

## ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΣΤΑΣΙΑΚΟ ΜΑΣΤΟΡΕΜΑ\*

Πολλά βιβλία ζωολογίας και βοτανικής, του 16ου αιώνα, είναι εικονογραφημένα με υπέροχα σχέδια των διάφορων ζώων που κατοικοῦν τή γῆ. Μερικά μάλιστα περιέχουν λεπτομερείς περιγραφές παράξενων πλασμάτων, ὅπως σκυλιά με κεφάλι ψαριοῦ, ἀνθρώπους με πόδια κότας ἢ ἀκόμη καί γυναῖκες δίχως κεφάλι. Ἡ ἰδέα ἐνός τέρατος πού νά συνδυάζει τά χαρακτηριστικά διαφορετικῶν εἰδῶν, αὐτή καθαυτή, δέν προκαλεῖ κατάπληξη: ὅλοι ἔχουμε φανταστεῖ ἢ ζωγραφίσει τέτοια ὑβρίδια. Αὐτό πού μᾶς προκαλεῖ σήμερα ἀμηχανία εἶναι τὸ ὅτι, στὸν 16ο αἰῶνα, τά πλάσματα αὐτά δέν ἀνήκαν στὸν κόσμο τῆς φαντασίας, ἀλλὰ στὸν πραγματικό κόσμο. Πολλοὶ ἀνθρώποι τά εἶχαν δεῖ καί τά εἶχαν περιγράψει λεπτομερῶς. Τά τέρατα περπατοῦσαν πλάι - πλάι μετὰ τὰ συνηθισμένα ζῶα τῆς καθημερινῆς ζωῆς. Ἦταν μέσα στὰ ὄρια τοῦ δυνατοῦ.

Τὸ ἴδιο φαινόμενο μᾶς κάνει ἐντύπωση σὲ ἓνα σύγχρονο βιβλίο ἐπιστημονικῆς φαντασίας: τά ἀποτρόπαια ζῶα πού κυνηγοῦν τὸν καημένο τὸν ἀστροναύτη πού ξεστράτισε σ' ἓναν μακρινὸ πλανήτη εἶναι προϊόντα νέων συνδυασμῶν μεταξὺ τῶν ζώων πού ζοῦν πάνω στὴ γῆ. Τά ὄντα πού ἔρχονται ἀπὸ τὸ ἀπώτερο διάστημα γιὰ νά ἐξερευνηθοῦν τὴ γῆ ἀπεικονίζονται «κατ' εἰκόνα καὶ ὁμοίωσιν» τοῦ ἀνθρώπου. Θὰ τά δεῖτε νά βγαίνουν ἀπὸ τοὺς ἰπτάμενους τοὺς δίσκους. Εἶναι σπονδυλωτά, θηλαστικά τὸ δίχως ἄλλο, καί περπατοῦν στὴν ὀρθία στάση. Οἱ μόνες παραλλαγές πού ὑπάρχουν εἶναι στὸ μέγεθος τοῦ σώματος καί τὸν ἀριθμὸ τῶν ματιῶν. Κατὰ κανόνα τά πλάσματα αὐτά ἔχουν μεγαλύτερα κρανία ἀπὸ τοὺς ἀνθρώπους, πού σημαίνει ὅτι ἔχουν πιὸ ἀναπτυγμένο ἐγκέφαλο, καί μερικές φορές μιά δὺό κεραῖες στὸ κεφάλι, πού σημαίνει ὅτι ἔχουν ὑπερευαίσθητα αἰσθητήρια ὄργανα. Καί ἐδῶ αὐτό πού μᾶς προξενεῖ κατάπληξη εἶναι τὸ τί θεωρεῖται ὡς δυνατό. Εἶναι ἡ ἰδέα, πάνω ἀπὸ ἑκατὸ χρόνια μετὰ τὸν Darwin, ὅτι ὅπουδήποτε καί ἂν ὑπάρχει ζωὴ θὰ πρέπει νά παράγει ζῶα ὄχι καί τόσο διαφορετικά ἀπὸ τὰ γήινα καί, πάνω ἀπ' ὅλα, ὅτι θὰ πρέπει τελικά νά ἀναπτύξει ἓνα ἀνθρωπόμορφο εἶδος.

\* Τὸ ἄρθρο Evolution and Tinkering δημοσιεύτηκε στὸ περιοδικὸ *Science* (τόμος 196, ἀρ. 4295) τὸν Ἰούνιο τοῦ 1977. Ἡ μετάφραση τούτη δημοσιεύεται μετὰ τὴν ἄδεια τοῦ συγγραφέα στὸν ὁποῖο ἐκφράζουμε τίς εὐχαριστίες μας.



Τό ενδιαφέρον στά τέρατα αὐτά εἶναι ὅτι μᾶς δείχνουν πῶς μία κουλτούρα κάνει χρήση τῆς ἔννοιας τῆς δυνατότητας καί πῶς χαράζει τά ὅριά της. Τό ἀνθρώπινο μυαλό ζητᾶ νά βάζει τάξη στή φύση. Μπορεῖ κανεῖς νά πεῖ ὅτι ὅλοι οἱ πολιτισμοί, ἄλλος λιγότερο καί ἄλλος περισσότερο, μπόρεσαν νά δώσουν στά μέλη τους μία ἐνοποιημένη καί συνεπή ἄποψη τοῦ κόσμου καί τῶν δυνάμεων πού τόν διέπουν. Μπορεῖ κανεῖς νά μή συμφωνεῖ μέ τά συστήματα ἐξήγησης πού προσφέρει ὁ μύθος ἢ ἡ μαγεία, ὅμως δέν μπορεῖ νά ἀρνηθεῖ ὅτι ἔχουν ἐνότητα καί συνέπεια. Τίς περισσότερες μάλιστα φορές, ἀκριβῶς ἐπειδή μποροῦν νά ἐξηγοῦν τά πάντα μέ τό ἴδιο ἀπλό ἐπιχείρημα, ἡ ὑπερβολική ἐνότητα καί συνέπεια εἶναι τό ἐλάττωμά τους. Στήν πραγματικότητα, ἡ λειτουργία ὅλων τῶν συστημάτων ἐξήγησης – μυθικῶν, μαγικῶν, ἐπιστημονικῶν – βασίζεται πάνω σέ μία κοινή ἀρχή. Σύμφωνα μέ τή διατύπωση τοῦ φυσικοῦ Jean Perrin, ὁ πυρήνας τοῦ προβλήματος εἶναι πάντα «ἡ ἐξήγηση τοῦ πολύπλοκου ὄρατοῦ μέ κάτι ἀόρατο ἀπλό»[1]. Μιά ἠλεκτρική καταιγίδα μπορεῖ νά θεωρηθεῖ ὡς ἀποτέλεσμα τῆς ὀργῆς τοῦ Δία ἢ τῆς διαφορᾶς δυναμικοῦ ἀνάμεσα στά σύννεφα καί τή γῆ. Μιά ἀρρώστια μπορεῖ νά θεωρηθεῖ ἀποτέλεσμα μαγανείας ἢ μόλυνσης ἀπό ἕναν ἰό. Σέ ὅλες ὅμως τίς περιπτώσεις τό ὄρατό ἀποτέλεσμα μιᾶς κρυμμένης αἰτίας θεωρεῖται συσχετισμένο μέ τό σύνολο τῶν ἀόρατων δυνάμεων πού ὑποτίθεται ὅτι διέπουν τόν κόσμο.

### *Τό ἐπιστημονικό κοσμοεἶδωλο*

Τό κοσμοεἶδωλο πού κατασκευάζει ὁ ἄνθρωπος, εἴτε εἶναι μυθικό εἴτε ἐπιστημονικό, εἶναι πάντα, κατά μεγάλο μέρος, προϊόν τῆς φαντασίας. Γιατί ὁ τρόπος μέ τόν ὁποῖο ἐργάζεται ἡ ἐπιστήμη δέν εἶναι μόνο ἡ παρατήρηση ἢ ἡ συλλογή στοιχείων, ἀπό τά ὁποῖα κανεῖς συνάγει μία θεωρία. Μπορεῖ κανεῖς νά παρατηρεῖ ἕνα ἀντικείμενο γιά χρόνια ὀλόκληρα χωρίς νά εἶναι σέ θέση νά παραγάγει μία ἐνδιαφέρουσα ἐπιστημονική παρατήρηση. Μιά ἀξιόλογη παρατήρηση προϋποθέτει ὅτι κανεῖς γνωρίζει τί πρέπει νά παρατηρήσει, ὅτι ἔχει δηλαδή σχηματίσει ἐκ τῶν προτέρων μιάν ἀντίληψη γιά τό τί εἶναι δυνατό. Ἡ πρόοδος τῆς ἐπιστήμης εἶναι συνήθως ἀποτέλεσμα τῆς ἀνακάλυψης μιᾶς προγενέστερα ἀθέατης ὄψης τῶν πραγμάτων· δέν ὀφείλεται τόσο στή χρήση ἑνός νέου ὀργάνου, ὅσο στό ὅτι βλέπουμε τά ἀντικείμενα ἀπό μία διαφορετική ὀπτική γωνία. Τό βλέμμα αὐτό καθοδηγεῖται ἀπό μιάν ὀρισμένη ἀντίληψη γιά τό τί θά μποροῦσε νά εἶναι αὐτό πού συνήθως ὀνομάζουμε «πραγματικότητα». Ἐνέχει πάντα μία συγκεκριμένη ἀντίληψη γιά τό ἄγνωστο, δηλαδή γιά ὅ,τι βρίσκεται πέρα ἀπό αὐτό πού ἔχουμε λόγους νά πιστεύουμε βασιζόμενοι στή λογική ἢ στό πείραμα. Ὅπως λέει ὁ



Peter Medawar, ή επιστημονική έρευνα αρχίζει με την «έφεύρεση ενός δυνατού κόσμου ή ακόμη και ενός μικροσκοπικού του τμήματος»[2]. Με τον ίδιο τρόπο αρχίζει και ή μυθική σκέψη – μόνο πού δέν προχωρά πιο πέρα. Αφοϋ κατασκευάσει αυτό πού θεωρεί ως τό μόνο δυνατό κόσμο, εύκολα προσαρμόζει την πραγματικότητα σ' αυτό τό σχεδιάγραμμα. Για την επιστημονική όμως σκέψη, ή φαντασία είναι μόνο ένα μέρος της σύνολης διαδικασίας. Σε κάθε της βήμα έχει νά αντιμετώπισει την πειραματική δοκιμασία και την κριτική. Ο καλύτερος από τούς δυνατούς κόσμους είναι ό ύπαρκτός, ό όποιος λειτουργεί έδω και πολύ καιρό. Η επιστήμη προσπαθεί νά υποβάλει τή δυνατότητα στη δοκιμασία της πραγματικότητας.

Όμως τό τίμημα πού έπρεπε νά πληρώσει για τή νοοτροπία της αυτή αποδείχτηκε πολύ ύψηλό. Ισοδυναμούσε (και αυτό ισχύει σήμερα περισσότερο παρά ποτέ) παραίτηση από τό ένοποιημένο κοσμοείδωλο. Αυτό οφείλεται στην ίδια την επιστημονική μεθοδολογία. Τα περισσότερα έναλλακτικά συστήματα εξήγησης – μυθικά, μαγικά, ή θρησκευτικά – συνήθως περικλείουν τά πάντα. Βρίσκουν εφαρμογή σε ότιδήποτε μπορεί νά ενδιαφέρει τόν άνθρωπο. Απαντούν σε όλες τις δυνατές έρωτήσεις. Έρμηνεύουν την καταγωγή, τό παρόν και τό μέλλον του σύμπαντος. Η επιστήμη όμως ενεργεί με διαφορετικό τρόπο. Η λειτουργία της βασίζεται σε λεπτολόγο πειραματισμό και έτσι παρουσιάζεται, τουλάχιστον εκ πρώτης όψεως, λιγότερο φιλόδοξη. Δέν αποσκοπεί στο νά κατορθώσει νά βρει μεμιάς την πλήρη και όριστική εξήγηση όλου του σύμπαντος, της καταγωγής του και της σημερινής του μορφής. Αντίθετα, ζητά απαντήσεις μερικές και προσωρινές σχετικά με τά φαινόμενα πού μπορούν νά απομονωθούν και νά όριστούν με ίκανοποιητικό τρόπο. Στην πραγματικότητα, μπορούμε νά θεωρήσουμε ότι ή σύγχρονη επιστήμη γεννήθηκε τή στιγμή πού οι γενικές έρωτήσεις της μορφής: «Πώς δημιουργήθηκε τό σύμπαν; Από τί είναι φτιαγμένη ή ύλη; Ποιά είναι ή ούσία της ζωής;» αντικαταστάθηκαν από εξειδικευμένες έρωτήσεις, όπως: «Πώς πέφτει μιά πέτρα; Πώς κυκλοφορεί τό νερό μέσα σε ένα σωλήνα; Πώς κυκλοφορεί τό αίμα στα άγγεϊα;». Αυτή ή αντικατάσταση έρωτημάτων είχε έκπληκτικά αποτελέσματα. Ένω δηλαδή τά γενικά έρωτήματα όδηγοϋσαν σε απαντήσεις περιορισμένης έγκυρότητας, τά εξειδικευμένα έρωτήματα κατέληξαν νά όδηγοϋν σε όλο πιο γενικές απαντήσεις.

Ταυτόχρονα όμως, ή μέθοδος αυτή της επιστήμης δέν μπορούσε παρά νά όδηγήσει στον κατακερματισμό του κοσμοειδώλου. Κάθε ένας από τούς κλάδους της επιστήμης έρευνά ένα ιδιαίτερο πεδίο, τό όποιο δέν είναι απαραίτητο νά συνδέεται με τις γειτονικές του περιοχές. Έτσι, ή εικόνα πού δίνει ή επιστημονική γνώση είναι ενός συνόλου πού αποτελείται από μεμονωμένες νησίδες. Συχνά, οι μεγάλες πρόοδοι στην ιστο-



ρία τῶν ἐπιστημῶν ὀφείλονται στό γεφύρωμα τῶν κενῶν. Οἱ πρόοδοι αὐτές προκύπτουν ἀπό τήν ἀναγνώριση τοῦ ὅτι δύο παρατηρήσεις, πού μέχρι τότε δέν ἦταν συσχετισμένες, μποροῦν, ἀπό μιά νέα ὀπτική γωνία, νά ἰδωθοῦν ὡς διαφορετικές πλευρές τοῦ ἴδιου φαινομένου. Ἔτσι, μέ τούς νόμους τοῦ Νεύτωνα, ἡ γήινη καί ἡ οὐράνια μηχανική ἐνώθηκαν σέ μιά ἐπιστήμη. Ἡ θερμοδυναμική καί ἡ μηχανική ἐνοποιήθηκαν διαμέσου τῆς στατιστικῆς μηχανικῆς, ὅπως ἐνοποιήθηκε ἡ ὀπτική καί ὁ ἠλεκτρομαγνητισμός διαμέσου τῆς θεωρίας τῶν μαγνητικῶν πεδίων τοῦ Maxwell, ἡ ἡ χημεία καί ἡ ἀτομική φυσική διαμέσου τῆς κβαντομηχανικῆς. Μέ παρόμοιο τρόπο, οἱ βιοχημικοί ἀπέδειξαν ὅτι τόσο ὁ κόσμος τῆς νεκρῆς ὕλης ὅσο καί τῶν ἔμβιων ὄντων ἀποτελοῦνται ἀπό διαφορετικούς συνδυασμούς τῶν ἴδιων ἀτόμων, τά ὅποια διέπονται ἀπό τούς ἴδιους νόμους.

### *Ἡ ἱεραρχία τῶν ἀντικειμένων*

Παρ' ὅλες αὐτές τίς διευρύνσεις ὑπάρχουν ἀκόμα μεγάλα χάσματα, καί γιά μερικά θά περάσει πολὺς καιρός ὡσότου γεφυρωθοῦν, ἂν γεφυρωθοῦν ποτέ. Ὑπάρχει σήμερα μιά σειρά ἐπιστημῶν πού διαφέρουν μεταξύ τους ὄχι μόνο ὡς πρὸς τή φύση τῶν ἀντικειμένων τους, ἀλλά ἐπίσης ὡς πρὸς τίς ἔννοιες καί τή γλώσσα πού χρησιμοποιοῦν. Οἱ ἐπιστῆμες αὐτές μποροῦν νά διαταχθοῦν ἔτσι ὥστε νά σχηματίζουν ἀκολουθία – φυσική, χημεία, βιολογία, ψυχοκοινωνιολογία –, ἀκολουθία πού ἀντιστοιχεῖ στή διαβάθμιση τῆς πολυπλοκότητας ἡ ὅποια χαρακτηρίζει τά ἀντικείμενα τῶν ἐπιστημῶν αὐτῶν. Ἀκολουθώντας τή γραμμή πού ὀδηγεῖ ἀπό τή φυσική στήν κοινωνιολογία, πηγαίνει κανεῖς ἀπό τά ἀπλούστερα στά πιό πολύπλοκα ἀντικείμενα καθώς ἐπίσης, γιά λόγους πού εἶναι προφανεῖς, ἀπό τήν ἀρχαιότερη ἐπιστήμη στή νεώτερη, ἀπό τό πενιχρότερο στό πλουσιότερο ἐμπειρικό περιεχόμενο, ἀπό τό πιό ἀνελαστικό σύστημα ὑποθέσεων καί πειραματισμοῦ στό πιό εὐκαμπτο. Ἡ ἀναζήτηση ἑνός ἐνοποιημένου ἐπιστημονικοῦ κοσμοειδώλου ὀδήγησε ἐπανειλημμένα στό ἐρώτημα γιά τή δυνατότητα σύνδεσης μεταξύ δύο γειτονικῶν κλάδων. Ἐπειδή ὑπάρχει ἡ διαβάθμιση πολυπλοκότητας τῶν ἀντικειμένων, τό πρόβλημα εἶναι πάντα νά ἐξηγήσουμε τό πολυπλοκότερο, μέ ὄρους καί ἔννοιες πού ἀνήκουν στό ἀπλούστερο. Πρόκειται γιά τό παλαιό πρόβλημα τῆς ἀναγωγῆς, τῆς ἀνάδυσης (emergence) τοῦ συνόλου καί τῶν μερῶν, κ.ο.κ. Εἶναι δυνατό νά ἀναχθεῖ ἡ χημεία στή φυσική, ἡ βιολογία στή φυσική καί τή χημεία, καί οὕτω καθεξῆς; Εἶναι προφανές ὅτι ἡ κατανόηση τοῦ ἀπλοῦ εἶναι ἀναγκαία γιά τήν κατανόηση τοῦ πιό πολύπλοκου, εἶναι ὅμως ἀμφισβητήσιμο ἐάν εἶναι καί ἐπαρκῆς.

Τά ἐρωτήματα αὐτοῦ τοῦ τύπου ἔχουν προκαλέσει ἀτελείωτες συζητή-



σεις. Είναι προφανές ότι τά δύο αποφασιστικά γεγονότα της εξέλιξης – πρώτα ή εμφάνιση της ζωής και, αργότερα, ή εμφάνιση της σκέψης και της γλώσσας – οδήγησαν στην ύπαρξη φαινομένων που μέχρι τότε δεν υπήρχαν στη γη. Για να περιγράψει και να ερμηνεύσει κανείς τά φαινόμενα αυτά, χρειάζεται νέες έννοιες, οι οποίες δεν έχουν νόημα στο προηγούμενο επίπεδο. Τί μπορούν να σημαίνουν για τή φυσική ή για τή χημεία έννοιες όπως «σεξουαλικότητα», «θηρευτής» ή «πόνος»; – ή οι έννοιες «δίκαιο», «άνοδος αξιών», «δημοκρατική εξουσία» για τή βιολογία; Μιά καθολική «μέχρις εσχάτων» αναγωγή θα οδήγουσε σε παραλογισμό. Γιατί ή αξίωση για πλήρη αναγωγή κάθε επιπέδου στο απλούστερο του θα κατάληγε, λόγου χάρη, στο να εξηγήσουμε τή δημοκρατία με βάση τίς δομές και τίς ιδιότητες των στοιχειωδών σωματίων· και αυτό είναι ολοφάνερα ανόητο.

Τό πρόβλημα αυτό μπορεί να τεθεί με διαφορετικό τρόπο. "Ας κοιτάξουμε τήν ακολουθία των αντικειμένων, πηγαίνοντας από τό απλούστερο στο πολυπλοκότερο. Τά μόρια αποτελούνται από άτομα. Έπομένως υπακούουν στους νόμους που διέπουν τή συμπεριφορά των ατόμων. Μπορούμε όμως, σχετικά με τά μόρια, να προσθέσουμε δύο ακόμη προτάσεις: Πρώτον, μπορούν να χαρακτηρίζονται από νέες ιδιότητες, όπως ο ισομερισμός, ο ρακεμισμός, κ.ο.κ. Δεύτερον, τό αντικείμενο της χημείας, τά μόρια, που βρίσκονται στη φύση ή που παράγονται στο εργαστήριο, εκπροσωπούν μόνο ένα ελάχιστο κλάσμα του συνόλου των δυνατών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ατόμων. Έπομένως ή χημεία συνιστά μία ειδική περίπτωση της φυσικής. Αυτό ισχύει ακόμα περισσότερο για τή βιολογία, που ασχολείται με μία πολύπλοκη ιεραρχία αντικειμένων ή οποία εκτείνεται από τά κύτταρα ως τους πληθυσμούς και τά οικοσυστήματα. Τά αντικείμενα που ανήκουν σε κάθε επίπεδο συνιστούν έναν περιορισμό του συνόλου των δυνατοτήτων που υπάρχουν στο απλούστερο επίπεδο. Για παράδειγμα, τό σύνολο των μορίων που υπάρχουν στους ζωντανούς οργανισμούς αντιπροσωπεύει ένα πολύ περιορισμένο φάσμα χημικών αντικειμένων. Στο άμεσως επόμενο επίπεδο, τά είδη ζώων που υπάρχουν είναι μερικά εκατομμύρια· αυτός όμως ο αριθμός είναι μικρός σε σχέση με τόν αριθμό των ειδών που θα μπορούσαν να υπάρχουν. "Όλα τά σπονδυλωτά αποτελούνται από ένα πολύ περιορισμένο αριθμό κυτταρικών τύπων, τό πολύ 200· τέτοιοι τύποι κυττάρων είναι τά μυϊκά κύτταρα, τά κύτταρα του δέρματος, τά νευρικά κύτταρα. "Η μεγάλη ποικιλία των σπονδυλωτών προκύπτει από τίς διαφορές στην τοποθέτηση, τόν αριθμό και τίς αναλογίες αυτών των 200 κυτταρικών τύπων. "Έτσι και οι ανθρώπινες κοινωνίες με τίς οποίες ασχολείται ή έθνολογία και ή κοινωνιολογία αντιπροσωπεύουν μία περιορισμένη ομάδα σε σχέση με τό σύνολο των δυνατών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ανθρώπων.



Ἡ φύση λειτουργεῖ μέ διαδικασίες ὀλοκλήρωσης. Σέ ὀποιοδήποτε ἐπίπεδο καί ἂν ἀνήκουν, τά ἀντικείμενα πού ἀναλύουν οἱ φυσικές ἐπιστήμες εἶναι πάντα ὀργανωμένα σύνολα ἢ συστήματα. Κάθε σύστημα ἑνός δεδομένου ἐπιπέδου χρησιμοποιεῖ ὡς στοιχεῖα ὀρισμένα συστήματα τοῦ ἀμέσως ἀπλούστερου ἐπιπέδου, ἀλλά μόνο ὀρισμένα. Ἐτσι, ἡ ἱεράρχηση τῆς πολυπλοκότητας τῶν ἀντικειμένων συνοδεύεται ἀπό μιά σειρά περιστολές καί περιορισμούς. Σέ κάθε ἐπίπεδο εἶναι βέβαια δυνατό νά ἀναφανοῦν νέες ἰδιότητες οἱ ὀποῖες ἐπιβάλλουν στό σύστημα νέους περιοριστικούς παράγοντες – πρόκειται ὁμως γιά ἐπιπρόσθετους περιορισμούς. Αὐτοί πού ἤδη λειτουργοῦν σέ ὀποιοδήποτε πεδίο ἐξακολουθοῦν νά ἰσχύουν σέ ὀλα τά πολυπλοκότερα ἐπίπεδα. Κάθε πρόταση πού ἀληθεύει γιά τή φυσική, ἀληθεύει ἐπίσης καί γιά τή χημεία, τή βιολογία, ἢ τήν κοινωνιολογία, ὅπως καί κάθε πρόταση πού ἰσχύει στή βιολογία, ἰσχύει καί στήν κοινωνιολογία. Κατά γενικό ὁμως κανόνα, οἱ προτάσεις πού ἔχουν μεγαλύτερη σημασία σέ ἕνα ὀρισμένο ἐπίπεδο δέν παρουσιάζουν ἐνδιαφέρον γιά τά πολυπλοκότερα ἐπίπεδα. Ὁ νόμος τῶν τελείων ἀερίων ἀληθεύει τόσο γιά τά ἀντικείμενα τῆς βιολογίας ἢ τῆς κοινωνιολογίας ὅσο καί γιά τά ἀντικείμενα τῆς φυσικῆς. Εἶναι ὁμως ἄσχετος μέ τό ἀντικείμενο τῶν προβλημάτων πού ἀπασχολοῦν τό βιολόγο ἢ ἀκόμα περισσότερο τόν κοινωνιολόγο.

Ἡ ἱεράρχηση αὐτή τῶν διαδοχικῶν ὀλοκληρώσεων, ἡ ὀποία χαρακτηρίζεται ἀπό περιορισμούς καί ἀπό τήν ἐμφάνιση νέων ἰδιοτήτων σέ κάθε ἐπίπεδο, ἔχει μιά σειρά ἀπό συνέπειες. Ἡ πρώτη εἶναι ἡ ἀναγκαιότητα ἀνάλυσης τῶν συνθέτων ἀντικειμένων σέ ὀλα τά ἐπίπεδα. Ἐάν ἡ μοριακή βιολογία, ἡ ὀποία χαρακτηρίζεται ἀπό ἐντονη τάση γιά ἀναγωγή, μπόρεσε νά δώσει μιά τόσο ἐπιτυχημένη ἀνάλυση τῆς κληρονομικότητας, ὀφείλεται κυρίως στό ὅτι, σέ κάθε τῆς βῆμα, ἡ ἀνάλυση διεξαγόταν ταυτόχρονα στό μοριακό ἐπίπεδο καί στό ἐπίπεδο τοῦ «μαύρου κουτιοῦ», τοῦ βακτηριακοῦ κυττάρου. Τό ἴδιο ἰσχύει καί γιά τίς πρόσφατες ἐξελίξεις στήν ἀνοσολογία. Καί φαινόταν πιθανό ὅτι μιά τέτοια σύγκλιση τῶν ἀναλύσεων θά παίξει σημαντικό ρόλο στή μελέτη τῶν ἀνθρώπινων ὄντων καί τῶν κοινωνιῶν τους.

Τό δεύτερο σημεῖο ἀφορᾷ τήν προβλεψιμότητα. Εἶναι δυνατό νά κάνει κανεῖς προβλέψεις γιά ἕνα ὀρισμένο ἐπίπεδο καί νά τίς θεμελιώσει στή γνώση τοῦ ἀμέσως ἀπλούστερου ἐπιπέδου; Ναί, ἀλλά μόνο σέ πολύ περιορισμένη ἔκταση. Οἱ ἰδιότητες ἑνός συστήματος μποροῦν νά ἐξηγηθοῦν μέ βάση τίς ἰδιότητες τῶν στοιχείων του· ὁμως ἀπό τίς ἰδιότητες τῶν στοιχείων του δέν μποροῦμε νά συμπεράνουμε τίς ἰδιότητες τοῦ συστήματος. Μέ τούς θεμελιώδεις νόμους τῆς φυσικῆς δέν μποροῦμε νά περιγράψουμε ἐξαντλητικά τή λειτουργία τοῦ σύμπαντος. Αὐτό σημαίνει



ὅτι ἡ ἐμφάνιση ἑνὸς συγκεκριμένου συστήματος, λ.χ. ἑνὸς κυττάρου, χαρακτηρίζεται μόνο ἀπὸ μιά πιθανότητα. Ὅλες οἱ προβλέψεις σχετικὰ μὲ τὴν ὑπαρξή του μποροῦν νὰ ἔχουν μόνο στατιστικὸ χαρακτήρα. Ἡ μοριακὴ βιολογία ἔχει ἀποδείξει ὅτι, σὲ τελευταία ἀνάλυση, τὰ χαρακτηριστικὰ ἑνὸς κυττάρου ἐξαρτῶνται ἀπὸ τὴ δομὴ τῶν μοριακῶν του συστατικῶν. Ἡ ἐμφάνιση ὅμως τῆς ζωῆς πάνω στὴ γῆ δὲν ἦταν ἀναγκαία συνέπεια τῆς ὑπαρξῆς ὀρισμένων μοριακῶν δομῶν στὴν προέμβια ἐποχὴ. Στὴν πραγματικότητα δὲν ὑπάρχει κανένας ἀπολύτως τρόπος νὰ ὑπολογίσουμε ποιά ἦταν ἡ πιθανότητα τῆς ἐμφάνισης τῆς ζωῆς πάνω στὴ γῆ. Μπορεῖ θαυμάσια ἡ ἐμφάνισή της νὰ εἶναι ἀνεπανάληπτη.

Τὸ τρίτο σημεῖο ἀφορᾷ τὴ φύση τῶν περιστολῶν καὶ τῶν περιορισμῶν πού παρουσιάζονται σὲ κάθε ἀναβαθμὸ αὐξημένης πολυπλοκότητας. Μπορεῖ νὰ ἐξηγήσει κανεὶς γιατί, ἀπὸ ὅλες τὶς δυνατότητες ἀλληλεπίδρασης πού ὑπάρχουν σὲ ἕνα ὀρισμένο ἐπίπεδο, μόνο ὀρισμένες παρατηροῦνται σὲ ἀμέσως πολυπλοκότερο ἐπίπεδο; Πῶς ἐξηγεῖται τὸ ὅτι ὑπάρχουν μόνο ὀρισμένοι τύποι μοριακῆς δομῆς, λ.χ., στοὺς ζωντανούς ὀργανισμούς; Ἡ μόνο ὀρισμένοι τύποι ἀλληλεπίδρασης στὶς ἀνθρώπινες κοινωνίες; Γιά τὶς ἐρωτήσεις αὐτὲς δὲν ὑπάρχει γενικὴ ἀπάντηση καὶ εἶναι ἀμφίβολο ἂν θὰ ὑπάρξει ποτέ εἰδικὴ ἀπάντηση γιὰ ἕνα συγκεκριμένο ἐπίπεδο πολυπλοκότητας. Τὰ πολυπλοκα ἀντικείμενα εἶναι παράγωγα ἐξελικτικῶν διαδικασιῶν γιὰ τὶς ὁποῖες ἔχουν μεγάλη σημασία δύο παράγοντες: οἱ περιοριστικοὶ παράγοντες πού σὲ κάθε ἐπίπεδο ἐλέγχουν τὰ συστήματα τὰ ὁποῖα ὑπηρετοῦνται σὲ αὐτό, καὶ οἱ ἱστορικὲς περιστάσεις πού ἐλέγχουν τὶς ὑπαρκτὲς ἀλληλεπιδράσεις μεταξὺ τῶν συστημάτων. Ὁ συνδυασμὸς τῶν περιοριστικῶν παραγόντων καὶ τῆς ἱστορίας ὑπάρχει σὲ κάθε ἐπίπεδο, σὲ διαφορετικὲς βέβαια ἀναλογίες. Τὰ ἀπλούστερα ἀντικείμενα ἐξαρτῶνται περισσότερο ἀπὸ τοὺς περιοριστικούς παράγοντες καὶ λιγότερο ἀπὸ τὴν ἱστορία. Ὅσο ἡ πολυπλοκότητα αὐξάνεται τόσο ὁ ρόλος τῆς ἱστορίας γίνεται σημαντικότερος. Ὅμως ἡ ἱστορία πρέπει νὰ λαβαίνεται πάντα ὑπόψη, ἀκόμη καὶ στὴ φυσικὴ. Σύμφωνα μὲ τὶς σύγχρονες θεωρίες, οἱ βαρύτεροι πυρῆνες σχηματίζονται ἀπὸ ἐλαφρότερους, καὶ, σὲ τελευταία ἀνάλυση, ἀπὸ πυρῆνες ὑδρογόνου καὶ νετρόνια. Ὁ μετασχηματισμὸς τοῦ βαρέος ὑδρογόνου σὲ ἥλιο γίνεται κατὰ τὴ διάρκεια τῆς σύντηξης, ἡ ὁποία εἶναι ἡ κύρια πηγὴ ἐνέργειας τόσο στὸν ἥλιο ὅσο καὶ στὶς βόμβες ὑδρογόνου. Τὸ ἥλιο λοιπὸν καθὼς καὶ ὅλα τὰ βαρύτερα στοιχεῖα εἶναι προϊόντα μιᾶς κοσμολογικῆς ἐξέλιξης. Σύμφωνα μὲ τὶς σημερινὲς ἀπόψεις, τὰ βαρύτερα στοιχεῖα θεωροῦνται παράγωγα ἐκρήξεων τῶν *supernova*. Φαίνεται μάλιστα ὅτι τὰ στοιχεῖα αὐτὰ εἶναι πολὺ σπάνια: ἡ μάζα τους δὲν ὑπερβαίνει τὸ 1 ἢ τὸ 2 τοῖς ἑκατὸν τοῦ συνόλου τῆς ὕλης, ἐνῶ τὸ ἥλιο ἀντιστοιχεῖ σὲ ἕνα πέμπτο καὶ τὸ ὑδρογόνο σὲ τέσσερα πέμπτα τοῦ συνόλου τῆς ὕλης. Ἐτσι, φαίνεται ὅτι ἡ γῆ καὶ οἱ ἄλλοι πλανῆτες τοῦ ἡλιακοῦ συστήματος εἶναι



φτιαγμένοι από πολύ σπάνια υλικά και κάτω από συνθήκες πού σπάνια παρουσιάζονται στο σύμπαν. Όσο για την προέλευση του υδρογόνου, αυτό αφορά τις θεωρίες και τις εικότολογίες σχετικά με την προέλευση του σύμπαντος.

### *Η φυσική επιλογή*

Οί περιοριστικοί παράγοντες στους οποίους υποβάλλονται τά συστήματα μεταβάλλονται ανάλογα με τό βαθμό πολυπλοκότητας. Υπάρχουν πάντα όρισμένοι περιορισμοί πού επιβάλλονται από τις συνθήκες σταθερότητας και τή θερμοδυναμική. Με την αύξηση όμως της πολυπλοκότητας εμφανίζονται πρόσθετοι περιορισμοί – όπως είναι ή αναπαραγωγή, για τά έμβια συστήματα, ή οί απαιτήσεις της οικονομίας, για τά κοινωνικά συστήματα. Δέν μπορεί έπομένως νά υπάρχει κανένας γενικός κανόνας ανάπτυξης, καμία συνταγή πού νά εξηγεϊ την αύξηση της πολυπλοκότητας σε όλα τά επίπεδα. Από τόν καιρό του Darwin, οί βιολόγοι έχουν προοδευτικά επεξεργαστεί ένα εύλογο – μολονότι ακόμα άτελές – μοντέλο του μηχανισμού ό οποίος λειτουργεί στην εξέλιξη των εμβίων, τή φυσική επιλογή. Πολλοί βρέθηκαν στον πειρασμό νά επικαλεστούν έναν παρόμοιο μηχανισμό για νά περιγράψουν όλα τά είδη εξέλιξης, κοσμολογική, χημική, πολιτιστική, ιδεολογική, ή κοινωνική. Αυτή όμως ή απόπειρα φαίνεται ότι είναι εξαρχής καταδικασμένη. Οί κανόνες του παιχνιδιού διαφέρουν από επίπεδο σε επίπεδο. Χρειάζεται λοιπόν νά επεξεργαστεί κανείς νέες αρχές για κάθε επίπεδο.

Η φυσική επιλογή είναι τό αποτέλεσμα δύο περιοριστικών παραγόντων οί όποιοι επιβάλλονται σε κάθε ζωντανό οργανισμό: (1) ή απαίτηση για αναπαραγωγή, ή όποία πραγματοποιείται διαμέσου γενετικών διαδικασιών προσεχτικά ρυθμισμένων χάρη σε είδικούς μηχανισμούς – όπως ή μετάλλαξη, ό ανασυνδυασμός και τό φύλο – έτσι ώστε νά παράγουν οργανισμούς παρόμοιους, αλλά όχι και έντελώς ίδιους με τούς γονείς· και (2) ή απαίτηση συνεχούς αλληλεπίδρασης με τό περιβάλλον, γιατί οί ζωντανοί οργανισμοί είναι σαν τά άνοιχτά συστήματα της θερμοδυναμικής και διατηρούνται μόνο χάρη σε μία συνεχή ροή ύλης, ενέργειας και πληροφορίας. Ο πρώτος από αυτούς τούς παράγοντες επιφέρει τυχαίες μεταβολές και παράγει πληθυσμούς στους οποίους όλα τά άτομα είναι διαφορετικά μεταξύ τους. Η αλληλενέργεια μεταξύ των δύο παραγόντων έχει ως αποτέλεσμα τή διαφορική αναπαραγωγή και, κατά συνέπεια, πληθυσμούς οί όποιοι εξελίσσονται προοδευτικά σε συνάρτηση με τις περιβαλλοντικές περιστάσεις, με τή συμπεριφορά και με τις νέες οικολογικές φωλιές. Όμως ή φυσική επιλογή δέν ενεργεί, όπως πολλοί νομίζουν, μόνο σαν ένα κόσκινο τό όποιο εϋνοεί την ανάπτυξη των



ευεργετικῶν μεταλλάξεων ἐνῶ ἀπορρίπτει τίς ἐπιβλαβεῖς. Μακροπρόθεσμα, ἐνσωματώνει τίς μεταλλάξεις καί τίς διατάσσει σέ συνεπῆ προσαρμοστικά μοτίβα, ἀποτέλεσμα ρυθμίσεων καί ἀπαντήσεων στίς περιβαλλοντικές προκλήσεις πού χρειάστηκαν ἑκατομμύρια ἐτῶν καί ἑκατομμύρια γενεῶν γιά νά συντελεστοῦν. Εἶναι ἡ φυσική ἐπιλογή πού προσδίδει κατεύθυνση στίς μεταβολές, πού προσανατολίζει τό τυχαῖο καί πού σιγά, προοδευτικά, παράγει ὄλο καί πιό πολύπλοκες δομές, νέα ὄργανα καί νέα εἶδη. Οἱ καινοτομίες προέρχονται ἀπό νεοφανεῖς συνδυασμούς παλαιῶν ὑλικῶν. Δημιουργία σημαίνει ἀνασυνδυασμός.

### *Μηχανικός καί τεχνίτης τῆς περιόστασης*

Ἡ δράση τῆς φυσικῆς ἐπιλογῆς ἔχει πολλές φορές παραβληθεῖ μέ τόν τρόπο ἐργασίας ἐνός μηχανικοῦ. Ὅμως ἡ παρομοίωση αὐτή δέν φαίνεται νά εἶναι ἀπόλυτα ἐπιτυχημένη. Πρῶτον, γιατί, ἀντίθετα μέ αὐτό πού συμβαίνει στήν ἐξέλιξη, ὁ μηχανικός ἐργάζεται σύμφωνα μέ ἕνα σχέδιο πού τό ἔχει συλλάβει ἐκ τῶν προτέρων, καί μέ τό ὁποῖο προβλέπει ποιό θά εἶναι τό προϊόν τῆς προσπάθειάς του. Δεύτερον, γιατί ἡ ἐργασία τοῦ μηχανικοῦ ἀκολουθεῖ διαφορετικό δρόμο: γιά νά κατασκευάσει ἕνα νέο προϊόν, ἔχει στή διάθεσή του, καί εἰδικά προετοιμασμένο γιά τό σκοπό αὐτό, ὑλικό καί μηχανήματα πού ἔχουν σχεδιαστεῖ ἀποκλειστικά καί μόνο γιά αὐτό τό ἔργο. Τέλος, ἐπειδή τά ἀντικείμενα πού παράγει ὁ μηχανικός, ἢ τουλάχιστον ὁ καλός μηχανικός, πλησιάζουν τήν τελειότητα, ὅση βέβαια ἐπιτρέπει ἡ τεχνολογία τῆς δεδομένης ἐποχῆς. Ἀντίθετα ἡ ἐξέλιξη ἀπέχει πολύ ἀπό τήν τελειότητα. Αὐτό τό σημεῖο ἐπανειλημμένα τό τόνισε ὁ Darwin, καταπολεμώντας τό δόγμα τῆς τέλειας δημιουργίας. Στήν *Προέλευση τῶν Εἰδῶν*, ὁ Darwin ἐπανέρχεται πολλές φορές μέ ἔμφαση στό θέμα τῶν ἀτελειῶν δομῆς καί λειτουργίας τῶν ἐμβίων ὄντων. Ὅταν, λ.χ., ἐξετάζει τή φυσική ἐπιλογή, γράφει [3, σ. 472]:

«Ὅυτε πρέπει νά μᾶς παραξενεύει τό γεγονός ὅτι ὅλες οἱ ἐπινοήσεις τῆς φύσης, ἀπό ὅσο μποροῦμε νά κρίνουμε, δέν εἶναι ἀπόλυτα τέλειες. Δέν πρέπει νά μᾶς παραξενεύει τό ὅτι τό κέντρισμα τῆς μέλισσας προκαλεῖ τό θάνατο αὐτῆς τῆς ἴδιας· τό ὅτι παράγονται τόσο μεγάλοι ἀριθμοί κηφήνων γιά μιά καί μόνο πράξη, καί ὅτι μετά σφαγιάζονται ἀπό τίς στεῖρες ἀδελφές τους· ἡ ἐκπληκτική σπατάλη γύρης στά ἔλατα· τό ἐνστικτῶδες μίσος πού τρέφει ἡ βασίλισσα μέλισσα γιά τίς ἴδιες της τίς γόνιμες θυγατέρες· τό ὅτι οἱ ἰχνεύμονες τρέφονται μέσα στό ζωντανό σῶμα τῆς κάμπιας, καί ἄλλες ἀνάλογες περιπτώσεις. Ἀπό τήν ὑποψη τῆς θεωρίας τῆς ἐξέλιξης, ἄξιο θαυμασμοῦ εἶναι τό ὅτι δέν ἔχουν παρατηρηθεῖ περισσότερες περιπτώσεις ἀτελειῶν». Τέτοιες διαπιστώσεις ὑπάρχουν ἀναρίθμητες στήν *Προέλευση τῶν Εἰδῶν*. Ἐνα μάλιστα ἀπό



τά ισχυρότερα επιχειρήματα έναντίον τῆς τελειότητας βασίζεται στά ἐξ-αλειφθέντα εἶδη. Ἐνῶ ὁ ἀριθμός τῶν ἐπιζώντων εἰδῶν τοῦ ζωικοῦ βασιλείου μπορεῖ νά ὑπολογιστεῖ σέ λίγα ἑκατομμύρια, ὁ ἀριθμός τῶν ἐξ-αλειφθέντων εἰδῶν πού ὑπολόγισε ὁ Simpson[4] φτάνει περίπου τά πεντακόσια ἑκατομμύρια.

Ἡ φυσική ἐπιλογή δέν ἔχει καμία ἀναλογία μέ ὁποιαδήποτε πλευρά τῆς ἀνθρώπινης συμπεριφορᾶς. Ἄν ὅμως ἤθελε κανεῖς ὅπωςδήποτε νά παίξει μέ μία σύγκριση, θά ἔπρεπε νά πεῖ ὅτι ἡ φυσική ἐπιλογή δέν ἐργάζεται ὅπως ἕνας μηχανικός. Ἐργάζεται σάν τόν τεχνίτη τῆς περιστάσης – ἕναν τεχνίτη πού δέν γνωρίζει ἀκριβῶς τί πρόκειται νά παραγάγει ἀλλά χρησιμοποιεῖ ὅτιδήποτε βρίσκει πρόχειρο, εἴτε πρόκειται γιά κομμάτια σπάγγου, κομμάτια ξύλου ἢ πολλά χαρτόνια· ἐργάζεται δηλαδή σάν τόν τεχνίτη πού χρησιμοποιεῖ ὅτιδήποτε τυχαίνει νά βρεθεῖ στή διάθεσή του γιά νά παραγάγει ἕνα ἀντικείμενο πού λειτουργεῖ. Γιά τό μηχανικό, ἡ πραγματοποίηση τοῦ ἔργου του ἐξαρτᾶται ἀπό τό ἄν ἔχει τήν πρώτη ὕλη καί τά ἐργαλεῖα πού ἀρμόζουν ἀκριβῶς στό σχέδιό του. Ἀντίθετα ὁ περιστασιακός τεχνίτης τά καταφέρνει πάντα ἐκ τῶν ἐνόντων. Αὐτό πού παράγει στό τέλος, σὺνηθως δέν ἔχει σχέση μέ ἕνα συγκεκριμένο πρόγραμμα· εἶναι προϊόν μιᾶς σειρᾶς ἀπό τυχαῖα γεγονότα, ἐξαρτᾶται ἀπό τίς εὐκαιρίες πού τοῦ παρουσιάστηκαν γιά νά ἐμπλουτίσει τήν ἀποθήκη του μέ ἄχρηστα ἀπομεινάρια. Ὅπως ἔδειξε καί ὁ Levi-Strauss [5], τά ὕλικά πού διαθέτει ὁ τεχνίτης τῆς περιστάσης δέν ἔχουν μία συγκεκριμένη καί καθορισμένη λειτουργία. Καθένα ἀπό αὐτά μπορεῖ νά χρησιμοποιηθεῖ μέ πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Ἀντίθετα ἀπό ὅ,τι συμβαίνει μέ τά ἐργαλεῖα τοῦ μηχανικοῦ, τά ἐργαλεῖα τοῦ περιστασιακοῦ τεχνίτη δέν μποροῦν νά ὀριστοῦν μέ βάση ἕνα πρόγραμμα. Τό κοινό τους στοιχεῖο εἶναι τό «μπορεῖ κάπου νά χρησιμεύσει». Γιά τί πράγμα; Αὐτό ἐξαρτᾶται ἀπό τίς εὐκαιρίες.

### *Ἡ ἐξέλιξη, περιστασιακό μαστόρεμα*

Αὐτός ὁ τρόπος δράσης ἔχει πολλά κοινά σημεῖα μέ τή διαδικασία τῆς ἐξέλιξης. Συχνά, χωρίς νά ἔχει κανένα σαφῶς προσδιορισμένο μακροπρόθεσμο πρόγραμμα, ὁ περιστασιακός τεχνίτης προσδίδει ἀναπάντεχες λειτουργίες στά ὕλικά του γιά νά φτιάξει ἕνα καινούριο ἀντικείμενο. Ἀπό μία παλιά ρόδα ποδηλάτου φτιάχνει μία ρουλέτα· ἀπό μία σπασμένη καρτέκλα τό κουτί ἑνός ραδιοφώνου. Μέ παρόμοιο τρόπο, ἡ ἐξέλιξη φτιάχνει ἕνα φτερό ἀπό ἕνα πόδι, ἢ ἕνα μέρος τοῦ ἀφτιοῦ ἀπό ἕνα κομμάτι τοῦ σαγονιοῦ. Φυσικά, αὐτό ἀπαιτεῖ πολύ χρόνο. Ἡ ἐξέλιξη συμπεριφέρεται σάν νά ἦταν ἕνας τεχνίτης ὁ ὁποῖος ἐπί ὀλόκληρες γεω-



λογικές περιόδους τροποποιεί σιγά σιγά τό έργο του κόβοντας από δω, τεντώνοντας από κεί και έκμεταλλεύεται τίς περιστάσεις για να τό προσαρμόσει προοδευτικά στή νέα του χρήση. 'Ο πνεύμονας, λ.χ., τών σπονδυλωτών τής ξηράς, σύμφωνα μέ τόν Mayr[6], σχηματίστηκε μέ τόν ακόλουθο τρόπο. 'Η ανάπτυξη του άρχισε σέ όρισμένα ψάρια του γλυκοϋ νεροϋ που ζούσαν σέ στάσιμα νερά μέ ανεπαρκές όξυγόνο. Τά ψάρια αυτά άπόκτησαν τή συνήθεια να καταπίνουν άέρα και να άπορροφούν τό όξυγόνο διαμέσου τών τοιχωμάτων του οίσοφάγου. Σ' αυτές τίς συνθήκες, ή διεύρυνση τής επιφάνειας του οίσοφάγου παρείχε ένα πλεονέκτημα για τήν έπιλογή. Μέ τόν τρόπο αυτό έμφανίστηκαν στον οίσοφάγο έγκοιλώσεις, οί όποιες, κάτω από συνεχή έπιλεκτική πίεση, άναπτύχθηκαν σέ πνεύμονες. 'Η περαιτέρω ανάπτυξη του πνεύμονα δέν ήταν παρά έπεξεργασία του ίδιου μοτίβου – διεύρυνση τής επιφάνειας άναρρόφησης του όξυγόνου και έμπλουτισμός του μέ αίμοφόρα άγγεία. 'Η κατασκευή ενός πνεύμονα, από ένα κομμάτι οίσοφάγου, μοιάζει πάρα πολύ μέ περιστασιακό μαστόρεμα.

Σέ αντίθεση μέ τούς μηχανικούς, οί περιστασιακοί τεχνίτες που καταπιάνονται μέ τό ίδιο πρόβλημα είναι πιθανό να καταλήξουν σέ διαφορετικές λύσεις. Τό ίδιο ισχύει και για τήν εξέλιξη, όπως άποδείχνει ή ποικιλία ματιών που υπάρχουν στό βασίλειο τών ζώων [βλέπε 7]. Είναι προφανές ότι τό να διαθέτει ένα ζώο δέκτες του φωτός άποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για ένα ευρύτατο φάσμα συνθηκών διαβίωσης – και ή ποικιλία τών δεκτών φωτός που διαθέτει τό ζωικό βασίλειο είναι έκπληκτική. Οί πιο τελειοποιημένοι είναι τά μάτια που έπιτρέπουν τό σχηματισμό εικόνας, αυτά δηλαδή που παρέχουν πληροφορίες όχι μόνο για τήν ένταση του είσερχόμενου φωτός, αλλά έπίσης και για τά αντικείμενα από τά όποια έρχεται τό φως, για τό σχήμα τους, για τό χρώμα τους, τή θέση τους, τήν κίνησή τους, τήν ταχύτητά τους, τήν άπόστασή τους, και τά παρόμοια. Αυτές οί τελειοποιημένες κατασκευές είναι κανάγκην πολύπλοκες. Μπορούν να άναπτυχθούν μόνο σέ όργανισμούς που οί ίδιοι είναι πολύπλοκοι. Θα μπορούσε λοιπόν κανείς να υποθέσει ότι υπάρχει μόνο ένας τρόπος για να παραχθούν οί κατασκευές αυτές. "Όμως αυτό δέν άληθεύει: κατά τή διάρκεια τής εξέλιξης έμφανίστηκαν πολλές φορές μάτια, τά όποια βασίζονταν σέ τουλάχιστον τρεις διαφορετικές άρχές λειτουργίας – μικροσκοπική όπή, φακός και πολλαπλοί σωλήνες. Τά μάτια μέ φακό, σαν τά δικά μας, έμφανίστηκαν και στά μαλάκια και στά σπονδυλωτά. Τό μάτι του χταποδιού μοιάζει πάρα πολύ μέ τό δικό μας. Και τά δύο λειτουργούν μέ τόν ίδιο άκριβώς τρόπο. "Όμως δέν εξέλιχθηκαν μέ τόν ίδιο τρόπο. 'Ενώ στά σπονδυλωτά τά κύτταρα του άμφιβληστροειδοϋ που είναι δεκτικά στό φως άποκλίνουν από τό φως, στά μαλάκια τρέπονται προς τό φως. 'Ανάμεσα σέ όλες τίς λύσεις που βρέθηκαν για τό πρόβλημα τών δεκτών του φωτός, αυτές οί δύο είναι



ὁμοιες, ἀλλά δέν συμπίπτουν. Σέ κάθε περίπτωση, ἡ φυσική ἐπιλογή ἔκανε ὅ,τι μπορούσε μέ τά ὑλικά πού διέθετε.

Ἡ ἐξέλιξη δέν παράγει νεωτερισμούς ἀπό τό μηδέν. Ἐπεξεργάζεται αὐτό πού ἤδη ὑπάρχει, εἴτε μετασχηματίζοντας ἓνα σύστημα γιά νά τοῦ προσδώσει καινούριες λειτουργίες, εἴτε συνδυάζοντας διάφορα συστήματα γιά νά παραγάγει ἓνα πιο τελειοποιημένο σύστημα. Αὐτό ἔγινε, λ.χ., στή διάρκεια ἑνός ἀπό τά σημαντικότερα γεγονότα τῆς ἐξέλιξης τῶν κυττάρων: τό πέρασμα ἀπό τίς μονοκυτταρικές στίς πολυκυτταρικές μορφές. Πρόκειται γιά μιὰ ἰδιαίτερα σημαντική μετάβαση γιατί εἶχε ὡς συνέπεια μιὰ τεράστια δυνατότητα ἐξειδίκευσης τῶν μερῶν. Μιά τέτοια μετάβαση, πού πιθανότατα συνέβη πολλές φορές, δέν ἀπαιτοῦσε τή δημιουργία νέων χημικῶν εἰδῶν, γιατί δέν ὑπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τῶν μοριακῶν τύπων τῶν μονοκυτταρικῶν καί τῶν πολυκυτταρικῶν ὀργανισμῶν. Κατά κύριο λόγο ἦταν μιὰ ἀναδιοργάνωση αὐτοῦ πού ἤδη ὑπῆρχε.

### *Περιστασιακό μαστόρεμα μέ τά μόρια*

ἌΟ περιστασιακός χαρακτήρας τῆς φυσικῆς ἐπιλογῆς εἶναι ἴσως περισσότερο ἐμφανῆς στό μοριακό ἐπίπεδο. Τό σύνολο τῶν ἔμβιων ὄντων χαρακτηρίζεται βέβαια ἀπό ποικιλομορφία – κάτω ὅμως ἀπό αὐτήν ὑπάρχει ἐνότητα. Σ' αὐτό τό σύνολο συμπεριλαμβάνονται βακτήρια καί φάλαινες, ἰοί καί ἐλέφαντες, ὀργανισμοί πού ζοῦν σέ θερμοκρασία  $-20^{\circ}\text{C}$  στίς πολικές περιοχές, καί ἄλλοι πού ζοῦν σέ θερμές πηγές μέ θερμοκρασία  $70^{\circ}\text{C}$ . Ὅμως ὅλα αὐτά τά ἀντικείμενα χαρακτηρίζονται ἀπό ἀξιοσημεῖωτη ἐνότητα χημικῆς δομῆς καί λειτουργίας. Παραπλήσιες πολυμερεῖς ἐνώσεις, νουκλεϊκά ὀξέα ἢ πρωτεΐνες, τά ὁποῖα ἀποτελοῦνται ἀπό τά ἴδια πάντα βασικά στοιχεῖα, τίς τέσσερις βάσεις καί τά 20 ἀμινοξέα, παίζουν παρόμοιους ρόλους. Παντοῦ ὁ γενετικός κώδικας εἶναι ὁ ἴδιος καί οἱ μεταφραστικοί μηχανισμοί σχεδόν οἱ ἴδιοι. Τά ἴδια συνένζυμα καταλύουν παρεμφερεῖς ἀντιδράσεις. Ἄπό τά βακτήρια μέχρι τόν ἄνθρωπο, πολλά μεταβολικά βήματα παραμένουν οὐσιαστικά τά ἴδια. Εἶναι προφανές ὅτι, γιά νά ἐμφανιστεῖ ἡ ζωή, ἔπρεπε πρῶτα νά σχηματιστοῦν ὀρισμένοι νέοι μοριακοί τύποι. Στή διάρκεια τῆς χημικῆς ἐξέλιξης, κατά τήν προέμβια ἐποχή, καί στίς ἀρχές τῆς βιολογικῆς ἐξέλιξης, ἔπρεπε νά ἐμφανιστοῦν ὅλα αὐτά τά μόρια ἀπό τά ὁποῖα ἀποτελεῖται κάθε ἔμβιο ὄν. Ἄπό τή στιγμή ὅμως πού ἐμφανίστηκε ἡ ζωή, μέ τή μορφή κάποιου πρωτόγονου αὐτο-αναπαραγόμενου ὀργανισμοῦ, ἡ περαιτέρω ἐξέλιξη θά ἔπρεπε κυρίως νά προχωρήσει διαμέσου τῆς ἀλλαγῆς τῶν ἐνώσεων πού ἤδη ὑπῆρχαν. Μέ τήν ἐμφάνιση νέων πρωτεϊνῶν ἄρχισαν νά ἀναπτύσσονται καινούριες λειτουργίες. Δέν ἐπρόκειτο ὅμως παρά



για παραλλαγές πάνω σε προϋπάρχοντα θέματα. Μιά αλληλουχία (άκολουθία) χιλίων νουκλεοτιδίων περιέχει σε κωδικοποιημένη μορφή την πρωτογενή σύνταξη μιᾶς πρωτεΐνης μεσαίου μεγέθους. Ἡ πιθανότητα νά ἐμφανιστεῖ *de novo* μιᾶ λειτουργική πρωτεΐνη, διαμέσου τοῦ τυχαίου συνδυασμοῦ τῶν ἀμινοξέων πού τήν ἀποτελοῦν, εἶναι σχεδόν μηδενική. Σέ ὄργανισμούς τόσο πολύπλοκους καί ὀλοκληρωμένους ὅπως αὐτοί πού ὑπῆρχαν ἤδη σέ πολύ παρωχημένες ἐποχές, ἡ δημιουργία ἐντελῶς νέων ἀκολουθιῶν νουκλεοτιδίων δέν θά μπορούσε νά ἔχει καμία σημασία γιά τήν παραγωγή νέων πληροφοριῶν.

Κατά τή διάρκεια λοιπόν τοῦ μεγαλύτερου μέρους τῆς ἐξέλιξης, ἡ ἐμφάνιση νέων μοριακῶν δομῶν πρέπει νά βασίστηκε στήν τροποποίηση τῶν δομῶν πού ἤδη ὑπῆρχαν. Παράδειγμα τῆς διαδικασίας αὐτῆς δίνει ἡ ἀνακάλυψη ὅτι μεγάλα τμήματα γενετικής πληροφορίας (δηλαδή τμήματα DNA) ἀποδεικνύονται ὁμόλογα, ὄχι μόνο μέσα στόν ἴδιο ὄργανισμό, ἀλλά καί μεταξύ διαφορετικῶν ὄργανισμῶν, ἀκόμα καί ἂν εἶναι φυλογενετικά ἀπομακρυσμένοι ὁ ἕνας ἀπό τόν ἄλλον. Καθώς προχωρεῖ ἡ γνώση μας σχετικά μέ τίς ἀκολουθίες τῶν ἀμινοξέων στίς πρωτεΐνες, γίνεται σαφέστερο ὄχι μόνο ὅτι οἱ πρωτεΐνες πού ἐκπληροῦν παραπλήσιες λειτουργίες σέ διαφορετικούς ὄργανισμούς ἔχουν συχνά παραπλήσιες ἀκολουθίες, ἀλλά ἀκόμα καί ὅτι πρωτεΐνες μέ διαφορετικές λειτουργίες συχνά ἔχουν ὅμοια μεγάλα τμήματα ἀκολουθιῶν. Ἡ ὑπόθεση, πού γενικά θεωρεῖται ἀποδεκτή ὡς ἐξήγηση τῶν ὁμοιοτήτων αὐτῶν, ἔχει προταθεῖ ἀπό τόν Horowitz[8], τόν Ingram[9] καί τόν Ohno[10]. Ὑποθέτουν ὅτι ἕνα τμήμα DNA τό ὁποῖο ἀντιστοιχεῖ σέ ἕναν ἢ περισσότερους γόνους, χάρις σέ ἕνα ὀρισμένο γενετικό μηχανισμό, διπλασιεῖται. Ὄταν ἕνας γόνος ὑπάρχει σέ περισσότερα ἀπό ἕνα ἀντίτυπα, εἴτε σέ ἕνα κύτταρο εἴτε σέ ἕνα γαμέτη, ἀπελευθερώνεται ἀπό τοῦς περιορισμούς πού τοῦ ἐπιβάλλει ἡ φυσική ἐπιλογή ὡς πρός τή λειτουργία του. Οἱ μεταλλαγές μπορούν, στήν περίπτωση αὐτή, νά συσσωρεύονται λίγο ἢ πολύ χωρίς περιορισμούς καί καταλήγουν σέ τροποποιημένες πρωτεϊνικές δομές, μερικές ἀπό τίς ὁποῖες ἐνδέχεται νά ἐκπληροῦν νέες λειτουργίες. Ἐφόσον ἡ φυσική ἐπιλογή ἐξασκεῖ μιᾶ συνεχή πίεση πάνω στοῦς ὄργανισμούς, μπορεῖ ἡ τροποποιημένη μορφή μιᾶς πρωτεΐνης νά βελτιωθεῖ περαιτέρω μέ ἄλλες, μεταγενέστερες μεταβολές. Μπορεῖ ἐπίσης νά ὀδηγήσει σέ διατάραχή τῶν ἀλληλεπιδράσεων μέ τίς ἄλλες πρωτεΐνες καί, ἐνδεχομένως, νά εὐνοήσει μιᾶ τροποποίηση τῶν ἄλλων αὐτῶν πρωτεϊνῶν. Μεγάλο μέρος τοῦ γονιώματος τῶν πολύπλοκων ὄργανισμῶν μπορεῖ στήν πραγματικότητα νά προέρχεται ἀπό ἕνα μικρό ἀριθμό προγονικῶν γόνων.

Οἱ βιοχημικές ἀλλαγές δέν φαίνεται λοιπόν νά εἶναι ἡ κύρια κινητήρια δύναμη στό διαφορισμό τῶν ζώντων ὄργανισμῶν. Ἡ βιοχημεία πρέπει νά ἔχει παίξει τόν πραγματικά δημιουργικό ρόλο. Γιατί τότε μόνο



ἐξηγεῖται ἡ βιοχημική ἐνότητα πού ἐνυπάρχει στά ἔμβια ὄντα, ὅταν τά περισσότερα ἀπό τά σημαντικά εἶδη μορίων τῶν ὀργανισμῶν, δηλαδή οἱ περισσότερες ἀπό τίς μεταβολικές ὁδούς πού ἀφοροῦν τήν παραγωγή ἐνέργειας καί τή βιοσύνθεση ἢ τήν ἀποδόμηση τῶν βασικῶν δομικῶν τμημάτων, ὑπῆρχαν ἤδη σέ πολύ πρωτόγονους ὀργανισμούς ὅπως τά βακτήρια. Μετά τή διέλευση ἀπό αὐτό τό στάδιο, ἡ βιοχημική ἐξέλιξη συνέχισε τήν πορεία της μέ τήν ἐμφάνιση πιό πολύπλοκων ὀργανισμῶν. Ὅμως αὐτό πού δημιούργησε τή διαφοροποίηση τῶν ὀργανισμῶν δέν ἦταν οἱ βιοχημικές καινοτομίες. Εἶναι πιθανότερο πώς ἀκολουθήθηκε ἡ ἀντίστροφη διαδικασία: μεταβολές στή συμπεριφορά καί στίς οἰκολογικές φωλιές δημιούργησαν πίεση ἐπιλογῆς ἢ ὅποια, μέ τή σειρά της, ὀδήγησε σέ βιοχημικές ρυθμίσεις καί γι' αὐτό σέ μεταβολές τῶν εἰδῶν τῶν μορίων. Αὐτό πού διαφοροποιεῖ μιά πεταλούδα ἀπό ἕνα λιοντάρι, μιά κότα ἀπό μιά μύγα ἢ ἕνα σκουλήκι ἀπό μιά φάλαινα δέν εἶναι τόσο ἡ διαφορά στά χημικά τους συστατικά ὅσο ἡ διαφορά στήν ὀργάνωση καί ἡ κατανομή τῶν συστατικῶν αὐτῶν. Τά λιγιστά μεγάλα βήματα στήν ἐξέλιξη ἀπαιτοῦσαν τήν ἀπόκτηση νέων πληροφοριῶν. Ἡ ἐξειδίκευση ὅμως καί ἡ διαφοροποίηση τῶν εἰδῶν προέκυψαν ἀπό τή διαφορετική χρήση τῆς ἴδιας δομικῆς πληροφορίας. Γειτονικές ὀμάδες ὄντων ἔχουν τά ἴδια χημικά χαρακτηριστικά ὅπως εἶναι λ.χ. τά διάφορα σπονδυλωτά. Αὐτό πού διαφοροποιεῖ ἕνα σπονδυλωτό ἀπό ἕνα ἄλλο, εἶναι μιά μεταβολή στό χρόνο ἔκφρασης καί στίς σχετικές ποσότητες τῶν προϊόντων τῶν γόνων καί ὄχι οἱ μικρές διαφορές πού μποροῦμε νά παρατηρήσουμε στή δομή τῶν προϊόντων αὐτῶν. Εἶναι περισσότερο ζήτημα ρύθμισης παρά δομῆς [βλέπε I].

Μετά ἀπό τή γονιμοποίηση τοῦ ὠαρίου, ἡ ἀνάπτυξη τοῦ ἐμβρύου ἀκολουθεῖ μιά καθορισμένη σειρά γεγονότων, σύμφωνα μέ ἕνα ἀκριβές χρονοδιάγραμμα τό ὁποῖο προσδιορίζεται ἀπό τό γενετικό πρόγραμμα πού περιέχεται στά χρωματοσώματα. Τό πρόγραμμα αὐτό ὀρίζει πότε καί πού θά ἀναφανοῦν οἱ ὀμάδες διαφοροποιημένων κυττάρων, πού θά πολλαπλασιαστοῦν γιά νά παραγάγουν ὅλα τά ὅμοιά τους στή διαφοροποίηση κύτταρα, πότε καί πού θά κατασκευαστοῦν διαφορετικές πρωτεΐνες καί σέ τί ποσότητες. Κατά τήν πορεία τῆς ἀνάπτυξης, ἡ ποιότητα καί ἡ ποσότητα τῶν διάφορων πρωτεϊνῶν μεταβάλλονται ἀνάλογα μέ τό χρόνο καί τό χῶρο. Ἔτσι, στό ἐνήλικο ἄτομο, οἱ διάφοροι τύποι κυττάρων καί ἰστῶν περιέχουν διαφορετικά σύνολα εἰδῶν μορίων πού ταιριάζουν στίς λειτουργίες τους. Τό γενετικό πρόγραμμα ἐκτελεῖται διαμέσου πολύπλοκων ρυθμιστικῶν κυκλωμάτων τά ὁποῖα θέτουν σέ λειτουργία ἢ σταματοῦν τίς διάφορες βιοχημικές δραστηριότητες τοῦ ὀργανισμοῦ. Οἱ γνώσεις μας γιά τά ρυθμιστικά κυκλώματα, πού λειτουργοῦν κατά τή διάρκεια τῆς ἀνάπτυξης τῶν πολύπλοκων ὀργανισμῶν, εἶναι ἀκόμα ἀνεπαρκεῖς. Γνωρίζουμε, ὅστόσο, ὅτι μεταξύ συγγενικῶν ὀργανισμῶν, λ.χ.



μεταξύ των θηλαστικών, τα πρώτα στάδια της εμβρυακής ανάπτυξης παρουσιάζουν αξιοσημείωτες ομοιότητες, ενώ οι αποκλίσεις εμφανίζονται προοδευτικά, καθώς αναπτύσσεται ο οργανισμός. Οι αποκλίσεις αυτές δεν αφορούν τόσο την πραγματική δομή των κυτταρικών τύπων των ειδών μορίων, όσο τον αριθμό και τη θέση τους. Είναι πιθανόν ότι ή απόκλιση και ή εξειδίκευση στα θηλαστικά, λ.χ., είναι αποτέλεσμα μεταλλαγών οι οποίες αλλοίωσαν μάλλον τα ρυθμιστικά κυκλώματα παρά τις χημικές δομές. Μικρές μεταβολές που τροποποιούν την κατανομή των ίδιων δομών στο χρόνο και το χώρο επαρκούν για να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό τη μορφή, τη λειτουργία και τη συμπεριφορά του τελικού προϊόντος – του ενήλικου ζώου. Τοῦτο γίνεται πάντα με τη χρησιμοποίηση των ίδιων στοιχείων, με τη ρύθμισή τους, με μικρές τροποποιήσεις ἐδῶ καί κεῖ, με τό σχηματισμό διάφορων συνδυασμῶν γιά τήν παραγωγή νέων ἀντικειμένων με αὐξημένη πολυπλοκότητα· γίνεται δηλαδή πάντα με περιστασιακά μαστορέματα.

#### *Συνέπειες τοῦ περιστασιακοῦ μαστορέματος*

Βρίσκει λοιπόν κανείς τά ἴχνη τοῦ μαστορέματος αὐτοῦ σέ ὅλα τά επίπεδα, σέ ὅλη τήν ἔκταση τοῦ ἐμβίου κόσμου. Ἀσφαλῶς λοιπόν μπορεῖ νά τό ἀνιχνεύσει καί στό ἀνθρώπινο εἶδος, ὅπως δείχνουν καί τά λιγοστά ἀκόλουθα παραδείγματα. Στόν ἄνθρωπο, ὅπως καί σέ πολλά ἄλλα θηλαστικά, ὑπάρχουν πολύ πολύπλοκες διαδικασίες στίς ὁποῖες ὀφείλονται διάφορες λειτουργίες ὅπως εἶναι ή πήξη τοῦ αἵματος, οἱ φλεγμονώδεις ἀντιδράσεις ἐναντίον ξένων σωμάτων καί ή ἀνοσολογική ἄμυνα ή ὁποία ἐπιτυγχάνεται με τή μεσολάβηση τοῦ λεγόμενου «συμπληρωματικοῦ συστήματος». Πρόσφατα οἱ τρεῖς αὐτές διαδικασίες ὑποβλήθηκαν σέ λεπτομερή ἀνάλυση, ἀνεξάρτητα ή μία ἀπό τήν ἄλλη. Καθεμιά τους παρουσίασε μίαν ἀπροσδόκητη πολυπλοκότητα· ἀφορᾶ περίπου δέκα πρωτεΐνες, πού καμιά τους δέν ἔχει, ἀρχικά, ἐνζυματική δραστηριότητα. Ἡ μετατροπή τῆς πρώτης ἀπό τίς πρωτεΐνες αὐτές, σέ μιά μορφή πού ἔχει καταλυτική δραστηριότητα, ἀποτελεῖ τό ἔναυσμα μιᾶς σειρᾶς διαδοχικῶν ἀντιδράσεων. Ἡ πρώτη πρωτεΐνη σπάζει τή δεύτερη σ' ἓνα συγκεκριμένο σημεῖο· ἓνα προϊόν τῆς ἀντίδρασης αὐτῆς σπάζει τήν τρίτη πρωτεΐνη, κ.ο.κ. Σ' αὐτή τήν ἀκολουθία ἀντιδράσεων, ή κάθε πρωτεΐνη σπάει διαδοχικά, καί τά κομμάτια πού ἀπελευθερώνονται λειτουργοῦν ὡς ἐνεργοποιητές ή παρεμποδιστές σέ ἄλλες ἀντιδράσεις αὐτῆς τῆς ἀλυσίδας ἀντιδράσεων. Ἐπιπλέον, αὐτές οἱ τρεῖς ἀλυσίδες ἀντιδράσεων δέν εἶναι τελείως ἀνεξάρτητες ή μία ἀπό τήν ἄλλη. Ἐνα προϊόν ἀπό τό σπάσιμο στή μία ἀλυσίδα μπορεῖ ξαφνικά νά γίνει ἐνεργό στοιχείο σέ μιά ἄλλη ἀλυσίδα ή ἀκόμη νά παίξει ἓνα ρόλο σέ μιά τελείως



διαφορετική διαδικασία. Τα προϊόντα αυτά μπορούν να λειτουργήσουν ως σηματοδότες που συνδέουν συστήματα χωρίς χημική σχέση μεταξύ τους, αλλά τα όποια αλληλοεξαρτώνται από τη φυσιολογική άποψη. Είναι σαν να χρησίμευσαν για πηγές μικρότερων αλλά ενεργών πεπτιδίων όρισμένα μόρια πρωτεΐνης, που έτυχε να σχηματιστούν, καθώς διαμορφώνονταν νέες λειτουργίες.

Πρόσφατα ανακαλύφθηκε ότι ένας αριθμός πεπτιδίων, διαφορετικών μεγεθών, συμμετέχουν σε μία ποικιλία φυσιολογικών διαδικασιών. Μερικά από αυτά, όπως τα ορμονικά ή τα εγκεφαλικά πεπτίδια, δεν μετασχηματίζονται χημικά κατά την αντίδραση που ενεργοποιούν ή παρακωλύουν. Φαίνεται ότι προσδένονται απλώς σε κάποια πρωτεΐνη για να δημιουργήσουν ενοϊκές συνθήκες για μία αλλοστερική μετάπτωση, λειτουργώντας δηλαδή ως απλοί χημικοί σηματοδότες. Κατά γενικό, λοιπόν, κανόνα, δεν είναι δυνατόν ο βιολόγος να κάνει μία πρόβλεψη (ή ακόμα και να κάνει μία εμπνευσμένη εικάστια) για τη φύση των μορίων αυτών και τις δομικές τους σχέσεις με τα άλλα συστατικά. Το μόνο που μπορεί να κάνει είναι να τα ανιχνεύσει, να τα απομονώσει και να τα αναλύσει. Στο μέλλον, όταν θα γνωρίζουμε τις δομές περισσότερων πρωτεϊνών, θα υπάρχει ίσως μία δυνατότητα να καθορίσουμε τις λειτουργικές διασυνδέσεις και τις εξελικτικές σχέσεις ανάμεσα σε τέτοια μόρια.

Ένα άλλο παράδειγμα περιστασιακού μαστορέματος υπάρχει στην πρώιμη έμβρυακή ανάπτυξη του ανθρώπου. Η έμβρυακή ανάπτυξη είναι μία διαδικασία τρομακτικής πολυπλοκότητας για την οποία μέχρι τώρα γνωρίζουμε πολύ λίγα πράγματα. Οι μελέτες της τελευταίας δεκαετίας ή εικοσαετίας αποκάλυψαν ένα εκπληκτικό φαινόμενο. Σε διάφορους ανθρώπινους πληθυσμούς, 50% του συνόλου των συλλήψεων υπολογίζεται ότι καταλήγουν σε αυτόματα αποβολή [βλέπε 12]. Ένα μεγάλο μέρος των αποβολών αυτών συμβαίνουν κατά τις πρώτες 3 εβδομάδες της κύησης και, κατά γενικό κανόνα, περνούν απαρατήρητες. Έτσι λοιπόν, στις μισές συλλήψεις υπάρχει κάτι το οποίο εξαρχής δεν πάει καλά. Πολλές από αυτές τις αποβολές φαίνεται ότι οφείλονται σε περιττό αριθμό χρωματοσωμάτων· αντί να έχει μία πλήρη σειρά χρωματοσωμάτων από τη μητέρα και άλλη μία από τον πατέρα, το έμβρυο έχει ένα χρωματοσωμα λιγότερο, ή έχει ένα παραπάνω, ή ακόμη έχει τρεις πλήρεις σειρές αντί για δύο. Το αποτέλεσμα είναι όρισμένες λειτουργίες, απαραίτητες για την ανάπτυξη του εμβρύου, να μην επιτελούνται κανονικά. Το έμβρυο πεθαίνει και αποβάλλεται. Έτσι εξαφανίζονται πολλά έμβρυα τα όποια είναι εν δυνάμει κακόμορφα· δυστυχώς όμως όχι όλα, αφού μερικά από αυτά φτάνουν μέχρι τον τοκετό. Αυτό δείχνει πόσο άτελής είναι ο μηχανισμός αυτός, ο οποίος έχει κεντρική σημασία για κάθε έμβιο σύστημα και ο οποίος βελτιώνεται συνεχώς εδώ και εκατομμύρια χρόνια.

Ένα τρίτο και εξαιρετικά ενδιαφέρον παράδειγμα μαστορέματος είναι



ή σύνδεση ανάμεσα στην αναπαραγωγή και αυτό που συνήθως ονομάζουμε ήδονή. Η σεξουαλική αναπαραγωγή είναι μιά από τις αποτελεσματικότερες επινοήσεις της εξέλιξης. Στους κατώτερους οργανισμούς οι οποίοι, όπως φαίνεται, έχουν άγενή (μή-σεξουαλική) αναπαραγωγή, βασισμένη στη διαίρεση, τό γενετικό πρόγραμμα αντιγράφεται μέ σχολαστικότητα από γενιά σέ γενιά. Μέσα σέ ένα δεδομένο πληθυσμό παραμένει άμετάβλητο, έκτός από σπάνιες περιπτώσεις, τίς μεταλλαγές. Η διαίρεση του οργανισμού είναι αυτόματη διαδικασία ή όποία προκύπτει από τήν αύξηση. Όταν ύπάρχει ένα φαινόμενο που μοιάζει μέ σεξουαλικότητα, όπως λ.χ. στά βακτήρια, πρόκειται για πολυτέλεια. Σέ τέτοιους πληθυσμούς, ή προσαρμογή κατανάγκην βασίζεται στην επιλογή των σπάνιων μεταλλαγών κάτω από όρισμένες συνθήκες περιβάλλοντος. Αντίθετα, ή σεξουαλική αναπαραγωγή, ή όποία πιθανότατα έμφανίστηκε σέ άρκετά πρώιμη φάση της εξέλιξης, επιφέρει αναγκαστικά ανασυνδυασμό των γενετικών προγραμμάτων μεταξύ των πληθυσμών που έρχονται σέ επιμειξία, μέ αποτέλεσμα κάθε γενετικό πρόγραμμα (δηλαδή κάθε άτομο) νά είναι διαφορετικό από τό άλλο. Αύτός ό συνεχής ανασυνδυασμός των γενετικών στοιχείων παρέχει τεράστιες δυνατότητες για τήν πραγματοποίηση της προσαρμογής. Όμως, από τή στιγμή που ή σεξουαλικότητα έγινε αναγκαία συνθήκη για τήν αναπαραγωγή, άπαίτησε είδικούς μηχανισμούς: έναν ό όποιος θά καθιστά δυνατή τήν αναγνώριση και τή συνάντηση μεταξύ ατόμων αντίθετου φύλου, και έναν άλλον ό όποιος νά τά οδηγεί στην ένωση. Η πρώτη από τίς προϋποθέσεις αυτές έχει εκπληρωθεί από μιά σειρά είδικών συστημάτων σηματοδότησης – όπτικά, άκουστικά, ή όσφρητικά – εκπληκτικής ακρίβειας και άποτελεσματικότητας. Η δεύτερη αντιμετώπιστηκε μέ τήν ανάπτυξη πολύ άνελαστικών προγραμμάτων συμπεριφοράς, τά όποια είναι γενετικά προσδιορισμένα. Στά πουλιά, λ.χ., στην κατάλληλη εποχή, ή θέα ενός ατόμου του αντίθετου φύλου βάζει σέ ενέργεια μιά όλόκληρη διαδικασία από τελετουργίες, έρωτοτροπίες και επιδείξεις που οδηγούν, αυτόματα σχεδόν, στό ζευγάρι, τή δημιουργία φωλιάς και τή φροντίδα για τά νεογνά. Όμως ή πορεία της εξέλιξης χαρακτηρίζεται από μιά τάση για μεγαλύτερη έλαστικότητα στην έκτέλεση του γενετικού προγράμματος. Καθώς τό πρόγραμμα αυτό γινόταν, σαν νά λέγαμε, πιο άνοιχτό, ή συμπεριφορά γινόταν λιγότερο άνελαστικά καθορισμένη από τούς γόνους. Οί αντιδράσεις στη σεξουαλική σηματοδότηση δέν ήταν πιά έντελώς αυτόματες. Για νά μπορέσει λοιπόν νά οδηγήσει τά άτομα στην αναπαραγωγή, ή σεξουαλικότητα έπρεπε νά συνδυαστεί μέ διαφορετικές επινοήσεις, μεταξύ των όποιων ήταν και ή ήδονή. Στο Oxford Dictionary, ή ήδονή όρίζεται ως «τό αντίθετο του πόνου» – τό όποιο είναι προφανές – έπίσης όμως ως «ή κατάσταση της συνείδησης που προκαλείται από τήν άπόλαυση αυτού τό όποιο κανείς αισθάνεται ή θεωρεί άγαθό ή επι-



θυμητό». Τό πιθανότερο είναι ότι τά αίσθήματα τῆς ἐνόχλησης καί τῆς ἡδονῆς ὑπῆρχαν ἤδη στά πολύπλοκα ζῶα στίς πρωιμότερες φάσεις τῆς ἐξελίξεώς τους. Ἐνα ζῶο ἔχει μεγαλύτερη πιθανότητα νά ἀποκτήσει ἀπογόνους ἐάν ἕνα αἶσθημα ἐνόχλησης τό ἀποτρέπει ἀπό τό νά ἐμπλακεῖ σέ ἐπιβλαβεῖς περιστάσεις. Εἶναι σαφές ὅτι ἡ ὑπαρξη νευρικῶν κέντρων, τά ὁποῖα συνδέονται μέ τά αἰσθητήρια ὄργανα καί μποροῦν νά συσχετίζονται αὐτό πού γίνεται ἀντιληπτό ὡς εὐχάριστο ἢ δυσάρεστο μέ αὐτό πού εἶναι στήν πραγματικότητα καλό ἢ κακό γιά τήν ἐπιβίωση, ἔχει μεγάλη ἐπιλεκτική ἀξία. Πράγματι, σήμερα γνωρίζουμε ὅτι ὑπάρχουν τέτοια κέντρα. Πρίν ἀπό 20 περίπου χρόνια οἱ νευροβιολόγοι πιστοποίησαν στόν ἐγκέφαλο τοῦ ἀρουραίου, καί μετὰ σέ πολλά σπονδυλωτά, τήν παρουσία δύο ἀξιοσημεῖωτων κέντρων – τό «κέντρο τῆς ἀποστροφῆς» καί τό «κέντρο τοῦ αὐτοερεθισμοῦ». Ἐάν τόν ἐφοδιάσουμε μέ κατάλληλα τοποθετημένα ἠλεκτρόδια καί ἐάν τοῦ δώσουμε τά μέσα νά ἐνεργοποιεῖ κατά βούλησιν τό δεύτερο κέντρο, ἕνας ἀρουραῖος αὐτοηδονίζεται ὡσόντου καταρρεύσει ἀπό ἐξάντληση. Πειράματα πού πραγματοποιήθηκαν κατά τή διάρκεια ἐπεμβάσεων στόν ἐγκέφαλο καί οἱ περιγραφές πού δίνουν οἱ ἴδιοι οἱ ἀσθενεῖς γιά τό τί αἰσθάνονται, μᾶς ἐπιτρέπουν νά εἴμαστε σχεδόν βέβαιοι γιά τήν ὑπαρξη παρόμοιων κέντρων στόν ἄνθρωπο – καί γιά τό ὅτι συνδέονται μέ τή σεξουαλική δραστηριότητα. Φαίνεται λοιπόν πῶς ἡ ἡδονή δέν εἶναι παρά μία ἐπινόηση ἡ ὁποία ὁδηγεῖ τό ἄτομο στό νά ἀπολαμβάνουν τήν ἐρωτική πράξη καί, κατά συνέπεια, στήν ἀναπαραγωγή. Ἐπινόηση μάλλον ἐπιτυχῆς, ἄν κρίνει κανεῖς ἀπό τό ἐπίπεδο τῆς πληθυσμιακῆς ἀνάπτυξης τοῦ κόσμου.

*Ἐνα τελευταῖο παράδειγμα μαστορέματος: Ὁ ἀνθρώπινος ἐγκέφαλος*

Μολονότι ὁ ἐγκέφαλος εἶναι τό κύριο προσαρμοστικό χαρακτηριστικό τοῦ ἀνθρώπινου εἴδους, δέν εἶναι καθόλου σαφές σέ τί εἶναι προσαρμοσμένος. Γνωρίζουμε βέβαια ὅτι, ὅπως καί τό ὑπόλοιπο σῶμα μας, ὁ ἐγκέφαλος εἶναι προϊόν φυσικῆς ἐπιλογῆς, δηλαδή διαφορικῶν ἀναπαραγωγῶν οἱ ὁποῖες συσσωρεύονται ἐδῶ καί ἑκατομμύρια χρόνια κάτω ἀπό τήν πίεση ποικίλων συνθηκῶν τοῦ περιβάλλοντος. Ὁ ἐγκέφαλος μας λοιπόν ἐξελίχθηκε γιά νά ἐξυπηρετήσῃ τό γεννητικό μας ἀδένα, ὅπως τόνισε ἐδῶ καί ἀρκετά χρόνια ὁ Freud. Κατά περίεργο ὅμως τρόπο ἡ ἀνάπτυξη τοῦ ἐγκεφάλου στά θηλαστικά δέν ἦταν μία διαδικασία τόσο ὀλοκληρωμένη ὅσο, λ.χ., ὁ μετασχηματισμός ἑνός ποδιοῦ σέ φτερό. Ὁ ἐγκέφαλος τοῦ ἀνθρώπου σχηματίστηκε μέ τήν ἐπέκταση νέων κατασκευῶν πάνω στίς παλιές. Στόν παλιό ρινεγκέφαλο τῶν κατώτερων θηλαστικῶν προστέθηκε ἕνας *neocortex* (νέος φλοιός) ὁ ὁποῖος γρήγορα, ἴσως ὑπερβολικά γρήγορα, ἀνάλαβε ἕναν κύριο ρόλο στήν ἐξελικτική



άκολουθία πού οδηγεί στον άνθρωπο. Για όρισμένους νευροβιολόγους, ειδικά για τον McLean[13] αυτοί οί δύο τύποι δομών αντιστοιχοϋν σέ δύο τύπους λειτουργίας, οί όποιοι όμως δέν έχουν συντονιστεί ή ιεραρχηθει απόλυτα. Ο νεώτερος, ό neocortex, ελέγχει τή διανοητική, γνωστική δραστηριότητα. Ο παλιός, πού προέρχεται από τό ρινεγκέφαλο, ελέγχει τίς συγκινησιακές και σπλαχνικές λειτουργίες. Αϋτός, αντίθετα από τον neocortex, δέν φαίνεται νά έχει καμία ίκανότητα ειδολογικής διάκρισης ή δυνατότητες συμβολικής και γλωσσικής λειτουργίας όπως και αϋτοσυνείδησης. Η παλαιότερη δομή, ή όποία στά κατώτερα θηλαστικά ήταν απόλυτα κυρίαρχη, έχει περιοριστεί στό χώρο τών συγκινήσεων. Στόν άνθρωπο συνιστά αϋτό πού ό McLean όνομάζει «σπλαχνικό έγκέφαλο» (visceral brain). Ίσως, επειδή στόν άνθρωπο ή ανάπτυξη είναι τόσο μακροχρόνια, και ή ώριμότητα τόσο καθυστερημένη, τά κέντρα αϋτά νά διατηροϋν ισχυρές διασυνδέσεις μέ κατώτερα αϋτόνομα κέντρα και νά συνεχίζουν νά συντονίζουν θεμελιώδεις παρορμήσεις όπως ή έξεύρεση τροφής, ή αναζήτηση τοϋ έρωτικού συντρόφου, ή ή αντίδραση σέ έναν έχθρό. Αϋτή ή εξελικτική διαδικασία – ό σχηματισμός ενός κυρίαρχου νέου φλοιού σέ συνδυασμό μέ τή διατήρηση ενός νευρικού και όρμονικού συστήματος τά όποια κυβερνά μερικά, και όχι όλικά, ό νέος φλοιός – μοιάζει πολύ μέ τόν τρόπο δράσης τοϋ περιστασιακοϋ μάστορα. Είναι σαν νά βάζει κανείς μία μηχανή αεριοθούμενου σέ ένα παλιό άμάξι μέ άλογα. Σέ παρόμοιες περιπτώσεις ή ύπαρξη άτυχημάτων, δυσκολιών και συγκρούσεων είναι κάτι τό έντελώς φυσικό.

Είναι δύσκολο νά συνειδητοποιήσει κανείς ότι ό κόσμος τών έμβίων πού γνωρίζουμε δέν είναι παρά μία ανάμεσα σέ πολλές δυνατότητες: ότι ή δομή του είναι άποτέλεσμα τής ίστορίας τής γής. Και όμως οί έμβιοι όργανισμοί είναι ίστορικές κατασκευές: είναι στήν κυριολεξία δημιουργήματα τής ίστορίας. Δέν εκπροσωποϋν ένα τέλειο προϊόν μηχανικής, αλλά ένα συνονθύλευμα από άνομοιογενή αντικείμενα, συναρμολογημένα όπως και όταν παρουσιάστηκαν οί εύκαιρίες. Γιατί ό όπορτουρισμός τής φυσικής έπιλογής δέν όφείλεται σέ κάποια άδιαφορία για τή δομή και τή λειτουργία τών προϊόντων της. Άντανακλά τήν ίδια τή φύση μιās ίστορικής διαδικασίας γεμάτης άπρόοπτους περιορισμούς.

Όπως έδειξε ό Simpson[4], ή άλληλεπίδραση τών τοπικών εύκαιριών – φυσικών, οικολογικών και ιδιοσυγκρασιακών – καθορίζει ένα «τελικό άθροΐσμα ίστορικής εύκαιρίας», τό όποιο μέ τή σειρά του καθορίζει τό πώς θά αξιοποιηθοϋν οί γενετικές δυνατότητες. Η κατεύθυνση και ό ρυθμός τής προσαρμοστικής εξέλιξης καθορίζεται κατά κύριο λόγο από αϋτό τό άθροισμα ίστορικών εύκαιριών. Αϋτός είναι ό λόγος για τον όποιο ή πιθανότητα νά ύπάρχουν κάπου άλλου μέσα στό σύμπαν έμβια συστήματα, τά όποια νά έχουν εξελιχθει σέ ανθρωπόμορφα όντα, είναι πρακτικά μηδενική. Άκόμα και αν ή ζωή στό άπώτερο διάστημα χρησι-



μποιεί τὰ ἴδια ὕλικά μέ τή γήινη, ἀκόμα καί ἂν τό περιβάλλον δέν εἶναι πολύ διαφορετικό ἀπό τό δικό μας, ἀκόμα καί ἂν ἡ φύση τῆς ζωῆς καί τῆς χημείας τῆς ἀποτελοῦν σημαντικούς περιοριστικούς παράγοντες γιά τό κατά ποιό τρόπο θά πραγματοποιοῦν ὀρισμένες λειτουργίες, ἡ ἀκολουθία τῶν ἱστορικῶν εὐκαιριῶν πού παρουσιάστηκαν ἐκεῖ δέν μπορεῖ νά εἶναι ἡ ἴδια μέ τήν ἐδῶ. Διαφορετικοί ἠθοποιοί ἔπαιξαν διαφορετικά ἔργα. Παρ' ὄλα τὰ ἀφηγήματα ἐπιστημονικῆς φαντασίας, οἱ κάτοικοι τοῦ Ἄρη δέν μποροῦν νά μοιάζουν μέ ἐμᾶς. Θά ἦταν, ἐξάλλου, δυνατό νά μοιάζουμε μέ τὰ περίεργα ἐκεῖνα τέρατα τοῦ 16ου αἰώνα.

#### Ἄναφορές καί σημειώσεις

1. J. Perrin, *Les Atomes* (Alcan, Paris, 1914).
2. P.B. Medawar, *The Hope of Progress* (Doubleday, New York, 1973).
3. C. Darwin, *On the Origin of Species* (London, 1859).
4. G.G. Simpson, *Evolution* σ. 342 (1952).
5. C. Levi-Strauss, *La Pensée Sauvage* (Plon, Paris, 1962).
6. E. Mayr, *Fed. Proc. Fed. Am. Soc. Exp. Biol.* 23, 1231 (1964).
7. G.G. Simpson, *The Meaning of Evolution* (Yale Univ. Press, New Haven, Conn., 1967).
8. N. Horowitz, *Adv. Genet.* 3, 33 (1950).
9. V.M. Ingram, *Hemoglobins in Genetics and Evolution* (Columbia Univ. Press, New York, 1963).
10. S. Ohno, *Evolution by Gene Duplication* (Springer-Verlag, New York, 1970).
11. M.C. King and A.C. Wilson, *Science* 188, 107 (1975).
12. A. Boue and J.G. Boue, in *Physiology and Genetics of Reproduction*, E. Coutinho and F. Fuchs, Eds. (Plenum, New York, 1975), τομ. 4b, σ. 317.
13. P. McLean, *Psychosom. Med.* 11, 338 (1949).