσιάζουν μεγάλες ιδέες σε σχέση με αυτό που με πολλή μετριοφροσύνη είχε παρουσιάσει ο Fred Hoyle, για κάποια περιστασιακή δημιουργία ατόμων υδρογόνου.

Δεν έχει εκτελεστεί κανένα πείραμα που υποστηρίζει την ιδέα του σύμπαντος «φούσκα», τον φανταστικό χρόνο, ή τα ζίλιον ανθρωπικά σύμπαντα. Πράγματι φαίνεται ότι δεν υπάρχει κάποιο πείραμα που θα μπορούσε έστω και κατ' αρχήν να τα ανιχνεύσει. Αφού αυτά και τα αποτελέσματα τους δεν μπορούν να παρατηρηθούν, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι είναι μεταφυσικά αξιώματα, που δεν είναι περισσότερο προσिता για πειραματική έρευνα από ένα υπερφυσικό ον. Δεν κάνουν κάτι καλό στην επιστήμη. Η μόνη τους χρήση, είναι μια έξοδος διαφυγής από το υπερφυσικό.

Το σημείο που θέλουμε να τονίσουμε από όλη αυτή τη συζήτηση είναι ότι αν και μπορεί να φαίνεται από μια πρώτη ματιά ότι το Μπιγκ Μπανγκ υποστηρίζει μια ιδιαίτερη θρησκευτική ιδέα, δεν υπάρχει κάποια επιστημονική θεωρία που να εξαναγκάζει να πιστέψει κάποιος μια θετική θρησκευτική πεποίθηση με βάση μόνο μια σκέτη δύναμη της λογικής. Έτσι για να εξηγήσει κάποιος το σύμπαν, μπορεί να θέσει αξιωματικά μη παρατηρήσιμα, όπως τη θεωρία ότι υπάρχουν απείρως πολλά σύμπαντα και τη θεωρία ότι το δικό μας δεν είναι παρά μια φούσκα μέσα σε ένα μεγαλύτερο σύμπαν. Ή ένας μπορεί να έχει μια ελπίδα, ότι οι θεωρίες που σήμερα φαίνονται απίθανες, όπως η θεωρία της σταθερής κατάστασης, ή η θεωρία του παλλόμενου σύμπαντος, μπορεί κάποια μέρα να φαίνονται λογικές όταν ξαναγίνουν οι υπολογισμοί ή εκτελεστούν νέες μετρήσεις. Ή ένας απλώς να εγκαταλείψει την

αρχή της αιτιότητας, όπως φάνηκε σε θεωρίες που προτείνουν ότι το σύμπαν ήλθε στην ύπαρξη χωρίς καμία αιτία. Οι πιο πολλοί άνθρωποι ίσως να θεωρήσουν τις ιδέες ως πολύ ελαφριές· όμως δεν παραβιάζουν τις παρατηρησιακές ενδείξεις.

ΕΞΩΓΗΙΝΟΙ ΚΑΙ ΤΑΞΙΔΙΩΤΕΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Άλλο πράγμα είναι να πούμε ότι το σύμπαν άρχισε με το Μπιγκ Μπανγκ, κι άλλο να πούμε ότι σχεδιάστηκε από μια ευφυΐα. Μόνο η φράση Μπιγκ Μπανγκ, προκαλεί εικόνες μιας έκρηξης και όχι κατ' ανάγκη ενός προσώπου. Η φράση *ευφυής σχεδιασμός* φαίνεται να είναι πιο επείγουσα και μας προκαλεί άμεσα ερωτήματα για το ποιος μπορεί να ήταν ο σχεδιαστής. Μήπως οι άνθρωποι που έχουν αφοσιωθεί φιλοσοφικά σε μια αντί-υπερφυσική στάση θα στριμωχτούν σε μια γωνία από τη θεωρία; Όχι. Η ανθρώπινη φαντασία είναι πολύ ισχυρή.

Ο Sir Francis H. C. Crick μπορεί να θεωρηθεί όπως και να τον δούμε, ως ένας έξυπνος άνθρωπος. Πριν σαράντα χρόνια, ενώ ήταν ακόμη ένας μεταπτυχιακός φοιτητής στο πανεπιστήμιο Cambridge, ο Crick και ο James Watson χρησιμοποίησαν δεδομένα από κρυσταλλογραφία με ακτίνες Χ για να εξάγουν τη δομή διπλού έλικα που έχει το DNA, που ήταν ένα επίτευγμα για το οποίο αργότερα πήραν το βραβείο Νόμπελ. Ο Crick προχώρησε στο να συνεισφέρει στην διασάφηση του γενετικού κώδικα και να θέσει προκλητικές εννοιολογικές ερωτήσεις για τη λειτουργία του εγκεφάλου. Μέσα στα εβδομήντα του, ωθεί προς τα μπρος την επιστήμη με πιο έντονο τρόπο από τους περισσότερους από μας όταν βρισκόμαστε στην κορυφή της δύναμης μας.

Ο Francis Crick νομίζει επίσης ότι η ζωή στη γη μπορεί να έχει αρχίσει όταν εξωγήινοι από κάποιον άλλο πλανήτη, έστειλαν ένα διαστημόπλοιο που περιείχε σπόρους για να σπείρουν τη γη. Αυτή δεν ήταν μια σκέψη κενή περιεχομένου. Ο Crick την πρωτοπρότεινε το 1973 με τον χημικό Leslie Orgel σε ένα άρθρο που είχε τον τίτλο «Κατευθυνόμενη Πανσπερμία (Directed Panspermia)» σε ένα επαγγελματικό επιστημονικό περιοδικό που ονομάζεται *Icarus*. Μια δεκαετία αργότερα ο Crick εξέδωσε ένα βιβλίο με τον τίτλο, *Η ίδια η Ζωή (Life Itself)*, στο οποίο επαναλαμβάνει τη θεωρία· και σε μια συνέντευξη του 1992 προς το *Scientific American* στην παραμονή της εκδόσεως του τελευταίου του βιβλίου. Ο Crick επαναβεβαίωσε ότι θεωρεί ότι η θεωρία του είναι λογική.

Η κύρια αιτία για την οποία ο Crick υποστηρίζει αυτήν την ανορθόδοξη άποψη, είναι γιατί διακρίνει ότι η μη κατευθυνόμενη προέλευση της ζωής είναι ουσιαστικά ένα αξεπέραστο εμπόδιο, όμως επιθυμεί να έχει μια φυσιοκρατική εξήγηση. Για τους σκοπούς μας επί του παρόντος, το ενδιαφέρον μέρος της ιδέας του Crick είναι ο ρόλος των εξωγήινων, τους οποίους εικάζει ότι έστειλαν βακτήρια του διαστήματος στη γη. Με τέτοιες ενδείξεις θα μπορούσε να πει ότι οι εξωγήινοι σχεδίασαν στην πραγματικότητα τα πολύπλοκα βιοχημικά συστήματα της ζωής που έστειλαν εδώ, και ότι επίσης σχεδίασαν τα μη αναγνώσιμα πολύπλοκα συστήματα που αναπτύχθηκαν εδώ. Η μόνη διαφορά θα ήταν να αλλάξει το αξίωμα στο ότι οι εξωγήινοι δημιούργησαν τη ζωή, ενώ αρχικά ο Crick είχε εικάσει ότι απλώς την έστειλαν εδώ. Δεν είναι ένα πολύ μεγάλο νοητικό άλμα να πεις ότι ένας πολιτισμός που είναι ικανός να στείλει διαστημόπλοια σε άλλους πλανήτες, ότι έχει μεγάλη πιθανότητα να έχει σχεδιάσει τη ζωή —ιδιαίτερα αν αυτός πολιτισμός δεν έχει παρατηρηθεί ποτέ. Θα μπορούσε κανείς να σκεφτεί ότι το να σχεδιάσεις τη ζωή δε θα απαιτούσε κάποιο υπερφυσικό, απλώς κάποια πολύ έξυπνα όντα. Αν ένας μεταπτυχιακός φοιτητής σε ένα σημερινό γήινο εργαστήριο μπορεί να σχεδιάσει και να κάνει μια τεχνητή πρωτεΐνη που μπο-

ρεί να δεσμεύει οξυγόνο, σε κάποιο άλλο κόσμο ίσως θα μπορούσε να σχεδιάσει από το μηδέν ένα τεχνητό κύτταρο.

Αυτό το σενάριο μας αφήνει ανοιχτό το ερώτημα: ποιος σχεδίασε τον σχεδιαστή—πως εμφανίστηκε η ζωή αρχικά; Έχει παγιδευτεί σ' αυτό το σημείο ένας φιλοσοφικός φυσιοκράτης; Ξανά, όχι. Το ερώτημα για τον σχεδιασμό του σχεδιαστή μπορεί να αντιμετωπιστεί με διάφορους τρόπους. Μπορεί να αποφευχθεί με το να επικαλεσθούμε μη παρατηρήσιμες οντότητες· ίσως ότι η αρχική ζωή είναι τελείως ανόμοια με μας, που να συνίσταται σε κυμαινόμενα ηλεκτρικά πεδία αέρια· ίσως δεν απαιτεί μη αναγνώσιμα πολύπλοκες δομές για να τη διατηρήσουν. Μια άλλη δυνατότητα είναι το ταξίδι στο χρόνο, που έχει προταθεί στα πρόσφατα χρόνια από επαγγελματίες φυσικούς. Το *Scientific American* πληροφόρησε τους αναγνώστες του στο τεύχος του Μαρτίου 1994 ότι

Μακράν από του να είναι μια λογική ανοησία... η θεωρητική δυνατότητα του να κάνεις ένα ταξίδι σε μια προηγούμενη ζωή κάποιου είναι μια αναπόφευκτη συνέπεια θεμελιωδών φυσικών αρχών.

Ίσως λοιπόν, οι βιοχημικοί του μέλλοντος να στέλνουν τα κύτταρα πίσω στην αρχέγονη γη που θα περιέουν την πληροφορία για τις μη αναγνώσιμα πολύπλοκες δομές που σήμερα παρατηρούμε. Σ' αυτό το σενάριο οι ίδιοι οι άνθρωποι θα είναι ταυτόχρονα και οι 'εξωγήινοι' με το δικό τους προχωρημένο πολιτισμό. Βέβαια το ταξίδι στο χρόνο οδηγεί στα δικά του προφανή παράδοξα (όπως τα εγκόνια να πυροβολούν και να σκοτώνουν τους παππούδες πριν να γεννηθούν τα παιδιά τους), όμως μερικοί φυσικοί είναι έτοιμοι να τα δεχτούν. Οι πιο πολλοί άνθρωποι, όπως κι εγώ, βρίσκουμε ότι αυτά τα σενάρια δεν μας ικανοποιούν καθόλου, αλλά είναι διαθέσιμα γι αυτούς που θέλουν να αποφύγουν δυσάρεστες θεολογικές συνέπειες.

Ο Richard Dawkins στον *Τυφλό Ωρολογοποιό* του, λέγει στους αναγνώστες του ότι αν το άγαλμα της Παρθένου Μαρίας τους κουνούσε το χέρι του σ' αυτούς, δε θα πρέπει να βγάλουν συμπέρασμα ότι γίνονται μάρτυρες ενός θαύματος.¹⁴⁸ Ίσως συνέβη όλα τα άτομα του χεριού του αγάλματος να κινούνται ταυτόχρονα προς την ίδια κατεύθυνση—ένα συμβάν εξαιρετικά χαμηλής πιθανότητας, αλλά δυνατό. Οι πιο πολλοί άνθρωποι που θα έβλεπαν να ζωντανεύει ένα άγαλμα, θα έλεγαν στον Dawkins, ότι υπάρχουν πολλά περισσότερα στον ουρανό και στη γη, που δεν μπορεί να ονειρευτεί στη φιλοσοφία του, όμως δε θα μπορούσαν να τον κάνουν να ενωθεί με την Εκκλησία της Αγγλίας.

ΖΗΣΕ ΚΑΙ ΑΣΕ ΝΑ ΖΗΣΟΥΝ

Ούτε και θα πρέπει να προσπαθήσουν. Με μια πολύ πραγματική έννοια, ο διαχωρισμός των σφαιρών της επιστήμης έναντι της φιλοσοφίας και της θρησκείας είναι όπως θα έπρεπε να είναι. Κάθε άνθρωπος έχει στη διάθεση του τα δεδομένα των αισθήσεων του/της, και ως επί το πλείστον μπορεί να συμφωνήσει με άλλους ανθρώπους για του ποια είναι αυτά τα δεδομένα. Σε ένα μεγάλο ποσοστό, οι άνθρωποι από διάφορες φιλοσοφικές και θεολογικές κλίσεις μπορούν να συμφωνούν πάνω σε επιστημονικές θεωρίες, όπως τη βαρύτητα ή την τεκτονική των πλακών, ή την εξέλιξη για να οργανώσουν τα δεδομένα τους (ακόμη και αν οι θεωρίες τελικά αποδειχτούν λανθασμένες). Όμως οι θεμελιώδεις φιλοσοφικές αρχές που υπόκεινται στην πραγματικότητα καθώς και οι θεολογικές αρχές, ή έλλειψη τέτοιων

¹⁴⁸ Dawkins, R. (1986) *The Blind Watchmaker*, W.W. Norton, London, p. 159

αρχών, που μπορούν να εξαχθούν από τη φιλοσοφία και την ιστορική εμπειρία, είναι βασικά κάτι που επιλέγει το άτομο. Ο άνδρας ή η γυναίκα πρέπει να είναι ελεύθερος/η στο ψάξιμο του καλού, του αληθινού και του ωραίου.

Η άρνηση να δοθεί στους άλλους ένα ευρύ πλάτος από ελευθερία στο να ορίσουν τις πεποιθήσεις τους έχει οδηγήσει ξανά και ξανά σε καταστροφή. Δεν εμφανίζεται η αδιαλλαξία όταν νομίζω ότι εγώ βρήκα την αλήθεια. Μάλλον εμφανίζεται μόνο όταν εγώ νομίζω, ότι επειδή εγώ τη βρήκα, ο κάθε άλλος άνθρωπος θα πρέπει να συμφωνήσει μαζί μου. Ο Richard Dawkins έχει γράψει ότι όποιος αρνείται την εξέλιξη είναι είτε «αδαής, είτε βλάκας είτε τρελλός (είτε κακός—αλλά μάλλον δε θα το θεωρήσω αυτό.)»¹⁴⁹ Δε χρειάζεται να κάνεις ένα πολύ μεγάλο βήμα από του να αποκαλέσεις κάποιους κακούς μέχρι του σημείου να πάρεις βίαια μέτρα για να βάλεις ένα τέρμα στην κακία τους. Ο John Maddox, που είναι εκδότης του *Nature*, έχει γράψει στο περιοδικό του ότι «ίσως δε θα περάσει πολύς καιρός που η εξάσκηση της θρησκείας θα πρέπει να θεωρηθεί ως αντι-επιστήμη.»¹⁵⁰ Στο πρόσφατο βιβλίο του *Η επικίνδυνη Ιδέα του Δαρβίνου*, ο φιλόσοφος Daniel Dennett συγκρίνει αυτούς που πιστεύουν στη θρησκεία—περίπου 90 τοις εκατό του πληθυσμού— με άγρια ζώα που ίσως θα πρέπει να τους βάλουν σε κλουβιά, και οι γονείς θα πρέπει να εμποδίσουν (μάλλον δια μέσου εξαναγκασμού) από του να δίνουν λανθασμένες πληροφορίες στα παιδιά τους για την εξέλιξη, που γι' αυτόν είναι τόσο προφανής.¹⁵¹ Αυτά τα λόγια δεν είναι μια συνταγή για οικιακή γαλήνη. Άλλο πράγμα να προσπαθείς να πείσεις κάποιον με επιχειρήματα, και άλλο να προσπαθείς να εξαναγκάσεις κάποιον που διαφωνεί μαζί σου. Καθώς μετατοπίζεται δραματικά το βάρος των επιστημονικών ενδείξεων θα πρέπει αυτό το σημείο να διατηρείται έντονα στο νου. Ο Richard Dawkins είπε, ο Δαρβίνος το έκανε δυνατό να είναι ένας «διανοητικά ικανοποιημένος άθεος»¹⁵² Η αποτυχία της θεωρίας του Δαρβίνου στο μοριακό επίπεδο ίσως να τον έκανε να νιώσει λιγότερο ικανοποιημένος, όμως κανείς δεν πρέπει να προσπαθήσει να τον σταματήσει από του να συνεχίσει το ψάξιμο του.

Η επιστημονική κοινότητα έχει στα μέλη της πολλούς εξαιρετικούς επιστήμονες που σκέφτονται ότι κάτι υπάρχει πέραν από τη φύση, και πολλοί εξαίρετοι επιστήμονες δεν το κάνουν αυτό. Πώς λοιπόν η επιστήμη θα μεταχειριστεί «επίσημα» αυτότο ερώτημα για την ταυτότητα του σχεδιαστή; Μήπως θα πρέπει τα εγχειρίδια της βιοχημείας να γράφονται με διατυπώσεις όπως «ο Θεός το έκανε»; Όχι. Το ερώτημα για την ταυτότητα του σχεδιαστή απλώς θα αγνοηθεί από την επιστήμη. Η ιστορία είναι γεμάτη με τέτοια παραδείγματα από βασικά – αλλά- δύσκολα ερωτήματα που τοποθετούνται στο πίσω μέρος του καυστήρα. Για παράδειγμα, ο Νεύτωνας αρνήθηκε να εξηγήσει το αίτιο της βαρύτητας. Ο Δαρβίνος δεν πρόσφερε καμία εξήγηση για την προέλευση της όρασης ή της ζωής. Ο Maxwell αρνήθηκε να καθορίσει ένα μέσο για τα φωτεινά κύματα, από τη στιγμή που απομυθοποιήθηκε ο αιθέρας, και γενικά οι κοσμολόγοι αγνόησαν το ερώτημα για την αιτία του Μπιγκ Μπανγκ. Αν και το γεγονός του σχεδιασμού εύκολα φαίνεται στη βιοχημεία του κυττάρου, η ταυτοποίηση του σχεδιαστή με επιστημονικές μεθόδους ίσως να είναι εξαιρετικά δύσκολη. Με κάποιο τρόπο, μπορούσε εύκολα ο Νεύτωνας να παρατηρήσει τη βαρύτητα, όμως ο καθορισμός της αιτίας βρίσκεται αιώνες μακριά στο μέλλον. Όταν ένα ερώτημα είναι πολύ δύσκολο για να αντιμετωπιστεί άμεσα από την επιστήμη, χαρούμενα το ξεχνάμε, ενώ ερευνούνται άλλα πιο βατά ερωτήματα. Αν η φιλοσοφία και η θεολογία θέλουν να δοκιμάσουν να κάνουν κάτι μ' αυτά, τότε εμείς οι επιστήμονες θα πρέπει να τους ευχηθούμε καλή τύχη,

¹⁴⁹ Dawkins, R. (1989) *New York Times*, April 9, 1989, sec. 7, p. 34

¹⁵⁰ Maddox, J. (1994) "Defending Science Against Anti-Science," *Nature*, 368, 185

¹⁵¹ Dennett, D. (1995) *Darwin's Dangerous Idea*, Simon & Schuster, New York, pp. 515-516.

¹⁵² Dawkins, R. (1986), p. 6.

όμως διατηρούμε το δικαίωμα να πηδήξουμε πίσω στη συζήτηση όταν η επιστημη έχει να προσθέσει κάτι άλλο.

ΠΙΟ ΠΕΡΙΕΡΓΟ ΚΑΙ ΠΙΟ ΠΕΡΙΕΡΓΟ

Ο δισταγμός της επιστήμης να αγκαλιάσει το συμπέρασμα του ευφυούς σχεδιασμού που τον έχουν κάνει φανερό οι μακριές και σκληρές της προσπάθειες δεν έχει καμία δικαιολογία. Ο επιστημονικός σοβινισμός είναι ένα κατανοητό συναίσθημα, αλλά δεν πρέπει να επιτραπεί να επηρεάζει σοβαρά διανοητικά θέματα. Είναι λυπηρή η ιστορία των αψιμαχιών ανάμεσα στη θρησκεία και την επιστήμη και έχει παντού προκαλέσει την ύπαρξη σκληρών συναισθημάτων. Η κληρονομημένη οργή όμως δεν είναι βάση για να βγάξει κανείς επιστημονικές κρίσεις. Το φιλοσοφικό επιχείρημα (που κάνουν μερικοί θεϊστές) ότι η επιστήμη θα πρέπει να αποφεύγει ερωτήματα που έχουν μια γεύση από υπερφυσικό, είναι ένας τεχνητός περιορισμός στην επιστήμη. Δεν είναι βάσιμος ο φόβος τους είναι ότι οι υπερφυσικές εξηγήσεις θα συντρίψουν την επιστήμη. Επιπλέον μπορεί να φανεί από την περίπτωση του Μπιγκ Μπανγκ, ότι θεωρίες με υπερφυσικές υπονοήσεις μπορούν να είναι καρποφόρες. Η φιλοσοφική αφοσίωση που έχουν μερικοί άνθρωποι ότι τίποτε δεν υπάρχει πέραν από τη φύση δε θα πρέπει να επιτραπεί να εμπλακεί με μια θεωρία που ρέει κατά φυσικό τρόπο από τα παρατηρούμενα επιστημονικά δεδομένα. Τα δικαιώματα των ανθρώπων να αποφεύγουν κάποιο υπερφυσικό συμπέρασμα θα πρέπει να γίνει σεβαστό με ευλάβεια, όμως η αποστροφή τους δε θα πρέπει να γίνει καθοριστική.

Φθάνοντας στο τέλος αυτού του βιβλίου, δεν έχουμε καμία ουσιαστική άμυνα αυτού που ονομάζεται ένα ισχυρό συμπέρασμα: ότι η ζωή έχει σχεδιαστεί από κάποιο ευφυή παράγοντα. Κατά κάποιο όμως τρόπο, η πρόοδος της επιστήμης στα τελευταία εκατό χρόνια ήταν μια σταθερή πορεία προς το παράξενο. Οι άνθρωποι μέχρι το Μεσαίωνα ζούσαν σε ένα φυσικό κόσμο. Η σταθερή γη ήταν το κέντρο των πραγμάτων· ο ήλιος, η σελήνη και τα άστρα περιφερόντουσαν κυκλικά γύρω-γύρω δίνοντας το φως την ημέρα και τη νύχτα· τα ίδια φυτά και ζώα ήταν γνωστά από την αρχαιότητα· οι βασιλιάδες κυβερνούσαν με θεία δικαιώματα. Οι εκπλήξεις ήταν λίγες.

Τότε, ξαφνικά προτάθηκε με έναν ανόητο τρόπο, ότι η γη κινείται, περιστρεφόμενη ενώ περιφέρεται γύρω από τον ήλιο. Κανένας δεν ένιωθε να περιστρέφεται η γη, κανένας δεν μπορούσε να το δει. Όμως αυτή περιστρεφόταν. Από τη σύγχρονη μας άποψη, είναι δύσκολο να καταλάβουμε τι μεγάλη επίθεση διαπράχθηκε στις αισθήσεις από τον Κοπέρνικο και τον Γαλιλαίο· αυτό που είπαν στην πραγματικότητα ήταν ότι οι άνθρωποι δεν μπορούν πια να βασίζονται στις ενδείξεις που δίνουν τα μάτια τους.

Τα πράγματα χειροτέρεψαν σταθερά με τα χρόνια. Με την ανακάλυψη των απολιθωμάτων έγινε εμφανές ότι τα συνηθισμένα ζώα του αγρού και του δάσους δεν ήταν πάντοντε πάνω στη γη· ότι κάποτε τον κόσμο τον κατοικούσαν τεράστια και παράξενα πλάσματα που σήμερα εξαφανίστηκαν. Λίγο αργότερα ο Δαρβίνος τάρaxε τον κόσμο με το να επιχειρηματολογήσει ότι τα συνηθισμένα έμβια όντα *προέρχονται* από κάποια παράξενη, εξαφανισμένη ζωή μέσα από μεγάλα χρονικά διαστήματα που είναι ακατανόητα στον ανθρώπινο νου. Ο Αϊνστάιν μας είπε ότι ο χώρος είναι καμπύλος και ότι ο χρόνος είναι σχετικός. Η σύγχρονη φυσική μας λέγει ότι τα στερεά αντικείμενα είναι ως επί το πλείστο κενός χώρος, ότι τα υποατομικά σωματίδια δεν έχουν κάποια καθορισμένη θέση, και ότι το σύμπαν έχει κάποια αρχή.

Τώρα είναι η σειρά της βασικής επιστήμης της ζωής, της σύγχρονης βιοχημείας για να δημιουργήσει διαταραχή. Η απλότητα που κάποτε περιμέναμε να βρίσκεται στη βάση της

ζωής, τώρα αποδείχτηκε ότι ήταν ένα φάντασμα, αντίθετα, στο κύτταρο υπάρχουν διάφορα συστήματα με τρομαχτική, μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα. Το αποτέλεσμα είναι ότι ήρθε σαν ένας κεραυνός σε μας που ζούμε στον εικοστό αιώνα, η κατανόηση του ότι η ζωή έχει σχεδιαστεί από κάποια ευφυΐα, ενώ είχαμε συνηθίσει στην ιδέα ότι η ζωή είναι το αποτέλεσμα απλών φυσικών νόμων. Όμως και οι άλλοι αιώνες είχαν και τους δικούς τους κεραυνούς, και δεν υπάρχει λόγος να υποθέσουμε ότι εμείς θα τους ξεφύγουμε. Η ανθρωπότητα έχει υπομένει από του να μετακινηθεί το κέντρο των ουρανών από τη γη και να πάει πέρα από τον ήλιο, καθώς την επέκταση της ιστορίας της ζωής στο να συμπεριλάβει ερπετά που είναι νεκρά για μεγάλα χρονικά διαστήματα, καθώς το αιώνιο σύμπαν αποδείχτηκε θνητό. Θα αντέξουμε στο άνοιγμα του μαύρου κουτιού του Δαρβίνου.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΔΕΚΑ ΧΡΟΝΙΑ ΜΕΤΑ

ΟΠΩΣ ΤΟ ΕΛΕΓΑ

«Τώρα είναι η σειρά της βασικής επιστήμης της ζωής, της σύγχρονης βιοχημείας για να δημιουργήσει διαταραχή» Να φυλάξετε αυτήν την παρατήρηση κάτω από τον τίτλο: Υποτιμήσεις, Μεγάλες. Όταν έγραψα αυτή τη φράση κοντά στο συμπέρασμα του *Μαύρου Κουτιού του Δαρβίνου* πριν δέκα χρόνια, δεν είχα ιδέα πόσο διαταρακτική θα έβρισκαν μερικοί άνθρωποι την έννοια του ευφυούς σχεδιασμού¹⁵³ (ΕΣ) Σήμερα με νέες καταγγελίες που εμφανίζονται σχεδόν εβδομαδιαία από επιστημονικές εταιρείες, και εκδοτικές επιτροπές εφημερίδων, φαίνεται ότι είναι λίγο πρόωρο να διακηρύξω νίκη. Όμως, παρά την πολιτιστική δυναμική που συνεχίζει να φαίνεται ισχυρή, μια δεκαετία μετά τη δημοσίευση του *Μαύρου Κουτιού του Δαρβίνου*, τα επιστημονικά επιχειρήματα για το σχεδιασμό είναι ισχυρότερα παρά ποτέ. Παρά την τεράστια πρόοδο στη βιοχημεία στα χρόνια που πέρασαν, παρά τα διεισδυτικά σχόλια σε περιοδικά διαφόρων τύπων όπως *The New York Times*, *Nature*, *Christianity Today*, *Philosophy of Science* και *Chronicle of Higher Education* παρά την αδυσώπητη πολεμική από μερικούς επιστήμονες του ανώτατου επιπέδου, το επιχείρημα του βιβλίου για το σχεδιασμό παραμένει όρθιο. Εκτός από του να αναθεωρήσω τον κατάλογο των παιδιών μου στο τμήμα των ευχαριστιών (προσθέτων Dominic, Helen και Gerard) υπάρχουν πολύ λίγα που θα άλλαζα στο αρχικό κείμενο αν το έγραφα σήμερα. Υπάρχουν όμως πολλά που θα πρόσθετα. Για τη σύγχρονη επιστήμη, δέκα χρόνια είναι ένας γεωλογικός αιώνας. Ως μια αναλογία, σκεφτείτε πως αναπτύχθηκε το διαδίκτυο Στο μέσο της δεκαετίας του 1990 το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο ήταν δυσκίνητο, και το διαδίκτυο ήταν η σκιά του τι θα γινόταν. Στο ίδιο χρονικό διάστημα, κατά κάποιο τρόπο η βιοχημεία αναπτύχθηκε όσο και το διαδίκτυο. Μόλις λίγο πριν μια δεκαετία, δημοσιεύτηκε η πρώτη γονιδιακή ακολουθία ενός μικρού έμβριου—του μικρού βακτηρίου με το όνομα *Haemophilus influenzae*. Μετά ένα χρόνο ακολούθησε η γονιδιακή ακολουθία του πρώτου ευκαρυωτικού κυττάρου — της ζύμης για το ψωμί *Saccharomyces cerevistae*. Τώρα εκατοντάδες γονιδιώματα έχουν αναλυθεί και έχουνε βρεθεί οι ακολουθίες τους, οι πιο πολλές από αυτές αφορούν μονοκύτταρους οργανισμούς. Και σ' αυτές περιλαμβάνεται το φονικό παράσιτο της ελονοσίας, αλλά και σ' αυτά ο νοσηρός πολυκύτταρος συνεταίρος του, ο κώνωψ ο ανωφελής, η βασική τροφή ρύζι, ο καλύτερος φίλος του ανθρώπου ο σκύλος, ο πιο στενός συγγενής του ανθρώπου ο χιμπατζής. Και βέβαια και το ανθρώπινο γονιδίωμα επίσης, που η ολοκλήρωση του αναγγέλθηκε με μεγάλη φανφάρα από τον πρόεδρο των ΗΠΑ Κλίντον και τον πρωθυπουργό της Μεγάλης Βρετανίας Τόνυ Μπλαιρ το 2000.

¹⁵³ Τι ακριβώς είναι ο «Ευφυής σχεδιασμός»; Σε ένα άρθρο του 2001 στο περιοδικό *Biology and Philosophy* που ασχολείται με τη φιλοσοφία της επιστήμης, έκανα μια σημαντική διάκριση: «Με τον ευφυή σχεδιασμό κάποιος ίσως να εννοήσει τους ίδιους τους νόμους της φύσης, ότι έχουν σχεδιαστεί για να παράγουν ζωή και τα πολύπλοκα συστήματα που την υποστηρίζουν. Χωρίς να κάνω κάποιο σχόλιο για την αξία της θέσης, επιτρέψτε μου απλώς να πω ότι αυτό δεν είναι το νόημα που βάζω στη φράση. Με «ευφυή σχεδιασμό» (ΕΣ) εννοώ ότι υπονοείται σχεδιασμός πέραν από τους νόμους της φύσης. Δηλαδή, παίρνοντας ως δεδομένους τους νόμους της φύσης, υπάρχουν άλλες αιτίες για να συμπεράνουμε ότι η ζωή και τα συστατικά συστήματα έχουν σκόπιμα διευθετηθεί, όπως ότι υπάρχουν αιτίες πέραν από τους νόμους της φύσης για να συμπεράνουμε ότι έχει σχεδιαστεί μια ποντικοπαγίδα [αν δεν έχει ειπωθεί διαφορετικά] όπου αναφέρομαι στον ΕΣ θα εννοώ την πιο ισχυρή έννοια του σχεδιασμού – πέραν από τους νόμους».

Η πρόοδος στην ανάλυση των γονιδιωμάτων έχει συνοδευτεί με μια πρόοδο στην κατανόηση του πως εργάζεται ο μηχανισμός της ζωής. Έχει γίνει γνωστό ότι οι πιο πολλές πρωτεΐνες στο κύτταρο εργάζονται ως ομάδες από μισή ντουζίνα ή περισσότερες, αντί να εργάζονται μόνες τους. Δέκα χρόνια πιο πριν, η δραστηριότητα των γονιδίων θεωρείτο ότι ήταν μόνο το έργο των πρωτεϊνών. Τώρα έχει ανακαλυφθεί μια άλλη ομάδα που δεν μπορούσε κανείς να φανταστεί, από νουκλεϊνικά οξέα που ονομάζονται μικρό – RNA που βοηθού στον έλεγχο πολλών γονιδίων. Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούν τα κύτταρα για να οικοδομήσουν τις βλεφαρίδες και τα μαστίγια και που περιγράφηκαν στο 4^ο κεφάλαιο, ήταν κατά ένα μεγάλο μέρος «σκοτεινοί» όταν πρωτογράφηκε το βιβλίο. Τώρα έγινε γνωστό ότι οι ίδιοι είναι εκπληκτικά εκλεπτυσμένα μοριακά συστήματα, όπως τα αυτόματα εργοστάσια που κατασκευάζουν εξωλέμβιους κινητήρες. Εν συντομία, καθώς προχωρά ακατάπαυστα η επιστήμη, η μοριακή βάση της ζωής, δε γίνεται λιγότερο πολύπλοκη από ότι φαινόταν πριν μια δεκαετία· αντίθετα φαίνεται να γίνεται εκθετικά πιο πολύπλοκη. Καθώς συμβαίνει αυτό, η υπόθεση του ευφυούς σχεδιασμού γίνεται εκθετικά ισχυρότερη. Παρόλα αυτά, η οχλοβοή του δημόσιου διανοητικού παζαριού δυσκολεύει έναν άνθρωπο να μπορέσει να κρίνει με σοβαρότητα την ισχύ μιας αμφισβητήσιμης ιδέας. Έτσι στις επόμενες λίγες σελίδες θα ασχοληθώ με μερικές συγχύσεις για το επιχείρημα του ευφυούς σχεδιασμού που έχουν μαζευτεί καθώς οι άνθρωποι που είναι αντίθετοι ή δεν έχουν οικειότητα με τη λογική του βιβλίου αντήχησαν στη ζωηρή δημόσια συζήτηση της τελευταίας δεκαετίας. Η πιο σημαντική πηγή σύγχυσης περιλαμβάνει τις παρανοήσεις που αφορούν την μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα και με τη φύση του επιχειρήματος για σχεδιασμό. Μετά που θα τις αγγίξουμε, θα ξαναεπισκεφτούμε με συντομία τα βιοχημικά παραδείγματα από τα κεφάλαια 3 μέχρι 7 για να δούμε πως τα πήγε η αντίπαλη θεωρία—η Δαρβινική— από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 καθώς προσπαθούσε να τα εξηγήσει.

ΤΙ ΥΠΑΡΧΕΙ ΠΙΣΩ ΑΠΟ ΕΝΑ ΟΝΟΜΑ;

Δέκα χρόνια πριν χρησιμοποιήσα τη φράση «μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα»¹⁵⁴ (ΜΠ) για ρίξω τον προβολέα σε ένα μεγάλο πρόβλημα της Δαρβινικής εξέλιξης, που τότε δεν τον είχα εκτιμήσει— ότι όπως σε μια ποντικοπαγίδα, σχεδόν όλος ο μοριακός μηχανισμός του κυττάρου χρειάζεται πολλά τμήματα για να λειτουργήσει. Επειδή υπάρχει η ανάγκη για πολλά τμήματα, είναι εξαιρετικά δύσκολο να φανταστούμε με αυστηρό τρόπο πως συστήματα όπως η βλεφαρίδα, το μαστίγιο, ή ο καταρράχτης της θρόμβωσης του αίματος θα μπορούσαν να έχουν εμφανιστεί από απλούστερα συστήματα με «πολύαριθμες, διαδοχικές μικρές μεταβολές» όπως είχε φανταστεί ο Κάρολος Δαρβίνος.

Ωρισα τη μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα στη σελίδα 34 ως — «ένα μοναδικό σύστημα που αποτελείται από διάφορα καλά ταιριασμένα και αλληλεπιδρώντα μέρη που συνεισφέρουν στη βασική λειτουργία, και όπου η αφαίρεση οποιουδήποτε από τα μέρη προκαλεί το σύστημα να πάψει να λειτουργεί τελείως». Τώρα εγώ είμαι επιστήμονας—δεν είμαι φιλόσοφος. Ο σκοπός του ορισμού ήταν να τονίσει την εμπειρική δυσκολία που θέτουν τα πολύπλοκα αλληλεπιδρώντα συστήματα σε ένα πραγματικό βιολογικό πλαίσιο, στη βαθμιαία πορεία του Δαρβινισμού, και όχι να παίξω κάποιο παιχνίδι. Παρόλα αυτά μερικές από τις αντιρρήσεις στο *Το Μαύρο Κουτί του Δαρβίνου* προσπάθησαν να σπρώξουν το εξελικτικό

¹⁵⁴ Εμπνεύστηκα ανεξάρτητα τον όρο «μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα». Όμως από τότε έμαθα ότι η φράση είχε χρησιμοποιηθεί νωρίτερα στο *Templets and the Exploration of Complex Patterns* (Cambridge University Press, 1986) από τον βιολόγο του Case Western Reserve University, Michael J. Katz. Φαίνεται ότι είχε στο νου του τα ίδια είδη φαινομένων όπως είχα και εγώ.

πρόβλημα για τη φυσική επιλογή κάτω από το χαλί με το να επιλέξουν τη φράση «μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα», ή ε το να αλλάξουν κατά ύπουλο τρόπο τον ορισμό. Στα επόμενα τρία τμήματα θα κοιτάξω σε τρία παραδείγματα.

ΡΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟ ΡΟΛΟΓΙΑ

Το 1999 ο φιλόσοφος της επιστήμης Robert Pennock συζήτησε στο *Πύργος της Βαβέλ* ότι δεν υπήρχε πρόβλημα για το Δαρβινισμό από τη μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα. Όπως συνήθως κάνουν οι φιλόσοφοι δεν εστίασε την προσοχή του στην επιστήμη αλλά στους ορισμούς, ή σ' αυτό που ο ίδιος θεώρησε ως τον ορισμό:

[Ακόμη] και αν το σύστημα είναι μη αναγώγιμα πολύπλοκο όσον αφορά μια ορισμένη βασική λειτουργία, αυτό κατ' ουδένα τρόπο υπονοεί ότι κάποιες γειτονικές ποικιλίες δε θα εξυπηρετήσουν κάποιες γειτονικές λειτουργίες. Ο Behe ισχυρίζεται ότι δε θα μπορούν να υπάρξουν λειτουργικά ενδιάμεσες μορφές που θα μπορούσε να επιλέξει η φυσική επιλογή στο δρόμο για *οποιοδήποτε* μη αναγώγιμα πολύπλοκο σύστημα, αλλά δεν μπορεί να πάρει το εμπειρικό του συμπέρασμα από τα «εξ ορισμού» του νοητικά επιχειρήματα. Η ισχυρή εμπειρική προϋπόθεση που χρειάζεται είναι ψευδής.¹⁵⁵

Ο Pennock, όμως, έχει απλώς αντικαταστήσει τη δική μου έννοια για μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα με τη δική του. Ποτέ δεν έγραψα ότι «δε θα μπορούν να υπάρξουν λειτουργικά ενδιάμεσες μορφές που θα μπορούσε να επιλέξει η φυσική επιλογή στο δρόμο για *οποιοδήποτε* μη αναγώγιμα πολύπλοκο σύστημα». Αυτά είναι λόγια του Pennock. Αντίθετα στη σελίδα 35, τονίζω, ότι αν και η μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα δεν αποκλείει τις άμεσες πορείες, δεν αποκλείει αυτόματα τις ενδιάμεσες. Προχώρησα στο να συζητήσω ότι οι έμμεσες πορείες φαίνονται πολύ απίθανες, και ότι όσο πιο πολύπλοκο είναι το σύστημα, τόσο πιο απίθανες γίνονται οι έμμεσες πορείες. Όμως δεν βεβαίωσα ότι οι έμμεσες πορείες ήταν λογικά αδύνατες, όπως υπονοεί αυτός. Αυτό θα ήταν ανόητο. Καμία επιστημονική ένδειξη δεν μπορεί να δείξει ότι κάτι είναι λογικά αδύνατο, η λογική αδυναμία, αφορά μόνο αυτό-αντιφάσεις (όπως «είναι ένα παντρεμένο γεροντοπαλικάρο») και όχι διατυπώσεις που αφορούν τη φύση (όπως «το DNA συνήθως αποτελείται από διπλό έλικα»). Για παράδειγμα, ο γεωκεντρισμός δεν είναι λογικά αδύνατος—απλώς είναι λάθος. Καμία επιστημονική θεωρία δεν έχει αποκλείσει, ούτε θα μπορούσε ποτέ να αποκλείσει, αντίπαλες εξηγήσεις με το να τις δείξει ότι είναι λογικά αδύνατες, και ούτε θα πρέπει να το κάνει αυτό με τον ευφυή σχεδιασμό. Οι επιστημονικές θεωρίες πετυχαίνουν απλώς με το να εξηγήσουν καλύτερα τα δεδομένα από τις αντίπαλες θεωρίες.

Σε τελευταία ανάλυση, ο Pennock κατασκεύασε το δικό του άκαμπτο ορισμό για τον ΕΣ για να κάνει να φαίνεται όσον το δυνατό πιο εύθραυστο το επιχείρημα για σχεδιασμό. Τότε θα μπορούσαν να απομακρυνθούν με κοροϊδευτικά σφυρίγματα τα επιχειρήματα για το Δαρβινισμό. Έχοντας παραμορφώσει το επιχείρημα, ο Pennock δε σκέφτηκε ότι θα χρειαζόταν να μιλήσει καθόλου για βιολογία. Αντίθετα στον *Πύργο της Βαβέλ* έγραψε για ένα χρονόμετρο, που είναι ένα εξαιρετικά ακριβές όργανο μέτρησης του χρόνου, και που βοηθά τους ναυτικούς που θέλουν να προσδιορίσουν το γεωγραφικό μήκος στη θάλασσα. Αν το χρονόμετρο χαλούσε λιγάκι, όπως έγραψε ενθουσιασμένος ο Pennock, τότε όπως ένα λιγότερο ακριβές ρολόι θα μας έδινε το χρόνο στη ξηρά.

¹⁵⁵ Pennock R. (1999) *Tower of Babel: The Evidence Against the New Creationism*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, pp. 267-268.

Αν το ένα ή το άλλο από αυτά [δύο μοχλοί σε σχήμα αλτήρα και τέσσερα ελικοειδή ελατήρια, το καθένα από τα οποία βοηθά να εξουδετερώνει τις κινήσεις του πλοίου] έσπαζε, τότε το ρολόι δε θα μπορούσε πια να εκτελέσει την ειδική του λειτουργία πάνω στο πλοίο, όμως θα μπορούσε να κάνει μια ελαφρά διαφορετική λειτουργία σε ένα διαφορετικό περιβάλλον, όπως σε μια πιο ήσυχη λίμνη ή στη στεριά.¹⁵⁶

Χμμμ. Έτσι λοιπόν είναι λογικά δυνατό να αποκτήσουμε ένα πολύπλοκο ρολόι με το να ξεκινήσουμε από ένα πιο πολύπλοκο χρονόμετρο και να το χαλάσουμε; Βέβαια, δεν είναι έτσι. Ο Thomas Huxley είπε σε ένα άλλο πλαίσιο, «Πόσο βλάκας ήμουν που δεν το σκέφτηκα:» Πώς όμως αποκτήσαμε κατ' αρχήν το χρονόμετρο; Ωραία, βλέπετε, απλώς αρχίζετε με ένα ρολόι:

Αν υπήρχαν τα φανταστικά *αυτοδιπλασιαζόμενα* ρολόγια του Paley, και λειτουργούσαν με ένα Δαρβινικό τρόπο όπου συνέβαιναν τυχαίες μετατροπές στους διπλασιασμούς, τότε δεδομένης μια επιλεκτικής πίεσης, θα ήταν δυνατόν να εξελιχθούν για να λύσουν το πρόβλημα της εύρεσης του γεωγραφικού μήκους.¹⁵⁷

Έτσι μέσα στη δίνη της κυκλικής λογικής του φιλοσόφου, ένα πιο ακριβές χρονόμετρο χαλά για να δώσει ένα λιγότερο ακριβές ρολόι που και αυτό με κάποιο τρόπο¹⁵⁸ μας δίνει το αρχικό πιο ακριβές χρονόμετρο. Ο.Ε.Δ. Δεν είναι ξεκαθαρισμένο τι σχέση έχουν όλα αυτά με τα βιολογικά ερωτήματα που αφορούν την εξέλιξη.

Το βιβλίο του Pennock υιοθετήθηκε ένθερμα από τους εξέχοντες Δαρβινιστές φιλοσόφους και επιστήμονες, και επίσημα συστήνεται από έναν εξέχοντα οργανισμό όπως την Εθνική Ακαδημία των Επιστημών. Προφανώς, εξυπηρετεί τον σκοπό, δεν υπάρχει κανένα επιχείρημα όσο και τρελό κι αν είναι που δεν το επικυρώνουν οι ακόλουθοι του Δαρβινισμού.

ΠΟΝΤΙΚΟΠΑΓΙΔΕΣ ΑΠΟ ΟΔΟΝΤΟΓΛΥΦΙΔΕΣ

Όπως τον Robert Pennock, ο κυτταρικός βιολόγος του Brown University, Kenneth Miller είχε πάρα πολύ ενδιαφέρον στο να δείξει ότι η μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα δεν παρουσίαζε κάποιο πρόβλημα στη Δαρβινική εξέλιξη. Όπως τον Pennock, ο Miller «μαγείρεψε» το δικό του ιδιωτικό ορισμό του τι σημαίνει μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα, και μετά επιχειρηματολόγησε εναντίον της. Όμως αντίθετα από τον Pennock, ο Miller ήταν θαυμαστά χαλαρός στο να φανταστεί τι είδους λειτουργίες θα μπορούσε να κάνει, ένα αποδομημένο, μη αναγώγιμο πολύπλοκο σύστημα. Ο Pennock τουλάχιστο, προσπάθησε να διατηρήσει τη λειτουργία μέσα στο «γήπεδο» όπου έπαιζε μπάλα το αρχικό σύστημα—σίγουρα τόσο τα ρολόγια όσο και τα χρονόμετρα μετράνε το χρόνο. Όμως ο Miller δεν είχε τέτοιους δισταγμούς. Φαντάστηκε κάποιο Δαρβινικό πρόδρομο πίσω από κάθε πόρτα— οτιδήποτε θα

¹⁵⁶ Pennock, 269.

¹⁵⁷ Pennock, 269.

¹⁵⁸ Ο Pennock δεν ενδιαφέρεται να μας πει πως αυτά τα ύποπτα πολύπλοκα, συστήματα ισορροπίας σε σχήμα αλτήρα και ελατήρια είχαν προστεθεί. Δε χρειάζεται να πούμε, ότι ένα χρονόμετρο είναι μια πολύ πολύπλοκη συσκευή. Οι εικόνες από διάφορες εκδοχές των πρώτων χρονομέτρων που κατασκευάστηκαν από τον John Harrison μπορούν να ιδωθούν στο rubens.anu.edu.au/student.projects97/naval/h1.htm. Δοκίμασε να μετατρέψεις το ένα στο άλλο με «πολυάριθμες, διαδοχικές, ελαφρές μετατροπές». Η μέθοδος του Pennock δεν μπορεί.

μπορούσε να έχει μια «λειτουργία» όσο απλό και να ήταν όπως ένα χαρτί ή μια οδοντογλυφίδα.

Ο Miller έδωσε ένα νέο ορισμό στη μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα, ώστε να έχει το νόημα ότι κανένα από τα συστατικά τμήματα ενός ΜΑΠ συστήματος θα μπορούσε να είχε χωριστά από το σύστημα.¹⁵⁹ Σε μια ιστορία με τον τίτλο «Οι Κριτικοί της εξέλιξης στο στόχαστρο από τα σφάλματα στον 'Ευφυή Σχεδιασμό'», η αρθρογράφος του *Wall Street Journal* Sharon Begley μετέδωσε τις απόψεις του Miller:

Στα 1996, ο βιοχημικός Michael Behe... παρουσίασε ένα ισχυρότερο επιχείρημα εναντίον της εξέλιξης. Όπως συζήτησε στο βιβλίο του *Το Μαύρο Κουτί του Δαρβίνου* οι πολύπλοκες ζωντανές δομές έχουν «μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα» δηλαδή δεν μπορούν να λειτουργήσουν μέχρις ότου όλα τα συστατικά να έχουν συναρμολογηθεί, όπως μια ποντικοπαγίδα δεν αξίζει τίποτε μέχρις ότου, η βάση της, το ελατήριο, το στήριγμα και όλα τα υπόλοιπα να έχουν συναρμολογηθεί. *Επιπλέον, τα ατομικά τμήματα μιας πολύπλοκης δομής, δήθεν δεν εξυπηρετούν καμία λειτουργία* [τα πλάγια προστέθηκαν].¹⁶⁰

Δυστυχώς, παρότι το πρώτο μέρος αντανakλά στο δικό μου πραγματικό επιχείρημα η φράση με τα πλάγια γράμματα «Επιπλέον...» είναι κατασκευασμένη «από άλλο ύφασμα». Το «ελάττωμα» στον ευφυή σχεδιασμό που ανέφερε η Begley είχε εφευρεθεί από τον Miller! Δεν είναι δύσκολο να δούμε γιατί έπρεπε να αλλάξει τον ορισμό της ΜΑΠ με λόγια όπως—«τα ατομικά τμήματα μιας πολύπλοκης δομής, δήθεν δεν εξυπηρετούν καμία λειτουργία». Για ρητορικούς λόγους, όπως στην περίπτωση του Pennock, ο Miller ήθελε να κάνει όσο το δυνατό πιο εύθραυστο το επιχείρημα για το σχεδιασμό. Σύμφωνα με τον τρόπο σκέψης του Miller, αν μπορούσε να επισημάνει ότι, για παράδειγμα, ένα κομμάτι της ποντικοπαγίδας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως βάρος για συγκράτηση χαρτιών (που δεν είναι τόσο δύσκολο, αφού σχεδόν το κάθε τι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως βάρος για συγκράτηση των χαρτιών), τότε ένα «ατομικό μέρος» θα μπορούσε να εξυπηρετήσει μια «λειτουργία» και η «μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα» θα εξαφανιζόταν μέσα από με ένα διάταγμα απο ορισμό, και όλοι οι καλοί Δαρβινιστές θα μπορούσαν να αναπνέουν ακόμη μια φορά πιο εύκολα.

Όμως δεν υπάρχει λόγος γιατί τα ατομικά συστατικά ενός μη αναγώγιμα πολύπλοκου συστήματος δε θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για χωριστούς ρόλους, ή για πολλαπλούς χωριστούς ρόλους, και ποτέ μου δεν έγραψα ότι δεν θα μπορούσαν. Αυτό που μάλλον έγραψα για τη ΜΑΠ είναι ότι «η αφαίρεση ενός οποιουδήποτε από τα μέρη προκαλεί το ουσιαστικό σταμάτημα της λειτουργίας του συστήματος, και όχι των τμημάτων του. Για παράδειγμα ο Miller θα μπορούσε να αφαιρέσει τη ράβδο που συγκρατεί την παγίδα της φάκας, οπότε το σύστημα της παγίδευσης των ποντικών αμέσως θα σταματούσε να λειτουργεί. Όμως η ράβδος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως οδοντογλυφίδα, και το υπόλοιπο της παγίδας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως βάρος για να συγκρατεί χαρτιά, όμως τίποτε πια δε θα λειτουργούσε ως ποντικοπαγίδα.¹⁶¹ Για να

¹⁵⁹ «Η πιο σημαντική πρόβλεψη της υπόθεσης για μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα είναι ότι τα συστατικά μιας μη αναγώγιμα πολύπλοκης δομής δε θα πρέπει να έχουν λειτουργίες που θα τις ευνοεί μια φυσική επιλογή.» www.Millerandlevine.com/km/evol/design1/article.html Όμως αυτή η «πρόβλεψη» έγινε από τον Miller.

¹⁶⁰ Begley, Sharon (2004), "Evolution Critics Come Under Fire for Flaws in 'Intelligent Design.'" *Wall Street Journal*, B.1. Feb. 13.

¹⁶¹ Υποθέστε ότι το χωρισμένο ραβδάκι που συγκρατεί την παγίδα, και που τώρα χρησιμοποιείται ως οδοντογλυφίδα και το υπόλοιπο της παγίδας που χρησιμοποιείται ως βαρίδιο για χαρτιά τα ξανασυναρμολογούσαμε

δώσουμε μια άλλη εικόνα, τα τμήματα ενός σετ από το παιδικό παιχνίδι Lego® , μπορούν να χρησιμοποιηθούν ατομικά, ως, ναι, βάρη για χαρτιά, ή για να χρησιμοποιηθούν για να δομήσουν όλα τα είδη των αντικειμένων όπως ένα παιχνίδι πλοίο, ή ένα παιχνίδι αεροπλάνο ή ίσως και μια ποντικοπαγίδα. Όμως ακόμη και αν τα τμήματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να δομήσουν πολλά πράγματα, μια ποντικοπαγίδα Lego όμοια με αυτή που εικονίζεται στο 2^ο κεφάλαιο, δε θα λειτουργούσε παρά μόνο αν ήταν παρόντα όλα τα τμήματα της, και δε θα μπορούσε να δουλέψει αν έλειπε έστω κι ένα από αυτά. Αυτό που είναι μη αναγώγιμο είναι το *σύστημα* και όχι τα *τμήματα*. Με τη λογική του Miller δε θα μπορούσες να διακρίνεις ανάμεσα σε ένα ανακατωμένο σωρό από κομμάτια Lego και μια πολύ μηχανή Lego για την οποία έγινε ένας πολύ έντονος σχεδιασμός. Προφανώς γι' αυτόν και τα δύο θα ήταν τα ίδια.

«Είναι σαν να ανακαλύψουμε ότι η ράβδος της ποντικοπαγίδας ήταν μια καλή οδοντογλυφίδα πριν να συναρμολογηθεί με άλλα εξαρτήματα για να σκοτώνει τρωκτικά,» έγραψε η Begley¹⁶² απηχώντας μια αναλογία του Miller. Θα μπορούσε να είχε διαβάσει πιο προσεκτικά την αναλογία του 4^{ου} κεφαλαίου του *Μαύρου Κουτιού του Δαρβίνου*.

Ακολουθώντας το παράδειγμα του καθηγητή Doolittle, θα μπορούσαμε να προτείνουμε μια πορεία με την οποία παράχθηκε η πρώτη ποντικοπαγίδα. Η σφύρα της φάκας εμφανίζεται ως αποτέλεσμα του διπλασιασμού ενός λοστού στο γκαράζ μας. Η σφύρα έρχεται σε επαφή με τη βάση, και αυτό είναι αποτέλεσμα του ανακατέματος μερικών γλειφιτζουριών. Το ελατήριο ξεπηδάει από ένα παλιό ρολόι του παππού που είχε χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του χρόνου. Η ράβδος που συγκρατεί τη σφύρα σχηματίζεται από ένα καλάμι που βγαίνει μέσα από ένα τενεκεδάκι κόκα κόλας, και το εξάρτημα για την τοποθέτηση του τυριού που ενεργοποιεί και την παγίδα εξαπολύεται από το καπάκι του μπουκαλιού μιας μπίρας. Όμως τα πράγματα δε συμβαίνουν με τον ίδιο τρόπο εκτός κάποιος καθοδηγήσει την πορεία.

Έγραφα αστεειευόμενος βέβαια, έχοντας την πεποίθηση ότι οι περισσότεροι άνθρωποι θα βλέπανε την ανοησία του να εμφανιστεί μια ποντικοπαγίδα από μια τυχαία συναρμολόγηση αντικειμένων που χρησιμοποιούνται για άλλους σκοπούς, Όμως οι Miller και Begley το πήραν πολύ στα σοβαρά.

Σε μια πιο τεχνική ροή του λόγου, ο Miller με ενθουσιασμό ανάγγειλε ότι μεικά συστατικά των ΜΑΠ βιοχημικών συστημάτων που συζήτησα έχουν άλλους ρόλους στο κύτταρο, όπως οι πρωτεΐνες των βλεφαριδίων τουμπουλίνη και δυνεΐνη.¹⁶³ Όμως εγώ ο ίδιος τα έχω σημειώσει στο κεφάλαιο 3 έγραψα ότι «μικροσωληνίσκοι υπάρχουν σε πολλά κύτταρα και

για να κάνουμε μια λειτουργική φάκα. Δε μας δείχνει αυτό ότι μπορούμε να έχουμε μια μη αναγώγιμα πολύπλοκη ποντικοπαγίδα από τμήματα που χρησιμοποιούνται για άλλους σκοπούς; Όχι, δεν το δείχνει αυτό. Το παράδειγμα αυτό είναι τεχνητό· όπως το χρονόμετρο του Robert Pennock που χαλάει για να δώσει ένα ρολόι, δεν μας αντανakλά την κατάσταση που θα περιμέναμε να αντιμετωπίσει τη Δαρβινική εξέλιξη. Το παράδειγμα αυτό παραβλέπει το γεγονός ότι λήφθηκαν αρχικά τα τμήματα από την ποντικοπαγίδα, και είχαν ήδη πάρει το κατάλληλο σχήμα για να εκτελέσουν τη δουλειά που κάνουν σε μια φάκα. Όμως δε θα περιμέναμε η εξέλιξη, να προσαρμοζε εκ των προτέρων τμήματα που χρησιμοποιούνται για έναν σκοπό σε έναν άλλο τελείως διαφορετικό, πολύπλοκο σκοπό. Για να δούμε τη δυσκολία, φανταστείτε ότι προσπαθείτε να συναρμολογήσετε μια ποντικοπαγίδα από μια πραγματική οδοντογλυφίδα και ένα πραγματικό βάρος για χαρτιά που θα τα αγοράζες σε ένα χαρτοπωλείο (χωρίς να κάνεις εκτεταμένες αλλαγές και έξυπνες παρεμβάσεις). Και η δυσκολία γίνεται ακόμη χειρότερη καθώς η πολυπλοκότητα του συστήματος αυξάνει πέραν από τις απλές ποντικοπαγίδες.

¹⁶² Begley 2004

¹⁶³ www.millerandlevine.com/km/evol/design1/article.htm

συνήθως χρησιμοποιούνται για απλά στηρίγματα της δομής, που σαν δοκοί στηρίζουν το σχήμα του κυττάρου¹⁶⁴. Επιπλέον οι κινητήριες πρωτεΐνες εμπλέκονται σε άλλες λειτουργίες του κυττάρου, όπως μεταφορά φορτίου από το ένα άκρο του κυττάρου στο άλλο.» Εν τούτοις, έδωσα έμφαση ότι οι άλλοι ρόλοι δε βοηθούν με τη μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα του βλεφαριδίου: «μια εξελικτική ιστορία του βλεφαριδίου θα πρέπει να μπορέσει να εμπεριέχει μια κυκλική πορεία, στην οποία θα προσαρμόζονται τμήματα που αρχικά χρησιμοποιούνταν για άλλους σκοπούς.» Και συνέχισα για να δείξω για ποιο λόγο οι έμμεσες πορείες ήταν πολύ απίθανες.¹⁶⁵

Οι οδοντογλυφίδες δεν εξηγούν τις ποντικοπαγίδες, και η τουμπουλίνη και δυνεΐνη δεν εξηγούν τα βλεφαρίδια. Ο ίδιος ο Miller δε μας προσφέρει κάποια σοβαρή Δαρβινική εξήγηση για το βλεφαρίδιο, όμως είναι ικανοποιημένος να αφήσει την υπόθεση του να στηριχτεί σε οδοντογλυφίδες.

«ΜΕΡΟΣ (Α)» ΚΑΙ «ΜΕΡΟΣ (Β)»

Σε μια βιβλιογραφική ανασκόπηση του *Μαύρου Κουτιού του Δαρβίνου* στο περιοδικό που εκδίδεται από τον MIT *Boston Review* ο εξελικτικός βιολόγος Allen Orr απέρριψε χωρίς δισταγμό τη λογική του Kenneth Miller ότι ίσως η οδοντογλυφίδα να μετατράπηκε σε ποντικοπαγίδα.

Εμείς ίσως να νομίζουμε ότι μερικά μέρη ενός μη αναγώγιμα περίπλοκου συστήματος να εξελίχθηκαν βήμα προς βήμα για κάποιον άλλο σκοπό και μετά στρατολογήθηκαν όλα μαζί για μια νέα λειτουργία. Όμως κι αυτό είναι απίθανο. Ίσως να ελπίζεις ότι το κουτί των ταχυτήτων του αυτοκινήτων σου θα σε βοηθήσει στο τμήμα του αερόσακου. Τέτοια πράγματα μπορεί να συμβούν πολύ, πολύ σπάνια, όμως σίγουρα δεν μας προσφέρουν μια γενική λύση στη μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα.¹⁶⁶

Παρόλα αυτά, ο Orr, ήταν σίγουρος ότι είδε έναν απλό τρόπο να λύσει το πρόβλημα της μη αναγώγιμης πολυπλοκότητας.

¹⁶⁴ Στην πραγματικότητα, οι μικροσωληνίσκοι είναι κατά πολύ πιο έξυπνοι από «απλά δομικά στηρίγματα»

¹⁶⁵ Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι υπάρχει μια λεπτή αλλά κρίσιμη διάκριση που έγραψε στο Behe M. J. (2004) “Irreducible Complexity: Obstacle to Darwinian Evolution,” (Μη αναγώγιμη Πολυπλοκότητα: Εμπόδια στη Δαρβινική εξέλιξη) στο Dembski W.A., και Ruse M, eds., *Debating Design: From Darwin to DNA (Συζητώντας για το Σχεδιασμό: Από το Δαρβίνο στο DNA)* Cambridge University Press, pp. 352-370 «Ας θεωρήσουμε ένα υποθετικό παράδειγμα όπου ομόλογες πρωτεΐνες σε όλα τα τμήματα μιας μη αναγώγιμης πολύπλοκης μοριακής μηχανής είχαν άλλες ατομικές λειτουργίες στο κύτταρο. Μπορεί άραγε να έχει συναρμολογηθεί το μη αναγώγιμα πολύπλοκο σύστημα από χωριστά συστατικά που αρχικά έκαναν τη δική τους λειτουργία όπως έχουν προτείνει μερικοί Δαρβινιστές; Δυστυχώς αυτή η εικόνα απλοποιεί πολύ τη δυσκολία που έχω συζητήσει το βιβλίο *Το Μαύρο Κουτί του Δαρβίνου* (Behe 1996, p. 53) Εδώ χαλάνε λίγο οι αναλογίες με τις φάκες, γιατί τα τμήματα ενός μοριακού συστήματος πρέπει να βρίσκουν αυτόματα το ένα το άλλο μέσα στο κύτταρο. Δεν μπορούν να συναρμολογηθούν με κάποιον ευφυή παράγοντα, όπως συμβαίνει με μια ποντικοπαγίδα. Για να βρουν το ένα το άλλο στο κύτταρο, τα αλληλεπιδρώντα τμήματα πρέπει να έχουν τέτοιο σχήμα στις επιφάνειες τους ώστε να ταιριάζει το ένα πολύ στενά με το άλλο, όπως εικονίζεται στην εικόνα 2. Όμως, αρχικά, οι διάφοροι παράγοντες που ενεργούν ατομικά, δε θα είχαν τις συμπληρωματικές επιφάνειες. Έτσι για όλες οι επιφάνειες που αλληλεπιδρούν θα έπρεπε να έχουν προσαρμοστεί πριν να μπορούν να λειτουργούν σε συνεργασία. Και μόνο τότε θα μπορούσε να εμφανιστεί η νέα λειτουργία του σύνθετου συστήματος. Έτσι, δίνω ισχυρή έμφαση, ότι παραμένει το πρόβλημα της μη αναγωγιμότητας, ακόμη παραμένει, ακόμη αν και οι ξεχωριστές πρωτεΐνες που είναι ομόλογες προς τα συστατικά του συστήματος, είχαν χωριστά και αρχικά τις δικές τους λειτουργίες.»

¹⁶⁶ Orr, H. A, (1996) “Darwin v. Intelligent Design (Again)” *Boston Review*, Dec/Jan.

Το κολοσσιαίο σφάλμα του Behe είναι ότι απορρίπτοντας αυτές τις δυνατότητες [δηλ. ότι απορρίπτοντας ένα τέτοιο φανταστικά τυχερό τυχαίο περιστατικό, την εξέλιξη της οδοντογλυφίδας σε ποντικοπαγίδα όπως του Ken Miller], συμπεραίνει ότι δεν υπάρχει Δαρβινική λύση. Όμως υπάρχει κάποια. Είναι η εξής: Ένα μη αναγώγιμο πολύπλοκο σύστημα μπορεί να οικοδομηθεί βαθμιαία με το να προστεθούν τμήματα που, ενώ αρχικά έδιναν κάποια πλεονεκτήματα, γίνονται — εξαιτίας κατοπινών μεταβολών—ουσιαστικά. Η λογική είναι πολύ απλή. Κάποιο τμήμα (Α) αρχικά κάνει κάποια δουλειά (και ίσως όχι πολύ καλά). Ένα άλλο τμήμα (Β) προστίθεται αργότερα γιατί βοηθά το Α.. Αυτό το νέο τμήμα δεν είναι ουσιαστικό, απλώς καλυτερεύει τα πράγματα. Όμως αργότερα, το Α (ή κάτι άλλο) ίσως μεταβληθεί με τέτοιο τρόπο ώστε το Β τώρα να γίνει απαραίτητο. Συνεχίζεται αυτή η διαδικασία καθώς κι άλλα τμήματα ταιριάζονται μέσα στο σύστημα. Και στο τέλος της ημέρας, μπορεί να απαιτούνται πολλά τμήματα.¹⁶⁷

Έτσι λοιπόν, ο Orr νομίζει, ότι αντίθετα με το επιχείρημα μου, ένα μη αναγώγιμο πολύπλοκο σύστημα μπορεί πράγματι να παραχθεί άμεσα. Θα είχε ένα πολύ περιορισμένο επιχείρημα αν περιόριζε τη σκέψη του σε κάτι που να είναι πολύ απλό, όπως ένα σωρό από πέτρες. Αν ένας ψηλότερος σωρός ήταν μια καλύτερευση (για να ενεργεί ως ένα μεγαλύτερο φράγμα) τότε βάζοντας πέτρες από πάνω από τις άλλες, θα ήταν ευεργετικό. Όμως αφαιρώντας μια πέτρα από τον πάτο μπορεί να κάνει το σωρό να καταρρεύσει, κι έτσι ένας θα μπορούσε να πει ότι με ένα όχι και τόσο ενδιαφέρον νόημα, ότι ο σωρός ήταν μη αναγώγιμος, αλλά όμως ότι χτίστηκε βαθμιαία πέτρα με πέτρα. Παρόλα αυτά, το αφηρημένο επιχείρημα του Orr δε λέει απολύτως τίποτε για τα συγκεκριμένα είδη παραδειγμάτων που ανέφερα, ή που συνήθως συμβαίνουν στο κύτταρο, όπου διάφορα είδη μερών πρέπει να επενεργούν το ένα στο άλλο. Τι ακριβώς είναι αυτό το θαυμάσιο «μέρος (Α)» που θα επενεργούσε — όπως μια ποντικοπαγίδα ή ένα μαστίγιο; Και τι είναι το «μέρος (Β)» που θα ερχόταν για να το βοηθήσει; Πώς θα μπορούσε να εκφράσει τις λεπτομέρειες για το φανταστικό του μονοπάτι; Το εκπληκτικό είναι — ότι ο Orr δεν έχει τίποτε να πει είτε για την ποντικοπαγίδα είτε για οποιοδήποτε από τα βιοχημικά παραδείγματα από το *Μαύρο Κουτί του Δαρβίνου*. Προφανώς του έχει απομείνει μια Δαρβινική λύση που παραμένει βουβή, σε πραγματικά βιολογικά μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα.¹⁶⁸

Όπως τους Robert Pennock και τον Kenneth Miller, ο Allen Orr φαίνεται να ενδιαφέρεται μόνο για να διωχτεί από τη βιολογία το φάντασμα του ευφυούς σχεδιασμού, παρά να

¹⁶⁷ Orr.

¹⁶⁸ Σε ένα από τα πολλά παραδείγματα Δαρβινικών θαλάμων που παράγουν ηχώ, στον *Πύργο της Βαβέλ* (*Tower of Babel*) ο Robert Pennock εγκρίνει σε μια αναφορά του τη λογική του Orr για τα υποθετικά «μέρος (Α)» και «μέρος (Β)», όμως είναι εξίσου σιωπηλός στο να εκφράσει πώς εφαρμόζεται μια τέτοια λογική σε πραγματικές ποντικοπαγίδες ή σε βιοχημικά παραδείγματα.

Μια προσπάθεια ενός γελοιογράφου για να δομήσει βαθμιαία μια ποντικοπαγίδα ενώ ταυτόχρονα διαγερει από την αρχή σταθερή τη λειτουργία της παγίδευσης ποντικών, παρουσιάστηκε στο διαδίκτυο πό τον βιολόγο John McDonald του Πανεπιστημίου του Delaware. Όμως όπως το έδωσα σε μια απάντηση, η προσπα΄θεια στηριζόταν σε ευφυή καθοδήγηση, που είναι αναντίστοιχη για οποιοδήποτε Δαρβινικό ισχυρισμό. Ένας θα μπορούσε να ρωτήσει, αν είναι τόσο δύσκολο να δούμε πως θα μπορούσε να συναρμολογηθεί μια απλή ποντικοπαγίδα με μια σειρά από μη καθοδηγούμενα μικρά βήματα, πόσο πιο δύσκολο θα ήταν να συναρμολογήσουμε τον καταπληκτικά πιο περίπλοκο μοριακό μηχανισμό του κυττάρου; (Μια κινούμενη εκδοχή βρίσκεται στο <http://udel.edu/~mcdonald/mousetrap.html>. Η αρχική του εκδοχή είναι στο <http://udel.edu/~mcdonald/oldmousetrap.html>. Η απάντηση μου που δίνει με λεπτομέρειες την εμπλοκή μιας ευφυΐας βρίσκεται στο www.arn.org/docs/behe/mb_mousetrapdefended.htm)

εμπλακεί σοβαρά με το πρόβλημα που τόνισα με τον όρο μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα. Έτσι αν μπορεί κανείς να καλύψει την ενοχλητική κατάσταση με λόγια όπως τα απίθανα «μέρος (Α)» και «μέρος (Β)», τότε αυτό είναι αρκετό—δε χρειαζόμαστε περισσότερη εξήγηση. Η αρχική κριτική του Orr γράφτηκε το 1996. Εννιά χρόνια αργότερα έγραψε μια μακριά πραγματεία για το περιοδικό *The New Yorker* όπου επανέλαβε την ίδια απροσδιόριστη και υποθετική εξήγηση.¹⁶⁹ Σε εννέα χρόνια δεν έγινε καμία πρόοδος. Προφανώς μερικοί θέλουν να πληρώσουν αυτό το τίμημα, και ακόμη περισσότερα για να κλείσουν τα μάτια τους στο σχεδιασμό.

ΤΟΝΙΣΤΕ ΤΟ ΘΕΤΙΚΟ

Επιπρόσθετα στη σύγχυση για την έννοια της μη αναγώγιμης πολυπλοκότητας, μερικοί δυσανεκτικοί κριτικοί, έχουν εκφράσει μια σύγχυση για το θετικό επιχείρημα του ευφυούς σχεδιασμού, ή έχουν αναρωτηθεί μεγαλόφωνα αν υπάρχει τέτοιο πράγμα. Είναι άραγε το επιχείρημα, όπως κάποιοι το παρουσίασαν, σαν μια καρικατούρα, ότι δεν γνωρίζουμε πως εξηγεί ο Δαρβινισμός τη βιολογική πολυπλοκότητα κι έτσι με αφέλεια περνάμε σε συμπεράσματα για σχεδιασμό; Είναι άραγε ένα «επιχείρημα από άγνοια;»¹⁷⁰ Όχι βέβαια. Όπως έγραψα στο 9^ο κεφάλαιο, ο σχεδιασμός γίνεται αντιληπτός ως μια *ε-σκεμμένη διάταξη των μερών*. Αν το δούμε με αυτόν τον τρόπο, τότε τα πολύπλοκα συστήματα όπως οι ποντικοπαγίδες και τα μαστίγια και τα δυο υπηρετούν ως αρνητικά επιχειρήματα κατά των «σταδιακών» εξηγήσεων, όπως του Δαρβίνου και ως θετικά επιχειρήματα για το σχεδιασμό. Το αρνητικό επιχείρημα είναι ότι αυτά τα αλληλεπιδραστικά συστήματα, αντιστέκονται στις εξηγήσεις που επικαλούνται μικρά βήματα, όπως αυτά που μας κάνει να περιμένουμε ένα Δαρβινικό μονοπάτι. Το θετικό επιχείρημα είναι ότι τα τμήματα τους φαίνονται ότι εξυπηρετούν ένα σκοπό, που αυτός είναι και ο τρόπος για να ανιχνεύσουμε ένα σχεδιασμό.

Επιτρέψτε μου να ενισχύσω εδώ το θετικό επιχείρημα με τις παρατηρήσεις κάποιου άλλου που ενδιαφέρεται πολύ για την εμφάνιση του ευφυούς σχεδιασμού στη ζωή, «Η Βιολογία είναι η μελέτη των περίπλοκων πραγμάτων που δίνουν την εντύπωση ότι έχουν σχεδιαστεί για κάποιο σκοπό.» Έτσι μίλησε ο Richard Dawkins στην πρώτη σελίδα του πρώτου κεφαλαίου της κλασικής του υπεράσπισης του για το Δαρβινισμό *Ο τυφλός Ωρολογοποιός*. Επιτρέψτε μου να επαναλάβω ότι ο Dawkins λέγει ότι αυτός είναι ο *ορισμός* της Βιολογίας— η μελέτη των πραγμάτων που δίνουν την εντύπωση ότι έχουν σχεδιαστεί. Ο Dawkins με συνέπεια και με μια καθαρή παρουσίαση διατύπωσε το θετικό επιχείρημα για σχεδιασμό στη βιολογία, που είχε βέβαια το σκοπό να γκρεμίσει. Τι υπάρχει στα έμβια όντα που τα κάνει να φαίνονται ότι έχουν σχεδιαστεί, ακόμη και σε έναν ρωμαλέο Δαρβινιστή όπως τον ίδιο; Ο σχεδιασμός δεν είναι κάποιο συμπέρασμα που βγάζουμε έλλειψη κάποιου άλλου, ούτε βασίζεται, σε ας πούμε κάποιο δικό μας ακαθόριστο συναίσθημα ζεστασιάς που νιώθουμε βλέποντας ένα όμορφο δειλινό. Μάλλον, όπως λέει ο Dawkins, είναι αυτό που συμπεραίνουμε όταν ερχόμαστε σε επαφή με τον εσωτερικό μας μηχανισμό:

¹⁶⁹ «Όμως οι βιολόγοι έχουν δείξει ότι επίσης είναι δυνατά άμεσα μονοπάτια για την μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα. Υπόθεσε ότι ένα μέρος προστίθεται σε ένα σύστημα απλώς γιατί το μέρος αυτό καλυτερεύει την λειτουργία του συστήματος· αυτό το μέρος στο σημείο αυτό δεν είναι ουσιαστικό για τη λειτουργία.» Orr, H.A. Devolution (2005) *The New Yorker*, May 30. Προφανώς θεωρώντας ότι το περιοδικό έχει ένα λαϊκό αναγνωστικό κοινό δεν έγραψε τους όρους «μέρος (Α)» και «μέρος (Β)».

¹⁷⁰ Blackstone N. W. (1997) “Argumentum ad Ignorantium,” *Quarterly Review of Biology*” 72: 445-447

Ίσως να πούμε ότι ένα έμβιο ον ή όργανο είναι καλά σχεδιασμένο αν έχει χαρακτηριστικά που ένας ευφυής και με πολλές γνώσεις μηχανικός θα έχει οικοδομήσει μέσα του για να πετύχει κάποιον λογικό σκοπό, όπως το πέταγμα, την κολύμβηση, την όραση... Δεν είναι αναγκαίο να υποθέσουμε ότι ο σχεδιασμός ενός σώματος ή ενός οργάνου είναι ο καλύτερος δυνατός που θα μπορούσε να έχει σκεφτεί ένας μηχανικός... Όμως οποιοσδήποτε μηχανικός μπορεί να αναγνωρίσει ότι ένα σώμα έχει σχεδιαστεί, ακόμη και ότι έχει άσχημα σχεδιαστεί, για κάποιον σκοπό, και ότι μπορεί συνήθως να εξάγει ποιος ήταν ο σκοπός του απλώς κοιτάζοντας στη δομή του αντικειμένου.¹⁷¹

Με άλλα λόγια, συμπεραίνουμε το σχεδιασμό από τη *φυσική ένδειξη*, όταν βλέπουμε έναν αριθμό στοιχείων που συνεργάζονται μεταξύ τους για να πετύχουν μια αναγνωρίσιμη λειτουργία— *μια εσκεμμένη διάταξη των μερών*.

Ο Dawkins αναγνωρίζει χωρίς κάποια δυστροπία και χωρίς να λέει ότι υπάρχει κάποια αδύναμη εντύπωση για σχεδιασμό στη ζωή· επιμένει ότι η εμφάνιση του σχεδιασμού που ο ίδιος την αποδίδει σε φυσική επιλογή είναι *συντριπτική*.

«Όμως τα ζωντανά αποτελέσματα της φυσικής επιλογής στη συντριπτική πλειοψηφία μας δίνουν την εντύπωση της εμφάνισης σχεδιασμού σαν να την έκανε ένας μάστορας ωρολογοποιός, μια εντύπωση που την που μας δίνει την ψευδαίσθηση του σχεδιασμού και της οργάνωσης.»¹⁷²

Αυτό ακριβώς το θετικό επιχείρημα για το σχεδιασμό βλέπει ο Dawkins: (1) βασίζεται στη φυσική διευθέτηση των μερών, όπου τα μέρη συνεργάζονται για να εκπληρώσουν μια λειτουργία· (2) είναι *συντριπτικό*, και επειδή ητο θετικό επιχείρημα για το σχεδιασμό είναι πραγματικά *συντριπτικό*, απαιτεί συγκριτικά λιγότερη εξήγηση. Όμως από την άλλη πλευρά, πιο πολλή προσοχή απαιτείται για να γίνει ξεκάθαρο γιατί η τυχαία μετάλλαξη και η φυσική επιλογή, ειδικά στο μοριακό επίπεδο, δεν είναι η ισχυρή εξήγηση της ζωής που τόσο συχνά διαφημίζεται ότι είναι — ο *βηματισμός* του Richard Dawkins—πράγμα που είναι γιατί το κύριο μέρος τους *Μαύρου Κουτιού του Δαρβίνου* αφιερώνεται σ' αυτά. Όμως όταν φθάνουμε στο τέλος του βιβλίου βλέπουμε: ότι υπάρχει μικρή ένδειξη που να δείχνουν πως μπορούν οι Δαρβινικές διαδικασίες να εξηγήσουν την περίπλοκη πολυπλοκότητα του μοριακού μηχανισμού· ότι υπάρχει ένα τρομακτικό δομικό εμπόδιο (μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα) στη σκέψη ότι ένας τέτοιος μηχανισμός είναι πιο συντριπτική στο μοριακό επίπεδο από ότι στα ανώτερα επίπεδα στη βιολογία.

Εδώ δίνεται σε μεγάλη συντομία το επιχείρημα του σχεδιασμού: (1) Συμπεραίνουμε σχεδιασμό όταν τα μέρη εμφανίζονται να είναι διευθετημένα για να εκπληρώνουν μια λειτουργία. (2) Η δύναμη του συμπερασμού είναι ποσοτική και εξαρτάται από τις ενδείξεις· όσο περισσότερα τα μέρη, και όσο πιο πολύ περίπλοκη και πιο εκλεπτυσμένη είναι η λειτουργία, τόσο πιο ισχυρό είναι το συμπέρασμα για το σχεδιασμό. Με αρκετές ενδείξεις, η πεποίθησή μας για το σχεδιασμό μπορεί να προσεγγίζει τη βεβαιότητα. Αν διασχίζοντας ένα λιβάδι πέσουμε τυχαία σε ένα ρολόι (έστω κι ένα χρονόμετρο), κανείς δε θα αμφιβάλει — όπως είπε σωστά ο Paley— ότι το ρολόι σχεδιάστηκε· θα είμαστε τόσο σίγουροι γι αυτό όσο για οτιδήποτε άλλο στη φύση. (3) Διάφορες πλευρές της ζωής μας γεμίζουν με δέος με το να δείχνουν ότι υπάρχει σχεδιασμός. (4) Αφού δεν έχουμε άλλη πειστική εξήγηση για αυτήν την ισχυρή ένδειξη για σχεδιασμό, παρ' όλους τους ισχυρισμούς του Δαρβινισμού,

¹⁷¹ Dawkins R., (1986) *The Blind Watchmaker* Norton, new York, p. 21.

¹⁷² Dawkins

τότε κατά ένα λογικό τρόπο δικαιολογούμε να συμπεράνουμε ότι τα μέρη της ζωής είχαν πραγματικά σχεδιαστεί από έναν ευφυή παράγοντα.

Ένα κρίσιμο σημείο που συχνά το παραβλέπουμε είναι ότι η συντριπτική εμφάνιση του σχεδιασμού πολύ ισχυρά επηρεάζει το φορτίο της απόδειξης: στην παρουσία ενός εμφανούς σχεδιασμού, η ευθύνη για την απόδειξη βρίσκεται σ' αυτόν που αρνείται την ξεκάθαρη ένδειξη που έχει μπροστά στα μάτια του. Για παράδειγμα, αν κάποιος έκανε την εικασία ότι τα αγάλματα του νησιού του Πάσχα, ή οι προτομές στο Mt. Rushmore ήταν το αποτέλεσμα επενέργειας φυσικών δυνάμεων, θα είχε το σημαντικό φορτίο του να αποδείξει τον ισχυρισμό που προέβαλε. Σ' αυτά τα παραδείγματα, ο καθένας μπορεί να δει τη θετική ένδειξη για σχεδιασμό καθώς υπάρχει μια σκόπιμη διευθέτηση των μερών για να παράγουν τις μορφές. Κάθε πιθανή και υποθετική ένδειξη για τους ισχυρισμούς ότι οι μορφές ήταν το αποτέλεσμα φυσικών—χωρίς ευφυΐα δυνάμεων (ίσως ότι η διάβρωση τις σχημάτισε, με κάποιες υποθετικές χαοτικές δυνάμεις) θα έπρεπε ξεκάθαρα να δείξει ότι αυτές οι φυσικές και χωρίς ευφυΐα διαδικασίες θα μπορούσαν πραγματικά να κάνουν τη δουλειά. Στην απουσία μιας τέτοιας καθαρής απόδειξης, ένα οποιοδήποτε πρόσωπο θα είναι λογικά δικαιωμένο να προτιμήσει την εξήγηση του σχεδιασμού.

Νομίζω ότι αυτοί οι παράγοντες εξηγούν σε ένα μεγάλο βαθμό το γιατί, και με δυσφορία των Δαρβινικών βιολόγων, η πλειονότητα του κοινού, απορρίπτει τις μη ευφυείς διαδικασίες ως επαρκείς εξηγήσεις για τη ζωή. Οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται την ισχυρή εμφάνιση του σχεδίου της ζωής, και δεν εντπωσιάζονται με τα Δαρβινικά επιχειρήματα και παραδείγματα, και φθάνουν στα δικά τους συμπεράσματα, λέγοντας ευχαριστούμε πολύ. Χωρίς ισχυρές και πειστικές ενδείξεις ότι ο Δαρβίνος μπορεί να κάνει το κόλπο, το κοινό είναι αρκετά λογικό δέχεται το σχεδιασμό.¹⁷³

ΑΚΟΜΗ ΚΑΝΟΥΜΕ ΕΙΚΑΣΙΕΣ ΜΕΤΑ ΤΟΣΑ ΧΡΟΝΙΑ

Την περασμένη δεκαετία *Το Μαύρο Κουτί του Δαρβίνου* έχει απερίφραστα καταγγελεθεί από επίσημους επιστημονικούς κύκλους. Σχεδόν δεν υπάρχει κάποιος επαγγελματικό-επιστημονικός-οργανισμός που να μην έχει εκδώσει κάποια επείγουσα κλήση στα μέλη του να βοηθήσουν την αντίσταση στην εξάπλωση της ολέθριας ιδέας για τον ευφυή σχεδιασμό της ζωής.¹⁷⁴ Έτσι ένα πολύ καλό τμήμα της επιστημονικής κοινότητας έχει υψηλά κίνητρα για να δυσφημίζει το σχεδιασμό. Βέβαια θα ήταν ο καλύτερος τρόπος για να απαξιωθεί ο σχεδιασμός, είναι να δειχτεί ότι η Δαρβινική διαδικασία πραγματικά μπορεί να κάνει όσα ισχυρίζονται όλοι οι υποστηρικτές της—δηλαδή να εξηγήσει όλη τη λειτουργική πολυπλοκότητα της μοριακής βάσης της ζωής. Παρόλα αυτά, παρά τα καυτερά κίνητρα, και παρά την τεράστια πρόοδο που είχε η βιοχημεία την τελευταία δεκαετία στο να περιγράψει πως λειτουργεί η ζωή, δεν έγιναν σοβαρές προσπάθειες για να εξηγηθούν με Δαρβινικούς όρους τα παραδείγματα που παρουσιάστηκαν ως παραδείγματα στο *Μαύρο Κουτί του Δαρβίνου*—μόνο μερικές ακόμη εικονολογίες. Αν και οι οπαδοί του Δαρβίνου στο διαδίκτυο ήταν πολύ απασχολημένοι με το να φαντάζονται όλους τους τρόπους από μεταμορφώσεις, οι σοβαρές Δαρβινικές εξηγήσεις δημοσιεύονται σε επιστημονικά περιοδικά. Ας κοιτάξου-

¹⁷³ Βέβαια υπάρχουν και άλλοι παράγοντες εκτός από την ποιότητα της ένδειξης, όπως η κοινωνική πίεση, που μπορούν να επηρεάσουν την κρίση ενός ατόμου. Στις επιστημονικές και στις ακαδημαϊκές κοινότητες ως σύνολο υπάρχει μια ισχυρή κοινωνική πίεση για να απορριφθούν εκ των προτέρων οι εξηγήσεις της ζωής για σχεδιασμό. Η κοινωνική κατάσταση είναι αρκετά διαφορετική για το γενικό κοινό.

¹⁷⁴ Το Εθνικό Κέντρο για Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες (National Center for Science Education), ένας οργανισμός που δρα ως Δαρβινικό μαντρόσκυλο— διατηρεί μια συνοπτική λίστα στο www.ncsweb.org όπου περιέχει καταδίκες που έχουν επιδέξια κατηγοριοποιηθεί σε ομάδες.

με μερικά από τα πρόσφατα άρθρα επιστημονικών περιοδικών που συζητούν τα παραδείγματα από τα κεφάλαια 3 μέχρι 7.

Το πρώτο παράδειγμα για ένα μη αναγώγιμο πολύπλοκο σύστημα που συζητήθηκε στο 3^ο κεφάλαιο είναι το βλεφαρίδιο, που είναι μια φοβερά περίπλοκη μοριακήμηχανή με εκατοντάδες πρωτεϊνικά τμήματα. Το 1996 μόνο λίγες εργασίες δημοσιεύθηκαν προσπαθώντας να εξηγήσουν για το το βλεφαρίδιο που ακόμη και με τους πιο θολούς εξελικτικούς όρους. Όμως μια σοβαρή Δαρβινική εξήγηση για μια τέτοια καλαίσθητη μηχανή — η οποία θα έχει πραγματικά αναζητήσει να απαντήσει στο ερώτημα πως θα έχει εξελιχθεί αυτή η συσκευή — και θα έχει να ασχοληθεί με μυριάδες κρίσιμες λεπτομέρειες που επιτρέπουν να λειτουργεί το βλεφαρίδιο, και να δείξουν πως θα μπορούσε να εμφανιστεί με μια λογική πιθανότητα με τη βοήθεια τυχαίων μεταλλάξεων και με τη φυσική επιλογή, στην οποία κάθε μικροσκοπικό μεταλλακτικό βήμα θα καλυτερεύει το προηγούμενο, χωρίς να προκαλέσει κάποια προβλήματα που να καταστρέφουν την αξία της, και χωρίς να αλλάζει προσανατολισμό σε δομές που ναίμεν θα δίνουν προσωρινά αλλά αδιέξοδα πλεονεκτήματα. Θα χρειαζόταν τουλάχιστο η ίδια ποσότητα εργασίας για να φανταστεί κανείς, πως μια δομή θα μπορούσε να εξελιχθεί από τυχαίες μεταλλάξεις και φυσική επιλογή, με όση χρειάστηκε για να μπορέσουμε να καταλάβουμε για το πως δουλεύει πρώτ' από όλα. Ως απόλυτο ελάχιστο θα περιμέναμε να εμφανιστούν εκατοντάδες εργασίες — και θεωρητικές και πειραματικές — και πολλές ανασκοπήσεις, βιβλία, συναντήσεις, και πολλά περισσότερα, όλα αφιερωμένα στο ερώτημα πως μια τέτοια περίπλοκη δομή θα μπορούσε να είχε εξελιχθεί με ένα Δαρβινικό τρόπο.

Στην τελευταία δεκαετία η επιστημονική κοινότητα έχει κάνει θαυμάσια πρόοδο στην κατανόηση του πως λειτουργεί το βλεφαρίδιο, και σ' αυτά περιλαμβάνεται ο απροσδόκητος του ρόλος στην ασθένεια.¹⁷⁵ Όμως, στα ίδια χρόνια — παρόλο που βρέθηκαν οι ακολουθίες του ενός γονιδίου μετά το άλλο γονίδιο, ακόμη 'ξεθάφτηκαν' και νέα επίπεδα πολυπλοκότητας — δεν αναπτύχθηκε τίποτε που έστω και απομακρυσμένα να προσεγγίζει μια εξελικτική εξήγηση του βλεφαριδίου. Η Δαρβινική θεωρία έχει παραμείνει νεκρή στο νερό. Ο πιο γρήγορος τρόπος για να δώσουμε μια εικόνα για το σημείο αυτό είναι ο ίδιος ο τίτλος απ' ο μια πρόσφατη εργασία για το βλεφαρίδιο «*Εικασίες για την εξέλιξη των 9+2 οργανιδίων και του ρόλο του κεντρικού ζεύγους των μικροσωληνίσκων.*» [προστέθηκε η έμφαση, και εδώ και πιο κάτω] Με άλλα λόγια, απλώς έχουμε ενδιαφέρουσες εικασίες, γοητευτικές υποθέσεις, από τις οποίες δεν υπήρχε ποτέ έλλειψη στους Δαρβινικούς κύκλους. Η περίληψη του άρθρου δείχνει τον καθοδηγητικό ρόλο της φαντασίας στην ιστορία:

Πρόσφατες πρόοδοι... υποδεικνύουν ότι αυτά τα οργανίδια πιθανόν να έχουν εξυπηρετήσει πολλαπλούς ρόλους στα πρώτα ευκαρυωτικά κύτταρα... *εικάζουμε* ότι τα πρωτοβλεφαρίδια ήταν οι κύριοι καθοριστές της πολικότητας του κυττάρου και και κατεύθυναν την κινητικότητα στα πρώτα ευκαρυωτικά κύτταρα... προμήθευαν έναν εκλεπτυσμένο κατευθυντικό έλεγχο... Αυτό το άρθρο παρουσιάζει *υποθετικά* βήματα σ' αυτή την εξελικτική διαδικασία, και εξετάζουν τι μπορεί να στηρίξει αυτές τις *υποθέσεις*.¹⁷⁶

¹⁷⁵ Pazour G.J., and Rosenbaum J.I. (2002) "Intraflagellar Transport and Cilia dependent Diseases," *Trends in Cellular Biology* 12:551-555.

¹⁷⁶ Mitchell D. R. (2004) "Speculations on the Evolution of 9+2 organelles and the Role of Central Pair Microtubules." *Biol. Cell.*, 96:691-696

Η λέξη «επιλογή» δε φαίνεται πουθενά στο άρθρο, ούτε και η φράση «φυσική επιλογή». Ούτε και η «μετάλλαξη» ούτε βέβαια και η «τυχαία μετάλλαξη» ούτε αναφέρεται καμία ειδική μετάλλαξη. Όλες οι επιστήμες αρχίζουν με εικασίες, μόνο ο Δαρβινισμός συνήθως τελειώνει με αυτήν.¹⁷⁷

«ΤΡΙΑ ΔΑΡΒΙΝΙΚΑ ΑΞΙΩΜΑΤΑ»

Η κατάσταση για άλλα παραδείγματα που αναφέρονται στο *Μαύρο Κουτί του Δαρβίνου* είναι αρκετά όμοια με αυτή που ισχύει για το βλεφαρίδιο. Το βακτηριακό μαστίγιο, το οποίο έχει μια εντυπωσιακή μηχανική εμφάνιση (όπως φαίνεται στις πρώτες σελίδες) είναι η πιο γνωστή εικόνα που χρησιμοποιείται ως παράδειγμα για το επιχείρημα του σχεδιασμού, έχει ανασκοπηθεί από τον εξέχοντα βιοχημικό του πανεπιστημίου Yale, Robert Macnab για το *Annual Review of Microbiology* πριν από τον πρόωρο του θάνατο το 2003. Στο άρθρο του με 7000 λέξεις, δεν αναφέρει την «εξέλιξη» ή κάτι από τα παράγωγα της εκτός από μια φορά, στην τελευταία πρόταση. Αναφερόμενος στο μαστίγιο και σε μια άλλη δομή που ονομάζεται τύπου III εκκριτικό σύστημα (TISS), που με κάποιο τρόπο του μοιάζει, ο Macnab παρατήρησε: «Καθαρά φαίνεται, πως η φύση έχει βρει δυο καλές χρήσεις γι αυτή την συσκευή με την εκλεπτυσμένη μορφή. *Πως έχουν εξελιχθεί, είναι ένα άλλο θέμα* [η έμφαση προστέθηκε], αν και έχει προταθεί ότι το μαστίγιο είναι η πιο αρχαία συσκευή...»¹⁷⁸. Δεν εμφανίζεται καθόλου η φράση «φυσική επιλογή».

Η ανακάλυψη ότι το μαστίγιο είναι πιο πολύπλοκο από όσο υποτέθηκε, κι ότι επίσης περιέχει έναν απρόβλεπτο, εκλεπτυσμένο μηχανισμό που αντλεί πρωτεΐνες, και ότι δομές που θυμίζουν την πρωτεϊνική αντλία μπορούν να υπάρχουν ανεξάρτητα, έκανε τις Δαρβινικές καρδιές να χτυπήσουν έντονα. Η αθώα αυτή αισιοδοξία βασιζόταν στη ρητορική αναδιτύπωση του Ken Miller για τη μη αναγώγιμη πολυπλοκότητα, που έθεσε ως διάταγμα ότι τα μέρη του ΜΑΠ συστήματος δε θα μπορούσαν να έχουν άλλη λειτουργία. Αφού ένα υποσύνολο του μαστιγίου, φάνηκε ότι μπορεί να λειτουργεί ως μέρος του TISS, τότε αυτό παραιβίαζε το «δόγμα» του Miller και χαροποίησε μερικούς από τους πιο άσκεφτους Δαρβινιστές.

Όπως έχω παρατηρήσει πιο πάνω, δεν υπάρχει λόγος γιατί τα μέρη ή συναρμολογημένα υποσύνολα ενός μη αναγώγιμα πολύπλοκου συστήματος, δεν μπορούν να έχουν μία ή περισσότερες από άλλες λειτουργίες, το παιχνίδι με τις λέξεις δεν μπορεί να μεταμφιεσθεί σε

¹⁷⁷¹⁷⁷ Συζητώντας ενάντια στον ευφυή σχεδιασμό στο βιβλίο του που έχει εκδοθεί το 1999 *Βρίσκοντας το Θεό του Δαρβίνου* (*Finding Darwin's God*), ο Ken Miller έδειξε προς τα βλεφαρίδια που είναι απλούστερα από το συνηθισμένο «9+2» βλεφαρίδιο που εικονίζεται στο Κεφάλαιο 3. Η υπονόηση ήταν ότι πιθανον τέτοιες δομές ίσως κατά κάποιο τρόπο υπηρετούν ως ενδιάμεσα στο δρόμο για το κανονικό βλεφαρίδιο. Εκτός που είναι ολοκληρωτικά θολό και εικοτολογικό (αφού βέβαια το βλεφαρίδιο αποτελείται από 200 μέρη), όμως η ιστορία δεν ταιριάζει με τα δεδομένα. Όπως αναφέρεται στο άρθρο που αναφέρεται πιο πάνω (Mitchell, 2004).

Όλα τα σύγχρονα βλεφαρίδια [τα ευκαρυωτικά, όχι τα βακτηριακά] και τα μαστίγια, είτε είναι κινητικά είτε όχι, είναι ξεκάθαρο ότι εξελίχθηκαν από τις 'εκδόσεις' 9+2. Τα σπάνια συναντούμενα κινητικά 14+0, 12+0, 9+0, 6+0, ή 3+0 αξονήματα ¼, και τα πολύ εξαπλωμένα, μη κινητικά 9+0 αξονήματα των μεταζώων, όλα προέρχονται από την απώλεια και τις μετατροπές από τα προγονικά οργανίδια 9+2.

Με άλλα λόγια, όπως το λιγότερο πολύπλοκο ρολόι του Robert Pennock που προέρχεται από τα πιο πολύπλοκα χρονόμετρα, ποικιλίες από λιγότερο πολύπλοκα βλεφαρίδια φαίνεται ότι προέρχονται από περισσότερο πολύπλοκα είδη από βλεφαρίδια. Δε χρειάζεται να πούμε ότι αυτό δεν είναι Δαρβινική εξήγηση, ούτε καν μια ακαθόριστη Δαρβινική εξήγηση, αν πούμε αξιωματικά, ότι κάτι λιγότερο λειτουργικό και απλούστερο προέρχεται από κάτι πιο πολύπλοκο και λειτουργικό.

¹⁷⁸ Manab R. M. (2003) "How Bacteria Assemble Flagella," *Annual Review Microbiology* 57:77-100

μια πραγματική εξήγηση. Ούτε το TISS, ούτε το μαστίγιο, ούτε κάποιες μεταβάσεις μεταξύ τους, θα μπορούσαν να έχουν μελετηθεί σοβαρά μέσα στο Δαρβινικό πλαίσιο στην επαγγελματική επιστημονική βιβλιογραφία. Το καλύτερο μέρος που μπορούμε να το δούμε είναι ένα άρθρο με τον τίτλο, «Βιοπληροφορική, γενομική και εξέλιξη μη μαστιγιακών τύπου III εκκριτικών συστημάτων: μια Δαρβινική προοπτική.»¹⁷⁹ Σ' αυτό μαθαίνουμε ότι «Ένα εκκριτικό σύστημα τύπου III, είναι μια πολύ καλά σχεδιασμένη [η έμφαση προστέθηκε] μοριακή αντλία, που ελέγχει την υδρόλυση του ATP κατά την εξαγωγή πρωτεϊνών από το βακτηριακό κυτόπλασμα μέσα και από τις δύο: και τις εσωτερικές και τις εξωτερικές μεμβράνες του περιπλάσματος..»

Όμως το άρθρο, απλά εξετάζει τα δεδομένα για την ακολουθία του DNA που εμφανίζονται καθώς αναλύεται η ακολουθία των γονιδίων. Αν και αυτά μπορούν να οδηγήσουν σε ενδιαφέρουσες εννοήσεις, όπως το εξηγώ στο 8^ο κεφάλαιο, ακόμη και κατ' αρχήν, μια σύγκριση των ακολουθιών δεν μπορεί να μας δείξει αν μια δομή εμφανίστηκε με τυχαία μετάλλαξη και φυσική επιλογή. Τα δεδομένα, όπως μαθαίνουμε θεωρούνται «στο φως τριών Δαρβινικών αξιωμάτων (1)Έχει σημασία η Εξέλιξη... (2)Έχει σημασία η ποικιλία....(3)Να περιμένεις ατέλειες...» [η έμφαση προστέθηκε]. Οι ακαθόριστοι αφορισμοί, όμως δεν είναι δεδομένα και η επιστήμη δεν προοδεύει αν τα μπερδεύουμε αυτά τα δύο.

Στο 6^ο κεφάλαιο του *Μαύρου Κουτιού του Δαρβίνου* περιγράφεται το περίπλοκο σύστημα ανοσίας και η πρόκληση που παρουσιάζει στο Δαρβινικό πλαίσιο. Στα 2003 εμφανίστηκε ένα άρθρο που έφερνε τον πολλά υποσχόμενο τίτλο «Η προέλευση μέσα βαθμιαία επιλογή του συστήματος ανοσίας που βασίζεται σε αντισώματα»¹⁸⁰ Όποια ενδιαφέροντα πράγματα και αν είτε ως εικασίες για τη *βαθμιαία* εξέλιξη, δεν είτε τίποτε για *Δαρβινική* εξέλιξη.¹⁸¹

Στην πραγματικότητα ούτε το όνομα του Δαρβίνου, ούτε ένα παράγωγο της λέξης εμφανίζεται στο άρθρο. Ούτε εμφανίζεται η φράση «φυσική επιλογή», μια φορά χρησιμοποιείται η «επιλογή». Η λέξη «μετάλλαξη» εμφανίζεται δύο φορές, όμως δεν καθορίζονται ποιες είναι οι θεωρούμενες μεταλλάξεις. Οι λέξεις που συναντιούνται πιο συχνά περιλαμβάνουν «πιθανόν», «φανταστείτε», «ίσως να έχουν», «πιθανόν να έχουν», και ούτω καθ' εξής. Στο τέλος του άρθρου οι συγγραφείς προτείνουν διάφορα πειράματα που μπορούν να γίνουν σε κάποιο ακαθόριστο μέλλον, αλλιώς, λένε ότι το σενάριο τους θα «παραμείνει απελπιστικά στον κόσμο της απλής εικονολογίας.» Με άλλα λόγια οι ίδιοι οι συγγραφείς αναγνωρίζουν ότι το άρθρο τους είναι εικονολογικό. Όλες οι επιστημονικές εξηγήσεις μπορούν να αρχίζουν με εικασίες, όμως δεν μπορούν να τελειώνουν μ' αυτές.

Στο 4^ο κεφάλαιο, γίνεται μια συζήτηση του καταρράχτη της πήξης του αίματος. Το 2003 ο Russell Doolittle και ένας συνεργάτης του δημοσίευσαν μια εργασία με τίτλο «Η εξέλιξη της θρόμβωσης του αίματος των σπονδυλωτών όπως θεωρείται από μια σύγκριση του ιχθύος puffer και των γονιδίων για sea squirt». Όπως μας δείχνει ο τίτλος, απλά συγκρίνει ακολουθίες. Όπως τόνισα στο 4^ο κεφάλαιο πριν δέκα χρόνια, η σύγκριση των ακολουθιών, μπορεί να μας δώσει μια ενδιαφέρουσα γενική εικόνα του ποιες πρωτεΐνες ήρθαν πρώτες και δεύτερες, και ποιες σχετίζονται με ποιες, όμως ούτε καν δεν μπορεί να ξεκινήσει να μας τι είναι αυτό που καθοδηγεί τη διαδικασία. Ένα άλλο άρθρο εμφανίστηκε στην ίδια χρονιά με

¹⁷⁹ Pellen M. J., Beatson S. A., and Bailey C. M. (2005), "Bionformatics, Genomics and Evolution of Non-flagellar Type III Secretion Systems: A Darwinian Perspective," *FEMS Microbiol. Rev.* 29:201-229

¹⁸⁰ Klein J., and Nikolaidis N. (2005), "The descent of the antibody-based immune system by gradual evolution," *Pro. National Academy of Science USA* 102:169-174

¹⁸¹ Οι συγγραφείς έχουν μια εκτεταμένη ιδέα για τη λέξη «βαθμιαία», χάρις στην οποία υπολογίζουν την πρώτη εμφάνιση μιας οποιασδήποτε κατηγορίας πρωτεϊνών ως επαρκή για να εξηγήσει οποιαδήποτε δραστηριότητα στην οποία εμπλέκεται ένα μέλος της κατηγορίας. Αυτό το είδος της εξήγησης είναι σα να λέμε ότι τα ελατήρια σε ένα στρώμα εξηγούν τα ελατήρια σε ένα ρολόι.

το ζουμερό τίτλο «Μοριακή εξέλιξη του δικτύου της πήξης του αίματος των σπονδυλών»¹⁸² και αυτό είναι απλώς μια άσκηση στη σύγκριση ακολουθιών, με πολύ λίγες παραγράφους από εκαασίες.

Σήμερα η κατάσταση παραμένει αναλλοίωτη όπς ήταν πριν δέκα χρόνια. Όπως έγραψα στο κεφάλαιο 8:

Δεν υπάρχει μια δημοσίευση στην επιστημονική βιβλιογραφία —σε έγκυρα επιστημονικά περιοδικά, ειδικά περιοδικά, ή βιβλία—που να περιγράφουν πως η μοριακή εξέλιξη για κάποιο πραγματικό, περίπλοκο, βιοχημικό σύστημα είτε συνέβη ή αν ποτέ θα μπορούσε να είχε συμβεί. Υπάρχουν διαβεβαιώσεις ότι συνέβη αυτή η εξέλιξη, όμως καμία δε στηρίζεται σε σχετικά πειράματα ή υπολογισμούς.

ΤΟ ΕΡΩΤΗΜΑ ΤΗΣ ΕΞΟΦΛΗΣΗΣ

Τα άρθρα που ανάφερα για το βλεφαρίδιο, το μαστίγιο, την πήξη του αίματος και τα συστήματα της ανοσίας είναι οι καλύτερες εργασίες που παρουσίασαν οι Δαρβινιστές και αφορούν την προέλευση των πολύπλοκων μοριακών μηχανισμών και που είναι διαθέσιμα από το 1996 στην επιστημονική βιβλιογραφία. Σε πρόσφατα άρθρα που στοχεύουν το γενικό κοινό, το επιχείρημα για σχεδιασμό γενικά το παρουσιάζουν σαν ένα σκιάχτρο, και το ερώτημα της εξόφλησης—δηλαδή ποια είναι η ένδειξη για την ισχύ της φυσικής επιλογής;¹⁸³ —δίνονται με πολύ σύντομο τρόπο. Το 2005 ο εξελικτικός βιολόγος Jerry Coyne του πανεπιστημίου του Σικάγο, έγραψε ένα άρθρο 14000 λέξεων με τίτλο «Η υπόθεση εναντίον του Ευφυούς Σχεδιασμού» για το περιοδικό *The New Republic*. Σ' αυτό το μακρύ άρθρο ο Coyne ασχολήθηκε με ποικιλία θεμάτων, από τη δίκη «των πιθήκων» Scopes, μέχρι τη χρήση της λέξης «θεωρία» στις Φυσικές Επιστήμες, στον Herny Morris και το Ινστιτούτο για Έρευνα της Δημιουργίας (Creation Research Institute), στο πουλί Κίβι της Νέας Ζηλανδίας που δεν μπορεί να πετάξει,. Και σ' όλο αυτό το χώρο παραχώρησε μόνο δύο προτάσεις για την ερώτηση της εξόφλησης, δηλ. την ένδειξη για την ισχύ της τυαίας μετάλλαξης και τη φυσική επιλογή:

¹⁸² Davidson C. J., Hirt R.P., Lal K., Snell Pl, Elgar G., Tuddenham E. G., and McVey J.H. (2003) “Molecular Evolution of the Vertebrate Blood Coagulation Network,” *Thromb Haemost* 89:420-428

¹⁸³ Μερικοί σχολιαστές έχουν ισχυριστεί ότι η εξελικτική θεωρία έχει προχωρήσει πέρα από το Δαρβίνο, καιότι επενεργούν στη βιολογία και άλλοι μηχανισμοί εκτός από τη φυσική επιλογή. Οι άλλοι όμως μηχανισμοί, είναι άσχετοι. Προσπαθώντας να εξηγήσει τον προφανή σχεδιασμό, μόνο η φυσική επιλογή έχει σημασία. Έδω ο ίδιος ο Jerry Coyne κάνει την εξής παρατήρηση:

Από το 1859, οι θεωρίες του Δαρβίνου έχουν αναπτυχθεί, και τώρα γνωρίζουμε ότι κάποια εξελικτική αλλαγή μπορείνα προκληθεί από δυνάμεις που είναι διαφορετικές από τη φυσική επιλογή. Για παράδειγμα, οι τυχαίες και μη προσαρμοστικές μεταβολές στις συχνότητες των διαφόρων γενετικών παραλλαγών – το γενετικό ανάλογο με το πείραμα της ρίψης του νομίσματος- έχουν παράγει εξελικτικές μεταβολές στις ακολουθίες του DNA. Όμως η επιλογή είναι η μόνη γνωστή εξελικτική δύναμη που μπορεί να παράγει το ταίριασμα ή προσαρμογή μεταξύ ενός οργανισμού και του περιβάλλοντος (ή μεταξύ οργανισμού και οργανισμού) που κάνει τη φύση να φαίνεται «σχεδιασμένη» [η έμφαση προστέθηκε]. Coyne, J. A.(2005), “The Case Against Intelligent Design. The Faith That Dare Not Speak Its Name,” *The New Republic*, August 22. (Η Υπόθεση εναντίον του ευφυούς σχεδιασμού. Η Πίστη που δεν τολμά να μιλήσει το όνομα της)

Οι βιολόγοι έχουν παρατηρήσει εκατοντάδες περιπτώσεις φυσικής επιλογής, αρχίζοντας με τα πολύ γνωστά παραδείγματα της βακτηριακής αντίστασης στα αντιβιοτικά, την αντίσταση των εντόμων στο DDT, και την αντίσταση του HIV στα αντιικά φάρμακα. Η φυσική επιλογή εξηγεί την αντίσταση των ψαριών και των ποοντικών στους θηρευτές με το να τα κάνει πιο καμουφλαρισμένα, και για την προσαρμογή των φυτών σε τοξικά ορυκτά που υπάρχουν στο έδαφος.¹⁸⁴

Όμως η αντίσταση στα αντιβιοτικά, η αντίσταση στο DDT και η αντίσταση του HIV στα φάρμακα, όλα αυτά ήταν γνωστά για δεκαετίες. Όλα τα παραδείγματα του Coyne ήταν πολύ καλά γνωστά όταν πριν από μια δεκαετία πρωτοεμφανίστηκε το *Μαύρο Κουτί του Δαρβίνου*, όλα αυτά περιλαμβάνουν μικρές, απλές μοριακές μεταβολές, και καμία από αυτές δε βοηθά στο να εξηγηθεί οποιοδήποτε από τα παραδείγματα του βιβλίου. Παρόλο αυτό το χώρο που είχε στη διάθεση του, αρνείται να εμπλακεί με τα πραγματικά επιχειρήματα του ευφυούς σχεδιασμού. Τι μας λέγει ο καθηγητής Coyne για τους εξελιγμένους μοριακούς μηχανισμούς; Ναι, σίγουρα, με δισταγμό συμφωνεί, «Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι πολλά βιοχημικά συστήματα είναι ‘αποθαρρυντικά’ πολύπλοκα.» Όμως μη πηδάς σε βιαστικά συμπεράσματα, γιατί «οι βιολόγοι αρχίζουν να παρέχουν εύλογα σενάρια για το πως τα «μη αναγώγιμα πολύπλοκα» μονοπάτια πιθανόν να έχουν εξελιχθεί [η έμφαση προστέθηκε].

Εύλογα σενάρια —όπως αυτά για το βλεφαρίδιο, το μαστίγιο και το σύστημα ανοσίας στα άρθρα που ανέφερα πιο πάνω. Στην ανασκόπηση του για το *Μαύρο Κουτί του Δαρβίνου* λίγο μετά την έκδοση του στο 1996 ο μικροβιολόγος James Shapiro του πανεπιστημίου του Σικάγο, διακήρυξε, «δεν υπάρχουν λεπτομερείς Δαρβινικές εξηγήσεις για την εξέλιξη των θεμελιωδών βιοχημικών ή κυτταρικών συστημάτων, μόνο μια ποικιλία από ευσεβείς εικασίες.»¹⁸⁵ Δέκα χρόνια αργότερα τίποτε δεν έχει αλλάξει. Πες τα ευσεβείς εικασίες ή πες τα εύλογα σενάρια—και τα δύο εννοούν έλλειψη πραγματικών απαντήσεων.

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Οι μελλοντικές προοπτικές για το σχεδιασμό είναι εξαιρετικές, γιατί δε στηρίζονται στις προτιμήσεις κάποιου προσώπου ή κάποιας ομάδας, αλλά στα δεδομένα. Η εμφάνιση της υπόθεσης του ευφυούς σχεδιασμού δεν οφείλεται σε κάτι που εγώ ή κάποιο άλλο πρόσωπο έχω πει ή γράψει, αλλά στη μεγάλη πρόοδο της επιστήμης στην κατανόηση της ζωής. Στις μέρες του Δαρβίνου, το κύτταρο θεωρούνταν τόσο απλό ώστε πρωτοκλασάτοι επιστήμονες όπως τον Thomas Huxley και τον Ernst Haeckel μπορούσαν να σκεφτούν με όλη τη σοβαρότητα ότι μπορεί να εμφανιστεί αυθόρμητα από τη λάσπη της θάλασσας, που ήταν κάτι το ταιριαστό με το Δαρβινισμό. Ακόμη και πριν από πενήντα χρόνια ήταν πολύ ευκολότερο να πιστεύει κανείς ότι η Δαρβινική εξέλιξη μπορεί να εξηγεί τις βάσεις της ζωής, κι αυτό γιατί πολύ λιγότερα ήταν γνωστά. Όμως καθώς ήσυχχα προόδευσε η επιστήμη και η έγινε ξεκάθαρη η εκπληκτική πολυπλοκότητα της ζωής, η ιδέα για τον ευφυή σχεδιασμό της ζωής έγινε πιο πολύ πειστική. Το συμπέρασμα του ευφυούς σχεδιασμού ενισχύεται

¹⁸⁴ Coyne.

¹⁸⁵ Shapiro, J. (1996) “In the Detail... What? (Στις λεπτομέρειες...Τι;)” *National Review*, Σεπτέμβριος 16. 62-65. Η κρίση του Shapiro υποστηρίζεται από τον ομότιμο καθηγητή της βιοχημείας Franklin Harold στο βιβλίο του *The Way of the Cell (Ο Δρόμος του Κυττάρου)* (Oxford 2001): “...θα πρέπει να παραδεχτούμε ότι σήμερα δεν υπάρχουν λεπτομερείς Δαρβινικές εξηγήσεις για την εξέλιξη οποιουδήποτε βιοχημικού συστήματος, μόνο μια ποικιλία από ευσεβείς εικασίες.»

από κάθε νέο παράδειγμα για καλαίσθητους, πολύπλοκους μοριακούς μηχανισμούς ή συστήματος που ανακαλύπτει η επιστήμη στα θεμέλια της ζωής. Το 1996 μπορούσε ήδη να φανεί αυτή η καλαισθησία, και αυτό έχει αυξηθεί πολύ περισσότερο τα τελευταία δέκα χρόνια. Δεν υπάρχει λόγος να περιμένουμε ότι σε λίγο καιρό θα έχει φτάσει σε ένα 'επίπεδο πλατώ'.

Η σκληρή πραγματικότητα είναι ότι η επιστημονική στήριξη για την υπόθεση του ευφυούς σχεδιασμού έχει δυναμώσει κατά πολύ. Όμως ένα διαφορετικό και πιο παρακινδυνευμένο θέμα αφορά την αντίδραση των ανθρώπων στον ευφυή σχεδιασμό. Πως θα θεωρεί τον ευφυή σχεδιασμό το κοινό και η επιστημονική κοινότητα στα επόμενα χρόνια; Αυτό είναι περισσότερο ένα ερώτημα στο οποίο εμπλέκεται η κοινωνιολογία και η πολιτική και όχι οι φυσικές επιστήμες. Από τη μια, αν και διαφωνούν οι διάφοροι δημοσιογράφοι των εφημερίδων, οι δημοσκοπήσεις δείχνουν ότι η μεγάλη πλειοψηφία του κοινού ήδη έχει πεισθεί για το σχεδιασμό. Όμως από την άλλη, επειδή η επιστημονική κοινότητα, έχει ανατραφεί κατά ένα μεγάλο μέρος στο Δαρβινισμό, έχει μάθει να σκέφτεται μόνο Δαρβινικά. Παρόλα αυτά όπως φαίνεται αλλάζουν οι καιροί. Σε ένα πρόσφατο άρθρο που αφορούσε ειδήσεις, το *Nature*, αναφέρθηκε για μια συγκέντρωση όπου μπορούσαν να παρευρεθούν μόνο κάτοχοι προσκλήσεων, νέοι και παλαιοί φοιτητές είχαν την ευκαιρία να έρθουν σε επαφή με επιστήμονες που κέρδισαν το βραβείο Νόμπελ. Για τη συγκέντρωση αυτής της χρονιάς η επιτροπή

...προσκάλεσε επιστημονικά ιδρύματα ακαδημίες και άλλους οργανισμούς σε όλο τον κόσμο σε ανοικτούς διαγωνισμούς που θα μπορούσαν να συμμετέχουν νέοι επιστήμονες, και μετά περιέκοψαν από τον κατάλογο περίπου 10000 αιτήσεις. Ο τελικός κατάλογος του 2005 από 720 προσκεκλημένους, αντιπροσώπευε ένα νέο προφίλ συμμετεχόντων, που ήταν εξαιρετοι ακαδημαϊκά, οικείοι με την κοινωνική επίδραση της έρευνας τους, και που είχαν ευχέρια στα Αγγλικά. Γενικά ήταν κάτω από τα τριάντα, αλλά η πλειοψηφία ήταν είτε υποψήφιοι διδάκτορες ή μεταδιδακτορικοί.

Όμως οι φοιτητές έκαναν ερωτήσεις που προκάλεσαν έκπληξη.

«Είναι περίεργο να δούμε τα ερωτήματα που υποβάλουν φοιτητές από διάφορες κουλτούρες,» [Günter Blobel (ιατρική 1999)] παρατήρησε μετά από μια συζήτηση στην εξελικτική βιολογία που οδήγησε ο Christian de Duve (ιατρική, 1974) . Αιφνιδιάστηκε όταν βρήκε ότι μερικοί φοιτητές εξέφρασαν πολύ περισσότερο ενδιαφέρον στο «δημιουργικό καθοδηγητικό χέρι» του ευφυούς σχεδιασμού.¹⁸⁶

¹⁸⁶ Abbott A. (2005), "Nobel laureates: Close encounters" *Nature* 436: 176-171

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΖΩΗΣ

Αυτό το παράρτημα θα δώσει στον ενδιαφερόμενο αναγνώστη μια επισκόπηση των αρχών της βιοχημείας που είναι θεμελιακές για τη ζωή. Δεν είναι ανάγκη να διαβάσει κανείς το παράρτημα για να ακολουθήσει τα επιχειρήματα του βιβλίου, όμως θα θέσει αυτά τα επιχειρήματα μέσα σε ένα ευρύτερο πλαίσιο. Εδώ θα συζητήσω τα κύτταρα και τις δομές μεγάλων σπουδαίων κατηγοριών βιομορίων —πρωτεϊνών και νουκλεϊνικών οξέων, και σε συντομία των λιπιδίων και υδατανθράκων. Μετά θα επικεντρώσω την προσοχή μου στο ερώτημα για το πώς εκφράζεται και μεταδίδεται η γενετική πληροφορία. Βέβαια σε ένα τόσο σύντομο χώρο, η περιγραφή θα είναι σε αδρές γραμμές, γι' αυτό παροτρύνω αυτούς που έχουν ενδιαφερθεί από τους μηχανισμούς της ζωής να δανειστούν ένα εισαγωγική βιβλίο βιοχημείας από τη βιβλιοθήκη. Τους περιμένει ένας γοητευτικός λιλιπούτειος κόσμος.

ΚΥΤΤΑΡΑ ΚΑΙ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από εκατοντάδες τρισεκατομμύρια κύτταρα. Άλλα μεγάλα ζώα και φυτά είναι συσσωματώσεις ενός τεράστιου αριθμού κυττάρων. Καθώς όμως ελαττώνεται το μέγεθος ενός οργανισμού, ο αριθμός των κυττάρων ελαττώνεται και αυτός· για παράδειγμα το μικρό σκουλήκι *C. Elegans* περιέχει μόνο περίπου χίλια κύτταρα. Καθώς κατεβαίνουμε πιο πολύ την κλίμακα φτάνουμε τελικά στα μονοκύτταρα φύλα, όπως τη ζύμη και τα βακτήρια. Δεν υπάρχει κάτω απ' αυτό το επίπεδο ανεξάρτητη ζωή.

Η εξέταση της δομής του κυττάρου, δείχνει γιατί αυτό είναι η βασική μονάδα της ζωής. Το καθοριστικό χαρακτηριστικό ενός κυττάρου είναι μία μεμβράνη — μια χημική δομή που χωρίζει τον εξωτερικό κόσμο από το εσωτερικό του κυττάρου. Με την προστασία της μεμβράνης, ένα κύτταρο διατηρεί μέσα του, συνθήκες που είναι διαφορετικές από α που είναι έξω. Για παράδειγμα, τα κύτταρα μπορούν να συγκεντρώσουν θρεπτικά υλικά στο εσωτερικό τους έτσι που να είναι διαθέσιμα για παραγωγή ενέργειας, και μπορούν να εμποδίσουν να καινούργιοφτιαγμένα δομικά υλικά από του να ξεπλυθούν μακριά. Αν δεν υπήρχε η μεμβράνη, η μεγάλη σειρά των μεταβολικών αντιδράσεων που είναι αναγκαίες για να διατηρήσουν τη ζωή και γρήγορα θα σπαταλιόταν

Οι κυτταρικές μεμβράνες είναι κατασκευασμένες από αμφίφιλα μόρια, και μοιάζουν με κάποιους τρόπους με τα σαπούνια και γενικά τα απορρυπαντικά που χρησιμοποιούμε σε οικιακές χρήσεις. Η λέξη «αμφίφιλος» προέρχεται από δύο ελληνικές λέξεις που σημαίνουν «αγαπά και τα δύο»· τα αμφίφιλα μόρια «αγαπάν» δύο διαφορετικά περιβάλλοντα: λίπη και νερό. Το σχήμα αυτών των μορίων μοιάζει περίπου με ένα γλειφιτζούρι με δύο ραβδάκια που βγαίνουν από την ίδια πλευρά της καρδιάς. Τα ραβδάκια συνήθως αποτελούνται από υδρογονάνθρακες (που αποτελούνται από άτομα άνθρακα και υδρογόνου) και, όπως άλλοι υδρογονάνθρακες όπως στη βενζίνη, δεν ανακατεύονται εύκολα με το νερό. Αυτή είναι η πλευρά του μορίου που αγαπά τα λίπη. Αυτές οι περιοχές του μορίου ονομάζονται *υδρόφοβες*, (από τις Ελληνικές λέξεις ύδωρ και φόβος). Το μπαλάκι στο μόριο 'γλυφιτζούρι' είναι γενικά μια χημική ομάδα που όπως το αλάτι που βάζουμε στο φαγητό, ή τη ζάχαρη, της αρέσει να είναι στο νερό. Αυτές οι περιοχές ονομάζονται *υδρόφιλες* («αγαπούν το νερό»). Οι δύο αντίθετες πλευρές των μορίων της μεμβράνης συνδέονται μεταξύ τους χημικά και, όπως τους Σια-

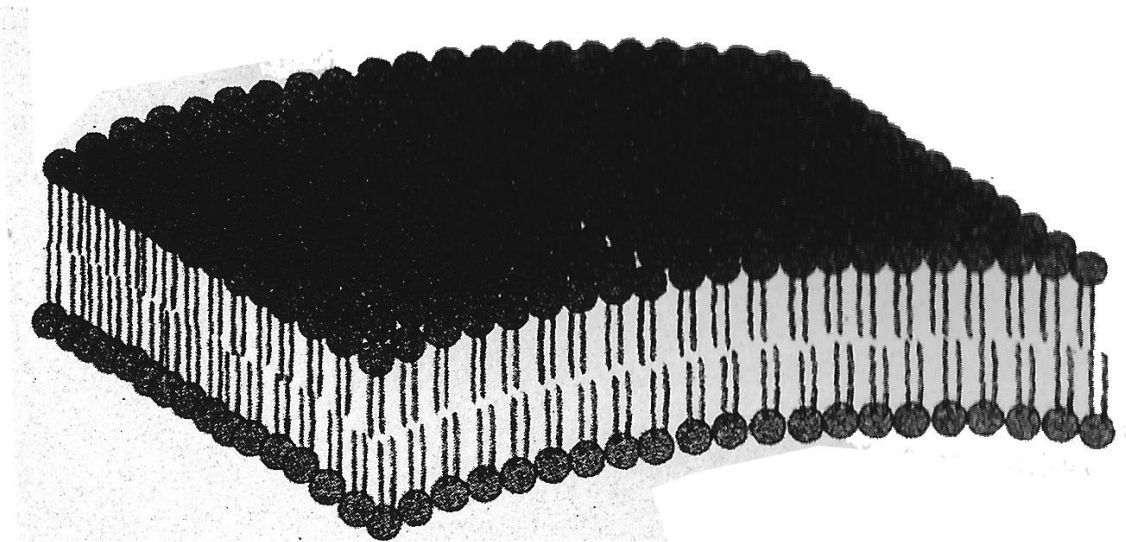
μαίους διδύμους, θα πρέπει να κινούνται μαζί, παρόλες τις ανόμοιες ιδιότητες τους. Όμως αν το ένα μέρος του μορίου θέλει να είναι στο νερό και το άλλο μέρος του μορίου θέλει να το αποφεύγει, πως τελικά ησυχάζει το μόριο;

Τα αμφίφιλα μόρια λύνουν αυτό το δίλημμα με το να συσχετίζονται με άλλα αμφίφιλα μόρια. Όταν συσχετίζονται πολλά αμφίφιλα μόρια, οι υδρόφοβες ουρές μαζεύονται μεταξύ τους για να αποκλείσουν το νερό ενώ τα υδρόφιλα κεφάλια είναι σε επαφή με το νερό. Ως ένας αποτελεσματικός τρόπος για να προφυλαχτούν οι ουρές από το νερό ενώ επιτρέπουν στις υδρόφιλες ομάδες να έχουν επαφή με το νερό είναι να δημιουργήσουν δύο φύλλα (Εικόνα Π-1), που ονομάζεται *διπλό λιπιδικό στρώμα*. Αν όμως τα δύο στρώματα παρέμεναν επίπεδα, οι υδρογονάνθρακες στα άκρα των στρωμάτων θα παρέμεναν εκτεθειμένα στο νερό. Έτσι τα φύλλα κλείνουν, όπως συμβαίνει με τις σαπουνόφουσκες. Αφού το μέσο του διπλού στρώματος της μεμβράνης λιπαρό, πολλά μόρια που προτιμούν πολύ στο υδάτινο περιβάλλον (όπως τα άλατα και τα σάκχαρα) δεν μπορούν να διασχίσουν τη μεμβράνη. Έτσι έχουμε μια δομή με ένα κλειστό εσωτερικό που είναι διαφορετικό από το εξωτερικό περιβάλλον—το πρώτο βήμα για την κατασκευή ενός κυττάρου.

Ο ζωντανός κόσμος περιέχει δύο βασικά διαφορετικούς τύπους κυττάρων, τα *ευκαρυωτικά*, στα οποία μια δεύτερη μεμβράνη, που είναι διαφορετική από την κυτταρική μεμβράνη, περιβάλλει, τον πυρήνα του κυττάρου· και τα *προκαρυωτικά* κύτταρα, που δεν έχει αυτό το χαρακτηριστικό.¹⁸⁷ Οι προκαρυωτικοί οργανισμοί είναι πάντα μονοκύτταροι και κατά πολλούς τρόπους είναι πιο απλοί τους ευκαρυωτικούς.

ΕΙΚΟΝΑ Π -1

ΕΝΑ ΤΜΗΜΑ ΜΙΑΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΑΠΟ ΛΙΠΙΔΙΑ ΜΕ ΔΥΟ ΣΤΡΩΜΑΤΑ



Εκτός από την κυτταρική μεμβράνη μόνο λίγα χαρακτηριστικά είναι κάτι που ξεχωρίζουν στις φωτογραφίες των προκαρυωτικών κυττάρων.¹⁸⁸ Ένα από αυτά είναι ο *πυρήνισκος*, όπου η μάζα του κυτ-

¹⁸⁷ Τα προκαρυωτικά μπορούν να υποδιαιρεθούν σε δύο κατηγορίες: αρχαιοβακτηρία και ευβακτήρια. Αυτή η διάκριση δεν έχει σημασία για τον σκοπό του παρόντος της περιγραφής της εσωτερικής δομής των κυττάρων.

¹⁸⁸ Αφού τα κύτταρα είναι τόσο μικρά, που για να τα δούμε χρειάζονται πολύ ισχυρά μικροσκόπια. Οι πιο λεπτομερείς εικόνες των κυττάρων επιτυγχάνονται με ηλεκτρονικά μικροσκόπια, στα οποία χρησιμοποιούνται για τον φωτισμό ηλεκτρόνια αντί για το συνηθισμένο φως.

ταρικού DNA (δεσοξυριβονουκλεϊκό οξύ) άνετα αναπαύεται μέσα στο *κυτταρόπλασμα* (τα διαλυτά περιεχόμενα του κυττάρου). Επιπρόσθετα προς τη μεμβράνη τα προκαρυωτικά κύτταρα έχουν μια δεύτερη δομή που περιβάλλει το κύτταρο που ονομάζεται *κυτταρικό τοίχωμα*. Αντίθετα από τη μεμβράνη του κυττάρου, το κυτταρικό τοίχωμα κατασκευάζεται από πολυσακχαρίτες που είναι τερεοί και είναι πλήρως διαπερατό σε θρεπτικά υλικά και μικρά μόρια. Προσδίδει μια μηχανική αντοχή, εμποδίζοντας το κύτταρο από το να διαρραγεί όταν βρίσκεται σε κατάσταση έντασης. Αρκετές δομές προεξέχουν μέσα από τη μεμβράνη πολλών προκαρυωτικών κυττάρων. Η λειτουργία των *pili* που μοιάζουν με τρίχες είναι κατά ένα μεγάλο μέρος άγνωστη. Το βακτηριακό *μαστίγιο* χρησιμοποιείται για κίνηση· τα μαστίγια περιστρέφονται γρήγορα, όπως ο έλικας, για να μετακινήσουν το προκαρυωτικό κύτταρο.

Η δεύτερη κατηγορία των κυττάρων είναι τα ευκαρυωτικά, που αποτελούν όλους τους πολυκύτταρους οργανισμούς, καθώς και μερικούς μονοκύτταρους οργανισμούς. Τα ευκαρυωτικά κύτταρα περιέχουν μερικούς χώρους που περιέχονται στο κύτταρο και χωρίζονται από το κυτταρόπλασμα με τις δικές τους μεμβράνες, αυτά ονομάζονται *οργανίδια*, γιατί μας θυμίζουν τα όργανα που βρίσκονται στο σώμα ενός ζώου. Τα οργανίδια επιτρέπουν στο ευκαρυωτικό κύτταρο να εκτελεί εξειδικευμένες λειτουργίες μέσα σε εξειδικευμένα διαμερίσματα.

Το πρώτο εξειδικευμένο οργανίδιο είναι ο *πυρήνας*, που περιέχει το DNA του κυττάρου. Η μεμβράνη που περιβάλλει τον πυρήνα είναι μια πολύ εξειδικευμένη δομή, είναι διάτρητη με μεγάλες, οκτάγωνες οπές που ονομάζονται *πυρηνικοί πόροι*. Οι πόροι όμως, δεν είναι παθητικές διατρήσεις, είναι ενεργοί θυρωροί. Κανένα μεγάλο μόριο, (όπως οι πρωτεΐνες ή το RNA) δεν μπορούν μέσα από τους πυρηνικούς πόρους χωρίς το σωστό «συνθηματικό». Αυτό βοηθά τα μόρια που ανήκουν στο κυτταρόπλασμα να μένουν εκτός πυρήνα και αντιστρόφως.

Μερικά άλλα οργανίδια είναι σκορπισμένα στο κυτταρόπλασμα. Τα *μιτοχόνδρια* είναι τα «εργοστάσια παραγωγής ισχύος» του κυττάρου· έχουν ειδικότητα στις χημικές αντιδράσεις που μετατρέπουν τα φορτωμένα με θερμίδες θρεπτικά μόρια σε μορφές χημικής ενέργειας που μπορεί άμεσα να χρησιμοποιήσει το κύτταρο. Τα μιτοχόνδρια έχουν δύο μεμβράνες. Η ελεγχόμενη «καύση» των μορίων των τροφίμων παράγει μια διαφορά στην οξύτητα του χώρου που περιβάλλεται από τη μεμβράνη και αυτή που είναι εγκλεισμένη ανάμεσα στις εσωτερικές και εξωτερικές μεμβράνες. Η ελεγχόμενη ροή οξέως μεταξύ των δύο διαμερισμάτων παράγει ενέργεια, όπως παράγει ηλεκτρική ενέργεια και η ροή του νερού σε ένα φράγμα.

Τα *λυσosώματα*, είναι μικρά οργανίδια που περιβάλλονται από μια μονή μεμβράνη, ουσιαστικά είναι σακιά με ένζυμα που διασπούν μόρια που έχουν ξεπεράσει τα όρια της χρησιμότητάς τους. Τα μόρια που προορίζονται να διασπαστούν μεταφέρονται εκεί σε μικρά, καλυμμένα κυστίδια (δες 5^ο κεφάλαιο). Η οξύτητα μέσα στο λυosώμα είναι πάνω από χίλιες φορές μεγαλύτερη από την οξύτητα στο κυτταρόπλασμα. Η αυξημένη οξύτητα, εξαναγκάζει τις σφιχτά διπλωμένες πρωτεΐνες να ξεδιπλωθούν, και να ανοίξουν δομές στις οποίες εύκολα μπορούν να επιτεθούν ένζυμα με την ικανότητα να διασπούν.

Το *ενδοπλασματικό δίκτυο* (ΕΔ), είναι ένα εκταταμένο, ίσιο, και με πολλές αναδιπλώσεις σύστημα μεμβρανών που υποδιαιρείται σε δύο διαφορετικά συστατικά, το χονδροειδές ΕΔ και το λείο ΕΔ. Το αδρό ΕΔ έχει μια εμφάνιση που είναι τραχειά και την οφείλει στα πολυάριθμα *ριβοσώματα* που είναι προσκολλημένα πάνω του· τα ριβοσώματα είναι ο μοριακός μηχανισμός που συνθέτει τις πρωτεΐνες. Το λείο ΕΔ συνθέτει λιπίδια—λιπαρά μόρια. Το *όργανο Γκόλτζι* (ή *συσκευή* ή *σχηματισμός Golgi*, που ονομάστηκε για τον Camillo Golgi, που ήταν ο πρώτος που το παρατήρησε) είναι ένας σωρός από επίπεδες μεμβράνες στις οποίες πηγαίνουν για τροποποίηση πολλές πρωτεΐνες που κατασκευάστηκαν στο ΕΔ.

Ένα κύτταρο μπορεί να έχει ριζικά διαφορετική μορφή από τη σφαιρική τελεία (για παράδειγμα ένα κύτταρο σπέρματος) και μπορεί να μεταβάλλει το σχήμα ως ανταπόκριση σε αλλαγές του περιβάλλοντος. Το σχήμα του κυττάρου υποστηρίζεται από τον *κυτταροσκελετό*, που όπως το υπονοεί το όνομα του, είναι ο δομικός σκελετός του κυττάρου. Ο κυτταροσκελετός αποτελείται από τρία κύρια δομικά υλικά: μικροσωληνίσκους, μικροϊνίδια (νημάτια ακτίνης_ , και ενδιάμεσα ινίδια. Οι *Μικροσωληνίσκοι* εξυπηρετούν πολλές λειτουργίες. Μεταξύ άλλων δημιουργούν τη μιτωτική άτρακτο— τη συσκευή, η οποία κατά τη διαίρεση του κυττάρου, σπρώχνει ένα αντίγραφο κάθε χρωμοσώματος προς ένα θυγατρικό κύτταρο. Οι μικροσωληνίσκοι είναι η σπονδυλική στήλη των ευκαρυωτικών βλεφαριδίων (κροσσών), που σαν κουπιά, μπορούν να μετακινήσουν το κύτταρο μέσα στο περιβάλλον του. Τελικά, οι μικροσωληνίσκοι μπορούν να λειοτριγύσουν ως «ράγες σιδηροδρόμου» για να μεταφέρουν οι μοριακοί κινητήρες φορτία σε μακρινά μέρη του κυττάρου. Τα *μικροϊνίδια*, είναι λεπτότερα από τους μικροσωληνίσκους, και είναι φτιαγμένα από την πρωτεΐνη ακτίνη, που είναι και ένα σπουδαίο συστατικό των μυών. Τα μικροϊνίδια πιάνονται το ένα με το άλλο και γλυστρούν για να συσπλώνουν. Αυτό δίνει σχήμα στο κύτταρο με το να διπλώνεται η κυτταρική μεμβράνη στα σωστά μέρη. Τα *ενδιάμεσα ινίδια*, που είναι πιο παχιά από τα μικροϊνίδια, αλλά λεπτότερα από τους μικροσωληνίσκους, φαινομενικά δρουν απλά ως δομικά στηρίγματα (όπως τις ατσάλινες ράβδους στήριξης). Τα ενδιάμεσα ινίδια, έχουν τις πιο ποικίλες δομές του κυτταρικού σκελετού. Σχεδόν όλα τα ευκαρυωτικά κύτταρα περιέχουν τα οργανίδια που περιγράφηκαν πιο πάνω. Τα φυτικά όμως κύτταρα, περιέχουν διάφορα επιπρόσθετα οργανίδια. Ο *χλωροπλάστης* είναι η θέση όπου γίνεται η φωτοσύνθεση. Οι χλωροπλάστες κατά πολλούς τρόπους μοιάζουν με τα μιτοχόνδρια αφού και τα δύο έχουν ευθύνες για παραγωγή ενέργειας. Οι χλωροπλάστες περιέχουν τη χρωστική χλωροφύλη, που ενεργεί ως μια κεραία για να συλλάβει φως. Τα φυτικά κύτταρα έχουν μεγάλες, καθαρές περιοχές που περιβάλλονται από μεμβράνες και που ονομάζονται *κενοτόπια (vacuole)*. Το *Κενοτόπιο* είναι μια αποθήκη για απορρίματα, θρεπτικά υλικά και χρωστικές, και έχει επίσης ένα δομικό ρόλο. Το κενοτόπιο καταλαμβάνει περίπου τα 90 τοις εκατό του όγκου σε μερικά φυτικά κύτταρα και βρίσκεται κάτω από μια υψηλή ωσμωτική πίεση. Η πίεση σπρώχνει με τις δυνάμεις που ασκεί στο ισχυρό κυταρικό τοίχωμα και σκληραίνει το κύτταρο.

ΠΡΩΤΕΙΝΙΚΗ ΔΟΜΗ

Αν και τα κύτταρα και τα οργανίδια που περιγράφηκαν πιο πάνω είναι πολύ μικρά σχετικά με τις καθημερινές κλίμακες, είναι πολύ μεγάλα σε σχέση με τα δομικά υλικά από τα οποία αποτελούνται. Τα δομικά υλικά των κυττάρων και των υποκυτταρικών δομών συνήθως αποτελούνται από *άτομα* που έχουν «συρραφεί» σε μόρια. Ένας χημικός δεσμός, ή *ομοιοπολικός δεσμός*, σχηματίζεται όταν το κάθε ένα από δύο άτομα συνεισφέρει ένα ηλεκτρόνιο για να το μοιραστούν μεταξύ τους. Με το να μοιραστούν τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια, τα άτομα «καλύπτουν» το θετικά φορτισμένο πυρήνα. Ένα μόριο αποτελείται από δύο ή περισσότερα άτομα που συνδέονται το ένα με το άλλο με ομοιοπολικό δεσμό.

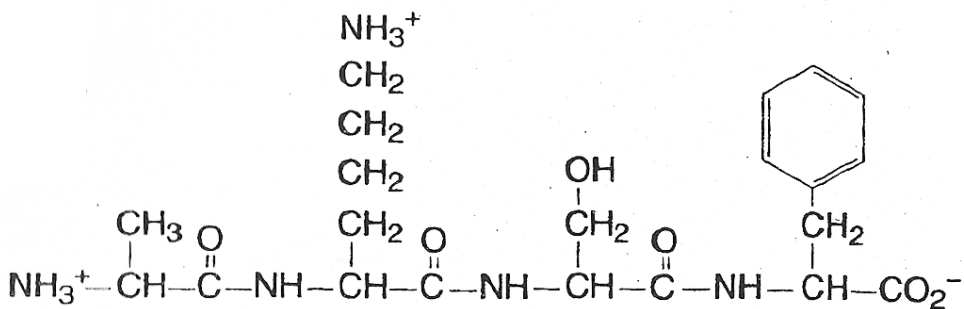
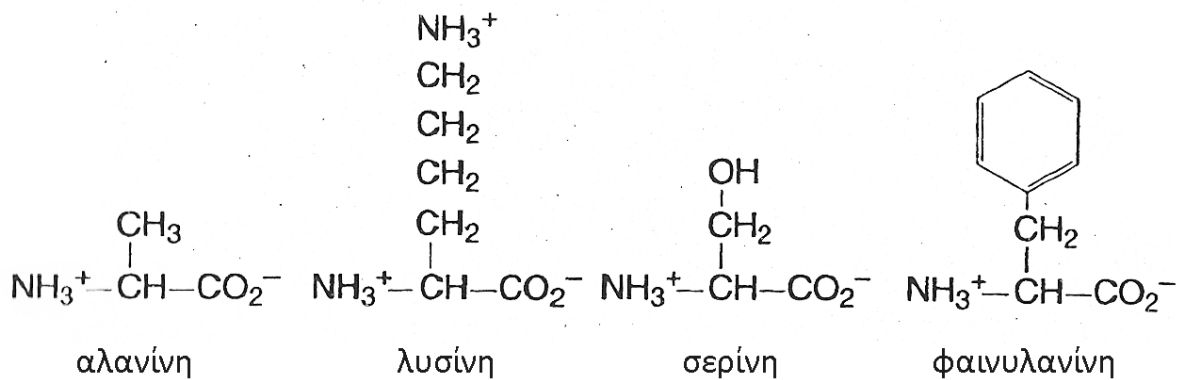
Το εκπληκτικό είναι ότι οι τύποι των ατόμων που βρίσκονται στα βιολογικά μόρια είναι λίγοι. Σχεδόν όλα τα βιομόρια αποτελούνται από άτομα έξη στοιχείων: άνθρακα (C), οξυγόνου (O), αζώτου (N), υδρογόνου (H), φωσφόρου (P) και θείου (S). Μερικά άλλα στοιχεία (όπως χλώριο, νάτριο, ασβέστιον, κάλιο, μαγνήσιο και σίδηρος) βρίσκονται ως ιόντα σε βιολογικά συστήματα (Ταιόντα είναι ηλεκτρικά φορτισμένα σώματα που επιπλέουν λιγότερο ή περισσότερο ελεύθερα στο νερό.)

Τα άτομα C, H, O, N, P και S, μπορούν να σχηματίσουν μεταξύ τους δεσμούς. Ο άνθρακας μπορεί να συνδεθεί με μέχρι και τετρακόσια άτομα ταυτόχρονα. Το άζωτο μπορεί να κάνει τρεις δεσμούς (τέσσερις σε ειδικές περιπτώσεις) και το οξυγόνο και το θείο μπορούν να σχηματίσουν δύο δεσμούς. Το

υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει μόνο ένα δεσμό με ένα άλλο άτομο. Ο άνθρακας είναι μοναδικός στο ότι μπορεί να δημιουργήσει σταθερούς δεσμούς με άλλα άτομα άνθρακα και να σχηματίσει μακρές αλυσίδες. Αφού ο άνθρακας στο μέσο της αλυσίδας έχει χρησιμοποιήσει μόνο δύο από τους δεσμούς του—ένα για να συνδεθεί με το άτομο άνθρακα στα δεξιά του, και τον άλλο για να συνδεθεί με το άτομο άνθρακα αριστερά του—μπορεί ακόμη να κάνει δύο άλλους δεσμούς. Μπορεί

ΕΙΚΟΝΑ Π-2

[ΠΑΝΩ] ΤΕΣΣΕΡΑ ΑМИНОΞΕΑ. ΤΑ ΑМИНОΞΕΑ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΜΟΝΟ ΣΤΙΣ ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΤΟΥΣ ΑΛΥΣΙΔΕΣ. [ΚΑΤΩ] ΤΑ ΤΕΣΣΕΡΑ ΑМИНОΞΕΑ ΕΧΟΥΝ ΣΥΝΔΕΘΕΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΧΗΜΙΚΑ. ΟΙ ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΕΙΝΑΙ ΜΑΚΡΕΣ ΑΛΥΣΙΔΕΣ ΑΠΟ ΠΟΛΛΑ ΑМИНОΞΕΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΣΥΝΔΕΘΕΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΧΗΜΙΚΑ



να τους χρησιμοποιήσει για να συνδεθεί, παραδείγματος χάριν με ένα άτομο αζώτου και τον άλλο ίσως για να συνδεθεί με μια άλλη αλυσίδα ατόμων άνθρακα.

Ο αριθμός των μορίων που μπορούν να σχηματιστούν από τον άνθρακα και τα άλλα βιολογικά στοιχεία είναι πραγματικά πάρα πολύ μεγάλος. Όμως στα βιολογικά συστήματα δεν χρησιμοποιούνται από έναν μεγάλο αριθμό τελείως διαφορετικών μορίων. Μάλλον, κατασκευάζεται ένας περιορισμένος αριθμός μορίων και τα μεγάλα «μακρό» μόρια της ζωής — όπως πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα, και πολυσακχαρίτες — δομούνται με το να συνδέονται μεταξύ τους σε διάφορες διευθετήσεις μορίων από ένα περιορισμένο σύνολο. Αυτό μπορεί να παρομοιαστεί με την κατασκευή ενός τεραστίου αριθμού διαφορετικών λέξεων και προτάσεων από τα εικοσιτέσσερα γράμματα του αλφαβήτου. Τα

δομικά στοιχεία των πρωτεϊνών ονομάζονται *αμινοξέα*. Τα είκοσι διαφορετικά αμινοξέα που συνθέτουν σχεδόν όλες τις πρωτεΐνες έχουν μια κοινή δομή. Από την αριστερή πλευρά του μορίου είναι μια ομάδα που περιέχει άζωτο που ονομάζεται αμίνη, και από τη δεξιά συνδεδεμένο με την αμίνη από ένα κεντρικό άτομο άνθρακα, είναι μία καρβοξυλική όξινη ομάδα (από αυτό προέρχεται το όνομα αμινοξύ). Επίσης συνδεδεμένη με το κεντρικό άνθρακα, επιπρόσθετα με το άτομο υδρογόνου, είναι μια άλλη ομάδα, που ονομάζεται πλευρική αλυσίδα (εικόνα Π-2). Η πλευρική αλυσίδα ποικίλει από τον ένα τύπο του αμινοξέος στον άλλο. Αυτή η πλευρική αλυσίδα είναι που δίνει στο κάθε αμινοξύ τον χαρακτήρα του.

Τα αμινοξέα μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις ομάδες. Η πρώτη ομάδα περιέχει ως πλευρική αλυσίδα υδρογονάνθρακα (πλευρικές αλυσίδες που αποτελούνται μόνο από άτομα άνθρακα και υδρογόνου). Αυτές οι πλευρικές αλυσίδες είναι λιπαρές, όπως τη βενζίνη, και προτιμούν να αποφεύγουν να έρχονται σε επαφή με τα μόρια του νερού. Η επόμενη ομάδα είναι τα ηλεκτρικά φορτισμένα αμινοξέα, υπάρχουν τρία θετικά φορτισμένα και δύο αρνητικά φορτισμένα. Οι φορτισμένες πλευρικές αλυσίδες προτιμούν να βρίσκονται σε επαφή με το νερό. Η άλλη ομάδα είναι τα πολικά αμινοξέα. Τα πολικά μόρια αν και δεν είναι τελείως φορτισμένα, έχουν μερικώς φορτισμένα μόρια. Αυτό εμφανίζεται όταν ένα άτομο έλκει πιο ισχυρά το ηλεκτρόνιο από το άτομο συνεταιίρο σε ένα χημικό δεσμό, φέρνοντας το φορτίο πιο κοντά του. Το άτομο που έχει τη μερίδα του λέοντος στα ηλεκτρόνια, έχει κάπως αρνητικό φορτίο, ενώ τα άτομα με την έλλειψη ηλεκτρονίων έχουν θετικό φορτίο. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ θετικά και αρνητικών φορτισμένων αλυσίδων, και μεταξύ μερικά θετικά φορτισμένων και μερικά αρνητικά φορτισμένων πολικών αλυσίδων, μπορούν να είναι πολύ σημαντικές στη δομή των πρωτεϊνών.

Κατά τη σύνθεση των πρωτεϊνών, δύο αμινοξέα συνδέονται χημικά με το να αλληλεπιδράσει η ομάδα της αμίνης του ενός με την καρβοξυλική ομάδα του άλλου για να σχηματίσουν μια νέα ομάδα που ονομάζεται πεπτιδικός δεσμός (εικόνα Π-2). Το νέο μόριο έχει μια ελεύθερη αμινοική ομάδα στο ένα άκρο και ένα ελεύθερο καρβοξύλιο στο άλλο άκρο, έτσι μπορεί ένα άλλο αμινοξύ να ενωθεί με το να συνεισφέρει την αμινοική του ομάδα για να σχηματίσει ένα άλλο πεπτιδικό δεσμό. Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί ξανά και ξανά μέχρις ότου να σχηματιστεί ένα μακρομόριο, που περιέχει εκατοντάδες ή χιλιάδες «ρίζες» από αμινοξέα (το μέρος που έχει μένει μετά τη χημική αντίδραση που ενώνει δύο αμινοξέα). Τέτοια μακρομόρια είναι γνωστά ως *πολυπεπίδια* ή *πρωτεΐνες*.

Μια τυπική πρωτεΐνη περιέχει συνήθως μεταξύ πενήντα και τρεις χιλιάδες ρίζες. Η σειρά των αμινοξέων μιας πρωτεΐνης ονομάζεται *πρωτοταγής δομή*. Η συμπληρωμένη πρωτεΐνη έχει μια ελεύθερη αμινοική ομάδα στο ένα άκρο, που ονομάζεται N-άκρο, και ένα ελεύθερο καρβοξύλιο στην άλλη άκρη, που ονομάζεται C-άκρο. Τα άτομα της πρωτεΐνης που είναι ενωμένα σε μια γραμμή από το N στο C άκρο, ονομάζεται *πρωτεϊνική σπονδυλική στήλη*· αυτή περιλαμβάνει όλα τα άτομα εκτός από αυτά που είναι στις πλευρικές αλυσίδες.

Μια πρόσφατα φτιαγμένη πρωτεΐνη δεν επιπλέει σαν μια μαλακιά αλυσίδα. Με μια αξιοσημείωτη διαδικασία, σχεδόν όλες οι πρωτεΐνες διπλώνονται σε διάκριτες και πολύ ακριβείς δομές (Εικόνα Π-3) που μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές για διάφορες πρωτεΐνες. Αυτό γίνεται αυτόματα μέσα από αλληλεπιδράσεις, όπως όταν η θετικά φορτισμένη πλευρική αλυσίδα, αποκλείεται από μικρούς χώρους, και ούτω καθ' εξής. Κατά τον τερματισμό της διαδικασίας δίπλωσης, που συνήθως λαμβάνει χώρα από μερικά κλάσματα του δευτερολέπτου μέχρι ένα λεπτό, δύο διαφορετικές πρωτεΐνες μπορούν να διπλωθούν σε δομές τόσο ακριβείς και διαφορετικές μεταξύ τους, όπως συμβαίνει με μια λαβίδα και ένα πριόνι. Και, όπως τα οικιακά εργαλεία, αν παραμορφωθούν τα σχήματά τους, τότε δεν μπορούν να κάνουν τη δουλειά τους.

Όταν διπλώνονται οι πρωτεΐνες, δεν διπλώνονται, όπως ένας σπάγκος που τον κουβαριάζεις στο χέρι σου· υπάρχουν κανονικότητες σ' αυτό το δίπλωμα. Πριν να διπλωθεί η πρωτεΐνη, τα πολικά άτομα

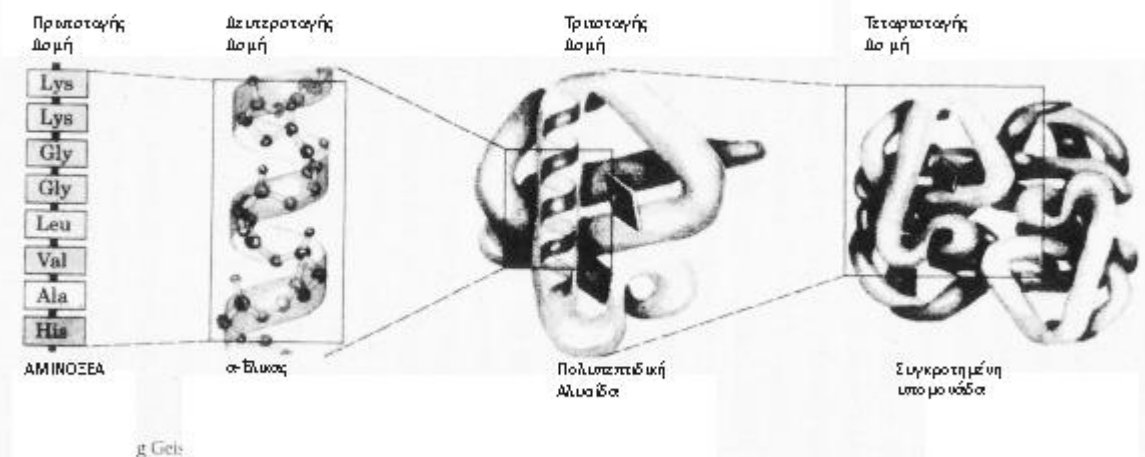
της σπονδυλικής της στήλης—το οξυγόνο και το άζωτο και τα άτομα υδρογόνου σε κάθε πεπτιδικό δεσμό — σχηματίζουν αυτό που ονομάζεται *δεσμός υδρογόνου* με μόρια νερού. Ένας δεσμός υδρογόνου συμβαίνει όταν ένα μερικά φορτισμένο οξυγόνο του πεπτιδικού δεσμού ή άτομο αζώτου, συνδέεται στενά με τα μερικώς θετικά φορτισμένα άτομα υδρογόνου του νερού. Όταν όμως διπλώνει η πρωτεΐνη, θα πρέπει να σπρώξει προς τα έξω όλο (ή σχεδόν όλο) το νερό έτσι που να μπορεί η λιπόφιλη πλευρά να πακεταριστεί αποτελεσματικά. Αυτό δημιουργεί ένα πρόβλημα: τα πολικά πεπτιδικά άτομα πρέπει να βρουν αντίθετα φορτισμένους συνεταίρους στη διπλωμένη πρωτεΐνη αλλιώς η πρωτεΐνη δε θα διπλωθεί.

Υπάρχουν δύο τρόποι για να λυθεί αυτότο πρόβλημα. Στον πρώτο, τμήματα της πρωτεΐνης μπορούν να σχηματίσουν έναν *α-έλικα*. Σ' αυτήν τη δομή, ο σκελετός της πρωτεΐνης δημιουργεί έναν έλικα (σπειροειδής δομή). Η γεωμετρία του έλικα κάνει το άτομο του οξυγόνου σε μια πεπτιδική ομάδα να δείχνει άμεσα, και να κάνει δεσμό υδρογόνου, με προς το υδρογόνο της πεπτιδικής ομάδας που είναι τέσσερις ρίζες αμινοξέων πιο μακριά κατά μήκος της αλυσίδας (εικόνα Π-3). Το επόμενο υδρογόνο της ρίζας συνδέεται με την επόμενη ρίζα που είναι τέσσερις ρίζες μακριά της, και ούτω καθε΄ξης. Συνήθως ένας α-έλικας έχει μεταξύ πέντε μέχρι εικοσιπέντε ρίζες αμινοξέων πριν η ελικοειδής δομή (όχι όμως αναγκαστικά η πρωτεϊνική αλυσίδα) να τερματιστεί. Ένας α-έλικας επιτρέπει να διπλωθεί μια πρωτεΐνη σε ε'να συμπαγές σχήμα ενώ ακόμη δημιουργεί δεσμούς υδρογόνου σε άτομα των πεπτιδίων. Μια δεύτερη δομή που επιτρέπει μια σύνδεση, τύπου δεσμού υδρογόνου, με κανονικότητα μεταξύ των

Πεπτιδικών ατόμων ονομάζεται *β-πτυχωτό φύλλο*, ή απλώς β-φύλλο. Σ' αυτή τη δομή η σπονδυλική στήλη της πρωτεΐνης ανεβαίνει και κατεβαίνει, όπως τα διπλώματα ενός φύλλου, και τα πεπτιδικά άτομα προεξέχουν κάθετα σε σχέση με την κατεύθυνση της πρωτεϊνικής αλυσίδας. Η αλυσίδα τότε περιστρέφεται γύρω, ξανάρχεται πίσω, και τα άτομα του οξυγόνου στην πεπτιδική ομάδα που επιστρέφει, σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου με την πεπτιδική ομάδα των της πρώτης πλευράς. Όπως και με τους α-έλικες, τα β-φύλλα επιτρέπει στα πολικά άτομα της σπονδυλικής στήλης να σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου.

Οι α-έλικες και τα β-φύλλα είναι γνωστά ως *δευτεροταγής δομή* της πρωτεΐνης. Μια τυπική πρωτεΐνη έχει περίπου 40 με 50 τοις εκατό των ριζών των αμινοξέων σε έλικες και φύλλα. Οι υπόλοιπες ρίζες εμπλέκονται διαδοχικά σε τμήματα δευτεραγούς δομής, ή σχηματίζουν ασυνήθιστες δομές. Οι έλικες και τα φύλλα πακετάρονται το ένα κοντά στο άλλο για να σχηματίσουν τις πιο πολλές φορές, μια συ-

ΕΙΚΟΝΑ Π-3
ΤΑ ΤΕΣΣΕΡΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΔΟΜΗΣ ΤΩΝ ΠΡΩΤΕΙΝΩΝ



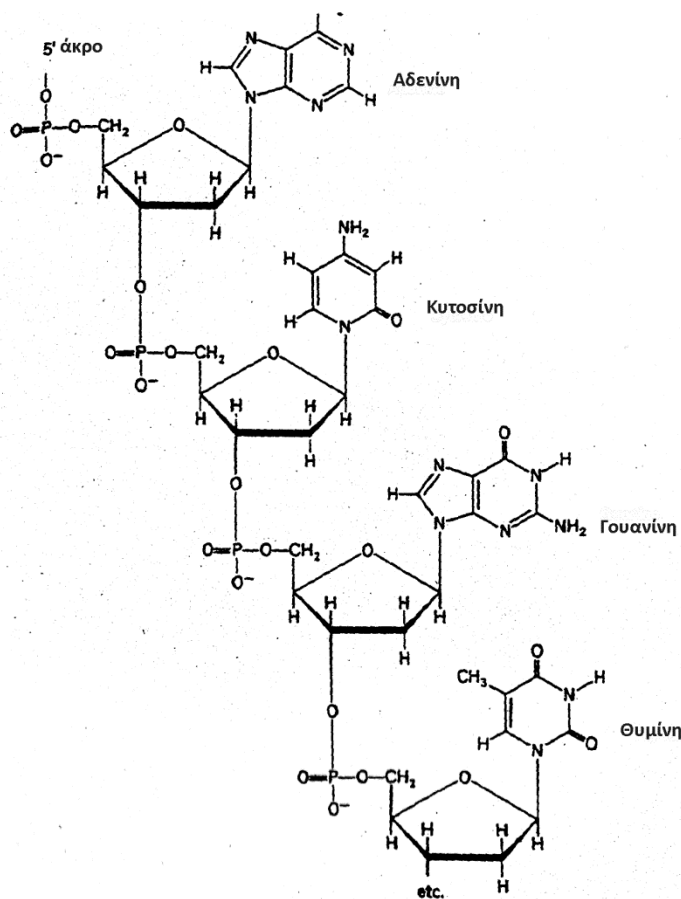
μπαγή, σφαιρική πρωτεΐνη. Ο ακριβής τρόπος με τον οποίο τα στοιχεία μιας δευτεροταγούς δομής πακετάρονται ονομάζεται *τριτοταγής δομή* (Εικόνα Π-3) της πρωτεΐνης. Η καθοδηγητική δύναμη για το πακετάρισμα των ελίκων και των φύλλων προέρχεται από τη λιπαρή φύση πολλών πλευρικών αλυσίδων. Όπως το λάδι χωρίζεται από το νερό για να σχηματίσει ένα διάκριτο στρώμα, έτσι και η λιπόφιλος, υδρόφοβες πλευρικές αλυσίδες μαζεύονται για να σχηματίσουν στο εσωτερικό της πρωτεΐνης μια ζώνη που είναι ελεύθερη από νερό. Θυμηθείτε όμως, ότι μερικές πλευρικές αλυσίδες των πρωτεϊνών είναι είτε πολικές είτε φορτισμένες, και θέλουν να μείνουν στο νερό. Το σχήμα των λιπόφιλων και πολικών πλευρικών αλυσίδων κατά μήκος της ακολουθίας των αμινοξέων, και η ανάγκη να διπλωθεί η πρωτεϊνική αλυσίδα έτσι που οι περισσότερες υδρόφοβες ομάδες να είναι στο εσωτερικό της πρωτεΐνης και οι περισσότερες υδρόφιλες ομάδες να είναι στο εξωτερικό, δίνει την πληροφορία που καθοδηγεί στο πώς να διπλωθεί μια ειδική πρωτεΐνη σε μια ειδική δομή.

Υπάρχει κι ένας άλλος παράγοντας που συνεισφέρει στην εξειδίκευση του διπλώματος των πρωτεϊνών. Είναι αναπόφευκτο ότι σε μια διπλωμένη πρωτεΐνη θα θάβονταν μερικές πολικές πλευρικές αλυσίδες. Αν τα θαμμένα πολικά άτομα δεν βρίσκουν συνεταίρους που θα δώσουν δεσμούς υδρογόνου, τότε αποσταθεροποιείται η πρωτεΐνη. Στις περισσότερες πρωτεΐνες περίπου τα 90 τοις εκατό των ατόμων στις θαμμένες πολικές πλευρικές αλυσίδες είναι ενωμένα στην πραγματικότητα με όποιο τρόπο μπορούν, με δεσμούς υδρογόνου με τις εξωτερικές αλυσίδες ή με τη σπονδυλική στήλη της πρωτεΐνης. Μπορεί να παρομοιαστεί το δίπλωμα μιας τυπικής πρωτεΐνης — με τις απαιτήσεις για να βολέψει τις υδρόφοβες και τις υδρόφιλες ομάδες και να σχηματίσει ένα δίκτυο από δεσμούς υδρογόνου — με ένα τρισδιάστατο παζλ.

Συχνά, διάφορα χωριστά πολυπεπτίδια κολλάνε μεταξύ τους, με ένα πολύ εξειδικευμένο τρόπο για να σχηματίσουν μια σύνθετη δομή που λειτουργεί ως μια οντότητα. Σ' αυτές τις περιπτώσεις επικρατεί η συνήθεια να αναφερόμαστε στα συσχετιζόμενα πολυπεπτίδια ως μια μοναδική πρωτεΐνη που αποτελείται από πολλές «υπομονάδες». Για παράδειγμα η αιμοσφαιρίνη που μεταφέρει το οξυγόνο, αποτελείται από τέσσερα πολυπεπτίδια, και η συσσωματωμένη πρωτεΐνη έχει ιδιότητες που τη βοηθούν να συνδέεται με το οξυγόνο, που δεν έχουν τα συστατικά της πολυπεπτίδια. Έτσι η λειτουργική βιολογική πρωτεΐνη είναι ένα σύμπλεγμα από τέσσερα πολυπεπτίδια. Η ειδική διεύθυνση των πολυπεπτιδίων σε μια πρωτεΐνη ονομάζεται *τεταρτοταγής δομή* (Εικόνα Π-3).

ΕΙΚΟΝΑ Π-4

ΤΜΗΜΑ DNA ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΕΙ ΤΕΣΣΕΡΑ ΝΟΥΚΛΕΟΤΙΔΙΑ



ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΝΟΥΚΛΕΪΚΩΝ ΟΞΕΩΝ

Όπως οι πρωτεΐνες, τα νουκλεϊκά οξέα, είναι πολυμερή από ένα μικρό αριθμό δομικών λίθων, που ονομάζονται *νουκλεοτίδια*. Ένα νουκλεοτίδιο αποτελείται με τη σειρά του από διάφορα μέρη. Το πρώτο μέρος είναι ένας υδατάνθρακας, είτε ριβόζη (στο RNA) είτε δεοξυριβόζη (στο DNA). Στη ριβόζη προσδένεται μια από τις τέσσερις βάσεις, είτε η αδενίνη (A), είτε η κυτοσίνη (C), είτε η γουανίνη (G), είτε η ουρακίλη (U). Αν ο υδατάνθρακας είναι δεοξυριβόζη τότε η U αντικαθίσταται με μια παρόμοια βάση που ονομάζεται θυμίνη (T). Στη δεοξυριβόζη χρησιμοποιούνται επίσης οι A, C και G. Συνδεδεμένα σε ένα διαφορετικό τμήμα του δακτυλίου του υδατάνθρακα (στο 5'-OH ή «πέντε-οξεία υδροξυλική» ομάδα) είναι μια φωσφορική ομάδα. Το τμήμα σακχάρου – φωσφορικής ρίζας του νουκλεοτίδιου είναι ανάλογο με το τμήμα της σπονδυλικής στήλης ενός αμινοξέος, και η βάση είναι ανάλογη με μια πλευρική αλυσίδα ενός αμινοξέος. Μόνο στη βάση τους διαφέρει το ένα νουκλεοτίδιο από ένα άλλο.

Δύο νουκλεοτίδια μπορούν να συνδεθούν χημικά με το να αντιδράση η φωσφορική ρίζα του ενός νουκλεοτίδιου με την 3'-OH ομάδα του τμήματος υδατάνθρακα του δεύτερου νουκλεοτίδιου (Εικόνα Π-4). Αυτό αφήνει ακόμη μια ελεύθερη φωσφορική ομάδα στο ένα άκρο όπου υπάρχει μια ελεύθερη 3'-OH ομάδα στο άλλο άκρο, που μπορεί να κάνει μια νέα αντίδραση με άλλα νουκλεοτίδια. Οι επαναλήψεις αυτής της διαδικασίας μπορούν πραγματικά να παράγουν πολύ μακριά πολυνουκλεοτίδια. Το κυτταρικό RNA μπορεί να έχει μήκος μεταξύ εβδομήντα και περίπου πενήντα χιλιάδων νουκλεοτιδίων. Ένα μόνο μόριο DNA ποικίλει από μερικές χιλιάδες μέχρι ένα δισεκατομμύριο νουκλεοτίδια. Η σειρά ενός πολυνουκλεοτίδιου συνήθως γράφεται ξεκινώντας από το 5' άκρο προς το 3' άκρο. Τα κυτταρικά RNA βρίσκονται ως μονές αλυσίδες πολυνουκλεοτιδίων. Υπάρχουν διάφορες βιολογικές τάξεις του RNA. Η πρώτη ονομάζεται *RNA αγγελιοφόρος* (mRNA)·τα μέλη αυτής της τάξης παράγονται ως πιστά αντίγραφα γονιδίων DNA, και η γενετική πληροφορία που μεταφέρεται από το mRNA, μεταφράζεται από τη συνθετική συσκευή των πρωτεϊνών για να παράγει μια πρωτεΐνη. Ο δεύτερος τύπος του RNA ονομάζεται *ριβοσωμικό RNA* (rRNA). Τα πολυνουκλεοτίδια αυτής της τάξης συσχετίζονται με ένα μεγάλο αριθμό από διάφορες πρωτεΐνες για να σχηματίσουν το ριβόσωμα, που είναι η κύρια μηχανή σύνθεσης πρωτεϊνών. Η τελευταία μεγάλη κατηγορία του RNA ονομάζεται *μεταφορικό RNA* (tRNA). Τα μέλη αυτής της τάξης είναι σχετικά μικρά, με μήκος από εβδομήντα μέχρι ενενήντα νουκλεοτίδια, και εξυπηρετούν ως «προσαρμοστές» μεταξύ του mRNA και των αυξανόμενων πρωτεϊνών που παράγονται με τη δράση του ριβοσώματος.

Το κυτταρικό DNA βρίσκεται ως ένα μόριο από διπλό νήμα—δύο πολυνουκλεοτίδια που έχουν κάνει μια πλεξούδα (η περίφημη διπλή έλικα) και συγκρατούνται ισχυρά μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου. Για να κατανοήσουμε την αιτία για αυτό θα πρέπει να δούμε στη δομή των βάσεων των νουκλεοτιδίων (Εικόνα Π-4). Τα νουκλεοτίδια μπορούν να υποδιαιρεθούν σε δύο κατηγορίες—τις πουρίνες (A και G) που είναι οι μεγάλες βάσεις (αποτελούνται από δύο συνενωμένους δακτύλιους) και τις πυριμιδίνες (C και T), που έχουν μόνο ένα δακτύλιο. Αν η A και η T έχουν σωστό προσανατολισμό, μπορούν να σχηματίσουν μεταξύ τους δύο δεσμούς υδρογόνου, και η G μπορεί να σχηματίσει τρεις δεσμούς υδρογόνου με τη C. Στα κύτταρα όποτε υπάρχει μία G στο ένα νήμα του DNA υπάρχει μια C στο δεύτερο νήμα και αντιστρόφως· και όπου υπάρχει A στο ένα νήμα υπάρχει μια T στο δεύτερο νήμα και αντιστρόφως. Αυτά τα δύο νήματα ονομάζονται «συμπληρωματικά» το ένα προς το άλλο. Για να έχουν το σωστό προσανατολισμό για δεσμό υδρογόνου, τα δύο νήματα θα πρέπει να δείχνουν προς διαφορετικές κατευθύνσεις, με το ένα να αρχίζει από 5' προς 3' από αριστερά προς τα δεξιά και η άλλη να αρχίζει από 5' προς 3' από δεξιά προς τα αριστερά. Το DNA των ευκαρυωτικών συνίσταται από δύο συμπληρωματικά γραμμικά νήματα, όμως το εκπληκτικό είναι ότι το DNA πολλών βακτηρίων, συνίσταται από δύο *κυκλικά* συμπληρωματικά νήματα.

Η ποσότητα του DNA σε ένα κύτταρο ποικίλει χονδρικά με την πολυπλοκότητα του οργανισμού. Τα βακτήρια έχουν μερικά εκατομμύρια νουκλεοτίδια στο DNA. Η ποσότητα του ευκαρυωτικού DNA ποικίλει από ένα χαμηλό μερικών δεκάδων εκατομμυρίων νουκλεοτιδίων σε μύκητες σε ένα υψηλό αριθμό από μερικές εκατοντάδες δισεκατομμύρια σε μερικά ανθοφόρα φυτά. Οι άνθρωποι έχουν περίπου τρία δισεκατομμύρια νουκλεοτίδια.

ΛΙΠΙΔΙΑ ΚΑΙ ΠΟΥΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ

Δύο άλλες μεγάλες κατηγορίες βιομορίων είναι τα λιπίδια και οι πολυσακχαρίτες. Οι πολυσακχαρίτες είναι πολυμερή μορίων σακχάρων ή των παραγώγων τους και παίζουν μια ποικιλία ρόλων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά, όπως η κυτταρίνη που βρίσκεται στα ξύλα των φυτών και των δέντρων, και ως αποθέματα ενέργειας, όπως συμβαίνει με το γλυκογόνο που είναι αποθηκευμένο στο συκώτι. Τα λιπίδια, είναι διαφορετικά από τις πρωτεΐνες, τα νουκλεϊκά οξέα και τους πολυσακχαρίτες, γιατί δεν είναι πολυμερή που κατασκευάζονται από διάκριτα οικοδομικά τούβλα, μάλλον, κάθε λιπαρό μόριο θα πρέπει να συντεθεί από πολύ βασικά υλικά. Τα λιπίδια δεν είναι μακρομόρια, αλλά μπορούν να συσχετιστούν για να σχηματίζουν μεγάλες δομές όπως τις μεμβράνες.

ΜΕΤΑΓΡΑΦΗ

Το DNA, είναι το μέρος στο οποίο έχει «κατατεθεί» η γενετική πληροφορία, και είναι ένα πολυνουκλεοτίδιο. Όμως η πληροφορία που μεταφέρει, λέγει στο κύτταρο πως να κατασκευάζει πολυπεπτίδια—πρωτεΐνες. Πως μεταφράζεται η πληροφορία από μια «γλώσσα» πολυμερών σε μια άλλη; Λίγο μετά την ανακάλυψη της ελικοειδούς δομής του DNA, ο φυσικός George Gamow πρότεινε μια μηχανική ιδέα, ότι η γενετική πληροφορία είναι αποθηκευμένη σε κωδικοποιημένη μορφή, και ότι η έκφραση της πληροφορίας περιλαμβάνει την αποκωδικοποίηση του πολυνουκλεοτιδίου και μετάφραση του μηνύματος στην πεπτιδική γλώσσα των πρωτεϊνών.¹⁸⁹ Αν και ο Gamow έκανε λάθος για την ειδική φύση του κώδικα, η διαίσθηση του ήταν προφητική.

Κατά τις αρχές της δεκαετίας του 1960, έσπασαν τον κώδικα. Οι Νομπλίστες Marshall Nirenberg, Severo Ochoa N. Gobind Khorana και οι συνεργάτες τους έδειξαν ότι στον γενετικό κώδικα τρία γειτονικά νουκλεοτίδια αντιστοιχούν σε ένα αμινοξύ (Εικόνα Π-5). Αφού υπάρχουν εξηντατέσσερις συνδυασμοί για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των τριών βάσεων όταν επιλέγονται τρεις κάθε φορά, υπάρχουν περισσότεροι από τους αναγκαίους συνδυασμούς για να κωδικοποιηθούν και τα είκοσι αμινοξέα. Όλοι τα δυνατά «κωδικόνια» με τις τρεις βάσεις χρησιμοποιούνται από το κύτταρο, έτσι ο γενετικός κώδικας είναι πλεονάζων, πράγμα που σημαίνει ότι για κάθε αμινοξύ πάνω από έναν κωδικό μπορούν να το υποδηλώνουν. Για παράδειγμα ACU, ACC, ACA και ACG, και οι τέσσερις συνδυασμοί είναι το κωδικόνιο για το αμινοξύ θρεονίνη. Τα περισσότερα αμινοξέα έχουν δύο ή περισσότερα κωδικόνια που τα υποδηλώνουν, όμως αρκετά έχουν μόνο ένα. Υπάρχει ένα σύνολο από εξηντάνα από τους εξηντατέσσερις δυνατούς συνδυασμούς, οι υπόλοιποι τρεις χρησιμοποιούνται για να δίνουν το σήμα «λήξης». Όταν η αποκωδικοποιητική συσκευή συναντήσει ένα από αυτά τα τρία ειδικά σήματα, τότε σ' αυτό το σημείο σταματά την παραγωγή της πρωτεΐνης.

Ο μεγάλος αριθμός των βημάτων που εμπλέκονται στο να εξαχθεί η πληροφορία που περιέχεται στο DNA μπορεί να υποδιαιρεθεί σε δύο νοητικές κατηγορίες που ονομάζονται *μεταγραφή* και *μετάφραση*. Σε συντομία στην μεταγραφή το κύτταρο δημιουργεί ένα αντίγραφο RNA ενός τμήματος του

¹⁸⁹ Gamow, G. (1954) "Possible Relation Between Deoxyribonucleic Acid and the Protein Structure," *Nature*, 173, 318; Gamow, G. and Ycas, M. (1958) "The Cryptographic Approach to the Problem of Protein Synthesis," in *Symposium on Information Theory in Biology*, ed. H.P. Yockey, R.I. Platzman, and H.I. Quastler, Pergamon Press, New York, pp. 63-69.

DNA (που ονομάζεται *γονίδιο*) που κωδικοποιεί για μια πρωτεΐνη· στη μετάφραση χρησιμοποιείται η πληροφορία που είναι αποθηκευμένη στο RNA για να κατασκευαστεί η πρωτεΐνη.

Η αντιγραφή του γονιδίου περιλαμβάνει έναν αριθμό από αποφάσεις, το πρώτο που είναι που να ξεκινήσει κατά μήκος της τεράστιας αλυσίδας του DNA. Η αρχική θέση γενικά σημειώνεται με μια σειρά από ειδικές ακολουθίες του DNA που ονομάζονται «υποκινητές» Στα προκαρυωτικά κύτταρα η ακολουθία των νουκλεοτιδίων του DNA (συνήθως TCTTGACAT) ονομάζεται η «-35 περιοχή» και υπάρχει σε τριανταπέντε νουκλεοτίδια πριν από ένα γονίδιο, μια άλλη ακολουθία (συνήθως TATAAT) ονομάζεται «κουτί PRIBNOW» και υπάρχει πέντε με δέκα ζεύγη βάσεων πριν από το σημείο έναρξης της μεταγραφής. Επιπρόσθετα σε παρόμοια σήματα, τα ευκαρυωτικά κύτταρα έχουν ακολουθίες DNA που ονομάζονται «ενισχυτές (enhancers)» που είναι χιλιάδες ζεύγη βάσεων μακριά από το σημείο έναρξης μεταγραφής· οι ενισχυτές επηρεάζουν πολύ το ρυθμό με τον οποίο μεταγράφεται το γονίδιο.

Για να αρχίσει η μεταγραφή, στα προκαρυωτικά υπάρχει ένα ένζυμο που είναι μια πολλαπλή υπομονάδα και που ονομάζεται *RNA πολυμεράση* η οποία συνδέεται με το DNA. Η RNA πολυμεράση συνίσταται από πέντε πολυπεπτιδικές αλυσίδες. Αρχικά το ένζυμο συνδέεται χαλαρά, κινούμενο κατά μήκος του DNA όπως τα βαγονάκια σε ένα τρενάκι του λούνα παρκ, μέχρις ότου να βρει μια περιοχή με υποκινητή για ένα γονίδιο. Όταν συμβεί αυτό, μια από τις υπομονάδες της πρωτεΐνης που ονομάζεται **σ**, αναγνωρίζει την ακολουθία υποκινητή του DNA. Αμέσως μετά που βρίσκει η RNA πολυμεράση την ακολουθία υποκινητή η **σ** απομακρύνεται, αφού τέλειωσε τη δουλειά της. Με την απουσία της **σ** η RNA πολυμεράση δένεται σφιχτά με το DNA και δεν μπορεί πια να κινηθεί ελεύθερα. Τώρα αρχίζει η δουλειά της. Η RNA πολυμεράση «λύνει» περίπου δέκα ζεύγη βάσεων του DNA, χωρίζοντας το ένα από το άλλο τα δύο νήματα από πολυνουκλεοτίδια στην περιοχή αυτή. Αυτό είναι αναγκαίο ώστε τη αλυσίδα RNA που θα κατασκευαστεί να μπορεί να «διαβάσει» τη σειρά του DNA με το να συνδεθεί μ' αυτήν με δεσμούς υδρογόνου, Τώρα η πολυμεράση συνδέει την ενεργοποιημένη μορφή του ριβονουκλεοτιδίου που είναι συμπληρωματική προς την πρώτη βάση του DNA όπου και αρχίζει η μεταγραφή. Μετά συνδέει το δεύτερο ριβονουκλεοτίδιο, που είναι συμπληρωματικό με τη δεύτερη βάση του DNA.

Όταν τα δύο πρώτα σωστά ριβονουκλεοτίδια ταιριαστούν με το σχέδιο, η RNA πολυμεράση τα ενώ-

ΕΙΚΟΝΑ Α-5

Ο ΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ

UUU	Φαινυλαλανίνη	UGU	Σερίνη	UAU	Τυροσίνη	UAU	Κυστεΐνη
UUC		UGC		UAC		UAC	
UUA	Λευκίνη	UGA		UAA	Λήξη	UGA	Λήξη
UUG		UCG	Προλίνη	UAG		UGG	Τρυπτοφάνη
CUU		CCU		CAU	Ιστιδίνη	CGU	Αργινίνη
CUC		CCC		CAC		CGC	
CUA	Ισολευκίνη	CCA		CAA	Γλουταμίνη	CGA	
CUG		CCG		CAG		CGG	
AUU	Ισολευκίνη	ACU	Θρεονίνη	AAU	Ασπαραγγίνη	AGU	Σερίνη
AUC		ACC		AAC		AGC	
AUA		ACA		AAA	Λυσίνη	AGA	Αργινίνη
AUG	Μεθειονίνη	ACG		AAG		AGG	
GUA	Βαλίνη	GCU	Αλανίνη	GAU	Ασπαρτικό οξύ	GGU	Γλυκίνη
GUC		GCC		GAC		GGC	
GUA		GCA		GAA	Γλουταμινικό οξύ	GGA	
GUG		GCG		GAG		GGG	

νει χημικά. Η πολυμεράση τότε κινείται προς τα κάτω μια θέση κατά μήκος του σχεδίου του DNA, ενώ κρατά χωριστά τα νήματα καθώς συνεχίζει. Ταιριάζει την τρίτη θέση με το αντίστοιχο ενεργοποιημένο ριβονουκλεοτίδιο, και το ενώνει με την αυξανόμενη αλυσίδα. Αυτά τα βήματα επαναλαμβάνονται κατά μήκος του γονιδίου με ένα πολύ

υψηλό ρυθμό κινούμενο περίπου είκοσι με πενήντα νουκλεοτίδια κάθε δευτερόλεπτο.

Η μεταγραφή προκαλεί ένα πρόβλημα: η κίνηση της πολυμεράσης μέσα στο περιστραμμένο, ελικοειδές DNA εξαναγκάζει το DNA που είναι μπροστά στην πολυμεράση να γίνει σφιχτά τυλιγμένο.¹⁹⁰

Αυτό θα προκαλέσει μια επιβράδυνση στη μεταγραφή ή να σταματήσει τελείως, όμως υπάρχει μια άλλη πρωτεΐνη που ονομάζεται *τοποϊσομεράση* και ξεμπερδεύει το DNA. Το κάνει αυτό με περίπλοκες μανούβρες—κόβει το ένα νήμα του μπερδεμένου DNA περνά το άκοπο νήμα DNA μέσα από το κομμένο νήμα και μετά ξανακλείνει το κόψιμο.

Η μεταγραφή σταματά όταν η RNA πολυμεράση θα συναντήσει μια ειδική ακολουθία DNA. Στα προκαρυωτικά κύτταρα αυτή είναι μια παλινδρομική¹⁹¹ περιοχή που περιέχει έξη με επτά GC ζεύγη βάσεων. Κάποια, όχι όμως όλα, γονίδια απαιτούν μια πρόσθετη πρωτεΐνη, που ονομάζεται **p**, για να κάνει την πολυμεράση να ξεκολλήσει από το DNA.

ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ

Ένα τυπικό βακτηριακό κύτταρο περιέχει χιλιάδες γονίδια, και ένα τυπικό κύτταρο θηλαστικών περιέχει δεκάδες χιλιάδες. Πως θα γνωρίζει ένα κύτταρο πως να μεταγράψει ένα γονίδιο, και πώς να επιλέξει ένα ειδικό γονίδιο από τα χιλιάδες που είναι διαθέσιμα; Το πρόβλημα της «γονιδιακής ρύθμισης» είναι ένα μεγάλο θέμα έρευνας. Πολές λεπτομέρειες έχουν αποκαλυφθεί, όμως το θέμα παραμένει θολό. Ένα από τα απλούστερα παραδείγματα γονιδιακής ρύθμισης είναι η ρύθμιση του κύκλου ζωής του βακτηριοφάγου λ. Βακτηριοφάγος— το προκαρυωτικό ανάλογο για τους ιούς— είναι τεμάχια DNA τυλιγμένα με ένα πρωτεϊνικό μανδύα. Για να κάνει αντίγραφο του εαυτού του, ένας βακτηριοφάγος πρέπει να βρει ένα κατάλληλο βακτηριακό κύτταρο, να προσκολληθεί στο κύτταρο, και να εισάγει το DNA του μέσα στον ξενιστή. Το DNA του φάγου είναι αρκετά μικρό, έχει κώδικα για πενήντα περίπου γονίδια. Δεν είναι επαρκές για να κάνει το δικό του μηχανισμό για διπλασιασμό κι έτσι έξυπνα, ο φάγος «αρπάζει» το μηχανισμό του ξενιστή. Έτσι ο φάγος είναι ένα παράσιτο, ανίκανο να φροντίσει εξ ολοκλήρου για τον εαυτό του.

Καμιά φορά όταν ο βακτηριοφάγος λ εισβάλλει σε ένα κύτταρο, το κύτταρο κάνει τόσα πολλά αντίγραφα του λ που φθάνει στο σημείο να «σκάσει». Αυτό ονομάζεται ο *λυτικός* κύκλος. Όμως σε άλλες χρονικές στιγμές, ο λ εισάγει το δικό του DNA στο βακτηριακό DNA κάνοντας από δύο μόρια ένα μόριο. Αυτό το λ DNA μπορεί να παραμείνει ήσυχο, και να αναπαράγεται με το υπόλοιπο βακτηριακό DNA όταν διαιρείται το κύτταρο και περιμένει την κατάλληλη στιγμή. Αυτό ονομάζεται ο *λυσογενής* κύκλος. Όταν το βακτήριο, ίσως μετά πολλές γενιές, βρεθεί σε δυσκολία, (για παράδειγμα αν βρεθεί σε μεγάλες δόσεις υπεριώδους φωτός), το λ DNA στο βακτηριακό DNA αλλάζει στο λυτικό ρυθμό. Μόνο τώρα ο φάγος κάνει χιλιάδες αντίγραφα του εαυτού του, κάνοντας το κύτταρο να σκάσει και ξεχύνοντας νέους βακτηριοφάγους.

Τι είναι αυτό που αλλάζει το βακτηριοφάγο λ από το λυσογενή στο λυτικό κύκλο; Όταν το DNA του βακτηριοφάγου εισέλθει στο κύτταρο, η RNA πολυμεράση συνδέεται με ένα ενισχυτή μεταγραφής του λ βακτηριοφάγου. Ένα από τα πρώτα γονίδια που εκφράζεται είναι για ένα ένζυμο που ονομάζεται «ιντεγκράση», που χημικά εισάγει το λ DNA στο βακτηριακό DNA. Το ένζυμο το πετυχαίνει, κό-

¹⁹⁰ Το πρόβλημα μπορεί να γίνει κατανοητό με το ακόλουθο παράδειγμα: τύλιξε το κορδόνι ενός παπουτσιού αρκετές φορές γύρω από ένα άλλο, και ζήτησε από κάποιον άλλο να κρατήσει γερά τα άκρα των νημάτων με τα δύο του χέρια. Τώρα πάρε ένα μολύβι, και βάλε το ανάμεσα στα νήματα κοντά στο ένα χέρι, τώρα προσπάθησε να σπρώξεις το μολύβι προς το άλλο χέρι. Τα κορδόνια μπροστά στο κινούμενο μολύβι θα γίνουν πιο σφιχτά τυλιγμένα. Τα κορδόνια πίσω από το μολύβι σύμφωνα με την αργκό της βιοχημείας θα έχουν «λυώσει».

¹⁹¹ Παλινδρομική είναι μια λέξη ή μια πρόταση που μπορεί να διαβαστεί κατά τον ίδιο τρόπο προς τα πίσω και τα μπρος. Ένα παράδειγμα είναι η γνωστή «νίψον ανομήματα μη μόναν όψιν» και στα αγγλικά «A man, a plan, a canal—Panama» Όταν εφαρμόζεται στο DNA, *παλινδρομο* εννοείται μια ακολουθία νουκλεοτιδίων που διαβάζεται η ίδια στην 5'→3' κατεύθυνση και στα δύο νήματα του διπλού έλικα.

βωντας το κυκλικό λ DNA σε μία ειδική θέση που έχει μια ακολουθία όμοια με τη θέση του DNA του ξενιστή, τον οποίο έχει επίσης κόψει η ιντεγκραση (= ολοκληρώνει), Αυτό αφήνει τα δύο κομμάτια του DNA με συμπληρωματικά “κολλητικά” άκρα κι έτσι συνδέονται με δεσμό υδρογόνου. Το ένζυμο της ολοκλήρωσης τότε ενώνει τα τμήματα του DNA.

Ένα άλλο λ γονίδιο κωδικοποιεί για μια πρωτεΐνη που ονομάζεται “καταστολέας”. Ο καταστολέας ενώνεται ισχυρά με μια ακολουθία του λ DNA στην οποία πρέπει να συνδεθεί η RNA πολυμεράση για να αρχίσει το λυτικό κύκλο. Όταν όμως, είναι παρών ο λ καταστολέας, η RNA πολυμεράση δεν μπορεί να συνδεθεί και έτσι απενεργοποιείται ο λυτικός κύκλος. Στην πραγματικότητα υπάρχουν τρεις θέσης για δέσμευση του καταστολέα—όλες στη σειρά. Ο καταστολέας συνδέεται πιο ισχυρά με την πρώτη θέση από την δεύτερη, και με τη δεύτερη πιο ισχυρά από την τρίτη. Η τρίτη θέση επικαλύπτεται με τον ενισχυτή για το γονίδιο που κωδικοποιεί τον ίδιο τον καταστολέα. Αυτή η διευθέτηση επιτρέπει στον καταστολέα να συντίθεται συνεχώς μέχρις ότου να γεμίσει η τρίτη θέση, και σ’ αυτό το σημείο σταματά η σύνθεση. Αν η συγκέντρωση του καταστολέα πέσει μέχρι σημείου που δεν συνδέεται με την τρίτη θέση, τότε ενεργοποιείται ξανά ο καταστολέας.

Με αυτό το μηχανισμό ο καταστολέας του λ ρυθμίζει τη δική του την παραγωγή. Όμως στην παρουσία ορισμένων χημικών ουσιών, υπερϊώδους φωτός, ή σε άλλων βλαβερών παραγόντων, ενεργοποιείται ένα γονίδιο για ένα ένζυμο που έχει την ειδικότητα να καταστρέφει τον λ καταστολέα. Όταν αφαιρεθεί από την πρώτη θέση ο καταστολέας, ενεργοποιείται το γονίδιο για μια πρωτεΐνη που ονομάζεται Cro. Η πρωτεΐνη Cro συνδέεται ισχυρά με την τρίτη θέση για τη σύνδεση του λ καταστολέα, οπότε τον απενεργοποιεί για πάντα και ξεκινά το λυτικό κύκλο του βακτηριοφάγου. Τώρα μεταγράφονται όλα τα γονίδια που είναι αναγκαία για την κατασκευή των αντίγραφων του λ DNA και του πακεταρίσματος του με πρωτεϊνικούς μανδύες.

Ο έλεγχος του κύκλου της ζωής του βακτηριοφάγου λ είναι ένα από τα απλούστερα παραδείγματα της γονιδιακής ρύθμισης. Η ρύθμιση άλλων γονιδιακών συστημάτων, ειδικά στα ευκαρυωτικά κύτταρα, μπορεί να περιλαμβάνει δωδεκάδες πρωτεΐνες. Παρόλα αυτά θεωρείται ότι τα περισσότερα γονίδια ρυθμίζονται με συστήματα που είναι ανάλογα με αυτά που έχει ο λ βακτηριοφάγος, με ελέγχους ανατροφοδότησης και πολλαπλούς παράγοντες που συνεργάζονται στο να αποφασίσουν αν ένα συγκεκριμένο γονίδιο θα ενεργοποιηθεί.

ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ

Όταν έχει παραχθεί ο αγγελιοφόρος RNA, τότε η δουλειά που πρέπει να γίνει είναι να μεταφραστεί αυτό το μήνυμα σε μια πρωτεΐνη. Αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει πιο εύκολα κατανοητή στα προκαρυωτικά κύτταρα.

Το μεταγραφωμένο RNA συνδέεται με ένα σωματίο που ονομάζεται ριβόσωμα. Τα ριβοσώματα είναι τεράστια σύμπλοκα που αποτελούνται από πενήντα δύο διαφορετικές πρωτεΐνες (από τις οποίες αρκετές είναι παρούσες σε πολλά αντίγραφα) και τρία τμήματα RNA με μήκη 120, 1542 και 2904 νουκλεοτίδια. Το ριβόσωμα μπορεί εύκολα να σπάσει σε δύο μεγάλα τεμάχια, που ονομάζονται υπομονάδα 30S και υπομονάδα 50S.¹⁹² Το απίστευτο είναι ότι το ριβόσωμα μπορεί να συναρμολογηθεί μόνο του. Τα πειράματα έδειξαν ότι όταν τα ριβοσώματα χωρίζονται στα συστατικά τους και μετά ανακατευτούν ξανά, κάτω από κατάλληλες συνθήκες, τα συστατικά θα ξανασχηματίσουν αυθόρμητα νέα ριβοσώματα.

Το ριβόσωμα έχει ένα πρόβλημα που είναι παρόμοιο με την RNA πολυμεράση: το ριβόσωμα θα πρέπει να βρει ένα σημείο στο mRNA στο οποίο θα αρχίσει τη μετάφραση. Στα προκαρυωτικά κύτταρα,

¹⁹² Μια συντόμευση S αντιπροσωπεύει μονάδες Svedberg, και μετρά πόσο γρήγορα κατακάθεται ένα σωματίο σε ένα υγρό.

η θέση σημειώνεται από ένα τμήμα που ονομάζεται ακολουθία Shine-Dalgarno, που βρίσκεται σε απόσταση περίπου δέκα νουκλεοτίδια προς τα πάνω από τη θέση έναρξης. Το ξεκίνημα της μετάφρασης αρχίζει με την πρώτη ακολουθία AUG. (AUB είναι το κωδικόνιο για το αμινοξύ μεθειονίνη.) Στα ευκαρυωτικά η έναρξη συνήθως ξεκινά απλά στην πρώτη AUG ακολουθία από την 5' άκρη του mRNA.

Τα ίδια τα ριβοσώματα δεν μπορούν να συνδέσουν από μόνα τους το mRNA, χρειάζονται και άλλοι παράγοντες. Στα προκαρυωτικά είναι αναγκαίες τρεις πρωτεΐνες ονομάζονται *παράγοντες έναρξης*— που τους έχουν δοθεί η ετικέτες IF-1, IF-2 και IF-3. Για να αρχίσει η μετάφραση, συνδέονται οι IF-1 και IF-3 στην υπομονάδα 30S του ριβοσώματος. Αυτό το σύμπλοκο προχωρά για να συνδεθεί (1) σε ένα σύμπλοκο που έχει σχηματιστεί προηγουμένως από ένα μόριο tRNA που μεταφέρει μεθειονίνη και που είναι συνδεδεμένο με το IF-2 και (2) με το mRNA στη θέση έναρξης. Μετά η μεγάλη υπομονάδα (50S) του ριβοσώματος συνδέεται με το αυξανόμενο σύμπλοκο προκαλώντας την αποκόλληση των IF-1, IF-2 και IF-3. Στα ευκαρυωτικά, η έναρξη της μετάφρασης περνά από παρόμοια βήματα, όμως ο αριθμός των παραγόντων έναρξης μπορεί να είναι και μέχρι δέκα και παραπάνω.

Στο επόμενο βήμα ένα δεύτερο μόριο tRNA, που σχετίζεται με την πρωτεΐνη ονομάζεται παράγοντας επιμηκύνσης Tu (EF-Tu), έρχεται φέροντας το κατάλληλο αμινοξύ και το συνδέει στο ριβόσωμα. Σχηματίζεται ένας πεπτιδικός δεσμός μεταξύ των δύο αμινοξέων που συγκρατούνται από το ριβόσωμα. Το πρώτο μόριο tRNA τώρα έχει χάσει το αμινοξύ του, και οι δύο ρίζες από τα αμινοξέα που είναι ενωμένες ομοιοπολικά συνδέονται με ένα δεύτερο tRNA. Σ' αυτό το σημείο το πρώτο tRNA αποχωρίζεται από το ριβόσωμα, το δεύτερο tRNA κινείται στη θέση του ριβοσώματος που προηγούμενα κατεχόταν από το πρώτο tRNA, και το ριβόσωμα κινείται ακριβώς τρία νουκλεοτίδια πιο κάτω στο mRNA. Αυτή η διαδικασία μετατόπισης απαιτεί μια άλλη πρωτεΐνη που ονομάζεται EF-G για κάποια ακόμη άλλη άγνωστη λειτουργία.

Αυτά τα βήματα επαναλαμβάνονται μέχρις ότου το ριβόσωμα να φθάσει σε μια ακολουθία τριών νουκλεοτιδίων που αντιστοιχεί στο κωδικόνιο τερματισμού. Μια άλλη πρωτεΐνη που ονομάζεται *παράγοντας ελευθέρωσης*, συνδέεται με το κωδικόνιο λήξης, και εμποδίζει να μετακινηθεί το ριβόσωμα εκεί. Επιπρόσθετα ο παράγοντας ελευθέρωσης μεταβάλλει τη λειτουργία του ριβοσώματος. Αντί απλώς να κάθεται στο mRNA και να περιμένει τον παράγοντα ελευθέρωσης για να κινηθεί, το ριβόσωμα κόβει τη συμπληρωμένη πολυπεπτιδική αλυσίδα από το τελικό μόριο tRNA στο οποίο είναι ακόμη προσκολλημένο, και η πρωτεΐνη επιπλέει ελεύθερη στο διάλυμα. Το ανενεργό ριβόσωμα τότε αποχωρίζεται από το mRNA, επιπλέει μακριά και είναι ελεύθερο να αρχίσει ακόμη έναν κύκλο πρωτεϊνικής σύνθεσης.

Υπάρχουν κι άλλοι παράγοντες που είναι πάρα πολλοί για να αναφερθούν σ' αυτό το σύντομο σκίτσο, που είναι κι αυτοί επίσης αναγκαίοι για ένα λειτουργικό σύστημα μετάφρασης. Αυτοί περιλαμβάνουν τα ένζυμα που τοποθετούν χημικά το σωστό αμινοξύ στο σωστό tRNA, διάφοροι μηχανισμοί για να «διαβάσουν κριτικά» τη μετάφραση, και ο ρόλος της χημικής ενέργειας, με τη μορφή του ενεργοποιημένου νουκλεοτιδίου GTP σε κάθε στάδιο της μετάφρασης. Παρόλα αυτά αυτή η περίληψη μπορεί να δώσει στον αναγνώστη ταυτόχρονα μια ιδέα της διαδικασίας με την οποία εκφράζεται η γενετική πληροφορία και επίσης μια εκτίμηση για τις δυσκολίες που υπάρχουν μέσα σ' αυτή την έκφραση.

ΔΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ DNA

Έρχεται η στιγμή στη ζωή του κάθε κυττάρου που η σκέψη του στρέφεται στη διαίρεση. Μια σημαντική θεώρηση στη διαίρεση του κυττάρου είναι η εξασφάλιση στο ότι η γενετική πληροφορία θα

αντιγραφεί και θα παραδοθεί χωρίς κάποια φθορά· και σ' αυτόν τον τομέα έχει επενδυθεί μεγάλη προσπάθεια.

Το 1957 ο Arthur Kornberg απέδειξε ότι κάποια ένζυμα μπορούν να πολυμερίσουν τις ενεργοποιημένες μορφές των δεοξυνουκλεοτιδίων σε ένα νέα μόριο DNA που ήταν ένα ακριβές αντίγραφο για οποιοδήποτε «πρότυπο» DNA του έριχνε ο Kornberg μέσα στο μείγμα της αντίδρασης. Ονόμασε το ένζυμο *DNA πολυμεράση*. (Pol I). Η επιστημονική κοινότητα έμεινε εκστατική μπροστά σ' αυτή την ανακάλυψη. Με τα χρόνια, όμως δείχτηκε ότι ο κύριος ρόλος της Pol I δεν ήταν να συνθέσει DNA κατά τη διάρκεια της διαίρεσης του κυττάρου· μάλλον ήταν να διορθώνει το DNA που είχε βλαφτεί από την έκθεση σε υπεριώδεις ακτινοβολίες, σε μεταλλαξιогόνες χημικές ουσίες, ή άλλες περιβαλλοντικές προσβολές. Αργότερα ανακαλύφθηκαν δύο άλλες DNA πολυμεράσεις, η Pol II και η Pol III. Ο ρόλος της Pol II παραμένει θολός: τα μεταλλαγμένα κύτταρα που δεν έχουν αυτό το ένζυμο δεν δείχνουν κάποιο παρατηρήσιμο ελάττωμα. Η Pol III έχει ταυτιστεί ως ένα σπουδαίο ένζυμο που εμπλέκεται στο διπλασιασμό του DNA στα προκαρυωτικά κύτταρα.

Η DNA πολυμεράση III είναι στην πραγματικότητα ένα σύμπλοκο από επτά διαφορετικές υπομονάδες, που ποικίλουν σε μέγεθος από περίπου 300 μέχρι 1100 ρίζες αμινοξέων. Όμως μόνο η μία από τις υπομονάδες κάνει τη χημική συνένωση των νουκλεοτιδίων· οι άλλες υπομονάδες εμπλεκονται σε κρίσιμες βοηθητικές λειτουργίες. Για παράδειγμα, η υπομονάδα που προκαλεί τον πολυμερισμό, έχει την τάση να αποχωρίζεται από το «πρότυπο» DNA μετά που έχει συνδέσει δέκα με δεκαπέντε νουκλεοτίδια. Αν αυτό συνέβαινε μέσα στο κύτταρο, η πολυμεράση θα έπρεπε να ξαναρχίσει ξανά και ξανά ίσως και εκατοντάδες χιλιάδες φορές πριν να συμπληρωθεί η αντιγραφή· επιβραδύνοντας την τρομερά. Όμως η πλήρης Pol-III — με όλες τις επτά υπομονάδες — δεν αποχωρίζεται πριν αντιγραφεί ολόκληρο το πρότυπο DNA (που μπορεί να έχει μήκος περισσότερο από ένα εκατομμύριο ζεύγη βάσεων).

Επιπρόσθετα στη δραστηριότητα πολυμερισμού η Pol III κατέχει, ειρωνικά, μια δραστηριότητα 3' → 5' νουκλεάση. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να διασπάσει το πολυμερισμένο DNA σε ελεύθερα νουκλεοτίδια, ξεκινώντας από το ελεύθερο 3' άκρο και κινούμενο προς το 5' άκρο. Τώρα, γιατί μια πολυμεράση να καταστρέφει κατουσίαν το DNA; Όπως αποδεικνύεται η δράση της Pol III ως νουκλεάσης είναι πολύ σημαντική στο να εξασφαλίζει την ακρίβεια της διαδικασίας αντιγραφής. Υπόθεση ότι ενσωματώνονται τα λανθασμένα νουκλεοτίδια στην αυξανόμενη αλυσίδα DNA. Η λειτουργία της Pol III ως νουκλεάσης της επιτρέπει να κάνει βήματα προς τα πίσω και να αφαιρέσει τα λανθασμένα, και λάθος ζευγαρωμένα νουκλεοτίδια. Τα σωστά ζευγαρωμένα νουκλεοτίδια αντιστέκονται στη δραστηριότητα της νουκλεάσης. Αυτή η δραστηριότητα ονομάζεται «διόρθωμα τυπογραφικών σφαλμάτων»· χωρίς αυτήν, χιλιάδες σφάλματα θα έμπαιναν καθώς θα αντιγραφόταν το DNA.

Η αντιγραφή του DNA αρχίζει σε μια ορισμένη ακολουθία του DNA, που είναι γνωστή ως «θέση έναρξης της αντιγραφής» και προχωρά και προς τις δύο κατευθύνσεις ταυτόχρονα πάνω στο αρχικό DNA. Η πρώτη δουλειά που πρέπει να γίνει κατά την αντιγραφή, όπως και στη μεταγραφή, είναι ο χωρισμός των δύο αρχικών νημάτων DNA. Αυτό είναι δουλειά της πρωτεΐνης *DnaA*. Μετά που χωρίζονται τα δύο νήματα, δύο άλλες πρωτεΐνες, που ονομάζονται *DnaB* και *DnaC*, συνδέονται με τα μοναχικά νήματα. Στρατολογούνται δυο ακόμη πρωτεΐνες προς την αυξανόμενη «φούσκα» του ανοιχτού DNA· η πρωτεΐνη σύνδεσης του μονού νήματος (SSB) που κρατά χωριστά τα δύο αρχικά νήματα του DNA, ενώ αντιγράφεται το DNA· και η γυράση που ξεμπερδεύει τα κομπιάσματα που συμβαίνουν καθώς το σύμπλοκο προχωρά μέσα από το DNA με το διπλό έλικα.

Σ' αυτό το σημείο μπορεί να αρχίσει τη σύνθεση η DNA πολυμεράση. Όμως εμφανίζονται πολλά προβλήματα. Δεν μπορεί η DNA πολυμεράση να αρχίσει τη σύνθεση με το να ενώσει δύο νουκλεοτίδια με τον ίδιο τρόπο που η RNA πολυμεράση αρχίζει τη μεταγραφή· το ένζυμο του DNA, μπορεί να προσθέτει μόνο νουκλεοτίδια στο τέλος ενός ήδη προϋπάρχοντος πολυνουκλεοτιδίου. Έτσι το κύτ-

ταρο χρησιμοποιεί ένα άλλο ένζυμο για να κάνει μια μικρή περιοχή RNA, στο εκτεθειμένο πρότυπο DNA. Αυτό το ένζυμο μπορεί να αρχίσει τη σύνθεση του RNA από δύο νουκλεοτίδια. Όταν έχει προχωρήσει η αλυσίδα RNA και έχει φθάσει σε μήκος περίπου δέκα νουκλεοτίδια, η DNA πολυμεράση μπορεί να χρησιμοποιήσει το RNA ως ένα «πρωταρχικό νήμα» προσθέτοντας δεοξυνουκλोटίδα στο άκρο του.

Το δεύτερο πρόβλημα συμβαίνει καθώς ανοίγει η «διχάλα» της αντιγραφής. Η σύνθεση του ενός νήματος του νέου DNA μπορεί να προχωρήσει χωρίς καμία δυσκολία· αυτό είναι το νήμα που κατασκευάζει η πολυμεράση καθώς διαβάζει το πρότυπο με την κίνηση της κατά την κατεύθυνση $3' \rightarrow 5'$ και έτσι δημιουργεί ένα νέο νήμα κατά την κατεύθυνση $5' \rightarrow 3'$. Πως όμως θα συνθέσει το δεύτερο νήμα; Το κάνει άμεσα, η πολυμεράση θα έπρεπε να διαβάσει το πρότυπο κατά την κατεύθυνση $5' \rightarrow 3'$, και έτσι να συντίθεται το νέο νήμα κατά την κατεύθυνση $3' \rightarrow 5'$. Αν και δεν υπάρχει κάποιος θεωρητικός λόγος γιατί να μην μπορεί να συμβεί αυτό, καμιά γνωστή πολυμεράση δε συνθέτει κατά την κατεύθυνση $3' \rightarrow 5'$. Αντίθετα μετά που έχει ανοίξει ένα τμήμα του DNA, ένα πρωταρχικό RNA κατασκευάζεται κοντά στη διχάλα και η σύνθεση του DNA προχωρά προς τα πίσω προς το τμήμα που έχει κατασκευαστεί, απομακρυνόμενη από τη διχάλα σε μια κατεύθυνση $5' \rightarrow 3'$. Επιπλέον σύνθεση σ' αυτό το «καθυστερημένο» νήμα, πρέπει να περιμένει μέχρις ότου η διχάλα του διπλασιασμού να προχωρήσει για ένα ακόμη τμήμα του DNA. Πρέπει τότε να κατασκευαστούν τα πρωταρχικά τμήματα του RNA, η σύνθεση του DNA προχωρά προς τα πίσω προς το τμήμα που συντέθηκε προηγουμένως. Τότε πρέπει να αφαιρεθεί το πρωταρχικό RNA, τα κενά να γεμίσουν με το DNA, και τα άκρα των τμημάτων DNA να «ραφτούν μεταξύ τους». Αυτό απαιτεί μερικά ακόμη ένζυμα.

Η πιο πάνω περιγραφή της αντιγραφής του προκαρυωτικού DNA έχει προκύψει από μια τεράστια προσπάθεια ενός μεγάλου αριθμού εργαστηρίων. Η αντιγραφή του ευκαρυωτικού DNA φαίνεται να είναι πολύ περισσότερο περίπλοκη και πολύ λίγα είναι γνωστά για αυτά.

Allan Bloom, 115
 Allen Orr, 202
 AMP, 106
Annual Review of Biochemistry (ARB), 85
 ARB, 85
 Arthur Kornberg, 227
 ATP
 μαστίγιο, 51
 C1q, 99
 C1r ενεργοποιημένη πρωτεΐνη, 100
 CDC, 73
 Christian de Duve, 117
 Crick, 191
 εξωγήνιοι, 191
 Dawkins, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 34, 35, 36, 47, 154, 162, 165, 168, 169, 192, 193, 204, 205
 Dickerson
 κανόνας, 183
 Edwin Hubble, 188
 Emile Zuckerkandl, 124
 ER, 80
 Francis Hitching, 25
 Fred Hoyle, 188
 Futuyma, 174
 George Miklos, 21
 Gould, 20
 Horowitz, 116
 Jerry Coyne, 21
 John Maynard Smith
 κατά Kauffman, 118
 John McDonald, 21
Journal of Molecular Evolution, 130, 132
 Kendrew, 8
 Kenneth Miller, 170
 Klaus Dose, 126
 Lynn Margulis, 143
 Lynn Margulis, 19
 Mae-Wan Ho, 20
 Mivart, 22
 Niles Eldredge, 19
 Nucleic Acids Research, 39
 Paley, 160, 161, 162, 163, 164, 166, 199, 205
 Peter Saunter, 20
 Plasminogen Activator TPA, 68
Proceedings of the National Academy of Sciences, 134
 Richard Goldschmidt, 19
 RNA, 128
 Robert Dickerson, 182
 Robert Macnab, 208
 Robert Pennock, 198
 Robert Shapiro
 τομεακός σοβινισμός, 179
 Russell Doolittle, 66
 Schleiden, 6
 Scientific American
 προηγούμενη ζωή, 192
 Shapiro, 169
 Sober, 165, 166, 167, 168, 169
 SRP, 79
 Stanley Miller, 127
 Stephen Hawking, 190
 Steven Jay Gould
 αντίχειρας του πάντα, 175
 Stuart Kauffman, 22, 117
 Szathmary, 50
Technology Review, 172
 Thomas Cech, 128
trans-ρετινάλη, 14
 t-SNARE, 82
 Vesicle – Mediated Protein Sorting, 85
 v-SNARE, 82
 Yockey, 21
 A→B→C→D, 113
 αιμοφιλία, 65
 αμινοξέα, 38
 αλυσίδες 31, 113, 232, 111
 αντισώματα, 89
 κωδικόνια που σημαίνουν, 222
 οικοδόμηση πρωτεϊνών, 8
 οικοδόμηση πρωτεϊνών, 38
 αναγωγή πολυπλοκότητα
 ορισμός, 197
 ανθρωπική αρχή, 190
αντεναπέδια, 30
 αξελρίνη, 65
 Αριστοτέλης, 4
 ασπαρτικό οξύ, 111
 αστερίες, 13
 Β κύτταρα, 91
 Βακτηριοφάγος, 224
 βασιλιάς του Σιάμ, 65
 βιοσύνθεση της AMP, 112

βοηθητικό T- κύτταρο, 92
 Γαληνός, 5
 γλουταμίνη, 109
 γλυκίνη, 38
 γονιδιακή ακολουθία
 πρώτη δημοσίευση, 196
 γονίδιο
 διπλασιασμός, 67
 Γούλιαμ Τζένινγκς, 181
 Δαρβινική εξέλιξη, 47
 Δαρβινικό μονοπάτι, 204
 Δαρβίνου, 1, 2, 3, 9, 10, 11, 12, 13, 16,
 18, 19, 20, 22, 28, 29, 30, 31, 33, 71,
 86, 94, 120, 130, 160, 163, 165, 169,
 181, 193, 195, 196, 197, 200, 201,
 202, 203, 204, 205, 206, 208, 209,
 210, 211
 δεινόσαυροι
 θάνατος πριν 60 δισ. χρόνια, 186
 ελαιόφιλα, 39
 ενδοπλασματικό δίκτυο, 215
 ένζυμο I, 119
 Ένζυμο XI, 111
 εξελικτική σύνθεση, 18
 εξελικτικό μονοπάτι, 13
 Εξέλιξη του Συμπληρωματικού
 συστήματος, 103
 επιθετικές ενέργειες, 87
 Ερνστ Χαίκελ, 76
 ευκαρυωτικά, 214
 ευκαρυωτικό κύτταρο, 142
 ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ, 139
 ευφυούς σχεδιασμού
 κάτι νέο στην επιστήμη, 176
 θεωρία της σταθερής κατάστασης, 188
 θεωρία του σχεδιασμού
 προφανείς ερωτήσεις, 177
 θρόμβωση, 57
 FSF, 64
 θρομβίνη, 59
 παράγοντας Στιούαρτ, 60
 παράγοντας Χριστουγέννων, 62
 τουμπουλίνη, 58
 ιδέα του κυκλικού σύμπαντος, 189
 ιμιουνογκλομρίνες, 102
 ινδογόνο, 68
 Ιπποκράτης, 4
 ισορροπία με διακοπές, 20
 κυτταρική μεμβράνη, 156
 κωδικοποίηση DNA, 94
 Λενινγκερ, 136
 λυσοσώματα, 215
 μαθηματικά μοντέλα της εξέλιξης, 131
 μαννόζη, 80
 ΜΑΤΙΑ, 11
 μεταβολισμός, 117
 μεταγραφμένο RNA, 225
 μη αναγώγιμη περιπλοκότητα, 55, 70,
 82, 84
 μικροσωληνίσκους, 44, 45, 47, 48, 216
 Μιμς
 απόρριψη από Scientific American,
 182
 μιτοχόνδριο, 143
 Μπιγκ Μπανγκ, 188
 νεξίνης, 46, 47, 155
 νημάτιο από φλαγκελίνη, 51
 Ντέιβιντ Χιούμ, 165, 166, 167, 168
Ο Λαιμός της Καμηλοπάρδαλης, 27
Ο Τυφλός Ωρολογοποιός, 24
 ΟΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΧΗΜΕΙΑΣ, 13
 παράγοντας B, 100
 παράγοντας ιστού, 62, 68, 69
 παράγοντας Στιούαρτ, 70
 πίστη στην εξέλιξη
 συμβατή με θρησκευτικές
 πεποιθήσεις, 184
 ποικιλομορφία, 6
 ποντικοπαγίδα, 32, 34, 55, 66, 82, 84,
 133, 200, 201
Προέλευση των Ειδών, 6
 προθρομβίνης, 153
 Πρωτεΐνη C, 68
 σενάριο του Doolittle, 71
 σερίνη, 38
 σκαθάρι βομβαρδιστής, 23
 κύστη συλλογής, 23
 υπεροξειδίου του υδρογόνου, 24
 σπερματοζώαρια, 44
 σχεδιασμός
 βιοχημικών συστημάτων, 156
 T. Cavalier-Smith, 49
 Τζων Σκόουπς, 181
 τρανσδουσίνη, 14
 φακός του ματιού, 11
 φλαγκελίνη, 51
 Φρανκ Αρμστρονγκ, 138
 φυσική επιλογή, 1
Φυσική Θεολογία, 161
 φωσφορική -5-ριβόζη, 112

Χάρβεϊ, 5
ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΖΩΗΣ, 7

Χριστουγέννων, 62