

Η ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

- 1 Η θέση μας στη φύση
- 2 Η εξέλιξη του ανθρώπου σαν αφήγηση (παραμύθι)
- 3 Ιστορικές απόψεις
- 4 Η σύγχρονη εξελικτική θεωρία
- 5 Το φυσικό πλαίσιο της εξέλιξης
- 6 Η εξαφάνιση και τα εξελικτικά πρότυπα



Η ΘΕΣΗ ΜΑΣ ΣΤΗ ΦΥΣΗ

*Η Δαρβίνεια επανάσταση ανάγκασε τους ανθρώπους να αντιμετωπίσουν το γεγονός ότι ο άνθρωπος είναι μέρος της Φύσης και όχι πάνω από τη Φύση. Παρόλα αυτά οι ανθρωπολόγοι κατέβαλαν μεγάλη προσπάθεια για να εξηγήσουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του *Homo sapiens*, όπως είναι η μεγάλη μας ευφυΐα, η αίσθηση του σωστού και του λάθους και οι αισθητικές μας ευαισθησίες. Μόλις από τα τέλη του 20^{ου} αιώνα οι ανθρωπολόγοι έχουν πλήρως ενστερνιστεί τις νατουραλιστικές εξηγήσεις για τις ιδιαίτερες ιδιότητες μας.*

Το 1863 ο Thomas Henry Huxley, φίλος του Δαρβίνου και υπέρμαχος του, εξέδωσε ένα βιβλίο ορόσημο με τίτλο «Αποδείξεις σχετικά με τη θέση του ανθρώπου στη Φύση». Το βιβλίο που παρουσιάστηκε σχεδόν μετά τρία χρόνια από τη δημοσίευση του βιβλίου του Δαρβίνου «Η καταγωγή των ειδών», βασιζόνταν κυρίως σε στοιχεία από τη συγκριτική ανατομία και εμβρυολογία των ανθρωποειδών πιθήκων και του ανθρώπου. (Δεν υπήρχαν εκείνη την εποχή βασικά στοιχεία απολιθωμάτων των πρώιμων ανθρώπων, εκτός από τα ευρήματα του πρώτου Νεαντερτάλιου, τον οποίον όμως οι περισσότεροι ανθρωπολόγοι δεν αποδέχονταν ως πρώιμο άνθρωπο: βλέπε Ενότητα 27). Το συμπέρασμα του Huxley – ότι οι άνθρωποι έχουν στενή εξελικτική σχέση με τους μεγάλους ανθρωποειδείς πιθήκους και ιδιαίτερα με τους αφρικανικούς – ήταν το καίριο στοιχείο για μια επανάσταση στην ιστορία της δυτικής φιλοσοφίας: ο άνθρωπος έπρεπε να θεωρείται μέρος της Φύσης κι όχι πια ξέχωρα από αυτήν.

Παρόλο που ο Huxley ήταν αφοσιωμένος στην ιδέα της εξέλιξης του *Homo sapiens* από κάποιο είδος πρωτόγονου ανθρωποειδούς πιθήκου, εντούτοις θεωρούσε τον άνθρωπο ως ένα πολύ ιδιαίτερο είδος ζώου. «Κανείς δεν είναι τόσο απόλυτα πεπεισμένος όσο εγώ για το τεράστιο χάσμα που υπάρχει ανάμεσα στον άνθρωπο και τα κτήνη» έγραφε ο Huxley, «διότι μόνον αυτός κατέχει το θαυμάσιο χάρισμα της κατανοητής και έλλογης ομιλίας [και] ... στέκεται όρθιος πάνω του σαν σε βουνοκορφή πολύ πιο πάνω από το επίπεδο των ταπεινών του συντρόφων, εξευγενισμένος από την ποταπή του φύση, αντανakλώντας, εδώ κι εκεί, μια αχτίδα από την αστείρευτη πηγή της αλήθειας».

ΕΞΗΓΩΝΤΑΣ ΤΟ «ΧΑΣΜΑ» ΜΕΤΑΞΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΚΑΙ ΖΩΩΝ

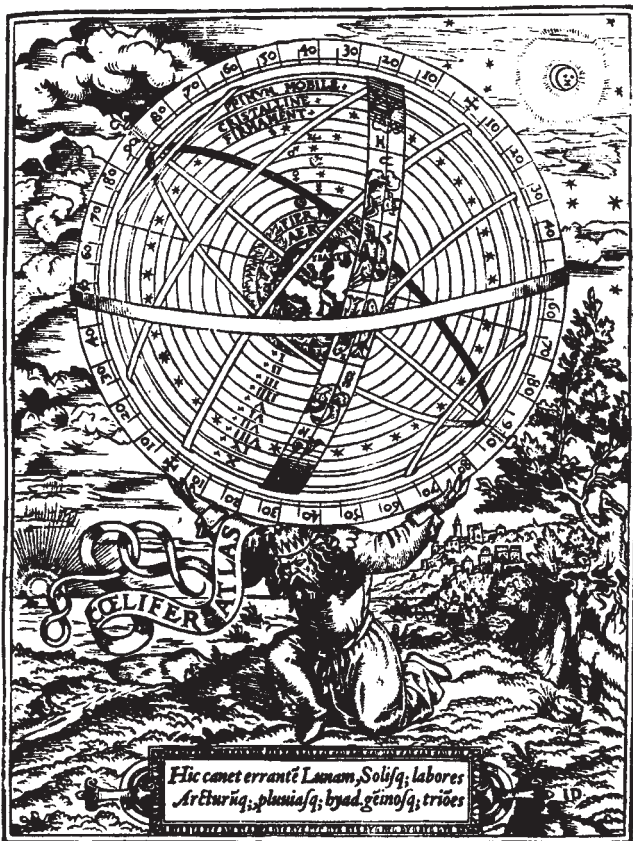
Η εξήγηση του «χάσματος» αυτού μεταξύ του ανθρώπου και των υπολοίπων έμβιων όντων ανέκαθεν απασχολούσε τη σκέψη των δυτικών διανοούμενων και στην προ- αλλά και στη μετά- τη θεωρία της εξέλιξης εποχή. Μια διαφορά

των δύο αυτών εποχών ήταν ότι μετά τον Δαρβίνο, οι νατουραλιστικές ερμηνείες έπρεπε να ερμηνεύσουν όχι μόνο την ανθρώπινη φυσική μορφή, αλλά επίσης τις εξαιρετικές πνευματικές, ψυχικές και ηθικές ιδιότητες του ανθρώπου. Προηγούμενως αυτές οι ιδιότητες θεωρούνταν θεόσταλτες.

Ως αποτέλεσμα, λέει ο αρχαιολόγος Isaak Glynn, «Η κατανόηση της φιλολογίας σχετικά με την ανθρώπινη εξέλιξη απαιτεί την αναγνώριση των ιδιαίτερων προβλημάτων που αντιμετωπίζουν όσοι επιστήμονες αναφέρονται σε αυτό το θέμα». Ο Glynn έκανε αυτό σχόλιο το 1982 κατά την επέτειο των 100 χρόνων από τον θάνατο του Δαρβίνου. «Ανεξάρτητα από το πώς οι επιστήμονες τις παρουσιάζουν, οι αναφορές στην προέλευση του ανθρώπου μελετώνται ως εναλλακτικές της Γένεσης. Κάνουν πολύ περισσότερα από το να ικανοποιούν την περιέργεια. Έχουν αλληγορικό περιεχόμενο και μεταφέρουν αξίες, ηθικές αρχές και στάσεις». Με άλλα λόγια, εκτός από το να ανακατασκευάζει φυλογενέσεις – ή αλλιώς εξελικτικά φυλογενετικά δένδρα – η έρευνα της Παλαιoανθρωπολογίας επίσης εξετάζει τη «Θέση του Ανθρώπου στη Φύση» πέρα από τη φυσική έννοια. Όπως θα δούμε, αυτή η «Θέση» εδώ και πολύ καιρό θεωρείται ιδιαίτερη κατά μία έννοια.

Η επανάσταση που σφυρηλατήθηκε από το έργο του Δαρβίνου ήταν στην πραγματικότητα η δεύτερη πνευματική αναταραχή στην ιστορία της δυτικής φιλοσοφίας. Η πρώτη είχε συμβεί τρεις αιώνες νωρίτερα, όταν ο Κοπέρνικος αντικατέστησε το γεωκεντρικό μοντέλο του σύμπαντος (βλέπε Σχήμα 1.1), με ένα ηλιοκεντρικό μοντέλο. Παρόλο που η επανάσταση του Κοπέρνικου έπαψε να θεωρεί τον άνθρωπο ως το κοσμικό κέντρο ολόκληρης της δημιουργίας του Θεού και μεταμόρφωσε τους ανθρώπους σε απλούς κατοίκους ενός μικρού πλανήτη που περιστρέφεται μέσα σε ένα τεράστιο σύμπαν, αυτοί παρέμειναν, το αποκορύφωμα των έργων του Θεού. Από τον 16^ο μέχρι τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, όσοι μελετούσαν τον άνθρωπο και τη φύση σαν μια ολότητα, πλησίαζαν στο θαύμα της δημιουργίας.

Αυτή η αναζήτηση –γνωστή ως **φυσική φιλοσοφία**– εναρμόνισε την επιστήμη και τη θρησκεία, με το να θεωρεί το θαυμαστό σχέδιο της δημιουργίας του φυσικού κόσμου, που εκδηλώνονταν τόσο ξεκάθαρα σε πλάσματα σημαντικά κι ασήμαντα, ως ένδειξη θεϊκής παρέμβασης. Επιπλέον, ένα δεύτερο χαρακτηριστικό του θεϊκά πλασμένου κόσμου ήταν η φυσική ιεραρχία από τον χαμηλότερο στον υψηλότερο, με τον άνθρωπο να βρίσκεται μόλις λίγο χαμηλότερα από τους αγγέλους. Αυτή η αδιάσπαστη αλληλουχία – γνω-



ΣΧΗΜΑ 1.1 Κόσμος του Πτολεμαίου: Πριν από την επανάσταση του Κοπέρνικου στον δέκατο έκτο αιώνα, οι απόψεις των ερευνητών του κόσμου βασίστηκαν στις ιδέες του Αριστοτέλη. Η γη θεωρήθηκε ως κέντρο του κόσμου, με τον ήλιο, τη σελήνη, τα άστρα και τους πλανήτες στερεωμένους σε ομόκεντρες κρυστάλλινες σφαίρες που την περιβάλλουν.

στή ως **Αλυσίδα της Ύπαρξης** – δεν ήταν μια εκδήλωση των εξελικτικών σχέσεων μεταξύ οργανισμών, που αντανακλά ιστορικές σχέσεις και εξελικτικές διαφοροποιήσεις. Αντιθέτως σημειώνει ο Stephen Jay Gould, «η αλυσίδα είναι μια στατική σειρά από αναλλοίωτες δημιουργημένες οντότητες, μια σειρά πλασμάτων τοποθετημένων από τον Θεό σε καθορισμένες θέσεις μιας ανοδικής ιεραρχίας».

Παρότι ήταν ισχυρή, η θεωρία αυτή αντιμετώπισε προβλήματα – και συγκεκριμένα κάποια ανεξήγητα κενά. Μια τέτοια ασυνέχεια εμφανίστηκε μεταξύ του φυτικού και του ζωικού κόσμου. Μια άλλη διαχώριζε ανθρωποειδείς πιθήκους και ανθρώπους.

Γνωρίζοντας ότι το χάσμα μεταξύ ανθρωποειδών πιθήκων και ανθρώπου θα γεφυρώνονταν, οι επιστήμονες του 18^{ου} και των αρχών του 19^{ου} αιώνα συνήθιζαν να μεγαλοποιούν τις εξευγενισμένες ιδιότητες των ανθρωποειδών πιθήκων ενώ υπερτιμούσαν τα ζωώδη χαρακτηριστικά κάποιων από τις αποκαλούμενες «κατώτερες» φυλές. Για παράδειγμα, κάποιοι πιθήκοι ήταν «γνωστό» ότι περπατούσαν όρθιοι, μετέφεραν σκλάβους κι απαιτούσαν απογόνους ζευγαρώνοντας με ανθρώπους. Με την ίδια λογική, κάποιοι άνθρωποι ήταν «γνωστό» ότι ήταν βάνασοι αγριάνθρωποι, που δεν διέθεταν ούτε πολιτισμό ούτε γλώσσα.

Αυτή η αντίληψη του φυσικού κόσμου αναπόφευκτα συμπεριλήφθηκε στο τυπικό σύστημα ταξινόμησης, το οποίο ανέπτυξε ο Κάρολος Λινναίος στα μέσα του 18^{ου} αιώνα. Στο βιβλίο του «Systema Naturae», το οποίο εκδόθηκε για πρώτη



ΣΧΗΜΑ 1.2 Τα Ανθρωπόμορφα του Λινναίου: Στο μέσον του δέκατου όγδοου αιώνα, όταν ο Λινναίος συνέταξε το «Systema Naturae», η δυτική επιστημονική γνώση για τους ανθρωποειδείς πιθήκους της Ασίας και της Αφρικής ήταν στοιχειώδης στην καλύτερη περίπτωση. Με βάση τις ιστορίες των εμποροπλοιάρχων και άλλων παροδικών επισκεπτών, δημιουργήθηκαν οι φαντασιόπληκτες εικόνες αυτών των πλασμάτων. Εδώ, παρατίθενται τέσσερις υποτιθέμενοι ανθρωποειδείς πιθήκοι που μοιάζουν με άνθρωποι, όπως τις παρουσίασε στη διατριβή του ο Horrius, φοιτητής του Λινναίου, «μερικοί από τους οποίους έγιναν είδη του *Homo* στο Systema Naturae του Λινναίου. Από τα αριστερά προς τα δεξιά: *Troglodyta bontii* ή *Homo troglodytes*, στον Λινναίο, *Lucifer aldrovandii*, ή *Homo caudatus*, *Satyrus tulpii*, ένας χιμπατζής και ο *Pygmaeus edwardi*, ένας ουραγκοτάγκος.

φορά το 1736 και επανεκδόθηκε για δέκατη φορά το 1758, ο Λινναίος συμπεριέλαβε όχι μόνο τον *Homo sapiens* – το είδος στο οποίο όλοι ανήκουμε – αλλά επίσης και τον λιγότερο γνωστό *Homo troglodytes*, για τον οποίο λέγεται ότι ήταν δραστήριος μόνο τη νύχτα κι ότι μιλούσε με κραυγές, και τον ακόμη σπανιότερο *Homo caudatus*, για τον οποίο είναι γνωστό ότι είχε ουρά (βλέπε Σχήμα 1.2). «Ο Λινναίος εργάστηκε με μια θεωρία που προέβλεπε τέτοια πλάσματα» παρατήρησε ο Gould, «αφού θα υπήρχαν ούτως ή άλλως, ελλειπείς ενδείξεις γίνονται δεκτές». Αυτή η έννοια δεν αποτελούσε επιστημονική εξαπάτηση αλλά μάλλον αποδείκνυε ότι οι ειλικρινείς επιστήμονες έβλεπαν αυτό που περίμεναν να δουν. Αυτή η ανθρώπινη αδυναμία ανέκαθεν λειτουργούσε στην επιστήμη – σε όλες τις επιστήμες – και πάντα θα λειτουργεί.

Ο ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΔΙΝΕΙ ΤΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟΝ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΣΜΟ

Η έννοια της εξέλιξης – η μεταλλαγή των ειδών – κυκλοφορούσε ήδη για πολύ καιρό, όταν το 1859, η δύναμη των δεδομένων και των επιχειρημάτων στο βιβλίο «Η καταγωγή των ειδών» αποδείχτηκε αποφασιστική. Οι γεωλογικές αντιλήψεις επίσης άλλαξαν. Το 1808 ο βαρόνος George Cuvier ένας ζωολόγος και παλαιοντολόγος στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας του Παρισιού, ισχυρίστηκε ότι υπήρχε μια σειρά μεγάλων κατακλυσμών στην ιστορία της Γης, ο καθένας εκ των οποίων είχε εξαλείψει όλα τα υπάρχοντα είδη. Μετά από κάθε καταστροφή, η Γη επανακατοικείτο σε ένα κύμα δημιουργίας. Η θεωρία αυτή, γνωστή και ως **Καταστροφισμός**, υιοθετήθηκε θερμά από τους Ευρωπαίους διανοούμενους, καθώς δεχόταν την επιστημονική παρατήρηση και διατηρούσε πολλές από τις βιβλικές εξηγήσεις, συμπεριλαμβανομένου και του κατακλυσμού του Νώε (βλέπε επίσης Ενότητα 6).

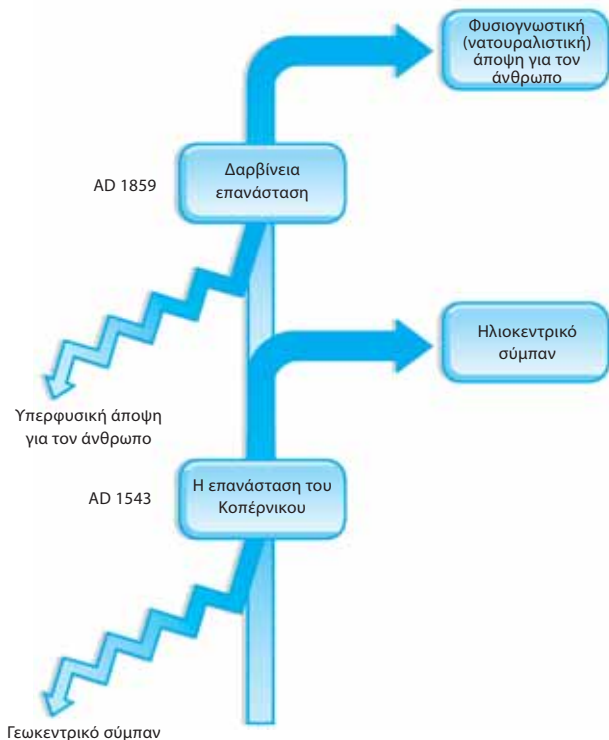
Η θεωρία του Καταστροφισμού σύντομα ήλθε σε αντιπαράθεση με μια νέα υπόθεση: τον Ομοιομορφισμό, ο οποίος θεωρεί ότι τα σημαντικότερα γεωλογικά χαρακτηριστικά της

Γης προέρχονται από καθημερινές σταδιακές διαδικασίες και όχι από περιστασιακά βίαια γεγονότα. Ο James Hutton, ένας Σκωτσέζος, έσπειρε τις ιδέες του Ομοιομορφισμού, αλλά ήταν ο Charles Lyell, επίσης Σκωτσέζος, που εδραίωσε τις ιδέες αυτές κι έτσι έγινε ο ιδρυτής της σύγχρονης γεωλογίας. Και οι δύο άνδρες εντυπωσιάστηκαν από τη δύναμη της διάβρωσης που παρατήρησαν στις μελέτες τους και υποστήριξαν ότι σε βάθος χρόνου σημαντικά γεωλογικά χαρακτηριστικά θα μπορούσαν να δημιουργηθούν από τέτοιες δυνάμεις.

Ο Lyell εξέδωσε το βιβλίο του με τίτλο «Οι αρχές της Γεωλογίας», σε τρεις τόμους, ο πρώτος εκ των οποίων δημοσιεύτηκε το 1830. Ένα από τα συμπεράσματα του Ομοιομορφισμού ήταν ότι η Γη είναι αφάνταστα παλιά κι όχι μόνον 6.000 χρόνων, όπως ευρέως πίστευαν εκείνη την εποχή. Αυτό ήταν σημαντικό για τη διατύπωση της Θεωρίας της Φυσικής Επιλογής από τον Δαρβίνο, η οποία βασίζεται στη συσσώρευση μικρών αλλαγών σε μεγάλες χρονικές περιόδους.

ΙΔΙΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ, ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΕΡΜΗΝΕΙΣ

Το αποτέλεσμα, πρώτον, της επανάστασης του Κοπέρνικου και δεύτερον, της επανάστασης του Δαρβίνου, τοποθέτησε τους ανθρώπους σε ένα φυσιοκρατικό (νατουραλιστικό) περιβάλλον (βλέπε Σχήμα 1.3). Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι παρόλο που η εμφάνιση της επαναστατικής εποχής επέφερε μια τεράστια αλλαγή στις αντιλήψεις σχετικά με την κατα-



ΣΧΗΜΑ 1.3 Δύο μεγάλες διανοητικές (πνευματικές) επαναστάσεις: Στο μέσον του δέκατου έκτου αιώνα ο Πολωνός μαθηματικός Νικόλαος Κοπέρνικος πρότεινε μια ηλιοκεντρική παρά μια γεωκεντρική άποψη του κόσμου. «Η γη δεν ήταν το κέντρο όλων των ουράνιων πραγμάτων», είπε, «αλλά αντ' αυτού ήταν ένας από τους διάφορους πλανήτες που περιβάλλουν τον ήλιο, ο οποίος ήταν ένας από πολλούς ήλιους στον κόσμο». Τρεις αιώνες αργότερα, το 1859, ο Κάρολος Δαρβίνος άλλαξε περαιτέρω την άποψη των ανθρώπων για τον εαυτό τους, υποστηρίζοντας ότι οι άνθρωποι ήταν ένα μέρος της φύσης, και όχι εκτός φύσης.

γωγή της ανθρωπότητας, πολλά στοιχεία που αφορούσαν στη φύση της ανθρωπότητας παρέμειναν αναμφισβήτητα. Για παράδειγμα, οι άνθρωποι ακόμη θεωρούνταν ανώτεροι από τα άλλα ζώα και προικισμένοι με ιδιαίτερες ιδιότητες – δηλαδή εξυπνάδα, πνευματικότητα και ηθική κρίση. Η δε διαβάθμιση από τις αποκαλούμενες «κατώτερες» φυλές στις «ανώτερες» φυλές που αποτέλεσαν την Αλυσίδα της Ύπαρξης, τώρα εξηγείται από τη διαδικασία της εξέλιξης.

«Η πρόοδος των διαφορετικών φυλών ήταν άνιση» σημείωσε ο Roy Chapman Andrews, ερευνητής στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας των ΗΠΑ, στη δεκαετία του '20 και του '30. «Κάποιες αναπτύχθηκαν σε κυρίαρχες του κόσμου με εκπληκτική ταχύτητα. Αλλά οι Τασμανοί και οι Αβοριγίνες της Αυστραλίας έμειναν πολύ πίσω, δεν εξελίχθηκαν πολύ πέρα από το στάδιο του ανθρώπου του Νεάντερταλ». Τέτοια καταφανώς ρατσιστικά σχόλια επαναλαμβάνονταν συχνά στη λογοτεχνία της εποχής και απεικονίζονταν στα δένδρα της εξέλιξης που δημοσιεύονταν τότε (βλέπε για παράδειγμα Σχήμα 1.4)

Με άλλα λόγια, η ανισότητα των φυλών – με τους μαύρους στη βάση και τους λευκούς στην κορυφή – δικαιολογείτο ως η φυσική τάξη των πραγμάτων: πριν το 1859 ως προϊόν της δημιουργίας του Θεού και μετά το 1859 ως προϊόν της φυσικής επιλογής.

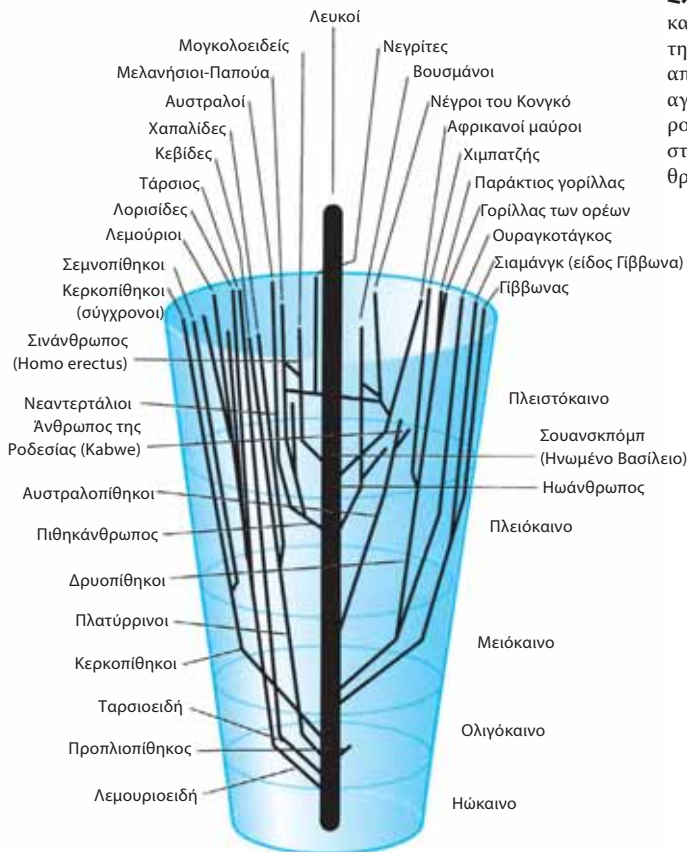
Στο ίδιο ύψος, τον 19^ο αιώνα οι συζητήσεις για την εξέλιξη του ανθρώπου περιείχαν την ιδέα της προόδου, και ειδικότερα τον προορισμό του *Homo sapiens* ως τον τελικό στόχο των εξελικτικών τάσεων. «Μεγάλο μέρος της εξέλιξης μοιάζει σαν να είχε σχεδιαστεί για να καταλήξει στον άνθρωπο, έτσι ώστε τα άλλα ζώα και φυτά να κάνουν τον κόσμο κατάλληλο για να τον κατοικήσει» παρατήρησε ο Robert Broom το 1933. (Ο Broom, ένας Σκωτσέζος παλαιοντολόγος, ευθύνονταν για κάποια από τα πιο σημαντικά ευρήματα ανθρώπινων απολιθωμάτων στη Νότια Αφρική στις δεκαετίες '30 και '40.

Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΩΣ ΠΡΟΟΔΟΣ

Η εξέλιξη ως πρόοδος – η αμείλικτη βελτίωση σε πιο σύνθετες, πιο έξυπνες μορφές ζωής – ήταν ανέκαθεν μια δελεαστική ιδέα. «Η πρόοδος – ή αλλιώς η εξέλιξη – είναι η θρησκεία [της Φύσης]» έγραψε ο Βρετανός Sir Arthur Keith το 1927. Η ιδέα της προόδου ως κινητήριο ήθος της φύσης – και της κοινωνίας – υπήρξε χαρακτηριστικό στοιχείο της δυτικής φιλοσοφίας, όχι όμως και ολόκληρης της διάνοησης. Ως ο «Μύθος της προόδου» χαρακτηρίζεται η ιδέα αυτή από τους Niles Eldredge και Ian Tattersal. «Αφού εξελιχθούν τα είδη με τις δικές τους ιδιαίτερες προσαρμογές, συμπεριφορές και γενετικά συστήματα, είναι αξιοσημείωτα συντηρητικά και συχνά παραμένουν αναλλοίωτα για αρκετά εκατομμύρια χρόνια. Υπό αυτό το φως είναι λάθος να διακρίνουμε εξέλιξη, ή αλλιώς για αυτό το θέμα η ανθρώπινη ιστορία, ως συνεχής πρόοδος, καθυστερεί ή το αντίθετο».

Κάποια είδη στα μετέπειτα χρόνια της εξέλιξης είναι εμφανώς πιο σύνθετα από ορισμένες απόψεις από πολλά άλλα που βρέθηκαν νωρίτερα. Η εξέλιξη αυτή, ωστόσο, μπορεί να εξηγηθεί ως «φαινόμενο εκφυλισμού» - δηλαδή το γεγονός ότι η εξέλιξη επωφελείται απ' ό,τι προϋπήρχε. Ως επί το πλείστον, ο κόσμος βιολογικά δεν έχει γίνει εντυπωσιακά πιο σύνθετος ως σύνολο. Παρόλο που οι περισσότεροι οργανισμοί παραμένουν απλοί, εμείς παραμένουμε τυφλωμένοι από τις εξαιρέσεις και ειδικότερα αυτή με την οποία είμαστε εξοικειωμένοι.

Ακόμη και αυτό το σύντομο ιστορικό σκιαγράφημα διασαφηνίζει το **ανθρωποκεντρικό** πρίσμα μέσω του οποίου οι



παλαιοντολόγοι αντιλαμβάνονταν τον φυσικό κόσμο στον οποίο εξελισσόμασταν. Μια τέτοια αντίληψη είναι προφανώς αναπόφευκτη ως ένα βαθμό, όπως υπαινίχθηκε νωρίτερα στο σχόλιό του ο Isaac Glynn. Το 1958, για παράδειγμα, ο Julian Huxley, εγγονός του Thomas Henry, ισχυρίστηκε ότι οι ιδιαίτερες πνευματικές και κοινωνικές ιδιότητες της ανθρωπότητας θα πρέπει να αναγνωρίζονται μορφολογικά με την τοποθέτηση του *Homo sapiens* σε μια νέα βαθμίδα, τα Ψυχόζωα. «Η νέα βαθμίδα έχει πολύ μεγάλο εύρος, τουλάχιστον ίσο σε μέγεθος με όλο το ζωικό βασίλειο», όπως αναφέρει, «παρότι προτιμώ να θεωρώ ότι καλύπτει έναν ολόκληρο νέο τομέα της εξελικτικής διαδικασίας, τον ψυχοκοινωνικό, σε αντίθεση με ολόκληρο τον μη-ανθρώπινο βιολογικό τομέα».

Το τελικό ζήτημα είναι «η πιο παλιά ισχύουσα άποψη ότι οι άνθρωποι είναι μοναδικοί, ένας εντελώς νέος τύπος οργανισμού», όπως επισημαίνει ο καθηγητής του Πανεπιστημίου του Καίμπριτζ Robert Foley. Αυτός ο τρόπος σκέψης οδηγεί στην αντίληψη ότι η ανθρώπινη καταγωγή επομένως απαιτεί έναν ειδικό τρόπο εξήγησης, διαφορετικό από αυτό που χρησιμοποιείται στην κατανόηση του υπόλοιπου βιολογικού κόσμου». Αυτό, φυσικά, δεν είναι αληθές αλλά μόλις στο τελευταίο μέρος του 20^{ου} αιώνα η Παλαιoανθρωπολογία αφοσιώθηκε πλήρως στην εύρεση αμιγώς βιολογικών ερμηνειών για την καταγωγή των χωρίς αμφιβολία ιδιαίτερων χαρακτηρισμών που είχε ο *Homo sapiens*. Όμως, όπως φαίνεται στην επόμενη ενότητα, η φύση της επιστήμης και οι αναζητήσεις της δυσκολεύουν την απόλυτη αντικειμενικότητα.

ΣΧΗΜΑ 1.4 Ο ρατσισμός στην ανθρωπολογία: Στις πρώτες δεκαετίες του εικοστού αιώνα, ο ρατσισμός ήταν ένα αναμφίβολο τμήμα της ανθρωπολογίας, με τις «λευκές» φυλές να θεωρούνται ανώτερες από τις «μαύρες» φυλές, λόγω της μεγαλύτερης προσπάθειας και του αγώνα (επιβίωσης) στην εξελικτική κούρσα. Εδώ, η υποτιθέμενη υπεροχή των «λευκών» φυλών παρουσιάζεται ρητά και χωρίς αμφιβολίες, στο βιβλίο του Earnest Hooton «Up from the Ape» (πάνω από τον ανθρωποειδή πίθηκο), (2^η έκδοση, 1946).

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- Οδήγησε το διανοητικό πλαίσιο που παρέχονταν από τη Μεγάλη Αλυσίδα της Ύπαρξης φυσιολογικά στην ιδέα της εξέλιξης των ειδών;
- Γιατί η αντίληψη για την ανθρώπινη θέση στη φύση δεν άλλαξε πολύ κατά κάποιο τρόπο, στις μεταξύ προ - και μετα-τον Δαρβίνο εποχές;
- Γιατί η έννοια της προόδου έχει γίνει ένα τόσο αναπόσπαστο τμήμα της εξελικτικής σκέψης μέσα στη δυτική φιλοσοφία, ιδιαίτερα σε σχέση με την ανθρώπινη εξέλιξη;
- Απαιτεί η εξέλιξη των ποιοτικά νέων χαρακτηριστικών, ποιοτικά νέες εξηγήσεις;

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Cartmill M. Human uniqueness and theoretical content in paleoanthropology. *Int J Primatol* 1990; 11:173-192.
- Dawkins R. The blind watchmaker. Harlow: Longman, 1986.
- Eldredge N, Tattersall I. The myths of human evolution. New York: Columbia University Press, 1982.
- Gould SJ. Vision with a vengeance. *Natural History*; Sept 1980:16-20.
- Gould SJ. Bound by the great chain. *Natural History*; Nov 1983:20-24.
- Gould SJ. Chimp on a chain. *Natural History*; Dec 1983:18-26.
- Gould SJ. Spin doctoring Darwin. *Natural History*; July 1995:6-9, 69-71.
- Lewin R. Chapter 2, Bones of contention. Chicago: The University of Chicago Press, 1997.
- Lovejoy AO. The great chain of being. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1970.
- Richards RJ. The meaning of evolution. Chicago: The University of Chicago Press, 1992.
- Tattersall I. Becoming human: evolution and human uniqueness. New York: Harcourt Brace and Company, 1998.



Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΣΑΝ ΑΦΗΓΗΣΗ

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, οι εξηγήσεις για την εξέλιξη του ανθρώπου συχνά παρουσιάζονταν ως ιστορίες, συγκεκριμένα ως ηρωικοί μύθοι. Οι πρόγονοι των ανθρώπων φαίνονταν να ξεπερνούν μεγάλες προκλήσεις και τελικά να θριαμβεύουν. Αναπόσπαστο μέρος της ιστορίας αποτελούσε μια έμμεση βεβαιότητα ότι ο *Homo sapiens* ήταν αναπόφευκτο αποτέλεσμα της εξέλιξης. Ακόμη και σήμερα, επειδή η αφηγηματική μορφή είναι τόσο δυνατή και δελεαστική, αυτό είναι δύσκολο να αποφευχθεί.

«Ένα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του είδους μας (*Homo sapiens*) είναι η αγάπη στις ιστορίες», παρατήρησε ο Isaac Glynn, «οπότε οι αφηγηματικές αναφορές στην ανθρώπινη εξέλιξη απαιτούνται από την κοινωνία και ακόμη τείνουν προς μια κοινή μορφή». Ο Glynn αναφερόταν στο έργο της ανθρωπολόγου του Πανεπιστημίου της Βοστώνης, Misia Landau, η οποία είχε αναλύσει το **αφηγηματικό** στοιχείο των επαγγελματικών – όχι απλώς των λαϊκών – εξηγήσεων για την ανθρώπινη προέλευση.

«Οι επιστήμονες έχουν γενικά επίγνωση της επιρροής που ασκεί η θεωρία στην παρατήρηση», καταλήγει η Landau. «Σπάνια ωστόσο αναγνωρίζουν ότι πολλές επιστημονικές θεωρίες είναι βασικά αφηγήσεις». Παρόλο που αυτό το σχόλιο αφορά σε όλες τις επιστήμες, η Landau διακρίνει αρκετά στοιχεία στην **Παλαιoανθρωπολογία**, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτη όταν αποδίδεται σε αφηγηματική μορφή, τόσο από αυτούς που αφηγούνται τις ιστορίες όσο και από εκείνους που τις ακούνε.

Πρώτον, στην αναζήτησή της να εξηγήσει την ανθρώπινη προέλευση, η Παλαιoανθρωπολογία ήλθε προφανώς αντιμέτωπη με μια αλληλουχία γεγονότων με την πάροδο του χρόνου, που μεταμόρφωσαν τους πιθήκους σε ανθρώπους. Η περιγραφή μιας τέτοιας αλληλουχίας είναι φυσικό να αποδίδεται σε αφηγηματική μορφή. Δεύτερον, το αντικείμενο αυτής της μεταμόρφωσης είμαστε εμείς. Ως εγωιστικά πλάσματα, έχουμε την τάση να θεωρούμε τις ιστορίες για τους εαυτούς μας πιο ενδιαφέρουσες από τις ιστορίες σχετικές, για παράδειγμα, με τη συμπεριφορά των ανθρωποειδών πιθήκων ή την προέλευση των ανθοφόρων φυτών.

ΙΔΙΑ ΙΣΤΟΡΙΑ, ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΕΣ

Παραδοσιακά οι παλαιoανθρωπολόγοι αναγνωρίζουν τέσσερα καίρια γεγονότα στην εξέλιξη του ανθρώπου: την καταγωγή της **χερσαίας διαβίωσης** (κάθοδος από τα δένδρα), τον **διποδισμό** (όρθια στάση και βάδιση), την **εγκεφαλοποίηση** (ανάπτυξη του εγκεφάλου σε σχέση με το μέγεθος του σώματος) και την εμφάνιση **κουλτούρας** (ή πολιτισμού). Ενώ

όμως αυτά τα τέσσερα γεγονότα παρουσιάζονται συνήθως ως αναφορές για την ανθρώπινη προέλευση, οι παλαιoανθρωπολόγοι διαφωνούν για τη σειρά με την οποία πιστεύεται ότι έλαβαν χώρα (βλέπε Σχήμα 2.1).

Για παράδειγμα, ο Henry Fairfield Osborn, διευθυντής του Αμερικανικού Μουσείου Φυσικής Ιστορίας στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, θεωρούσε ότι η σειρά ήταν αυτή που αναφέρθηκε πιο πάνω, η οποία παρεμπιπτόντως συμφωνεί με την άποψη του Δαρβίνου. Ο Sir Arthur Keith, μια διακεκριμένη μορφή της Βρετανικής Ανθρωπολογίας στη δεκαετία του '20, θεωρούσε ότι το βάδισμα σε όρθια στάση προηγήθηκε της καθόδου από τα δένδρα. Με άλλα λόγια, ο προγονικός ανθρωποειδής πίθηκος, κατά τον Keith, άρχισε να περπατά στα δύο πόδια ενώ ακόμη κατοικούσε στα δένδρα και στη συνέχεια κατέβηκε στο έδαφος. Κατά τον Sir Grafton Elliot-Smith (βλέπε Σχήμα 2.2) σύγχρονο του Keith, η ανάπτυξη του εγκεφάλου προηγήθηκε. Ο μαθητής του Frederic Wood-Jones, συμφωνούσε με τον Elliot-Smith, ότι η ανάπτυξη του εγκεφάλου και η δίποδη βάδιση αναπτύχθηκαν ενώ οι πρόγονοί μας ζούσαν ακόμη στα δένδρα, αλλά θεωρούσε ότι η δίποδη βάδιση είχε προηγηθεί της ανάπτυξης του εγκεφάλου. Ο William King Gregory, όπως και ο συναδέλφος του Osborn, θεωρούσε ότι πρώτα έλαβε χώρα η κάθοδος στη γη, αλλά υποστήριζε ότι ο εκπολιτισμός (χρήση εργαλείων) προηγούνταν μιας αισθητής ανάπτυξης του εγκεφάλου και ούτω καθεξής.

Επομένως βλέπουμε αυτά τα τέσσερα κοινά στοιχεία να συνδέονται μεταξύ τους με διαφορετικούς τρόπους και κάθε αφηγηματικό συνδυασμό να διατείνεται ότι αφηγείται την ιστορία της καταγωγής του ανθρώπου. Η λέξη «ιστορία» είναι η λέξη-κλειδί εδώ. «Αν αναλύσουμε τον τρόπο με τον οποίο ο Osborn, ο Keith και οι άλλοι επεξηγούσαν τη σχέση των τεσσάρων αυτών γεγονότων (νεωτερισμών), στην εξέλιξη του ανθρώπου, βλέπουμε σαφώς μια αφηγηματική δομή», λέει η Landau, «οι ιστορίες όμως αυτές είναι κάτι παραπάνω από απλές ιστορίες: συμφωνούν με τη δομή των ηρωικών λαϊκών παραμυθιών». Στην ανάλυσή της για την παλαιoανθρωπολογική λογοτεχνία, η Landau επικαλέστηκε ένα σύστημα, που είχε επινοήσει το 1925 ο Ρώσος ακαδημαϊκός Vladimir Propp. Το σύστημα αυτό που δημοσιεύτηκε στο βιβλίο του με τίτλο «Η μορφολογία του λαϊκού παραμυθιού», περιλάμβανε μια σειρά από 31 στάδια που εμπεριείχαν βασικά στοιχεία του ηρωικού μύθου. Η Landau μείωσε τα στάδια αυτά σε εννέα, αλλά διατήρησε τη γενική δομή: ο ήρωας εμφανίζεται, ο ήρωας απειλείται, ο ήρωας θριαμβεύει (βλέπε Σχήμα 2.3).



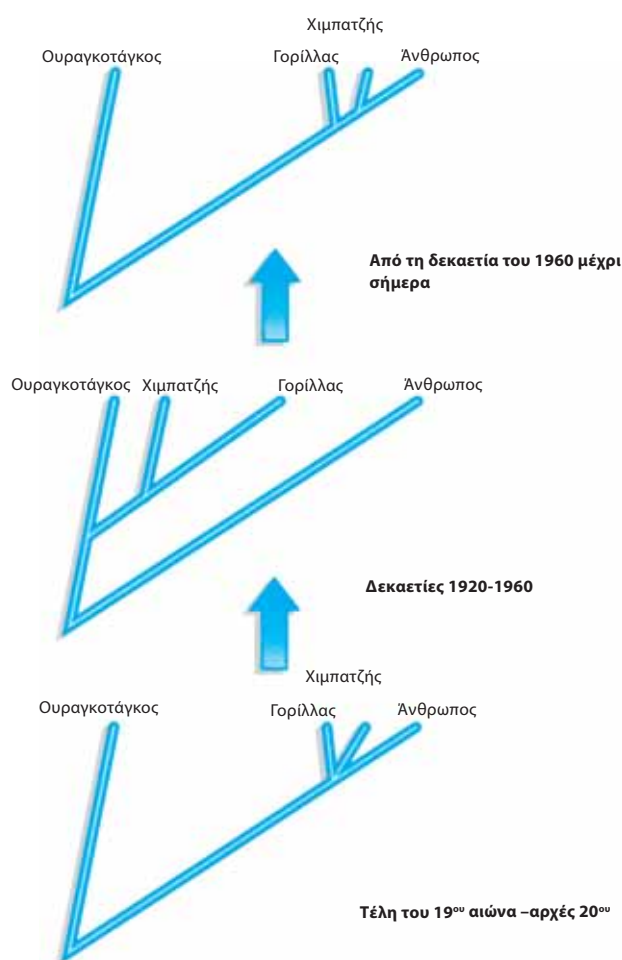
ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΑΠΟΨΕΙΣ

Δύο κύρια θέματα επανέρχονται στην Παλαιoανθρωπολογία στον 20^ο αιώνα. Πρώτα, η σχέση ανάμεσα στους ανθρώπους και τους ανθρωποειδείς πιθήκους: πόσο κοντά είναι; πόσο μακριά; Το δεύτερο θέμα είναι το κατά πόσον είναι «άνθρωποι» οι άμεσοι πρόγονοί μας. Οι ανθρωπολόγοι κατέληξαν να παραδέχονται πλέον ότι υπάρχει μια στενή σχέση ανάμεσα στους ανθρώπους και στους αφρικανικούς ανθρωποειδείς πιθήκους. Και βλέπουν τους άμεσους προγόνους μας σαν πολύ λιγότερο ανθρώπους από ό,τι στο παρελθόν.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 και πλέον χρόνων το θέμα της συγγένειάς μας με τους ανθρωποειδείς πιθήκους έχει κλείσει τον κύκλο του. Από τον καιρό του Δαρβίνου, του Huxley και του Haeckel, μέχρι λίγο μετά τον ερχομό του 20^{ου} αιώνα, θεωρούσαν ότι οι αφρικανικοί ανθρωποειδείς πίθηκοι ήταν οι στενότεροι συγγενείς των ανθρώπων, καθώς και ο χιμπατζής και ο γορίλλας, ενώ ο ασιατικός ανθρωποειδής πίθηκος, ο ουραγκοτάγκος, θεωρήθηκε κατά κάποιο τρόπο διαφορετικός. Από το 1920 έως το 1960 οι άνθρωποι απομακρύνθηκαν από τους ανθρωποειδείς πιθήκους, οι οποίοι λέγονταν ότι ήταν μια εξελικτικά συμπαγής ομάδα. Όμως από το 1960 και μετά η συμβατική γνώση (σοφία) επέστρεψε στη Δαρβινική ανάλυση (βλέπε Σχήμα 3.1).

Αυτή η εναλλαγή απόψεων έχει, κατά τύχη, παραλληλίστει με μια ανάλογη αλλαγή στις ιδέες σχετικά με την τοποθεσία που πρωτοεμφανίστηκε η ζωή. Ο Δαρβίνος κατέληξε να πιστεύει ότι ήταν η Αφρική, γιατί εκεί ζουν οι στενότεροι συγγενείς μας, ο χιμπατζής και ο γορίλλας. Στις πρώτες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα η Ασία έγινε περισσότερο δημοφιλής και πάλι η Αφρική έχει βρεθεί στο επίκεντρο.

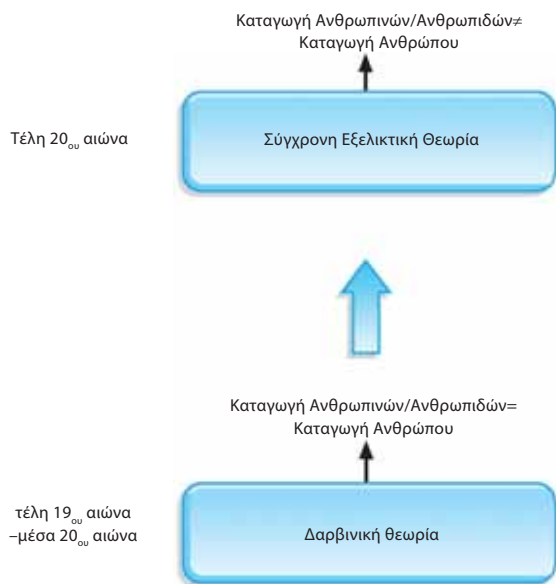
Όπως έχουν αλλάξει οι απόψεις για τη σχέση ανθρώπου – ανθρωποειδούς πιθήκου, έτσι έχουν αλλάξει και οι απόψεις για το πόσο άνθρωποι είναι οι διάφοροι ανθρωπίδες [σήμερα χρησιμοποιείται ο όρος *hominin* (ανθρωπίνης) αντί του *hominid* (ανθρωπίδης) για να περιγράψει είδη που ανήκουν στην ανθρωπίνη οικογένεια ή φυλή. Ο μέχρι πρόσφατα χρησιμοποιούμενος όρος *hominid* χρησιμοποιήθηκε όπως περιγράφεται στο 8^ο Μέρος. Συγκεκριμένοι ανθρωπίνες με εξαίρεση τον *Homo sapiens* έχουν σταδιακά γίνει αντιληπτοί ως λιγότερο ανθρωπίδες από τους παλαιο-ανθρωπολόγους, ιδιαίτερα τις 3 τελευταίες δεκαετίες. Οι διαφορετικές απόψεις για την καταγωγή των σύγχρονων ανθρώπων είναι όμως διαποτισμένες από διαφορετικές προοπτικές αυτού του θέματος (βλέπε Ενότητα 27).



ΣΧΗΜΑ 3.1 Αλλαγή προτύπων: Ανάμεσα στις αρχές του εικοστού αιώνα και σήμερα, οι ιδέες για τις σχέσεις μεταξύ των ανθρωποειδών πιθήκων και των ανθρώπων έχουν κλείσει πλήρη κύκλο.

Η ΚΑΤΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ (HOMININ) ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Άπαξ και η δουλειά του Δαρβίνου κατάφερε η εξέλιξη να γίνει η κυρίαρχη άποψη στους κύκλους των διανοουμένων του 19^{ου} αιώνα, οι επιστήμονες έπρεπε να εξηγήσουν την καταγωγή του ανθρώπου με όρους νατουραλιστικούς παρά



ΣΧΗΜΑ 3.2 Οι ανθρωπίδες/ανθρωπίδες ως άνθρωποι: Μέχρι πρόσφατα οι ανθρωπολόγοι συχνά σκέφτονταν για τα χαρακτηριστικά που έμοιαζαν ανθρώπινα ενώ εξέταζαν την καταγωγή των ανθρωπίνων (hominin), μια συνήθεια που μπορεί να ανιχνευθεί πίσω στα χρόνια του Δαρβίνου. Η ανθρωπίνη φύση των ανθρωπίνων/ανθρωπιδών θεωρείται σήμερα ως μια μάλλον πρόσφατη εξελικτική ανάπτυξη.

υπερφυσικούς. Και, όπως είδαμε στα δύο προηγούμενα κεφάλαια, το πιο σημαντικό ήταν να ερμηνεύσουν την εξελικτική καταγωγή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του ανθρωπίνου είδους, δηλαδή αυτών που τους διαφοροποιούν από τον φυσικό κόσμο. Αυτό το ζήτημα έθεσε μια τρομακτική πρόκληση και η απάντησή του έδωσε τον πνευματικό τόνο στην Παλαιoανθρωπολογία για πολύ καιρό.

Στο βιβλίο του «Η καταγωγή του ανθρώπου», ο Δαρβίνος καθόρισε εκείνα τα χαρακτηριστικά που εμφανώς κάνουν τους ανθρώπους ξεχωριστούς: αυτά είναι: η εξυπνάδα, η επι-

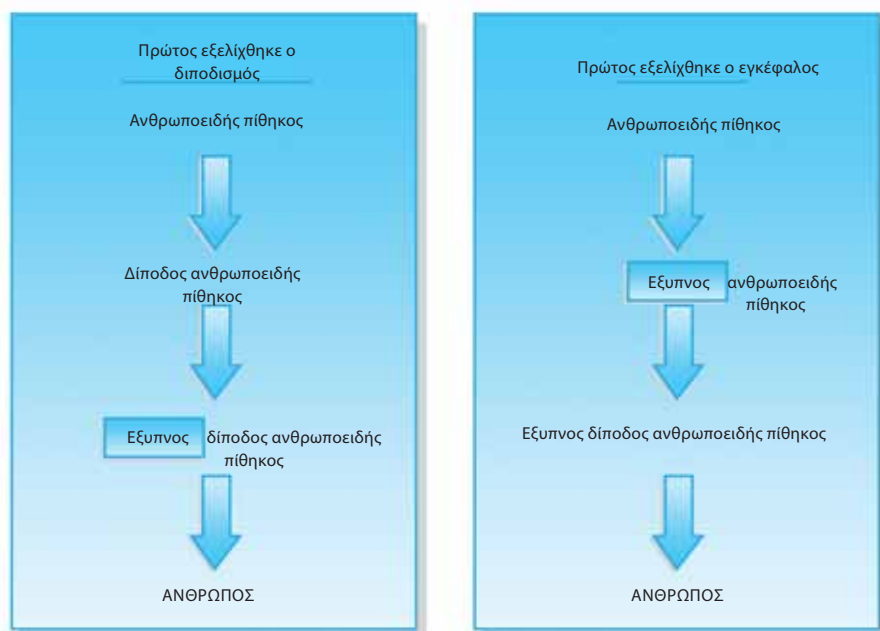
δεξιότητα των χεριών, η τεχνολογία και η όρθια στάση και βάδιση. Υποστήριξε ότι ένας ανθρωποειδής πίθηκος προικισμένος με ελάχιστες ποσότητες από κάθε ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά, θα είχε σίγουρα πλεονέκτημα έναντι των άλλων ανθρωποειδών πιθήκων. Όταν ο πιο πρόσφατος απόγονος των ανθρώπων καθιερώθηκε ως μέρος της εξελικτικής τροχιάς, η τελική ανάδυση του *Homo sapiens* φαινόταν σχεδόν αναπόφευκτη εξαιτίας της συνεχούς δύναμης της φυσικής επιλογής. Με άλλα λόγια η καταγωγή των ανθρωπίνων έγινε εξηγήσιμη με όρους ανθρωπίνων ιδιοτήτων και η καταγωγή των ανθρωπίνων επομένως ισοδυναμούσε με την καταγωγή του ανθρώπου (βλέπε Σχήμα 3.2). Ήταν μια δελεαστική συνταγή (φόρμουλα) που εξακολουθούσε να ισχύει μέχρι πρόσφατα.

ΤΟ ΣΤΗΣΙΜΟ ΤΟΥ ΣΚΗΝΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΛΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ PILTDOWN

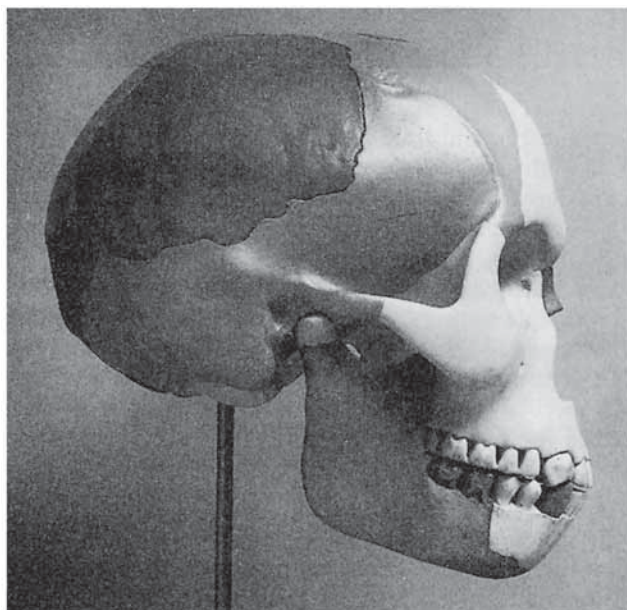
Στην αλλαγή του αιώνα, υπόβoσκαν πολλές αλληλοσχετιζόμενες στοχαστικές συζητήσεις. Μία από αυτές εστίαζε στο θέμα της κατάταξης με την οποία έλαβαν χώρα οι κυριότερες ανατομικές αλλαγές στην ανθρωπίνη γραμμή καταγωγής. Μια πρώτη άποψη ήταν ότι το πρώτο βήμα στον δρόμο προς τη δημιουργία της ανθρωπότητας ήταν η υιοθέτηση της δίποδης βάδισης. Η δεύτερη άποψη ήταν ότι ο εγκέφαλος είχε το προβάδισμα με το να παράγει ένα ευφύες όν το οποίο ακόμη ζει στα δένδρα (βλέπε Σχήμα 3.3). Μέσα σε αυτό κλίμα διανοήσης ήταν που έδρασε ο αυτουργός της απάτης του Πιλντάουν – μια φάρσα από θραύσματα ενός σύγχρονου ανθρωπίνου κρανίου και μια κάτω γνάθο ουραγοτάγκου, τα οποία είχαν παραποιηθεί ώστε να μοιάζουν με αρχαία απολιθώματα – η οποία διήρκεσε σχεδόν 5 χρόνια, από το 1908 μέχρι το 1913 (βλέπε Σχήμα 3.4). (Στα μέσα του 1996 τα πρώτα υλικά στοιχεία σχετικά με την ταυτότητα του πλαστογράφου του Πιλντάουν, ήλθαν στο φως, ενοχοποιώντας τον Martin Hinton, συνάδελφο του Arthur Smith Woodward στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας του Λονδίνου).

Τα «απολιθώματα» του Πιλντάουν φάνηκαν να επιβεβαι-

Στις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα υπήρχαν δύο κύριες αντιτιθέμενες θεωρίες για την καταγωγή του ανθρώπου



ΣΧΗΜΑ 3.3 Συγκρουόμενες απόψεις: Μία από τις βασικές διαφορές της άποψης σχετικά με την ιστορία της ανθρωπίνης εξέλιξης, ήταν ο ρόλος του επεκταθέντος εγκεφάλου: ήταν μια πρόωμη ή πρόσφατη ανάπτυξη; Η ιδέα «πρώτα ο εγκέφαλος» που προωθήθηκε από τον Elliot Smith, ήταν σημαντική στην προετοιμασία του εδάφους για την αποδοχή της απάτης του Piltdown.

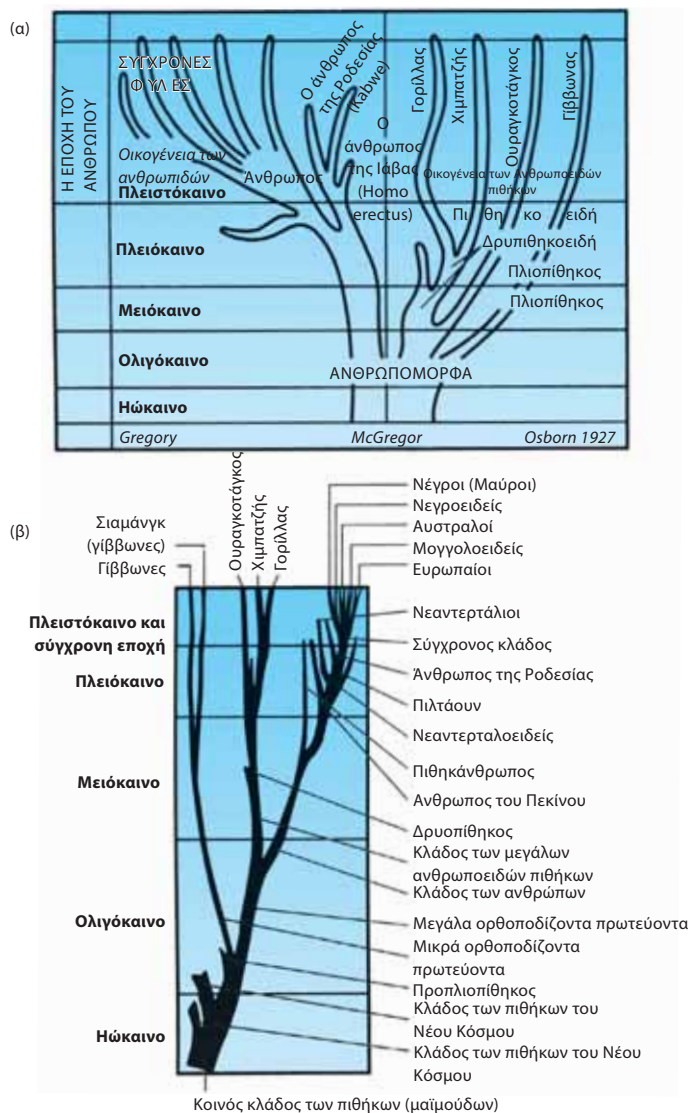


ΣΧΗΜΑ 3.4 Μια απολιθωμένη χίμαιρα: Ένα πρόπλασμα της ανασύστασης του Pliocene, βασισμένο στην κάτω γνάθο, τους κυνόδοντες και σε κρανιακά θραύσματα (σκούρο χρώμα). Η άμεση αποδοχή της παραποίησης του Pliocene – μια χίμαιρα ενός σύγχρονου ανθρώπινου κρανίου με κάτω γνάθο ουραγοκατάγκου – προέρχεται από την εμμονή των Βρετανών ανθρωπολόγων ότι στην εξελικτική κούρσα ο εγκέφαλος αναπτύχθηκε πρώτος. (Ευγενική χορηγία του American Museum of Natural History).

ώνουν όχι μόνο ότι ο εγκέφαλος πράγματι είχε το προβάδισμα, αλλά και ότι κάτι σχετικό με τη σύγχρονη μορφή του *sapiens* ήταν εξαιρετικά αρχαίο στην ανθρώπινη ιστορία. Η φαινομενική επιβεβαίωση αυτού του τελευταίου γεγονότος – της εξαιρετικής αρχαιότητας του ανθρώπου – ήταν σημαντική για τους δύο επιφανείς Βρετανούς ανθρωπολόγους, τον Sir Arthur Keith και τον Henry Fairfield Osborn, επειδή οι θεωρίες τους το απαντούσαν (Βλέπε Σχήμα 3.5). Μια συνέπεια του Πιλντάουν ήταν ότι ο Νεαντερτάλιος – ένα από τα λίγα αυθεντικά απολιθώματα της εποχής εκείνης, απορρίφθηκε ως άμεσος πρόγονος του *Homo sapiens*, επειδή φαινομενικά ήρθε αργότερα από το Πιλντάουν και όμως ήταν περισσότερο πρωτόγονος (Βλέπε Ενότητα 27). Οι Βρετανοί ανθρωπολόγοι ήταν φυσικά χαρούμενοι, θεωρώντας ότι η Μεγάλη Βρετανία ήταν τώρα σταθερά πάνω στον ανθρωπολογικό χάρτη, επισκιάζοντας φαινομενικά τους Γερμανικούς και Γαλλικούς ισχυρισμούς (Βλέπε Σχήμα 3.6).

Για τον Osborn το Πιλντάουν αντιπροσώπευε ισχυρή υποστήριξη στη θεωρία του, της Μοναδικής Δημιουργίας του Ανθρώπου (Dawn Man Theory), που ανέφερε ότι το ανθρώπινο είδος κατάγεται από τα ψηλά οροπέδια της κεντρικής Ασίας και όχι από τις ζούγκλες της Αφρικής. Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών '20 και '30, ο Osborn είχε εμπλακεί σε συνεχείς αλλά ευπρεπείς διαμάχες με τον συνάδελφό του William King Gregory, που υποστήριζε την όλο και λιγότερο δημοφιλή θεωρία των Δαρβίνου / Huxley / Haeckel, σχετικά με τη στενή σχέση ανάμεσα στους ανθρώπους και τους αφρικανικούς ανθρωποειδείς πιθήκους – δηλαδή τη θεωρία της καταγωγής του ανθρώπου από τους ανθρωποειδείς πιθήκους (Ape Man Theory).

Αν και ο Osborn δεν ήταν ποτέ πολύ σαφής σχετικά με το πώς έμοιαζαν οι **πρώτοι γεννήτορες** του ανθρώπου, ο



ΣΧΗΜΑ 3.5 Δύο φυλογενετικά δέντρα: (α) Η άποψη του Henry Fairfield Osborn το 1927 για την εξέλιξη του ανθρώπου, παρουσιάζει μια πολύ πρώιμη διαίρεση μεταξύ ανθρώπων και ανθρωποειδών πιθήκων (στη σημερινή γεωλογική κλίμακα, αυτό το τμήμα θα ήταν περίπου 30 εκατομμύρια χρόνια πριν), (β) η ελαφρώς πρώιμη απόδοση του Sir Arthur Keith παρουσιάζει επίσης μια πολύ πρώιμη διαίρεση ανθρώπων/ανθρωποειδών πιθήκων. Οι μακριές γραμμές συνδέουν τα σύγχρονα είδη με το υποτιθέμενο προγονικό απόθεμα, μια συνήθεια η οποία παρέμενε μέχρι πρόσφατα. Σημειώστε επίσης την διαδεδομένη μακρόχρονη ιστορία των σύγχρονων ανθρώπων φυλών.

σύμμαχός του Frederic Wood-Jones ενστερνιζόταν πιο συγκεκριμένες ιδέες. Ο Wood-Jones, ένας Βρετανός ανατόμος, ερμήνευε τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ανατομίας των ανθρωποειδών πιθήκων και μαϊμούδων ως εξειδικεύσεις που απουσίαζαν παντελώς από την ανθρώπινη ανατομία. Το 1919 πρότεινε την «υπόθεση του Ταρσιοειδούς» («tarsioid hypothesis»), που αναζητούσε τους προγόνους του ανθρώπου πολύ χαμηλά στην κατάταξη των Πρωτεύοντων θηλαστικών, σε ένα πλάσμα που έμοιαζε με τον σύγχρονο Τάρσιο. Με σημερινούς όρους, αυτή η πρόταση, θα τοποθετούσε την καταγωγή του ανθρώπου σε ένα διάστημα μεταξύ 50 και 60 εκατομμυρίων χρόνων πριν, κοντά στην ακτινωτή εξέλιξη των Πρωτεύοντων, ενώ η ιδέα του Keith για κάποιο είδος

Το φυσικό περιβάλλον όσον αφορά στη γεωγραφία και στο κλίμα, έχει αναγνωριστεί ως ένας σημαντικός οδηγός της εξελικτικής αλλαγής. Οι τεκτονικές πλάκες μπορούν να χωρίσουν τις προηγούμενες ενωμένες κοινότητες ή να ενώσουν τις προηγούμενως χωριστές κοινότητες, με βαθιές εξελικτικές συνέπειες. Η αλλαγή του κλίματος επίσης μπορεί να επηρεάσει την ειδογένεση και την εξαφάνιση, ανάλογα με τις ανάγκες των ειδών και τις αντοχές των πόρων.

Δύο παράγοντες αναγνωρίζονται ότι επηρεάζουν την εξέλιξη των νέων ειδών και την εξαφάνιση των υπαρχόντων ειδών. Ο πρώτος είναι το βιοτικό πλαίσιο – δηλαδή, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μελών ενός είδους και μεταξύ των διαφορετικών ειδών, κυρίως υπό τη μορφή του ανταγωνισμού και της συνακόλουθης φυσικής επιλογής. Ο δεύτερος είναι το φυσικό πλαίσιο, όπως η γεωγραφία και το κλίμα, που καθορίζει τους τύπους των ειδών που μπορούν να αναπτυχθούν σε συγκεκριμένες περιοχές του κόσμου σύμφωνα με τις κλιματικές τους προσαρμογές.

Οι βιολόγοι έχουν από καιρό συζητήσει τη σχετική συνεισφορά αυτών των δύο παραγόντων στην οδήγηση της εξελικτικής αλλαγής. Όπως ήταν αναμενόμενο, ο Δαρβίνος υπογράμμισε τη δύναμη της βιοτικής αλληλεπίδρασης, επειδή βρίσκεται στον πυρήνα της φυσικής επιλογής. Δεν αγνόησε τα αποτελέσματα του φυσικού περιβάλλοντος, αλλά τα είδε μόνο ως σύσφιγξη των βιδών του ανταγωνισμού.

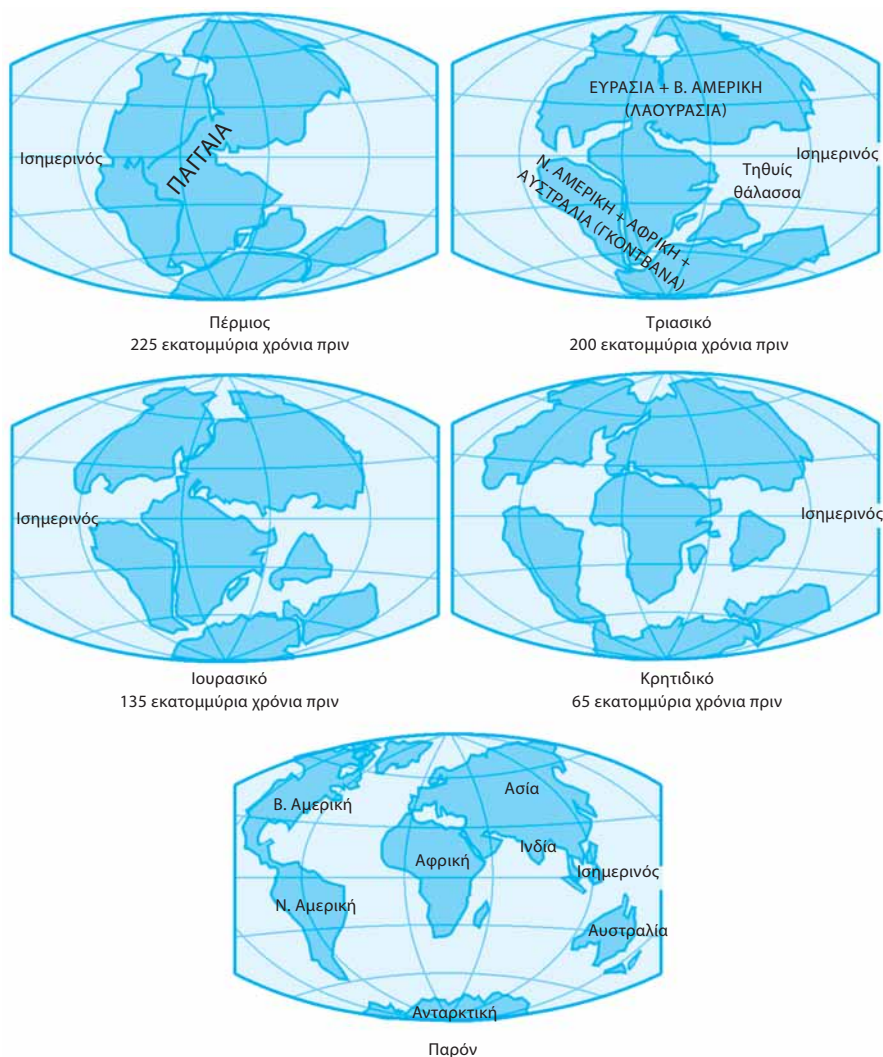
Αυτή η άποψη ήταν κεντρική στη σύγχρονη σύνθεση (συζητήθηκε στην προηγούμενη ενότητα 4), με το φυσικό πλαίσιο να παίρνει έναν εντελώς δευτερεύοντα ρόλο. Ακόμη και με την ανυπαρξία αλλαγής στο φυσικό περιβάλλον, όπως υποτέθηκε, η εξέλιξη θα συνεχιζόταν οδηγημένη από τη σταθερή πάλη για επιβίωση. Όταν ένα άτομο (ή είδος) κέρδιζε ένα μικρό προσαρμοστικό πλεονέκτημα ανάμεσα στα άλλα, ο Δαρβίνειος κανόνας για να προφτάσει θα τροφοδοτούσε με καύσιμα την εξελικτική μηχανή. Τα αρπακτικά ζώα και η λεία τους, για παράδειγμα, αντιμετωπίζονται σαν να συμμετέχουν σε μια σταθερή μάχη ή ως μια αρματωμένη εξελικτική κούρσα. Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, ο βιολόγος του Πανεπιστημίου του Σικάγο, Leigh van Valen, αποκάλεσε την ιδέα αυτή ως «Υπόθεση της Κόκκινης Βασίλισσας». Το όνομα προέρχεται από ένα πρόσωπο στο έργο «Alice Through the Looking Glass», το οποίο λέει στην Αλίκη ότι είναι απαραίτητο να τρέξει όσο το δυνατόν γρηγορότερα για να παραμείνει στο ίδιο μέρος. Η ίδια εξελικτική δυναμική θα ίσχυε με την έννοια του ανταγωνισμού ανάμεσα στα είδη για τους πόρους.

Στα τελευταία χρόνια, εντούτοις, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για το φυσικό πλαίσιο της ζωής και τον πιθανό του ρόλο στην εξέλιξη σε όλα τα επίπεδα, από την προώθηση της αλλαγής ανάμεσα στα είδη μέχρι να γίνει ο πιεστικός παράγοντας της ειδογένεσης και ακόμη της διαμόρφωσης ολόκληρης της ροής της ζωής. Αυτή η αλλαγή στην προοπτική προέρχεται από δύο πηγές. Η πρώτη, που απορρέει από την ευρεία αποδοχή του αλλοπατρικού είδους ως του κύριου μηχανισμού της εξέλιξης των νέων ειδών, θα αποτελέσει το θέμα αυτής της ενότητας. Η δεύτερη πηγή είναι η αυξανόμενη κατανόηση ότι η μαζική εξαφάνιση είναι κάτι παραπάνω από μια απλή διακοπή στη ροή της ζωής, και αντίθετα είναι μια δημιουργική επίδραση σε αυτή τη ροή. Αυτή η ιδέα θα συζητηθεί στην επόμενη ενότητα 6.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

Αν τα νέα είδη προκύπτουν κατά προτίμηση στους μικρούς και απομονωμένους πληθυσμούς (αλλοπατρική ειδογένεση), παρά στους μεγάλους συνεχείς πληθυσμούς (συμπατρική ειδογένεση), όπως η σύγχρονη εξελικτική θεωρία υποστηρίζει, τότε οι διαδικασίες που προωθούν την καθιέρωση των μικρών απομονωμένων πληθυσμών μπορούν να θεωρηθούν ως μια ενδεχόμενη κινητήρια εξελικτική δύναμη. Το φυσικό περιβάλλον παρέχει δύο μέσα με τα οποία αυτή διαδικασία μπορεί να συμβεί. Αρχικά, η τοπογραφία σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα μπορεί να αλλάξει, κυρίως μέσα από τον μηχανισμό των τεκτονικών πλακών. Δεύτερον, η παγκόσμια αλλαγή κλίματος μπορεί να οδηγηθεί από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων μερικών από τις επιδράσεις των **τεκτονικών πλακών**.

Ο εξωτερικό φλοιός της Γης είναι μια συνάθροιση δώδεκα και πλέον μεγάλων πλακών, των οποίων η σταθερή κατάσταση δημιουργίας και καταστροφής τους, τις κρατά σε συνεχή κίνηση σχετικά τη μια με την άλλη. Οι ηπειρωτικές μάζες που είναι λιγότερο πυκνές από τον φλοιώδη βράχο, στηρίζονται παθητικά στο πάνω μέρος αυτών των πλακών. Ως αποτέλεσμα, οι ηπειρωτικές μάζες βρίσκονται σε μια σταθερή κατάσταση (εξαιρετικά αργής) κίνησης, μετακινούμενες πάνω στον πλανήτη, όπως ένα κινητό παιγνίδι συναρμολόγησης. Οι ήπειροι ενώνονται περιστασιακά, διαμορφώνοντας μεγαλύτερες ηπειρωτικές μάζες, και σε άλλους χρόνους χωρίζονται, παράγοντας μικρότερες ηπειρωτικές μάζες. Στην προηγούμενη περίπτωση οι χλωρίδες και οι πανίδες που ήταν κάποτε ανεξάρτητες ενώθηκαν, ενώ στη δεύτερη περίπτωση οι χλωρίδες και πανίδες, που ήταν στο παρελθόν ενωμένες, διαίρεθηκαν (βλέπε Σχήμα 5.1).



ΣΧΗΜΑ 5.1 Μεταναστεύουσες ήπειροι: Καθώς οι μεγάλες γήινες πλάκες κινούνται η μία σχετικά με την άλλη, οι ήπειροι οδηγούνται παθητικά η μία πάνω στην άλλη. Στη διάρκεια της γήινης ιστορίας, η μορφή των μεγάλων μαζών έχει αλλάξει σταθερά, μερικές φορές με δραματικό αντίκτυπο στον βίοκοσμο (χλωρίδα και πανίδα) που ζει πάνω σε αυτές.

Για παράδειγμα, οι πίθηκοι του Παλιού και του Νέου Κόσμου προέρχονται από έναν κοινό πληθυσμό, αλλά ακολούθησαν ανεξάρτητες εξελικτικές πορείες, καθώς η νότια Αμερική και η Αφρική χωρίστηκαν περίπου πριν από 50 εκατομμύρια χρόνια. Τα μαρσιποφόρα της Αυστραλίας εξελίχθηκαν απομονωμένα από τα πλακουντοφόρα θηλαστικά, καθώς η νησιωτική αυτή ήπειρος έχασε την επαφή με τον Παλιό κόσμο (ηπειρωτικό) πριν από 60 περίπου εκατομμύρια χρόνια. Σε αντίθεση, όταν η βόρεια Αμερική ενώθηκε με τη νότια περίπου πριν από 3 εκατομμύρια χρόνια, με την ανάδυση του ισθμού του Παναμά, έλαβε χώρα μια ανάμειξη χλωρίδων και πανίδων που είχαν εξελιχθεί ανεξάρτητα για δεκάδες εκατομμύρια χρόνια. Τα ινδικά και ασιατικά είδη μετανάστευσαν από τη μια περιοχή στην άλλη, όταν οι ηπειρωτικές τους μάζες ενώθηκαν περίπου πριν από 45 εκατομμύρια χρόνια. Η Ινδία συνέχισε την προς βορρά κίνησή της προκαλώντας την εμφάνιση των Ιμαλαΐων, παράγοντας περαιτέρω γεωγραφικές και κλιματικές αλλαγές σε μεγάλο βαθμό. Η Αφρική και η Ευρασία ανταλλάξαν είδη, όταν οι ηπειρωτικές μάζες ήλθαν σε επαφή περίπου πριν από 18 εκατομμύρια χρόνια. Στη διαδικασία αυτή οι ανθρωποειδείς πίθηκοι συμμετείχαν στα είδη που έκαναν το ταξίδι από τον νότο προς τον βορρά, ενώ πολλά είδη αντιλόπης μετακινήθηκαν προς την αντίστροφη κατεύθυνση.

Όποτε οι ηπειρωτικές μάζες της γης απομονώνονταν ως

αποτέλεσμα της κίνησης των τεκτονικών πλακών – και συνεπώς και η εξελικτική τύχη – των γηγενών ειδών επηρεάζεται από το απλό αυτό γεγονός της απομόνωσης. Η απομόνωση των προγονικών ειδών θηλαστικών περίπου πριν από 100 εκατομμύρια χρόνια, όταν οι γήινες μάζες ήταν ιδιαίτερα τεμαχισμένες, πρόσφατα προτάθηκε ότι έχει υποκινήσει την ανάπτυξη των σύγχρονων τάξεων των Θηλαστικών. Βασισμένο σαν να είναι μια σύγκριση με μια ακολουθία γονιδίων σε μια χούφτα σύγχρονων θηλαστικών, αυτό το συμπέρασμα βρίσκεται σε διαφωνία με τις πρόσφατα αποδεκτές απόψεις για την εξέλιξη των Θηλαστικών. Αυτή η θεωρία προϋπέθετε την προέλευση των σύγχρονων τάξεων των θηλαστικών, ως ένα αποτέλεσμα των οικοθέσεων (ενδαιτημάτων) που ελευθερώθηκαν μετά την εξαφάνιση των δεινοσαύρων περίπου στα 65 εκατομμύρια χρόνια πριν.

Όταν οι προηγούμενα απομονωμένες γήινες μάζες ενώθηκαν, ακολούθησε μια περίπλοκη εξελικτική δυναμική, με μερικά είδη να εξαφανίζονται. Αυτή τη μοίρα είχαν πολλά θηλαστικά της νότιας Αμερικής, κατά τη διάρκεια της Μεγάλης εσωτερικής Αμερικανικής Ανταλλαγής. Άλλα είδη ίσως υπέστησαν ειδογένεση, στη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, όπως πολλά από τα θηλαστικά της βόρειας Αμερικής όταν εποίκισαν τη νότια Αμερική, οι ανθρωποειδείς πίθηκοι όταν διεσπάρησαν στην Ευρασία και οι αντιλόπες όταν εξαπλώθηκαν στην Αφρική.

Επιπροσθέτως, εκτός από τον επηρεασμό της εξέλιξης λόγω της μετακίνησης των γήινων μαζών, οι τεκτονικές πλάκες μπορούν να τροποποιήσουν το περιβάλλον μέσα στις μεμονωμένες ηπείρους. Ένα βασικό παράδειγμα αυτού του φαινομένου έλαβε χώρα στην Αφρική, το οποίο θα μπορούσε να έχει επηρεάσει την εξέλιξη του κλάδου των ανθρωπινών/ανθρωπιδών. Μιλώντας γενικά, πριν από 20 εκατομμύρια χρόνια, η αφρικανική ήπειρος ήταν τοπογραφικά επίπεδη και καλύπτονταν από τροπικά δάση από τα δυτικά μέχρι τα ανατολικά. Η τεκτονική δραστηριότητα τροποποίησε αυτό το πρότυπο σε πολύ μεγάλο βαθμό.

Το όριο μιας δευτερεύουσας τεκτονικής πλάκας τρέχει από βορρά προς νότο κάτω από την ανατολική Αφρική. Αρχίζοντας πριν 15 εκατομμύρια χρόνια, παρήγαγε μια τοπική ανάδυση η οποία απέφερε τεράστια οροπέδια από ηφαιστειακή λάβα τα οποία έφθασαν στα 2.000 μέτρα και συγκεντρώθηκαν κοντά στο σημερινό Ναϊρόμπι της Κένυας και την Αντίς Αμπέμπα της Αιθιοπίας. Αυτά τα υψίπεδα ήταν οι κενυατικοί και αιθιοπικοί θόλοι. Αποδυναμωμένοι από τις χωρισμένες πλάκες, ο ηπειρωτικός βράχος στη συνέχεια κατέρρευσε δημιουργώντας ένα μακρύ κάθετο φαράγγι, που απλώνεται σαν φίδι αρκετές χιλιάδες χιλιόμετρα από τη Μοζαμβίκη στον νότο μέχρι την Ερυθρά θάλασσα και την Αιθιοπία στον βορρά. Το άμεσο αποτέλεσμα των πρόσφατα ανυψωμένων υψιπέδων ήταν να πέσει η ανατολική πλευρά της ηπείρου σε βροχερή σκιά και να αλλάξει εντυπωσιακά την βλάστηση της περιοχής. Το συνεχές τροπικό δάσος αντικαταστάθηκε από «μπαλώματα» ανοικτών δασωδών περιοχών και τελικά από λιβάδια και σαβάνα. Ένας τέτοιος τεμαχισμός και τροποποίηση του ενδιαίτηματος θα πρέπει να τεμάχισε το εύρος των ζωικών ειδών που είχαν προσαρμοστεί στο δασικό περιβάλλον που ζούσαν εκεί, ενθαρρύνοντας την αλλοπατρική ειδογένεση. Το πιο σημαντικό είναι ότι το κάποτε ομοιογενές, από τοπογραφική άποψη, τοπίο, άλλαξε και έγινε εντελώς ποικιλόμορφο, κυμαινόμενο από ζεστή, άνυδρη και πεδινή έρημος σε δροσερά και υγρά υψίπεδα και μια ποικιλία ενδιάμεσων τύπων ενδιαιτημάτων.

Όλα τα είδη μπορούν να ανεχτούν ένα περιορισμένο εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως καθορίζεται από τη θερμοκρασία, τη διαθεσιμότητα του νερού και τον τύπο του εδάφους. Για τα ζωικά είδη, τα είδη των φυτών που είναι

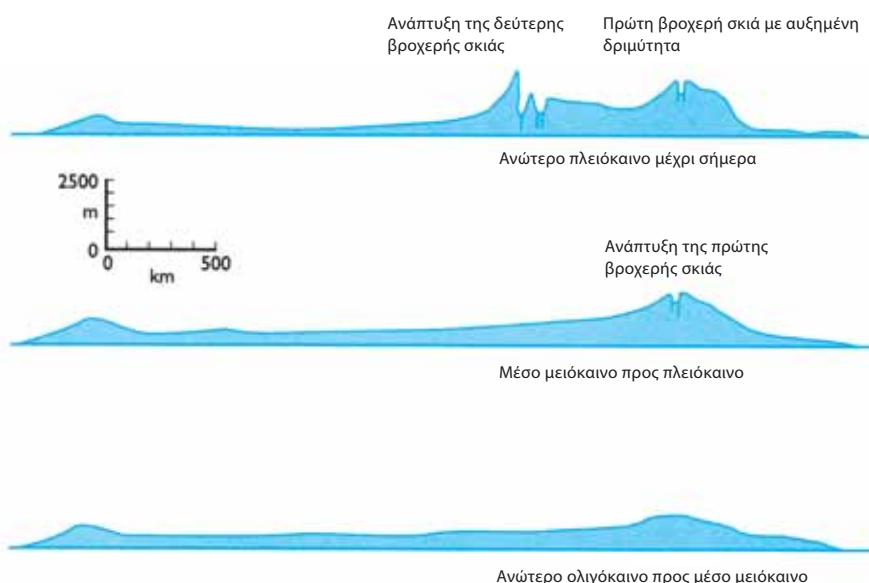
διαθέσιμα επηρεάζουν την ικανότητά τους να καταλάβουν οποιοδήποτε ιδιαίτερο **βιότοπο**. Ο βαθμός αντοχής κάποιων ειδών είναι μεγαλύτερος από κάποια άλλα είδη. Συνεπώς, τέτοια είδη θα είναι ικανά να επιβιώσουν σε τέτοιους βιοτόπους. Συνολικά, όμως, ένα τοπογραφικά ποικίλο έδαφος θα είναι επίσης και βιολογικά ποικιλόμορφο.

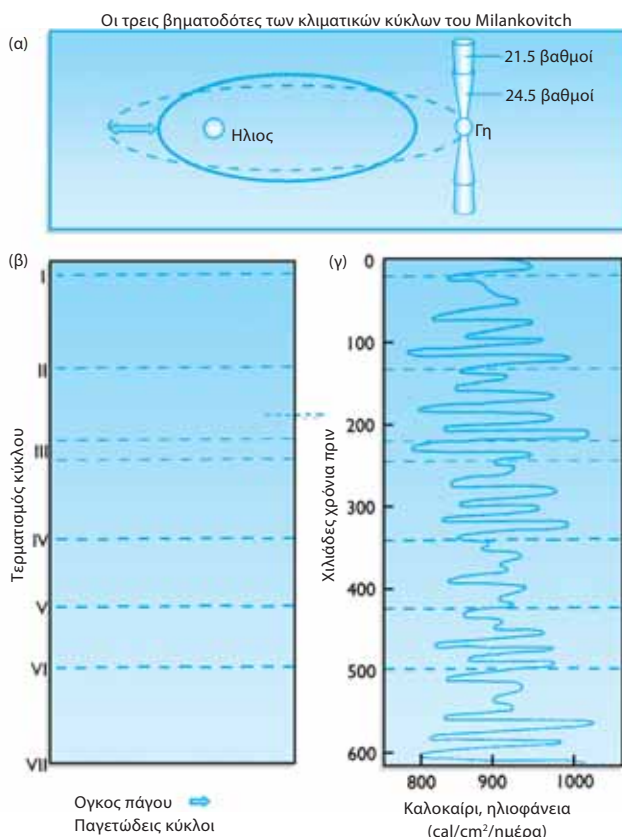
Επιπλέον, η τοπογραφική ποικιλομορφία δημιουργεί όρια στη μετακίνηση των πληθυσμών. Για παράδειγμα, ένα είδος που είναι προσαρμοσμένο να ζει σε συνθήκες μεγάλου υψομέτρου μπορεί να εμποδίζεται στη μετακίνηση από το ένα οροπέδιο στο άλλο επειδή το παρεμβαλλόμενο ενδιάμεσο έδαφος είναι αφιλόξενο. Ως αποτέλεσμα, σε μια περιοχή τοπογραφικά ποικιλόμορφη, βρίσκουν καταφύγιο μικροί απομονωμένοι πληθυσμοί και συνεπώς αντιπροσωπεύει ένα ενδεχόμενο εξελικτικό εργοστάσιο παραγωγής νέων ειδών. Η τεκτονική ανύψωση και καταβύθιση του εδάφους που δημιούργησαν την κοιλάδα του μεγάλου Ρήγματος (φαραγγιού) (Great Rift Valley) στην ανατολική Αφρική παρήγαγε μια τέτοια τοπογραφία, και μπορεί να δημιούργησε συνθήκες αποφασιστικής σημασίας για την εξέλιξη των ανθρωπινών ανθρωπιδών από έναν πρόγονο που έμοιαζε με ανθρωποειδή πίθηκο (βλέπε Σχήμα 5.2). Ωστόσο, η πρόσφατη ανακάλυψη ενός πρώιμου ανθρωπιδικού είδους από τη δυτική πλευρά της Κοιλάδας του Ρήγματος (στο Τσαντ) υποδεικνύει ότι η ιστορία της καταγωγής των ανθρωπινών/ανθρωπιδών μπορεί να είναι πολύ πιο περίπλοκη από ό,τι κάποτε πιστευόταν (βλέπε Ενότητα 19).

Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΕΝΔΙΑΙΤΗΜΑΤΩΝ

Στη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας έχει συγκεντρωθεί μια αξιοσημείωτη βάση δεδομένων σχετικά με το κλίμα της Γης στη διάρκεια του Καινοζωικού αιώνα, από τα 65 εκατομμύρια χρόνια πριν μέχρι σήμερα, και ιδιαίτερα για την χρονική περίοδο που σχετίζεται στενά με την εξέλιξη του ανθρώπου, τα τελευταία 5 εκατομμύρια χρόνια. Η κλιματική εικόνα είναι μια εικόνα από συνεχείς και μερικές φορές δραματικές αλλαγές μέσα σε ένα δίκτυο μιας ψυχρής τάσης. Πάνω σε αυτό το πρότυπο τοποθετούνται παγκόσμιος ψυχρός και θερμός κύκλοι, οι επονομαζόμενοι κύκλοι Milankovitch, με μια περιοδικότητα 100.000, 41.000 και 23.000 χρόνων (βλέπε Σχήμα 5.3).

ΣΧΗΜΑ 5.2 Η τοπογραφική τομή της Αφρικής κατά μήκος του ισημερινού: Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 20 εκατομμυρίων χρόνων, η τεκτονική δραστηριότητα κάτω από την Ανατολική Αφρική προκάλεσε την άνοδο και το επακόλουθο ρήγμα, διαμορφώνοντας τη σύγχρονη μεγάλη κοιλάδα του ρήγματος. Η επίδραση αυτή ήταν διπλή. Κατ' αρχάς, έριξε το ανατολικό τμήμα της ηπείρου με τις ανυψωμένες ορεινές περιοχές σε μια βροχερή σκιά, αναγκάζοντας την κάποτε συνεχή δασική κάλυψη να στενέψει και να τεμαχιστεί. Δεύτερον, παρήγαγε μια μεγάλη τοπογραφική ποικιλομορφία, η οποία με τη σειρά της παρήγαγε ένα μωσαϊκό τεμαχισμένων βιοτόπων. Αυτά τα αποτελέσματα θεωρούνται ότι επέδρασαν στην εξέλιξη των ανθρωπινών/ανθρωπιδών, μεταξύ άλλων εξελικτικών αλλαγών (Ευγενική χορηγία των T. Partridge et al).





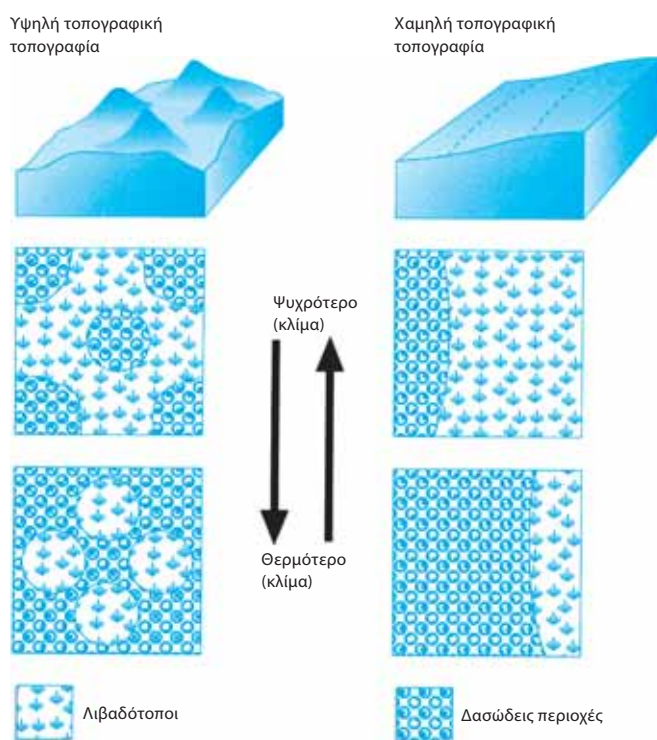
ΣΧΗΜΑ 5.3 Οι κλιματικοί κύκλοι Milankovitch των προηγούμενων 600.000 χρόνων: Στη μακροπρόθεσμη αλλαγή κλίματος επικάθονται κανονικοί κύκλοι που οδηγούνται από τρεις βηματοδότες: (α) αλλαγές στην τροχιακή εκκεντροφικότητα και κλίση και προσανατολισμός του άξονα γήινης περιστροφής, ο οποίος οδηγεί σε έναν κύκλο 100.000 χρόνων (β) αλλαγές στον όγκο των φύλλων του γήινου πάγου, που δίνουν έναν κύκλο κάθε 41.000 χρόνια και (γ) επίδραση της έντασης της θερινής ηλιοφάνειας στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη, που παράγει έναν κύκλο κάθε 23.000 χρόνια.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 5 εκατομμυρίων χρόνων από την πρώτη εμφάνιση του ανθρωπιδικού κλάδου, έχουν συμβεί αρκετά μεγάλα παγκόσμια ψυχρά επεισόδια μέσα σε αυτή τη γενική τάση και έναντι του υπόβαθρου των συχνών κύκλων Milankovitch. Η ύπαρξη αυτών των επεισοδίων συμπεραίνεται από τα δεδομένα ισοτόπων οξυγόνου και πιο πρόσφατα από μετρήσεις της μεταφερόμενης με τον αέρα σκόνης στους ωκεανούς γύρω από την Αφρική. Το πρώτο γεγονός εμφανίζεται στα 5 εκατομμύρια χρόνια και περιλαμβάνει σημαντική πτώση της θερμοκρασίας. Το δεύτερο ανάμεσα στα 3,5 και 2,5 εκατομμύρια χρόνια πριν, και έχει συνδεθεί με την πρώτη σημαντική συγκέντρωση πάγων στην Αρκτική και την ουσιαστική επέκταση των πάγων της Ανταρκτικής. Οι σύγχρονες ρίζες της Σαχάρας βρίσκονται επίσης σε αυτό το σημείο. Αυτή η αρχή της σύγχρονης παγετώδους περιόδου μπορεί να είχε αρχίσει από μια αλλαγή στα πρότυπα κυκλοφορίας στην ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς ως αποτέλεσμα την ανάδυσης του ισθμού του Παναμά, ο οποίος ένωσε την Αμερικανική ήπειρο πριν από περίπου 3,5 εκατομμύρια χρόνια. Το τρίτο επεισόδιο έλαβε χώρα στα 1,7 εκατομμύρια χρόνια πριν. Το τέταρτο εμφανίστηκε περίπου στα 0,9 εκατομμύρια χρόνια πριν και πιθανότατα προκλήθηκε από την ανάδυση της δυτικής βόρειας Αμερικής, και την

επέκταση των ιμαλαίων και του οροπεδίου του Θιβέτ. Από τα τέσσερα αυτά γεγονότα, το δεύτερο είχε τη μεγαλύτερη διάρκεια. Το συνολικό πρότυπο της κλιματικής αλλαγής είναι συνεπώς εξαιρετικά περίπλοκο, καθοδηγούμενο από αρκετούς διαφορετικούς παράγοντες.

Αναπόφευκτα, τα είδη και τα οικοσυστήματα των οποίων είναι ένα μέρος δεν μπορούν να παραμείνουν ανέπαφα σε μια τέτοιου μεγέθους κλιματική αλλαγή. Οι ακραίες θερμοκρασίες των κύκλων Milankovitch ξεπερνούν τις αντοχές των ενδιαιτημάτων, ουσιαστικά όλων των ειδών και μετατρέπουν το κάποια στιγμή κατάλληλο ενδιαιτήμα σε ακατάλληλο. Οι μεγαλύτερες αλλαγές έχουν ακόμη πιο δραματικές επιπτώσεις. Η μέση διάρκεια ζωής ενός χερσαίου είδους θηλαστικού, για παράδειγμα, είναι μερικά εκατομμύρια χρόνια. Η περιодότητα των κύκλων είναι ακριβώς ένα κλάσμα αυτής της μέσης διάρκειας. Έτσι, είναι εμφανές ότι τα περισσότερα είδη είναι ικανά να επιβιώνουν αυτών των επαναλαμβανόμενων κλιματικών διακυμάνσεων. Η κύρια απάντηση των ειδών στο κλίμα είναι η διασπορά, ακολουθώντας την αλλαγή για να παραμείνουν σε φιλόξενα ενδιαιτήματα. Κατά τη διάρκεια της παγκόσμιας ψυχρής περιόδου, η διασπορά μετακινείται στα χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη. Στη διάρκεια των θερμών περιόδων παίρνει την αντίστροφη κατεύθυνση. Επειδή τα είδη έχουν διαφορετικά όρια αντοχής, τα οικοσυστήματα δεν μεταναστεύουν αθρόα, αλλά μάλλον τεμαχίζονται διαμορφώνοντας τελικά τις νέες κοινότητες.

Επίσης, είναι πιθανές και άλλες βιοτικές αποκρίσεις στην κλιματική αλλαγή, ιδιαίτερα όταν ξεπερνιέται ένα κατώτα-



ΣΧΗΜΑ 5.4 Η αλλαγή κλίματος και υψηλή τοπογραφική ποικιλομορφία: Κατά τη διάρκεια των χρόνων της ψύχρανσης του κλίματος, οι περιοχές υψηλής τοπογραφικής ποικιλομορφίας θα φιλοξενήσουν πολλούς vicariant πληθυσμούς, που απομονώνονται λόγω της ανεκμότητάς τους οργανισμών να βρουν κατάλληλα ενδιαιτήματα μέσω της διασποράς. (Ευγενική χορηγία της Ε. Vrba.)

το όριο αντοχής – συγκεκριμένα η εξαφάνιση και η ειδογένεση. Αυτές οι τάσεις αποτελούν την καρδιά της **Υπόθεσης του Ενδιαιτήματος**, η οποία αρχικά προτάθηκε από τη βιολόγο του Πανεπιστημίου του Yale, Elisabeth Vrba. Αν και έχει αρκετά συστατικά, η υπόθεση του ενδιαιτήματος μπορεί να διατυπωθεί απλά: η απόκριση του είδους στην κλιματική αλλαγή αντιπροσωπεύει την κύρια μηχανή της εξελικτικής αλλαγής. Ο μέγιστος μηχανισμός μιας τέτοιας αλλαγής είναι η δημιουργία αλλοπατρικών πληθυσμών από τους κάποτε συνεχείς πληθυσμούς ή με την καθιέρωση φυσικών φραγμών (ορίων) ή με τη διασπορά των πληθυσμών κατά μήκος αυτών των ορίων («**vicariance**»). Γεωγραφικές περιοχές με υψηλή τοπογραφική ποικιλότητα αναπόφευκτα έχουν μια μεγαλύτερη τάση να δημιουργούν **vicariant** πληθυσμούς όταν το κλίμα αλλάζει (βλέπε Σχήμα 5.4). Αφού αυτοί οι πληθυσμοί καθιερωθούν, είναι τρωτοί στην εξαφάνιση κι έχουν μια ευκαιρία για ειδογένεση (βλέπε Ενότητα 4).

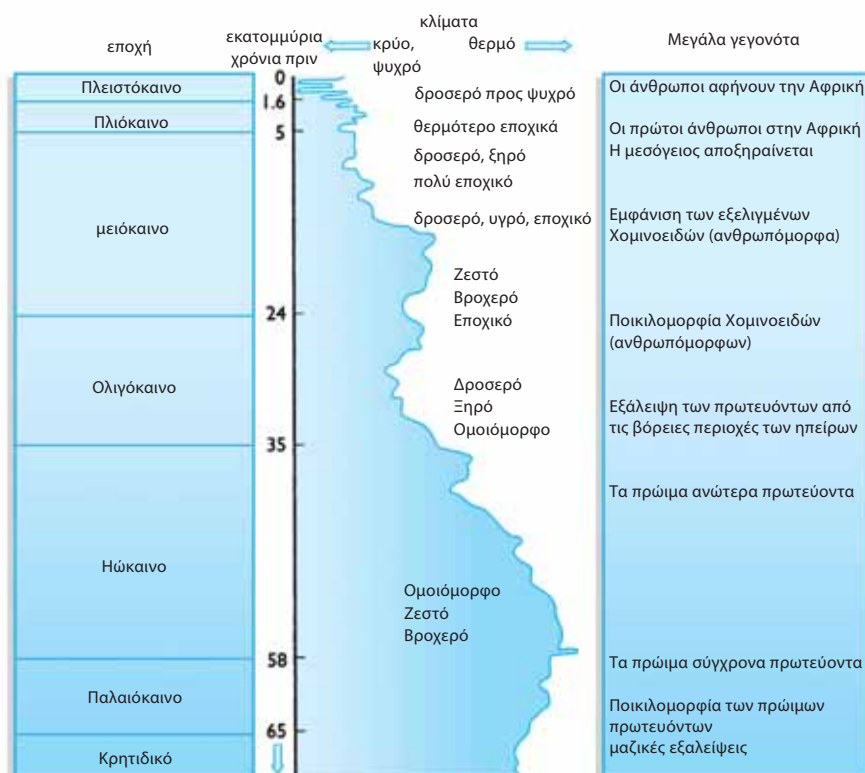
Λόγω των ποικίλων προσαρμογών διαφορετικοί τύποι ειδών, εμφανίζουν διαφορετικές ευαισθησίες στην κλιματική αλλαγή. Τα είδη που έχουν προσαρμοστεί στα θερμά κλίματα, όπως στα τροπικά δάση και τα ζώα που ζουν σε αυτά, ομαδοποιούνται γύρω από τον ισημερινό και θα επεκταθούν στις ζεστές περιόδους. Τα εύκρατα δάση και οι λιβαδότοποι επικρατούν στα υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη. Μια πτώση στη θερμοκρασία ολόκληρου του πλανήτη θα παραγάγει μια γενική μετανάστευση προς τον ισημερινό, μειώνοντας δραστικά την περιοχή που είναι διαθέσιμη για τα τροπικά δάση, η οποία αποκρίνεται με το να μειωθεί σε έκταση και να τεμαχιστεί. Κατά τη μετανάστευσή τους προς τον ισημερινό, οι λιβαδότοποι μπορεί να είναι ικανοί να κατέχουν μια περιοχή παρόμοια με εκείνη σε προηγούμενα κλίματα, αφήνοντας πίσω μικρά τμήματα γης ενός **vicariant** ενδιαιτήματος που σφετερίζονται από την τούνδρα. Άρα, κατά τη διάρκεια τέτοιων κλιματικών περιόδων τα είδη που είναι προσαρμο-

σμένα στα θερμά κλίματα είναι πιθανόν να υποστούν υψηλότερους ρυθμούς εξαφάνισης και ειδογένεσης παρά τα προσαρμοσμένα σε κρύα κλίματα. Το αντίστροφο θα μπορούσε να συμβαίνει στις περιπτώσεις ανόδου της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Λόγω της γενικής ψυχρής τάσης των τελευταίων 20 εκατομμυρίων χρόνων, το προηγούμενο πρότυπο θα πρέπει να είχε επικρατήσει (βλέπε Σχήμα 5.5).

Φυσικά, παρατηρούνται διαφορές ανάμεσα στα προσαρμοσμένα σε θερμά και σε ψυχρά κλίματα, είδη. Μερικά είδη έχουν εξειδικευμένα ενδιαιτήματα, ενώ κάποια άλλα είναι γενικευμένα (αυτοί οι όροι αναφέρονται στη διαθεσιμότητα των απαιτούμενων πηγών διατροφής, και όχι στο εύρος της). Οι μυρμηγκοφάγοι, για παράδειγμα, έχουν εξειδικευμένη διατροφή, και επειδή η τροφή τους είναι άφθονη σε πολλά και διαφορετικά ενδιαιτήματα, μπορούν και αντέχουν τις σημαντικές αλλαγές ενδιαιτημάτων. Τα είδη που έχουν γενικευμένη διατροφή, όπως είναι τα μεγάλα σαρκοφάγα και παμφάγα μπορούν να αντιπαρέλθουν τις αλλαγές ενδιαιτημάτων, λόγω του εύρους της διατροφής τους. Τα είδη που μπορούν να επιβιώσουν σε διαφορετικά είδη **ενδιαιτημάτων ή βιοτόπων** είναι γνωστά ως **ευρυβιοτικά** και εκείνα με αντοχή σε μικρό εύρος ενδιαιτημάτων είναι γνωστά **στενοβιοτικά**. Δεν αποτελεί έκπληξη ότι τα στενοβιοτικά είδη είναι περισσότερο τρωτά στις κλιματικές αλλαγές από ό,τι είναι τα ευρυβιοτικά – ένα πρότυπο, για παράδειγμα, το οποίο φαίνεται στην εξελικτική ιστορία των αφρικανικών θηλαστικών. Όλοι οι κλάδοι των ζώων που βοσκούν χορτάρι αποκλειστικά (*grazers*), αλλά και όλοι οι κλάδοι των ζώων που τρέφονται αποκλειστικά με φύλλα (*browsers*) σταθερά εμφανίζουν υψηλότερους ρυθμούς ειδογένεσης και εξαφάνισης παρά τα ζώα εκείνα που τρέφονται και με χορτάρι και με φύλλα. Ως αποτέλεσμα, τα βιοτικά γενικευμένα είδη είναι λιγότερα αριθμητικά από τα βιοτικά εξειδικευμένα.

Η θεωρία του ενδιαιτήματος αναπόφευκτα δίνει μεγάλη

ΣΧΗΜΑ 5.5 Τα κλιματικά πρότυπα από τα τέλη του Κρητιδικού: Μια γενική τάση ψύξης με τοπικές διακυμάνσεις χαρακτηρίζει την καινοζωική περίοδο, η οποία καταλήγει στην πλειστόκαινη παγετώδη περίοδο. Τα πιο σημαντικά γεγονότα της εξέλιξης των πρωτεύοντων παρουσιάζονται στη δεξιά στήλη. (Ευγενική χορηγία I. Tattersall).





ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗΣ

7

Οι παλαιοανθρωπολόγοι έχουν μια σειρά τεχνικών για να συμπεραίνουν την ηλικία των απολιθωμάτων και των χειροποίητων αντικειμένων. Χαρακτηριστικά, οι τεχνικές εξαρτώνται από τον καθορισμό της ηλικίας των φυσικών υλικών που συνδέονται με τα εν λόγω υπολείμματα, όπως τα στρώματα στα οποία βρίσκονται ή άλλα απολιθώματα γνωστής ηλικίας. Πολλές από τις τεχνικές αυτές είναι βασισμένες στην αποσύνθεση των ραδιενεργών ισotόπων.

Ένα ακριβές χρονικό διάστημα αποτελεί μια κρίσιμη πτυχή για την ανασύσταση του προτύπου της εξέλιξης των ανατομικών χαρακτήρων αλλά και των χαρακτηριστικών της συμπεριφοράς των πρώιμων ανθρωπιδών. Σήμερα είναι διαθέσιμες τουλάχιστον έξι μέθοδοι χρονολόγησης, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να καλύψουν γεγονότα από 1.000 μέχρι πολλά εκατομμύρια χρόνια, μολονότι υπάρχουν ακόμη μερικά απογοητευτικά χάσματα. Οι παλαιοανθρωπολόγοι εστιάζουν την προσοχή τους στα τελευταία 10 εκατομμύρια χρόνια περίπου, χρονικό διάστημα στο οποίο περιλαμβάνονται μερικά από εκείνα τα χάσματα.

Οι ερευνητές που θέλουν να γνωρίζουν την ηλικία συγκριμένων ανθρωπιδικών (hominin) απολιθωμάτων ή/και χειροποίητων αντικειμένων έχουν σε γενικές γραμμές δύο επιλογές χρονολόγησης: τις άμεσες και τις έμμεσες μεθόδους.

Οι άμεσες μέθοδοι εφαρμόζουν τις τεχνικές χρονολόγησης στα αντικείμενα. Όμως αυτή η προσέγγιση προκαλεί δύο τύπους προβλημάτων. Καταρχάς, για τα περισσότερα αντικείμενα που μας ενδιαφέρουν, καμία μέθοδος δεν είναι μέχρι σήμερα διαθέσιμη για άμεση χρονολόγηση. Τα πολύ αρχαία απολιθώματα και τα περισσότερα λίθινα εργαλεία, για παράδειγμα, δεν μπορούν να χρονολογηθούν με άμεσες τεχνικές χρονολόγησης. Μερικές μέθοδοι, όπως η ραδιοχρονολόγηση (χρονολόγηση με άνθρακα-14) και ο ηλεκτρονικός παραμαγνητικός συντονισμός (electron spin resonance, ESR), μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα σε δόντια ή νεότερα απολιθώματα, και μάλιστα στις χρωστικές ουσίες των ζωγραφιών στις βραχοσκεπές και στα σπήλαια. Επιπλέον, η χρονολόγηση με **θερμοφωταύγεια** (thermoluminescence) μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα σε αρχαία δοχεία, τσακμακόπετρες, και κόκκους άμμου.

Δεύτερον, τα απολιθώματα και τα τέχνηρα (χειροποίητα αντικείμενα) είναι συχνά πάρα πολύ πολύτιμα για να διακινδυνεύσουμε να καταστραφεί κάποιο μέρος τους κατά τη διαδικασία της χρονολόγησης.

Στην πράξη, οι έμμεσες μέθοδοι χρονολόγησης αντιπροσωπεύουν την τυπική προσέγγιση. Εδώ, η ηλικία ενός

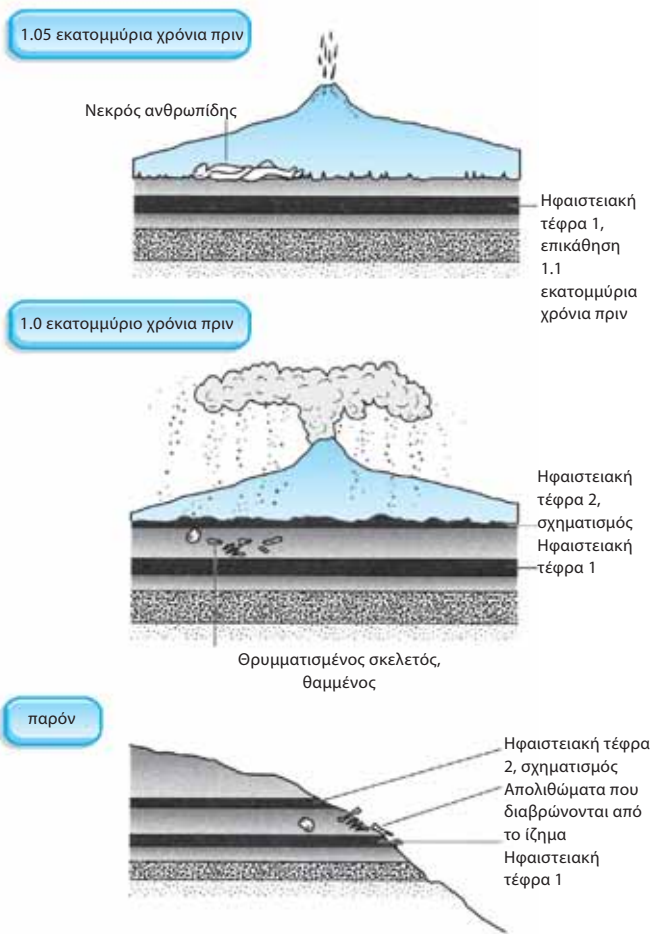
απολιθώματος ή τέχνηργου προσεγγίζεται με τη χρονολόγηση ενός άλλου αντικειμένου που συνδέεται με αυτό. Αυτή η στρατηγική μπορεί να περιλάβει την άμεση χρονολόγηση μη ανθρώπινων απολιθωμένων δοντιών που εμφανίζονται στο ίδιο **γεωλογικό στρώμα (στρωματογραφία)** με ESR, για παράδειγμα, ή τη χρονολόγηση με θερμοφωταύγεια των τσακμακόπετρων (πυρόλιθων) που συνδέονται με τα ανθρώπινα απολιθώματα. Και οι δύο αυτές οι προσεγγίσεις έχουν εφαρμοστεί τα τελευταία χρόνια στα απολιθώματα που σχετίζονται με την καταγωγή των σύγχρονων ανθρώπων (Βλέπε Ενότητα 27). Στα απολιθώματα ή στα τέχνηρα μπορεί να αποδοθεί μια ηλικία μέσω των πληροφοριών για το εξελικτικό στάδιο των μη ανθρώπινων απολιθωμάτων που συνδέονται με αυτά, μία τεχνική που είναι γνωστή ως **πανιδική συσχέτιση**.

Η πιο κοινή έμμεση προσέγγιση μέχρι σήμερα, όπου αυτή μπορεί να εφαρμοστεί, είναι η χρονολόγηση από τη στρωματογραφία (επάλληλα γεωλογικά στρώματα) που βρίσκονται κάτω και επάνω από το εν λόγω αντικείμενο. Τα γεωλογικά στρώματα συσσωρεύονται από το κατώτατο σημείο προς τα επάνω, έτσι ώστε τα χαμηλότερα στρώματα να θεωρούνται ως παλαιότερα και τα ανώτερα στρώματα ως νεότερα. Οι δύο χρονολογήσεις, που λαμβάνονται από κάτω και επάνω από το αντικείμενο, παρέχουν τα όρια που περιλαμβάνουν τη χρονολογία κατά την οποία το αντικείμενο θάφτηκε στο στρωματογραφικό σύστημα.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ερευνήσουμε εν συντομία τις κύριες διαθέσιμες τεχνικές και θα προσδιορίσουμε πού αυτές μπορούν να εφαρμοστούν καλύτερα. Οι τεχνικές μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο τύπους: σε εκείνον που παρέχει σχετική χρονολόγηση και σε εκείνον που παρέχει απόλυτη χρονολόγηση. Οι τεχνικές **σχετικής χρονολόγησης** δίνουν πληροφορίες για την υπό μελέτη περιοχή, σε σχέση με δεδομένα άλλων περιοχών ή άλλες πηγές πληροφοριών. Οι τεχνικές **απόλυτης χρονολόγησης** παρέχουν πληροφορίες από κάποιον είδους φυσική μέτρηση της ηλικίας των υλικών στην υπό μελέτη θέση.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗΣ

Οι τεχνικές σχετικής χρονολόγησης περιλαμβάνουν την **πανιδική συσχέτιση** και τον **παλαιομαγνητισμό**. Οι γεωλόγοι και οι παλαιοντολόγοι έχουν χρησιμοποιήσει από καιρό τα απολιθώματα για να προσδιορίσουν την προϊστορία. Για παράδειγμα, συμπεράσματα για το γεωλογικό χρονικό διάστημα της ιστορίας της ζωής στη γη εξάγονται με βάση σημαντικές



ΣΧΗΜΑ 7.1 Η ζωή και η χρονολόγηση ενός απολιθώματος: Τα απολιθώματα δεν μπορούν να χρονολογηθούν άμεσα. Η χρονολόγησή τους μπορεί να προκύψει από τη χρονολόγηση των ηφαιστειακών στρωμάτων τέφρας που βρίσκονται ακριβώς κάτω και ακριβώς επάνω από το απολιθώμα.

αλλαγές των απολιθωμένων πληθυσμών, όπως οι εμφανίσεις και οι εξαφανίσεις ομάδων. Οι αρχαιολόγοι και οι ανθρωπολόγοι επειδή ενδιαφέρονται για μια λεπτομερή προσέγγιση, συχνά ψάχνουν για εξελικτικές αλλαγές μέσα σε αυτές τις ομάδες. Μεταξύ των σημαντικότερων ειδών για τους παλαιοανθρωπολόγους είναι οι ελέφαντες, οι χοίροι, και τα άλογα.

Η αρχή της πανδικής συσχέτισης είναι απλή. Για παράδειγμα, εάν ένα ανθρώπινο απολιθώμα βρίσκεται σε ιζηματογενή στρώματα που περιλαμβάνουν επίσης απολιθωμένους χοίρους που είναι γνωστό ότι έζησαν μεταξύ 2 και 1,6 εκατομμυρίων χρόνων (όπως αξιολογείται, για παράδειγμα, από το μέγεθος ή τη μορφολογία δοντιών), μπορεί να εξαχθεί συμπεράσμα και για τη χρονολόγηση του ανθρώπινου απολιθώματος. (βλέπε Σχήμα 7.1.)

Η αρχή του παλαιομαγνητισμού είναι βασισμένη στο γεγονός ότι ο γήινος μαγνητικός άξονας αντιστρέφεται περιοδικά. Αυτήν την περίοδο βρισκόμαστε σε μια κατάσταση γνωστή ως «κανονική» πολικότητα, όπου ο μαγνητικός Βορράς συμπίπτει με τον γεωγραφικό Βορρά. Κατά τη διάρκεια των αντιστροφών, που συμβαίνουν κάθε μερικές εκατοντάδες χιλιάδες ή εκατομμύρια χρόνια, μια μαγνητική βελόνα θα έδειχνε τον Νότο. Καθώς οι βράχοι διαμορφώνονται, ιδιαίτερα μετά από ηφαιστειακές εκρήξεις ή κατά τη διάρκεια από-

θεσης λεπτόκοκκου υλικού, η κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου καταγράφεται στον προσανατολισμό των υλικών που περιέχουν σίδηρο. Οι γεωλόγοι έχουν συγκεντρώσει πολλές πληροφορίες για τις παρελθούσες πολικότητες κι έχουν κατασκευάσει ένα διάγραμμα που δείχνει τις χρονολογίες των αντιστροφών.

Στη χρονολόγηση με παλαιομαγνητισμό, ένα μεμονωμένο κομμάτι ηφαιστειακού βράχου ή συγκεκριμένοι τύποι ιζηματογενών βράχων που λαμβάνονται από μια θέση μπορούν να ελεγχθούν για την πολικότητά τους. Από μόνες τους οι πληροφορίες είναι ανεπαρκείς για να χρονολογήσουν μια θέση, επειδή η γνώση για το αν ένα συγκεκριμένο στρώμα έχει αντεστραμμένη ή κανονική πολικότητα αφήνει πολλές επιλογές ανοικτές. Μια σειρά στρωμάτων που αποκαλύπτουν ένα σχετικά μεγάλο τμήμα του συνολικού προτύπου είναι κάποιες φορές επαρκής, ώστε να παρέχει μια ασφαλέστερη χρονολόγηση (βλέπε Σχήμα 7.2). Όμως, σε γενικές γραμμές η χρονολόγηση με παλαιομαγνητισμό είναι μάλλον ανακριβής και χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους, ιδιαίτερα με τη **ραδιομετρική χρονολόγηση**.

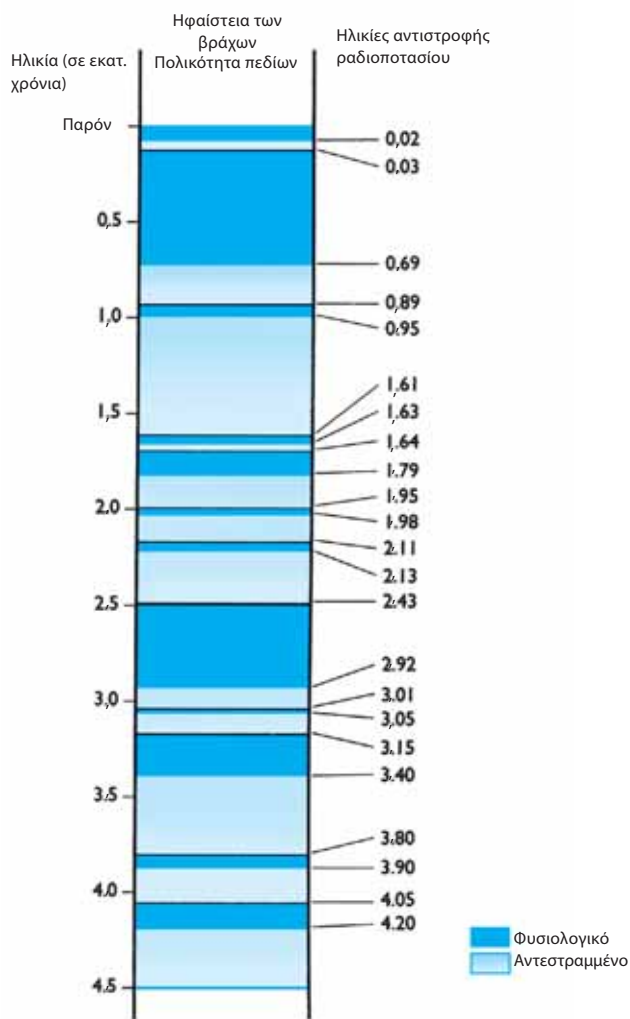
ΑΠΟΛΥΤΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗΣ: ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΡΑΔΙΟΠΟΤΑΣΙΟ

Η πλειοψηφία των απόλυτων μεθόδων χρονολόγησης είναι ραδιομετρικές, δηλαδή εξαρτώνται από τη ραδιενεργό αλλαγή σε συγκεκριμένα μεταλλεύματα. Όλες οι μέθοδοι μοιράζονται τις ίδιες δύο αρχές. Καταρχάς, κάποια δράση θέτει ένα ραδιομετρικό «ρολόι» στο μηδέν, όπως η θέρμανση που ο βράχος αποκτά στη διάρκεια μιας ηφαιστειακής έκρηξης ή του ενταφιασμού του στη γη. Δεύτερον, τα προϊόντα της ραδιενεργού αποσύνθεσης συσσωρεύονται σταδιακά, καταγράφοντας έτσι το πέρασμα του χρόνου.

Η σημαντικότερη ραδιομετρική τεχνική που έχει εφαρμοστεί στην παλαιο-ανθρωπολογία είναι η χρονολόγηση με **ραδιοποτάσιο (κάλιο/αργό)**. Αυτή η τεχνική είναι βασισμένη στο γεγονός ότι το Κάλιο-40, ένα ραδιενεργό ισότοπο του καλίου που αποτελεί το 0,01 % όλου του καλίου που υπάρχει στη φύση, αποσυντίθενται αργά σε Αργό-40, ένα αδρανές αέριο. Οι βράχοι που περιέχουν κάλιο, όπως οι ηφαιστειακοί βράχοι, συσσωρεύουν αργά Αργό-40 στα δικτυωτά πλέγματα κρυστάλλου τους. Η υψηλή θερμοκρασία που σημειώνεται κατά τη διάρκεια της έκρηξης διώχνει το Αργό (και άλλα αέρια) από το μέταλλευμα, και το ρολόι τίθεται στον χρόνο μηδέν της έκρηξης. Καθώς ο χρόνος κυλά, το Αργό-40 ενισχύεται, και η συγκέντρωσή του σε οποιονδήποτε βράχο εξαρτάται από την αρχική συγκέντρωση καλίου και το χρόνο που έχει περάσει από την έκρηξη. Ο υπολογισμός ηλικίας είναι βασισμένος στις μετρήσεις της συγκέντρωσης Καλίου και στο συσσωρευμένο Αργό-40 στα μεταλλεύματα που είναι πλούσια σε κάλιο, όπως είναι ο άστρος.

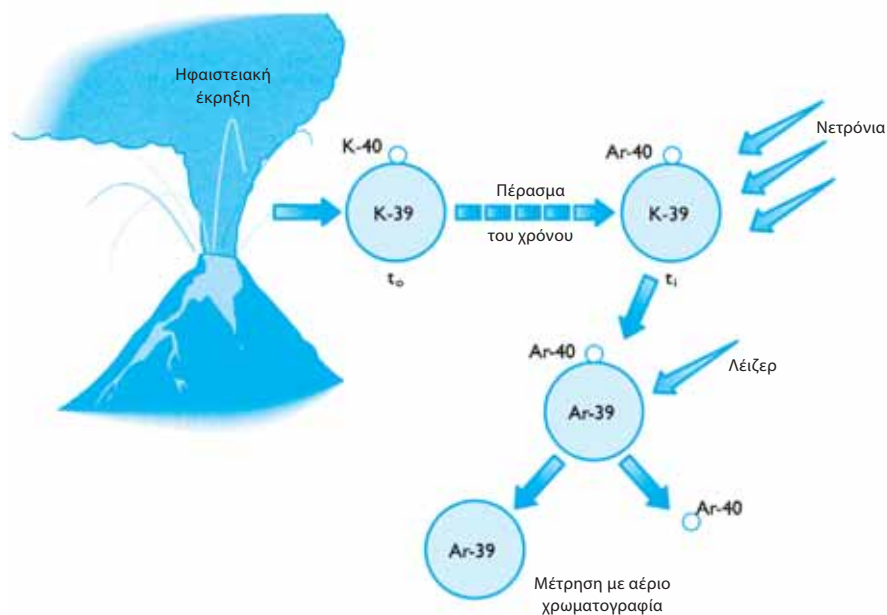
Ένα συνηθισμένο πρόβλημα είναι ότι ένα δείγμα μπορεί να μολυνθεί από παλαιότερο βράχο, κάτι που μπορεί να συμβεί όταν η τέφρα εκτινάσσεται από ένα ηφαίστειο, για παράδειγμα, ή αναμειγνύεται με άλλα μεταλλεύματα καθώς αποτίθεται στο τοπίο. Ακόμη και μερικοί κρυστάλλοι, για παράδειγμα, από βράχο ηλικίας Καμβρίου σε ένα γραμμάριο τέφρας ηλικίας 2 εκατομμυρίων χρόνων μπορούν να παράγουν μια λανθασμένη (μεγαλύτερη) χρονολογία.

Η πρώτη σημαντική εφαρμογή της τεχνικής καλίου/αργού στην Παλαιο-ανθρωπολογία έγινε το 1960, σε μία αξιολόγηση των στρωμάτων τέφρας στο φαράγγι Olduvai. Το 1959, η Mary Leakey βρήκε το διάσημο απολιθώμα Zinjan-



ΣΧΗΜΑ 7.2 Χρονολόγηση με Παλαιομαγνητισμό: Οι περιστασιακές αντιστροφές στην κατεύθυνση του γήινου μαγνητικού πεδίου αφήνουν μια «σφραγίδα» σε πέτρες που περιέχουν σίδηρο, καθώς αυτές διαμορφώνονται. Το πρότυπο των λωρίδων που παρουσιάζεται στο σχήμα με ανοικτό μπλε χρώμα αντιπροσωπεύει τις κύριες αντιστροφές, και η αναφορά σε αυτό μπορεί να βοηθήσει στη χρονολόγηση περιοχών.

ΣΧΗΜΑ 7.3 Χρονολόγηση με Αργό-39/Αργό-40: Η ηφαιστειακή τέφρα περιέχει μεταλλεύματα πλούσια σε κάλιο, όπως ο άστριος. Ένα μικρό ποσοστό του καλίου υπάρχει ως ραδιοϊσότοπο, κάλιο-40, το οποίο έχει το αργό-40 ως ένα από τα προϊόντα της αποσύνθεσής του. Στο εργαστήριο, οι κρύσταλλοι του άστριου ακτινοβολούνται με τα νετρόνια που μετατρέπουν το σταθερό ισότοπο κάλιο-39 σε αργό-39. Οι κρύσταλλοι μπορούν έπειτα να θερμανθούν χωριστά με ακτίνα λέιζερ και τα εκπεμπόμενα αργό-39 και αργό-40 μετριοούνται χωριστά με αέριο χρωματογραφία. Η ποσότητα αργού-39 αντιπροσωπεύει ένα μέτρο του συνολικού ποσού καλίου που ήταν παρόν στον κρύσταλλο, και η ποσότητα του αργού-40 παρέχει ένα μέτρο του χρόνου που έχει περάσει από την έκρηξη.



thropus (Ενότητα 19), το πρώτο πρώιμο ανθρωπίδιο (hominin) απολίθωμα που ανακαλύφθηκε στην Ανατολική Αφρική. Η χρονολογία που προέκυψε για το απολίθωμα, 1,75 εκατομμύρια χρόνια, ήταν η διπλή της ηλικίας που προέκυψε από τα έμμεσα μέσα. Η ανακάλυψη του απολιθώματος και η εφαρμογή της τεχνικής χρονολόγησης αποτέλεσαν κύρια σημεία αναφοράς για την παλαιoανθρωπολογία.

Από τότε έχουν λάβει χώρα δύο σημαντικές πρόοδοι που είναι βασισμένες στη χρονολόγηση με Κάλιο/Αργό. Η πρώτη, που αναπτύχθηκε στη δεκαετία του '60, επιτρέπει να λαμβάνονται μετρήσεις από ένα δείγμα παρά από δύο χωριστά δείγματα (από το ένα μετρήσαν το Κάλιο και από το άλλο το Αργό-40). Ο βράχος ακτινοβολείται αρχικά με νετρόνια, τα οποία μετασχηματίζουν το σταθερό Κάλιο-39 σε Αργό-39. Όταν ο βράχος θερμαίνεται στη συνέχεια, τα δύο ισότοπα Αργού, 39 και 40, απελευθερώνονται μαζί και μπορούν να μετρηθούν ταυτόχρονα με αέριο χρωματογραφία. Τα επίπεδα του Καλίου-39 παρέχουν ένα μέτρο για την αρχική συγκέντρωση του Καλίου στον βράχο, ενώ τα επίπεδα του Αργού-40 παρέχουν μέτρο για την αποσύνθεση του Καλίου-40, δεδομένου ότι ο βράχος εκτινάχθηκε από το ηφαίστειο. Αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως χρονολόγηση με **Αργό-39/Αργό-40** (βλέπε Σχήμα 7.3)

Η δεύτερη βελτίωση, που αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '80, επιτρέπει στην τεχνική να εφαρμοστεί στους μεμονωμένους κρυστάλλους που λαμβάνονται από την ηφαιστειακή τέφρα, σε σύγκριση με τα μερικά γραμμάρια που απαιτούνται για τη συμβατική τεχνική. Τα πλεονεκτήματα της νέας τεχνικής, γνωστή ως **μονοκρυσταλλική τήξη λέιζερ** (single-crystal laser fusion), είναι αρκετά, συμπεριλαμβανομένης και της αποφυγής του προβλήματος της μόλυνσης. Μέχρι πρόσφατα οι νεότεροι βράχοι που θα μπορούσαν να χρονολογηθούν με τις τεχνικές καλίου/αργού ήταν περίπου 0,5 εκατομμυρίων χρόνων. Όμως, πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι οι βράχοι που περιέχουν μεταλλεύματα πλούσια σε κάλιο μπορούν να χρονολογηθούν με ακρίβεια, για ηλικίες τόσο μικρές όπως τα 10.000 χρόνια – μέθοδος η οποία επικαλύπτεται από τα όρια της χρονολόγησης με άνθρακα-14. Δεν υπάρχει κανένα ανώτερο όριο εκτίμησης της ηλικίας.

ΑΠΟΛΥΤΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗΣ: ΤΡΟΧΙΑ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ (FISSION TRACK), ΑΝΘΡΑΚΑΣ 14 (RADIOCARBON), ΚΑΙ ΣΕΙΡΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥ (URANIUM SERIES)

Η δεύτερη ραδιομετρική τεχνική είναι **χρονολόγηση τροχιάς διάσπασης** (Fission track), η οποία χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με τις μεθόδους του ραδιοποτάσιου. Το φυτικό γυαλί περιέχει συχνά το ισότοπο ουράνιο-238, το οποίο αποσυντίθεται μέσω ισχυρής διάσπασης. Αυτό το γεγονός καίει αποτελεσματικά μια μικροσκοπική διαδρομή μέσα στο γυαλί, η οποία αντιπροσωπεύει το τικ-τακ του ρολογιού. Για άλλη μια φορά, το ρολόι μηδενίζεται κατά τη διάρκεια της ηφαιστειακής έκρηξης, η οποία απαλείφει τις υπάρχουσες διαδρομές. Όσο πιο πολύς ο χρόνος μετά από την έκρηξη, τόσο περισσότερες οι διαδρομές που θα συσσωρευτούν, ανάλογα με τη συγκέντρωση του ουρανίου στο γυαλί.

Ωστόσο, η προετοιμασία του γυαλιού για την τεχνική είναι κουραστική και ο υπολογισμός των τροχιών (διαδρομών) δεν είναι πάντα αξιόπιστος. Αυτή η μέθοδος χρονολόγησης μπορεί κυρίως να εφαρμοστεί σε βράχους ηλικίας μερικών χιλιάδων ετών. Στην πράξη, όσο παλαιότερο είναι το υλικό, τόσο πιο αξιόπιστη είναι η διαδικασία μέτρησης.

Η χρονολόγηση με άνθρακα-14 είναι η καλύτερα γνωστή τεχνική από όλες τις ραδιομετρικές τεχνικές, αλλά λόγω του μικρού χρονικού της βάθους έχει περιορισμένες εφαρμογές στην παλαιοανθρωπολογία. Το μεγαλύτερο μέρος του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα υπάρχει ως σταθερό ισότοπο, άνθρακας-12. Κάποιο μικρό ποσοστό αποτελείται από άνθρακα-14, ένα ραδιενεργό ισότοπο που αποσυντίθεται σχετικά γρήγορα. Καθώς τα φυτά ενσωματώνουν τον άνθρακα στους ιστούς τους, η αναλογία των δύο ισότοπων στους ιστούς καθρεπτίζει την αναλογία που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα. Η ίδια αναλογία ισχύει και για τους ζωικούς ιστούς, οι οποίοι δομούνται από φυτικούς ιστούς. Ωστόσο, μόλις πεθάνει ένας οργανισμός, η ισορροπία μεταξύ των ισότοπων στον αέρα και στους ιστούς αρχίζει να αλλάζει, δεδομένου ότι ο άνθρακας-14 συνεχίζει να αποσυντίθεται και δεν αναπληρώνεται. Με το πέρασμα του χρόνου, η αναλογία άνθρακα-14 προς άνθρακα-12 γίνεται όλο και μικρότερη, μια πτώση που αποτελεί και τη βάση του «ρολογιού». Οι ερευνητές μπορούν να μετρήσουν τα ποσοστά των δύο ισότοπων στους ιστούς του οργανισμού και να υπολογίσουν πότε πέθανε.

Σε γενικές γραμμές, οποιοδήποτε οργανικό υλικό μπορεί να χρονολογηθεί από την τεχνική με άνθρακα-14. Πρακτικά όμως, πολλοί ιστοί αποσυντίθενται πάρα πολύ γρήγορα για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή η προσέγγιση. Το υλικό που προτιμάται για τη χρονολόγηση με αυτήν την τεχνική είναι ο ξυλάνθρακας, που χρησιμοποιήθηκε πρόσφατα για τη χρονολόγηση των χρωστικών ουσιών σε βραχογραφίες της Ευρώπης και των Ηνωμένων Πολιτειών. Στην Αυστραλία, οι βραχογραφίες χρονολογήθηκαν πρόσφατα από το αίμα που αποτελούσε μέρος της χρωστικής.

Η μόλυνση αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα στη χρονολόγηση άνθρακα-14 (μόνο μια μικρή ποσότητα νεότερου υλικού μπορεί ουσιαστικά να μειώσει την προφανή ηλικία του παλαιότερου υλικού). Με την πρόσφατη εφαρμογή της μεθόδου AMS (Acceleration Mass Spectrometry) για την αύξηση της ευαισθησίας της μέτρησης του άνθρακα-14, το χρήσιμο εύρος της τεχνικής μπορεί να κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες έως τα 60.000 χρόνια ή λίγο περισσότερα.

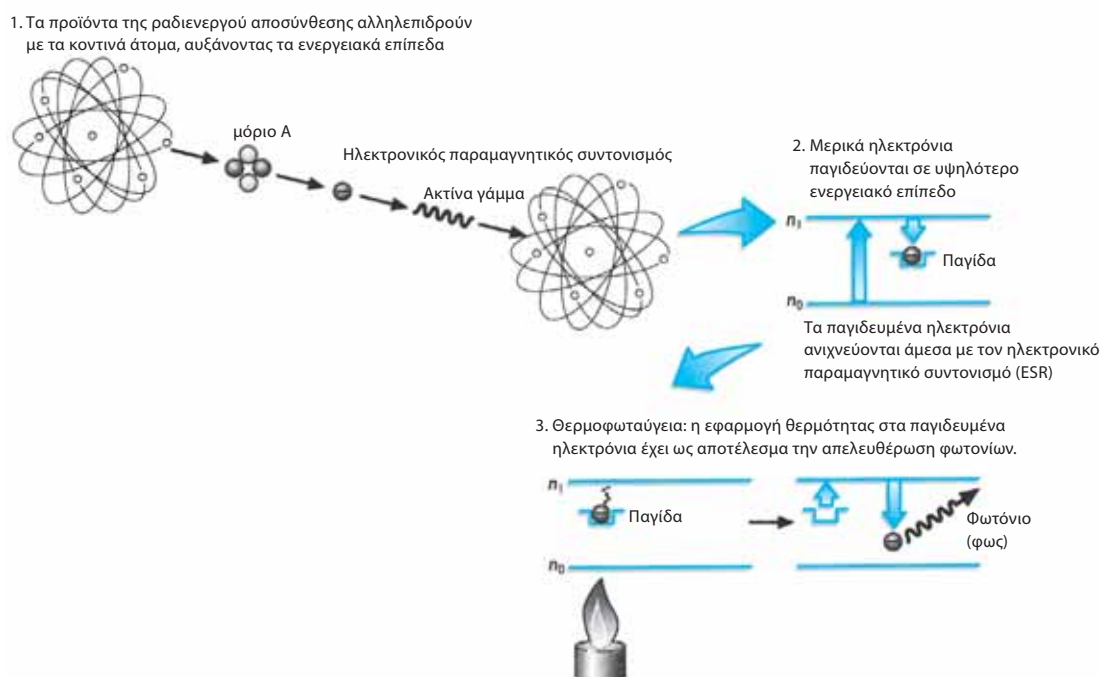
Άλλες μέθοδοι απόλυτης χρονολόγησης περιλαμβάνουν

την τεχνική σειράς ουρανίου, η οποία βασίζεται στην αποσύνθεση των ραδιοϊσοτόπων ουράνιο-238, ουράνιο-235, και θόριο-232, τα οποία αποσυντίθενται τελικά σε σταθερά ισότοπα μόλυβδου. Επιπλέον, η ρακεμοποίηση αμινοξέος (amino acid racemization) έχει χρησιμοποιηθεί για τη χρονολόγηση υλικών. Αυτή η μέθοδος εξαρτάται από τον αργό μετασχηματισμό της δομής των αμινοξικών μορίων που χρησιμοποιούνται από τους ζωντανούς οργανισμούς (αριστερόστροφες μορφές) σε ένα μη ζωντανό μείγμα (δεξιόστροφες και αριστερόστροφες μορφές). Όμως, ούτε η τεχνική της σειράς ουρανίου, ούτε η ρακεμοποίηση αμινοξέος, είναι τόσο ισχυρές ή τόσο εύκολα εφαρμόσιμες στην παλαιοανθρωπολογία, όσο οι άλλες απόλυτες τεχνικές χρονολόγησης.

ΑΠΟΛΥΤΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗΣ: ΘΕΡΜΟΦΩΤΑΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΠΑΡΑΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ (ESR)

Δύο σχετικά νέες τεχνικές χρονολόγησης εξαρτώνται από την αρχή ότι τα ηλεκτρόνια σε ορισμένα μέταλλα υπερδιεγείρονται στα πιο υψηλά ενεργειακά επίπεδα όταν ακτινοβολούνται από ραδιοϊσότοπα ουρανίου, θορίου, και καλίου, τα οποία εμφανίζονται φυσικά στο έδαφος και στις κοσμικές ακτίνες. Οι ραδιενεργείς ακτίνες χτυπούν τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια, αφήνοντας τις θετικά φορτισμένες «τρύπες». Αυτά τα ηλεκτρόνια διαχέονται μέσω του κρυσταλλικού πλέγματος και επανασυνδυάζονται συνήθως με άλλες τρύπες, επιστρέφοντας στο κατώτερο ενεργειακό επίπεδο. Αλλά όλα τα μεταλλεύματα περιέχουν προσμείξεις, όπως οι ατέλειες δικτυωτού πλέγματος και άτομα που μπορούν να «παγιδέψουν» τα ηλεκτρόνια που είναι σε τροχιά, διατηρώντας τα σε ενδιάμεσο ενεργειακό επίπεδο. Η έκθεση στη θερμότητα, όπως η φωτιά (όπως σε καμένη τσακαμακόπετρα) ή ακόμα και το φως του ήλιου στην περίπτωση των κόκκων άμμου, αποσπά τα παγιδευμένα ηλεκτρόνια. Αυτά τα μόρια επιστρέφουν έπειτα στις κοντινές τρύπες, μηδενίζοντας το ρολόι του χρόνου, όπως στη χρονολόγηση με Κάλιο/Αργό. Επομένως, ο αριθμός παγιδευμένων ηλεκτρονίων σε ένα μέταλλευμα που έχει απομακρυνθεί από τη γη πρόσφατα παρέχει ένα μέτρο του χρόνου που έχει περάσει από τότε που το μέταλλευμα εξετέθη για τελευταία φορά στη θερμότητα. Αυτές οι τεχνικές χρονολόγησης, γνωστές ως **θερμοφωταύγεια** και **ηλεκτρονικός παραμαγνητικός συντονισμός (ESR)**, μετρούν αυτά τα παγιδευμένα ηλεκτρόνια από διαφορετικά μέσα – η πρώτη έμμεσα και η δεύτερη άμεσα.

Στην τεχνική της θερμοφωταύγειας, τα χειροποίητα αντικείμενα θερμαίνονται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες για να απελευθερώσουν τα ηλεκτρόνια. Καθώς επιστρέφουν στο κατώτερο επίπεδο τα ηλεκτρόνια απελευθερώνουν φωτόνια (φως), το οποίο μπορεί να ανιχνευθεί από ευαίσθητα όργανα. Ο ηλεκτρονικός παραμαγνητικός συντονισμός ανιχνεύει τα παγιδευμένα ηλεκτρόνια *in situ*, όπου ενεργούν ως μικροί μαγνήτες που προσανατολίζονται όταν εκτίθεται σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Η ενέργεια μικροκυμάτων διαταράσσει τον προσανατολισμό των ηλεκτρονίων, παράγοντας ένα χαρακτηριστικό σήμα. Η ισχύς του σήματος παρέχει ένα μέτρο για τον αριθμό των παγιδευμένων ηλεκτρονίων. Η τεχνική του ηλεκτρονικού παραμαγνητικού συντονισμού μπορεί να εφαρμοστεί στον σμάλτο δοντιών, αλλά όχι ακόμα στα οστά (Βλέπε Σχήμα 7.4.). Σε γενικές γραμμές, οι τεχνικές της θερμοφωταύγειας και του ηλεκτρονικού παραμαγνητικού συντονισμού μπορούν να αποκαλύψουν χρονολογίες μεταξύ μερικών χιλιάδων και 1 εκατομμυρίου χρόνων. Αυτή η σειρά



ΣΧΗΜΑ 7.4 Τεχνικές χρονολόγησης με θερμοφωταύγεια και ηλεκτρονικός παραμαγνητικός συντονισμός: Δύο σχετικά νέες τεχνικές εξαρτώνται από την αρχή ότι τα ηλεκτρόνια σε ορισμένα μεταλλεύματα υπερδιεγείρονται στα πιο υψηλά ενεργειακά επίπεδα όταν βομβαρδίζονται από ραδιοϊσότοπα ουρανίου, θορίου, και καλίου, τα οποία εμφανίζονται στη φύση. Οι δύο τεχνικές μετρούν αυτά τα παγιδευμένα ηλεκτρόνια με διαφορετικά μέσα. Στη θερμοφωταύγεια, το μέταλλο εκτίθεται σε ελεγχόμενη θερμότητα, η οποία αναγκάζει τα ηλεκτρόνια να επιστρέψουν στο κατώτερο ενεργειακό επίπεδο, γεγονός που προκαλεί την εκπομπή φωτονίων. Η ένταση αυτού του φωτός παρέχει ένα μέτρο για τον αριθμό των παγιδευμένων ηλεκτρονίων. Στον ηλεκτρονικό παραμαγνητικό συντονισμό, η αφθονία παγιδευμένων ηλεκτρονίων καθορίζεται μαγνητικά (Δείτε το κείμενο για λεπτομέρειες).

εφαρμογής είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην παλαιοανθρωπολογία επειδή καλύπτει ένα κενό για τη χρονολόγηση υλικών που είναι πάρα πολύ παλαιά για την τεχνική χρονολόγησης με άνθρακα-14 και πάρα πολύ νέα για τη χρονολόγηση με Κάλιο/Αργό.

Η ομάδα των διαθέσιμων τεχνικών χρονολόγησης στους παλαιοανθρωπολόγους καλύπτει σε γενικές γραμμές τα προ-

ηγούμενα 5 εκατομμύρια χρόνια (την περίοδο αρχικού ενδι-αφέροντος) πλήρως (Βλέπε Σχήμα 7.5). Δυστυχώς, πολλές σημαντικές απολιθωματικές και αρχαιολογικές θέσεις στερούνται υλικών κατάλληλων για χρονολόγηση ή εμφανίζουν μια περίπλοκη και αδιευκρίνιστη στρωματογραφία, ή και τα δύο. Τα σπήλαια της Νότιας Αφρικής είναι παραδείγματα περι-πλοκής στρωματογραφίας.

ΣΧΗΜΑ 7.5 Εμβέλεια των μεθόδων χρονολόγησης: Οι διαθέσιμες μέθοδοι χρονολόγησης στους παλαιοανθρωπολόγους καλύπτουν από μερικές εκατοντάδες έως πολλά εκατομμύρια χρόνια. Οι πρόσφατες βελτιώσεις στη χρονολόγηση, οι μέθοδοι θερμοφωταύγειας και ηλεκτρονικού παραμαγνητικού συντονισμού, κάλυψαν ένα σημαντικό κενό, μεταξύ 50.000 και 0,5 εκατομμυρίων ετών.

