

# 1 Εξέλιξη, θέματα βιολογίας και επιστημονική έρευνα

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

- 1.1 Η μελέτη της ζωής αποκαλύπτει ενοποιητικά θέματα σελ. 2
- 1.2 Το κυρίαρχο θέμα: Η ομοιογένεια όσο και η ποικιλομορφία των έμβιων όντων οφείλονται στην εξέλιξη σελ. 11
- 1.3 Για να μελετήσουν τη φύση οι επιστήμονες διατυπώνουν και ελέγχουν υποθέσεις σελ. 16
- 1.4 Η συνεργασία και η σύνθεση ποικίλων απόψεων ωφελούν την επιστήμη σελ. 22

## Συμβουλή για τη μελέτη

**Σχεδιάστε έναν πίνακα:** Στην πάνω σειρά γράψτε τα πέντε ενοποιητικά θέματα της βιολογίας. Καθώς διαβάζετε το κεφάλαιο αυτό, σημειώστε κάτω από κάθε θέμα τουλάχιστον τρία παραδείγματα. Ένα παράδειγμα το έχουμε ήδη σημειώσει για να σας βοηθήσουμε. Συνεχίστε να προσθέτετε παραδείγματα κατά τη μελέτη σας στη βιολογία – έτσι θα μπορέσετε να εστιάσετε την προσοχή σας στις κομβικές αυτές έννοιες.

Εξέλιξη	Οργάνωση			
Το χρώμα του τριχώματος του ποντικού της παραλίας ταιριάζει με αυτόν του αμμώδους ενδιαιτήματός του.				



**Εικόνα 1.1** Ο ποντικός της παραλίας *Peromyscus polionotus* ζει κατά μήκος των ακτών της Φλόριντα, σε αστραφτερές λευκές θίνες που είναι διάσπαρτες με αραιές συστάδες του αγρωστώδους *Ammophila breviligulata*. Το χρώμα του τριχώματός του –ένα κάπως ανομοιογενές ανοιχτό καστανόλευκο– εναρμονίζεται με το χρώμα του ενδιαιτήματός του. Αντιθέτως, ο ποντικός του ίδιου είδους που ζει σε γειτονικές περιοχές της ενδοχώρας έχει πολύ πιο σκούρο χρώμα τριχώματος, το οποίο εναρμονίζεται με το χρώμα του εδάφους και της βλάστησης του τόπου.

## Πώς σκιαγραφεί τα ενοποιητικά θέματα της βιολογίας η μελέτη των ποντικών της εικόνας;

Ποντικός της παραλίας



Ως αποτέλεσμα της **εξέλιξης** μέσω φυσικής επιλογής σε βάθος χρόνου, το χρώμα του τριχώματος των δύο αυτών πληθυσμών ποντικών ταιριάζει με το περιβάλλον, οπότε τα προστατεύει από τους θηρευτές.



Ποντικός της ενδοχώρας

Το χρώμα του τριχώματος ενός ποντικού καθορίζεται από την κωδικοποιημένη στο DNA γενετική **πληροφορία**.



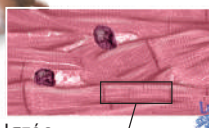
Γονίδιο για καφέ τρίχωμα



Γονίδιο για λευκό τρίχωμα



Σε όλα τα επίπεδα **οργάνωσης** του ποντικού, η δομή είναι προσαρμοσμένη στη λειτουργία.



Μόριο

Η **ενέργεια** ρέει προς μία κατεύθυνση – από τον ήλιο στα φυτά, και από εκεί σ' έναν ποντικό. Η **ύλη** ανακυκλώνεται μεταξύ του ποντικού και του περιβάλλοντός του.



Το φυτό τρώγεται από έναν ποντικό, και ο ποντικός τρώγεται από ένα γεράκι – πρόκειται για **αλληλεπιδράσεις** που συμβαίνουν μέσα σ' ένα οικοσύστημα.



## Η μελέτη της ζωής αποκαλύπτει ενοποιητικά θέματα

Χωρίς πολλή σκέψη, μπορεί κανείς να αναρωτηθεί: Τι είναι η ζωή; Ακόμα κι ένα μικρό παιδί συνειδητοποιεί ότι οι σκύλοι ή τα φυτά είναι ζωντανοί οργανισμοί, ενώ μια πέτρα ή ένα αυτοκίνητο δεν είναι. Ωστόσο, δεν μπορούμε να περιγράψουμε το φαινόμενο που ονομάζουμε *ζωή* με έναν απλό ορισμό. Μπορούμε απλώς να αναγνωρίσουμε τη ζωή από τις δραστηριότητες των έμβιων όντων. Μερικές από τις ιδιότητες και τις διεργασίες που αποδίδουμε στη ζωή καταγράφονται στην **Εικόνα 1.2**.

Το αντικείμενο της **Βιολογίας**, της επιστήμης που μελετά τη ζωή, είναι εξαιρετικά ευρύ, και συναρπαστικές

νέες βιολογικές ανακαλύψεις γίνονται καθημερινά. Πώς, όμως, θα μπορούσατε να οργανώσετε σε ένα εύληπτο πλαίσιο το πλήθος των πληροφοριών που θα συναντήσετε κατά τη μελέτη σας; Εκείνο που θα σας βοηθήσει είναι να επικεντρωθείτε σε λίγες κομβικές έννοιες. Ιδού, λοιπόν, πέντε ενοποιητικά θέματα –τρόποι σκέψης– για τη ζωή, που θα σας φανούν χρήσιμα και μετά από αρκετές δεκαετίες:

- Οργάνωση
- Πληροφορία
- Ενέργεια και ύλη
- Αλληλεπιδράσεις
- Εξέλιξη

Σε αυτό το τμήμα, αλλά και στο επόμενο, θα διερευνήσουμε εν συντομία καθένα από τα παραπάνω θέματα.

### ▼ Εικόνα 1.2 Ορισμένες ιδιότητες της ζωής.

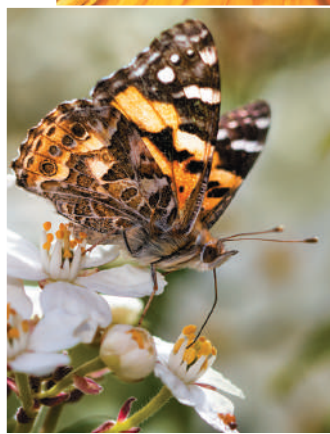
▼ **Οργάνωση.** Αυτή η πολύ κοντινή φωτογραφία του ηλιότροπιού αποκαλύπτει την εξαιρετικά οργανωμένη δομή που χαρακτηρίζει τα έμβια όντα.



▲ **Εξελικτική προσαρμογή.** Η συνολική εμφάνιση αυτού του πυγμαίου ιππόκαμπου καμουφλάρει το ζώο στο περιβάλλον του. Τέτοιου είδους προσαρμογές εξελίσσονται, σε βάθος αναριθμητών γενεών, μέσω της αναπαραγωγικής επιτυχίας των ατόμων που φέρουν τα καταλληλότερα για τα περιβάλλοντά τους κληρονομήσιμα γνωρίσματα.



▲ **Ρύθμιση.** Η ρύθμιση της ροής του αίματος στα αιμοφόρα αγγεία των αυτιών του λαγού αυτού συμβάλλει ώστε να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία του σώματός του, μέσω μικρών τροποποιήσεων στην ανταλλαγή θερμότητας με τον αέρα του περιβάλλοντος.



▲ **Επεξεργασία ενέργειας.** Για την πεταλούδα, το νέκταρ του άνθους αποτελεί καύσιμο. Η πεταλούδα χρησιμοποιεί τη χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο νέκταρ για να τροφοδοτήσει την πτήση και άλλες δραστηριότητές της.



▲ **Αύξηση και ανάπτυξη.** Οι κληρονομικές πληροφορίες που μεταβιβάζονται μέσω των γονιδίων ελέγχουν το πρότυπο αύξησης και ανάπτυξης όλων των οργανισμών, όπως αυτού του σπόρου βελανιδιάς που αρχίζει να φυτρώνει.



▲ **Απόκριση στο περιβάλλον.** Η «εντομοπαγίδα της Αφροδίτης» έχει κλείσει την παγίδα της (αριστερά), που προηγουμένως ήταν ανοιχτή (δεξιά), αποκρινόμενη στο περιβαλλοντικό ερέθισμα της προσέγγισης μιας ακρίδας πάνω της.



▼ **Αναπαραγωγή.** Τα έμβια όντα αναπαράγουν το είδος τους.

## Θέμα: Σε κάθε διαδοχικό επίπεδο βιολογικής οργάνωσης αναδύονται νέες ιδιότητες

**ΟΡΓΑΝΩΣΗ** Η μελέτη της ζωής εκτείνεται από τη μικροσκοπική κλίμακα των μορίων και των κυττάρων που συνιστούν τους οργανισμούς, μέχρι την πλανητική κλίμακα, που καλύπτει το σύνολο των μορφών ζωής στη Γη. Ως βιολόγοι, μπορούμε να υποδιαιρέσουμε αυτό το αχανές πεδίο μελέτης σε διαφορετικά επίπεδα βιολογικής οργάνωσης. Στην **Εικόνα 1.3** παρουσιάζεται η ιεραρχία της βιολογικής οργάνωσης, με τη μορφή διαδοχικών σταδίων ενός φανταστικού ταξιδιού παρατήρησης, το οποίο ξεκινά από το Διάστημα και σιγά σιγά καταλήγει σε ένα ορεινό λιβάδι στη Γη.

Η μεγέθυνση σε όλο και μεγαλύτερη ανάλυση σκιαγραφεί την αρχή που διέπει τον *αναγωγισμό*, μια προσέγγιση μέσω της οποίας πολύπλοκα συστήματα ανάγονται σε απλούστερα επιμέρους τμήματα τα οποία μπορούμε να μελετήσουμε ευκολότερα. Ο αναγωγισμός συνιστά μια πολύ αποτελεσματική στρατηγική στη βιολογία. Φέρ' ειπείν, οι James Watson και Francis Crick ταυτοποίησαν τη χημική βάση της κληρονομικότητας μελετώντας τη δομή μορίων DNA που είχαν απομονώσει από κύτταρα. Θα πρέπει ωστόσο, να επισημάνουμε ότι, παρ' όλη τη σημασία του, ο αναγωγισμός δεν παρέχει μια ολοκληρωμένη οπτική για τη ζωή στη Γη, όπως θα δούμε παρακάτω.

### Αναδυόμενες ιδιότητες

Αν εξετάσουμε πάλι την Εικόνα 1.3, αλλά αντιστρόφως, ξεκινώντας δηλαδή από το μοριακό επίπεδο και απομακρυνόμενοι προοδευτικά από αυτό, θα μπορούσαμε να διαπιστώσουμε ότι σε κάθε επίπεδο οργάνωσης εμφανίζονται νέες ιδιότητες, ιδιότητες που δεν υπήρχαν στο προηγούμενο. Αυτές οι **αναδυόμενες ιδιότητες** προκύπτουν ως αποτέλεσμα της οργάνωσης και των αλληλεπιδράσεων που αναπτύσσουν τα διάφορα μέρη ενός συστήματος όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητά του. Η φωτοσύνθεση, λόγω χάρη, μπορεί να πραγματοποιηθεί σ' έναν ακέραιο χλωροπλάστη, αλλά όχι σ' έναν δοκιμαστικό σωλήνα στον οποίο έχουν απλώς αναμειχθεί χλωροφύλλη με άλλα μόρια των χλωροπλαστών· κοντολογίς, οι συντονισμένες διεργασίες της φωτοσύνθεσης προϋποθέτουν την εξειδικευμένη οργάνωση όλων αυτών των μορίων μέσα στον χλωροπλάστη. Γενικά, τα μεμονωμένα μέρη των έμβιων συστημάτων –που αποτελούν αντικείμενο μελέτης σε μια αναγωγική προσέγγιση– δεν έχουν πολλές από τις σημαντικές ιδιότητες οι οποίες αναδύονται σε ανώτερα επίπεδα οργάνωσης.

Δεν είναι μονάχα το φαινόμενο της ζωής που χαρακτηρίζεται από αναδυόμενες ιδιότητες. Σκεφτείτε ως παράδειγμα το εξής: Ένα κουτί που περιέχει τα μέρη ενός ποδηλάτου δεν θα σας πάει πουθενά· αν, όμως, συναρμολογήσετε τούτα τα μέρη με έναν συγκεκριμένο τρόπο, θα μπορέσετε να φτάσετε μέχρι τον προορισμό σας ποδηλατώντας. Φυσικά, συγκρινόμενα με το εν λόγω παράδειγμα από τον άβιο κόσμο, τα βιολογικά συστήματα είναι πολύ πιο πολύπλοκα, γεγονός που καθιστά τις αναδυόμενες ιδιότητες της ζωής ένα ιδιαίτερα συναρπαστικό πεδίο μελέτης.

Σήμερα πια, προκειμένου να αποκτήσουν μια πλήρη εικόνα για τις αναδυόμενες ιδιότητες, οι βιολόγοι, εκτός από αναγωγιστικές προσεγγίσεις, χρησιμοποιούν και τη **συστημική βιολογία**, δηλαδή διερευνούν ένα βιολογικό σύστημα αναλύοντας τις αλληλεπιδράσεις των μερών του. Σ' αυτό το πλαίσιο, ως σύστημα μπορεί να θεωρηθεί το κύτταρο ενός φύλλου, ένας βάτραχος, μια αποικία μυρμηγκιών ή το οικοσύστημα μιας ερήμου. Μέσω της εξέτασης και της κατασκευής μοντέλων που περιγράφουν τη δυναμική συμπεριφορά ενός ολοκληρωμένου δικτύου μερών, η συστημική βιολογία μάς δίνει τη δυνατότητα να θέσουμε νέου είδους ερωτήματα. Επί παραδείγματι, πώς διαμορφώνεται ο εικοσιτετράωρος κύκλος ύπνου-αφύπνισης από κάποια δίκτυα μοριακών αλληλεπιδράσεων στο σώμα μας; Ή, σε μεγαλύτερη κλίμακα, πώς μεταβάλλονται τα οικοσυστήματα, ή και ολόκληρη η βιόσφαιρα, λόγω της σταδιακής αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα; Ουσιαστικά, η συστημική βιολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της ζωής σε όλα τα επίπεδα.

### Δομή και λειτουργία

Σε κάθε επίπεδο της βιολογικής ιεραρχίας διαπιστώνουμε ότι δομή και λειτουργία συσχετίζονται. Δείτε, ως παράδειγμα, το φύλλο στην Εικόνα 1.3: Το πλατύ και επίπεδο σχήμα του μεγιστοποιεί τη δέσμευση του ηλιακού φωτός από τους χλωροπλάστες. Τέτοιες συσχετίσεις μεταξύ δομής και λειτουργίας είναι κοινές σε όλες τις μορφές ζωής, εξού και όταν αναλύουμε μια βιολογική δομή αποκομίζουμε στοιχεία για το τι κάνει και πώς λειτουργεί. Τα κολιμπρί, λόγω χάρη, έχουν τέτοια ανατομία που τους επιτρέπει να περιστρέφουν τις φτερούγες τους γύρω από τον ώμο –γι' αυτό και είναι τα μοναδικά πουλιά που έχουν την ικανότητα να πετούν προς τα πίσω ή να αιωρούνται. Μάλιστα, αιωρούμενα, πλησιάζουν το μακρύ και λεπτό ράμφος τους στα λουλούδια και εκτείνουν τη σωληνοειδή γλώσσα τους για να τραφούν με νέκταρ. Γενικά, το εξαιρετικό αυτό «ταίριασμα» μορφής και λειτουργίας στις διάφορες μορφές ζωής εξηγείται από τη φυσική επιλογή, την οποία θα εξετάσουμε σύντομα.



### Το κύτταρο: Η θεμελιώδης δομική και λειτουργική μονάδα των οργανισμών

Το κύτταρο είναι η μικρότερη μονάδα οργάνωσης που μπορεί να επιτελέσει όλες τις απαραίτητες δραστηριότητες της ζωής. Η λεγόμενη «κυτταρική θεωρία» διατυπώθηκε για πρώτη φορά τον 19ο αιώνα με βάση τις παρατηρήσεις πολλών επιστημόνων. Σύμφωνα με αυτήν, όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα, τα οποία συνιστούν τη βασική μονάδα της ζωής.

### ◀ 1 Η βιόσφαιρα

Ακόμα και από το Διάστημα μπορούμε να διακρίνουμε σημάδια ζωής στη Γη, π.χ. το πράσινο «μωσαϊκό» που υποδηλώνει την ύπαρξη δασών. Μπορούμε επίσης να δούμε τη **βιόσφαιρα**, που αποτελείται από όλα τα έμβια όντα και όλες τις περιοχές στη Γη όπου υπάρχει ζωή: τις περισσότερες περιοχές της ξηράς, τους περισσότερους υδάτινους όγκους, την ατμόσφαιρα σε ύψος αρκετών χιλιομέτρων, ακόμα και τα ιζήματα βαθιά κάτω από τον ωκεάνιο πυθμένα.



### ◀ 2 Οικοσυστήματα

Πλησιάζοντας στην επιφάνεια της Γης, αλλάζουμε κλίμακα – σκεφτείτε ότι φτάνουμε σε ένα βορειοαμερικανικό ορεινό λιβάδι, που αποτελεί ένα παράδειγμα οικοσυστήματος (άλλα τέτοια παραδείγματα είναι π.χ. ένα τροπικό δάσος, ένα λιβάδι, μια έρημος ή ένας κοραλλιογενής ύφαλος). Ένα **οικοσύστημα** περιλαμβάνει όλα τα έμβια όντα μιας συγκεκριμένης περιοχής, μαζί με όλα τα άβια συστατικά του περιβάλλοντος με τα οποία αλληλεπιδρούν τα όντα αυτά, όπως το έδαφος, το νερό, ο ατμοσφαιρικός αέρας και το φως.



### ▶ 3 Βιοκοινότητες

**Βιοκοινότητα** ονομάζεται το σύνολο των οργανισμών που ζουν σε ένα συγκεκριμένο οικοσύστημα. Η βιοκοινότητα στο οικοσύστημα του λιβαδιού μας περιλαμβάνει πολλά είδη φυτών, διάφορα ζώα, μανιτάρια και άλλους μύκητες, καθώς και έναν τεράστιο αριθμό από ποικίλους μικροοργανισμούς (π.χ. βακτήρια), που είναι πολύ μικροί ώστε να γίνουν ορατοί χωρίς μικροσκόπιο. Καθεμία από αυτές τις μορφές ζωής ανήκει σε ένα είδος, δηλαδή μια ομάδα της οποίας τα μέλη αναπαράγονται μόνον όταν διασταυρωθούν μεταξύ τους.



### ▶ 4 Πληθυσμοί

Ένας **πληθυσμός** αποτελείται από όλα τα άτομα ενός είδους τα οποία ζουν εντός των ορίων μιας συγκεκριμένης περιοχής και διασταυρώνονται μεταξύ τους. Το λιβάδι μας, λόγω χάρη, περιλαμβάνει έναν πληθυσμό λούπινων (εδώ εικονίζονται μερικά) και έναν πληθυσμό ελαφιών ημιόνων. Συνεπώς, μπορούμε να πούμε ότι μια κοινότητα είναι το σύνολο των πληθυσμών που ζουν σε συγκεκριμένη περιοχή.



### ▲ 5 Οργανισμοί

Κάθε μεμονωμένο έμβιο ονομάζεται **οργανισμός**. Κάθε φυτό στο λιβάδι, όπως και κάθε ζώο, μύκητας ή βακτήριο, είναι ένας οργανισμός.

Πράγματι, όλες οι ενέργειες των οργανισμών βασίζονται στις δραστηριότητες των κυττάρων. Η κίνηση των ματιών σας, φέρ' ειπείν, καθώς διαβάζετε τις γραμμές αυτές, βασίζεται στη δραστηριότητα μυϊκών και νευρικών κυττάρων. Ακόμα και μια διαδικασία πλανητικής εμβέλειας, όπως η ανακύκλωση των ατόμων του άνθρακα, είναι αποτέλεσμα κυτταρικών λειτουργιών, στις οποίες συμπεριλαμβάνεται η φωτοσυνθετική δραστηριότητα των χλωροπλαστών στα κύτταρα των φύλλων των φυτών.

Σε όλα τα κύτταρα υπάρχουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό είναι ότι όλα τα κύτταρα περιβάλλονται από μια μεμβράνη που ρυθμίζει τη διέλευση των υλικών από και προς το εσωτερικό τους και το περιβάλλον τους. Παρ' όλα αυτά, τα κύτταρα διακρίνονται σε δύο κύρια είδη: τα *προκαρυωτικά* και τα *ευκαρυωτικά*. Προκαρυωτικά κύτταρα απαντούν σε δύο ομάδες μονοκύτταρων μικροοργανισμών, τα Βακτήρια και τα Αρχαία. Όλες οι υπόλοιπες μορφές ζωής, συμπεριλαμβανομένων των φυτών και των ζώων, αποτελούνται από ευκαρυωτικά κύτταρα.

Ένα **ευκαρυωτικό κύτταρο** περιέχει οργανίδια τα οποία περιβάλλονται από μεμβράνη (Εικόνα 1.4). Ορισμένα οργανίδια, όπως ο πυρήνας που περιέχει το κυτταρικό DNA, απαντούν στα κύτταρα όλων των Ευκαρυωτών· άλλα, όμως, απαντούν σε συγκεκριμένους μόνο κυτταρικούς τύπους. Φέρ' ειπείν, ο χλωροπλάστης της Εικόνας 1.3 είναι ένα οργανίδιο το οποίο εντοπίζεται μόνο στα ευκαρυωτικά κύτταρα που επιτελούν φωτοσύνθεση. Σε αντιδιαστολή με τα ευκαρυωτικά, τα **προκαρυωτικά κύτταρα** δεν έχουν πυρήνα ή άλλα μεμβρανοπερικλειστά οργανίδια και, συν τοις άλλοις, τα οργανίδιά τους είναι εν γένει μικρότερα από εκείνα των ευκαρυωτικών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.4.

### Θέμα: Οι διεργασίες της ζωής ενέχουν έκφραση και μεταβίβαση γενετικών πληροφοριών

**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ** Στο εσωτερικό των κυττάρων υπάρχουν δομές, τα *χρωμοσώματα*, που περιέχουν γενετικό υλικό με τη μορφή **δεοξυριβονουκλεϊκού οξέος** (deoxyribonucleic acid, **DNA**). Στα κύτταρα που προετοιμάζονται για διαί-

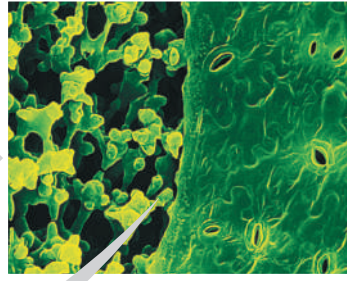
## ▼ 6 Όργανα

Η δομική ιεραρχία της ζωής συνεχίζει να ξεδιπλώνεται καθώς εξερευνούμε την αρχιτεκτονική ενός πολύπλοκου οργανισμού. Αυτό το φύλλο λούπινου (που αποτελείται από έξι φυλλάκια) είναι ένα παράδειγμα **οργάνου**, δηλαδή ένα τμήμα του σώματος που απαρτίζεται από πολλούς ιστούς και επιτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες. Τα φύλλα, ο κορμός και οι ρίζες είναι τα κύρια όργανα των φυτών. Μέσα σ' ένα όργανο, κάθε ιστός έχει ξεχωριστή οργάνωση και προσδίδει συγκεκριμένες λειτουργικές ιδιότητες.



## ▼ 7 Ιστοί

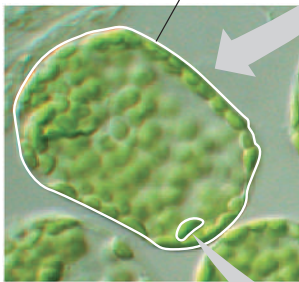
Για να παρατηρήσουμε τους ιστούς ενός φύλλου θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα μικροσκόπιο. Κάθε **ιστός** είναι ένα σύνολο κυττάρων τα οποία συνεργάζονται για να επιτελέσουν μια εξειδικευμένη λειτουργία. Το φύλλο της εικόνας έχει κοπέι υπό γωνία.



Στον κυψελιδωτό ιστό στο εσωτερικό του φύλλου (αριστερό τμήμα της φωτογραφίας) επιτελείται κατά κύριο λόγο η φωτοσύνθεση, η διαδικασία που μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε χημική ενέργεια υπό τη μορφή σακχάρων. Το «δέρμα» στην επιφάνεια του φύλλου που μοιάζει με παζλ (δεξιό τμήμα της φωτογραφίας) είναι ένας ιστός που ονομάζεται επιδερμίδα. Οι πόροι που διαπερνούν την επιδερμίδα επιτρέπουν την είσοδο του αερίου διοξειδίου του άνθρακα, που αποτελεί πρώτη ύλη για την παραγωγή σακχάρων.

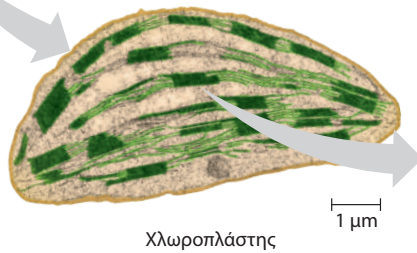
## ► 8 Κύτταρα

Το **κύτταρο** είναι η θεμελιώδης δομική και λειτουργική μονάδα της ζωής. Ορισμένοι οργανισμοί αποτελούνται από ένα μόνο κύτταρο, το οποίο επιτελεί όλες τις λειτουργίες της ζωής. Άλλοι οργανισμοί είναι πολυκύτταροι – σε αυτούς οι διάφορες εργασίες επιμερίζονται σε ποικίλα εξειδικευμένα κύτταρα. Εδώ βλέπουμε σε μεγέθυνση ένα κύτταρο από τον ιστό ενός φύλλου. Το κύτταρο έχει μήκος περίπου 40 μικρόμετρα (μm) (σκεφτείτε ότι για να καλύψουμε τη διάμετρο ενός μικρού κέρματος θα χρειαζόμασταν περίπου 500 τέτοια κύτταρα, το ένα δίπλα στο άλλο). Τα μικροσκοπικά αυτά κύτταρα περιέχουν ακόμα μικρότερες πράσινες δομές, τους χλωροπλάστες, στο εσωτερικό των οποίων πραγματοποιείται η φωτοσύνθεση.



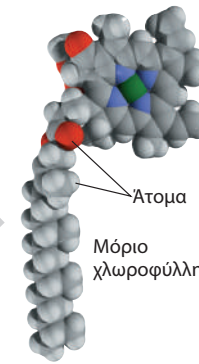
## ▼ 9 Οργανίδια

Οι χλωροπλάστες αποτελούν παραδείγματα **οργανιδίων**, δηλαδή λειτουργικών δομών που υπάρχουν στα κύτταρα. Στη φωτογραφία, η οποία έχει ληφθεί μέσω ενός πολύ ισχυρού μικροσκοπίου, φαίνεται ένας μεμονωμένος χλωροπλάστης.

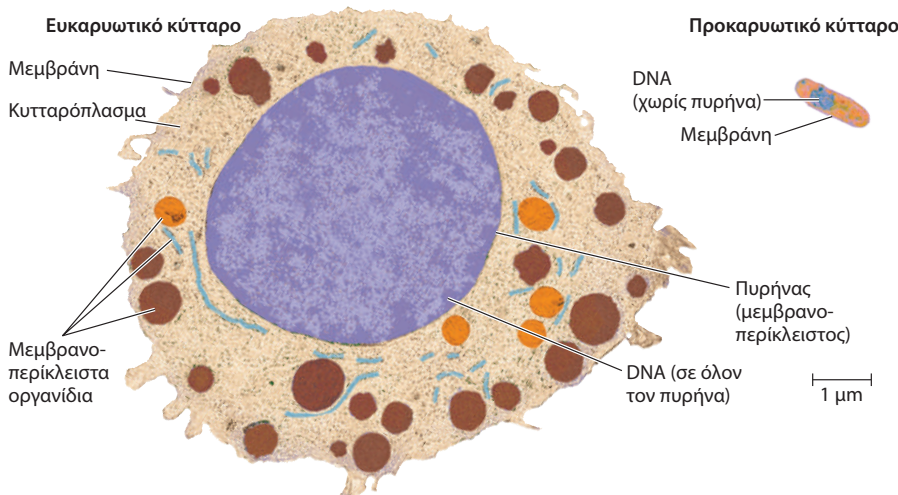


## ▼ 10 Μόρια

Με την τελευταία αλλαγή κλίμακας, μεταφερόμαστε στο εσωτερικό ενός χλωροπλάστη, για να γνωρίσουμε τη ζωή σε επίπεδο μορίων. **Μόριο** είναι μια χημική δομή που αποτελείται από δύο ή περισσότερες μονάδες, τα άτομα, τα οποία στη συγκεκριμένη υπολογιστική αναπαράσταση του μορίου της



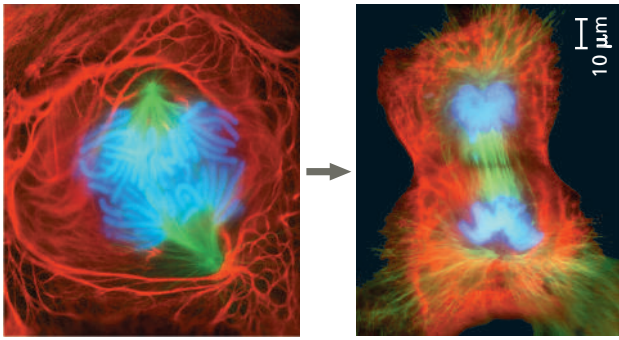
χλωροφύλλης παρουσιάζονται ως σφαίρες. Η χλωροφύλλη είναι η χρωστική που κάνει τα φύλλα πράσινα και απορροφά το ηλιακό φως κατά τη φωτοσύνθεση. Μέσα σε κάθε χλωροπλάστη, εκατομμύρια μόρια χλωροφύλλης είναι οργανωμένα σε συστήματα τα οποία μετατρέπουν την ενέργεια του φωτός στη χημική ενέργεια των τροφών.



◀ **Εικόνα 1.4** Σύγκριση του μεγέθους και της πολυπλοκότητας προκαρυωτικών και ευκαρυωτικών κυττάρων. Τα κύτταρα παρουσιάζονται εδώ υπό κλίμακα· στην Εικόνα 6.5 μπορείτε να δείτε ένα προκαρυωτικό κύτταρο σε μεγαλύτερη μεγέθυνση.

**ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ** Μετρήστε το μήκος της ράβδου κλίμακας, το μήκος του προκαρυωτικού κυττάρου και τη διάμετρο του ευκαρυωτικού κυττάρου. Γνωρίζοντας ότι η ράβδος κλίμακας αντιστοιχεί σε μήκος 1 μm, να υπολογίσετε το μήκος του προκαρυωτικού κυττάρου και τη διάμετρο του ευκαρυωτικού κυττάρου σε μm.

▼ **Εικόνα 1.5** Ένα πνευμονικό κύτταρο τρίτονα διαιρείται σε δύο μικρότερα κύτταρα, τα οποία με τη σειρά τους θα αυξηθούν σε μέγεθος και θα διαιρεθούν.



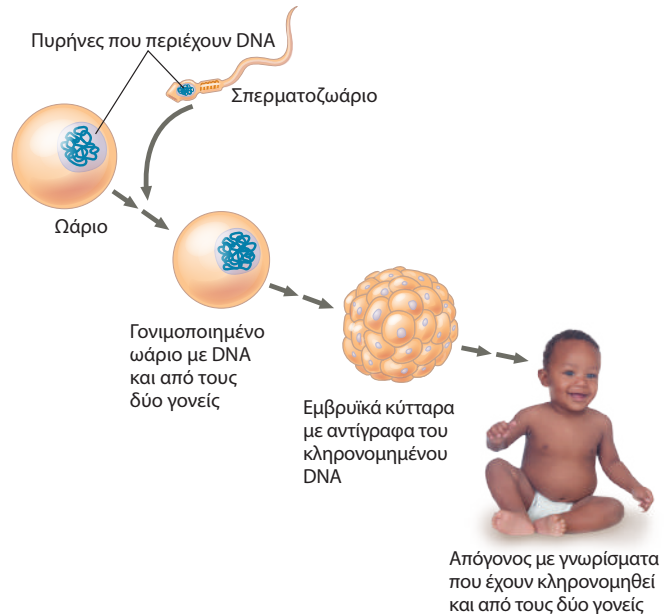
ρηση, τα χρωμοσώματα μπορούν να γίνουν ορατά ύστερα από χρώση με μια χρωστική που εμφανίζεται μπλε όταν προσδεθεί στο DNA (**Εικόνα 1.5**).

**DNA: Το γενετικό υλικό**

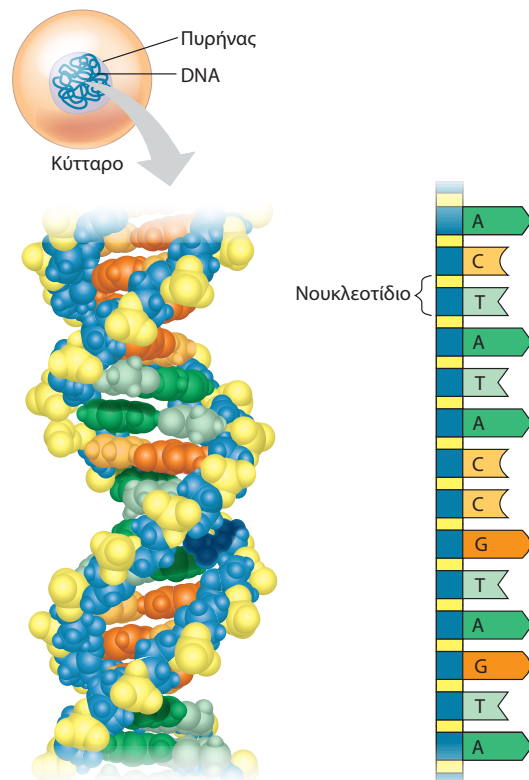
Κάθε χρωμόσωμα περιέχει ένα πολύ μακρύ μόριο DNA με εκατοντάδες ή χιλιάδες **γονίδια**, καθένα από τα οποία αποτελεί ένα τμήμα του DNA του. Τα γονίδια είναι οι μονάδες της κληρονομικότητας που μεταβιβάζονται από τους γονείς στους απογόνους· κωδικοποιούν τις απαραίτητες πληροφορίες για να συντεθούν όλα τα μόρια ενός κυττάρου, τα οποία με τη σειρά τους καθορίζουν την ταυτότητα και τη λειτουργία του κυττάρου αυτού. Εσείς, όπως και κάθε άνθρωπος, ξεκινήσατε τη ζωή σας ως ένα και μόνο κύτταρο, το οποίο περιείχε το DNA που κληρονομήσατε από τους γονείς σας. Με την αντιγραφή αυτού του DNA πριν από κάθε κυτταρική διαίρεση, μεταβιβάζονταν αντίγραφα του σε ό,τι τελικά έγινε τα τρισεκατομμύρια κύτταρα του σώματός σας. Καθώς τα κύτταρα αυξάνονταν σε μέγεθος και διαιρούσαν, οι κωδικοποιημένες στο DNA γενετικές πληροφορίες κατεύθυναν την ανάπτυξή σας (**Εικόνα 1.6**).

Η ικανότητα του DNA να αποθηκεύει πληροφορίες οφείλεται στη μοριακή δομή του. Κάθε μόριο DNA αποτελείται από δύο επιμήκεις αλυσίδες, που σχηματίζουν μια διπλή έλικα. Κάθε αλυσίδα αποτελείται από συνδυασμούς τεσσάρων ειδών δομικών λίθων, που αποκαλούνται **νουκλεοτίδια**: αδενίνη (adenine, A), θυμίνη (thymine, T), κυτοσίνη (cytosine, C) και γουανίνη (guanine, G) (**Εικόνα 1.7**). Οι πληροφορίες στα γονίδια κωδικοποιούνται από συγκεκριμένες αλληλουχίες των τεσσάρων αυτών νουκλεοτιδίων. Μάλιστα, ο τρόπος με τον οποίο κωδικοποιούνται οι πληροφορίες στο DNA μοιάζει με τον τρόπο που διατάσσουμε τα γράμματα του αλφαβήτου σε λέξεις και φράσεις ώστε να έχουν συγκεκριμένο νόημα. Η λέξη **νότος**, φέρ' ειπείν, μας φέρνει στον νου μια συγκεκριμένη γεωγραφική κατεύθυνση. Οι λέξεις **νότος** και **τόνος**, ωστόσο, παρότι περιέχουν τα ίδια γράμματα, σημαίνουν πολύ διαφορετικά πράγματα. Ουσιαστικά, μπορούμε να σκεφτούμε τα νουκλεοτίδια ως ένα αλφάβητο τεσσάρων γραμμάτων.

Η νουκλεοτιδική αλληλουχία πολλών γονιδίων παρέχει το «σχέδιο» για την παραγωγή μιας πρωτεΐνης. Επί



▲ **Εικόνα 1.6** Το DNA που κληρονομεί ένας οργανισμός κατευθύνει την ανάπτυξή του.



(α) **Η διπλή έλικα του DNA.**

Στο μοντέλο αυτό φαίνονται τα άτομα που συνιστούν ένα τμήμα του DNA. Ένα μόριο DNA αποτελείται από δύο επιμήκεις αλυσίδες νουκλεοτιδίων και υιοθετεί μια τριδιάστατη δομή διπλής έλικας.

(β) **Μία αλυσίδα DNA.**

Τα γεωμετρικά σχήματα και τα γράμματα συμβολίζουν τα νουκλεοτίδια σε ένα μικρό τμήμα μιας αλυσίδας DNA. Οι γενετικές πληροφορίες κωδικοποιούνται σε συγκεκριμένες αλληλουχίες των τεσσάρων ειδών νουκλεοτιδίων (τα ονόματα των οποίων εδώ δίνονται στη συντομογραφημένη μορφή τους, A, T, C και G).

▲ **Εικόνα 1.7** DNA: Το γενετικό υλικό.

παραδείγματι, ένα βακτηριακό γονίδιο μπορεί να κωδικοποιεί μια συγκεκριμένη πρωτεΐνη που απαιτείται για την αποικοδόμηση του μορίου ενός σακχάρου· ένα ανθρώπινο γονίδιο μπορεί να κωδικοποιεί ένα ένζυμο· κι ένα άλλο γονίδιο μπορεί να κωδικοποιεί μια διαφορετική πρωτεΐνη (π.χ. ένα αντίσωμα) που συμβάλλει στην καταπολέμηση κάποιας λοίμωξης. Γενικά, οι πρωτεΐνες παίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο στη δόμηση και τη συντήρηση του κυττάρου, αλλά και στη διεκπεραίωση των δραστηριοτήτων του.

Τα γονίδια που κωδικοποιούν πρωτεΐνες ελέγχουν την πρωτεϊνοσύνθεση έμμεσα, χρησιμοποιώντας ως ενδιάμεσο φορέα ένα μόριο (συγγενικό προς το DNA) που ονομάζεται RNA. Η αλληλουχία των νουκλεοτιδίων κατά μήκος ενός γονιδίου μεταγράφεται σε ένα μόριο *αγγελιαφόρου RNA* (messenger RNA, mRNA), που στη συνέχεια μεταφράζεται σε μια σειρά συνδεδεμένων μεταξύ τους αμινοξέων (οι δομικοί λίθοι των πρωτεϊνών). Η αλυσίδα των αμινοξέων, από τη στιγμή που ολοκληρώνεται η σύνθεσή της, αποτελεί μια συγκεκριμένη πρωτεΐνη με μοναδικό σχήμα και λειτουργία. Η όλη διεργασία μέσω της οποίας οι πληροφορίες ενός γονιδίου κατευθύνουν τη σύνθεση μιας πρωτεΐνης ονομάζεται **γονιδιακή έκφραση** (Εικόνα 1.8).

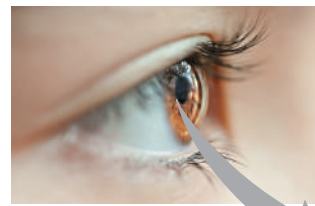
Κατά τη γονιδιακή έκφραση, όλες οι μορφές ζωής χρησιμοποιούν τον ίδιο ουσιαστικά γενετικό κώδικα. Με άλλα λόγια, μια συγκεκριμένη αλληλουχία νουκλεοτιδίων σημαίνει το ίδιο πράγμα σε όλους τους οργανισμούς. Οι διαφορές μεταξύ των οργανισμών αντικατοπτρίζουν διαφορές στην αλληλουχία των νουκλεοτιδίων τους, και όχι στους γενετικούς τους κώδικες. Αυτή η καθολικότητα του γενετικού κώδικα αποτελεί μια ισχυρή ένδειξη ότι όλες οι μορφές της ζωής στη Γη συγγενεύουν. Μάλιστα, αν συγκρίνουμε τις αλληλουχίες ενός γονιδίου που κωδικοποιεί μια συγκεκριμένη πρωτεΐνη σε διάφορα είδη οργανισμών, θα αποκομίσουμε πολύτιμες πληροφορίες όχι μόνο για την ίδια την πρωτεΐνη, αλλά και για τις συγγενικές σχέσεις μεταξύ των εν λόγω ειδών.

Τα μόρια του mRNA, όπως αυτό της Εικόνας 1.8, μεταφράζονται σε πρωτεΐνες· άλλα κυτταρικά RNA, όμως, λειτουργούν διαφορετικά. Λόγου χάρη, είναι γνωστό εδώ και δεκαετίες ότι ορισμένοι τύποι μορίων RNA αποτελούν τμήμα της κυτταρικής «μηχανής» που παράγει τις πρωτεΐνες. Βέβαια, τις τελευταίες λίγες δεκαετίες, οι επιστήμονες έχουν ανακαλύψει και νέους τύπους RNA, που παίζουν άλλους ρόλους στο κύτταρο, π.χ. ρυθμίζουν τη λειτουργία των γονιδίων που κωδικοποιούν πρωτεΐνες. Σημειωτέον, και αυτά τα RNA κωδικοποιούνται από γονίδια, η δε σύνθεσή τους αναφέρεται επίσης ως γονιδιακή έκφραση.

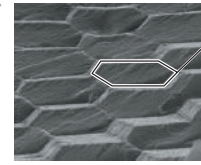
Συνοψίζοντας, το DNA, χάρη στην ικανότητά του αφενός να μεταφέρει τις οδηγίες για τη σύνθεση πρωτεϊνών και RNA, αφετέρου να αντιγράφεται πριν από κάθε κυτταρική διαίρεση, διασφαλίζει την πιστή μεταβίβαση των γενετικών πληροφοριών από τη μια γενεά στην επόμενη.

### Γονιδιωματική: Ανάλυση αλληλουχιών DNA σε μεγάλη κλίμακα

Ολόκληρη η «βιβλιοθήκη» των γενετικών εντολών που κληρονομεί ένας οργανισμός ονομάζεται **γονιδίωμα**.

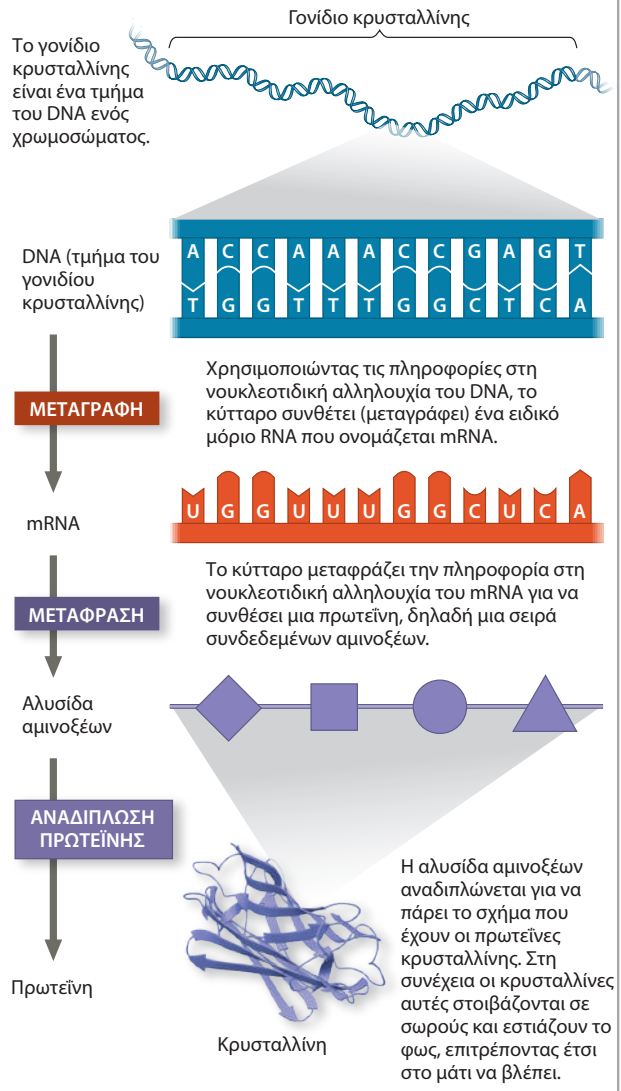


(α) Ο φακός του ματιού (πίσω από την κόρη) μπορεί να εστιάζει το φως επειδή τα κύτταρά του περιέχουν σωρούς «στοιβαγμένων» διαφανών πρωτεϊνών, που ονομάζονται κρυσταλλίνες. Πώς, όμως, τα κύτταρα του φακού παράγουν τις κρυσταλλίνες;



Κύτταρο φακού

(β) Ένα κύτταρο φακού χρησιμοποιεί τις πληροφορίες του DNA για να παραγάγει τις κρυσταλλίνες του.



▲ **Εικόνα 1.8** Γονιδιακή έκφραση: Τα κύτταρα χρησιμοποιούν τις πληροφορίες που είναι κωδικοποιημένες σε ένα γονίδιο για να συνθέσουν μια λειτουργική πρωτεΐνη.

Ένα τυπικό κύτταρο ανθρώπου έχει δύο όμοια σύνολα χρωμοσωμάτων, και σε κάθε σύνολο το DNA αποτελείται από περίπου 3 δισεκατομμύρια ζεύγη νουκλεοτιδίων – σκεφτείτε ότι, αν καθένα από τα μονογράμματα σύμβολα των νουκλεοτιδίων ενός συνόλου το παρουσιάζαμε ως ένα γράμμα με μέγεθος όσο κι εκείνο των γραμμά-

των που διαβάσετε εδώ, τότε το κείμενο του γονιδιώματος θα γέμιζε γύρω στα 700 συγγράμματα βιολογίας σαν αυτό που κρατάτε!

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, η ταχύτητα με την οποία οι ερευνητές μπορούν να προσδιορίζουν την αλληλουχία των νουκλεοτιδίων ενός γονιδιώματος έχει αυξηθεί σε εκπληκτικό βαθμό, χάρη σε μια τεχνολογική επανάσταση. Σήμερα πια, είναι γνωστή η αλληλουχία του γονιδιώματος – η πλήρης αλληλουχία των νουκλεοτιδίων ενός αντιπροσωπευτικού μέλους από ένα είδος – του ανθρώπου και πολλών άλλων ζώων, καθώς και πολλών φυτών, μυκήτων, βακτηρίων και αρχαίων.

Για να βγάλουν νόημα από την πλημμυρίδα των δεδομένων που προκύπτουν από τα προγράμματα αλληλούχησης γονιδιώματος και από τον ολοένα αυξανόμενο κατάλογο των γονιδίων με γνωστή λειτουργία, οι επιστήμονες εφαρμόζουν πλέον μια προσέγγιση βιολογίας συστημάτων σε κυτταρικό και μοριακό επίπεδο. Αντί να ερευνούν ένα μόνο γονίδιο κάθε φορά, μελετούν σύνολα γονιδίων (ή άλλων τμημάτων του DNA) από ένα ή περισσότερα είδη – μια προσέγγιση που ονομάζεται **γονιδιωματική**. Αντίστοιχα, μελετούν σύνολα πρωτεϊνών και τις ιδιότητές τους με μια προσέγγιση που αναφέρεται ως **πρωτεϊνωματική**. (Το σύνολο των πρωτεϊνών που εκφράζονται από ένα συγκεκριμένο κύτταρο, ιστό ή οργανισμό ονομάζεται **πρωτεϊνωμα**.)

Οι αναλύσεις γονιδιωματικής και πρωτεϊνωματικής έγιναν εφικτές χάρη σε τρεις σημαντικές ερευνητικές καινοτομίες: Πρώτον, την τεχνολογία **υψηλής απόδοσης**, δηλαδή ένα σύνολο εργαλείων που μπορούν να αναλύσουν ταχύτατα πολλά βιολογικά δείγματα· δεύτερον, τη **βιοπληροφορική**, δηλαδή τη χρήση υπολογιστικών εργαλείων για την αποθήκευση, την οργάνωση και την ανάλυση του τεράστιου όγκου δεδομένων που προκύπτουν από τις μεθόδους υψηλής απόδοσης· και τρίτον, τη δημιουργία **διεπιστημονικών** ερευνητικών ομάδων, δηλαδή ομάδων επιστημόνων διαφόρων ειδικοτήτων, στις οποίες μπορεί να περιλαμβάνονται επιστήμονες υπολογιστών, μαθηματικοί, μηχανικοί, χημικοί, φυσικοί

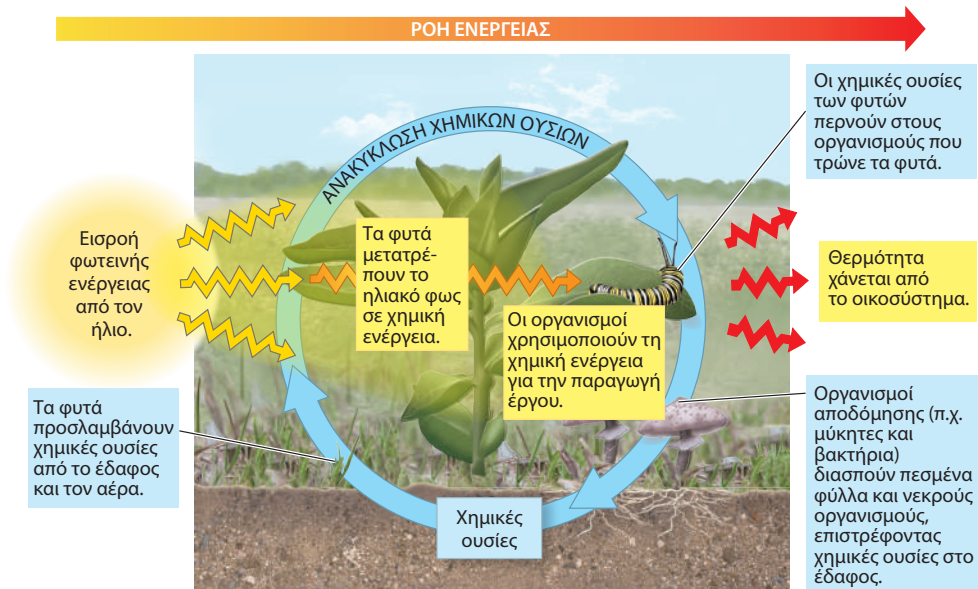
και, φυσικά, βιολόγοι με ποικίλα ερευνητικά ενδιαφέροντα, σκοπός των οποίων είναι να εξετάσουν πώς συντονίζονται οι δραστηριότητες όλων των πρωτεϊνών και των RNA που κωδικοποιούνται από το DNA σε μεμονωμένα κύτταρα ή και ολόκληρους οργανισμούς.

## Θέμα: Η ύπαρξη ζωής προϋποθέτει μεταφορά και μετατροπή ενέργειας, αλλά και ανακύκλωση ύλης

**ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΎΛΗ** Η κίνηση, η αύξηση, η αναπαραγωγή και οι διάφορες κυτταρικές δραστηριότητες της ζωής συνιστούν μορφές έργου και, όπως κάθε έργο, απαιτούν ενέργεια. Η εισροή ενέργειας, κυρίως από τον ήλιο, και η μετατροπή της από τη μια μορφή σε μια άλλη, κάνουν δυνατή την ύπαρξη της ζωής (**Εικόνα 1.9**). Όταν κατά τη φωτοσύνθεση τα φύλλα ενός φυτού απορροφούν το ηλιακό φως, μόρια στο εσωτερικό τους μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χημική ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται στα μόρια τροφών όπως τα σάκχαρα. Στη συνέχεια, η χημική ενέργεια στα μόρια των τροφών περνά από τους **παραγωγούς**, δηλαδή τα φυτά και άλλους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, στους **καταναλωτές**, δηλαδή τους οργανισμούς που τρέφονται με άλλους οργανισμούς ή με υπολείμματά τους.

Όταν ένας οργανισμός χρησιμοποιεί χημική ενέργεια για την εκτέλεση κάποιου έργου, π.χ. μυϊκή συστολή ή κυτταρική διαίρεση, ένα μέρος της ενέργειας αυτής χάνεται στο περιβάλλον με τη μορφή θερμότητας. Σε μια τέτοια περίπτωση, η ενέργεια **ρέει διαμέσου** ενός οικοσυστήματος ακολουθώντας μια συγκεκριμένη κατεύθυνση: συνήθως εισέρχεται ως φως και εξέρχεται ως θερμότητα. Αντιθέτως, οι χημικές ουσίες **μέσα σε ένα οικοσύστημα** ακολουθούν **κυκλική πορεία**, δηλαδή χρησιμοποιούνται και κατόπιν ανακυκλώνονται (βλ. Εικόνα 1.9). Λόγου χάρι, οι χημικές ουσίες που προσλαμβάνει ένα φυτό από το έδαφος ή τον αέρα μπορεί να ενσωματωθούν στο σώμα του και στη συνέχεια να περάσουν σ' ένα ζώο που θα φάει το συγκεκριμένο φυτό. Τελικά, όμως, οι ουσίες αυτές θα επιστρέψουν στο περιβάλλον μέσω οργανισμών

► **Εικόνα 1.9** Ροή ενέργειας και ανακύκλωση χημικών ουσιών. Η ροή της ενέργειας σ' ένα οικοσύστημα είναι μονόδρομη: Κατά τη φωτοσύνθεση, τα φυτά μετατρέπουν την ενέργεια του ηλιακού φωτός σε χημική ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται σε μόρια τροφών όπως τα σάκχαρα. Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται κατόπιν από τα φυτά και άλλους οργανισμούς για την παραγωγή έργου και τελικά χάνεται από το οικοσύστημα με τη μορφή θερμότητας. Αντίθετα, οι χημικές ουσίες ανακυκλώνονται μεταξύ των οργανισμών και του φυσικού περιβάλλοντος.





αποδόμησης, όπως τα βακτήρια και οι μύκητες, που διασπούν τα άχρηστα προϊόντα, τα πεσμένα φύλλα και τα σώματα των νεκρών οργανισμών· έτσι θα γίνουν και πάλι διαθέσιμες για να επαναπροσληφθούν από τα φυτά, ολοκληρώνοντας τον κύκλο τους.

## Θέμα: Οι αλληλεπιδράσεις είναι σημαντικές για τα βιολογικά συστήματα σε όλα τα επίπεδα της ζωής, από τα μόρια μέχρι τα οικοσυστήματα

**ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ** Σε όλα τα επίπεδα της βιολογικής ιεραρχίας, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μερών ενός συστήματος διασφαλίζουν την ομαλή ενσωμάτωσή τους έτσι ώστε να λειτουργούν ως ένα ενιαίο σύνολο. Αυτό ισχύει για τα μόρια σ' ένα κύτταρο όσο και για τα συστατικά ενός οικοσυστήματος – αμφότερα θα τα εξετάσουμε ως παραδείγματα.

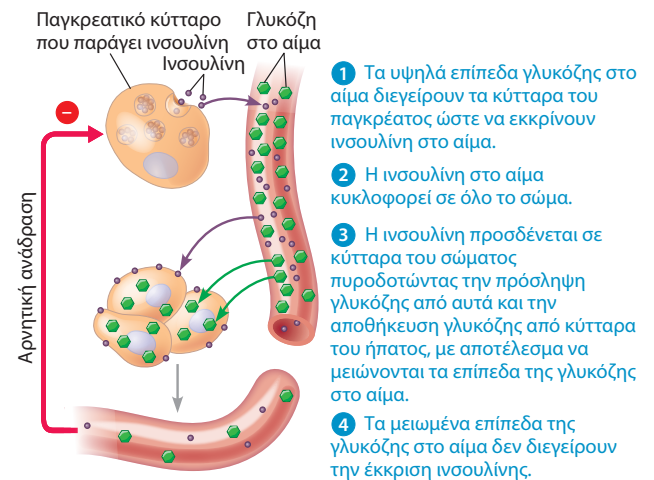
### Μόρια: Αλληλεπιδράσεις στο εσωτερικό των οργανισμών

Στα κατώτερα επίπεδα οργάνωσης, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών που απαρτίζουν τους ζωντανούς οργανισμούς –όργανα, ιστοί, κύτταρα και μόρια– είναι καίριας σημασίας για την ομαλή λειτουργία τους. Ας δούμε ως παράδειγμα τη ρύθμιση των επιπέδων σακχάρου στο αίμα: Τα κύτταρα του σώματος πρέπει να εξισορροπήσουν την προσφορά καυσίμου (σακχάρου) με τη ζήτηση, ρυθμίζοντας δύο αντίθετες διεργασίες, την κατανάλωση και την αποθήκευση σακχάρου. Καθοριστικός παράγοντας εδώ είναι η ικανότητα πολλών βιολογικών διεργασιών να αυτορρυθμίζονται μέσω ενός μηχανισμού που ονομάζεται *ανάδραση*.

Στην **αναδραστική ρύθμιση**, το τελικό προϊόν μιας διεργασίας ρυθμίζει την ίδια τη διεργασία. Στα έμβια συστήματα, η πιο συχνή μορφή ρύθμισης είναι η *αρνητική ανάδραση*, ένας βρόχος στον οποίο η απόκριση μειώνει το αρχικό ερέθισμα. Όπως φαίνεται στο παράδειγμα με τη σηματοδότηση ινσουλίνης (**Εικόνα 1.10**), μετά από ένα γεύμα το επίπεδο της γλυκόζης στο αίμα σας αυξάνεται, με αποτέλεσμα να διεγείρεται η έκκριση ινσουλίνης από τα κύτταρα του παγκρέατος. Η ινσουλίνη, με τη σειρά της, πυροδοτεί την πρόσληψη γλυκόζης από τα κύτταρα του σώματος και την αποθήκευσή της από τα κύτταρα του ήπατος, οπότε μειώνεται το επίπεδο της γλυκόζης στο αίμα. Συνεπώς, το τελικό προϊόν της διεργασίας, η ινσουλίνη, ρυθμίζει αρνητικά την ίδια τη διεργασία.

Οι περισσότερες βιολογικές διεργασίες ρυθμίζονται μέσω αρνητικής ανάδρασης· υπάρχουν, όμως, και πολλές που ρυθμίζονται μέσω *θετικής ανάδρασης*, κατά την οποία το τελικό προϊόν επιταχύνει την παραγωγή του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η πήξη του αίματός σας έπειτα από κάποιον τραυματισμό: Όταν ένα αγγείο τραυματίζεται, αιμοπετάλια του αίματος αρχίζουν να συσσωρεύονται στο σημείο του τραυματισμού και να απελευθερώνουν χημικές ουσίες οι οποίες προσελκύουν ακόμα περισσότερα αιμοπετάλια – έτσι συμβαίνει η θετική ανάδραση. Τελικά, ο σωρός των αιμοπεταλίων πυροδοτεί μια περίπλοκη διαδικασία που καταλήγει στην επούλωση του τραύματος με τον σχηματισμό ενός θρόμβου.

▼ **Εικόνα 1.10 Αναδραστική ρύθμιση.** Το ανθρώπινο σώμα ρυθμίζει τη χρήση και την αποθήκευση της γλυκόζης, ενός σημαντικού κυτταρικού καυσίμου, μέσω μηχανισμών ανάδρασης. Στην εικόνα αυτή παρουσιάζεται η *αρνητική ανάδραση*: Η απόκριση στην ινσουλίνη μειώνει το αρχικό ερέθισμα.



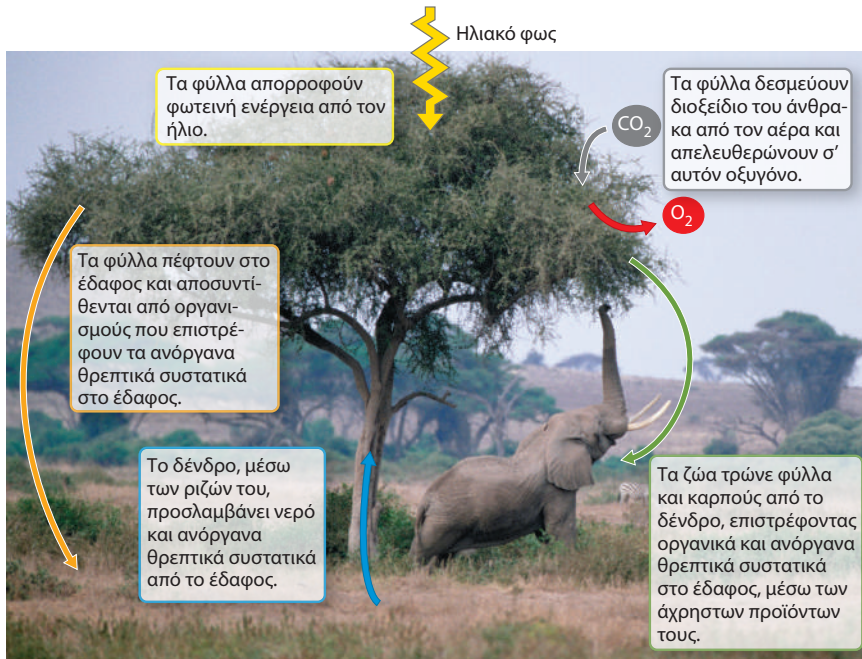
**ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, ποια είναι η απόκριση στην ινσουλίνη; Ποιο είναι το αρχικό ερέθισμα που μειώνεται λόγω της απόκρισης;

### Οικοσυστήματα: Οι αλληλεπιδράσεις ενός οργανισμού με άλλους οργανισμούς και με το φυσικό περιβάλλον

Σε επίπεδο οικοσυστημάτων, κάθε οργανισμός αλληλεπιδρά με άλλους οργανισμούς. Ένα δένδρο ακακίας, φέρ' ειπείν, αλληλεπιδρά με μικροοργανισμούς του εδάφους που σχετίζονται με τις ρίζες του, με έντομα που ζουν πάνω του, καθώς και με άλλα ζώα που τρέφονται με τα φύλλα και τους καρπούς του (**Εικόνα 1.11**). Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ οργανισμών μπορεί να είναι είτε ωφέλιμες για αμφότερα τα μέρη (π.χ. όταν ψάρια-«καθαριστές» τρώνε μικρά παράσιτα που φέρει πάνω της μια θαλάσσια χελώνα), είτε ωφέλιμες για το ένα είδος και επιζήμιες για το άλλο (π.χ. όταν ένα λιοντάρι σκοτώνει και τρώει μια ζέβρα). Υπάρχουν, βέβαια, και ορισμένες αλληλεπιδράσεις μεταξύ οργανισμών οι οποίες είναι επιζήμιες και για τα δύο μέρη, π.χ. όταν δύο φυτά ανταγωνίζονται για έναν περιορισμένο πόρο του εδάφους. Γενικά, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οργανισμών συμβάλλουν στη ρύθμιση της λειτουργίας ενός οικοσυστήματος ως συνόλου.

Συγχρόνως όμως, κάθε οργανισμός βρίσκεται σε διαρκή αλληλεπίδραση και με αβιοτικούς παράγοντες του περιβάλλοντός του. Τα φύλλα ενός δένδρου, λόγω χάρη, απορροφούν το φως του ήλιου και δεσμεύουν διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, στην οποία απελευθερώνουν οξυγόνο (βλ. Εικόνα 1.11). Αλλά και το περιβάλλον επηρεάζεται με τη σειρά του από τους οργανισμούς. Οι ρίζες ενός φυτού, επί παραδείγματι, όχι μόνο προσλαμβάνουν νερό και ανόργανα θρεπτικά συστατικά από το έδαφος, αλλά και διαρρηγνύουν τα πετρώματα καθώς μεγαλώνουν, συμβάλλοντας έτσι στη διαμόρφωση του εδάφους. Σε πλανητική δε κλίμακα, όλο το οξυγόνο της ατμόσφαιρας παράγεται από τα φυτά και άλλους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς.

▼ **Εικόνα 1.11** Οι αλληλεπιδράσεις μιας αφρικανικής ακακίας με άλλους οργανισμούς και με το φυσικό περιβάλλον.



μετατοπίζονται προς καταλληλότερους τόπους: ορισμένα, όμως, δεν βρίσκουν κατάλληλο ενδιαίτημα ή δεν μπορούν να μεταναστεύσουν αρκετά γρήγορα και, ως εκ τούτου, οι πληθυσμοί πολλών ειδών συρρικνώνονται σε μέγεθος ή αρχίζουν ακόμα και να εξαφανίζονται (**Εικόνα 1.12**).

Η απώλεια πληθυσμών εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής μπορεί τελικά να οδηγήσει στον αφανισμό – τη μόνιμη απώλεια– ενός είδους, με συνέπειες πιθανότατα βαθύτατες για τον άνθρωπο και άλλους οργανισμούς.

Μέχρι στιγμής έχουμε εξετάσει τέσσερα ενοποιητικά θέματα (οργάνωση, πληροφορία, ενέργεια και ύλη, αλληλεπιδράσεις), οπότε στο επόμενο τμήμα θα ασχοληθούμε λεπτομερώς με το πέμπτο: την εξέλιξη, που κατά κοινή ομολογία, αποτελεί το κεντρικό θέμα της βιολογίας.

Οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν και αυτοί, όπως όλοι οι οργανισμοί, με το περιβάλλον τους. Μερικές φορές, όμως, τούτες οι αλληλεπιδράσεις έχουν φοβερές συνέπειες. Παραδείγματος χάριν, τα τελευταία 150 χρόνια οι άνθρωποι έχουν αυξήσει κατά πολύ την καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο), με αποτέλεσμα να εκλύονται τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) και άλλων αερίων στην ατμόσφαιρα και συνεπώς να παγιδεύεται θερμότητα κοντά στην επιφάνεια της Γης. Οι επιστήμονες υπολογίζουν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του  $CO_2$  στην ατμόσφαιρα εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων έχει προκαλέσει μια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά περίπου  $1^\circ C$  σε σχέση με το 1900. Μάλιστα, πλανητικά μοντέλα προβλέπουν ότι με τον σημερινό ρυθμό απελευθέρωσης  $CO_2$  και άλλων αερίων στην ατμόσφαιρα, η θερμοκρασία αυτή θα αυξηθεί κατά τουλάχιστον  $3^\circ C$  πριν από το τέλος του αιώνα.

Η συνεχιζόμενη υπερθέρμανση του πλανήτη αποτελεί μια μείζονα πτυχή της **κλιματικής αλλαγής**, δηλαδή μιας κατευθυνόμενης μεταβολής στο πλανητικό κλίμα, η οποία διαρκεί τρεις δεκαετίες ή περισσότερο (σε αντίθεση με τη βραχύχρονη μεταβολή του καιρού). Όμως, η υπερθέρμανση του πλανήτη δεν αποτελεί τη μοναδική έκφραση της κλιματικής αλλαγής: Τα πρότυπα των ανέμων και των κατακρημνίσεων επίσης μεταβάλλονται, ενώ ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως οι θύελλες και η ξηρασία, εκδηλώνονται συχνότερα. Η κλιματική αλλαγή έχει ήδη επηρεάσει τους οργανισμούς και τα ενδιαίτημά τους σε ολόκληρο τον πλανήτη. Οι πολικές αρκούδες, φέρ' ειπείν, έχουν χάσει μεγάλο μέρος της έκτασης του θαλάσσιου πάγου πάνω στον οποίο κυνηγούν, με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζουν έλλειψη τροφής και αυξημένο ρυθμό θνησιμότητας. Λόγω της υποβάθμισης των ενδιαιτημάτων τους, εκατοντάδες είδη φυτών και ζώων

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΝΟΙΩΝ ΤΜΗΜΑΤΟΣ 1.1**

- Ξεκινώντας από το επίπεδο των μορίων της Εικόνας 1.3, γράψτε μια πρόταση που να περιλαμβάνει συστατικά από το αμέσως προηγούμενο («κατώτερο») επίπεδο βιολογικής οργάνωσης, π.χ. «Ένα μόριο αποτελείται από άτομα ενωμένα μεταξύ τους». Συνεχίστε με το επίπεδο των οργανιδίων και σταδιακά προχωρήστε στα ανώτερα επίπεδα οργάνωσης.
- Προσδιορίστε το/α θέμα/τα για το/α οποίο/α τυπικό παράδειγμα αποτελούν: (α) τα αιχμηρά αγκάθια ενός σκαντζόχοιρου· (β) η ανάπτυξη ενός πολυκύτταρου οργανισμού από ένα γονιμοποιημένο ωάριο· και (γ) ένα κολιμπρί που χρησιμοποιεί γλυκόζη για να τροφοδοτήσει ενεργειακά την πτήση του.
- ΤΙ ΘΑ ΓΙΝΟΤΑΝ ΑΝ...:** Για καθένα από τα θέματα που εξετάσαμε στο Τμήμα 1.1, δώστε ένα παράδειγμα το οποίο δεν αναφέρεται στο κείμενο.

Για προτεινόμενες απαντήσεις, βλ. Παράρτημα Α.

► **Εικόνα 1.12** Ένα είδος υπό απειλή λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Ως αποτέλεσμα του θερμότερου περιβάλλοντος, οι σαύρες του γένους *Sceloporus* αναγκάζονται να περνούν περισσότερο χρόνο σε σημεία που τις προστατεύουν από τη ζέστη, οπότε μειώνεται ο χρόνος που δαπανούν στην αναζήτηση τροφής. Συνεπώς, προσλαμβάνουν λιγότερη τροφή, άρα έχουν και μικρότερες πιθανότητες αναπαραγωγικής επιτυχίας. Είναι ενδεικτικό ότι έρευνες σε 200 πληθυσμούς του γένους *Sceloporus* στο Μεξικό δείχνουν ότι, από το 1975 και μετά, έχει εξαφανιστεί το 12% των εν λόγω πληθυσμών.



## Το κυρίαρχο θέμα: Η ομοιογένεια όσο και η ποικιλομορφία των έμβιων όντων οφείλονται στην εξέλιξη

**ΕΞΕΛΙΞΗ** Κατανοώντας την εξέλιξη, μπορούμε να νοηματοδοτήσουμε όλα όσα ξέρουμε για τη ζωή στη Γη. Όπως σαφώς καταδεικνύει το σύνολο των διαθέσιμων απολιθωμάτων, η ζωή εξελίσσεται στον πλανήτη εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια, με αποτέλεσμα να υπάρχει τεράστια *ποικιλότητα* στους οργανισμούς, του παρελθόντος όσο και του παρόντος. Εκτός από την ποικιλότητα, όμως, υπάρχει και *ομοιογένεια*, με τη μορφή κοινών γνωρισμάτων. Λόγου χάρη, ο *ιππόκαμπος*, ο *λαγός*, το *κολιμπρί* και η *καμηλοπάρδαλη*, μολονότι διαφέρουν πολύ ως προς την εξωτερική τους εμφάνιση, έχουν σκελετούς οργανωμένους με τον ίδιο βασικό τρόπο.

Επιστημονικά, η ομοιογένεια και η ποικιλότητα των οργανισμών εξηγείται από την *εξέλιξη*: μια διαδικασία βιολογικής αλλαγής, κατά την οποία τα είδη διαφοροποιούνται από τους προγόνους τους καθώς προσαρμόζονται σε διαφορετικά περιβάλλοντα, σε βάθος χρόνου. Υπ' αυτό το πρίσμα, μπορούμε να πούμε ότι οι διαφορές μεταξύ δύο ειδών (ποικιλότητα) οφείλονται σε κληρονομήσιμες αλλαγές που συνέβησαν αφότου τα δύο είδη απέκλιναν από τον κοινό τους πρόγονο· από την άλλη, τα κοινά γνωρίσματά τους (ομοιογένεια) οφείλονται απλώς στο γεγονός ότι κατάγονται από έναν κοινό πρόγονο. Πολλές και διαφορετικές ενδείξεις υποστηρίζουν το φαινόμενο της εξέλιξης και την ύπαρξη μηχανισμών που τη διέπουν. Ο Theodosius Dobzhansky, ένας από τους θεμελιωτές της σύγχρονης εξελικτικής θεωρίας, έχει πει: «Τίποτε στη βιολογία δεν έχει νόημα, παρά μόνο υπό το πρίσμα της εξέλιξης». Για να καταλάβουμε τούτη τη δήλωση, όμως, θα πρέπει πρώτα να εξετάσουμε τη θεώρηση των ίδιων των βιολόγων σχετικά με την τεράστια ποικιλότητα της ζωής στον πλανήτη.

### Ταξινομώντας την ποικιλομορφία της ζωής

Η ποικιλότητα αποτελεί θεμελιώδες χαρακτηριστικό της ζωής. Μέχρι στιγμής, οι βιολόγοι έχουν προσδιορίσει και ονομάσει γύρω στα 1,8 εκατομμύρια είδη οργανισμών. Σε κάθε είδος έχει δοθεί ένα λατινικό όνομα που αποτελείται από δύο μέρη: Το πρώτο είναι το όνομα του γένους στο οποίο ανήκει το είδος, και το δεύτερο χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο *είδος* του εν λόγω γένους. (Η ονομασία του είδους μας, φέρ' ειπείν, είναι *Homo sapiens*.)

Στα μέχρι σήμερα γνωστά είδη περιλαμβάνονται τουλάχιστον 100.000 είδη μυκήτων, 290.000 είδη φυτών, 57.000 είδη σπονδυλωτών (ζώων με σπονδυλική στήλη) και 1 εκατομμύριο είδη εντόμων (πάνω από το ήμισυ όλων των γνωστών μορφών ζωής) – για να μην αναφέρουμε τις μυριάδες μορφές μονοκύτταρων οργανισμών. Κάθε χρόνο δε, οι ερευνητές ταυτοποιούν χιλιάδες νέα είδη. Οι εκτιμήσεις για τον συνολικό αριθμό των ειδών κυμαίνονται από 10 έως >100 εκατομμύρια. Πάντως,

όποιος κι αν είναι ο ακριβής αριθμός των έμβιων όντων, η τεράστια ποικιλότητά τους αποτελεί ένα ευρύτατο πεδίο μελέτης – και η κατανόηση τούτης της ποικιλότητας αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση για τους βιολόγους.

### Οι τρεις επικράτειες της ζωής

Οι άνθρωποι έχουν γενικά την τάση να ομαδοποιούν διάφορες οντότητες ανάλογα με τις ομοιότητες και τις μεταξύ τους σχέσεις. Ειδικά οι βιολόγοι χρησιμοποιούν εδώ και πολλά χρόνια προσεκτικές συγκρίσεις της δομής, της λειτουργίας και άλλων προφανών γνωρισμάτων για να ταξινομούν τις διάφορες μορφές ζωής σε ομάδες. Τις τελευταίες λίγες δεκαετίες, βέβαια, χάρη σε νέες μεθόδους διερεύνησης των σχέσεων μεταξύ ειδών, όπως οι συγκρίσεις αλληλουχιών του DNA, έχει γίνει μια εκ νέου αξιολόγηση της ταξινόμησης των μορφών ζωής. Και μολονότι η επαναξιολόγηση αυτή είναι διαρκής, οι βιολόγοι ταξινομούν πλέον όλους τους οργανισμούς σε τρεις ομάδες που ονομάζονται *επικράτειες*: τα Βακτήρια, τα Αρχαία και τα Ευκάρυα (Εικόνα 1.13).

Δύο από τις τρεις επικράτειες –τα Βακτήρια και τα Αρχαία– περιλαμβάνουν μονοκύτταρους προκαρυωτικούς οργανισμούς. Όλοι οι ευκαρυώτες (οι οργανισμοί που αποτελούνται από ευκαρυωτικά κύτταρα) περιλαμβάνονται στην επικράτεια των Ευκαρυών. Η επικράτεια αυτή περιλαμβάνει τέσσερις υποομάδες: το βασίλειο των Φυτών, το βασίλειο των Ζώων, το βασίλειο των Μυκήτων και τα πρώτιστα. Οι οργανισμοί των τριών βασιλείων διαφέρουν –μεταξύ άλλων– ως προς τον τρόπο θρέψης τους: Τα φυτά παράγουν μόνα τους τα σάκχαρα και άλλα τροφικά μόρια που χρειάζονται, μέσω της φωτοσύνθεσης· οι μύκητες απορροφούν από το περιβάλλον τους τις θρεπτικές ουσίες που χρειάζονται σε διαλυμένη μορφή· και τα ζώα τρώνε και πέπτουν άλλους οργανισμούς. Στο βασίλειο των Ζώων ανήκει, φυσικά, και ο άνθρωπος.

Οι πλέον πολυάριθμοι και ποικίλοι ευκαρυώτες είναι τα πρώτιστα, τα οποία περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο μονοκύτταρους οργανισμούς. Παλαιότερα, τα πρώτιστα ομαδοποιούνταν σε ένα μόνο βασίλειο, αλλά σήμερα ταξινομούνται σε αρκετές ομάδες. Ένας από τους βασικούς λόγους γι' αυτή τη μεταβολή είναι ότι πρόσφατα στοιχεία βάσει μελετών στο DNA έχουν δείξει πως ορισμένα πρώτιστα συγγενεύουν περισσότερο με τα φυτά, τα ζώα ή τους μύκητες, παρά με άλλα πρώτιστα.

### Ομοιογένεια στην ποικιλομορφία των έμβιων όντων

Όσο ποικίλες κι αν είναι οι διάφορες μορφές ζωής, χαρακτηρίζονται και από μια αξιοσημείωτη ομοιογένεια. Σκεφτείτε, λόγου χάρη, τους παρόμοιους σκελετούς διαφορετικών ζώων, αλλά και την παγκόσμια γενετική γλώσσα του DNA (τον γενετικό κώδικα) που προαναφέραμε. Στην πραγματικότητα, ομοιότητες μεταξύ των οργανισμών υπάρχουν σε όλα τα επίπεδα της βιολογικής ιεραρχίας. Μάλιστα, ακόμα και σε οργανισμούς με πολύ μακρινή συγγένεια, η ομοιογένεια είναι φανερή σε πολλά γνωρίσματα της κυτταρικής δομής (Εικόνα 1.14).

▼ **Εικόνα 1.13** Οι τρεις Επικράτειες της ζωής.

**(α) Επικράτεια των Βακτηρίων**



Τα **Βακτήρια** είναι οι προκαρυώτες με τη μεγαλύτερη ποικιλότητα και διάδοση και, πλέον, ταξινομούνται σε πολλά βασίλεια. Κάθε ραβδόμορφη δομή στη φωτογραφία αυτή είναι ένα βακτηριακό κύτταρο.

2 μm

**(β) Επικράτεια των Αρχαίων**



Η επικράτεια των **Αρχαίων** περιλαμβάνει πολλά βασίλεια. Ορισμένοι από τους προκαρυώτες τής εν λόγω επικράτειας ζουν σε ακραία περιβάλλοντα της Γης, π.χ. σε αλμυρές λίμνες και θερμές πηγές. Κάθε στρογγυλή δομή στη φωτογραφία αυτή είναι ένα κύτταρο αρχαίου.

2 μm

**(γ) Επικράτεια των Ευκαρυώων**



▲ Το **βασιλείο των Φυτών** αποτελείται από πολυκύτταρους ευκαρυώτες που φωτοσυνθέτουν, δηλαδή μετατρέπουν την ενέργεια του φωτός σε χημική ενέργεια που αποθηκεύεται στις τροφές. Τα περισσότερα είδη φυτών ζουν στην ξηρά.

▶ Το **βασιλείο των Μυκήτων** ορίζεται εν μέρει από τον τρόπο θρέψης των μελών του (όπως αυτό το μανιτάρι), τα οποία απορροφούν θρεπτικές ουσίες από το περιβάλλον.

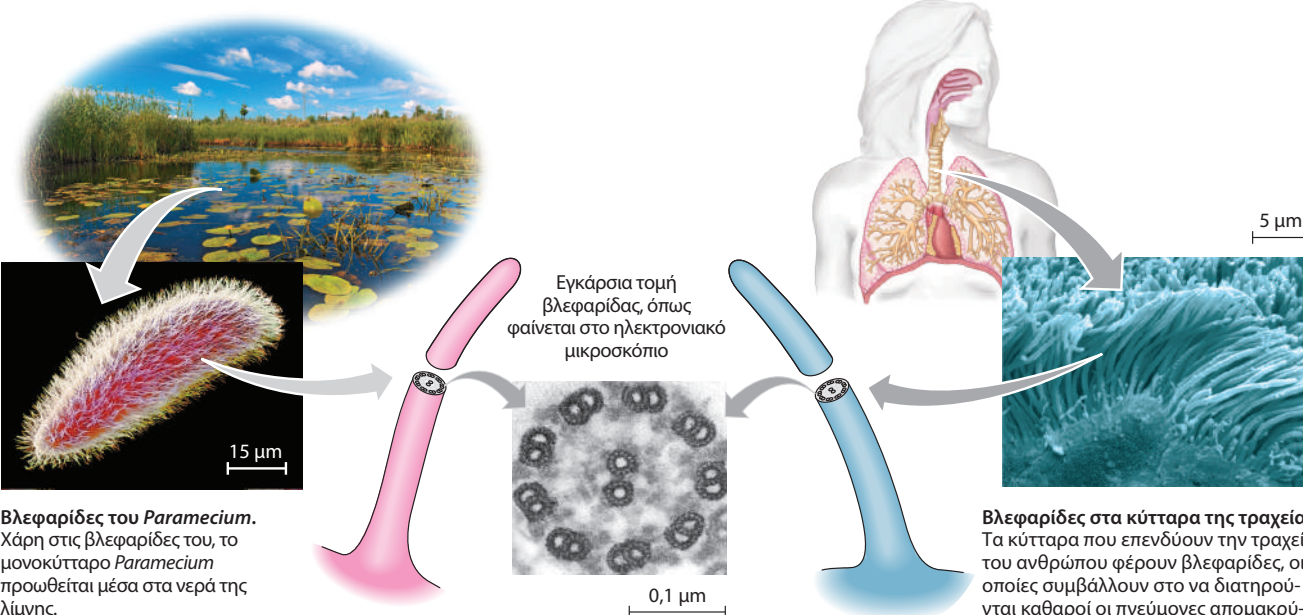


▶ Το **βασιλείο των Ζώων** αποτελείται από πολυκύτταρους ευκαρυώτες που τρέφονται με άλλους οργανισμούς.



▶ Στα **Πρώτιστα** ανήκουν κατά κανόνα μονοκύτταροι ευκαρυώτες και ορισμένοι σχετικά απλοί πολυκύτταροι συγγενείς τους. Στην εικόνα φαίνονται ποικίλα πρώτιστα που ζουν σε λιμνάζοντα νερά. Προς το παρόν, δεν υπάρχει συναίνεση μεταξύ των επιστημόνων ως προς τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να ταξινομηθούν τα πρώτιστα ώστε να αντικατοπτρίζονται με ακρίβεια οι εξελικτικές τους σχέσεις.

100 μm



**Βλεφαρίδες του *Paramecium*.** Χάρη στις βλεφαρίδες του, το μονοκύτταρο *Paramecium* προωθείται μέσα στα νερά της λίμνης.

Εγκάρσια τομή βλεφαρίδας, όπως φαίνεται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

**Βλεφαρίδες στα κύτταρα της τραχείας.** Τα κύτταρα που επενδύουν την τραχεία του ανθρώπου φέρουν βλεφαρίδες, οι οποίες συμβάλλουν στο να διατηρούνται καθαροί οι πνεύμονες απομακρύνοντας ένα μένιο βλέννας μαζί με τα παγιδευμένα σ' αυτό σωματίδια.

15 μm

0,1 μm

5 μm

▲ **Εικόνα 1.14** Ένα παράδειγμα της ομοιογένειας που χαρακτηρίζει τις ποικίλες μορφές ζωής: Η δομή των βλεφαρίδων στους ευκαρυώτες. Οι βλεφαρίδες είναι κυτταρικές προεκβολές που χρησιμεύουν στην κίνηση. Απαντούν σε πολύ διαφορετικούς ευκαρυώτες, από το *Paramecium* (που ζει σε μικρές λίμνες) μέχρι τον άνθρωπο. Ακόμα και σε οργανισμούς τόσο διαφορετικούς, η δομή των βλεφαρίδων παραμένει ίδια: περιλαμβάνει μια σύνθετη διάταξη μικροσωληνίσκων που είναι εντυπωσιακή εάν τη δούμε σε εγκάρσια τομή.

Πώς, όμως, μπορούμε να εξηγήσουμε τη διττή φύση της ζωής, δηλαδή την ομοιογένεια και την ποικιλομορφία; Η διαδικασία της εξέλιξης, την οποία θα εξηγήσουμε στη συνέχεια, φωτίζει τις ομοιότητες όσο και τις διαφορές στον κόσμο των έμβιων όντων και, συν τοις άλλοις, μας εισάγει σε μια άλλη παράμετρο της βιολογίας: την παρέλευση του χρόνου. Η ιστορία της ζωής, όπως τεκμηριώνεται από τα απολιθώματα και άλλες ενδείξεις, είναι το «έπος» μιας συνεχώς μεταβαλλόμενης Γης, με ηλικία δισεκατομμυρίων ετών, η οποία κατοικείται από ένα σύνολο έμβιων όντων, διαρκώς εξελισσόμενων (Εικόνα 1.15).

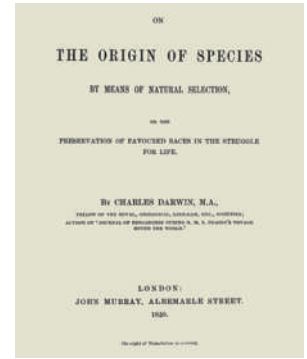
## Ο Κάρολος Δαρβίνος και η θεωρία της φυσικής επιλογής

Η εξελικτική οπτική για τη ζωή βρέθηκε στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος τον Νοέμβριο του 1859, όταν κυκλοφόρησε το βιβλίο του Καρόλου Δαρβίνου (Charles Robert Darwin) *Περί της καταγωγής των ειδών με φυσική επιλογή* (ευρύτερα γνωστό ως *Η καταγωγή των ειδών*), ένα από τα σημαντικότερα και επιδραστικότερα βιβλία που γράφτηκαν ποτέ (Εικόνα 1.16). Η *Καταγωγή των ειδών* έθιγε δύο βασικά ζητήματα. Το πρώτο ήταν ότι, καθώς τα είδη προσαρμόζονται σε διαφορετικά περιβάλλοντα σε βάθος χρόνου, συσσωρεύουν διαφορές σε σχέση με τους προγόνους τους. Ο Δαρβίνος ονόμασε τούτη τη διαδικασία «διαδοχή γενεών με τροποποιήσεις». Η εμπνευσμένη αυτή φράση αποτύπωνε τη διττή φύση της ζωής –



▲ **Εικόνα 1.15** Μελετώντας την ιστορία της ζωής. Ερευνητές στη Νότια Αφρική ανασυνθέτουν σκελετούς του *Homo naledi*, ενός συγγενούς του *Homo sapiens* που έχει πλέον εξαφανιστεί. Τα απολιθώματα ανακαλύφθηκαν σε ένα υπόγειο σπήλαιο που πιθανώς αποτελούσε ταφικό θάλαμο.

▼ **Εικόνα 1.16** Ο Κάρολος Δαρβίνος. Το συγκεκριμένο πορτρέτο του Δαρβίνου φιλοτεχνήθηκε γύρω στο 1840, δηλαδή αρκετά χρόνια πριν από το 1859, που εκδόθηκε το επαναστατικό του βιβλίο *Η καταγωγή των ειδών*.

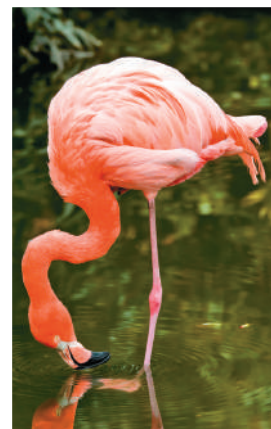


δηλαδή αφενός την ομοιογένεια, όπως εκδηλώνεται με τη συγγένεια μεταξύ ειδών που κατάγονται από κοινούς προγόνους, αφετέρου την ποικιλομορφία, όπως εκδηλώνεται με τις τροποποιήσεις που εξελίχθηκαν καθώς τα είδη απέκλιναν από τους κοινούς τους προγόνους (Εικόνα 1.17). Το δεύτερο βασικό ζήτημα που έθιγε ο Δαρβίνος στο βιβλίο του ήταν ότι οι τροποποιήσεις κατά τη διαδοχή γενεών οφείλονται στη λεγόμενη *φυσική επιλογή*.

▼ Γεράκι με κόκκινη ουρά (*Buteo borealis*)



▼ Αμερικανικό φοινικόπτερο (*Phoenicopterus ruber*)



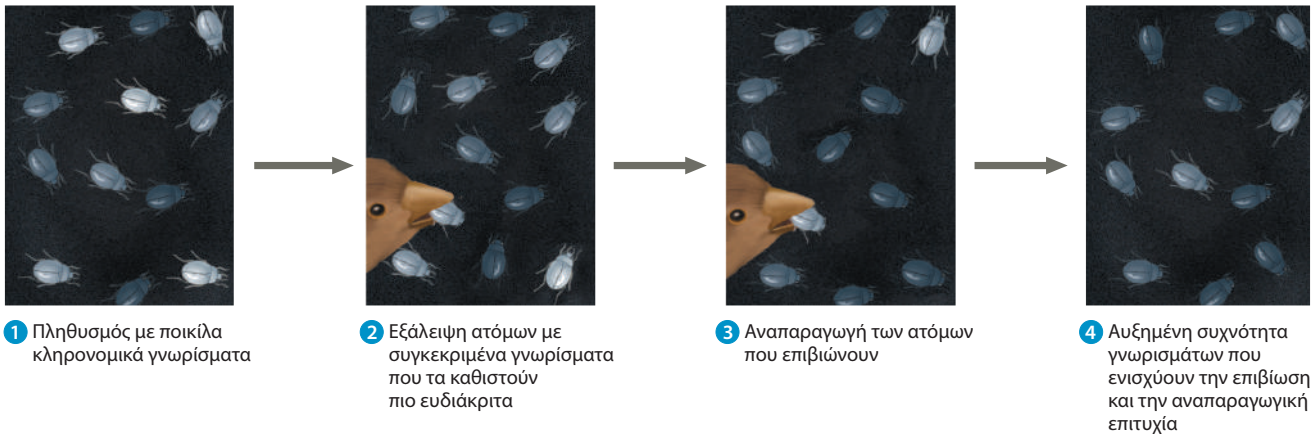
▲ Κοκκινολαίμη (*Erithacus rubecula*)



▲ Πιγκουίνος τζέντου (*Pygoscelis papua*)

▲ **Εικόνα 1.17** Ομοιογένεια και ποικιλομορφία στα πτηνά. Τα τέσσερα αυτά πτηνά αποτελούν παραλλαγές ενός κοινού σωματικού προτύπου. Λόγου χάρι, όλα τους έχουν φτέρωμα, ράμφος και φτερά. Ωστόσο, τα κοινά αυτά γνωρίσματα είναι απολύτως προσαρμοσμένα στον διαφορετικό τρόπο ζωής του κάθε πτηνού.

▼ **Εικόνα 1.18 Φυσική επιλογή.** Ο υποθετικός αυτός πληθυσμός σκαθαριών έχει εγκατασταθεί σε μια τοποθεσία όπου το έδαφος είναι μαυρισμένο εξαιτίας κάποιας πρόσφατης πυρκαγιάς. Αρχικά, το κληρονομούμενο χρώμα των ατόμων του πληθυσμού ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό, από πολύ ανοιχτό γκρι έως σχεδόν μαύρο. Ωστόσο, τα πεινασμένα εντομοφάγα πουλιά που τρέφονται με σκαθάρια εντοπίζουν ευκολότερα τα πιο ανοιχτόχρωμα άτομα.



**ΣΧΕΔΙΑΣΤΕ** Με την πάροδο του χρόνου, το έδαφος θα αποκτήσει σταδιακά πιο ανοιχτό χρώμα. Σχεδιάστε ένα πέμπτο βήμα για να δείξετε πώς το έδαφος θα επηρεάσει τη φυσική επιλογή, όταν γίνει πιο ανοιχτόχρωμο, και γράψτε μια λεζάντα γι' αυτό. Στη συνέχεια περιγράψτε πώς θα μεταβληθεί ο πληθυσμός σε βάθος χρόνου, καθώς το έδαφος θα γίνεται ολοένα πιο ανοιχτόχρωμο.

Ο Δαρβίνος διατύπωσε τη θεωρία του για τη φυσική επιλογή από παρατηρήσεις που δεν ήταν ούτε νέες ούτε βαθυστόχαστες. Και άλλοι είχαν περιγράψει τα κομμάτια του παζλ· ωστόσο, ο Δαρβίνος ήταν εκείνος που διέκρινε τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους. Βασίστηκε αρχικά στις ακόλουθες τρεις φυσικές παρατηρήσεις: Πρώτον, τα άτομα ενός πληθυσμού ποικίλλουν ως προς τα γνωρίσματά τους, πολλά από τα οποία φαίνονται κληρονομήσιμα (δηλαδή μεταβιβάζονται από τους γονείς στους απογόνους). Δεύτερον, σε έναν πληθυσμό γεννιούνται πολλοί περισσότεροι απόγονοι απ' όσους καταφέρνουν να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν. Με περισσότερους απογόνους απ' όσους μπορεί να στηρίξει το περιβάλλον, ο ανταγωνισμός είναι αναπόφευκτος. Τρίτον, τα είδη συνήθως ταιριάζουν στο περιβάλλον τους – με άλλα λόγια, είναι προσαρμοσμένα στις συνθήκες στις οποίες ζουν (λόγου χάρι, τα πτηνά που τρώνε σκληρούς σπόρους έχουν αναπτύξει ένα ιδιαίτερα ισχυρό ράμφος).

Με βάση τα συμπεράσματα που έβγαλε από τις τρεις αυτές παρατηρήσεις, ο Δαρβίνος διατύπωσε μια επιστημονική εξήγηση για το πώς λειτουργεί η εξέλιξη. Υποστήριξε ότι τα άτομα με κληρονομούμενα γνωρίσματα που ταιριάζουν περισσότερο στο τοπικό περιβάλλον είναι πιθανότερο να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν απ' ό,τι τα άτομα που ταιριάζουν λιγότερο σ' αυτό. Σε βάθος γενεών, όλο και μεγαλύτερο ποσοστό ατόμων του πληθυσμού θα έχει τα πλεονεκτικά γνωρίσματα. Η ανομοιογενής αναπαραγωγική επιτυχία των ατόμων ενός πληθυσμού οδηγεί τελικά στην προσαρμογή τους στο περιβάλλον τους, εφόσον αυτό παραμένει ίδιο, και έτσι εξελίσσεται το είδος.

Ο Δαρβίνος ονόμασε αυτό τον μηχανισμό εξελικτικής προσαρμογής **φυσική επιλογή**, επειδή, μεταξύ των ποικίλων φυσικών παραλλαγών γνωρισμάτων που απαντούν σε έναν πληθυσμό, το φυσικό περιβάλλον διαρκώς «επιλέγει» τη διάδοση ορισμένων. Στην **Εικόνα 1.18**, επί παραδείγματι, απεικονίζεται η ικανότητα της φυσικής επιλογής να «πεξεργάζεται» τις κληρονομήσιμες παραλλαγές του χρωματικού εύρους ενός πληθυσμού εντόμων. Το

αποτέλεσμα της φυσικής επιλογής μπορούμε να το διαπιστώσουμε στις εκπληκτικές προσαρμογές που αναπτύσσουν διάφοροι οργανισμοί ανάλογα με τον ιδιαίτερο τρόπο ζωής τους και το περιβάλλον στο οποίο ζουν. Φέρ' ειπείν, τα φτερά της νυχτερίδας που παρουσιάζεται στην **Εικόνα 1.19** αποτελούν ένα θαυμάσιο παράδειγμα προσαρμογής.

## Το δένδρο της ζωής

Ας ξανακοιτάξουμε την αρχιτεκτονική του σκελετού στα φτερά της νυχτερίδας, στην **Εικόνα 1.19**. Τα φτερά αυτά δεν μοιάζουν με των πουλιών· η νυχτερίδα είναι θηλαστικό. Τα οστά, οι αρθρώσεις, τα νεύρα και τα αγγεία που υπάρχουν στα πρόσθια άκρα της, μολονότι έχουν προσαρμοστεί για πτήση, μοιάζουν πολύ με τις αντίστοιχες δομές στο χέρι του ανθρώπου, στο μπροστινό πόδι του αλόγου ή στο πτερύγιο της φάλαινας. Πράγματι, όλα τα πρόσθια άκρα των θηλαστικών αποτελούν ανατομικές παραλλαγές μιας κοινής αρχιτεκτονικής. Σύμφωνα με τη δαρβινική έννοια της διαδοχής γενεών με τροποποιήσεις, η κοινή ανατομία των άκρων των θηλαστικών αντανακλά την κληρονόμηση της δομής του άκρου από έναν κοινό πρόγονο – το «πρότυπο» θηλαστικό από το οποίο προήλθαν όλα τα άλλα θηλαστικά. Η ποικιλότητα στα πρόσθια άκρα των θηλαστικών είναι αποτέλεσμα των τροποποιήσεων που επέφερε η φυσική επιλογή κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων γενεών σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Απολιθώματα και άλλες ενδείξεις επιβεβαιώνουν την ύπαρξη ανατομικής ομοιογένειας στα θηλαστικά και υποστηρίζουν τη θεώρηση ότι όλα κατάγονται από έναν κοινό πρόγονο.

Ο Δαρβίνος πρότεινε ότι η φυσική επιλογή μπορεί, μέσω των σωρευτικών επιδράσεών της για μεγάλες χρονικές περιόδους, να οδηγήσει στη δημιουργία δύο ή περισσότερων ειδών από ένα προγονικό είδος. Αυτό μπορεί να συμβεί, λόγου χάρι, όταν ένας πληθυσμός οργανισμών χωρίζεται σε αρκετούς υποπληθυσμούς που απομο-



**▲ Εικόνα 1.19** Εξελικτική προσαρμογή.

Οι νυχτερίδες, τα μόνα θηλαστικά με ικανότητα να πετούν, έχουν φτερούγες αποτελούμενες από μεμβράνες (πατάγια) που αναπτύσσονται μεταξύ επιμηκυσμένων «δακτύλων». Σύμφωνα με τον Δαρβίνο, τέτοιες προσαρμογές τελειοποιούνται σε βάθος χρόνου από τη φυσική επιλογή.

νώνονται σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Σε τούτα τα χωριστά πεδία δράσης της φυσικής επιλογής, στα οποία οι γεωγραφικά απομονωμένοι πληθυσμοί προσαρμόζονται επί σειρά γενεών σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες, είναι δυνατόν από ένα αρχικό είδος να προκύψουν σταδιακά, μέσω ακτινωτής διαφοροποίησης, νέα είδη.

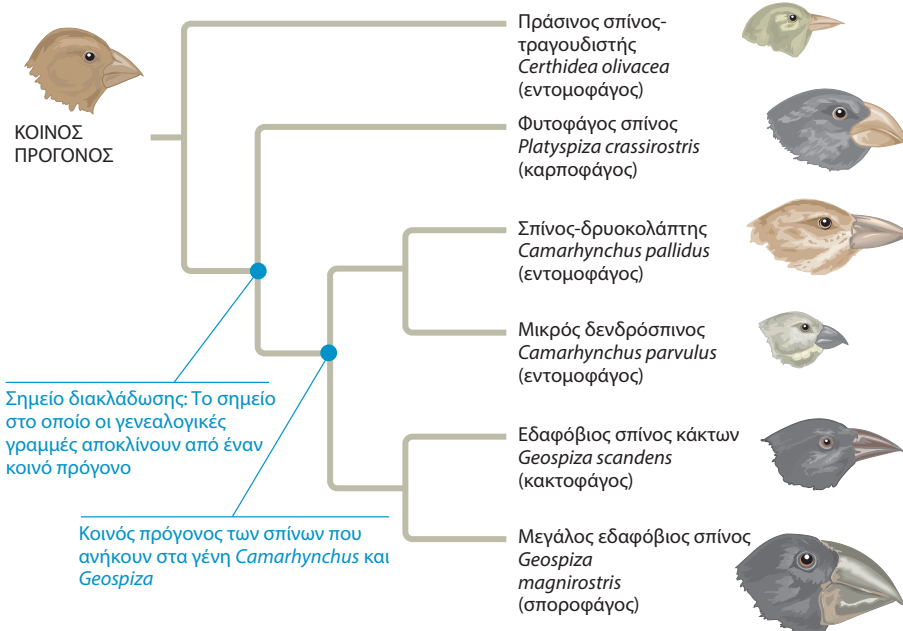
Οι σπίνοι των νησιών Galápagos αποτελούν ένα πασίγνωστο παράδειγμα ακτινωτής διαφοροποίησης νέων ειδών από έναν κοινό πρόγονο. Ο Δαρβίνος συνέλεξε άτομα των εν λόγω πτηνών το 1835, κατά τη διάρκεια του ταξιδιού του στα απομακρυσμένα νησιά Galápagos του Ειρηνικού Ωκεανού, 900 χιλιόμετρα από τα παράλια της Νότιας Αμερικής. Το αρχιπέλαγος αυτών των σχετικά νεαρών από άποψη ηλικίας ηφαιστειογενών νησιών φιλοξενεί πολλά είδη φυτών και ζώων που δεν απαντούν πουθενά αλλού στον κόσμο, αν και πολλοί οργανισμοί των Galápagos σαφώς συγγενεύουν με είδη της νοτιοαμερικανικής ηπειρωτικής χώρας. Θεωρείται ότι οι σπίνοι των Galápagos κατάγονται από ένα προγονικό είδος σπίνου που έφτασε στο αρχιπέλαγος από τη Νότια Αμερική ή από τα νησιά της Καραϊβικής. Σε βάθος χρόνου, οι σπίνοι των Galápagos διαφοροποιήθηκαν από τον πρόγονό τους, καθώς οι πληθυσμοί τους προσαρμόστηκαν στις πηγές τροφής που υπήρχαν στα νησιά στα οποία εγκα-

ταστάθηκαν. Πολλά χρόνια αφότου ο Δαρβίνος συνέλεξε τους σπίνους του, αρκετοί ερευνητές άρχισαν να μελετούν τις εξελικτικές σχέσεις μεταξύ των διαφόρων ειδών – στην αρχή βάσει ανατομικών και γεωγραφικών δεδομένων και, πιο πρόσφατα, μέσω της σύγκρισης αλληλουχιών του DNA.

Τα διαγράμματα εξελικτικών σχέσεων που δημιουργούν οι βιολόγοι έχουν κατά κανόνα μορφή δένδρου, αν και συνήθως οριζόντιας μορφής, όπως στην **Εικόνα 1.20**. Τα δενδροειδή διαγράμματα έχουν μια λογική: Όπως στο γενεαλογικό δένδρο μιας οικογένειας ανθρώπων, έτσι και σε ένα δενδροειδές διάγραμμα, κάθε είδος είναι ένα μικρό κλαδί σ' ένα διακλαδιζόμενο δένδρο το οποίο εκτείνεται στο παρελθόν μέσω ολόένα πιο απομακρυσμένων μεταξύ τους προγονικών ειδών. Είδη που μοιάζουν πολύ μεταξύ τους, όπως οι σπίνοι των νησιών Galápagos, έχουν σχετικά πρόσφατο κοινό πρόγονο. Μέσω κάποιου άλλου προγόνου, που έζησε πολύ παλαιότερα, οι σπίνοι συγγενεύουν με τα σπουργίτια, τα γεράκια, τους πικκούνους και όλα τα άλλα πτηνά. Μέσω κάποιου ακόμα πιο αρχαίου κοινού προγόνου δε, οι σπίνοι και άλλα πτηνά συγγενεύουν με τους ανθρώπους. Αν ακολουθήσουμε τα ίχνη της ζωής αρκετά πίσω στον χρόνο, θα φτάσουμε στους αρχέγονους προκαρυώτες που έζησαν στη Γη περισσότερο από 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια πριν. Μάλιστα, ίχνη τους μπορούμε να αναγνωρίσουμε στα ίδια τα κύτταρά μας – φέρ' ειπείν, στον καθολικό γενετικό κώδικα. Πράγματι, όλες οι μορφές ζωής συνδέονται μέσω της μακραίωνης εξελικτικής ιστορίας τους.

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΝΟΙΩΝ ΤΜΗΜΑΤΟΣ 1.2**

1. Εξηγήστε γιατί η λέξη «επεξεργασία» αποτελεί ένα κατάλληλο μεταφορικό σχήμα για να περιγράψουμε τον τρόπο με τον οποίο η φυσική επιλογή επιδρά στην κληρονομήσιμη ποικιλοότητα ενός πληθυσμού.
2. Βασιζόμενοι στην Εικόνα 1.20, δώστε μια πιθανή εξήγηση για το πώς, σε πολύ μεγάλο βάθος χρόνου, ο πράσινος σπίνος-τραγουδιστής κατέληξε να έχει λεπτό ράμφος.



**◀ Εικόνα 1.20** Διαδοχή γενεών με τροποποιήσεις: Προσαρμοστική ακτινωτή διαφοροποίηση των σπίνων στα νησιά Galápagos. Αυτό το «δένδρο» απεικονίζει μια σύγχρονη υπόθεση για τις εξελικτικές σχέσεις των σπίνων στα νησιά Galápagos. Παρατηρήστε τα διαφορετικά ράμφη, τα οποία είναι προσαρμοσμένα σε συγκεκριμένες πηγές τροφής: π.χ. τα πιο μεγάλα και πλατύτερα ράμφη είναι πιο κατάλληλα για το σπάσιμο φυτικών σπόρων, ενώ τα πιο λεπτά ράμφη είναι καταλληλότερα για τη σύλληψη εντόμων.

3. **ΣΧΕΔΙΑΣΤΕ** Οι τρεις Επικράτειες που περιγράψαμε στο Τμήμα 1.2 μπορούν να παρασταθούν στο δένδρο της ζωής ως οι τρεις κύριοι κλάδοι. Ο κλάδος των ευκαρυωτών έχει τρεις δευτερεύοντες κλάδους: τα βασιλεία των φυτών, των μυκήτων και των ζώων. Τι συμπεράσματα βγάξετε αν μύκητες και ζώα συγγενεύουν πολύ περισσότερο μεταξύ τους απ' όσο συγγενεύουν με τα φυτά, όπως υποδεικνύουν πρόσφατες ισχυρές ενδείξεις; Σχεδιάστε ένα απλό διάγραμμα διακλαδώσεων που να συμβολίζει την προτεινόμενη σχέση μεταξύ των τριών ευκαρυωτικών βασιλείων.

Για προτεινόμενες απαντήσεις, βλ. Παράρτημα Α.

## ΤΜΗΜΑ 1.3

### Για να μελετήσουν τη φύση οι επιστήμονες διατυπώνουν και ελέγχουν υποθέσεις

Η **επιστήμη** είναι ένας τρόπος απόκτησης γνώσεων για τον φυσικό κόσμο – μια προσέγγιση για να τον κατανοήσουμε. Αναπτύχθηκε ως αποτέλεσμα της περιέργειας που νιώθουμε για τον εαυτό μας, τις άλλες μορφές ζωής, τον πλανήτη μας και το σύμπαν. Η λέξη *επιστήμη* προέρχεται από το *επίσταμαι*, που σημαίνει κατέχω, γνωρίζω. Η δίψα για γνώση φαίνεται πως είναι μία από τις πιο μύχιες παρορμήσεις του ανθρώπου.

Στο επίκεντρο της επιστήμης βρίσκεται η **έρευνα**, δηλαδή η αναζήτηση πληροφοριών και εξηγήσεων για φυσικά φαινόμενα. Δεν υπάρχει κάποιος κανόνας που να διασφαλίζει την επιτυχία στην επιστημονική έρευνα, ούτε κάποια μοναδική επιστημονική μέθοδος την οποία οφείλουν να ακολουθούν αυστηρά οι ερευνητές. Όπως όλες οι μορφές αναζήτησης, η επιστημονική έρευνα ενέχει στοιχεία πρόκλησης, περιπέτειας και τύχης, και απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, συλλογισμό, δημιουργικότητα, υπομονή και επιμονή για την υπέρβαση των εμποδίων. Τα τόσο ποικίλα στοιχεία της έρευνας καθιστούν την επιστήμη πολύ πιο «ευέλικτη» απ' ό,τι πιστεύουν οι περισσότεροι άνθρωποι. Παρ' όλα αυτά πάντως, μπορούμε να επισημάνουμε ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία βοηθούν να διακρίνουμε την επιστήμη από άλλους τρόπους περιγραφής και εξήγησης της φύσης.

Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν μια ερευνητική διαδικασία που περιλαμβάνει τη συλλογή παρατηρήσεων, τη διατύπωση λογικών, ελέγξιμων εξηγήσεων (*υποθέσεις*) και τον έλεγχο των υποθέσεων αυτών. Πρόκειται για μια διαδικασία κατ' ανάγκη επαναλαμβανόμενη: Όταν ελέγχεται μια υπόθεση, νέες παρατηρήσεις μπορεί να πυροδοτήσουν την αναθεώρηση της αρχικής υπόθεσης ή τη διατύπωση μιας νέας, γεγονός που οδηγεί σε περαιτέρω έλεγχο. Ακολουθώντας μια τέτοια «κυκλική πορεία», οι επιστήμονες προσεγγίζουν σταδιακά ό,τι συνιστά την καλύτερη εκτίμησή τους σχετικά με τους νόμους που διέπουν τη φύση.

### Εξερεύνηση και παρατήρηση

Η Βιολογία, όπως και άλλες επιστήμες, βασίζεται αρχικά σε προσεκτικές παρατηρήσεις. Για τη συλλογή πληροφοριών, οι βιολόγοι συχνά χρησιμοποιούν εργαλεία, όπως

μικροσκόπια, θερμομέτρα ακριβείας ή κάμερες υψηλής ταχύτητας, που επεκτείνουν τις δυνατότητες των αισθήσεών τους ή διευκολύνουν τις προσεκτικές μετρήσεις. Οι παρατηρήσεις αποκαλύπτουν πολύτιμες πληροφορίες για τον φυσικό κόσμο. Λόγου χάρι, η κατανόησή μας για τη δομή του κυττάρου έχει διαμορφωθεί χάρη σε μια σειρά προσεκτικών παρατηρήσεων· οι δε σύγχρονες βάσεις δεδομένων με αλληλουχίες γονιδιωμάτων από διάφορα είδη και με γονίδια των οποίων η έκφραση μεταβάλλεται σε διάφορες ασθένειες εμπλουτίζονται επίσης χάρη σε σύνολα παρατηρήσεων.

Για να μελετήσουν τη φύση, οι βιολόγοι βασίζονται σε μεγάλο βαθμό και στην επιστημονική βιβλιογραφία, τις δημοσιευμένες εργασίες άλλων επιστημόνων. Διαβάζοντας και κατανοώντας παλαιότερες μελέτες, οι επιστήμονες μπορούν να χτίσουν πάνω στα θεμέλια της υπάρχουσας γνώσης, εστιάζοντας τις έρευνές τους σε παρατηρήσεις που είναι πρωτότυπες και σε υποθέσεις που συμφωνούν με προγενέστερα ευρήματα. Πλέον δε, χάρη στις ευρητηριασμένες και με δυνατότητα αναζήτησης ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων που έχουν στη διάθεσή τους, είναι ευκολότερο από ποτέ να εντοπίζουν δημοσιεύσεις που σχετίζονται με μια νέα γραμμή έρευνας.

### Συλλογή και ανάλυση δεδομένων

Οι καταγεγραμμένες παρατηρήσεις ονομάζονται **δεδομένα**. Για να το πούμε διαφορετικά, τα δεδομένα είναι το είδος των πληροφοριών στις οποίες βασίζεται η επιστημονική έρευνα. Για τον περισσότερο κόσμο, ο όρος *δεδομένα* σημαίνει «αριθμοί». Μερικά δεδομένα, όμως, είναι *ποιοτικά* και συχνά έχουν τη μορφή καταγεγραμμένης περιγραφής και όχι αριθμητικών μετρήσεων. Φέρ' ειπείν, η Jane Goodall, η οποία επί δεκαετίες έκανε έρευνα πεδίου στις ζούγκλες της Τανζανίας, κατέγραφε παρατηρήσεις σχετικά με τη συμπεριφορά των χιμπατζήδων (**Εικόνα 1.21**). Στις μελέτες της, βέβαια, εκτός από ποιοτικές παρατηρήσεις για τη συμπεριφορά των ζώων, η Goodall συμπεριέλαβε και πάρα πολλά *ποσοτικά* δεδομένα, όπως η συχνότητα και η διάρκεια συγκεκριμένων συμπεριφορών των μελών μιας ομάδας χιμπατζήδων



▲ **Εικόνα 1.21** Η Jane Goodall συλλέγει ποιοτικά δεδομένα για τη συμπεριφορά των χιμπατζήδων. Η Goodall κατέγραφε τις παρατηρήσεις της από το πεδίο σε σημειωματάρια και συχνά τις εμπλούτιζε με σκίτσα για τη συμπεριφορά των χιμπατζήδων.



σε ποικίλες καταστάσεις. Σε γενικές γραμμές, οι επιστήμονες καταγράφουν τα ποσοτικά δεδομένα ως αριθμητικές μετρήσεις, συχνά υπό τη μορφή πινάκων ή γραφημάτων. Προκειμένου δε να ελέγξουν αν τα αποτελέσματά τους είναι σημαντικά ή αν απλώς οφείλονται σε τυχαίες διακυμάνσεις, αναλύουν τα δεδομένα τους χρησιμοποιώντας έναν κλάδο των μαθηματικών που ονομάζεται *στατιστική*. Σημειωτέον, όλα τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε τούτο το κείμενο είναι αποδεδειγμένα στατιστικώς σημαντικά.

Η συλλογή και η ανάλυση παρατηρήσεων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά συμπεράσματα, τα οποία βασίζονται σε ένα είδος λογικής που αποκαλείται **επαγωγικός συλλογισμός** ή **επαγωγή**. Μέσω της επαγωγής καταλήγουμε σε γενικεύσεις, βασιζόμενοι σε μεγάλο αριθμό ειδικών παρατηρήσεων. Ένα παράδειγμα είναι η γενίκευση «ο ήλιος ανατέλλει πάντοτε από την Ανατολή». Ένα βιολογικό παράδειγμα είναι η γενίκευση «όλοι οι οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα», η οποία έχει βασιστεί στις μικροσκοπικές παρατηρήσεις τις οποίες συνέλεξαν επί δύο αιώνες οι βιολόγοι που εξέταζαν κύτταρα σε ποικίλα βιολογικά δείγματα. Οι προσεκτικές παρατηρήσεις και οι αναλύσεις δεδομένων, μαζί με τις γενικεύσεις που επιτυγχάνονται επαγωγικά, είναι θεμελιώδους σημασίας για την κατανόηση της φύσης.

## Διατύπωση και έλεγχος υποθέσεων

Η έμφυτη περιέργειά μας συχνά μας παρακινεί να θέτουμε ερωτήματα για τα φυσικά αίτια των φαινομένων που παρατηρούμε στον κόσμο. Λόγου χάρη, τι προκαλεί τις διαφορετικές συμπεριφορές των χιμπατζήδων οι οποίες παρατηρούνται στη φύση; Και πώς εξηγείται η ποικιλότητα στο χρώμα του τριχώματος σε ποντικούς του ίδιου είδους (βλ. Εικόνα 1.1); Για να δοθούν απαντήσεις σε τέτοια ερωτήματα συνήθως πρέπει να διατυπωθούν και να ελεγχθούν λογικές ερμηνείες, δηλαδή υποθέσεις.

Στην επιστήμη, η **υπόθεση** είναι μια ερμηνεία, βασισμένη σε παρατηρήσεις και παραδοχές, που οδηγεί σε μια ελέγξιμη πρόβλεψη. Με άλλα λόγια, η υπόθεση είναι μια ερμηνεία υπό δοκιμή. Συνήθως η υπόθεση είναι μια λογική ερμηνεία για ένα σύνολο παρατηρήσεων, η οποία βασίζεται σε διαθέσιμα δεδομένα και προκύπτει μέσω επαγωγικού συλλογισμού. Μια επιστημονική υπόθεση πρέπει να οδηγεί σε προβλέψεις που μπορούν να ελεγχθούν, είτε με πρόσθετες παρατηρήσεις είτε με τη διεξαγωγή πειραμάτων. Το **πείραμα** είναι μια επιστημονική δοκιμασία που πραγματοποιείται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες.

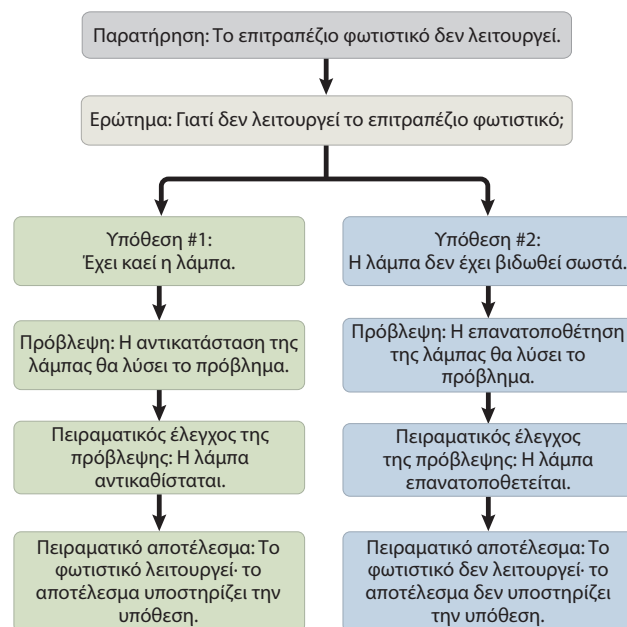
Όλοι κάνουμε παρατηρήσεις και διατυπώνουμε ερωτήματα και υποθέσεις για να λύσουμε καθημερινά προβλήματα. Ας πούμε, λόγου χάρη, ότι πατάτε τον διακόπτη στο επιτραπέζιο φωτιστικό σας, το οποίο είναι στην πρίζα, αλλά η λάμπα δεν ανάβει. Αυτό είναι μια παρατήρηση. Ανακύπτει λοιπόν ένα προφανές ερώτημα: Γιατί δεν δουλεύει το φωτιστικό; Με βάση την εμπειρία σας, κάνετε δύο λογικές υποθέσεις: Είτε έχει καεί η λάμπα είτε η λάμπα δεν έχει τοποθετηθεί σωστά. Καθεμιά από τις δύο εναλλακτικές υποθέσεις οδηγεί σε προβλέψεις που

μπορούν να ελεγχθούν πειραματικά. Παραδείγματος χάριν, η υπόθεση της καμένης λάμπας προβλέπει ότι, αν την αντικαταστήσετε με μια νέα, το πρόβλημα θα λυθεί. Στην **Εικόνα 1.22** παρουσιάζονται με τη μορφή διαγράμματος τα στάδια τούτης της άτυπης έρευνας. Η επίλυση ενός προβλήματος μέσω δοκιμής και σφάλματος είναι μια προσέγγιση που βασίζεται σε υποθέσεις.

## Παραγωγικός συλλογισμός

Η χρήση των υποθέσεων στην επιστήμη εμπεριέχει ένα είδος λογικής η οποία ονομάζεται *παραγωγικός συλλογισμός*. Σε αντίθεση με τον επαγωγικό συλλογισμό, με τον οποίο από ένα σύνολο ειδικών παρατηρήσεων συνάγεται ένα γενικό συμπέρασμα, στον **παραγωγικό συλλογισμό** ή **παραγωγή**, η λογική κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή από το γενικό στο ειδικό. Δηλαδή, από γενικές προτάσεις συνάγονται τα ειδικά αποτελέσματα που είναι αναμενόμενα αν οι προτάσεις αυτές είναι αληθείς. Στην επιστημονική διαδικασία, οι παραγωγικοί συλλογισμοί έχουν συνήθως τη μορφή προβλέψεων αποτελεσμάτων τα οποία θα προκύψουν αν αληθεύει μια συγκεκριμένη υπόθεση (πρόταση). Στη συνέχεια ελέγχεται η υπόθεση με πειράματα ή παρατηρήσεις για να διαπιστωθεί αν τα αποτελέσματα είναι τα προβλεπόμενα ή όχι. Αυτός ο παραγωγικός έλεγχος έχει τη λογική μορφή «Αν..., τότε...». Στο παράδειγμα του επιτραπέζιου φωτιστικού: Αν αληθεύει η υπόθεση της καμένης λάμπας, τότε το φωτιστικό θα λειτουργήσει εφόσον αντικατασταθεί η λάμπα με μια νέα.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το παράδειγμα του φωτιστικού για να τονίσουμε δύο άλλα καθοριστικά σημεία σχετικά με τη χρήση των υποθέσεων στην επιστήμη. Πρώτον, για να ερμηνευθεί ένα σύνολο παρατηρήσεων,



▲ **Εικόνα 1.22** Μια απλοποιημένη σχηματική απεικόνιση της επιστημονικής διαδικασίας. Σε αυτό το διάγραμμα ροής απεικονίζεται η ιδανική διαδικασία της επιστημονικής μεθόδου. Παρουσιάζεται, ως παράδειγμα, ο έλεγχος υποθέσεων σχετικά με ένα επιτραπέζιο φωτιστικό που δεν λειτουργεί.

μπορούν πάντα να διατυπωθούν πρόσθετες υποθέσεις. Φέρ' ειπείν, μια άλλη υπόθεση για το γεγονός ότι το φωτιστικό δεν λειτουργεί είναι ότι η πρίζα στον τοίχο είναι ελαττωματική. Ωστόσο, παρότι μπορούμε να σχεδιάσουμε ένα πείραμα για να ελέγξουμε την εν λόγω υπόθεση, είναι πρακτικά αδύνατο να ελέγξουμε όλες τις εναλλακτικές υποθέσεις. Δεύτερον, δεν μπορούμε ποτέ να αποδείξουμε ότι μια υπόθεση αληθεύει. Ας υποθέσουμε ότι με την αντικατάσταση της λάμπας το φωτιστικό αρχίζει να λειτουργεί. Σε μια τέτοια περίπτωση, η υπόθεση της καμένης λάμπας αποτελεί πράγματι την πιθανότερη εξήγηση· όμως, ο πειραματικός έλεγχος δεν υποστηρίζει την υπόθεση επειδή αποδεικνύει την αλήθεια της, αλλά επειδή δεν τη διαψεύδει. Εν ολίγοις, το γεγονός ότι με την αντικατάσταση της λάμπας το φωτιστικό πλέον λειτουργεί, μπορεί να οφείλεται σε μια προσωρινή διακοπή ρεύματος, η οποία απλώς έτυχε να τερματιστεί την ώρα που γινόταν η αντικατάσταση της λάμπας.

Βεβαίως, παρόλο που μια υπόθεση ποτέ δεν μπορεί να αποδειχθεί πέρα από κάθε αμφιβολία, ο έλεγχός της με διάφορους τρόπους μπορεί εντούτοις να ενισχύσει σημαντικά την εμπιστοσύνη μας στην εγκυρότητά της. Συνήθως δε, οι επαναλαμβανόμενοι κύκλοι διατύπωσης και ελέγχου μιας υπόθεσης οδηγούν σε ό,τι αποκαλούμε *επιστημονική συναίνεση* – το κοινό συμπέρασμα πολλών επιστημόνων ότι μια συγκεκριμένη υπόθεση ερμηνεύει ικανοποιητικά τα γνωστά δεδομένα και «αντέχει» τον πειραματικό έλεγχο.

### **Σε τι είδους ερωτήματα μπορεί να δώσει απάντηση η επιστήμη;**

Η επιστημονική έρευνα αποτελεί πράγματι ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για τη μελέτη της φύσης· υπάρχουν, όμως, κάποιοι περιορισμοί ως προς το είδος των ερωτημάτων στα οποία μπορεί να δώσει απάντηση. Κατ' αρχάς, μια επιστημονική υπόθεση πρέπει να είναι *ελέγξιμη*· πρέπει, δηλαδή, να υπάρχει κάποια παρατήρηση ή κάποιο πείραμα, που να μπορεί να αποκαλύψει αν μια τέτοια ιδέα είναι μάλλον αληθής ή ψευδής. Στο παράδειγμα με το φωτιστικό, η υπόθεση ότι η καμένη λάμπα είναι ο μοναδικός λόγος που το φωτιστικό δεν λειτουργεί, δεν μπορεί να υποστηριχθεί, αν αντικαθιστώντας τη λάμπα με μια νέα το φωτιστικό εξακολουθεί να μη λειτουργεί.

Δεν ικανοποιούν όλες οι υποθέσεις τα επιστημονικά κριτήρια: Είναι, φέρ' ειπείν, αδύνατον να ελέγξετε την υπόθεση ότι αόρατα φαντάσματα πειράζουν το φωτιστικό σας! Η επιστήμη ασχολείται μονάχα με φυσικές, ελέγξιμες ερμηνείες φυσικών φαινομένων· γι' αυτό και δεν μπορεί ούτε να υποστηρίξει ούτε να καταρρίψει την υπόθεση των αόρατων φαντασμάτων ή την υπόθεση ότι για τις καταιγίδες, το ουράνιο τόξο ή τις ασθένειες ευθύνονται πνεύματα ή ζωτικά. Τέτοιες υπερφυσικές εξηγήσεις πολύ απλά βρίσκονται πέρα από τα όρια της επιστήμης – το ίδιο και τα θρησκευτικά θέματα, τα οποία είναι ζητήματα προσωπικής πίστης. Επιστήμη και θρησκεία δεν είναι έννοιες αντικρουόμενες ούτε αμοιβαία αποκλειόμενες – απλώς ασχολούνται με διαφορετικά θέματα.

## **Η ευελιξία της επιστημονικής μεθόδου**

Πολλές φορές, ως *επιστημονική μέθοδος* αναφέρεται η ιδανική μορφή του τρόπου με τον οποίο οι ερευνητές απαντούν σε ερωτήματα σχετικά με τον έμβιο και τον άβιο κόσμο. Ωστόσο, πολύ λίγες επιστημονικές έρευνες ακολουθούν πιστά τη σειρά των βημάτων που τυπικά χρησιμοποιούνται για την περιγραφή τούτης της προσέγγισης. Λόγου χάρη, ένας επιστήμονας μπορεί να ξεκινήσει να σχεδιάζει ένα πείραμα, αλλά στη συνέχεια να αλλάξει γνώμη, αν διαπιστώσει ότι χρειάζονται περισσότερες παρατηρήσεις. Σε άλλες περιπτώσεις, οι παρατηρήσεις είναι πολύ αινιγματικές ώστε να συμβάλουν στη διατύπωση σαφών ερωτημάτων, οπότε πρέπει να γίνουν περαιτέρω μελέτες ούτως ώστε να διαμορφωθεί ένα νέο πλαίσιο μέσα στο οποίο να μπορούν να εξεταστούν οι εν λόγω παρατηρήσεις. Παραδείγματος χάριν, οι επιστήμονες δεν μπόρεσαν να διαλευκάνουν τις λεπτομέρειες για τον τρόπο με τον οποίο τα γονίδια κωδικοποιούν πρωτεΐνες παρά μόνον *αφότου* ανακαλύφθηκε η δομή του DNA το 1953.

Στην **Εικόνα 1.23** παρουσιάζεται ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο της επιστημονικής διαδικασίας. Στο επίκεντρο του μοντέλου αυτού, το οποίο απεικονίζεται στον κεντρικό κύκλο της εικόνας, βρίσκονται η διατύπωση και ο έλεγχος υποθέσεων. Σε αυτές τις δύο βασικές δραστηριότητες οφείλεται η αποτελεσματικότητα της επιστήμης στην ερμηνεία φυσικών φαινομένων. Πρόκειται, ωστόσο, για δραστηριότητες οι οποίες αφενός διαμορφώνονται από την έρευνα και την ανακάλυψη (βλ. πάνω κύκλο στην Εικόνα 1.23), αφετέρου επηρεάζονται από τις αλληλεπιδράσεις με άλλους επιστήμονες και με την κοινωνία εν γένει (βλ. κάτω κύκλους). Επί παραδείγματι, η επιστημονική κοινότητα επηρεάζει το ποιες υποθέσεις ελέγχονται, το πώς ερμηνεύονται τα αποτελέσματα των ελέγχων, αλλά και το τι βαρύτητα δίνεται στα διάφορα ευρήματα. Ομοίως, οι κοινωνικές ανάγκες, π.χ. η πίεση για να θεραπευθεί ο καρκίνος ή για να γίνει κατανοητό το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, μπορεί να είναι καθοριστικές για το ποια ερευνητικά προγράμματα θα χρηματοδοτηθούν και σε ποιον βαθμό τα αποτελέσματά τους θα αποτελέσουν αντικείμενο συζήτησης.

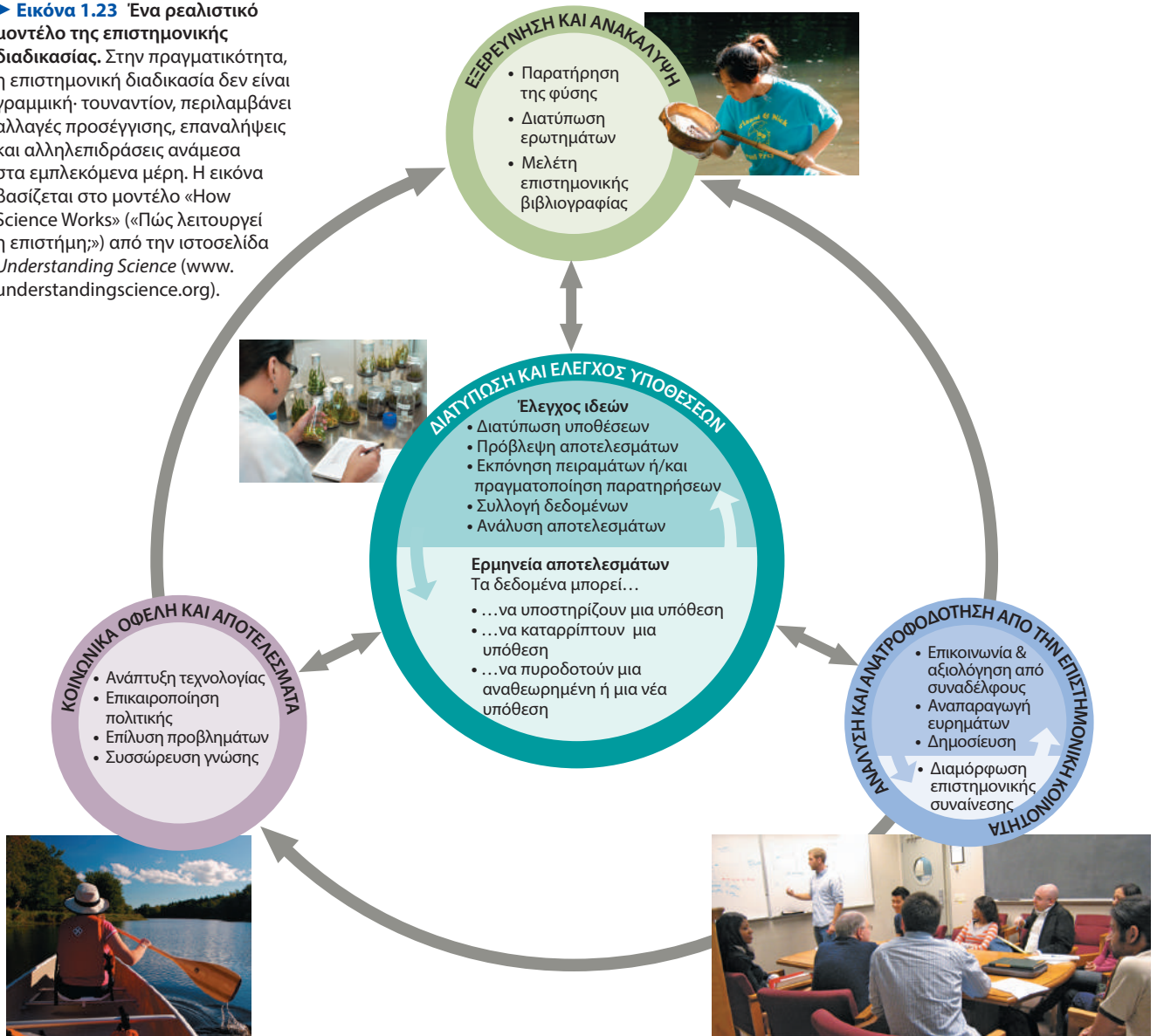
Τώρα λοιπόν που περιγράψαμε τα βασικά χαρακτηριστικά της επιστημονικής έρευνας –πραγματοποίηση παρατηρήσεων, διατύπωση και έλεγχος υποθέσεων– θα πρέπει να είστε σε θέση να τα αναγνωρίσετε σε μια μελέτη περίπτωσης πραγματικής επιστημονικής έρευνας.

### **Μελέτη περίπτωσης επιστημονικής διερεύνησης:**

#### **Εξετάζοντας το χρώμα του τριχώματος σε πληθυσμούς ποντικών**

Για τη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης (περιπτώσιολογική μελέτη) παραθέτουμε αρχικά ορισμένες παρατηρήσεις και επαγωγικές γενικεύσεις: Στη φύση, τα χρωματικά πρότυπα των ζώων ποικίλλουν ευρέως, ενίοτε μάλιστα και μεταξύ μελών του ίδιου είδους. Άραγε, τι προκαλεί τούτη την ποικιλότητα; Όπως ίσως θα θυμάστε, οι δύο ποντικοί που απεικονίζονται στην αρχή του κεφαλαίου αυτού ανήκουν στο ίδιο είδος, το *Peromyscus polionotus*,

► **Εικόνα 1.23** Ένα ρεαλιστικό μοντέλο της επιστημονικής διαδικασίας. Στην πραγματικότητα, η επιστημονική διαδικασία δεν είναι γραμμική· τουναντίον, περιλαμβάνει αλλαγές προσέγγισης, επαναλήψεις και αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα εμπλεκόμενα μέρη. Η εικόνα βασίζεται στο μοντέλο «How Science Works» («Πώς λειτουργεί η επιστήμη») από την ιστοσελίδα *Understanding Science* ([www.understandingscience.org](http://www.understandingscience.org)).



αλλά έχουν διαφορετικά χρωματικά πρότυπα στο τρίχωμά τους, ενώ διαβιούν και σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Ο ποντικός της παραλίας ζει κατά μήκος των ακτών της Φλόριντα, ένα ενδιαίτημα που αποτελείται από αστρα-

φτερές λευκές θίνες διάσπαρτες με αραιές συστάδες του αγρωστώδους *Ammophila breviligulata*. Ο ποντικός της ενδοχώρας, από την άλλη, ζει σε σκοτεινότερα, πιο γόνιμα εδάφη βαθύτερα στην ενδοχώρα (**Εικόνα 1.24**). Ακό-



Οι ποντικοί της παραλίας ζουν σε θίνες με αραιή βλάστηση κατά μήκος των ακτών. Το ανοιχτό καφέ, κάπως ανομοιογενές, τρίχωμα στη ράχη τους τους βοηθά να γίνουν ένα με το περιβάλλον τους, δηλαδή ουσιαστικά να καμουφλαριστούν.

Τα μέλη του ίδιου είδους που ζουν περίπου 30 χιλιόμετρα προς το εσωτερικό της ηπειρωτικής χώρας έχουν σκούρο τρίχωμα στη ράχη τους, οπότε γίνονται ένα με το σκούρο έδαφος του ενδιαιτηματός τους.

▲ **Εικόνα 1.24** Ο παραλιακός πληθυσμός και ο πληθυσμός της ενδοχώρας του ποντικού *Peromyscus polionotus* εμφανίζουν διαφορετικό χρωματικό πρότυπο τριχώματος.

μα και με μια γρήγορη ματιά στις φωτογραφίες της Εικόνας 1.24 θα διαπιστώσετε ότι το χρωματικό πρότυπο του τριχώματος των ποντικών ταιριάζει εντυπωσιακά με τα ενδιαίτημά τους. Οι φυσικοί θηρευτές των ποντικών αυτών, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται τα γεράκια, οι κουκουβάγιες, οι αλεπούδες και τα κογιότ, είναι όλοι οπτικοί κυνηγοί (χρησιμοποιούν, δηλαδή, την αίσθηση της όρασης για να εντοπίσουν τη λεία τους). Διόλου περιέργως, λοιπόν, ο Francis Bertody Sumner, ένας φυσιοδίφης που μελετούσε τους πληθυσμούς των εν λόγω ποντικών τη δεκαετία του 1920, διατύπωσε την υπόθεση ότι τα χρωματικά πρότυπα του τριχώματός τους έχουν εξελιχθεί ως προσαρμογές οι οποίες καμουφλάρουν τους ποντικούς στα φυσικά τους περιβάλλοντα, προστατεύοντάς τους από τους θηρευτές.

Όσο αυτονόητη και αν μοιάζει τούτη η υπόθεση του καμουφλάζ, δεν παύει να είναι μια θεωρία που πρέπει να ελεγχθεί. Έτσι, το 2010, η βιολόγος Hopi Hoekstra από το Πανεπιστήμιο Harvard και μια ομάδα φοιτητών της ταξίδεψαν μέχρι τη Φλόριντα για να εξακριβώσουν εάν ισχύει η πρόβλεψη ότι οι ποντικοί με χρώμα τριχώματος που δεν ταιριάζει με το ενδιαίτημά τους θηρεύονται πολύ περισσότερο απ' ό,τι οι γηγενείς ποντικοί με χρώμα ταιριαστό με το ενδιαίτημα. Στην **Εικόνα 1.25** συνοψίζεται το πείραμα πεδίου που πραγματοποίησε η ομάδα της Hoekstra (και σημειωτέον εισάγεται η απεικονιστική φόρμα που θα χρησιμοποιούμε εφεξής σε όλη την έκταση του βιβλίου, όταν θα παραθέτουμε άλλα παραδείγματα βιολογικής διερεύνησης).

Οι ερευνητές δημιούργησαν εκατοντάδες ομοιώματα ποντικών τα οποία έβαψαν με σπρέι για να μοιάζουν είτε με τον ποντικό της παραλίας είτε με αυτόν της ενδοχώρας, έτσι ώστε να διαθέτουν μόνον ως προς το χρωματικό πρότυπο του τριχώματος. Τοποθέτησαν στη συνέχεια με τυχαίο τρόπο ισάριθμα ανοιχτόχρωμα και σκουρόχρωμα ομοιώματα και στα δύο ενδιαίτηματα, και τα άφησαν εκεί για μία νύχτα. Τα ομοιώματα που έμοιαζαν με τους γηγενείς ποντικούς του ενδιαίτηματος αποτέλεσαν την ομάδα ελέγχου (λόγου χάρι, στο παραλιακό ενδιαίτημα, ομά-

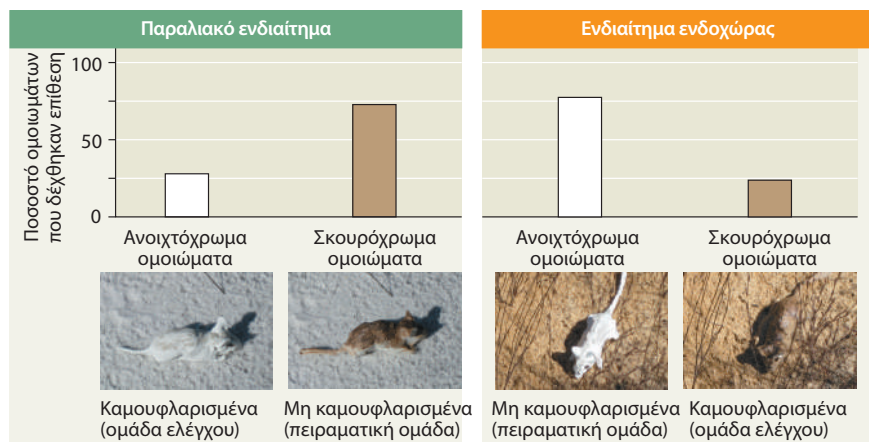
δα ελέγχου ήταν τα ανοιχτόχρωμα ομοιώματα), ενώ τα ομοιώματα με το μη γηγενές χρωματικό πρότυπο αποτέλεσαν την πειραματική ομάδα (φέρ' ειπείν, στο παραλιακό ενδιαίτημα, πειραματική ομάδα ήταν τα πιο σκουρόχρωμα ομοιώματα). Το επόμενο πρωινό, η ομάδα μέτρησε και κατέγραψε τα σημάδια από συμβάντα θήρευσης, τα οποία ποίκιλλαν, από απλά δαγκώματα και ίχνη χαρακιών μέχρι ολοκληρωτικό αφανισμό. Από δε το σχήμα των δηγμάτων και τις πατημασιές των θηρευτών γύρω από τις πειραματικές τοποθεσίες, κρίθηκε ότι οι θηρευτές περιλάμβαναν περίπου ίδιο αριθμό θηλαστικών (π.χ. αλεπούδες και κογιότ) και πτηνών (π.χ. κουκουβάγιες, ερωδιοί και γεράκια).

### ▼ Εικόνα 1.25 Διερεύνηση

#### Επηρεάζει το καμουφλάζ τα ποσοστά θήρευσης των δύο πληθυσμών ποντικών;

**Πείραμα** Η Hopi Hoekstra και οι συνεργάτες της έλεγξαν την εξής υπόθεση: ότι το χρωματικό πρότυπο του τριχώματος των ποντικών *Peromyscus polionotus* παρέχει ένα είδος καμουφλάζ το οποίο προστατεύει τους πληθυσμούς που ζουν στην παραλία και στην ενδοχώρα από τη θήρευση. Οι ερευνητές έβαψαν με σπρέι ομοιώματα ποντικών, είτε με ανοιχτόχρωμο είτε με σκουρόχρωμο πρότυπο, έτσι ώστε να ταιριάζουν με τα χρωματικά πρότυπα των γηγενών ποντικών της παραλίας και της ενδοχώρας, και κατόπιν τοποθέτησαν ομοιώματα και με τα δύο χρωματικά πρότυπα σε αμφοτέρωτα τα ενδιαίτηματα. Το επόμενο πρωινό, μέτρησαν τα ομοιώματα που είχαν υποστεί επίθεση ή εξαφανιστεί.

**Αποτελέσματα** Σε κάθε ενδιαίτημα οι ερευνητές υπολόγισαν το ποσοστό των ομοιωμάτων που είχαν δεχθεί επίθεση και τα οποία ήταν είτε καμουφλαρισμένα είτε μη καμουφλαρισμένα. Διαπίστωσαν ότι, και στα δύο ενδιαίτηματα, τα ομοιώματα των οποίων το χρωματικό πρότυπο δεν ταιριάζει με το περιβάλλον τους είχαν υποστεί πολύ περισσότερη θήρευση απ' ό,τι εκείνα που ήταν καμουφλαρισμένα.



**Συμπέρασμα** Τα αποτελέσματα του πειράματος συνάδουν με την πρόβλεψη των ερευνητών ότι τα ομοιώματα με χρώμα τριχώματος που προσφέρει καμουφλάζ δέχονται επίθεση λιγότερο συχνά απ' ό,τι τα μη καμουφλαρισμένα. Επομένως, το πείραμα υποστηρίζει την υπόθεση περί καμουφλάζ.

**Δεδομένα από** S. N. Vignieri, J. G. Larson, and H. E. Hoekstra. The selective advantage of crypsis in mice. *Evolution* 64:2153-2158 (2010).

**ΕΡΜΗΝΕΥΣΤΕ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ** Οι ράβδοι δείχνουν το ποσοστό των ομοιωμάτων που δέχθηκαν επίθεση και τα οποία ήταν είτε ανοιχτόχρωμα είτε σκουρόχρωμα. Υποθέστε ότι, σε κάθε ενδιαίτημα, επίθεση δέχθηκαν 100 ποντικοί-ομοιώματα. Στο παραλιακό ενδιαίτημα πόσα ομοιώματα ήταν ανοιχτόχρωμα; Και πόσα σκουρόχρωμα; Απαντήστε στα ίδια ερωτήματα για την περίπτωση του ενδιαίτηματος της ενδοχώρας. Υποστηρίξτε την υπόθεση περί καμουφλάζ τα αποτελέσματα του πειράματος; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

Οι ερευνητές υπολόγισαν κατόπιν το ποσοστό των συμβάντων θήρευσης των καμουφλαρισμένων ποντικών-ομοιωμάτων σε κάθε περιβάλλον. Τα αποτελέσματά τους ήταν ξεκάθαρα: Για τα καμουφλαρισμένα ομοιώματα υπολόγισαν πολύ χαμηλότερα ποσοστά θήρευσης απ' ό,τι για τα μη καμουφλαρισμένα, τόσο στο παραλιακό ενδιαίτημα (όπου λιγότερο ευάλωτοι ήταν οι ανοιχτόχρωμοι ποντικοί) όσο και στο ενδιαίτημα της ενδοχώρας (όπου λιγότερο ευάλωτοι ήταν οι σκουρόχρωμοι ποντικοί). Επομένως, τα δεδομένα τα οποία συνέλεξαν συμφωνούν με την πρόβλεψη που απορρέει από την υπόθεση του καμουφλάζ.

## Μεταβλητές και έλεγχος πειραμάτων

Κατά την εκτέλεση ενός πειράματος, συνήθως ο ερευνητής μεταβάλλει έναν παράγοντα κάποιου συστήματος και παρατηρεί τα αποτελέσματα της μεταβολής αυτής. Το πείραμα για το καμουφλάζ των ποντικών που περιγράφεται στην Εικόνα 1.25 αποτελεί ένα παράδειγμα **πειράματος ελέγχου**, δηλαδή πειράματος που έχει σχεδιαστεί με σκοπό να συγκρίνει μια πειραματική ομάδα (εν προκειμένω, τα μη καμουφλαρισμένα ομοιώματα ποντικών) με μια ομάδα ελέγχου (τα καμουφλαρισμένα ομοιώματα ποντικών). Και ο παράγοντας που ο ερευνητής μεταβάλλει και ο παράγοντας τον οποίο μετρά στη συνέχεια είναι **μεταβλητές**, δηλαδή ένα χαρακτηριστικό ή μια ποσότητα που ποικίλλει σε ένα πείραμα.

Η **ανεξάρτητη μεταβλητή** είναι ο παράγοντας που μεταβάλλει ο ερευνητής (στο παράδειγμά μας, το χρώμα του ομοιώματος). Η **εξαρτημένη μεταβλητή** είναι ο παράγοντας που μετράται και ο οποίος προβλέπεται ότι επηρεάζεται από την ανεξάρτητη μεταβλητή (στο παράδειγμά μας, τα ποσοστά θήρευσης ως απόκριση στην παραλλαγή του χρώματος των ομοιωμάτων).

Σημειωτέον, στο παράδειγμα με τα ομοιώματα, η πειραματική ομάδα και η ομάδα ελέγχου διέφεραν μόνον ως προς μία ανεξάρτητη μεταβλητή: το χρώμα του τριχώματος. Έτσι, οι ερευνητές μπόρεσαν να αποκλείσουν άλλους παράγοντες, όπως το ενδεχόμενο να διαφέρει η θερμοκρασία ή ο αριθμός των θηρευτών στις διαφορετικές πειραματικές περιοχές, ως αίτια για τις πιο συχνές επιθέσεις στους μη καμουφλαρισμένους ποντικούς. Ουσιαστικά, ως αποτέλεσμα του ευφυούς αυτού πειραματικού σχεδιασμού, το χρωματικό πρότυπο του τριχώματος ήταν ο μοναδικός παράγοντας που μπορούσε να ερμηνεύσει τον περιορισμένο αριθμό επιθέσεων στα καμουφλαρισμένα ομοιώματα.

Εδώ αξίζει να αναφέρουμε μια κοινή παρανόηση που υπάρχει, ότι ο όρος *πειράμα ελέγχου* σημαίνει πως οι επιστήμονες καθορίζουν όλα τα χαρακτηριστικά του πειραματικού περιβάλλοντος. Κάτι τέτοιο όμως είναι αδύνατο στις έρευνες πεδίου, ενώ ακόμα και σε ένα αυστηρά ελεγχόμενο εργαστηριακό περιβάλλον μπορεί να αποδειχθεί πολύ δύσκολο. Αυτό που γίνεται συνήθως είναι ότι οι επιστήμονες «ελέγχουν» τις ανεπιθύμητες μεταβλητές όχι με το να τις αποκλείουν μέσω της ρύθμισης των περιβαλλοντικών συνθηκών, αλλά με το να *ακυρώνουν* τις επιδράσεις τους χρησιμοποιώντας ομάδες ελέγχου.

## Επιστημονικές θεωρίες

«Είναι, απλώς, μια θεωρία!» Στην καθομιλουμένη, ο όρος *θεωρία* συχνά σημαίνει μια μη ελεγμένη εικασία. Στην επιστήμη, ωστόσο, ο όρος αυτός έχει διαφορετικό νόημα. Άραγε, τι ακριβώς είναι μια επιστημονική θεωρία και σε τι διαφέρει από μια υπόθεση ή μια απλή εικασία;

Πρώτον, μια επιστημονική **θεωρία** έχει πολύ ευρύτερο πεδίο από μια υπόθεση. Μια υπόθεση είναι η εξής: «Στους ποντικούς, το ταιριαστό με το ενδιαίτημα χρωματικό πρότυπο τριχώματος είναι μια προσαρμογή η οποία τους προστατεύει από τους θηρευτές». Μια θεωρία, όμως, είναι η εξής: «Οι εξελικτικές προσαρμογές είναι αποτέλεσμα της φυσικής επιλογής». Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, η φυσική επιλογή είναι ο εξελικτικός μηχανισμός που ευθύνεται για μια αναρίθμητη ποικιλία προσαρμογών – το χρώμα του τριχώματος των ποντικών δεν είναι παρά ένα μόνο παράδειγμα.

Δεύτερον, μια θεωρία είναι αρκετά γενική ώστε να οδηγεί στη διατύπωση νέων, ελέγξιμων υποθέσεων. Φέρ' ειπείν, η θεωρία της φυσικής επιλογής ενέπνευσε δύο ερευνητές στο Πανεπιστήμιο Princeton, τον Peter και τη Rosemary Grant, να εξετάσουν την ειδικότερη υπόθεση ότι τα ράμφη των σπίνων στα νησιά Galápagos εξελίσσονται ως απόκριση στις αλλαγές στα είδη της διαθέσιμης τροφής. (Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους υποστήριξαν την υπόθεσή τους.)

Και τρίτον, σε γενικές γραμμές, μια θεωρία υποστηρίζεται από πολύ περισσότερες ενδείξεις απ' ό,τι οποιαδήποτε υπόθεση. Λόγου χάρι, η θεωρία της φυσικής επιλογής υποστηρίζεται από τεράστιο αριθμό ενδείξεων (ολοένα αυξανόμενων καθημερινά), και δεν αντικρούεται από κανένα επιστημονικό δεδομένο. Οι επιστημονικές θεωρίες που γίνονται ευρέως αποδεκτές (όπως η θεωρία της φυσικής επιλογής και η θεωρία της βαρύτητας) ερμηνεύουν μια πληθώρα παρατηρήσεων και υποστηρίζονται από έναν τεράστιο όγκο στοιχείων.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί εδώ ότι, μερικές φορές, οι επιστήμονες θα τροποποιήσουν ή ακόμα και θα απορρίψουν μια θεωρία που μέχρι πρότινος ήταν αποδεκτή, αν διαπιστώσουν ότι νέες έρευνες συστηματικά παράγουν αποτελέσματα τα οποία δεν συνάδουν με αυτήν. Επί παραδείγματι, στο παρελθόν οι βιολόγοι ταξινομούσαν τα αρχαία και τα βακτήρια μαζί, στο βασίλειο των Προκαρυωτών. Όταν εν καιρώ μπόρεσαν να χρησιμοποιήσουν νέες μεθόδους σύγκρισης κυττάρων και μορίων προκειμένου να ελέγξουν τέτοιες σχέσεις, συνέλεξαν στοιχεία που τους έκαναν να απορρίψουν τη θεωρία ότι βακτήρια και αρχαία ανήκουν στο ίδιο βασίλειο. Η «αλήθεια» στην επιστήμη, αν υπάρχει, είναι στην καλύτερη περίπτωση μια υπό όρους αλήθεια, η οποία εξαρτάται από τη βαρύτητα των διαθέσιμων ενδείξεων.

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΝΟΙΩΝ ΤΜΗΜΑΤΟΣ 1.3

1. Ποια ποιοτική παρατήρηση οδήγησε στην ποσοτική μελέτη της Εικόνας 1.25;
2. Να αντιπαραβάλετε τον επαγωγικό συλλογισμό με τον παραγωγικό συλλογισμό.

3. Γιατί αποκαλείται θεωρία η φυσική επιλογή;
4. **ΤΙ ΘΑ ΓΙΝΟΤΑΝ ΑΝ...;** Στις ερήμους του Νέου Μεξικού, τα εδάφη είναι κυρίως αμμώδη, με σποραδικές περιοχές μαύρου πετρώματος που προήλθε από ροές λάβας οι οποίες συνέβησαν πριν από περίπου 1.000 χρόνια. Ποντικοί απαντούν και στις αμμώδεις και στις βραχώδεις περιοχές, ενώ οι κουκουβάγιες είναι γνωστοί θηρευτές τους. Τι χρώμα τριχώματος θα αναμένετε να δείτε στους δύο αυτούς πληθυσμούς ποντικών; Εξηγήστε την απάντησή σας. Πώς θα χρησιμοποιούσατε το συγκεκριμένο οικοσύστημα για να ελέγξετε περαιτέρω τη θεωρία του καμουφλάζ;

Για προτεινόμενες απαντήσεις, βλ. Παράρτημα Α.

## ΤΜΗΜΑ 1.4

### Η συνεργασία και η σύνθεση ποικίλων απόψεων ωφελούν την επιστήμη

Στις κινηματογραφικές ταινίες και στα κινούμενα σχέδια, μερικές φορές, οι επιστήμονες παρουσιάζονται ως μοναχικοί τύποι με λευκές εργαστηριακές ποδιές, οι οποίοι εργάζονται σε κάποιο απομονωμένο εργαστήριο. Στην πραγματικότητα, όμως, η επιστήμη είναι μια εξαιρετικά κοινωνική δραστηριότητα. Οι περισσότεροι επιστήμονες δουλεύουν σε ομάδες, που συχνά περιλαμβάνουν προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές. Εξού και η ικανότητα στην επικοινωνία αποτελεί εφόδιο για έναν επιστήμονα, ώστε να έχει μια επιτυχημένη σταδιοδρομία. Συν τοις άλλοις, κανένα ερευνητικό αποτέλεσμα δεν έχει αντίκτυπο έως ότου κοινοποιηθεί σε μια κοινότητα επιστημόνων, μέσω σεμιναρίων, δημοσιεύσεων, αναρτήσεων σε ιστότοπους κ.λπ. Στην πραγματικότητα, καμία ερευνητική εργασία δεν δημοσιεύεται αν προηγουμένως δεν ελεγχθεί από συναδέλφους, με μια διαδικασία γνωστή ως *αξιολόγηση από ομοτίμους*. (Σημειωτέον, όλα τα παραδείγματα επιστημονικής διερεύνησης που περιγράφονται στο βιβλίο αυτό έχουν δημοσιευτεί σε περιοδικά που εφαρμόζουν την αξιολόγηση από ομοτίμους.)

#### «Χτίζοντας» πάνω στο έργο άλλων

Ο σπουδαίος επιστήμονας Ισαάκ Νεύτωνας είπε κάποτε: «Η ερμηνεία ολόκληρης της φύσης είναι ένα έργο πολύ δύσκολο για οποιονδήποτε άνθρωπο ή ακόμα και για οποιαδήποτε εποχή. Είναι πολύ καλύτερο να κάνεις λίγα με σιγουριά, και να αφήσεις τα υπόλοιπα για άλλους που θα έρθουν μετά από εσένα». Είναι βέβαιο ότι κάθε άνθρωπος που γίνεται επιστήμονας, παρακινούμενος από μια περιέργεια για το πώς λειτουργεί η φύση, επωφελείται σε τεράστιο βαθμό από την πλούσια παρακαταθήκη ανακαλύψεων που έχουν αφήσει άλλοι επιστήμονες πριν από αυτόν. Το πείραμα της Horii Hoekstra, παραδείγματος χάριν, βασίστηκε στο έργο ενός άλλου ερευνητή, του D. W. Kaufman, που έγινε 40 χρόνια νωρίτερα. (Στην **Εξάσκηση επιστημονικών δεξιοτήτων** μπορείτε να μελετήσετε τον σχεδιασμό του πειράματος του Kaufman και να ερμηνεύσετε τα αποτελέσματά του.)

Τα επιστημονικά αποτελέσματα ελέγχονται διαρκώς, μέσω της επανάληψης πειραμάτων και παρατηρήσεων. Πολύ συχνά, επιστήμονες που εργάζονται πάνω στο ίδιο ερευνητικό αντικείμενο ελέγχουν ο ένας τους ισχυρισμούς του άλλου, σε μια προσπάθεια να επιβεβαιώσουν παρατηρήσεις ή να επαναλάβουν πειράματα. Η αποτυχία επανάληψης ενός επιστημονικού ευρήματος από συναδέλφους επιστήμονες ενδέχεται να αντανακλά κάποια αδυναμία του αρχικού ισχυρισμού, ο οποίος, ως εκ τούτου, θα πρέπει να αναθεωρηθεί. Υπ' αυτή την έννοια, η επιστήμη «αυτοεπιτηρείται». Η ακεραιότητα και η προσήλωση στα βέλτιστα πρότυπα σε ό,τι αφορά την καταγραφή των ευρημάτων είναι θεμελιώδους σημασίας σε κάθε επιστημονικό εγχείρημα, αφού η εγκυρότητα των πειραματικών δεδομένων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τον σχεδιασμό νέων ερευνητικών κατευθύνσεων.

Δεν είναι καθόλου ασυνήθιστο αρκετοί επιστήμονες να επικεντρώνονται στο ίδιο επιστημονικό ερώτημα. Υπάρχουν επιστήμονες που απολαμβάνουν την πρόκληση να είναι οι πρώτοι που θα κάνουν μια σημαντική ανακάλυψη ή ένα σημαντικό πείραμα, και άλλοι οι οποίοι αποκομίζουν μεγαλύτερη ικανοποίηση από τη συνεργασία με συναδέλφους που ασχολούνται με το ίδιο πρόβλημα.

Η συνεργασία μεταξύ των επιστημόνων διευκολύνεται όταν χρησιμοποιείται ο ίδιος οργανισμός. Τις περισσότερες φορές, πρόκειται για έναν ευρέως χρησιμοποιούμενο **οργανισμό-μοντέλο**, δηλαδή ένα είδος που αναπτύσσεται εύκολα στο εργαστήριο και είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για τη μελέτη των υπό διερεύνηση ερωτημάτων. Επειδή μάλιστα όλα τα είδη συγγενεύουν εξελικτικά, ένας τέτοιος οργανισμός μπορεί να αξιοποιηθεί ως μοντέλο για την κατανόηση της βιολογίας και των ασθενειών άλλων ειδών. Φέρ' ειπείν, οι γενετικές μελέτες στη μύγα των φρούτων (*Drosophila melanogaster*) μας έχουν μάθει πολλά για το πώς λειτουργούν τα γονίδια σε άλλα είδη, ακόμα και στον άνθρωπο. Άλλοι ευρέως χρησιμοποιούμενοι οργανισμοί-μοντέλα είναι το φυτό αραβίδοψη (*Arabidopsis thaliana*), ο νηματώδης σκόληκας (*Caenorhabditis elegans*), το ψάρι-ζέβρα (*Danio rerio*), ο σταχτοποντικός (*Mus musculus*) και το βακτήριο *Escherichia coli*. Καθώς θα διαβάσετε το βιβλίο, θα διαπιστώσετε και μόνοι σας πόσο σημαντική είναι η συμβολή αυτών και άλλων οργανισμών-μοντέλων στη μελέτη της ζωής.

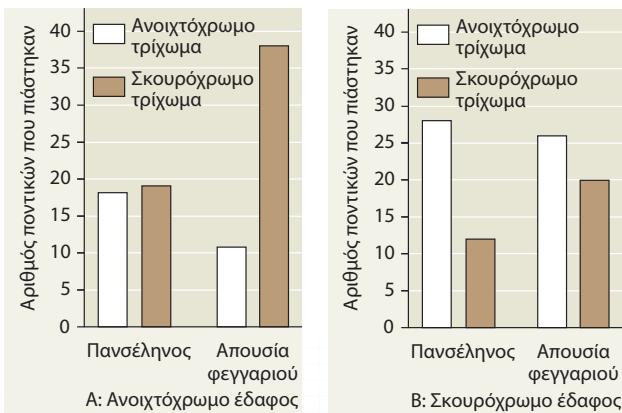
Πολλές φορές, οι βιολόγοι προσεγγίζουν τα ίδια ενδιαφέροντα ερωτήματα από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Ορισμένοι εστιάζουν το ενδιαφέρον τους στα οικοσυστήματα, ενώ άλλοι μελετούν τα φυσικά φαινόμενα σε επίπεδο οργανισμών ή κυττάρων. Το βιβλίο αυτό χωρίζεται σε ενότητες που εξετάζουν τη βιολογία σε διαφορετικά επίπεδα και διερευνούν ποικίλα προβλήματα μέσω διαφορετικών προσεγγίσεων. Δεν θα πρέπει, ωστόσο, να ξεχνάτε ότι οποιοδήποτε πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί από πολλές οπτικές γωνίες, που στην πραγματικότητα συμπληρώνουν η μία την άλλη. Η Hoekstra, λόγου χάριν, δεν πραγματοποίησε μονάχα μελέτες πεδίου που έδειξαν ότι το χρωματικό πρότυπο του τριχώματος μπορεί να επηρεάσει τους ρυθμούς θήρευσης, αλλά εκπόνησε και εργαστηριακές μελέτες οι οποίες αποκάλυψαν τουλάχιστον μία γενετική μετάλλαξη που επιβεβαιώνει

## Ερμηνεύοντας συγκριτικά γραφήματα ράβδων

Πόσο επηρεάζει το καμουφλάζ τη θήρευση των ποντικών από κουκουβάγιες, παρουσία και απουσία σεληνόφωτος; Ο D. W. Kaufman διατύπωσε την υπόθεση ότι ο βαθμός της αντίθεσης μεταξύ του χρώματος του τριχώματος ενός ποντικού και του χρώματος του περιβάλλοντός του επηρεάζει το ποσοστό της νυχτερινής θήρευσης από τις κουκουβάγιες. Υπέθεσε επίσης ότι η αντίθεση αυτή επηρεάζεται από την ένταση του σεληνόφωτος. Στην παρούσα άσκηση, θα αναλύσετε τα δεδομένα από τις μελέτες του Kaufman για τη θήρευση ποντικών από κουκουβάγιες με τις οποίες έλεγξε την ισχύ των παραπάνω υποθέσεων.

**Πώς έγινε το πείραμα** Ζεύγη ποντικών (*Peromyscus polionotus*) με διαφορετικό χρώμα τριχώματος, ένα με ανοιχτό καφέ και ένα με σκούρο καφέ, απελευθερώνονταν ταυτόχρονα σε έναν περικλειστο χώρο στον οποίο υπήρχε μια πεινασμένη κουκουβάγια. Ο ερευνητής κατέγραφε το χρώμα του ποντικού που έπιανε πρώτο η κουκουβάγια. Στις περιπτώσεις που η κουκουβάγια δεν έπιανε κανέναν από τους δύο ποντικούς μέσα σε δεκαπέντε λεπτά, το πείραμα καταγραφόταν ως «μηδενικό». Οι δοκιμές απελευθέρωσης επαναλήφθηκαν πολλές φορές σε περικλειστούς χώρους που είχαν είτε σκουρόχρωμη είτε ανοιχτόχρωμη επιφάνεια εδάφους. Κατά τη διάρκεια κάθε δοκιμής καταγραφόταν επίσης η παρουσία ή η απουσία σεληνόφωτος.

### Τα δεδομένα από το πείραμα



**Δεδομένα από:** D. W. Kaufman. Adaptive coloration in *Peromyscus polionotus*: Experimental selection by owls. *Journal of Mammalogy* 55:271-283 (1974).

### ΕΡΜΗΝΕΥΣΤΕ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

1. Βεβαιωθείτε κατ' αρχάς ότι καταλαβαίνετε τι ακριβώς απεικονίζουν τα γραφήματα. Το γράφημα Α παρουσιάζει δεδομένα από τον περικλειστο χώρο με το ανοιχτόχρωμο έδαφος,

τις διαφορές στο χρώμα ανάμεσα στους ποντικούς της παραλίας και της ενδοχώρας. Στο εργαστήριό της, μάλιστα, δουλεύουν βιολόγοι που εξειδικεύονται σε διαφορετικά βιολογικά επίπεδα, γεγονός το οποίο επιτρέπει να συσχετιστούν οι εξελικτικές προσαρμογές που την ενδιαφέρουν με τη μοριακή τους βάση στις αλληλουχίες του DNA.

Κι εσείς οι ίδιοι, ως φοιτητές βιολογίας, θα επωφεληθείτε σε μεγάλο βαθμό εάν αρχίσετε να κάνετε συσχετίσεις ανάμεσα στα διαφορετικά βιολογικά επίπεδα. Τούτη την ικανότητα μπορείτε να την αναπτύξετε αν αρχίσετε

ενώ το Β από τον περικλειστο χώρο με το σκουρόχρωμο έδαφος, όμως ως προς όλα τα υπόλοιπα στοιχεία τους, τα δύο γραφήματα είναι πανομοιότυπα. (α) Στα γραφήματα αυτά υπάρχουν περισσότερες από μία ανεξάρτητες μεταβλητές. Ποιες είναι αυτές οι ανεξάρτητες μεταβλητές, οι μεταβλητές δηλαδή που έλεγξε ο ερευνητής; Σε ποιον άξονα των γραφημάτων αναπαρίστανται οι ανεξάρτητες μεταβλητές; (β) Ποια είναι η εξαρτημένη μεταβλητή, η απόκριση δηλαδή στις μεταβλητές που ελέγχθηκαν; Σε ποιον άξονα των γραφημάτων απεικονίζεται η εξαρτημένη μεταβλητή;



- (α) Πόσοι σκούροι καφέ ποντικοί πιάστηκαν στον περικλειστο χώρο με το ανοιχτόχρωμο έδαφος, σε συνθήκες πανσελήνου; (β) Πόσοι σκούροι καφέ ποντικοί πιάστηκαν στον περικλειστο χώρο με το σκουρόχρωμο έδαφος, σε συνθήκες πανσελήνου; (γ) Μια νύχτα με πανσέληνο, πού θα ήταν πιθανότερο να διαφύγει της θήρευσης από τις κουκουβάγιες ένας σκούρος καφέ ποντικός; στο σκουρόχρωμο ή στο ανοιχτόχρωμο έδαφος; Εξηγήστε την απάντησή σας.
- (α) Πότε είναι πιθανότερο να αποφύγει τη θήρευση ένας σκούρος καφέ ποντικός στο σκουρόχρωμο έδαφος; σε συνθήκες πανσελήνου ή απουσίας φεγγαριού; (β) Τι θα ίσχυε αντίστοιχα για έναν ανοιχτό καφέ ποντικό στο ανοιχτόχρωμο έδαφος; Εξηγήστε την απάντησή σας.
- (α) Κάτω από ποιες συνθήκες ένας σκούρος καφέ ποντικός είναι πιθανότερο να αποφύγει τη θήρευση στη διάρκεια της νύχτας; (β) Ένας ανοιχτός καφέ ποντικός;
- (α) Ποιος συνδυασμός ανεξάρτητων μεταβλητών οδήγησε στο υψηλότερο ποσοστό θήρευσης στους περικλειστούς χώρους με το ανοιχτόχρωμο έδαφος; (β) Ποιος συνδυασμός ανεξάρτητων μεταβλητών οδήγησε στο υψηλότερο ποσοστό θήρευσης στους περικλειστούς χώρους με το σκουρόχρωμο έδαφος;
- Λαμβάνοντας υπόψη τις απαντήσεις σας στο ερώτημα 5, δώστε μια απλή περιγραφή των συνθηκών που είναι ιδιαίτερα θανατηφόρες για τους ανοιχτόχρωμους και τους σκουρόχρωμους ποντικούς.
- Συνδυάζοντας τα δεδομένα και από τα δύο γραφήματα, εκτιμήστε τον αριθμό των ποντικών που πιάστηκαν σε συνθήκες παρουσίας και απουσίας σεληνόφωτος. Ποια συνθήκη είναι βέλτιστη για τη θήρευση από την κουκουβάγια; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

να παρατηρείτε ποια θέματα εμφανίζονται ξανά και ξανά σε διαφορετικές ενότητες του βιβλίου. Ένα τέτοιο θέμα είναι η δρεπανοκυτταρική αναιμία, μια γενετική ασθένεια που έχει μελετηθεί εκτενώς και η οποία είναι πολύ συχνή στους αυτόχθονες κατοίκους της Αφρικής και άλλων θερμών περιοχών, αλλά και στους απογόνους τους. Θα ασχοληθούμε με τη συγκεκριμένη ασθένεια σε αρκετές ενότητες του βιβλίου, αλλά κάθε φορά σε διαφορετικό επίπεδο. Κρατήστε δε κατά νου ότι οι εικόνες που έχουν την επισήμανση «ΣΥΣΧΕΤΙΣΤΕ» συνδέουν το περιεχόμενο διαφορετικών κεφαλαίων, ενώ οι ερωτήσεις

που τις συνοδεύουν σας καλούν να κάνετε μόνοι σας τις συσχετίσεις. Ευελπιστούμε ότι όλα αυτά θα σας βοηθήσουν να αφομοιώσετε καλύτερα την ύλη του βιβλίου και να απολαύσετε εν γένει την επιστήμη της βιολογίας, ενθαρρύνοντάς σας να έχετε πάντα κατά νου τη «μεγάλη εικόνα».

## Επιστήμη, τεχνολογία και κοινωνία

Η κοινότητα των ερευνητών αποτελεί κομμάτι της ευρύτερης κοινωνίας· και η σχέση επιστήμης και κοινωνίας γίνεται σαφέστερη εάν στην εικόνα συμπεριλάβουμε επίσης την τεχνολογία (βλ. Εικόνα 1.23). Επιστήμη και τεχνολογία χρησιμοποιούν ενίοτε παραπλήσιες μεθόδους έρευνας, αποσκοπούν όμως σε διαφορετικά πράγματα. Σκοπός της μεν επιστήμης είναι η κατανόηση των φυσικών φαινομένων, της δε **τεχνολογίας** η *εφαρμογή* των επιστημονικών γνώσεων για την επίτευξη συγκεκριμένου αποτελέσματος. Βέβαια, επειδή στην έρευνά τους οι επιστήμονες εφαρμόζουν τις νέες τεχνολογίες που κατά καιρούς εφευρίσκονται, είναι προφανές ότι μεταξύ της επιστήμης και της τεχνολογίας υπάρχει σχέση αλληλεξάρτησης.

Ο αποτελεσματικός συνδυασμός επιστήμης και τεχνολογίας έχει τεράστιο αντίκτυπο στην κοινωνία. Μερικές φορές, οι εφαρμογές της βασικής έρευνας που αποδεικνύονται οι πλέον ωφέλιμες εμφανίζονται ξαφνικά, μέσα από εντελώς αναπάντεχες παρατηρήσεις. Λόγου χάρι, η ανακάλυψη της δομής του DNA από τους Watson και Crick το 1953 και τα συνακόλουθα επιτεύγματα στην επιστήμη του DNA οδήγησαν στην επινόηση τεχνικών τροποποίησης του DNA οι οποίες συνεχίζουν να μετασχηματίζουν πεδία εφαρμοσμένων επιστημών όπως η ιατρική, η γεωργία και η εγκληματολογία (Εικόνα 1.26). Ίσως οι Watson και Crick να είχαν οραματιστεί ότι η ανακάλυψή τους θα οδηγούσε κάποια μέρα σε σημαντικές εφαρμογές· είναι όμως απίθανο ότι θα μπορούσαν να έχουν προβλέψει ποιες ακριβώς.

Οι κατευθύνσεις προς τις οποίες κινείται η τεχνολογία εξαρτώνται λιγότερο από την περιέργεια που ωθεί τη βασική επιστήμη και περισσότερο από τις τρέχουσες ανάγκες και τις επιθυμίες των ανθρώπων, αλλά και από το κοινωνικό γίνεσθαι κάθε εποχής. Οι δημόσιες συζητήσεις σε ό,τι αφορά τη χρήση της τεχνολογίας εστιάζονται περισσότερο στο ερώτημα «πρέπει να το κάνουμε;», παρά στο «μπορούμε να το κάνουμε;» Προφανώς, η τεχνολογική πρόοδος συνοδεύεται και από δύσκολες επιλογές. Παραδείγματος χάριν, υπό ποιες προϋποθέσεις είναι αποδεκτή η χρήση της τεχνολογίας DNA για να διερευνηθεί αν συγκεκριμένα άτομα φέρουν γονίδια υπεύθυνα για κληρονομούμενες ασθένειες; Θα πρέπει να είναι εθελοντικοί αυτοί οι έλεγχοι ή μήπως υπάρχουν και καταστάσεις στις οποίες θα πρέπει να γίνονται υποχρεωτικά; Θα μπορούν οι ασφαλιστικές εταιρείες και η εργοδοσία να έχουν πρόσβαση σε τέτοιες πληροφορίες, όπως συμβαίνει για άλλα είδη προσωπικών δεδομένων που αφορούν την υγεία; Η ανάγκη να απαντηθούν τέτοια ερωτήματα γίνεται όλο και πιο επιτακτική, καθώς η αλληλούχηση ατομικών γονιδιωμάτων γίνεται διαρκώς ταχύτερη και πιο οικονομική.

▼ **Εικόνα 1.26** **Τεχνολογία DNA και εγκληματολογία.** Από το 1992, μέσω του Προγράμματος «Αθωότητα» (Innocence Project), η εργαστηριακή ανάλυση δειγμάτων DNA από τόπους εγκλημάτων έχει χρησιμοποιηθεί για να αθωωθούν περισσότεροι από 360 φυλακισμένοι που είχαν καταδικαστεί άδικα. Οι περισσότεροι είχαν ήδη εκτίσει πολλά χρόνια φυλάκισης. Αν θέλετε να μάθετε στοιχεία για τους τέσσερις ανθρώπους της εικόνας, οι οποίοι βρέθηκαν αθώοι, επισκεφτείτε την ιστοσελίδα του Προγράμματος «Αθωότητα».



John White



Lynn DeJac



Clemente Aguirre-Jarquín



Michael Morton

Τα ηθικά ζητήματα που ανακύπτουν από τέτοια ερωτήματα δεν αφορούν μονάχα την επιστήμη και την τεχνολογία, αλλά και την πολιτική, την οικονομία και τις πολιτισμικές αξίες. Όλοι οι πολίτες—όχι μόνον οι επιστήμονες— οφείλουν να είναι ενήμεροι για το πώς λειτουργεί η επιστήμη, αλλά και για το ποια είναι τα πιθανά οφέλη και οι κίνδυνοι από τη χρήση της τεχνολογίας. Σε κάθε περίπτωση, η σχέση μεταξύ επιστήμης, τεχνολογίας και κοινωνίας αυξάνει το ενδιαφέρον, αλλά και την αξία κάθε μαθήματος Βιολογίας.

## Η σημασία των διαφορετικών απόψεων στην επιστήμη

Πολλές από τις τεχνολογικές καινοτομίες με τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στην κοινωνία μας προήλθαν από ανθρώπους που ζούσαν σε οικισμούς κατά μήκος εμπορικών οδών, στους οποίους ένα «κράμα» πολιτισμών πυροδότησε την εμφάνιση νέων ιδεών. Το τυπογραφικό πιεστήριο, το οποίο συνέβαλε στη διάδοση της γνώσης σε όλες τις κοινωνικές τάξεις, αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα: Γύρω στο 1440, το εφηύρε ο Γερμανός Ιωάννης Γουτεμβέργιος, στηριζόμενος σε προγενέστερες εφευρέσεις που είχαν γίνει στην Κίνα, μεταξύ άλλων στο χαρτί και το μελάνι. Το χαρτί ταξίδεψε μέσω των εμπορικών οδών από την Κίνα στη Βαγδάτη, όπου αναπτύχθηκε η τεχνολογία για τη μαζική παραγωγή του. Αργότερα η τεχνολογία αυτή μεταφέρθηκε στην Ευρώπη—το ίδιο συνέβη και με το υδατικό μελάνι από την Κίνα, το οποίο τροποποιήθηκε από τον Γουτεμβέργιο σε μελάνι λαδιού. Επομένως, οφείλουμε να αναγνωρίσουμε την τεράστια συμβολή που είχε η αλληλεπίδραση διαφορετικών πολιτισμών στη δημιουργία του τυπογραφικού πιεστηρίου και αρκετών άλλων καινοτομιών.

Αντίστοιχα, η ποικιλία απόψεων και ειδικοτήτων μεταξύ των επιστημόνων ωφελεί την ίδια την επιστήμη.



Άραγε, όμως, πόσο ποικίλη είναι η επιστημονική κοινότητα σε ό,τι αφορά το φύλο, τη φυλή, την εθνικότητα και άλλα γνωρίσματα;

Στην πραγματικότητα, η επιστημονική κοινότητα αντανακλά τα πολιτισμικά και τα συμπεριφορικά πρότυπα της κοινωνίας στην οποία ανήκει. Κατά συνέπεια, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι μέχρι πρόσφατα, σε πολλά κράτη του κόσμου, οι γυναίκες, οι έγχρωμοι και άλλες υποεκπροσωπούμενες ομάδες αντιμετώπιζαν τεράστια εμπόδια στην επιδίωξή τους να γίνουν επαγγελματίες επιστήμονες. Τα τελευταία 50 χρόνια, βέβαια, έχει αλλάξει ο τρόπος που επιλέγει κανείς καριέρα και έχει αυξηθεί το ποσοστό των γυναικών στη Βιολογία και κάποιους άλλους επιστημονικούς τομείς, με αποτέλεσμα σήμερα περίπου οι μισοί προπτυχιακοί φοιτητές και υποψήφιοι διδάκτορες Βιολογίας να είναι γυναίκες.

Η πρόοδος, ωστόσο, είναι πιο αργή σε ό,τι αφορά τα υψηλόβαθμα επαγγελματικά πόστα· οι γυναίκες, όπως και πολλές φυλετικές και εθνοτικές ομάδες, εξακολουθούν να υποεκπροσωπούνται σημαντικά σε πολλούς κλάδους της επιστήμης και της τεχνολογίας. Και τούτη η έλλειψη ποικιλότητας εμποδίζει εν γένει την πρόοδο της επιστήμης. Άλλωστε, όσο περισσότερες φωνές ακούγο-

νται, τόσο πιο πετυχημένη, πολύτιμη και παραγωγική θα είναι η συνδιαλλαγή μεταξύ των επιστημόνων. Οι συγγραφείς του ανά χείρας βιβλίου θα ήθελαν, λοιπόν, να καλωσορίσουν όλους τους φοιτητές και τις φοιτήτριες στην κοινότητα των βιολόγων και να τους ευχηθούν να γνωρίσουν τις χαρές και την ικανοποίηση που χαρίζει ο συναρπαστικός αυτός κλάδος της επιστήμης.

#### ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΝΟΙΩΝ ΤΜΗΜΑΤΟΣ 1.4

1. Σε τι διαφέρει η επιστήμη από την τεχνολογία;
2. **ΣΥΣΧΕΤΙΣΤΕ** Η ποσοστιαία συχνότητα εμφάνισης του γονιδίου που προκαλεί τη δρεπανοκυτταρική αναιμία είναι μεγαλύτερη στους κατοίκους της υποσαχάριας Αφρικής απ' ό,τι στους αφρικανικής καταγωγής κατοίκους των ΗΠΑ. Το συγκεκριμένο γονίδιο, παρόλο που προκαλεί δρεπανοκυτταρική αναιμία, παρέχει και κάποιον βαθμό ανθεκτικότητας στην ελονοσία, μια σοβαρή ασθένεια η οποία είναι πολύ συχνή στην υποσαχάρια Αφρική, αλλά σπάνια στις ΗΠΑ. Περιγράψτε μια εξελικτική διαδικασία που θα μπορούσε να εξηγήσει τις διαφορετικές ποσοστιαίες συχνότητες εμφάνισης του εν λόγω γονιδίου μεταξύ των κατοίκων των δύο περιοχών. (Βλ. Τμήμα 1.2.)

*Για προτεινόμενες απαντήσεις, βλ. Παράρτημα Α.*

## Κεφάλαιο 1 Επανάληψη



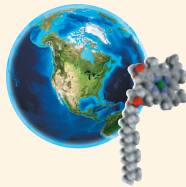
### ΣΥΝΟΨΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ

#### ΤΜΗΜΑ 1.1

**Η μελέτη της ζωής αποκαλύπτει ενοποιητικά θέματα** (σελ. 2-11)

**Θέμα «Οργάνωση»:** Σε κάθε διαδοχικό επίπεδο βιολογικής οργάνωσης αναδύονται νέες ιδιότητες

- Η ιεραρχία της ζωής ξεδιπλώνεται ως εξής: Βιόσφαιρα > οικοσύστημα > βιοκοινότητα > πληθυσμός > οργανισμός > σύστημα οργάνων > όργανο > ιστός > κύτταρο > κυτταρικό οργανίδιο > μόριο > άτομο. Ξεκινώντας από το άτομο, σε κάθε βήμα προς τα πάνω προκύπτουν νέες **αναδιδόμενες ιδιότητες** ως αποτέλεσμα των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μερών στα κατώτερα επίπεδα. Με μια προσέγγιση που ονομάζεται αναγωγισμός, πολύπλοκα συστήματα διασπώνται σε απλούστερα μέρη, τα οποία μπορούν να μελετηθούν ευκολότερα. Στη **συστημική βιολογία**, οι επιστήμονες προσπαθούν να μοντελοποιήσουν τη δυναμική συμπεριφορά ολόκληρων βιολογικών συστημάτων μελετώντας τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα μέρη του συστήματος.
- Δομή και λειτουργία συσχετίζονται σε όλα τα επίπεδα της βιολογικής οργάνωσης. Το κύτταρο, η θεμελιώδης δομική και λειτουργική μονάδα ενός οργανισμού, αποτελεί το κατώτερο επίπεδο οργάνωσης που μπορεί να επιτελέσει όλες



τις απαραίτητες δραστηριότητες της ζωής. Τα κύτταρα είναι είτε προκαρυωτικά είτε ευκαρυωτικά. Τα **ευκαρυωτικά κύτταρα** έχουν οργανίδια που περιβάλλονται από μεμβράνη, όπως είναι ο πυρήνας, ο οποίος περιέχει το DNA. Τα **προκαρυωτικά κύτταρα** δεν έχουν τέτοια οργανίδια.

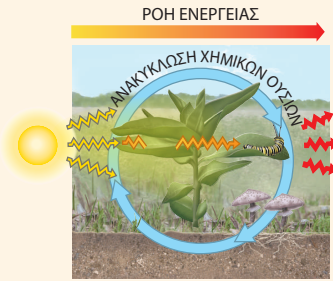
**Θέμα «Πληροφορία»:** Οι διεργασίες της ζωής ενέχουν έκφραση και μεταβίβαση γενετικών πληροφοριών

- Οι γενετικές πληροφορίες είναι κωδικοποιημένες στις αλληλουχίες νουκλεοτιδίων του **DNA**. Το DNA είναι αυτό που μεταβιβάζει τις κληρονομήσιμες πληροφορίες από τους γονείς στους απογόνους. Αλληλουχίες του DNA (που ονομάζονται **γονίδια**) προγραμματίζουν την παραγωγή πρωτεϊνών ενός κυττάρου με τη μεταγραφή τους σε μόρια mRNA, που στη συνέχεια μεταφράζονται σε πρωτεΐνες – η διεργασία αυτή ονομάζεται **γονιδιακή έκφραση**. Μέσω της γονιδιακής έκφρασης παράγονται επίσης μόρια RNA που δεν μεταφράζονται σε πρωτεΐνη, εξυπηρετούν όμως άλλες σημαντικές λειτουργίες. **Γονιδιακή** είναι η μεγάλης κλίμακας ανάλυση των αλληλουχιών DNA ενός είδους (εν ολίγοις, του γονιδιώματός του), καθώς και η σύγκριση γονιδιωμάτων από διαφορετικά είδη. Για τη διαχείριση του τεράστιου όγκου δεδομένων που προκύπτει από την αλληλούχηση χρησιμοποιούνται υπολογιστικά εργαλεία **βιοπληροφορικής**.



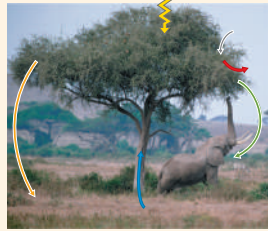
**Θέμα «Ενέργεια και ύλη»: Η ύπαρξη ζωής προϋποθέτει μεταφορά και μετατροπή ενέργειας, αλλά και ανακύκλωση ύλης**

- Σε ένα οικοσύστημα η ενέργεια ρέει. Όλοι οι οργανισμοί πρέπει να εκτελέσουν έργο, οπότε απαιτούν ενέργεια. Οι **παραγωγοί** οργανισμοί μετατρέπουν την ενέργεια του ηλιακού φωτός σε χημική ενέργεια, μέρος της οποίας χρησιμοποιείται από τους ίδιους και από τους **καταναλωτές** για την εκτέλεση έργου, και τελικά χάνεται από το οικοσύστημα με τη μορφή θερμότητας. Οι χημικές ουσίες ανακυκλώνονται μεταξύ των οργανισμών και του περιβάλλοντος.



**Θέμα «Αλληλεπιδράσεις»: Οι αλληλεπιδράσεις είναι σημαντικές για τα βιολογικά συστήματα σε όλα τα επίπεδα της ζωής, από τα μόρια μέχρι τα οικοσυστήματα**

- Στην **αναδραστική ρύθμιση**, μια διαδικασία ρυθμίζεται από το τελικό της προϊόν. Στην αρνητική ανάδραση, η συσσώρευση του τελικού προϊόντος επιβραδύνει την παραγωγή του. Στη θετική ανάδραση, το τελικό προϊόν επιταχύνει την παραγωγή του.
- Οι οργανισμοί αλληλεπιδρούν συνεχώς με αβιοτικούς παράγοντες. Τα φυτά προσλαμβάνουν ανόργανα θρεπτικά συστατικά από το έδαφος και χημικές ουσίες από τον αέρα, ενώ χρησιμοποιούν ενέργεια από τον ήλιο.

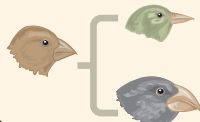


- *Σκεφτείτε τους μυς και τα νεύρα του χεριού σας: Πώς η δραστηριότητα της αποστολής ενός μηνύματος με το κινητό σας τηλέφωνο αντανακλά τα τέσσερα εννοιολογικά θέματα της βιολογίας που περιγράψαμε στο Τμήμα 1.1;*

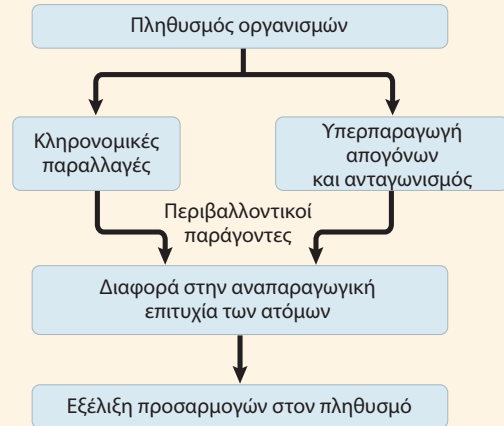
**ΤΜΗΜΑ 1.2**

**Το κυρίαρχο θέμα: Η ομοιογένεια όσο και η ποικιλομορφία των έμβιων όντων οφείλονται στην εξέλιξη (σελ. 11-16)**

- Η **εξέλιξη**, η διαδικασία αλλαγής που έχει μεταμορφώσει κυριολεκτικά τη ζωή στη Γη, ευθύνεται για την ομοιογένεια και την ποικιλομορφία της ζωής. Εξηγεί επίσης την εξελικτική προσαρμογή, δηλαδή το «ταίριασμα» των οργανισμών στα περιβάλλοντά τους.
- Οι βιολόγοι ταξινομούν τα είδη σύμφωνα με ένα σύστημα ολόένα ευρύτερων ομάδων. Η Επικράτεια των **Βακτηρίων** και η Επικράτεια των **Αρχαίων** αποτελούνται από προκαρυώτες. Η Επικράτεια των **Ευκαρύων**, δηλαδή των ευκαρυωτικών οργανισμών, περιλαμβάνει διάφορες ομάδες πρωτίστων, όπως και τα βασίλεια των Φυτών, των Μυκήτων και των Ζώων. Όσο ποικίλη κι αν είναι η ζωή, παρουσιάζει και αξιοσημείωτη ομοιογένεια, η οποία είναι εμφανής από τις ομοιότητες ανάμεσα σε διαφορετικά είδη.
- Ο Δαρβίνος πρότεινε τη **φυσική επιλογή** ως τον μηχανισμό με τον οποίο επιτυγχάνεται η εξελικτική προσαρμογή των πληθυσμών στα περιβάλλοντά τους. Η φυσική επιλογή είναι η εξελικτική διαδικασία που συμβαίνει όταν ένας πληθυσμός εκτίθεται σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, οι



οποίο συστηματικά ευνοούν άτομα με συγκεκριμένα κληρονομήσιμα γνωρίσματα ώστε να έχουν μεγαλύτερη αναπαραγωγική επιτυχία από άλλα άτομα με διαφορετικά κληρονομήσιμα γνωρίσματα.



- Κάθε είδος είναι ένα μικρό κλαδί στο δένδρο της ζωής, το οποίο εκτείνεται στο παρελθόν μέσω προγονικών ειδών ολοένα πιο απομακρυσμένων. Όλα τα έμβια όντα συνδέονται μεταξύ τους μέσω της μακραιώνης εξελικτικής ιστορίας τους.
- *Πώς θα μπορούσε η φυσική επιλογή να έχει οδηγήσει στην εξέλιξη προσαρμογών, όπως το χρώμα του τριχώματος που καμουφλάρει τον ποντικό της παραλίας;*

**ΤΜΗΜΑ 1.3**

**Για να μελετήσουν τη φύση, οι επιστήμονες διατυπώνουν και ελέγχουν υποθέσεις (σελ. 16-22)**

- Στην επιστημονική **έρευνα**, οι επιστήμονες συλλέγουν **δεδομένα** και χρησιμοποιούν τον **επαγωγικό συλλογισμό** για να εξαγάγουν ένα γενικό συμπέρασμα, το οποίο μπορεί να αναπτυχθεί σε ελέγξιμη **υπόθεση**. Στον **παραγωγικό συλλογισμό** χρησιμοποιούνται προβλέψεις για να ελεγχθούν υποθέσεις. Οι υποθέσεις πρέπει να είναι ελέγξιμες: η επιστήμη δεν μπορεί να εξετάσει ούτε το ενδεχόμενο υπερφυσικών φαινομένων ούτε θρησκευτικές πεποιθήσεις. Οι **υποθέσεις** ελέγχονται είτε με τη διεξαγωγή πειραμάτων είτε με την πραγματοποίηση παρατηρήσεων, όταν αυτό είναι εφικτό. Στην επιστημονική διαδικασία, η κύρια δραστηριότητα είναι ο έλεγχος ιδεών: το όλο εγχείρημα επηρεάζεται από την έρευνα και την ανακάλυψη, τις αλληλεπιδράσεις με την επιστημονική κοινότητα, αλλά και τις κοινωνικές συνέπειες.
- Ένα **πείραμα ελέγχου** σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποκαλύψει την επίδραση μιας **μεταβλητής** μέσω του ελέγχου πειραματικών ομάδων και ομάδων ελέγχου που διαφέρουν μόνο ως προς τη συγκεκριμένη μεταβλητή.
- Μια επιστημονική **θεωρία** έχει ευρύ πεδίο, παράγει νέες υποθέσεις και υποστηρίζεται από πληθώρα ενδείξεων.
- *Ποιος είναι ο ρόλος της συλλογής και της ερμηνείας δεδομένων;*

**ΤΜΗΜΑ 1.4**

**Η συνεργασία και η σύνθεση απόψεων ωφελούν την επιστήμη (σελ. 22-25)**

- Η επιστήμη είναι μια κοινωνική δραστηριότητα. Το έργο κάθε επιστήμονα «χτίζεται» πάνω στο έργο άλλων, προγενέστερων. Οι επιστήμονες πρέπει να μπορούν να επαναλάβουν ο ένας τα αποτελέσματα του άλλου· η επιστημονική ακεραιότητα είναι επίσης θεμελιώδους σημασίας. Διαφο-

ρετικοί βιολόγοι προσεγγίζουν τα ίδια ερωτήματα σε διαφορετικά επίπεδα, με τρόπο αλληλοσυμπληρωματικό.

- Η **τεχνολογία** περιλαμβάνει κάθε μέθοδο ή συσκευή που εφαρμόζει την επιστημονική γνώση για κάποιον συγκεκριμένο σκοπό με αντίκτυπο στην κοινωνία. Η επίδραση της βασικής έρευνας δεν γίνεται πάντα άμεσα αισθητή.
  - Η ποικιλία απόψεων, και εν γένει η διαφορετικότητα, μεταξύ των επιστημόνων προάγουν την επιστήμη.
- 📌 *Εξηγήστε γιατί είναι σημαντικό μεταξύ των επιστημόνων να υπάρχει ποικιλία απόψεων, γνώσεων και προσεγγίσεων.*

## ΕΛΕΓΞΤΕ ΤΙΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΣΑΣ

### Επίπεδα 1-2: Επανάληψη/Κατανόηση

1. Όλοι οι οργανισμοί στην κατασκήνωσή σας συνιστούν:
  - α. ένα οικοσύστημα.
  - β. μια βιοκοινότητα.
  - γ. έναν πληθυσμό.
  - δ. μια ταξινομική επικράτεια.
2. Η συστημική βιολογία είναι κυρίως μια προσπάθεια να:
  - α. αναλύσουμε γονιδιώματα από διαφορετικά είδη.
  - β. απλοποιήσουμε την πολυπλοκότητα των προβλημάτων, διασπώντας τα συστήματα σε μικρότερες και απλούστερες μονάδες.
  - γ. κατανοήσουμε τη συμπεριφορά ολόκληρων βιολογικών συστημάτων μελετώντας τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μερών τους.
  - δ. κατασκευάσουμε μηχανήματα υψηλής απόδοσης για την ταχεία συλλογή δεδομένων.
3. Τι από τα παρακάτω καταδεικνύει καλύτερα την ομοιογένεια όλων των οργανισμών;
  - α. Οι αναδυόμενες ιδιότητες
  - β. Η διαδοχή γενεών με τροποποιήσεις
  - γ. Η δομή και λειτουργία του DNA
  - δ. Η φυσική επιλογή
4. Ένα πείραμα ελέγχου
  - α. εξελίσσεται αρκετά αργά, ώστε να μπορεί ο επιστήμονας να κάνει προσεκτικές καταγραφές.
  - β. ελέγχει, παράλληλα, πειραματικές ομάδες και ομάδες ελέγχου.
  - γ. επαναλαμβάνεται πολλές φορές, ώστε να διασφαλίζεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων.
  - δ. είναι ένα πείραμα στο οποίο διατηρούνται σταθερές όλες οι μεταβλητές.
5. Ποια από τις παρακάτω προτάσεις περιγράφει καλύτερα τη διάκριση μεταξύ υπόθεσης και επιστημονικής θεωρίας;
  - α. Οι θεωρίες είναι υποθέσεις που έχουν αποδειχθεί.
  - β. Οι υποθέσεις είναι εικασίες, ενώ οι θεωρίες είναι σωστές απαντήσεις.
  - γ. Οι υποθέσεις έχουν συνήθως περιορισμένο πεδίο, ενώ οι θεωρίες έχουν ευρεία ερμηνευτική ισχύ.
  - δ. Οι θεωρίες αποδεικνύονται αληθείς, ενώ οι υποθέσεις συχνά διαψεύδονται από τα πειραματικά αποτελέσματα.

### Επίπεδα 3-4: Εφαρμογή/Ανάλυση

6. Ποιο από τα παρακάτω αποτελεί παράδειγμα ποιοτικού δεδομένου;
  - α. Τα ψάρια κολυμπούν με κινήσεις ζιγκ-ζαγκ.
  - β. Τα περιεχόμενα του στομάχου αναδεύονται κάθε είκοσι δευτερόλεπτα.

- γ. Η θερμοκρασία έπεσε από τους 20 °C στους 15 °C.
- δ. Κατά μέσο όρο, προέκυψαν τρεις απόγονοι από καθένα εκ των έξι ζευγαριών κοκκινολαίμηδων.

7. Ποια από τις παρακάτω προτάσεις περιγράφει καλύτερα τη λογική της επιστημονικής έρευνας;
  - α. Αν διατυπώσω μια ελέγξιμη υπόθεση, τότε οι έλεγχοι και οι παρατηρήσεις θα την υποστηρίξουν.
  - β. Αν η πρόβλεψή μου είναι σωστή, τότε θα οδηγήσει σε μια ελέγξιμη υπόθεση.
  - γ. Αν οι παρατηρήσεις μου είναι ακριβείς, τότε θα υποστηρίξουν την υπόθεσή μου.
  - δ. Αν η πρόβλεψή μου αποδειχθεί σωστή, τότε η υπόθεσή μου υποστηρίζεται.
8. **ΣΧΕΔΙΑΣΤΕ** Σχεδιάστε μια βιολογική ιεραρχία παρόμοια με αυτήν της Εικόνας 1.3, χρησιμοποιώντας όμως ως οικοσύστημα έναν κοραλλιογενή ύφαλο, ως οργανισμό ένα ψάρι, ως όργανο το στομάχι του ψαριού, και ως μόριο το DNA του ψαριού. Να συμπεριλάβετε στην ιεραρχία όλα τα επίπεδα.

### Επίπεδα 5-6: Αξιολόγηση/Δημιουργικότητα

9. **ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ** Ένα τυπικό προκαρυωτικό κύτταρο έχει περίπου 3.000 γονίδια στο DNA του, ενώ ένα ανθρώπινο κύτταρο έχει περίπου 21.300 γονίδια. Περίπου 1.000 από τα γονίδια αυτά είναι κοινά στους δύο οργανισμούς. Πώς είναι δυνατόν να έχουν το ίδιο υποσύνολο γονιδίων δύο τόσο διαφορετικοί οργανισμοί; Εξηγήστε. Τι είδους λειτουργίες θα μπορούσαν να έχουν αυτά τα κοινά γονίδια;
10. **ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ** Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης με το χρωματικό πρότυπο των ποντικών, προτείνετε μια άλλη υπόθεση που θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν οι ερευνητές προκειμένου να μελετήσουν τον ρόλο των θηρευτών στη φυσική επιλογή.
11. **ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ** Οι επιστήμονες ψάχνουν την επιστημονική βιβλιογραφία χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων, όπως η PubMed, μια ανοιχτή (ελεύθερης πρόσβασης) διαδικτυακή βάση δεδομένων που επιβλέπει το Εθνικό Κέντρο Πληροφοριών Βιοτεχνολογίας (National Center for Biotechnology Information, NCBI) των ΗΠΑ. Χρησιμοποιήστε την PubMed για να βρείτε τη σύνοψη ενός άρθρου που δημοσίευσε η Horii Hoekstra το 2017 (ή και άλλα που δημοσίευσε αργότερα).
12. **ΓΡΑΨΤΕ ΓΙΑ ΕΝΑ ΘΕΜΑ: ΕΞΕΛΙΞΗ** Σε μια σύντομη παράγραφο (100-150 λέξεις) περιγράψτε την άποψη του Δαρβίνου για το πώς η φυσική επιλογή οδήγησε στην ομοιογένεια όσο και στην ποικιλότητα της ζωής. Στο κείμενό σας να συμπεριλάβετε ορισμένες από τις ενδείξεις του.
13. **ΣΥΝΘΕΣΗ ΓΝΩΣΕΩΝ** Μπορείτε να διακρίνετε στη φωτογραφία το νότιο σαμιαμίδι με την πλατιά ουρά (*Uroplatus sikorae*) που είναι ξαπλωμένο στον κορμό του δένδρου; Γιατί η εμφάνισή του αποτελεί πλεονέκτημα για την επιβίωσή του; Με βάση όσα μάθατε στο κεφάλαιο αυτό για την εξέλιξη, τη φυσική επιλογή και τις γενετικές πληροφορίες, περιγράψτε πώς θα μπορούσε να έχει εξελιχθεί το χρωματικό πρότυπο του συγκεκριμένου ζώου.

