

# 1

---

## ΖΩΗ ΚΑΙ ΒΟΤΑΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

### 1.1 Η προέλευση της ζωής

Ο πλανήτης Γη (εικ. 1.1), το σπίτι μας, είναι ένας από τους οκτώ πλανήτες του ηλιακού συστήματος. Περιστρέφεται, όπως και οι άλλοι, γύρω από ένα “σταθερό” σημείο, τον ήλιο. Η γη, ορώμενη από το διάστημα, έχει χρώματα μπλε, λευκό, κίτρινο-καφέ και πράσινο. Το μπλε αντιστοιχεί στους ωκεανούς, το λευκό στα σύννεφα, το κίτρινο-καφέ στα όρη και τις ερήμους και το πράσινο στα φυτά. Στο βαθμό που γνωρίζουμε, η γη είναι ο μόνος πλανήτης που έχει ζωή.

Η γη έχει ηλικία περίπου 4,5-4,6 δισεκατομμύρια χρόνια (πίν. 1.1). Στα πρώτα “χρόνια” της ύπαρξής της, η γη ήταν μια πυρακτωμένη μάζα που περιφερόταν χωρίς ζωή στο διάστημα για περίπου 1 δισεκατομμύριο χρόνια. Κατά την προβιοτική αυτή περίοδο, η γη βομβαρδιζόταν ανελέητα από μετεωρίτες, που συνέβαλαν στη διατήρηση της υψηλής θερμοκρασίας της. Ο βομβαρδισμός αυτός σταμάτησε πριν από περίπου 3,8 δισεκατομμύρια χρόνια και σηματοδότησε το τέλος της πρώτης γεωλογικής περιόδου. Καθώς η πυρακτωμένη γη άρχισε να κρύνει, ο στερεός φλοιός της δοκιμαζόταν από φοβερούς σεισμούς, ενώ στην ατμόσφαιρα επικρατούσαν βίαιες καταιγίδες συνοδευόμενες από ισχυρές αστραπές με απελευθέρωση τεράστιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, ραδιενεργές ουσίες εξέπεμπαν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, πυρακτωμένη λάβα εκχεόταν από την έντονη ηφαιστειακή δράση, η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία σάρωνε την επιφάνεια της γης αφού δεν υπήρχε κανένα φίλτρο να τη συγκρατήσει. Οι συνθήκες αυτές θα είχαν καταστρέψει τυχόν προϋπάρχουσα ζωή, αλλά δημιούργησαν νέες συνθήκες που ευνόησαν την ε-



**Εικόνα 1.1.** Ο πλανήτης Γη και ο φυσικός της δορυφόρος, η σελήνη. Το πράσινο χρώμα της γης οφείλεται στα φυτά. (ΝΑΣΑ).

παναδημιουργία της. Τα παλαιότερα γνωστά απολιθώματα μοιάζουν με βακτήρια, έχουν ηλικία 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια και βρέθηκαν στη δυτική Αυστραλία. Με τα δεδομένα αυτά εκτιμάται ότι η ζωή δημιουργήθηκε στο διάστημα 3,8-3,5 δισεκατομμύρια χρόνια πριν.

Η προέλευση και εξέλιξη της ζωής αποτέλεσαν ανέκαθεν πρώτιστο ενδιαφέρον του ανθρώπου. Μέχρι τα μέσα του 17<sup>ου</sup> αιώνα πολλοί, παρατηρώντας έντομα, βακτήρια, χέλια και άλλους μικρούς οργανισμούς να εξέρχονται από τη λάσπη ή από οργανική ύλη σε αποσύνθεση, πίστευαν στην “**αυτόματη γένεση**” (*generatio spontanea*). Η υπόθεση όμως αυτή κατακρίθηκε έντονα και καταρρίφθηκε οριστικά με τα πειράματα του Παστέρ (Luis Pasteur, 1822-1895), ο οποίος το 1862 έδειξε ότι ακόμη και οι μικροοργανισμοί (βακτήρια, μύκητες) προέρχονται πάντοτε από προϋπάρχοντες ή από τα αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα σπόριά τους. Οι μελέτες αυτές οδήγησαν στη διατύπωση του αξιωματος *omne vivum e vivo* (πάσα ζωή εκ ζωής).

Ο Δαρβίνος το 1871 θεώρησε ότι η ζωή δημιουργήθηκε σε μικρές λίμνες με χλιαρά νερά, μέσα σε μια “αρχέγονη σούπα”. Η ιδέα αυτή του Δαρβίνου τροφοδότησε την **προβιοτική χημεία**, δηλαδή την προσπάθεια εκτίμησης της χημικής σύστασης της πρώιμης ατμόσφαιρας και των συνθηκών που ευνόησαν τη δημιουργία ζωής.

**Κάρολος Ροβέρτος Δαρβίνος (Charles Robert Darwin, 1809-1882)**

Άγγλος φυσιολόγος και εξερευνητής, διάσημος για τον πενταετή περίπλου της γης με το πολεμικό πλοίο “Beagle” το 1831-1836, κατά τον οποίο θεμελίωσε τη θεωρία του για την προέλευση των ειδών και τη φυσική επιλογή. Το σχετικό του βιβλίο *The origin of species* (Η καταγωγή των ειδών) δημοσιεύθηκε το 1859 και επέφερε επανάσταση στην ανθρώπινη θεώρηση για την προέλευση και εξέλιξη της ζωής.

Στη δεκαετία του 1920 ο Ρώσος A.I. Oparin και ο Άγγλος T.B.S. Haldane, δουλεύοντας ανεξάρτητα, διατύπωσαν την άποψη ότι η προβιοτική ατμόσφαιρα της γης ήταν τελείως διαφορετική από τη σημερινή και έντονα αναγωγική ώστε επέτρεψε τη δημιουργία ζωής. Πρότειναν ότι περιείχε άζωτο ( $N_2$ ), διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), μεθάνιο ( $CH_4$ ), αμμωνία ( $NH_3$ ), υδρατμούς ( $H_2O$ ), υδροθείο ( $H_2S$ ) και μικρές ποσότητες υδρογόνου ( $H_2$ ), αέρια που στην πλειονότητά τους απελευθερώθηκαν μαζικά από την έντονη ηφαιστειακή δράση. Το οξυγόνο ( $O_2$ ) υπήρχε σε πολύ μικρά ποσά ή απουσίαζε τελείως, διαφορετικά θα προκαλούσε οξειδώσεις που δεν ευνοούν τη δημιουργία οργανικών ενώσεων. Νερό σε υγρή μορφή κατακάθισε όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας της γης έπεσε κάτω από  $100^\circ C$ .

Οι Oparin και Haldane θεώρησαν ότι, με ενέργεια που προερχόταν από την υπεριώδη ακτινοβολία και τις αστραπές, τα παραπάνω αέρια αντιδρούσαν μεταξύ τους μέσα στην ατμόσφαιρα και δημιούργησαν τεράστιες ποσότητες χημικών ενώσεων που περιείχαν άνθρακα και υδρογόνο (εικ. 1.2). Οι ενώσεις αυτές κατακρημνίσθηκαν από τα νερά της βροχής και συγκεντρώθηκαν στους ωκεανούς. Με την πάροδο εκατομμυρίων ετών, και με την απουσία οξείδωσης και αποσύνθεσης λόγω έλλειψης οξυγόνου και μικροοργανισμών, οι πρώτες οργανικές ενώσεις συμπυκνώθηκαν κατά πολύ και με θερμότητα από την υποθαλάσσια ηφαιστειακή δράση δημιούργησαν τις πρώτες μορφές ζωής.

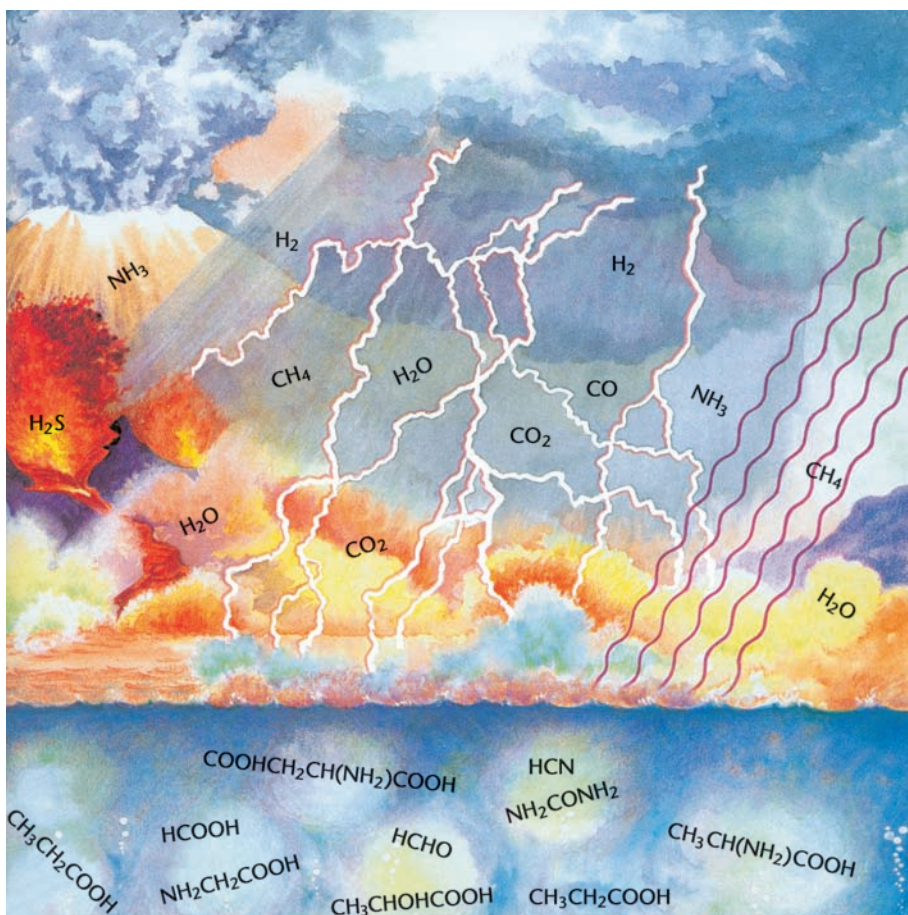
Η υπόθεση των Oparin-Haldane δοκιμάστηκε το 1953 σε εργαστηριακό πείραμα από τον 22χρονο τότε μεταπτυχιακό φοιτητή της χημείας Stanley Miller με την καθοδήγηση του καθηγητή του Harold Urey στο Πανεπιστήμιο του Σικάγου των ΗΠΑ. Ο Miller κατασκεύασε μια συσκευή με προσομοίωση των υποθετικών συνθηκών της πρωτόγονης γης (εικ. 1.3). Από τα πλάγια διοχετεύονταν τα αέρια  $CH_4$ ,  $NH_3$  και  $H_2$ , που υποτίθεται ότι προερχόντουσαν από τα ηφαίστεια. Στη βάση της συσκευής θερμαινόταν νερό (που αντιστοιχούσε στον ωκεανό), οι ατμοί του οποίου παρέσυραν τα αέρια σε σφαιρικό χώρο

**Πίνακας 1.1.** Γεωλογικοί αιώνες και η εξέλιξη της ζωής επάνω στη γη. Οι αριθμοί σε παρενθέσεις εκφράζουν ηλικία σε εκατομμύρια χρόνια και δείχνουν πότε άρχισε το σχετικό γεγονός πριν από σήμερα. (Πηγή: Μελέντης 1985, Κουφός 2004, Raven et al. 1999).

ΑΙΩΝΑΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΕΠΟΧΗ	ΜΟΡΦΕΣ ΖΩΗΣ	ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΚΥΡΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ
ΚΑΙΝΟ-ΖΩΙΚΟΣ	ΤΕΤΑΡΤΟ-ΓΕΝΕΣ (1,6)	Ολόκαινο (0,01)	Εποχή του ανθρώπου. Εξαφάνιση πολλών μεγάλων θηλαστικών και πτηνών.	Εναλλασσόμενο ψύχος με ήπιο κλίμα. Εποχή παγετώνων (> 24 επεκτάσεις και υποχωρήσεις). Αναδύσεις πολλών οροσειρών.
		Πλειστόκαινο (1,6)		
	ΤΡΙΤΟΓΕΝΕΣ	Πλειόκαινο (5,2)	Ξηρασία, σχηματισμός ερήμων. Πρώτη εμφάνιση ανθρωποειδών πιθήκων.	Ψυχρό. Εκτεταμένη ανάδυση ορέων. Αρχή παγετώνων στο Β. ημισφαίριο. Ανάδυση Παναμά, σύνδεση Β. και Ν. Αμερικής.
		Μειόκαινο (23,2)	Επέκταση λειμώνων, υποχώρηση δασών. Ζώα βοσκής, πίθηκοι.	Μέτριο. Εκτεταμένοι παγετώνες επανέρχονται στο Ν. Ημισφαίριο.
		Ολιγόκαινο (35,4)	Θηλαστικά βοσκής, πιθηκόμορφα προτεύοντα. Εξέλιξη πολλών σύγχρονων γενών φυτών.	Ανάδυση Άλπεων και Ιμαλαΐων. Η Ν. Αμερική διαχωρίζεται από την Ανταρκτική. Ηφαίστεια στα Βραχώδη Όρη.
		Ηώκαινο (56,5)	Εξάπλωση θηλαστικών και πτηνών. Πρώτος σχηματισμός λιβαδοτόπων.	Ήπιο έως πολύ θερμό. Διαχωρισμός Αυστραλίας από την Ανταρκτική. Η Ινδία συγκρούεται με την Ασία.
(65)	Παλαιόκαινο (65)	Πρώτα εντομοβόρα θηλαστικά και προτεύοντα.	Ήπιο έως ψυχρό. Πλείστες εκτεταμένες, αβαθείς ηπειρωτικές θάλασσες εξαφανίζονται.	
ΜΕΣΟ-ΖΩΙΚΟΣ	ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ (145)	Ανώτερο	Εμφάνιση, ποικιλότητα και κυριαρχία ανθοφύτων και πολλών εντόμων. Εποχή των ερπετών. Εξαφάνιση δεινοσαύρων προς το τέλος της περιόδου.	Ομοιόμορφο κλίμα παντού. Υψηλά επίπεδα θάλασσας. Διαχωρισμός Αφρικής από Αμερική.
		Κατώτερο		
	ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ (208)	Ανώτερο	Γυμνόσπερμα, ιδιαίτερα κυκώδη. Εμφάνιση πτηνών.	Ήπιο. Χαμηλές ήπειροι με μεγάλες περιοχές καλυμμένες με θάλασσα
		Μέσο		
		Κατώτερο		
	ΤΡΙΑΔΙΚΟ (245)	Ανώτερο	Δάση γυμνοσπέρμων και περικοφύτων. Πρώτοι δεινόσαυροι και θηλαστικά.	Ορεινές ήπειροι, ενωμένες σε μια υπερ-ήπειρο. Μεγάλες περιοχές ξηρές.
Μέσο				
Κατώτερο				

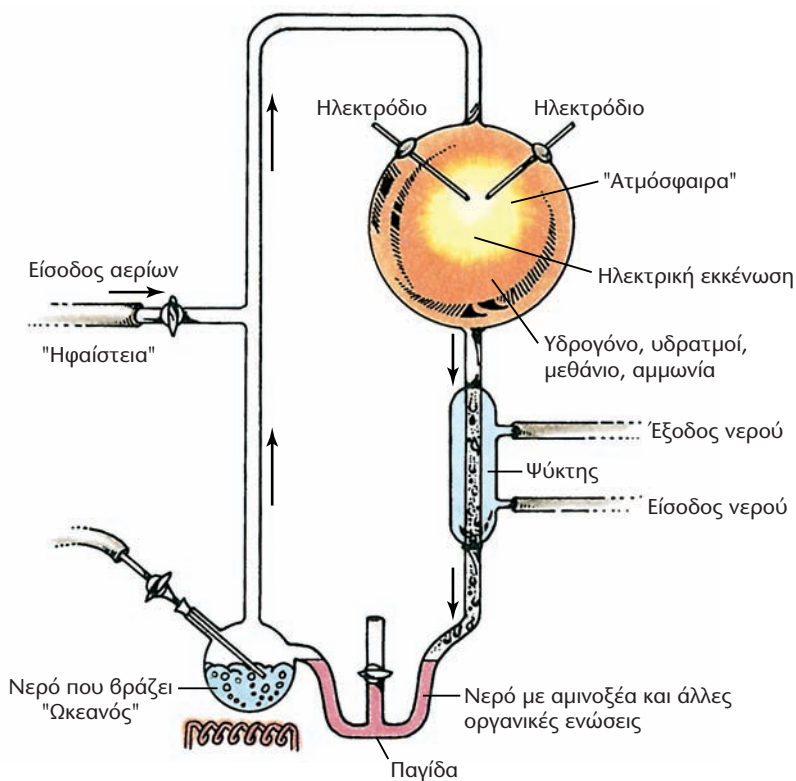
**Πίνακας 1.1.** (Συνέχεια).

ΑΙΩΝΑΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΕΠΟΧΗ	ΜΟΡΦΕΣ ΖΩΗΣ	ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΚΥΡΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ
<b>ΠΑΛΑΙΟ-ΖΩΙΚΟΣ</b>	ΠΕΡΜΙΟ (290)	Ανώτερο	Εμφάνιση κωνοφόρων, κυκωδών και γκινγκοδών. Μείωση παλαιότερου τύπου δασών. Ποικιλότητα ερπετών. Μαζική εξαφάνιση προς το τέλος της περιόδου.	Εκτεταμένοι παγετώνες στο Ν. Ημισφαίριο στην αρχή της περιόδου. Σχηματισμός Απαλλαχίων ορέων. Κατά τόπους έντονη ξηρασία.
		Κατώτερο		
	ΛΙΘΑΝΘΡΑ-ΚΟΦΟΡΟ (362)	Ανώτερο	Εποχή αμφιβίων. Μετάβαση αμφιβίων στην ξηρά. Εμφάνιση και κυριαρχία δασών. Εμφάνιση ερπετών.	Θερμό, μικρή εποχική διακύμανση στους τροπικούς. Χαμηλή ξηρά, ελώδης, αποθέσεις γαιανθράκων.
		Κατώτερο		
	ΔΕΒΟΝΙΟ (408)	Ανώτερο	Εποχή των ιχθύων. Ποικιλότητα χειρσαίων φυτών. Εξαφάνιση πρωτόγονων αγγειωδών φυτών. Πρώτη εμφάνιση εντόμων.	Οι θάλασσες καλύπτουν την περισσότερη ξηρά, με όρη κατά τόπους.
		Μέσο		
		Κατώτερο		
	ΣΙΛΟΥΡΙΟ (439)	Ανώτερο	Μεγάλα γεγονότα εξαφάνισης στην αρχή της περιόδου. Πρώτα απολιθώματα φυτών. Πρώτα γναθοφόρα ψάρια.	Ήπιο. Ήπειροι γενικά επίπεδοι.
		Κατώτερο		
	ΟΡΔΟΒΙΣΙΟ (510)	Ανώτερο	Η περίοδος αρχίζει με την πρώτη μεγάλη εξαφάνιση. Παλαιότερα απολιθώματα καρκινοειδών.	Ήπιο. Αβαθείς θάλασσες, γενικά επίπεδοι ήπειροι. Το μέγιστο της Β. Αμερικής καλύπτεται από θάλασσα. Παγετώνες στην Αφρική στο τέλος της περιόδου.
		Κατώτερο	Ποικιλότητα μαλακίων. Πιθανόν πρώτη εισβολή φυτών στην ξηρά.	
	(570)	ΚΑΜΒΡΙΟ (570)	Ανώτερο	Εξέλιξη εξωσκελετού στα ζώα.
Μέσο			Εκρηκτική εξέλιξη φύλων. Εξέλιξη χορδωτών.	
Κατώτερο				
<b>ΠΡΟΚΑΜΒΡΙΟ</b> (4.500)		Ανώτερο	Πρώτοι μύκητες. Πολυκύτταροι φωτοσυνθετικοί (~650).	Εκτεταμένος βομβαρδισμός της γης από μετεωρίτες. Γεωλογική αστάθεια. Σχηματισμός φλοιού της γης, αρχή κίνησης ηπείρων.
		Μέσο	Πολυκύτταρα ζώα (>700). Ευκαρυώτες (>1.500).	
		Κατώτερο	Αυτότροφοι οργανισμοί (~3.400). Εμφάνιση της ζωής (>3.500).	
<b>ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΗΣ (~ 4.600)</b>				
<b>ΚΟΣΜΙΚΟΣ ΑΙΩΝΑΣ</b>				



**Εικόνα 1.2.** Προσομοίωση της πιθανής προβιοτικής ατμόσφαιρας της γης που ευνόησε το σχηματισμό των πρώτων οργανικών χημικών ενώσεων. (Προσαρμογή από Wolfe 1995).

(ατμόσφαιρα γης), όπου περιοδικά γινόντουσαν ηλεκτρικές εκκενώσεις (αστραπές). Αρχικά, από την αντίδραση των αερίων δημιουργήθηκαν απλά συστατικά οργανικών μορίων, όπως υδροκυάνιο (HCN), φορμαλδεΐδη (HCHO) και φορμικό οξύ (HCOOH). Στη συνέχεια ανιχνεύθηκαν αμινοξέα, κυρίως γλυκίνη που είναι και το απλούστερο, καθώς και άλλες οργανικές ενώσεις. Παρουσία HCN παράγονται όλα σχεδόν τα 20 φυσικά αμινοξέα, οι δομικοί λίθοι των πρωτεϊνών. Μετά από μια εβδομάδα συνεχούς λειτουργίας της συσκευής είχε παραχθεί μεγάλη ποικιλία οργανικών ενώσεων, ανάμεσα στις οποίες πουρίνες, πυριμιδίνες και σάκχαρα, τα δομικά συστατικά του RNA και DNA. Εξε-



**Εικόνα 1.3.** Απεικόνιση της συσκευής του Miller (1953), όπου έγινε προσομοίωση των αρχέγονων συνθηκών της γης στις οποίες πιθανό δημιουργήθηκε η ζωή. (Από Dickerson 1978).

λικτικά φαίνεται ότι πρώτα δημιουργήθηκε το RNA, που είναι απλούστερο, και μετά το DNA. Συνεπώς, η συσκευή Miller απέδειξε ότι *είναι δυνατή η αυτόματη παραγωγή οργανικών ενώσεων παρουσία ενέργειας σε μια αναγωγική ατμόσφαιρα*.

Ορισμένα οργανικά μόρια έχουν την τάση να συγκεντρώνονται σε ομάδες. Οι ομάδες αυτές στη “σούπα” των πρωτόγονων ωκεανών ίσως διαχωρίστηκαν με τη μορφή σταγονιδίων, όπως τα σταγονίδια ελαίου στο νερό. Βαθμιαία τα σταγονίδια άρχισαν να συγκεντρώνουν σωματίδια λάσπης, φυσαλίδες και χημικές ενώσεις για τη σύνθεση πιο πολύπλοκων οργανικών μορίων. Τα τελευταία χρησίμευαν και ως πηγή ενέργειας. Τα σταγονίδια αυτά των οργανικών μορίων πιθανόν αποτέλεσαν τους προδρόμους των πρωτόγονων κυττάρων (**πρωτοκύτταρα**). Σταδιακά, τα πρωτοκύτταρα έγιναν πιο πολύπλοκα και άρ-

χισαν να αποκτούν την ικανότητα της *αύξησης*, της *αναπαραγωγής* και της *κληρονομικότητας*. Οι τρεις αυτές ιδιότητες, μαζί με την *κυτταρική οργάνωση*, αποτελούν τα χαρακτηριστικά όλων των έμβιων όντων επάνω στη γη.

Εκτός από τον τρόπο αυτό, διατυπώθηκε και η υπόθεση ότι η ζωή δημιουργήθηκε σε άλλο πλανήτη, όπως για παράδειγμα στον Άρη, του οποίου η πρωτόγονη ιστορία είναι παράλληλη με της γης. Σύμφωνα με την υπόθεση της εξωγήινης προέλευσης, η ζωή έφτασε στη γη ταξιδεύοντας στο διάστημα με τη μορφή ανθεκτικών σποριών ή άλλων αναπαραγωγικών οργάνων επάνω σε κοσμικά “οχήματα”: μετεωρίτες, κομήτες, αστρική σκόνη. Ωστόσο, επικρατεί η άποψη ότι η ζωή στη γη δημιουργήθηκε επάνω στη γη.

## 1.2 Η εξέλιξη της ζωής

Τα πρώτα κύτταρα και οι πλέον πρωτόγονοι οργανισμοί ήταν **ετερότροφοι** (heterotrophs) και **αναερόβιοι** (anaerobic), δηλαδή ικανοποιούσαν τις ενεργειακές τους ανάγκες από οργανικά μόρια του περιβάλλοντος, το οποίο όμως δεν περιείχε οξυγόνο. Τα μόνα κύτταρα / οργανισμοί που μπορούσαν να υπάρχουν στις συνθήκες αυτές ήταν **προκαρυωτικά** [βλέπε κεφ. 1.5]. Με την πάροδο του χρόνου, ο ανταγωνισμός για τα ενεργειακά μόρια αυξανόταν, με αποτέλεσμα τα τελευταία να μειώνονται δραματικά. Τότε, η ανάγκη και η φυσική επιλογή οδήγησαν στην εξέλιξη κυττάρων που μπορούσαν να συνθέσουν τα δικά τους πλούσια σε ενέργεια μόρια από απλά μη οργανικά μόρια. Τα κύτταρα αυτά χαρακτηρίζονται ως **αυτότροφα** (autotrophs). Εκτιμάται ότι οι πρώτοι αυτότροφοι οργανισμοί εξελίχθηκαν πριν από 3,4 δισεκατομμύρια χρόνια (πίν. 1.1), δηλαδή 100 εκατομμύρια μετά την πρώτη ένδειξη ύπαρξης ζωής στα απολιθώματα.

Οι πιο επιτυχείς αυτότροφοι οργανισμοί ήταν όσοι μπορούσαν να δεσμεύουν την ηλιακή ενέργεια και να παράγουν από απλά ανόργανα μόρια ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) οργανικές ενώσεις μέσα από τη λειτουργία της **φωτοσύνθεσης**. Οι ενώσεις αυτές χρησιμοποιούνται όχι μόνο για τις ανάγκες των αυτοτρόφων αλλά και των ετεροτρόφων. Με τον τρόπο αυτό η ροή ενέργειας στη **βιόσφαιρα** (biosphere, ο ζωντανός κόσμος και το περιβάλλον του) εμπλουτίστηκε και πήρε βαθμιαία τη σημερινή της μορφή.

Οι πρώτοι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί ήταν μονοκύτταροι και έπλεαν κάτω από την επιφάνεια του νερού, όπου αφθονούσαν η ενέργεια (ηλιακό φως), ο άνθρακας (ως  $\text{CO}_2$ ), το υδρογόνο (ως  $\text{H}_2\text{O}$ ) και διάφορα ανόργανα στοιχεία επιπλέον, υπήρχε και προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία. Με την αύξηση των κυτταρικών αποικιών τα ανόργανα στοιχεία άρχισαν να εξαντλούνται στους ανοικτούς ωκεανούς. Ως αποτέλεσμα, η ζωή αναπτυσσόταν περισσότε-



ρο προς τις ακτές, όπου το νερό εμπλουτιζόταν σε νιτρικά και ανόργανα στοιχεία από τα όρη μέσω των ποταμών, αλλά και τον αέναο κυματισμό στους βράχους (εικ. 1.4). Η μεγάλη περιβαλλοντική ποικιλότητα των ακτών συγκριτικά με τον ομοιόμορφο ανοικτό ωκεανό ασκούσε εξελικτικές πιέσεις για προσαρμογή και δημιουργία μεγαλύτερης ποικιλότητας ζωής. Φαίνεται λοιπόν ότι, η ζωή δημιουργήθηκε στους πυθμένες των ωκεανών, εξελίχθηκε όμως στις ακτές.

Πριν από περίπου 650 εκατομμύρια χρόνια εμφανίστηκαν φωτοσυνθετικοί οργανισμοί στους οποίους πολλά κύτταρα συνενώθηκαν σ' ένα ενιαίο πολυκύτταρο σώμα. Οι οργανισμοί αυτοί είχαν μεγαλύτερη ικανότητα προσαρμογής στις βραχώδεις ακτές αναπτύσσοντας ανθεκτικές κατασκευές στον κυματισμό και ειδικές για αγκυροβόληση. Με την αύξηση του μεγέθους, τα κατώτερα τμήματα που εξυπηρετούσαν τη στήριξη, βρισκόμενα στη σκιά των ανωτέρων, δεχόντουσαν μικρότερη ποσότητα φωτός με αποτέλεσμα να εμφανίζονται έλλειψη θρεπτικών ουσιών. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη εξειδικευμένων ιστών μεταφοράς θρεπτικών ουσιών από τα ανώτερα φωτοσυνθετικά στα κατώτερα μη φωτοσυνθετικά μέρη.

Η εξέλιξη των φωτοσυνθετικών και η εξάπλωσή τους άλλαξε την όψη του πλανήτη. Διασπώντας το  $H_2O$  για τη δέσμευση του υδρογόνου, οι φωτοσυνθε-

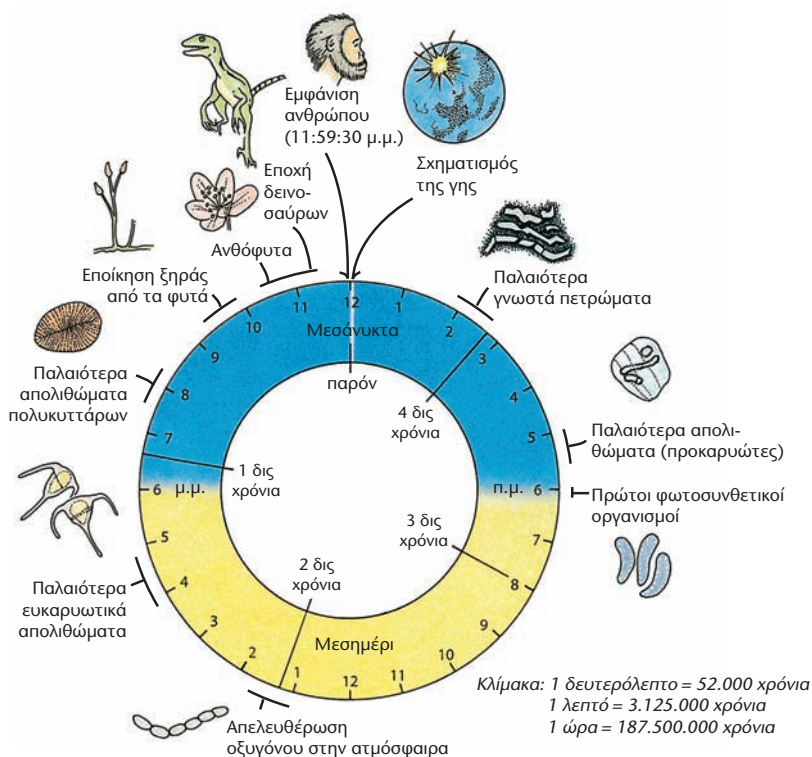


**Εικόνα 1.4.** Ο αέναος κυματισμός στις βραχώδεις ακτές ασκούσε περιβαλλοντικές πιέσεις για εξέλιξη της ζωής.

τικοί οργανισμοί απελευθερώνουν στο περιβάλλον μοριακό οξυγόνο ( $O_2$ ), η συγκέντρωση του οποίου στην ατμόσφαιρα είχε δύο δραματικές συνέπειες.

1. Η αύξηση του ελεύθερου οξυγόνου δημιούργησε τις προϋποθέσεις για μια πολύ πιο αποτελεσματική αξιοποίηση των ενεργειακών μορίων μέσα από τη λειτουργία της **αναπνοής**. Έτσι, εξελίχθηκε η **αερόβια** (aerobic) ζωή. Η συγκέντρωση σχετικά άφθονου οξυγόνου στην ατμόσφαιρα συνοδεύτηκε από την εμφάνιση **ευκαρυωτικών κυττάρων**, εξέλιξη που εκτιμάται ότι έγινε πριν από περίπου 1,5 δισεκατομμύρια χρόνια (πίν. 1.1, εικ. 1.5).

2. Ένα μέρος του οξυγόνου στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας μετατράπηκε σε **όζον** ( $O_3$ ), το οποίο σε επαρκή ποσότητα απορροφά την υπερβολική ηλιακή ακτινοβολία. Η προστασία της επιφάνειας της γης από την υπερβολική ακτινοβολία (περίπου πριν από 450 εκατομμύρια χρόνια) επέτρεψε την επιβίωση στα επιφανειακά στρώματα του νερού και άνοιξε το δρόμο για την εποίκηση της ξηράς.



**Εικόνα 1.5.** Το βιολογικό ρολόι της γης: 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια συμπυκνωμένα σε 24 ώρες. (Από Curtis and Barnes 1994).

### **Η εμφάνιση του ανθρώπου**

Ο πρόγονος του σύγχρονου **ανθρώπου** (*Homo sapiens*, νοήμων άνθρωπος) στο βιολογικό ρολόι της γης εμφανίστηκε πολύ πρόσφατα, πριν από περίπου 2 εκατομμύρια χρόνια. Εάν ολόκληρη η ιστορία της γης (4,5 δισεκατομμύρια χρόνια) συμπτυκνωθεί σε ένα 24ωρο, ο άνθρωπος εμφανίστηκε 30 sec προτού σημάνουν μεσάνυχτα (εικ. 1.5).

### **1.3 Η εποίκηση της ξηράς από τα φυτά**

Στο υδροβίο περιβάλλον, όπου εξελίχθηκε η ζωή, δεν υπάρχουν μεγάλες ανάγκες στήριξης του βάρους του σώματος λόγω της άνωσης που ασκεί το νερό. Επίσης, τα απαραίτητα συστατικά για τη φωτοσύνθεση (νερό, CO<sub>2</sub>), την αναπνοή (O<sub>2</sub>) και τη βιοσύνθεση (ανόργανα στοιχεία) είναι άμεσα διαθέσιμα. Για τη μετάβαση όμως στο χερσαίο περιβάλλον το βάρος των πολυκύτταρων και ι-διαίτερα των μεγαλόσωμων φυτών αποτέλεσε σημαντικό πρόβλημα, το οποίο η εξέλιξη έλυσε με την ανάπτυξη ισχυρού **βλαστού** (stem). Η στήριξη στο έδαφος και η πρόσληψη νερού και θρεπτικών αλάτων επιτελείται από τη **ρίζα** (root). Η δέσμευση της φωτεινής ηλιακής ενέργειας επαυξάνεται με τη δημιουργία ειδικών πεπλατυσμένων δομών, των **φύλλων** (leaves). Οι μικρότεροι βλαστοί συγκλίνουν σ' ένα κύριο, όρθιο βλαστό, τον **κορμό** (trunk), ο οποίος στηρίζει και συνδέει όλη την υπέργεια βλάστηση με τη ρίζα. Γι' αυτό τα φυτά αυτά ονομάζονται και **κορμόφυτα** (cormophyta). Η ανάπτυξη των κορμοφύτων υπήρξε σταθμός στην εξέλιξη και επέτρεψε την εποίκηση όλης σχεδόν της ξηράς με την τεράστια περιβαλλοντική ποικιλότητα.

Στο χερσαίο περιβάλλον απαιτείται προστασία κατά της απώλειας νερού, εξασφάλιση της ανταλλαγής αερίων (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, υδρατμοί), η μεταφορά ουσιών ανάμεσα στα διάφορα μέρη του φυτού, ο διαχωρισμός των θέσεων αύξησης από τις άλλες λειτουργικές θέσεις, η προσαρμογή της αναπαραγωγής και η ανταγωγή των αναπαραγωγικών μέσων στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η αναπαραγωγή αρχικά ήταν **αγενής** (αφυλετική), στην ξηρά όμως εξελίχθηκε και η **εγγενής** (φυλετική) αναπαραγωγή. Η απόκριση στις ανάγκες αυτές επετεύχθη με τη δημιουργία εξειδικευμένων κυττάρων και την ομαδοποίησή τους σε **ιστούς**.

Τα φυτά έχουν προσαρμοστεί στα ποικίλα περιβάλλοντα και έχουν δημιουργήσει **κοινωνίες** (communities). Οι κοινωνίες αυτές, μαζί με το αβιοτικό περιβάλλον του οποίου είναι μέρος, ονομάζονται **οικοσυστήματα** (ecosystems).