

## Αν είχαμε χρόνο και κόσμο αρκετό μπροστά μας...

Την άνοιξη του 1904, ο Έρνεστ Ράδερφορντ, ένας τριανταδύαχρονος φυσικός νεοζηλανδέζικης καταγωγής που τότε εργαζόταν στο Πανεπιστήμιο McGill στον Καναδά, έδωσε μια διάλεξη στον παλαιότερο επιστημονικό οργανισμό στον κόσμο, τη Royal Society of London for the Improving of Natural Knowledge (Βασιλική Εταιρεία του Λονδίνου για τη Βελτίωση της Φυσικής Γνώσης). Το θέμα που πραγματεύτηκε στην ομιλία του ήταν η ραδιενέργεια και η ηλικία της Γης.

Εκείνη την εποχή, οι επιστήμονες είχαν ήδη προ πολλού αποκηρύξει τους βιβλικούς ισχυρισμούς, σύμφωνα με τους οποίους η ηλικία της Γης ήταν μόλις έξι χιλιάδες έτη. Οι ευρύτερα αποδεκτές χρονολογήσεις προέρχονταν από έναν άλλο φυσικό, τον Ουίλλιαμ Τόμσον, περισσότερο γνωστό ως λόρδο Κέλβιν, ο οποίος είχε χρησιμοποιήσει τις εξισώσεις της θερμοδυναμικής και τη θερμική αγωγιμότητα της Γης για να υπολογίσει ότι η ηλικία του πλανήτη ήταν γύρω στα είκοσι εκατομμύρια έτη.

Στη γεωλογία, αυτό δεν θεωρείται πολύς χρόνος — και όσα αυτό υποδήλωνε ήταν εξόχως σημαντικά. Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της Γης δεν θα μπορούσαν να έχουν εμφανιστεί μέσα σε μια τέτοια χρονική περίοδο, εάν διαδικασίες όπως η ηφαιστειότητα και η διάβρωση ακολουθούσαν τον σημερινό ρυθμό.<sup>1</sup> Το πραγματικό, ωστόσο, «θύμα» των υπολογισμών του Κέλβιν ήταν η θεωρία του Κάρολου Δαρβίνου για την εξέλιξη μέσω φυσικής επιλογής. Ο Δαρβίνος είχε δηλώσει «πολύ προβληματισμένος από τη νεαρή ηλικία του

κόσμου την οποία υποστηρίζει ο σερ Τόμσον». <sup>2</sup> Ήξερε ότι οι οργανισμοί δεν είχαν αλλάξει πολύ μετά τις τελευταίες εποχές παγετώνων και από τούτη την τόσο μικρή αλλαγή συμπεραίνει ότι ο χρόνος που χρειάζεται για να δημιουργηθούν όλοι οι οργανισμοί —ζώντας σήμερα ή διατηρημένοι σε απολιθώματα— πρέπει να είναι στ' αλήθεια πάρα πολύς. <sup>3</sup> Είκοσι εκατομμύρια έτη δεν ήταν αρκετά για να δημιουργηθεί η ποικιλότητα της ζωής.

Ο Ράδερφορντ, όμως, ο οποίος μόλις λίγα χρόνια νωρίτερα είχε ανακαλύψει το φαινόμενο του χρόνου ημιζωής των ραδιενεργών στοιχείων, ήξερε πως ο Κέλβιν έσφαλλε κατά αρκετές τουλάχιστον τάξεις μεγέθους. Όπως έγραψε αργότερα, ενθυμούμενος το περιστατικό:

Μπήκα στην αίθουσα, η οποία ήταν μισοσκοτεινή· είδα τον λόρδο Κέλβιν στο ακροατήριο και συνειδητοποίησα ότι στο τελευταίο μέρος της ομιλίας [μου], που είχε να κάνει με την ηλικία της Γης, θα έβρισκα τον μπελά μου, αφού οι απόψεις μου συγκρούονταν με τις δικές του ... Με την ανακάλυψη των ραδιενεργών στοιχείων, τα οποία διασπώμενα απελευθερώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας, δικαιολογείται λοιπόν η αύξηση του πιθανού ορίου της διάρκειας της ζωής στον πλανήτη, καθώς και ο απαιτούμενος χρόνος για τη διαδικασία της εξέλιξης, που αξιώνουν η Γεωλογία και η Βιολογία. <sup>4</sup> (Η έμφαση δική μου.)

Κι αυτό ήταν. Ο Κέλβιν πέθανε το 1907. Ο Ράδερφορντ κέρδισε το βραβείο Νομπέλ το 1908· και μέχρι τη δεκαετία του 1930, με τις ραδιομετρικές μεθόδους του είχε πλέον υπολογίσει ότι η ηλικία της Γης ήταν γύρω στα 4,5 δισεκατομμύρια έτη. Η θεωρία του Δαρβίνου διασώθηκε, αφού στον χρόνο αυτόν οι διαδικασίες της τυχαίας μετάλλαξης και της επιλογής θα μπορούσαν να έχουν δημιουργήσει την τεράστια πολυπλοκότητα και την ποικιλότητα της ζωής.

Θα μπορούσαν, όμως, όντως;

Σκεφτείτε τον πετρίτη, *Falco peregrinus*, ένα είδος γερακιού που αποτελεί έναν από τους εντυπωσιακότερους θηρευτές στη φύση, αλλά κι έναν οργανισμό θαυμαστής τελειότητας. Χάρη στο ισχυρό μυϊκό σύστημα και στον εξαιρετικά ελαφρύ σκελετό του, ο πετρίτης είναι μακράν το ταχύτερο ζώο στη Γη: Στις χαρακτηριστικές εφορμήσεις

του, μπορεί να ξεπεράσει τα 200 μίλια την ώρα. Η τεράστια αυτή ταχύτητά του μετατρέπεται σε τεράστια κινητική ενέργεια όταν, με τα κοφτερά σαν ξυράφια νύχια του, πλήττει το θήραμά του στον αέρα. Εάν το θήραμα δεν πεθάνει από το πλήγμα καθαυτό, ο πετρίτης μπορεί να του κόψει τη σπονδυλική στήλη με το πάνω τμήμα του ράμφους του, το οποίο φέρει μια ειδική εγκοπή γι' αυτόν τον σκοπό.<sup>5</sup>

Προτού εφορμήσει όμως, ο πετρίτης πρέπει να εντοπίσει το θήραμά του. Ο μηχανισμός που χρησιμοποιεί για τη στόχευση αυτή βασίζεται σ' ένα ζευγάρι μάτια με διόφθαλμη όραση, αντίληψη όλων των χρωμάτων και διακριτική ικανότητα πάνω από πέντε φορές μεγαλύτερη από εκείνην του ανθρώπου — πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να δει ένα περιστέρι σε απόσταση μεγαλύτερη του ενός μιλίου.<sup>6</sup> Όπως πολλοί θηρευτές, ο πετρίτης έχει μάτια με σκαρδαμυκτική μεμβράνη —ένα τρίτο βλέφαρο—, η οποία μοιάζει κάπως με υαλοκαθαριστήρα που καθαρίζει το μάτι από διάφορες ακαθαρσίες, ενώ ταυτόχρονα το διατηρεί υγρό στη διάρκεια μιας καταδίωξης υψηλής ταχύτητας. Τα μάτια του διαθέτουν επίσης φωτοϋποδοχείς — τα ραβδία που «συλλαμβάνουν» εικόνες σε πολύ μικρή ένταση φωτός και τα κωνία που ευθύνονται για την έγχρωμη όραση.<sup>7</sup> Μάλιστα, οι φωτοϋποδοχείς του καθιστούν ορατό ακόμα και το υπεριώδες φως μεγάλου μήκους κύματος.

Πρόκειται, ομολογουμένως, για ένα θαύμα. Ακόμα πιο θαυμαστό, βέβαια, είναι το ότι γνωρίζουμε πως καθεμία από τις εκπληκτικές αυτές προσαρμογές είναι το άθροισμα αναρίθμητων, απειροελάχιστων βημάτων, που το καθένα συνιστά μια αλλαγή σε ένα και μόνο μόριο, η οποία διατηρήθηκε μέσω της φυσικής επιλογής. Το φονικό ράμφος και τα νύχια του πετρίτη είναι φτιαγμένα από την ίδια πρώτη ύλη που είναι φτιαγμένο και το φτέρωμά του: από κερατίνες (πρωτεΐνες, παραλλαγές των οποίων απαρτίζουν τα μαλλιά και τα νύχια στον άνθρωπο).<sup>8</sup> Από την άλλη, τα εκπληκτικά του μάτια, που τα χρησιμοποιεί για να βλέπει έγχρωμα, βασίζονται στις οψίνες (πρωτεϊνικά μόρια στα οφθαλμικά ραβδία και κωνία). Ζωτικής δε σημασίας για την εξαιρετικά οξεία όρασή του είναι οι φακοί των ματιών του, οι οποίοι αποτελούνται από κρυσταλλίνες (διαφανείς πρωτεΐνες).<sup>9</sup>



τζάκποτ στο λαχείο· είναι λιγότερο πιθανό από το να κερδίζει το τζάκποτ κάθε χρόνο από τη Μεγάλη Έκρηξη μέχρι σήμερα.<sup>12</sup> Για την ακρίβεια, είναι αναρίθμητα δισεκατομμύρια φορές λιγότερο πιθανό. Εάν ένα τρισεκατομμύριο διαφορετικοί οργανισμοί δοκίμαζαν μία ακολουθία αμινοξέων κάθε δευτερόλεπτο αφότου εμφανίστηκε η ζωή, αυτό που θα είχαν δοκιμάσει θα ήταν μάλλον ένα απειροελάχιστο κλάσμα των 10<sup>130</sup> πιθανών ακολουθιών. Ποτέ δεν θα είχαν βρει τη μία μοναδική ακολουθία οψίνης. Με λίγα λόγια, τα μόρια μπορούν να διαταχθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους· και ο χρόνος δεν είναι αρκετός.

Όταν ο λυρικός ποιητής του 17ου αιώνα Αντριου Μάρβελ έγραφε θρηνώντας «Αν είχαμε χρόνο και κόσμο αρκετό μπροστά μας» για να αποφύγει την «έρημο της αιωνιότητας»<sup>13</sup> που απλωνόταν εμπρός του, προσπαθούσε να ξεκλειδώσει την κρεβατοκάμαρα της ερωμένης του — όχι τα μυστικά της φύσης. Είχε, όμως, ψυχανεμιστεί κάτι σπουδαίο: Ο κοινός νους θεωρεί ότι η φυσική επιλογή, σε συνδυασμό με το μαγικό ραβδί της τυχαίας αλλαγής, θα δημιουργήσει το μάτι του πετρίτη την κατάλληλη στιγμή. Αυτή είναι η επικρατούσα αντίληψη για τη δαρβινική εξέλιξη: Ένα πάρα πολύ μικρό κλάσμα ανεπαίσθητων και τυχαίων κληρονομήσιμων αλλαγών προσδίδει κάποιο αναπαραγωγικό πλεονέκτημα στους οργανισμούς που κερδίζουν σε τούτη τη γενετική λοταρία· και, συσσωρευόμενες με τον χρόνο, τέτοιες αλλαγές εξηγούν το μάτι του πετρίτη — και, κατ'επέκταση, καθετί, από τον ίδιο τον πετρίτη μέχρι το σύνολο της ποιικιλότητας της ζωής.

Η δύναμη της φυσικής επιλογής είναι αναμφισβήτητη· έχει όμως όρια. Η φυσική επιλογή μπορεί να διατηρήσει καινοτομίες, αλλά δεν μπορεί να τις δημιουργήσει. Και το να αποκαλούμε τυχαία την αλλαγή που τις δημιουργεί είναι απλώς ένας άλλος τρόπος για να παραδεχτούμε την άγνοιά μας επί του θέματος. Οι πολλές καινοτομίες της φύσης —κάποιες παραδόξως τέλειες— επιβάλλουν την ύπαρξη φυσικών αρχών που επιταχύνουν την ικανότητα της ζωής να καινοτομεί, την καινοτομικότητά της.

Τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια, είχα το προνόμιο να συμβάλω στην αποκάλυψη των αρχών αυτών, πρώτα στις Ηνωμένες Πολιτείες,

κι αργότερα, με μια ομάδα εξαιρετικά ταλαντούχων ερευνητών, στο εργαστήριό μου στο Πανεπιστήμιο της Ζυρίχης στην Ελβετία. Χρησιμοποιώντας πειραματικές και υπολογιστικές τεχνολογίες αδιανόητες για τον Δαρβίνο ή τον Ράδερφορντ, στόχος μας δεν είναι να ανακαλύψουμε επιμέρους καινοτομίες, αλλά να εντοπίσουμε τις πηγές όλης της βιολογικής καινοτομίας. Ό,τι έχουμε βρει έως τώρα μας λέει ήδη ότι στην εξέλιξη υπάρχουν πολύ περισσότερα απ' όσα φαίνονται· κι ότι οι αρχές της καινοτομικότητας είναι κρυμμένες — κρυμμένες πιο πίσω ακόμα κι από τη μοριακή αρχιτεκτονική του DNA, σε μια απόκρυφη και απόκοσμης ομορφιάς αρχιτεκτονική της ζωής.

Τούτες οι αρχές είναι το αντικείμενο του βιβλίου που κρατάτε στα χέρια σας.

# 1. Τι δεν γνώριζε ο Δαρβίνος

Η Σάλι Γκάρντνερ ήταν η πρώτη κινηματογραφική σταρ στον κόσμο. Το 1878, το γεμάτο χάρη ντεμπούτο της —κι ας ήταν τότε μόλις έξι χρονών— εγκαινίασε το ίδιο το σινεμά. Η Σάλι, βλέπετε, τύχαινε να είναι το καθαρόαιμο άλογο που ο Άγγλος φωτογράφος Ήντγουιρντ Μάιμπριτζ φωτογράφησε να καλπάζει χρησιμοποιώντας το ζωοπραξισκόπιό του — μια σειρά από είκοσι τέσσερις φωτογραφικές μηχανές διατεταγμένες κατά μήκος της πορείας που θα ακολουθούσε το ζώο. Ο Μάιμπριτζ φωτογράφησε τη Σάλι προκειμένου να απαντήσει σ' ένα επιτακτικό ερώτημα που αναμφίβολα κρατά πολλούς ανθρώπους ξάγρυπνους τη νύχτα: Άραγε, ένα καλπάζον άλογο σηκώνει ποτέ και τα τέσσερα πόδια του από το έδαφος; (Η απάντηση είναι ναι.) Η κάπως θολή και διακοπτόμενη βωβή ταινία του, διάρκειας μόλις ενός δευτερολέπτου, απέχει παρασάγγας από την υψηλής ευκρίνειας κινηματογραφία με τον ψηφιακό πολυκάναλο ήχο (dolby surround) των αρχών του 21ου αιώνα. Ωστόσο, ο χρόνος που έχει μεσολαβήσει από τη φωτογραφική μελέτη του Μάιμπριτζ μέχρι τις σύγχρονες ταινίες είναι λίγο περισσότερος από έναν αιώνα — διάστημα λίγο μικρότερο από εκείνο που έχει περάσει από τη στιγμή που ο Δαρβίνος εξέδωσε την *Καταγωγή των ειδών* (μόλις δεκαεπτά χρόνια προτού η Σάλι Γκάρντνερ γίνει σταρ).

Μέσα σε τούτο το διάστημα, η Βιολογία έχει μεταμορφωθεί χάρη σε μια επανάσταση πολύ πιο σημαντική από την κινηματογραφική.<sup>1</sup> Η επανάσταση αυτή έχει αποκαλύψει έναν κόσμο τόσο απρόσιτο για τον Δαρβίνο, όσο θα ήταν το εξώτερο διάστημα για τους ανθρώπους των σπηλαίων. Έχει δε βοηθήσει να απαντηθεί το πλέον σημαντικό

ερώτημα σε ό,τι αφορά την εξέλιξη· ένα ερώτημα που ούτε ο Δαρβίνος ούτε οι γενιές επιστημόνων ύστερα από αυτόν έθιξαν — μήτε και μπορούσαν να το θέξουν: Πώς παράγει η φύση το νέο, το καλύτερο, το υπέρτερο; Πώς δημιουργεί η ζωή;

Ίσως έχετε μπερδευτεί. Αυτό ακριβώς δεν ήταν το μεγάλο επίτευγμα του Δαρβίνου — ότι κατάλαβε πως η ζωή εξελίσσεται και εξήγησε τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσεται; Αυτή δεν είναι η κληρονομιά του; Η απάντηση είναι και ναι και όχι. Η θεωρία του Δαρβίνου είναι σίγουρα το σημαντικότερο πνευματικό κατόρθωμα της εποχής του — ενδεχομένως και όλων των εποχών. Όμως το μεγαλύτερο μυστήριο αναφορικά με την εξέλιξη διέλαθε τη θεωρία του. Ο Δαρβίνος δεν μπορούσε ούτε καν να πλησιάσει στη λύση του. Και για να καταλάβουμε γιατί, πρέπει πρώτα να ρίξουμε μια ματιά στο τι γνώριζε και τι δεν γνώριζε· τι ήταν νέο στη θεωρία του και τι όχι — αλλά και γιατί τώρα μόλις, περισσότερο από έναν αιώνα αργότερα, αρχίζουμε να κατανοούμε πώς δημιουργεί ο έμβιος κόσμος.

Κάποια σπέρματα ιδεών σχετικά με έναν εξελισσόμενο φυσικό κόσμο υπήρχαν πολύ πριν από τον Δαρβίνο. Δυόμισι χιλιάδες χρόνια νωρίτερα, ο Έλληνας φιλόσοφος Αναξίμανδρος —ο προπάππος της ηλιοκεντρικής κοσμοθεωρίας, όπως είναι ευρύτερα γνωστός— πίστευε ότι οι άνθρωποι προέρχονταν από τα ψάρια. Ο μουσουλμάνος ιστορικός του 14ου αιώνα Ιμπν Χαλντούν πίστευε ότι η ζωή προχώρησε σταδιακά από τα ορυκτά στα φυτά και έπειτα στα ζώα. Πολύ αργότερα, ο Γάλλος ανατόμος του 19ου αιώνα Ζοφρουά Σαιντ-Πιέρ συνήγαγε από απολιθωμένα ερπετά ότι οι εν λόγω οργανισμοί είχαν αλλάξει με την πάροδο του χρόνου.<sup>2</sup> Το 1850, λίγα μόλις χρόνια προτού ο Δαρβίνος εκδώσει την *Καταγωγή των ειδών* το 1859, ο Βιεννέζος βοτανολόγος Φραντς Ούνγκερ ισχυρίστηκε ότι όλα τα άλλα φυτά προέρχονται από τα φύκια.<sup>3</sup> Και ο Γάλλος ζωολόγος Ζαν-Μπατίστ Λαμάρκ υπέθεσε ότι η εξέλιξη συντελέστηκε μέσω της χρήσης και της αχρησίας των οργάνων. Ορισμένοι από τους παλαιότερους στοχαστές μοιάζει να είχαν έως και προφητεύσει την εξέλιξη· αν ψάξει κανείς λιγάκι, θα βρει κάποιες αλλόκοτες ιδέες — όπως την ιδέα του Αναξίμανδρου, ότι οι πρώτοι άνθρωποι ζούσαν μέσα σε ψάρια μέχρι την εφηβεία, και τότε οι ξενιστές τους διαρρηγγούνταν



και τους απελευθέρωναν. Πεποιθήσεις που για τους σημερινούς επιστήμονες είναι ξένες εξακολουθούσαν να υπάρχουν ακόμα και την εποχή του Δαρβίνου. Σύμφωνα με μια τέτοια πεποίθηση—την οποία την είχαν ενστερνιστεί πολλοί από τους αρχαίους Έλληνες, αλλά και ο Λαμάρκ—, οι απλοί οργανισμοί δημιουργούνται αυθόρμητα από άψυχη ύλη, όπως είναι η λάσπη.<sup>4</sup>

Η εξέλιξη είχε τους υπέρμαχούς της· είχε, όμως, και εξίσου μαχητικούς αντιπάλους, ακόμα και πολύ μετά την εποχή του Δαρβίνου. Και όχι, δεν εννοώ ανθρώπους όπως οι σύγχρονοι—μισοαγράμματοι και ολότελα αδααίς— δημιουργιστές της Νεαρής Γης, που πιστεύουν ότι η Γη δημιουργήθηκε ένα σαββατόβραδο τον Οκτώβριο του 4004 π.Χ. (και ότι η Κιβωτός του Νώε θα μπορούσε να έχει σώσει περισσότερα από ένα εκατομμύριο είδη, αλλά για κάποιον λόγο ο Νώε ξέχασε τους τεράστιους δεινόσαυρους—κάτι που πιθανώς συγχωρείται, αν ληφθεί υπόψη ότι ο Νώε ήταν εξακοσίων χρονών). Εννοώ ορισμένους κορυφαίους επιστήμονες της εποχής εκείνης. Ένας από αυτούς ήταν ο Γάλλος γεωλόγος Ζωρζ Κυβιέ, ο ιδρυτής της παλαιοντολογίας, της επιστήμης των «παλαιών όντων» (σκεφτείτε τους δεινόσαυρους).<sup>5</sup> Ο Κυβιέ ανακάλυψε ότι τα απολιθώματα που είναι ενσωματωμένα σε παλαιότερα πετρώματα διαφέρουν αρκετά από εκείνα τα οποία είναι ενσωματωμένα σε νεότερα πετρώματα και μοιάζουν με τους σημερινούς οργανισμούς· πίστευε, εντούτοις, ότι κάθε είδος οργανισμού έχει κάποια βασικά, αμετάβλητα χαρακτηριστικά και μπορεί να ποικίλλει μόνον ως προς τα εξωτερικά του γνωρίσματα. Ένας άλλος ήταν ο Κάρολος Λινναίος, ο οποίος έζησε μόλις έναν αιώνα πριν από τον Δαρβίνο. Ο Λινναίος υπήρξε ο πατέρας του σύγχρονου συστήματος ταξινόμησης της ποικιλότητας της ζωής, ωστόσο μέχρι τα βαθιά γεράματά του δεν πίστευε στη μεγάλη εξελικτική αλυσίδα των έμβιων όντων.<sup>6</sup>

Ο πιο γνωστός λόγος για τούτη την «αντίσταση» είναι οι χριστιανικές πεποιθήσεις. Για τον Κυβιέ, φέρ' ειπείν, η ποικιλότητα της ζωής δεν αποτελούσε ένδειξη της εξέλιξης, αλλά των σπουδαιών ικανοτήτων του Δημιουργού. Ένας άλλος λόγος, ωστόσο, έχει ακόμα βαθύτερες ρίζες. Φτάνει μέχρι τον Έλληνα φιλόσοφο Πλάτωνα, του οποίου η επιρροή στη δυτική Φιλοσοφία είναι τόσο μεγάλη, ώστε

ο φιλόσοφος του 20ού αιώνα Άλφρεντ Νορθ Ουάιτχεντ υποβίβασε όλη την ευρωπαϊκή Φιλοσοφία σε «μια σειρά υποσημειώσεων στον Πλάτωνα». <sup>7</sup> Η φιλοσοφία του Πλάτωνα ήταν βαθύτατα επηρεασμένη από τον ιδεατό, αφηρημένο κόσμο των Μαθηματικών και της Γεωμετρίας. Σύμφωνα με αυτή, ο ορατός, υλικός κόσμος δεν είναι παρά μια αμυδρή, φευγαλέα σκιά μιας ανώτερης πραγματικότητας, αποτελούμενης από αφηρημένα γεωμετρικά σχήματα, όπως τρίγωνα και κύκλους. Για έναν πλατωνικό, οι μπάλες του μπάσκετ, του τένις και του πιγκ-πονγκ έχουν κοινή μια ουσία, τη σφαιρικότητά τους. Πραγματική είναι αυτή η —τέλεια, γεωμετρική, αφηρημένη— ουσία, όχι οι υλικές μπάλες — αυτές είναι φευγαλέες και ευμετάβλητες, όπως οι σκιές.

Θα ήταν πολύ ευκολότερο να επιτευχθεί ο στόχος επιστημόνων όπως ο Λινναίος και ο Κυβιέ —να οργανωθεί, δηλαδή, το χάος της ποικιλότητας της ζωής— εάν κάθε είδος είχε μια πλατωνική ουσία που να το διακρίνει απ' όλα τα άλλα (με τον ίδιο τρόπο που η απουσία ποδιών και βλεφάρων όχι μόνον είναι απαραίτητη για τα φίδια, αλλά και τα διακρίνει από τα υπόλοιπα ερπετά). Σε τούτη την πλατωνική κοσμοαντίληψη, η δουλειά ενός φυσιολόγου θα ήταν να βρει την ουσία κάθε είδους. Στην πραγματικότητα όμως, ισχύει κάτι περισσότερο: Σ' έναν ουσιοκρατικό κόσμο, η ουσία είναι το είδος. <sup>8</sup> Σκεφτείτε το αυτό σε αντιπαράβολή με έναν διαρκώς μεταβαλλόμενο και εξελισσόμενο κόσμο, στον οποίο τα είδη πυροδοτούν ασταμάτητα τη γέννηση νέων ειδών, που μπορούν να αναμειχθούν. <sup>9</sup> Το φίδι *Eurodophis*, που έζησε την ύστερη Κρητιδική περίοδο, το οποίο είχε υποτυπώδη πίσω άκρα, και ο οφίσαυρος, ο οποίος ζει σήμερα και δεν έχει άκρα, είναι απλώς δύο από τους πολλούς οργανισμούς που μαρτυρούν τα συγκεχυμένα όρια μεταξύ των ειδών. Ο χαοτικός κόσμος της εξέλιξης αποτελεί ανάθεμα για την καθαρή και απόλυτη τάξη που λαχταρά η ουσιοκρατία. Δεν είναι, λοιπόν, τυχαίο ότι η ουσιοκρατία του Πλάτωνα έγινε ο «μεγάλος αντιήρωας του εξελικτισμού», όπως την αποκάλεσε ο ζωολόγος του 20ού αιώνα Ερνστ Μάουρ. <sup>10</sup>

Στην αντιπαράθεση μεταξύ των δαρβινιστών και των αντιπάλων τους, τα απολιθώματα όπως αυτά του *Eurodophis* ήταν απλώς βράχοι σ' ένα βουνό από στοιχεία που βοήθησαν τους υποστηρικτές του

Δαρβίνου να πάρουν το πάνω χέρι.<sup>11</sup> Την εποχή του Δαρβίνου, οι συστηματικοί είχαν ήδη ταξινομήσει χιλιάδες ζώντα είδη, ενώ είχαν αποκαλύψει και σημαντικές μεταξύ τους ομοιότητες. Οι γεωλόγοι είχαν διαπιστώσει ότι η επιφάνεια της Γης αναταράσσεται, δημιουργώντας, αναδιπλώνοντας και συνθλίβοντας αδιάκοπα στρώματα πετρωμάτων. Οι παλαιοντολόγοι είχαν ανακαλύψει αναρίθμητα εξαφανισμένα είδη — κάποια παρόμοια με τους οργανισμούς που γνωρίζουμε, τα οποία βρισκόνταν σε νεαρά πετρώματα, και άλλα πολύ διαφορετικά, τα οποία βρισκόνταν σε αρχαία πετρώματα. Οι εμβρυολόγοι είχαν δείξει ότι οργανισμοί τόσο διαφορετικοί όσο μια γαρίδα που κολυμπά ελεύθερα και ένα θυσανόποδο κολλημένο στο κύτος ενός πλοίου έχουν παρόμοια έμβρυα.<sup>12</sup> Και αρκετοί εξερευνητές —μεταξύ των οποίων ο Δαρβίνος— είχαν διαπιστώσει πολλά ενδιαφέροντα βιογεωγραφικά πρότυπα: Λόγου χάρη, ότι τα μικρά νησιά έχουν λιγότερα είδη· ότι οι αντίπερα ακτές της ίδιας ηπείρου προσφέρουν καταφύγιο σε πολύ διαφορετικές πανίδες· και ότι η Ευρώπη και η Νότια Αμερική φιλοξενούν τελείως διαφορετικά θηλαστικά.<sup>13</sup>

Όλα αυτά τα νήματα γνώσης θα έμεναν ένα μπερδεμένο κουβάρι εάν προτεινόταν ως ερμηνεία η ξεχωριστή δημιουργία κάθε είδους. Ο Δαρβίνος όμως, ένας από τους μεγαλύτερους συνθετικούς στοχαστές όλων των εποχών, τα έπλεξε στο όμορφο υφαντό της θεωρίας του. Πέταξε το γάντι στους δημιουργιστές, υποστηρίζοντας ότι όλες οι μορφές ζωής μοιράζονται έναν κοινό πρόγονο — κι έτσι έβγαλε από το τραπέζι του διαλόγου τη βιβλική Γένεση.

Αυτή ήταν η πρώτη σπουδαία σύλληψη του Δαρβίνου. Η δεύτερη ήταν ο κεντρικός ρόλος που κατέχει η φυσική επιλογή — μια σύλληψη που του την ενέπνευσε η θεαματική επιτυχία την οποία είχαν οι εκτροφείς και οι καλλιεργητές σε ό,τι αφορά τη βελτίωση των ποικιλιών στην κτηνοτροφία και τη γεωργία.<sup>14</sup> Ολόκληρο το πρώτο κεφάλαιο της *Καταγωγής* περιγράφει με θαυμασμό την ποικιλότητα των οικόσιτων σκύλων, των περιστερικών, των καλλιεργούμενων φυτών και των διακοσμητικών λουλουδιών που είχαν παραγάγει οι εκτροφείς και οι καλλιεργητές. Είναι πράγματι εκπληκτικό, εάν αναλογιστεί κανείς ότι οι άνθρωποι μπόρεσαν να δημιουργήσουν μολοσσούς, γερμανικούς ποιμενικούς, λαγωνικά, μπουλντόγκ

και τσιουάουα από έναν κοινό πρόγονο, τον λύκο, και μάλιστα μέσα σε μερικούς μόλις αιώνες. Ο Δαρβίνος συνειδητοποίησε ότι η φυσική επιλογή δεν διαφέρει ιδιαίτερα από την ανθρώπινη επιλογή — η μόνη διαφορά είναι ότι δρα σε πολύ μεγαλύτερη κλίμακα και σε βάθος αιώνων. Η φύση συνεχώς δημιουργεί νέες παραλλαγές οργανισμών, οι περισσότερες από τις οποίες είναι κατώτερες, και μόνο μερικές είναι ανώτερες· όλες, πάντως, πρέπει να περάσουν μέσα από το κόσκινο της φυσικής επιλογής. Μονάχα τα άτομα που είναι καταλληλότερα για το περιβάλλον τους επιβιώνουν, αναπαράγονται και δίνουν νέες παραλλαγές. Δοθέντος αρκετού χρόνου, η διαδικασία αυτή μπορεί εν πολλοίς να εξηγήσει όλη την ποικιλότητα της ζωής — σε τέτοιον βαθμό, μάλιστα, ώστε ο γενετιστής Θεοδόσιος Ντομπζάνσκι δήλωσε το 1973 ότι «τίποτα στη βιολογία δεν βγάζει νόημα παρά μόνον υπό το φως της εξέλιξης».

Εξαρχής, τούτο το φως φώτισε ορισμένα από τα μυστήρια της ζωής με μεγαλύτερη ένταση απ' ό,τι άλλα. Ένα μυστήριο έμεινε κρυμμένο πίσω από πολύ σκοτεινές σκιές: ο μηχανισμός της κληρονομικότητας. Χωρίς κάποιον μηχανισμό που να διασφαλίζει την πιστή κληρονόμηση των γνωρισμάτων των γονέων από τους απογόνους, οι προσαρμογές —η φτερούγα ενός πτηνού, ο λαιμός μιας καμηλοπάρδαλης, τα δόντια ενός φιδιού— δεν θα μπορούσαν να αντέξουν στον χρόνο. Και χωρίς την κληρονόμηση, η επιλογή θα ήταν ανίσχυρη. Ο ίδιος ο Δαρβίνος δεν είχε ιδέα γιατί τα παιδιά μοιάζουν στους γονείς τους· η δε ειλικρίνεια με την οποία παραδεχόταν την άγνοιά του είναι αποπλιστική: «Οι νόμοι που διέπουν την κληρονόμηση είναι ως επί το πλείστον άγνωστοι», έλεγε στην *Καταγωγή*.<sup>15</sup>



Η θεωρία του Δαρβίνου θύμιζε λιγάκι εκείνη την πρώτη ταινία με το καλπάζον άλογο: Ήταν επαναστατική σε σχέση μ' ένα φωτογραφικό στιγμιότυπο, αλλά αποτελούσε ένα μικρό μόνο βήμα στον δρόμο που θα οδηγούσε στις ταινίες μεγάλου μήκους. Το επόμενο βήμα στον δρόμο της Βιολογίας —να εξηγηθεί η κληρονόμηση— είχε ήδη γίνει πριν πεθάνει ο Δαρβίνος, ο ίδιος όμως δεν το γνώριζε. Ούτε και

κανένας άλλος εξέχων επιστήμονας το γνώριζε, παρόλο που κάποια καθοριστικά πειράματα είχαν κιόλας αρχίσει από το 1856, δηλαδή τρία χρόνια προτού εκδώσει ο Δαρβίνος την *Καταγωγή*.<sup>16</sup> Ακόμα και ο επιστήμονας που πραγματοποίησε τούτα τα πειράματα δεν θα ζούσε για να δει τις εξελίξεις οι οποίες τυροδοτήθηκαν χάρη σε αυτόν, και που τελικά θα σάρωναν ολόκληρη τη Βιολογία.

Ο επιστήμονας αυτός ήταν ο Αυστριακός μοναχός Γρηγόριος Μέντελ, ο οποίος αρχικά σπούδασε στη Βιέννη και στη συνέχεια πήγε στο Αβαείο του Αγίου Θωμά στο Μπρυν (το σημερινό Μπρνο), όπου, προτού γίνει αβάς, πειραματίστηκε με περισσότερες από είκοσι χιλιάδες μπιζελιές. Για τα πειράματά του, σκόπιμα επέλεξε μπιζελιές που διέφεραν σε πολλά διακριτά γνωρίσματα: Ένα φυτό μπορεί να έδινε λεία, στρογγυλά κίτρινα μπιζέλια, ενώ ένα άλλο ζαρωμένα πράσινα· κανένα όμως δεν έδινε μπιζέλια με ενδιάμεσο χρώμα ή σχήμα. Άλλες μπιζελιές διέφεραν έντονα ως προς το χρώμα του άνθους, το σχήμα του χέδρωπα ή το μήκος του μίσχου. Ο Μέντελ διασταύρωσε τα φυτά αυτά και ανέλυσε τους απογόνους τους — πολλές χιλιάδες φυτών.

Εκείνο που είδε ήταν πως συχνά τα γνωρίσματα αυτά δεν αναμειγνύονταν στους απογόνους.<sup>17</sup> Η πρώτη ή η δεύτερη γενιά απογόνων έδινε είτε στρογγυλά είτε ζαρωμένα μπιζέλια, αλλά κανένα με ενδιάμεσο σχήμα. Διαφορετικά δε γνωρίσματα μπορούσαν να κληρονομηθούν ανεξάρτητα, έτσι ώστε οι απόγονοι να εμφανίζουν συνδυασμούς (στρογγυλό και πράσινο, ζαρωμένο και κίτρινο) που δεν είχε κανένας από τους γονείς. Τα αίτια της κληρονομησης συμπεριφέρονταν ως διακριτά και αδιαίρετα σωματίδια. Κάθε γονέας έφερε δύο σωματίδια, υπεύθυνα για γνωρίσματα όπως η σφαιρικότητα ή το χρώμα του καρπού, αλλά στους απογόνους του μεταβίβαζε μονάχα το ένα. Διαφορετικά γνωρίσματα κληρονομούνταν μέσω διαφορετικών ειδών σωματιδίων και, επομένως, μπορούσαν να συνδυάζονται και να ανασυνδυάζονται ανεξάρτητα.

Ο Μέντελ εργάστηκε σε ακαδημαϊκή εξορία, μακριά από τα ρεύματα της διανόησης της εποχής του. Διέπραξε δε το λάθος που έχει οδηγήσει σε αφανισμό — και τότε και τώρα — πολλές ακαδημαϊκές σταδιοδρομίες: Δημοσίευσε ελάχιστα στοιχεία και σε λάθος μέρος

— στην περίπτωσή του, σ' ένα τοπικό φυσιοδιφικό περιοδικό.<sup>18</sup> Και η κακή τύχη το 'θελε ο αβάς ο οποίος τον διαδέχτηκε να κάψει τα χαρτιά του μετά τον θάνατό του. Όμως, τριάντα τέσσερα χρόνια μετά τη δημοσίευσή της το 1865, η ανακάλυψη του Μέντελ θα ξυπνούσε, ως ωραία κοιμωμένη, χάρη στον Ολλανδό βοτανολόγο Ούγκο ντε Βρις, ο οποίος πραγματοποίησε πειράματα παρόμοια με του Μέντελ, αλλά ανεξάρτητα από αυτόν. Οι ιστορικοί ακόμη ερίζουν για το αν ο ντε Βρις πραγματικά ανακάλυψε εκ νέου τους νόμους του Μέντελ ή αν έμαθε για την εργασία του ενόσω εκπονούσε τα δικά του πειράματα και προσπάθησε να το αποκρύψει.<sup>19</sup> Η δριμεία απογοήτευση που πρέπει να αισθάνθηκε επειδή κάποιος άλλος όχι απλώς είχε προηγηθεί, αλλά είχε προηγηθεί κατά τρεις δεκαετίες, σίγουρα θα μπορούσε να εξηγήσει την παρόρμησή του να αλλοιώσει τα γεγονότα. Όπως και να 'χει πάντως, οι νόμοι του Μέντελ ανακαλύφθηκαν ξανά, και έκτοτε εξαπλώθηκαν αστραπιαία: έγιναν η βάση ενός ολόκληρου νέου κλάδου στη Βιολογία: της επιστήμης της Γενετικής. Σημειώστε δε πως γνωρίσματα τα οποία συμπεριφέρονται όπως περιέγραψε ο Μέντελ υπάρχουν σε πολλά φυτά και ζώα, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου. Κάποια από τα μεντελικά γνωρίσματα του ανθρώπου είναι «εκκεντρικά», π.χ. η υφή της κυψελίδας στα αυτιά μας (υγρή ή ξηρή): άλλα, όμως, είναι πολύ σημαντικά, π.χ. οι κύριες ομάδες αίματος (Α ή Β) ή κάποια νοσήματα, όπως η δρεπανοκυτταρική αναιμία.

Εντέλει, βέβαια, ο ντε Βρις αποκόμισε ένα βραβείο «παρηγοριάς»: Θεωρείται ο παππούς της λέξης *γονίδιο*, η οποία παραμένει σημαντική όχι μόνο στην επιστήμη, αλλά και στη δημόσια σφαίρα εν γένει. Ο ντε Βρις αποκάλεσε «πανγονίδια» τα σωματίδια της κληρονομής που είχε περιγράψει ο Μέντελ και, λίγα χρόνια αργότερα, ο Δανός γενετιστής Βίλχελμ Λούντβιχ Γιόχανσεν απλώς αφαίρεσε το πρόθεμα «παν-».<sup>20</sup>

Ο Γιόχανσεν πρόσθεσε στη γλώσσα της σύγχρονης Βιολογίας ακόμα δύο σημαντικές λέξεις: Επινόησε τον όρο *γονότυπος*, τον οποίο και διέκρινε από τον όρο *φαινότυπος*. Στη σημερινή γλώσσα, με τον όρο «γονότυπος» εννοούμε όλα τα γονίδια ενός οργανισμού —όλο το DNA του—, ενώ με τον όρο «φαινότυπος» εννοούμε ό,τι άλλο θα

μπορούσε κανείς να παρατηρήσει σχετικά με τον οργανισμό αυτόν: το μέγεθός του, το χρώμα του, το αν έχει ουρά ή φτέρωμα ή κέλυφος. Είναι ζωτικής σημασίας να κατανοήσουμε τούτη τη διάκριση, διότι αυτή είναι που μας επιτρέπει να ξεχωρίζουμε το αίτιο από το αιτιατό όταν οι οργανισμοί μεταβάλλονται. Πάρτε ως παράδειγμα τη λέξη *μετάλλαξη*, που ήδη πριν από διακόσια χρόνια χρησιμοποιούνταν για να περιγράψει οποιαδήποτε θεαματική μεταβολή στην εμφάνιση ενός οργανισμού. Στις αρχές του 20ού αιώνα, η ίδια λέξη χρησιμοποιήθηκε άλλοτε για να περιγράψει τις μονάδες κληρονομησης του Μέντελ και άλλοτε για να περιγράψει τον οργανισμό (φαινότυπο), κάτι που προκάλεσε τεράστια σύγχυση σχετικά με τα αίτια και τα αιτιατά της μεταβολής.<sup>21</sup> Έναν αιώνα αργότερα, γνωρίζουμε πλέον ότι οι μεταλλάξεις αλλάζουν έναν γονότυπο (όπως οι μεταλλάξεις που τροποποίησαν το σχέδιο των φωτοευαίσθητων οφθαλμών σε κάποιους από τους μακρινούς ζωικούς μας προγόνους). Τέτοιες γονοτυπικές αλλαγές μπορεί να προκαλέσουν αλλαγές σε έναν φαινότυπο· και κάποιοι από αυτούς τους τροποποιημένους φαινοτύπους μπορεί να γίνουν καινοτομίες (καινούργια και χρήσιμα γνωρίσματα), όπως η ικανότητά μας να βλέπουμε τον κόσμο έγχρωμο.

Μόνον αφότου διακρίνουμε τον γονότυπο από τον φαινότυπο μπορούμε να θέσουμε ένα ερώτημα κομβικής σημασίας για να κατανοήσουμε την έννοια της καινοτομικότητας της ζωής: *Πώς* οι μεταλλάξεις προκαλούν αλλαγές στους φαινοτύπους και *πώς* δημιουργούν καινοτομίες; Αυτό ήταν, άλλωστε, το άλλο μεγάλο μυστήριο που έμεινε αναπάντητο την εποχή που πέθανε ο Δαρβίνος: Από πού πηγάζουν οι καινοτομίες; Από πού προέρχονται οι νέες παραλλαγές που βελτιώνουν έναν οργανισμό — αυτές που τον βοηθούν να επιβιώσει λίγο περισσότερο, να δείχνει πιο ελκυστικός σε ένα τσίρι, να κάνει περισσότερα μωρά; Σε τούτο το ερώτημα θα μπορούσε κανείς να απαντήσει με μια ανόητη κοινοτοπία: Οι νέες παραλλαγές προκύπτουν αυθαίρετα — κατά τύχη. Αυτή η κοινοτοπία, που χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα, του Δαρβίνου τού ήταν ήδη γνωστή. Όμως ο ίδιος ήξερε πως δεν εξηγεί απολύτως τίποτα. Μάλιστα, στην *Καταγωγή*, το κεφάλαιο το οποίο αναφέρεται στους νόμους της ποικιλότητας άρχιζε ως εξής:

Έχω μέχρι τώρα μιλήσει μερικές φορές, σαν να οφείλετο στην τύχη η ποικιλομορφία ... Αυτό φυσικά είναι μια εντελώς ατυχής διατύπωση, αλλά χρησιμεύει καθαρά και μόνο για να δείξει την άγνοια την οποία έχουμε για τις αιτίες κάθε ιδιαίτερης ποικιλομορφίας.<sup>22</sup>

Το πρόβλημα δεν είναι μικρό· και τούτο επειδή η φυσική επιλογή δεν είναι μια δημιουργική δύναμη. Δεν καινοτομεί — απλώς επιλέγει από ό,τι ήδη υπάρχει. Ο Δαρβίνος συνειδητοποίησε ότι η φυσική επιλογή επιτρέπει στις καινοτομίες να εξαπλώνονται· όμως δεν γνώριζε από πού είχαν προέλθει αρχικά οι καινοτομίες αυτές.

Για να εκτιμήσετε το μέγεθος του προβλήματος, αναλογιστείτε ότι καθεμία από τις διαφορές ανάμεσα στους ανθρώπους και στις πρώτες μορφές ζωής στη Γη υπήρξε κάποτε μια καινοτομία — μια προσαρμοστική λύση σε κάποια πρόκληση την οποία αντιμετώπισε ένα έμβιο ον. Μια τέτοια πρόκληση θα μπορούσε να είναι η μετατροπή της φωτεινής ηλιακής ενέργειας σε ζωντανή ύλη· ή η μετατροπή ενός άλλου ζωντανού πλάσματος σε τροφή· ή απλώς η μετακίνηση από ένα μέρος σε κάποιο άλλο. Κάθε τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας της Γης, κάθε κυβικό μέτρο των θαλασσών, κάθε λιβάδι, δάσος και έρημος, κάθε πόλη και προάστιο, είναι κατάμεστο με οργανισμούς· και κάθε οργανισμός χαρακτηρίζεται από αναρίθμητες τέτοιες καινοτομίες: θεμελιώδεις καινοτομίες, όπως η φωτοσύνθεση και η αναπνοή· προστατευτικές καινοτομίες, όπως οι φολίδες των ερπετών και το μονωτικό φτέρωμα των πτηνών· στηρικτικές καινοτομίες, όπως ο συνδετικός ιστός και οι σκελετοί. Κάποιες είναι περιίπλοκες, με εκατοντάδες κινούμενα τμήματα, ενώ άλλες όχι. Πάντως, όσο μεγάλες ή μικρές και αν είναι — από τον τρίμετρο ουραίο λοβό μιας γαλάζιας φάλαινας μέχρι το μήκος δέκα μικρομέτρων μαστίγιο ενός βακτηρίου —, κάθε καινοτομία υφίσταται επειδή, κάποια στιγμή μετά την εμφάνιση της ζωής, προέκυψε η σωστή παραλλαγή.

Η επιλογή δεν δημιούργησε — ούτε και μπορεί να δημιουργήσει — όλη αυτή την ποικιλομορφία. Ο ντε Βρις το διατύπωσε αυτό καλύτερα, λέγοντας, μερικές δεκαετίες μετά τον Δαρβίνο, ότι «η φυσική επιλογή ίσως εξηγεί την επιβίωση του καταλληλότερου, όμως δεν μπορεί να εξηγήσει την έλευσή του» (η έμφαση δική μου).<sup>23</sup> Κι αν δεν



γνωρίζουμε τι εξηγεί την έλευσή του, τότε δεν κατανοούμε την ίδια την προέλευση της ποικιλότητας της ζωής.

Η ζωή μπορεί να καινοτομεί· έχει καινοτομικότητα. Επιπλέον, μπορεί, ενόσω καινοτομεί, να διατηρεί, μέσω της πιστής κληρονομησης, ό,τι είναι λειτουργικό. Εν ολίγοις, μπορεί να εξερευνά το νέο, διατηρώντας όμως και το παλαιό· μπορεί να είναι προοδευτική και συντηρητική ταυτόχρονα. Στις αρχές του 20ού αιώνα, οι βιολόγοι δεν είχαν ιδέα για το πώς μπορεί να συμβαίνει αυτό — δεν υπήρχε τρόπος να το γνωρίζουν, όπως θα δούμε στη συνέχεια. Θα χρειαζόταν άλλος ένας αιώνας ανακαλύψεων, προτού η πειραματική και η υπολογιστική εργαλειοθήκη της Βιολογίας γίνουν αρκετά ισχυρές ώστε να μπορούμε να πραγματευτούμε τούτο το ερώτημα.

Στην πραγματικότητα, κρίνοντας εκ των υστέρων, είναι αληθινά αξιοθαύμαστο το ότι στις αρχές του 20ού αιώνα οι επιστήμονες μπορούσαν εν γένει να διακρίνουν τους γονοτύπους από τους φαινοτύπους. Είχαν τέτοια άγνοια για την υλική βάση της μεντελικής κληρονομησης, όση και ο Μάιμπριτζ για την έγχρωμη φωτογραφία. Τότε δεν ήταν καν ξεκάθαρο εάν τα γονίδια είναι άυλες έννοιες, όπως η βαρύτητα, ή υλικά αντικείμενα που μπορούν να απομονωθούν από ένα σώμα και να μελετηθούν.<sup>24</sup> Μόνον αργότερα θα γινόταν σαφές ότι τα γονίδια είναι απολύτως υλικά, εδράζονται σε χρωμοσώματα και αποτελούνται από DNA.

Πάντως, ακόμα και προτού ανακαλυφθεί η υλική υπόσταση των γονιδίων, η ανακάλυψη του Μέντελ αναζωπύρωσε τις φλόγες μιας παλαιάς διαμάχης, η οποία σιγόκαιγε από την εποχή του Δαρβίνου κι έπειτα. Η διακριτή, βασισμένη σε μοναδιαία στοιχεία (granular) σωματιδιακή κληρονομηση έρχεται σε αντίθεση με ένα φαινόμενο προφανές και οικείο σε όλους μας: Εάν ένας άντρας με ύψος 1,80 m και μια γυναίκα με ύψος 1,50 m τεκνοποιήσουν, τότε, σύμφωνα με τη διακριτή κληρονομηση, τα παιδιά τους πρέπει να έχουν ύψος όσο του ενός γονέα —1,80 ή 1,50—, αλλά ποτέ ενδιάμεσο.<sup>25</sup> Όλοι όμως γνωρίζουμε ότι το ύψος των παιδιών χαρακτηρίζεται από ένα συνεχές φάσμα — το ίδιο συμβαίνει και με το σχήμα του προσώπου τους, το χρώμα της επιδερμίδας τους, τη διαμόρφωση των οστών τους, και ούτω καθεξής. Μετά τον Δαρβίνο, οι φυσιολίφες ανακάλυπταν

τέτοια συνεχή και αναμειγνυόμενη κληρονόμηση παντού γύρω τους: στην απόδοση των καλλιιεργειών, στο βάρος των αυγών, στο μέγεθος των φύλλων — εν ολίγοις, στα περισσότερα γνωρίσματα των οργανισμών.<sup>26</sup> Ολοφάνερα, λοιπόν, αυτού του είδους η ποικιλομορφία είναι σημαντική στη φύση.

Η διαμάχη μαινόταν γύρω από το εξής ερώτημα: Τι είδους ποικιλομορφία, η συνεχής ή η διακριτή, είναι πιο σημαντική για την εξέλιξη; Η φυσιολογική σχολή σκέψης, της βαθμιαίας εξέλιξης —υπέρμαχος της οποίας υπήρξε από νωρίς ο Δαρβίνος—, έδινε έμφαση στη μικρή συνεχή ποικιλομορφία που διαπιστώνουμε παντού γύρω μας. Η άλλη σχολή —των «Μεντελιστών», «μεταλλακτιστών» ή «αλματιστών»<sup>27</sup>— πίστευε στις μεγάλες, διακριτές παραλλαγές που είχε μελετήσει ο Μέντελ. Σε μια γελοιογραφική εκδοχή τούτης της διαμάχης, ένας υπέρμαχος της βαθμιαίας εξέλιξης θα φανταζόταν ότι τα πολλά πέταλα ενός τριαντάφυλλου προέκυψαν από τους πενταπέταλους προγόνους του, με σταδιακές προσθήκες πετάλων στη διάρκεια πολλών γενιών, ενώ ένας μεταλλακτιστής θα ισχυριζόταν ότι το πολυπέταλο τριαντάφυλλο πιθανώς να προέκυψε με μία μοναδική αλματιστική «μακρομετάλλαξη» από τον πρόγονό του.<sup>28</sup>

Κάνοντας τώρα έναν απολογισμό, μπορούμε να πούμε ότι η εν λόγω διαμάχη μοιάζει τόσο σημαντική όσο ήταν το ερώτημα που απασχόλησε έντονα τους σχολαστικούς τον Μεσαίωνα (πόσοι άγγελοι μπορούν να χορέψουν στο κεφάλι μιας καρφίτσας;). Παραλίγο όμως να διαρρήξει τον πυρήνα του Δαρβινισμού. Κι αυτό επειδή, για τη δημιουργία νέων γνωρισμάτων, οι Μεντελιστές πίστευαν λιγότερο στη φυσική επιλογή απ' ό,τι στη δύναμη των μεταλλάξεων. Κατά την άποψή τους, η πραγματική κινητήρια δύναμη πίσω από την εξέλιξη της ζωής ήταν κάποιες μεγάλες μεταλλάξεις που δημιούργησαν άτομα πολύ απομακρυσμένα από τα χαρακτηριστικά του είδους τους. «Ελπιδοφόρα τέρατα» θα τα αποκαλούσε ο γερμανικής καταγωγής ζωολόγος Ρίτσαρντ Γκόλντσμιντ, αναφέροντας ως παράδειγμα τα βενθικά πλατύψαρα, που ζουν στον ωκεάνιο βυθό κι έχουν και τα δύο μάτια στην ίδια πλευρά του κεφαλιού τους.<sup>29</sup>

Οι Μεντελιστές, μολονότι τελικά θα αποδεικνυόταν πως έσφαλαν —οι περισσότερες εξελικτικές αλλαγές συμβαίνουν όντως στα-

διακά και σχετίζονται με τη φυσική επιλογή—, είχαν εντούτοις ένα δίκιο: Το αληθινό μυστήριο της εξέλιξης δεν είναι η επιλογή, αλλά η δημιουργία νέων φαινοτύπων. Γεννήθηκαν όμως υπερβολικά νωρίς. Μπορούσαν να κάνουν κάθε λογής εικασίες, αλλά δεν είχαν τρόπο να λύσουν το μυστήριο. Η διαμάχη μεταξύ των δύο στρατοπέδων θα συνεχιζόταν και κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα, ώσπου νέες, διορατικές ιδέες θα σηματοδοτούσαν το τέλος της. Αυτή η διαδικασία μεταστροφής θα άρχιζε όταν θα επαναξιολογούνταν ένα —επί μακρόν γνωστό— δεδομένο: το ότι γενετικές αλλαγές συμβαίνουν όχι μόνο σε άτομα, αλλά και σε πληθυσμούς.



Η στικτή νυχτοπεταλούδα είναι ένα έντομο το οποίο έχει λευκά φτερά με μαύρα στίγματα και περνά ολότελα απαρατήρητο. Όταν η νυχτοπεταλούδα βρίσκεται μπροστά από έναν φλοιό δέντρου με λειχήνες, το στικτό σχέδιό της την καμουφλάρει, προφυλάσσοντάς τη από τα πεινασμένα πουλιά. Σε κάποιες νυχτοπεταλούδες, ένα γονίδιο το οποίο επηρεάζει το χρώμα των φτερών μπορεί να μεταλλαχθεί έτσι ώστε να προκύψουν σκουρόχρωμα φτερά. Η μετάλλαξη αυτή είναι συνήθως κακό μαντάτο για μια νυχτοπεταλούδα, διότι μεταλλαγμένη δεν είναι πλέον καμουφλαρισμένη, άρα τα πουλιά μπορούν εύκολα να τη διακρίνουν και να τη φάνε. Στην Αγγλία του 19ου αιώνα όμως, η Βιομηχανική Επανάσταση χάρισε στις σκουρόχρωμες μεταλλαγμένες νυχτοπεταλούδες μια πολυπόθητη «ανάπαυλα». Εκείνη την περίοδο, η ατμοσφαιρική ρύπανση έγινε τόσο δριμεία, ώστε αφάνισε τους περισσότερους λειχήνες και μαύρισε τον φλοιό των δέντρων, με αποτέλεσμα οι σκουρόχρωμες νυχτοπεταλούδες να είναι πλέον οι καλά κρυμμένες, ενώ οι λευκές να μετατραπούν σε τροφή για τα πουλιά.

Εάν η φυσική επιλογή έπαιζε κάποιον ρόλο, θα περιμέναμε οι μαύρες νυχτοπεταλούδες να γίνουν συνηθέστερες με την πάροδο του χρόνου· να εξαπλωθούν στον πληθυσμό του είδους τους, ενώ οι λευκές να γίνουν σπάνιες. Και πράγματι, αυτό συνέβη στην Αγγλία του 19ου αιώνα: Το ποσοστό των μαύρων νυχτοπεταλούδων αυξήθηκε, από 2%

το 1848, σε 95% το 1895.<sup>30</sup> Ωστόσο, η πληροφορία αυτή δεν είναι επ' ουδενί τόσο σημαντική όσο τα ερωτήματα που γεννά: Μπορούμε να προβλέψουμε πόσο γρήγορα εξαπλώνονται στον πληθυσμό; Ή, αντίστροφα, εάν παρατηρήσουμε πόσο γρήγορη είναι η εξάπλωσή τους, μπορούμε να συμπεράνουμε πόσο έντονα επηρεάζει το σκούρο χρώμα την αρμοστικότητα μιας νυχτοπεταλούδας, δηλαδή τις πιθανότητες της να παραμείνει κρυμμένη από τα πουλιά; Τα ερωτήματα αυτά ήταν ποσοτικά, μαθηματικά· ήταν εντελώς νέα για την εξελικτική σκέψη. Και δημιούργησαν έναν καινούργιο ποσοτικό κλάδο στη Βιολογία: τη *Γενετική Πληθυσμών*.

Μία από τις κεντρικές ιδέες στη Γενετική Πληθυσμών είναι ότι ένας πληθυσμός θεωρείται όχι απλώς άθροισμα ξεχωριστών οργανισμών, αλλά συλλογική δεξαμενή γονιδίων. Παραδείγματα χάριν, τα γονίδια που καθορίζουν το χρώμα των φτερών μιας νυχτοπεταλούδας έχουν διαφορετικές μορφές (*αλληλόμορφα*, όπως είναι ο τεχνικός όρος), υπεύθυνες για τα ανοιχτόχρωμα ή τα σκουρόχρωμα φτερά, οι οποίες απαντούν σε διαφορετικές αναλογίες ή συχνότητες στον πληθυσμό. Φανταστείτε ότι κάποια στιγμή, σ' έναν πληθυσμό οργανισμών, οι δύο τύποι αλληλόμορφων υπάρχουν σε ίσους αριθμούς, και ότι κάποιος νέος παράγοντας —ένας νέος θηρευτής ή μια αλλαγή στις συνθήκες ρύπανσης— επιτρέπει στις νυχτοπεταλούδες με τα πιο σκουρόχρωμα φτερά να ζουν περισσότερο, άρα και να γεννούν περισσότερους απογόνους. Το πλεονέκτημά τους δεν χρειάζεται να είναι τεράστιο —ακόμα και μια αύξηση κατά 1% στο αλληλόμορφο για τα σκουρόχρωμα φτερά, π.χ. από 50% σε 51% στην πρώτη γενιά, θα μπορούσε να συσσωρευτεί με την πάροδο του χρόνου και να επιτρέψει στις εν λόγω παραλλαγές να καταλάβουν ολοένα μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού. Έτσι δρα η φυσική επιλογή: Αλλάζει τις συχνότητες των αλληλόμορφων, άρα και την εμφάνιση των ατόμων, σε βάθος χρόνου.

Η ιδέα αυτή ήταν επαναστατική. Για τη μελέτη της ζωής, που σε μεγάλο βαθμό βασιζόταν στα ίδια εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούνταν τον καιρό του Αριστοτέλη —προσεκτική παρατήρηση και ανατομή στο πεδίο και το εργαστήριο, καταγραφή σε μπλοκ σχεδίου και σε σημειώσεις—, άρχισαν να υιοθετούνται τα μαθηματικά των διαφορικών εξισώσεων και η ανάλυση διασποράς. Μέσα από τη σκέψη

πνευματικών γιγάντων, όπως ο Σήγουολ Ράιτ, ο Τζ. Μπ. Σ. Χαλντέιν και ο στατιστικολόγος Ρ. Α. Φίσερ, η Γενετική Πληθυσμών αναπτύχθηκε σε μια θεωρία που μπορούσε να δώσει απάντηση σε ακριβή, ποσοτικά ερωτήματα σχετικά με τη φυσική επιλογή. Την ίδια στιγμή, οι φυσιδίφες μελετούσαν τις συχνότητες των αλληλόμορφων σε άγριους πληθυσμούς, όπως της στικτής νυχτοπεταλούδας, ενώ οι πειραματιστές δημιουργούσαν στο εργαστήριο την εξέλιξη «εν δράσει», μελετώντας εργαστηριακούς πληθυσμούς μικρών, ταχύτατα αναπαραγόμενων ζώων, όπως οι φρουτόμυγες. Η μαθηματική θεωρία ήταν το κοινόαμα που βοήθησε να ενωθούν τούτες οι παρατηρήσεις σ' ένα διανοητικό οικοδόμημα.

Τα νέα στοιχεία από τη Γενετική Πληθυσμών έδειξαν ότι η ποικιλομορφία καλύπτει ένα ευρύ φάσμα, με την «καθαρή» μεντελική ποικιλομορφία στο ένα άκρο και τη συνεχή ποικιλομορφία στο άλλο. Οι μεντελικοί φαινότυποι (όπως το χρώμα των φτερών, το σχήμα των μπιζελιών) επηρεάζονται από ένα γονίδιο, το οποίο έχει μεγάλη επίδραση. Οι φαινότυποι που ποικίλλουν συνεχώς (όπως το ύψος) επηρεάζονται από πολλά γονίδια, καθένα από τα οποία έχει πολύ μικρή επίδραση. Η Γενετική Πληθυσμών έδειξε ότι η φυσική επιλογή επηρεάζει και τους δύο τύπους γονιδίων· εκείνο που όμως αποτέλεσε αληθινή έκπληξη ήταν το πόσο δραστικά μπορούσε να τους επηρεάσει: Ένα αλληλόμορφο για τα σκουρόχρωμα φτερά, το οποίο ελάττωνε κατά ένα μικρό ποσοστό την πιθανότητα μιας νυχτοπεταλούδας να φαγωθεί, μπορούσε, μέσα σε μερικές δεκάδες γενιές, να αφανίσει το αλληλόμορφο για τα ανοιχτόχρωμα φτερά. Τόσο οι φυσιδίφες όσο και οι πειραματιστές ανακάλυψαν ότι στους πληθυσμούς τους υπήρχαν πολύ περισσότερα γονίδια μικρής επίδρασης απ' ό,τι μεγάλης. Σαφώς ο Μέντελ είχε επιλέξει πολύ προσεκτικά τα μπιζέλια του, μια και τα μεντελικά γνωρίσματα που επηρεάζονται από ένα μόνο γονίδιο αποτελούν ένα πολύ μικρό ποσοστό όλων των γνωρισμάτων.<sup>31</sup> Η εξέλιξη είναι ως επί το πλείστον βαθμιαία, δεν κάνει μεγάλα άλματα.<sup>32</sup>

Τη δεκαετία του 1930, η έννοια της φυσικής επιλογής, η φύση της κληρονομής και η πληθυσμιακή θεώρηση είχαν πλέον συνδυαστεί σε ένα σώμα γνώσης, γνωστό ως *σύγχρονη σύνθεση*,<sup>33</sup> που ονομάστηκε

έτσι από το ομώνυμο βιβλίο του βιολόγου Τζούλιαν Χάξλυ.<sup>34</sup> Παρά την ονομασία της, βέβαια, η σύγχρονη σύνθεση σύντομα θα κλείσει έναν αιώνα ζωής· αντίθετα όμως με τους περισσότερους υπέργρηους ανθρώπους, δεν δείχνει σημάδια γήρατος. Εμπλουτισμένη με μαθηματικές βελτιώσεις και σύγχρονα δεδομένα, παραμένει ανέπαφη και, από ορισμένες απόψεις, ισχυρότερη από κάθε άλλη φορά· παίζει δε ολοένα σημαντικότερο ρόλο στην κατανόηση της βιολογίας του ανθρώπου, βοηθώντας μας να ιχνηλατήσουμε την προέλευσή του, να ανιχνεύσουμε τις μεταναστεύσεις του και να κατανοήσουμε ποικίλες γενετικές ασθένειες. Εάν τούτο το οικοδόμημα γνώσης ήταν υλικό κτίσμα, θα συναγωνιζόταν επάξια οποιαδήποτε αρχιτεκτονική σύλληψη, από τα παλάτια της Άνγκορ Βατ και το μαισωλείο του Τάζ Μαχάλ, μέχρι τους μεγάλους γοθτικούς καθεδρικούς ναούς του 13ου αιώνα. Πρόκειται, ομολογουμένως, για ένα σπουδαίο επίτευγμα του ανθρώπινου νου.

Υπάρχει, ωστόσο, ένα βρόμικο μυστικό πίσω από την επιτυχία του. Οι αρχιτέκτονες της σύγχρονης σύνθεσης εστίασαν στον γονότυπο, σε βάρος του οργανισμού και του φαινοτύπου του. Παρέβλεψαν τη θαυμαστή πολυπλοκότητα των οργανισμών, με τα τρισεκατομμύρια κύτταρά τους, καθένα από τα οποία κατοικείται από δισεκατομμύρια μόρια με λειτουργίες αφ' εαυτού εξαιρετικά περίπλοκες. Παρέβλεψαν επίσης το πώς όλη αυτή η πολυπλοκότητα «ξεδιπλώνεται» από ένα μοναδικό γονιμοποιημένο κύτταρο, καθώς και το πώς τα γονίδια συμβάλλουν σε τούτο το ξεδίπλωμα. Παραβλέποντας την πολυπλοκότητα αυτή, οι αρχιτέκτονες της σύγχρονης σύνθεσης ουσιαστικά αγνόησαν το προϊόν της: τον ίδιο τον οργανισμό. Και αυτό το έκαναν εν γνώσει τους, εφόσον εκείνο που επιδίωκαν ήταν να κατανοήσουν το πώς οι συχνότητες των γονιδίων αλλάζουν σε βάθος χρόνου. Εστιάζοντας στον γονότυπο, απλοποίησαν τον φαινότυπο ενός οργανισμού σε στοιχειωδέστερες ποσότητες, όπως είναι η *αρμοστικότητα* (fitness), δηλαδή ο μέσος αριθμός των γονιδιακών αλληλόμορφων που μεταβιβάζει ένα τυπικό άτομο στην επόμενη γενιά. (Οι καταλληλότεροι οργανισμοί συνεισφέρουν περισσότερα αλληλόμορφα γονιδίων στη γονιδιακή δεξαμενή της επόμενης γενιάς.) Συν τοις άλλοις, θεώρησαν ότι κάθε γονίδιο παίζει έναν απλό ρόλο στον

καθορισμό της αρμοστικότητας — ότι, εν ολίγοις, η αρμοστικότητα είναι το συνολικό άθροισμα πολλών μικρών γονιδιακών επιδράσεων.

Μη με παρεξηγείτε. Είναι δύσκολο να δει κανείς πώς θα μπορούσε η σύγχρονη σύνθεση να μην έχει αγνοήσει τον οργανισμό. Το τίμημα της κατανόησης είναι πάντα η αφαίρεση: Παραβλέπουμε το μεγαλύτερο μέρος ενός εκπληκτικά περίπλοκου κόσμου προκειμένου να καταλάβουμε ένα απειροελάχιστο κομμάτι του. Σκεφτείτε τα λόγια ενός άλλου θεωρητικού, του Άλμπερτ Αϊνστάιν, ο οποίος ήξερε για τι πράγμα μιλούσε όταν έλεγε ότι «όλα θα πρέπει να γίνονται όσο το δυνατόν πιο απλά, αλλά όχι απλούστερα».<sup>35</sup> Η σύγχρονη σύνθεση ήταν όσο απλή χρειαζόταν να είναι για να απαντήσει σε χιλιάδες ερωτήματα σχετικά με την εξέλιξη των γονιδίων και των γονοτύπων. Η μεγάλη της επιτυχία στην κατανόηση του τρόπου δράσης της φυσικής επιλογής βασίστηκε ακριβώς στο ότι αγνόησε την πολυπλοκότητα των οργανισμών. Όποτε, όμως, μια θεωρία είναι πετυχημένη, εύκολα λησμονούνται οι περιορισμοί της — κι αυτό ακριβώς συνέβη στο μεσουράνημα της σύγχρονης σύνθεσης, όταν το μεγαλείο της εξέλιξης της ζωής επαναπροσδιορίστηκε και υποβιβάστηκε σε μια «αλλαγή στη συχνότητα των αλληλόμορφων σε μια γονιδιακή δεξαμενή».<sup>36</sup> Ο βασικός περιορισμός —ένα τίμημα υψηλού κόστους— ήταν η αδυναμία της σύγχρονης σύνθεσης να απαντήσει στο δεύτερο μεγάλο ερώτημα που είχε αφήσει ανοιχτό η *Καταγωγή*: Από πού προέρχονται οι καινοτόμοι φαινότυποι; Κοντολογίς, η σύγχρονη σύνθεση μπορούσε να εξηγήσει το πώς εξαπλώνονται οι καινοτομίες, αλλά όχι και το πώς δημιουργούνται.

Το να πούμε, ωστόσο, ότι όλοι οι εξελικτικοί βιολόγοι «θυσιάσαν» τους οργανισμούς θα ήταν άδικο για εκείνους τους λίγους που συνέκριναν το πώς η πολυπλοκότητα των διαφορετικών οργανισμών εκδηλώνεται κατά την εμβρυϊκή ανάπτυξη. Η αλήθεια είναι όμως ότι αυτοί οι εμβρυολόγοι —οι πρόγονοι των οποίων είχαν βοηθήσει τον Δαρβίνο να αναγνωρίσει την κοινή καταγωγή όλων των έμβιων όντων— παραγκωνίστηκαν από τη σύγχρονη σύνθεση και τους υπέρμαχούς της, που δεν είχαν καμιά ανάγκη το έμβρυο. Ο γενετιστής Τόμας Χαντ Μόργκαν, ο οποίος μελετούσε φρουτόμυγες, το 1932, έναν χρόνο προτού κερδίσει το βραβείο Νομπέλ για την ανακάλυψη

του ότι τα γονίδια οργανώνονται σε χρωμοσώματα, θα έλεγε ότι δεν έχει μεγάλη σημασία «αν θα επιλέξεις έναν πίθηκο ή το έμβρυο ενός πιθήκου ως πρόγονο του ανθρώπινου γένους».<sup>37</sup>

Όμως, παρόλο που οι πληθυσμιακοί γενετιστές είχαν την πρωτοκαθεδρία στη Βιολογία, κάποιοι εμβρυολόγοι στις πίσω σειρές εξακολουθούσαν ν' αποδοκιμάζουν τους γνωμηγήτορες, επισημαίνοντας ότι αγνοούσαν αυτό ακριβώς που προσπαθούσαν να εξηγήσουν. Οι φωνές τους δυνάμωσαν δε προς τα τέλη του 20ού αιώνα, όταν εμφανίστηκε η *εξελικτική αναπτυξιακή βιολογία* (evolutionary developmental biology), ή, εν συντομία, «eno-devο» — ένας νέος ερευνητικός κλάδος που στόχο έχει να ενοποιήσει την εμβρυϊκή ανάπτυξη, την εξέλιξη και τη γενετική. Η eno-devο αποκάλυψε απίθανες σημαντικές γνώσεις αναφορικά με το πώς συνεργάζονται τα γονίδια, σαν μουσικοί ορχήστρας, ώστε να καταστήσουν εφικτή την εμβρυϊκή ανάπτυξη.

Μέχρι στιγμής, εντούτοις, οι γνώσεις αυτές δεν έχουν ακόμη ενοποιηθεί σε μια θεωρία που να συναγωνίζεται τη σύγχρονη σύνθεση. Και μόνο μια θεωρία μπορεί να μετατρέψει έναν σωρό δεδομένων σε πύργο γνώσης. Γι' αυτό ευθύνεται —και πάλι— η τεράστια φαινοτυπική πολυπλοκότητα των οργανισμών στο σύνολό τους. Ακόμα και σήμερα αγωνιζόμαστε να κατανοήσουμε σε βάθος τον φαινότυπο έστω και των απλούστερων οργανισμών, ενώ εκατοντάδες χιλιάδες βιολόγοι που μοχθούν επί δεκαετίες δεν έχουν ακόμη κατανοήσει πλήρως το πώς τα γονίδια συμβάλλουν ώστε να διαμορφωθεί ένας τέτοιος φαινότυπος.<sup>38</sup> Εν ολίγοις, η σύγχρονη σύνθεση έχει μια θεωρία χωρίς φαινότυπους, ενώ οι εμβρυολόγοι έχουν φαινότυπους χωρίς κάποια θεωρία.

Πάντως, η eno-devο μάς έχει διδάξει ένα σημαντικό μάθημα: Εάν θέλουμε να κατανοήσουμε την καινοτομικότητα, δεν μπορούμε ν' αγνοούμε την πολυπλοκότητα των φαινοτύπων. Πρέπει να την αποδεχούμε. Και, μολονότι για την ώρα δεν κατανοούμε όλη την πολυπλοκότητα ενός οργανισμού, κατανοούμε εντούτοις τα μέρη του φαινοτύπου που τελικά προάγουν όλες τις καινοτομίες. Με αυτό ακριβώς το θέμα θα ασχοληθούμε στα επόμενα κεφάλαια.

