



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΘΗΝΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
Τομέας Φυσικών Επιστημών Τεχνολογίας &
Περιβάλλοντος**

**Σημειώσεις του μαθήματος
Ο κόσμος μας: Το εσωτερικό της Γης**

Κρυσταλλία Χαλκιά

Αθήνα 2008

**Σημειώσεις του μαθήματος
Ο κόσμος μας: Το εσωτερικό της Γης**

Κρυσταλλία Χαλκιά

**Εικονογράφηση:
Χρυσάνθη Κυπράκη
Δημήτρης Σηψής**

Κεφάλαιο 1^ο: Η ηλικία της Γης

Εισαγωγή

Η Γη είναι ο πλανήτης μας. Κατοικείται από μία τεράστια ποικιλία μορφών ζωής, μία από τις οποίες είναι και ο άνθρωπος. Οι άνθρωποι έχουν την εντύπωση ότι η Γη είναι ένας σταθερός και αμετάβλητος πλανήτης, δηλαδή ότι η Γη παραμένει με σταθερή μορφολογία και διαμόρφωση από την περίοδο που σχηματίστηκε μέχρι σήμερα. Στην πραγματικότητα όμως, η Γη είναι ένας πλανήτης σε συνεχή αλλαγή. Ο φλοιός της συνεχώς δημιουργείται, τροποποιείται ή καταστρέφεται. Αυτές όμως οι αλλαγές δεν γίνονται εύκολα αντιληπτές στους ανθρώπους, διότι η διάρκεια ζωής των ανθρώπων είναι πολύ μικρή σε σχέση με το μέγεθος αυτών των μεταβολών. Ο γεωλογικός χρόνος «κυλάει» πολύ διαφορετικά από τον ανθρώπινο χρόνο. Επιπλέον, ας θυμηθούμε ότι η ζωή εμφανίστηκε στην πιο πρόσφατη περίοδο της ιστορίας της Γης και ότι ο άνθρωπος είναι ένα από τα πιο πρόσφατα είδη ζωής.

Υπάρχουν βέβαια κάποια σημάδια, που προειδοποιούν τον άνθρωπο - από καιρό σε καιρό- ότι κάτι πρέπει να συμβαίνει σε κάποια σημεία της Γης. Τέτοια σημάδια είναι οι σεισμοί και τα ηφαίστεια και τα αποτελέσματά τους. Όμως, τα φαινόμενα αυτά δεν είναι εύκολο να τα συνδέσει κανείς με αλλαγές που γίνονται σε παγκόσμιο επίπεδο. Έτσι, το ερώτημα παραμένει. Πώς οι άνθρωποι μπόρεσαν να αντιληφθούν ότι η Γη συνεχώς μεταβάλλεται και να υπολογίσουν την ηλικία της;

Η ηλικία της Γης αποτέλεσε για πολλούς αιώνες ένα ζήτημα που απασχόλησε έντονα την ανθρωπότητα και αποτέλεσε πεδίο σκληρών

αντιπαραθέσεων. Τον 17^ο αιώνα, η Δυτική εκκλησία υπολόγιζε την ηλικία της Γης ερμηνεύοντας πληροφορίες από τη Βίβλο. Συγκεκριμένα, θεωρούσαν ότι η Γη πρέπει να είχε δημιουργηθεί 4.000 χρόνια π.Χ. Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα, ο Δαρβίνος υπέθεσε ότι η ηλικία της Γης πρέπει να είναι απίστευτα μεγαλύτερη, καθώς διαπίστωσε ότι η λειτουργία της φυσικής επιλογής και η διαδικασία της εξέλιξης των πληθυσμών προϋποθέτουν εξαιρετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα προκειμένου να υλοποιηθούν.

Όμως, καθοριστικό βήμα για τον προσδιορισμό της ηλικία της Γης αποτέλεσε η ανακάλυψη της ραδιενέργειας τον 20^ο αιώνα. Η ανακάλυψη αυτή βοήθησε τους επιστήμονες να διατρέξουν την ιστορία της Γης. Οι βράχοι (rocks) συχνά περιλαμβάνουν βαριά ραδιενεργά στοιχεία που διασπώνται σε μεγάλο χρονικό διάστημα. Η διάσπαση των πυρήνων είναι ένα σταθερό φαινόμενο και δεν επηρεάζεται από τις φυσικές και χημικές συνθήκες που επικρατούν σε διάφορες χρονικές περιόδους. Επιπλέον, το κάθε στοιχείο διασπάται σε διαφορετικό χρονικό διάστημα. Το διάστημα αυτό μπορεί να είναι εξαιρετικά μεγάλο. Αναφέρονται χρόνοι ημίσειας ζωής της τάξης των εκατό εκατομμυρίων ετών.

Το παλαιότερο ηφαιστειογενές πέτρωμα που βρέθηκε διαπιστώθηκε με τη μέθοδο της ραδιοχρονολόγησης ότι σχηματίστηκε 3.76 δισεκατομμύρια έτη πριν. Επιπλέον, μετεωρίτες που πρέπει να σχηματίστηκαν το ίδιο χρονικό διάστημα με τη Γη και προσκρούουν στη Γη έχει βρεθεί με την ίδια μέθοδο ότι είναι ηλικίας 4.55 δισεκατομμύρια ετών. Πράγματι, υπάρχουν αξιόπιστες ενδείξεις ότι η

ηλικία της Γης όπως και των λοιπών σωμάτων του Ηλιακού Συστήματος είναι περίπου 4.5 δισεκατομμύρια έτη.

Οι βασικές ενδείξεις για την ηλικία της Γης είναι:

1. Τα παλαιότερα πετρώματα στη Γη που βρέθηκαν στη δυτική Γροιλανδία και ραδιοχρονολογήθηκαν από 4 ανεξάρτητες μεθόδους έδειξαν ότι η ηλικία τους είναι 3.7-3.8 δισεκατομμύρια έτη. Τα παλαιότερα χρονολογημένα υγρά ηλικίας 4.0- 4.2 δισεκατομμύρια έτη είναι μικροί κρύσταλλοι ζirkονίου που βρέθηκαν σε ιζηματογενή πετρώματα της δυτικής Αυστραλίας.
2. Τα παλαιότερα σεληνιακά πετρώματα σχηματίστηκαν όταν ο φλοιός της Σελήνης μόλις σχηματίζονταν. Τα πετρώματα αυτά ήρθαν στη Γη με τις αποστολές Apollo και με ραδιοχρονολόγηση βρέθηκε ότι η ηλικία τους ήταν 4.4-4.5 δισεκατομμύρια έτη.
3. Η πλειοψηφία των 70 ραδιοχρονολογημένων μετεωριτών έχουν ηλικίες 4.4-4.6 δισεκατομμύρια έτη. Αυτοί οι μετεωρίτες είναι θραύσματα αστεροειδών που είναι από τα πρωτογενή σώματα του Ηλιακού Συστήματος.
4. Η καλύτερη όμως μέθοδος για τον προσδιορισμό της ηλικίας της Γης βασίζεται στο χρόνο που απαιτείται για τα ισότοπα του μολύβδου να εξελιχθούν από τον σχηματισμό του μολύβδου όταν το Ηλιακό Σύστημα σχηματίστηκε, όπως καταγράφεται στον μετεωρίτη σιδήρου του Canyon Diablo. Αυτό το μοντέλο οδηγεί στον προσδιορισμό της ηλικίας της Γης στα 4.54 δισεκατομμύρια έτη.

Ο σχηματισμός της γήινης ατμόσφαιρας

Παρούσα κατάσταση

Σε γενικές γραμμές, η γήινη ατμόσφαιρα σήμερα αποτελείται κυρίως από 21% Οξυγόνο και 78% Άζωτο. Επιπλέον, στην ατμόσφαιρα συναντούμε και ίχνη άλλων στοιχείων, όπως Διοξείδιο του άνθρακα και Αργό.

Όμως, η ατμόσφαιρά μας δεν ήταν η ίδια όταν η Γη σχηματίστηκε 4,5 δισεκατομμύρια περίπου έτη πριν.

Το πρώτο δισεκατομμύριο έτη

Αρχικά, η επιφάνεια της Γης δεν ήταν στερεή, αλλά ήταν σε ημίρρευστη κατάσταση εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούσαν τότε. Καθώς με την πάροδο του χρόνου κρύωνε, τα ηφαίστεια εκτόξευαν τεράστιες ποσότητες **διοξειδίου του άνθρακα, ατμού, αμμωνίας και μεθανίου**. Ας προσεχθεί ιδιαίτερα ότι τότε **δεν υπήρχε οξυγόνο** στην ατμόσφαιρα. Αργότερα ο ατμός συμπυκνώθηκε και μετετράπη σε νερό από το οποίο σχηματίστηκαν ρηχές θάλασσες.

Οι πρώτες ενδείξεις ύπαρξης των πρώτων μορφών ζωής (βακτήρια) ανάγονται 3,8 δισεκατομμύρια έτη πριν, πράγμα που σημαίνει ότι η ζωή ξεκίνησε στη Γη 700 περίπου εκατομμύρια έτη μετά τον σχηματισμό της Γης. Οι πρώιμες μορφές ζωής αναπτύχθηκαν σε θάλασσες μικρού βάθους κοντά σε θερμές οπές, που αποτελούσαν πηγές θερμότητας και ορυκτών (μινεραλς).

Τα επόμενα δισεκατομμύρια έτη

Κάποια στιγμή στα επόμενα δισεκατομμύρια έτη, συνέβη ένα καθοριστικό βήμα στην ιστορία της Γης. Οι αρχικές πρωτόγονες μορφές ζωής μετέβησαν στην επόμενη φάση της εξέλιξης και άρχισαν να **φωτοσυνθέτουν** (δηλαδή να αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια προκειμένου να μετατρέψουν το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό σε χημική ενέργεια (τροφή) και οξυγόνο). Αυτό σήμαινε ότι το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα άρχισε να μετατρέπεται σε οξυγόνο.

Στη συνέχεια, τα φυτά συνέχισαν να παράγουν οξυγόνο (με αποτέλεσμα να ελαττώνεται το διοξείδιο του άνθρακα). Το μεγαλύτερο μέρος του άνθρακα από το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας εγκλωβίστηκε στα ιζηματογενή πετρώματα και στα απολιθώματα. Το διοξείδιο του άνθρακα διαλύθηκε επίσης στους ωκεανούς. Η αμμωνία και το μεθάνιο της ατμόσφαιρας αντέδρασαν με το οξυγόνο. Το άζωτο προέκυψε αφενός ως προϊόν της αντίδρασης της αμμωνίας με το οξυγόνο και κυρίως από τους ζωντανούς οργανισμούς.

Τα τελευταία 2½ δισεκατομμύρια έτη

Μόλις σχηματίστηκε το οξυγόνο μέσω της φωτοσύνθεσης άρχισε να αντιδρά με άλλα στοιχεία (όπως ο σίδηρος) και με αυτόν τον τρόπο απομακρύνονταν και πάλι από την ατμόσφαιρα. Αυτή η διαδικασία συνεχίστηκε έως περίπου 2,1 δισεκατομμύρια έτη πριν, ώστε η συγκέντρωση του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα να αυξηθεί σημαντικά. Αυτό βοήθησε ώστε να σχηματιστεί το στρώμα του όζοντος στην ατμόσφαιρα, το οποίο είχε ως αποτέλεσμα να φιλτράρει τις

επικίνδυνες υπεριώδεις ακτίνες του Ήλιου. Αυτό επέτρεψε την εξέλιξη νέων πιο σύνθετων οργανισμών στις θάλασσες.

Κεφάλαιο 2^ο: Η δομή της Γης

Εισαγωγή

Η ανθρωπότητα, ήδη από τον 6^ο π.Χ. αιώνα, προσπαθούσε να βρει απαντήσεις σε ερωτήματα που ξεκινούσαν από την μελέτη του φυσικού κόσμου. Στόχος ήταν ο άνθρωπος να μπορέσει να κατανοήσει τη θέση του στο Σύμπαν. Έτσι, ξεκίνησε να μελετά τα φυσικά φαινόμενα επάνω στην επιφάνεια της Γης και κατόπιν επεκτάθηκε και πέρα από τη Γη στο διάστημα. Το εσωτερικό όμως της Γης άργησε πολύ να το μελετήσει. Οποσδήποτε κατά καιρούς διάφορες εικασίες διατυπώνονταν για τις αιτίες εκδήλωσης διάφορων έντονων φυσικών φαινομένων που οφείλονταν σε διεργασίες του εσωτερικού της Γης, όπως οι σεισμοί και τα ηφαίστεια. Αλλά, δεν υπήρχαν οι προϋποθέσεις για μια συστηματική μελέτη αυτών των φαινομένων. Έτσι, μέχρι σχετικά πρόσφατα, ενώ γνωρίζαμε τι συνέβαινε εκατομμύρια έτη φωτός μακριά δεν γνωρίζαμε τι συνέβαινε κάτω από τα πόδια μας. Αυτό οφείλεται στο εξής παράδοξο: ενώ οι επιστήμονες σήμερα μπορούν να «κοιτάξουν» δισεκατομμύρια έτη φωτός μακριά, δεν μπορούν αντίστοιχα να «κοιτάξουν» στο εσωτερικό του πλανήτη μας, ώστε να διαπιστώσουν άμεσα πως είναι διαμορφωμένος. Αλλά, γιατί συμβαίνει αυτό;

Κατ' αρχήν, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι από πολλούς αιώνες πριν η ανθρωπότητα γνώριζε το μέγεθος της Γης. Πράγματι, ο Ερατοσθένης, τον 3^ο π.Χ. αιώνα στην Αίγυπτο, είχε μετρήσει με μία ευφυή μέθοδο τη διάμετρο της Γης με αρκετή ακρίβεια. Έτσι,

σήμερα, γνωρίζουμε ότι η διάμετρος της Γης είναι 12,750 χιλιόμετρα, πράγμα που σημαίνει ότι η ακτίνα της είναι περίπου 6.400 χιλιόμετρα. Όμως σε πόσο βάθος έχουμε καταφέρει να εισχωρήσουμε ώστε να διαπιστώσουμε πώς είναι η Γη στο εσωτερικό της; Μέχρι σήμερα, το μεγαλύτερο βάθος στο οποίο κατάφεραν οι άνθρωποι να φτάσουν (ανοίγοντας μια τρύπα μέσα στη Γη) είναι περίπου 12 χιλιόμετρα. Δηλαδή, το μόνο που κατάφεραν να κάνουν ήταν να γρατσουνίσουν την επιφάνειά της. Έτσι, φαίνεται ότι ενώ πολλά από τα έργα του Ιουλίου Βερν έχουν πραγματοποιηθεί επί των ημερών μας, το έργο του «Ταξίδι στο κέντρο της Γης» παραμένει ακόμη επιστημονική φαντασία.

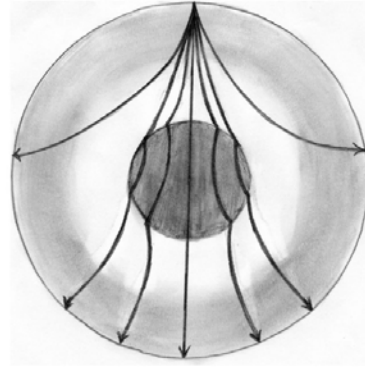
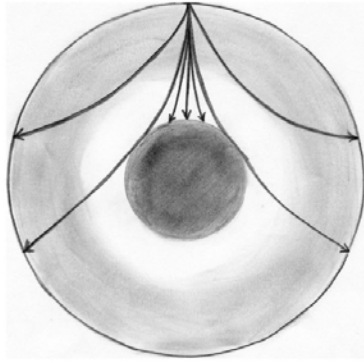
Το γεγονός όμως ότι δεν έχουμε μπορέσει να «κοιτάξουμε» άμεσα στο εσωτερικό της Γης, δεν σημαίνει ότι δεν γνωρίζουμε σήμερα πώς είναι διαμορφωμένο, ποιες συνθήκες επικρατούν εκεί, ποιοι μηχανισμοί δημιουργούν τα φαινόμενα των σεισμών και των ηφαιστειών, κ.λπ. Άμεσα λοιπόν γεννιέται το ερώτημα: Πώς μπορέσαμε να μάθουμε τι γίνεται βαθιά μέσα στη Γη;

Οι επιστήμονες είναι ικανοί και επινοητικοί άνθρωποι. Αξιοποιούν ακόμη και έμμεσες ενδείξεις για να φτάσουν σε αξιόπιστα συμπεράσματα. Έτσι σήμερα γνωρίζουμε σε μεγάλο βαθμό πως είναι διαμορφωμένο το εσωτερικό της Γης. Η πορεία για την κατάκτηση αυτής της γνώσης συνθέτει μια γοητευτική ιστορία που θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε στις επόμενες ενότητες.

Τα ίχνη που οδήγησαν σε συμπεράσματα για το εσωτερικό της Γης

Μερικές από τις ενδείξεις που μας οδήγησαν σε αυτή τη γνώση παρουσιάζονται παρακάτω.

- *Οι σεισμοί:* Οι βασικές πληροφορίες που έχουμε για το εσωτερικό της Γης έρχονται από τη μελέτη των διαδρομών που ακολουθούν τα σεισμικά κύματα καθώς ταξιδεύουν στο εσωτερικό της Γης. Όταν σε κάποιο μέρος της Γης συμβεί ένας σεισμός, από την εστία του ξεκινούν προς όλες τις κατευθύνσεις κύματα δύο ειδών (διαμήκη και εγκάρσια). Τα κύματα αυτά κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες, αλλά τα εγκάρσια -τα οποία κινούνται με μικρότερη ταχύτητα από ό,τι τα διαμήκη- δεν μπορούν να περάσουν μέσα από υγρά. Σε διάφορα μέρη της Γης σειсмоγράφοι συλλαμβάνουν και καταγράφουν τα κύματα που προέρχονται από έναν συγκεκριμένο σεισμό. Κάποιοι από αυτούς δεν καταγράφουν τα εγκάρσια κύματα. Αυτό σημαίνει ότι τα κύματα αυτά συνάντησαν υγρό. Κάθε ημέρα στη Γη συμβαίνουν πολλοί σεισμοί. *Η διασταύρωση των καταγραφών των διαφόρων σειсмоγράφων σε όλα τα μέρη της Γης και η δυνατότητα ανάλυσης όλως των δεδομένων με τη βοήθεια των υπολογιστών οδήγησαν τους επιστήμονες στη χαρτογράφηση του εσωτερικού της Γης.*

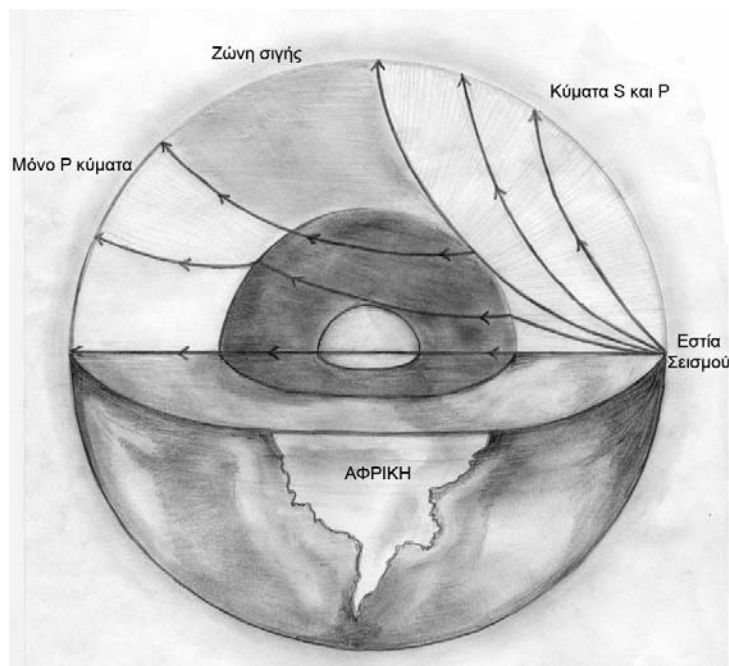


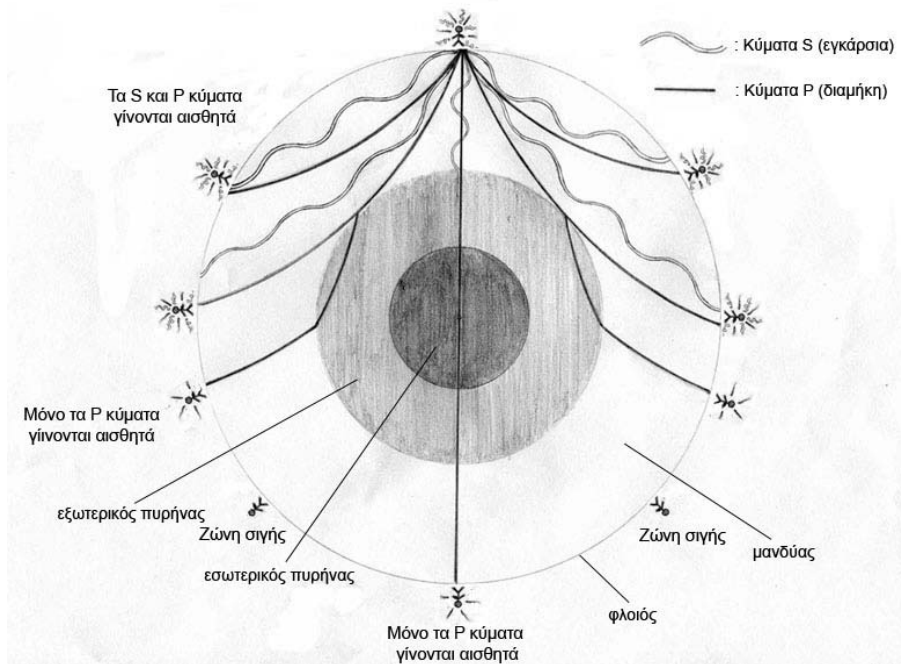
Κύματα S

- Εγκάρσια
- Μικρή ταχύτητα διάδοσης
- Διαδίδονται μόνο στα στερεά

Κύματα P

- Διαμήκη
- Μεγάλη ταχύτητα διάδοσης
- Διαδίδονται σε στερεά και υγρά





Σχήμα: (λεζάντα σχήματος) Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διασταύρωση των διαδρομών των σεισμικών κυμάτων δεν είναι εύκολη υπόθεση, και τούτο διότι τα σεισμικά κύματα δεν ακολουθούν ευθύγραμμες πορείες, αλλά σύνθετες διαδρομές. Ένα σεισμικό κύμα, κατά τη μετάδοσή του στο εσωτερικό της Γης, καμπυλώνεται όταν συναντά διαφορετικού είδους πέτρωμα (από εκείνο στο οποίο ήδη διαδίδεται), διότι τότε αναγκάζεται να μεταβάλλει την ταχύτητα διάδοσής του. Τα εγκάρσια κύματα S δεν μπορούν να περάσουν μέσα από τον υγρό πυρήνα, αλλά μπορούν να μετασχηματιστούν σε διαμήκη κύματα και έτσι να μπορέσουν να περάσουν μέσα από τον πυρήνα. Τα κύματα επίσης μπορεί να ανακλαστούν στην επιφάνεια της Γης.

- *Η πυκνότητα της Γης:* Η μέση πυκνότητα της Γης είναι πολύ μεγαλύτερη από την πυκνότητα των πετρωμάτων που βρίσκουμε στον φλοιό της. Πράγματι, ο Ισαάκ Νεύτωνας, εδώ και περίπου 4 αιώνες πριν, είχε ήδη υπολογίσει την πυκνότητα αυτή της Γης, καθώς πραγματοποιούσε μελέτες για τους πλανήτες και τη δύναμη της βαρύτητας. Ο Νεύτωνας από σχετικούς υπολογισμούς που είχε πραγματοποιήσει, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η μέση πυκνότητα της Γης πρέπει να είναι διπλάσια από την πυκνότητα των πετρωμάτων που βρίσκονται στην επιφάνειά της και επομένως **ότι το εσωτερικό της Γης πρέπει να αποτελείται από πολύ πιο πυκνό υλικό από ό,τι η επιφάνειά της.**

Η ανάλυση των *μετεωριτών* (οι οποίοι σχηματίστηκαν την ίδια περίπου χρονική περίοδο με τη Γη (4,6 δισεκατομμύρια χρόνια πριν) έδειξε ότι ο συνηθέστερος τύπος από αυτούς περιλαμβάνει σίδηρο, πυρίτιο, μαγνήσιο και οξυγόνο (άλλοι περιλαμβάνουν σίδηρο και νικέλιο). Μελετώντας την πυκνότητα των μετεωριτών, οι επιστήμονες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι **η πυκνότητα ενός μετεωρίτη είναι περίπου ίδια με την πυκνότητα του εσωτερικού της Γης.** Επιπλέον, ότι η πυκνότητα ενός μετεωρίτη χωρίς σίδηρο είναι περίπου ίδια με την πυκνότητα των πετρωμάτων του μανδύα. Επίσης, σημείωσαν το γεγονός ότι ο σίδηρος και το νικέλιο είναι και τα δύο μεγάλης πυκνότητας και έχουν μαγνητικές ιδιότητες.

- *Τα πειράματα:* Επιπλέον ενδείξεις παρέχονται από εργαστηριακά πειράματα που διερευνούν τη συμπεριφορά των πετρωμάτων και

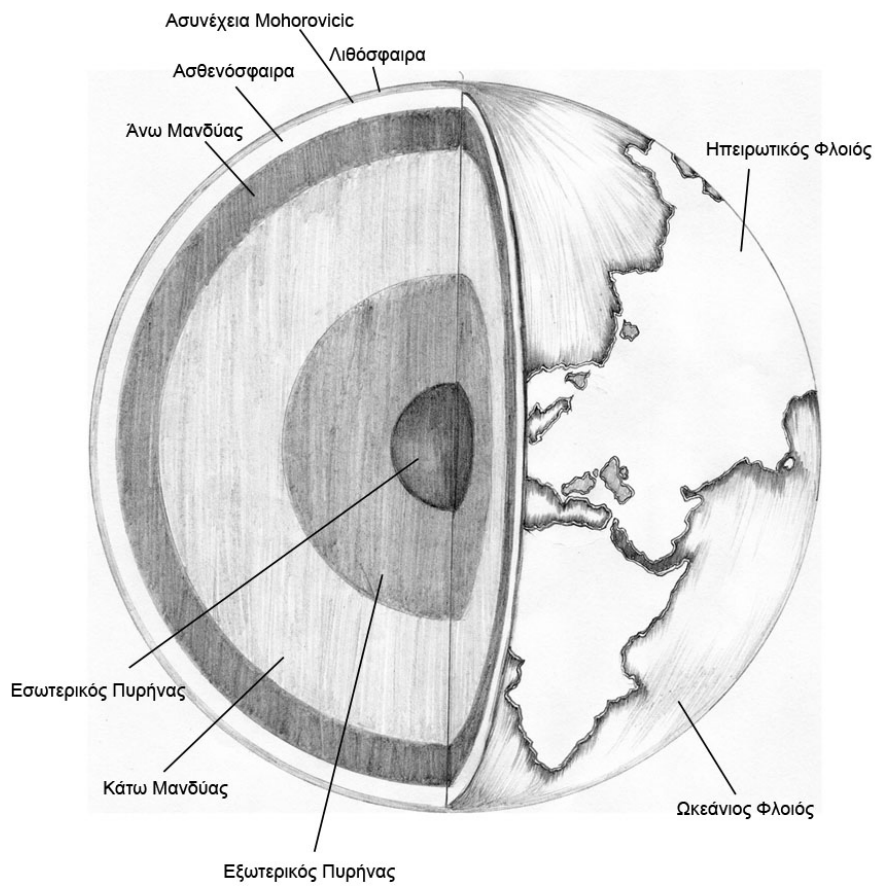
ορυκτών της επιφάνειας της Γης όταν βρεθούν σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Είναι γνωστό ότι τα πετρώματα του μανδύα βρίσκονται σε συνθήκες υψηλής πίεσης (δέχονται μεγάλες πιέσεις). Για παράδειγμα, τα διαμάντια σχηματίζονται από αποθέματα άνθρακα, όταν αυτά βρεθούν σε βάθος 150-300 χιλιομέτρων, όπου συμπιέζονται από εξαιρετικά μεγάλες πιέσεις.

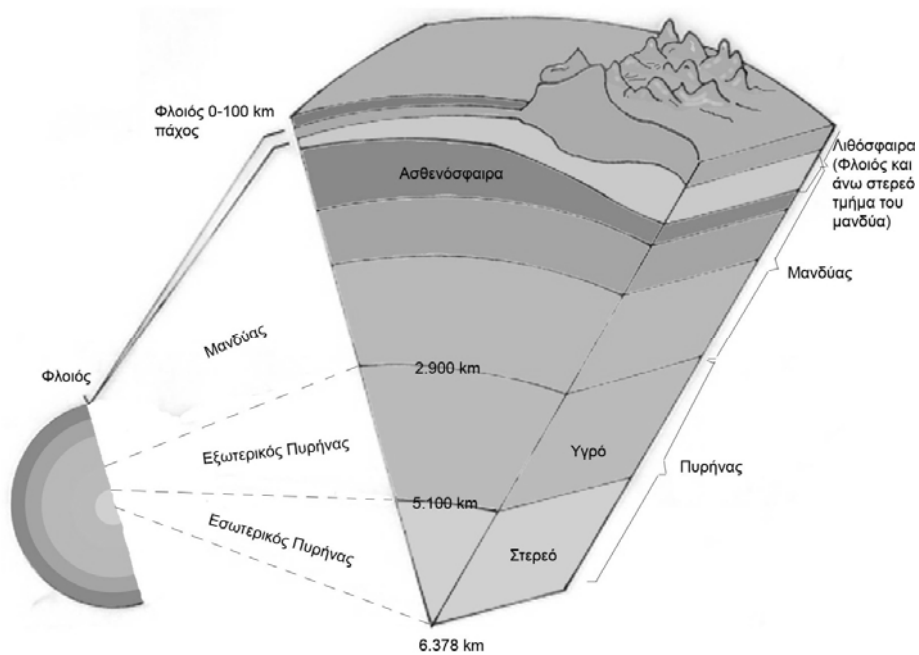
- *Οι παρατηρήσεις και άλλες ενδείξεις:* Άλλες σημαντικές ενδείξεις έρχονται από γεωλογικές παρατηρήσεις των επιφανειακών πετρωμάτων της Γης και από μελέτες των κινήσεων της στο Ηλιακό Σύστημα, της βαρύτητάς της, του μαγνητικού πεδίου της και της ροής της θερμότητας από το εσωτερικό της.

Η διασταύρωση των στοιχείων από όλες τις παραπάνω ενδείξεις βοήθησε τους επιστήμονες ώστε με αξιοπιστία να αποκρυπτογραφήσουν το εσωτερικό της Γης.

Το εσωτερικό της Γης

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, η επιστήμη γνώριζε ότι η Γη μοιάζει με ένα αυγό και αποτελείται από τρία βασικά στρώματα:





α) τον *φλοιό*, ο οποίος είναι το εξωτερικό στρώμα της Γης. Ο φλοιός βρίσκεται σε στερεά κατάσταση, είναι εύθραυστος και έχει πολύ λεπτό πάχος (συγκρινόμενος με τα άλλα δύο στρώματα). Αντιστοιχεί στο τσόφλι ενός αυγού. Κάτω από τους ωκεανούς φθάνει σε βάθος μόνον 5-10 χιλιομέτρων (ωκεάνιος φλοιός), ενώ κάτω από τις ηπείρους το βάθος στο οποίο εκτείνεται ποικίλλει και φθάνει κατά μέσον όρο τα 35 χιλιόμετρα (ηπειρωτικός φλοιός). Κάτω όμως από τα όρη φθάνει σε πολύ μεγαλύτερο βάθος (π.χ. κάτω από τις Άλπεις και τα Ιμαλάια φθάνει τα 80 περίπου χιλιόμετρα).

Το μεγαλύτερο μέρος του φλοιού της Γης σχηματίστηκε εξαιτίας της δράσης των ηφαιστειών. Για παράδειγμα, το δίκτυο των

ωκεάνιων ηφαιστείων, που καλύπτει 40.000 χιλιόμετρα, δημιουργεί νέο ωκεάνιο φλοιό με ρυθμό 17 km^3 (κυβικών χιλιομέτρων) το χρόνο, καλύπτοντας τον ωκεάνιο πυθμένα με βασάλτες. Η Χαβάη και η Ισλανδία δημιουργήθηκαν με αυτόν τον τρόπο.

Μέσα στον φλοιό περίπλοκα σχήματα δημιουργούνται όταν τα πετρώματα ανακατανέμονται και τοποθετούνται σε στρώματα κατά τη διάρκεια γεωλογικών διαδικασιών, όπως η έκρηξη ενός ηφαιστείου και η εκτόξευση της λάβας, η διάβρωση των πετρωμάτων, η στερεοποίηση και η επανακρυστάλλωση των πορωδών πετρωμάτων.

Οι περισσότεροι από εμάς θεωρούμε ότι ο φλοιός της Γης είναι συμπαγής και αδιαίρετος. Όμως, υπάρχουν αδιάσειστες επιστημονικές ενδείξεις ότι τα πράγματα δεν είναι έτσι. Στην πραγματικότητα, ο φλοιός αποτελείται από 12 περίπου *τεκτονικές (λιθοσφαιρικές) πλάκες*. Κάθε μία από τις πλάκες αυτές περιλαμβάνει τόσο τμήματα ξηράς (ηπείρων) όσο και τμήματα ωκεανών. Σε επίπεδο μακροκλίμακας, οι τεκτονικές πλάκες δεν παραμένουν ακίνητες, αλλά κινούνται γύρω από τη Γη. Φυσικά οι κινήσεις αυτές δεν γίνονται εύκολα αντιληπτές στο μικρό χρονικό διάστημα που διαρκεί η ζωή ενός ανθρώπου, όμως είναι ιδιαίτερα εμφανείς στη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου. Ενδείξεις για τη δραστηριότητα των τεκτονικών (λιθοσφαιρικών) πλακών αποτελεί το γεγονός ότι στις άκρες των πλακών παρατηρούνται έντονοι σεισμοί και ηφαίστεια. Οι συγκρούσεις των τεκτονικών (λιθοσφαιρικών) πλακών μπορεί να οδηγήσουν στον σχηματισμό

ακόμη και υψηλών βουνών, όπως τα Ιμαλάια. Οι πλάκες περιλαμβάνουν τον φλοιό και μέρος του ανώτερου φλοιού και μετακινούνται επάνω στο ζεστό τμήμα του ανώτερου φλοιού σε πολύ αργούς ρυθμούς (λίγα εκατοστά το χρόνο).

β) τον *μανδύα*, ο οποίος βρίσκεται κάτω από τον φλοιό και έχει πάχος περίπου 2,900 χιλιόμετρα. Ο μανδύας είναι ένα πυκνό και θερμό στρώμα, αποτελούμενο από πετρώματα σε ημιστερεά κατάσταση. (Δηλαδή, ενώ συμπεριφέρεται ως στερεό σε θερμοκρασίες αντίστοιχες της Γης, μέσα στον μανδύα συμπεριφέρεται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας ως παχύρρευστο υγρό). Περιλαμβάνει περισσότερο σίδηρο, μαγνήσιο και ασβέστιο από ό,τι ο φλοιός. Επιπλέον, βρίσκεται σε μεγαλύτερη θερμοκρασία και πίεση από ό,τι ο φλοιός, διότι η θερμοκρασία και η πίεση αυξάνει με το βάθος στο εσωτερικό της Γης. Η μεταφορά της θερμότητας από το κέντρο της Γης είναι το βασικό φαινόμενο στο οποίο οφείλεται η μετακίνηση των τεκτονικών πλακών.

Ο μανδύας δεν έχει ενιαία σύσταση, αλλά διακρίνεται σε δύο βασικές περιοχές (τον άνω και τον κάτω μανδύα), μία ζώνη μετάβασης μεταξύ του άνω και κάτω μανδύα και μία ζώνη μετάβασης (D') μεταξύ μανδύα και πυρήνα.

1) Ο *άνω μανδύας* αποτελεί το 10.3% της μάζας της Γης και εκτείνεται σε βάθος 10-400 χιλιομέτρων κάτω από την επιφάνεια της Γης. Το επάνω μέρος αυτής της περιοχής του μανδύα βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από το κατώτερο στρώμα του και για το λόγο αυτό τα πετρώματα

διατηρούνται σε στερεά κατάσταση. Το τμήμα αυτό του άνω μανδύα συμπεριφέρεται αρκετά όμοια με τον φλοιό. Έτσι το συγκεκριμένο αυτό τμήμα του άνω μανδύα μαζί με τον φλοιό αποτελούν ένα στρώμα αποτελούμενο από στερεά πετρώματα που ονομάζεται *λιθόσφαιρα* (από την ελληνική λέξη λίθος που σημαίνει πέτρα). Η λιθόσφαιρα τείνει να είναι πιο λεπτή κάτω από τους ωκεανούς και κάτω από περιοχές της ξηράς που χαρακτηρίζονται από ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Κάτω από τη λιθόσφαιρα, σε μία περιοχή ανάμεσα στα 100 και 200 χιλιόμετρα η θερμοκρασία έχει αυξηθεί αρκετά και έχει φτάσει κοντά στο σημείο τήξης των πετρωμάτων. Πράγματι, μέρος της ηφαιστειακής λάβας και του μάγματος αποτελείται από πετρώματα που προέρχονται από αυτή την περιοχή του μανδύα και τα οποία έχουν λειώσει (τηχθεί) λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης που επικρατεί εκεί. Τα σεισμικά κύματα όταν περνούν από αυτήν την η περιοχή των υπερβολικά μαλακών πετρωμάτων ελαττώνουν ελαφρά την ταχύτητά τους και γι' αυτό υποθέτουν ότι αυτό είναι το στρώμα επάνω στο οποίο κινούνται οι τεκτονικές (λιθοσφαιρικές) πλάκες. Το τμήμα αυτό του άνω μανδύα ονομάζεται *ασθενόσφαιρα* (από την ελληνική λέξη ασθενής που σημαίνει ο αδύναμος). Έτσι, η στερεή λιθόσφαιρα θεωρείται ότι «επιπλέει» και κινείται επάνω στην αργά μετακινούμενη ασθενόσφαιρα.

2) Η ζώνη *μετάβασης* αποτελεί το 7.5% της μάζας της Γης και βρίσκεται σε βάθος 400-650 χιλιομέτρων. Περιλαμβάνει δύο

ασυνέχειες που προκαλούνται από αλλαγές που συμβαίνουν καθώς γίνεται η μετάβαση από λιγότερο πυκνά σε περισσότερο πυκνά ορυκτά. Αυτό το στρώμα είναι πολύ πυκνό όταν βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία, αλλά λειώνει εύκολα σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις και σχηματίζει βασάλτες που ανεβαίνουν στα ανώτερα στρώματα ως μάγμα. Έτσι, αποτελεί την πηγή του βασαλτικού μάγματος. Οι επιστήμονες βγάζουν συμπέρασμα για την συμπεριφορά αυτού του στρώματος διότι κάνουν πειράματα, υποβάλλοντας ορυκτά και πετρώματα, παρόμοιας σύνθεσης με εκείνα του μάγματος των ηφαιστείων, σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων.

3) Ο *κάτω μανδύας* αποτελεί το 49.2% της μάζας της Γης και εκτείνεται σε βάθος 650-2,700 χιλιομέτρων. Η χημική σύστασή του θεωρείται ότι περιλαμβάνει ορυκτά που αποτελούνται κυρίως από σίδηρο, μαγνήσιο, πυρίτιο και οξυγόνο. Οι επιστήμονες εξάγουν αυτό το συμπέρασμα, διότι θεωρούν ότι η Γη έχει την ίδια σύσταση με στοιχεία που βρίσκονται στον Ήλιο και σε μετεωρίτες που έχουν πέσει στη Γη. Τα ορυκτά αυτά καθώς αυξάνεται το βάθος συμπιέζονται ολοένα και περισσότερο και βαθμιαία αποκτούν μεγαλύτερη πυκνότητα, σχηματίζοντας εξαιρετικά πυκνές μορφές. Από τον μανδύα στον πυρήνα σημειώνεται μια μείωση 30% στην ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων, η οποία συνοδεύεται από μία αύξηση 30% της πυκνότητας.

4) Η ζώνη μεταφορά D' αποτελεί το 3% της μάζας της Γης και εκτείνεται σε βάθος 2,700-2,900 χιλιομέτρων. Η ζώνη αυτή είναι πολύ λεπτή και συχνά θεωρείται ως τμήμα του κάτω μανδύα. Όμως, στη ζώνη αυτή παρατηρούνται σεισμικές ασυνέχειες πράγμα που σημαίνει ότι η ζώνη D' μπορεί να διαφέρει στη χημική της σύσταση από τον κάτω μανδύα που βρίσκεται από επάνω της. Οι επιστήμονες θεωρούν ότι το υλικό της είτε διαλύθηκε στον πυρήνα, είτε ότι μπόρεσε να βυθιστεί μεν μέσω του μανδύα αλλά δεν μπόρεσε να εισχωρήσει στον πυρήνα εξαιτίας της πυκνότητάς του.

γ) τον πυρήνα, ο οποίος βρίσκεται κάτω από τον μανδύα και εκτείνεται σε βάθος από τα 2,900 χιλιόμετρα μέχρι το κέντρο της Γης. Ενδιαφέρον έχει να παρατηρήσουμε ότι ο πυρήνας ενώ είναι το πιο απομακρυσμένο -σε σχέση με την επιφάνεια της Γης- κομμάτι της Γης, ήταν το πρώτο δομικό στοιχείο της που αναγνωρίστηκε. Ήδη το 1906, ο R.D. Oldham μελετώντας τα δεδομένα που είχε συγκεντρώσει από τα σεισμικά κύματα που διέτρεχαν το εσωτερικό της Γης, συμπέρανε πώς θα έπρεπε να ήταν η δομή του πυρήνα της Γης. Έτσι, μπόρεσε να εξηγήσει γιατί προέκυψε το συγκεκριμένο μέγεθος για την πυκνότητα της Γης όπως το είχε υπολογίσει ο Νεύτωνας.

Ο πυρήνας θεωρείται ότι αποτελείται κυρίως από σίδηρο, με 10% περίπου κράμα οξυγόνου ή θείου ή νικελίου, ή κάποιου συνδυασμού και των τριών αυτών στοιχείων. Σήμερα, η γνώση μας για τη δομή του πυρήνα προέρχεται από τη μελέτη των

σεισμικών κυμάτων, των κινήσεων και της αδράνειας της Γης, του μαγνητικού πεδίου της Γης και των πειραμάτων που γίνονται στα εργαστήρια, όπου υποβάλλουν τον σίδηρο σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης. Έτσι, γνωρίζουμε ότι στο κέντρο της Γης βρίσκεται ο πυρήνας, ο οποίος είναι περίπου διπλάσιας πυκνότητας από τον μανδύα, διότι αποτελείται από μέταλλα (κράμα σιδήρου και νικελίου) και όχι από πετρώματα. Αποτελείται από δύο διακριτά μέρη: από έναν πυκνό υγρό εξωτερικό πυρήνα, πάχους 2,200 χιλιομέτρων και από έναν πυκνό στερεό εσωτερικό πυρήνα πάχους 1.250 χιλιομέτρων.

- 1) Ο εξωτερικός πυρήνας, οποίος περιλαμβάνει το 30.8% της μάζας της Γης και εκτείνεται σε βάθος περίπου 2,890 – 5,150 χιλιομέτρων. Ο εξωτερικός πυρήνας είναι το στρώμα που βρίσκεται κάτω από τον μανδύα. Θεωρείται ότι είναι σε υγρή κατάσταση, διότι αφενός τα εγκάρσια κύματα (S) δεν μπορούν να μεταδοθούν διαμέσου αυτού του στρώματος και αφετέρου τα διαμήκη κύματα (P) καθώς περνούν από τον μανδύα στον εξωτερικό μανδύα υφίστανται απότομη μείωση της ταχύτητάς τους και αντίστοιχη καμπύλωση της πορείας τους. Επιπλέον, ο εξωτερικός πυρήνας είναι ένα πολύ υψηλής θερμοκρασίας, ηλεκτρικά αγωγίμο υγρό. Αυτό το αγωγίμο στρώμα συνδυάζεται με την περιστροφή της Γης και έτσι παράγει και διατηρεί ένα σύστημα ηλεκτρικών ρευμάτων, στο οποίο οφείλεται το μαγνητικό πεδίο της Γης.

Επίσης, το στρώμα αυτό θεωρείται ότι είναι υπεύθυνο για τις ελαφρές κινήσεις που κάνει ο άξονας της Γης (στη διάρκεια αιώνων). Ο εξωτερικός μανδύας είναι αρκετά πυκνός, αλλά όχι τόσο πυκνός όσο αν αποτελούνταν μόνον από λιωμένο σίδηρο. Αυτό σημαίνει ότι στο στρώμα αυτό υπάρχουν σε μικρή αναλογία και άλλα ελαφρύτερα στοιχεία (οξυγόνο ή/και θείο), τα οποία βρίσκονται σε σχετική αφθονία στο Σύμπαν και διαλύονται εύκολα στον λιωμένο σίδηρο.

2) Ο *εσωτερικός πυρήνας*, ο οποίος περιλαμβάνει το 1.7% της μάζας της Γης και εκτείνεται σε βάθος (από την επιφάνεια της Γης) 5,150 χιλιομέτρων -6,370 χιλιομέτρων (κέντρο της Γης). Αποτελείται από στερεό σίδηρο και νικέλιο και περιβάλλεται από τον λιωμένο εξωτερικό πυρήνα. Θεωρείται ότι είναι στερεός διότι τόσο τα εγκάρσια όσο και τα διαμήκη κύματα μπορούν να περάσουν διαμέσου του. Οι επιστήμονες θεωρούν ότι ο εσωτερικός πυρήνας έχει στερεοποιηθεί εξαιτίας των υψηλών πιέσεων που επικρατούν εκεί. Οι θερμοκρασίες στον πυρήνα θεωρείται ότι είναι της τάξεως των 5000-6000°C.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ τόσο ο πυρήνας όσο και ο μανδύας έχουν περίπου το ίδιο πάχος, ο μεν πυρήνας κατέχει μόνον το 15% του όγκου της Γης, ο δε μανδύας κατέχει το 84% του όγκου της Γης. Το υπόλοιπο μόλις 1% του όγκου της καταλαμβάνει ο φλοιός.

Διαδικτυακοί τόποι

<http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/inside.html>

<http://www.enchantedlearning.com/subjects/astronomy/planets/earth/Inside.shtml> (εσωτερικό της Γης - απεικονίσεις)

Κεφάλαιο 3^ο: Η μετατόπιση των ηπείρων – Η τεκτονική των πλακών

Εισαγωγή

Στη θεματική αυτή ενότητα θα ασχοληθούμε με την *τεκτονική των πλακών*, δηλαδή με τη θεωρία που εξηγεί γιατί και πώς μετακινούνται οι *τεκτονικές πλάκες*. Το θέμα αυτό είναι κομβικό για να κατανοήσουμε βίαια φυσικά φαινόμενα, όπως τους σεισμούς και τα ηφαίστεια τα οποία επηρεάζουν άμεσα τη ζωή μας. Επιπλέον, θα μπορέσουμε να απαντήσουμε σε ερωτήματα, όπως γιατί η Γη δεν είναι επίπεδη, αλλά παρουσιάζει προεξοχές και χαρακτηρίζεται από μια τεράστια ποικιλομορφία (πεδιάδες, όρη, νησιά, κ.λπ.) του γεωφυσικού περιβάλλοντος. Δηλαδή, ποιο φαινόμενο προκάλεσε την ανύψωση της ξηράς σε τέτοια ύψη ώστε να δημιουργηθούν τεράστιοι ορεινοί όγκοι, μερικοί από τους οποίους φτάνουν σε μεγάλα ύψη (όπως τα Ιμαλάια, οι Άλπεις, κ.λπ.).

Τα θέματα που θα μελετήσουμε παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για εμάς τους Έλληνες διότι ζούμε σε μία χώρα που, όταν την κοιτάξεις από το αεροπλάνο, διαπιστώνεις ότι η μεν ξηρά είναι διάσπαρτη από ορεινούς όγκους, η δε θάλασσα από νησιά. Ίσως για αυτό η ζωή των κατοίκων της και ο πολιτισμός της έχουν σηματοδευτεί από τη δυναμική παρουσία της δραστηριότητας της Γης. Αυτό φανερώνεται από το γεγονός ότι οι κάτοικοί της βιώνουν συχνά την τρομακτική εμπειρία των σεισμών, ενώ στο παρελθόν η έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης εικάζεται ότι σήμανε το τέλος του Μινωικού πολιτισμού. Έτσι, είναι σημαντικό να προβληματιστούμε

για τη φύση αυτών των φαινομένων, τα οποία αν και δεν μπορούμε - μέχρι σήμερα- να τα προβλέψουμε, εν τούτοις η εξήγησή τους θα μας βοηθήσει να τα κατανοήσουμε.

Η τεκτονική των πλακών είναι μία σχετικά καινούργια επιστημονική θεωρία, την οποία διατύπωσαν οι επιστήμονες περίπου μισό αιώνα πριν (δεκαετία 1960) και η οποία εξηγεί τη δυναμική του πλανήτη μας. Η θεωρία αυτή προέκυψε από τον συνδυασμό γνώσεων που είχαν αναπτύξει διάφοροι κλάδοι των επιστημών της Γης, από την παλαιοντολογία (τη μελέτη των απολιθωμάτων) έως τη σεισμολογία (την μελέτη των σεισμών). Η τεκτονική των πλακών μας παρέχει εξηγήσεις σε ερωτήματα που οι επιστήμονες μελετούσαν για αιώνες (όπως γιατί οι σεισμοί και τα ηφαίστεια συμβαίνουν σε πολύ συγκεκριμένες περιοχές του πλανήτη, πώς και γιατί ανυψώθηκε η ξηρά σε μεγάλο ύψος σχετικά με το επίπεδο της θάλασσας, κ.λπ.). Επομένως ενδιαφέρον έχει να διερευνήσουμε πώς οι επιστήμονες κατάφεραν να φτάσουν σε αυτή τη θεωρία και να εξηγήσουν τόσο σύνθετα φαινόμενα.

Ο φλοιός της Γης και το ανώτερο τμήμα του άνω μανδύα (η λιθόσφαιρα) αποτελείται από διάφορες μεγάλες πλάκες και από πολλές μικρότερες που συνεχώς μετακινούνται και αλλάζουν σχήμα και θέση στην επιφάνεια της Γης. Στη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου, οι τεκτονικές πλάκες κινούνται, αλληλεπιδρούν η μία με την άλλη και σχηματίζουν (ή και εξαφανίζουν) ωκεανούς, οροσειρές και νησιά, ενώ προκαλούν έντονα φαινόμενα, όπως οι σεισμοί και τα ηφαίστεια.

Ιστορική αναδρομή

Η ανθρωπότητα αγωνίστηκε αιώνες προκειμένου να διατυπώσει μια συνεπή θεωρία για τη δυναμική της Γης. Ανάλογα με την εποχή, επιστήμονες, φιλόσοφοι και θεολόγοι προσπάθησαν να δώσουν τις δικές τους εξηγήσεις, οι οποίες επηρεάζονταν από το κοινωνικο-πολιτισμικό πλαίσιο που επικρατούσε τότε. Έτσι, μέχρι το 1700, οι περισσότεροι άνθρωποι πίστευαν ότι ο Κατακλυσμός όπως περιγράφεται στη Βίβλο έπαιξε ένα κυρίαρχο ρόλο στο σχηματισμό της επιφάνειας της Γης. Όμως, αυτός ο τρόπος σκέψης, γνωστός ως «καταστροφισμός» («catastrophism»), φαίνεται ότι επηρέασε και την επιστήμη της γεωλογίας, η οποία τότε θεωρούσε ότι όλες οι αλλαγές στη Γη συμβαίνουν απότομα και ξαφνικά και προκαλούνται από μία σειρά καταστροφών.

Το 1785, ο Σκωτσέζος γεωλόγος James Hutton, προκειμένου να εξηγήσει τη δυναμική της Γης, πρότεινε την «Αρχή του Ομοιομορφισμού» ("Uniformitarian Principle"), η οποία έλεγε ότι: *Το παρόν είναι το κλειδί για το παρελθόν*. Αυτό σήμαινε ότι οι γεωλογικές δυνάμεις και διαδικασίες, οι οποίες βαθμιαία αλλά και καταστροφικά επιδρούν στη Γη σήμερα, είναι ακριβώς οι ίδιες που επιδρούσαν στη Γη και στο γεωλογικό παρελθόν της. Στην εποχή της, η ιδέα αυτή φάνηκε πιο λειτουργική από την παλαιά και έτσι διαδοχικά ο νέος τρόπος σκέψης που ονομάστηκε «ομοιομορφισμός» ("uniformitarianism") αντικατέστησε τον παλαιό τρόπο σκέψης, τον καταστροφισμό. Αυτό τελικά συνέβη στα μέσα του 19^{ου} αιώνα.

Πέραν όμως από τις απόπειρες που γίνονταν προκειμένου οι επιστήμονες να εξηγήσουν πώς γίνονται οι αλλαγές στη Γη,

ενδιαφέρον έχει να παρατηρήσουμε ότι ήδη από πολύ νωρίς είχαν φτάσει στο συμπέρασμα ότι οι ήπειροι δεν βρίσκονται σε σταθερές θέσεις αλλά ότι μετακινούνται στον γεωλογικό χρόνο (δηλαδή ότι δεν βρίσκονταν πάντα στις σημερινές τους θέσεις). Και ποιος θα μπορούσε να ήταν ο πιο κατάλληλος άνθρωπος για να κάνει την κρίσιμη παρατήρηση και να διατυπώσει αυτό το συμπέρασμα; Ποιος άλλος από έναν χαρτογράφο, ο οποίος θα είχε την ευκαιρία να παρατηρήσει προσεκτικά το σχήμα των ηπείρων στον χάρτη της Γης. Πράγματι, το 1596 ο Δανός χαρτογράφος Abraham Ortelius στο έργο του *Thesaurus Geographicus* διατύπωσε την υπόθεση ότι η Αμερική είχε αποσχισθεί από την Ευρώπη και την Αφρική λόγω σεισμών και πλημμυρών και δικαιολόγησε τη θέση του αυτή λέγοντας ότι τα ίχνη της ρήξης αποκαλύπτονται εάν παρατηρήσει κανείς προσεκτικά τις ακτές των τριών αυτών ηπείρων.

Η ιδέα που διατύπωσε ο Ortelius φαίνονταν λογική, πέρασαν όμως περίπου τρεις αιώνες προκειμένου η ανθρωπότητα να αρχίσει να την συζητά. Και αυτό γιατί είναι ψυχολογικά δύσκολο να αποδεχθούν οι άνθρωποι ότι η ξηρά στην οποία ζουν, και την οποία θεωρούν ως το σταθερό «σημείο» αναφοράς της ύπαρξής τους, δεν παραμένει στην ίδια θέση αλλά μετακινείται. Έπρεπε λοιπόν να περάσουν χρόνια ώστε οι επιστήμονες να συγκεντρώσουν αρκετές αξιόπιστες ενδείξεις προκειμένου να επαναφέρουν την ιδέα του Ortelius. Πράγματι, η ιδέα αυτή επανήλθε στις επιστημονικές συζητήσεις τρεις αιώνες μετά -τον 19^ο αιώνα- αλλά μόλις το 1912 διατυπώθηκε ως μία συγκροτημένη θεωρία από τον νεαρό Γερμανό μετεωρολόγο Alfred Lothar Wegener.

Ο Wegener ονόμασε τη θεωρία του *Μετακίνηση των Ηπείρων* (*Continental Drift*).

Η θεωρία που διατύπωσε ο Wegener θα περίμενε κανείς ότι θα γίνονταν εύκολα αποδεκτή από τους επιστημονικούς κύκλους της εποχής του. Τα πράγματα όμως δεν ήταν καθόλου έτσι. Ο Wegener συνάντησε σθεναρή αντίσταση από την επιστημονική κοινότητα και αυτό διότι για να γίνει αποδεκτή η θεωρία του έπρεπε να πείσει ότι ήταν πιο αποτελεσματική (εξηγούσε καλύτερα τα δεδομένα και μπορούσε να προσφέρει έναν μηχανισμό εξήγησής τους) από την έως τότε επικρατούσα θεωρία. Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα η θεωρία που ίσχυε ήταν η «Θεωρία Συστολής», η οποία θεωρούσε ότι αρχικά η Γη, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούσαν κάποτε, είχε τη μορφή μιας μπάλας που αποτελούνταν από υλικά τα οποία βρίσκονταν σε κατάσταση τήξης. Όμως, καθώς περνούσαν τα χρόνια (για την ακρίβεια οι χιλιετίες) και η θερμοκρασία έπεφτε, η Γη κρύωσε με αποτέλεσμα η επιφάνειά της να στερεοποιηθεί. Κατά την στερεοποίηση η επιφάνειά της έσπασε σε πολλά σημεία όπου και σχημάτισε πτυχές. Έτσι, δημιουργήθηκαν τα όρη. Η θεωρία αυτή φαινόταν λογική είχε όμως ένα αδύνατο σημείο: ότι, σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, όλα τα όρη της Γης θα έπρεπε να είχαν περίπου την ίδια ηλικία εφόσον σχηματίστηκαν την ίδια περίπου εποχή (όταν η Γη κρύωσε), πράγμα που όμως γνώριζαν ότι δεν ήταν αληθές.

Το ερώτημα που τώρα τίθεται είναι γιατί αφού αυτή η θεωρία ήταν λάθος, οι επιστήμονες δεν αποδέχθηκαν αμέσως τη θεωρία του Wegener; Αυτό συνέβη διότι ο Wegener γνώριζε ότι οι ήπειροι

μετακινούνταν αλλά δεν μπορούσε να εξηγήσει ακριβώς πώς (με ποιον μηχανισμό) μετακινούνταν.

Η θεωρία του Wegener - Η Μετατόπιση των Ηπείρων

Οι ενδείξεις

α) *Το ταιρίασμα των ακτών της Αφρικής και της Νοτίου Αμερικής:* Η θεωρία του Wegener βασίστηκε αρχικά σε παρατηρήσεις που έκανε - όπως και πριν από αυτόν ο Ortelius- ότι η Αφρική και η Νότιος Αμερική ταιριάζουν εξαιρετικά καλά, δηλαδή είναι σαν δύο κομμάτια μιας αρχικής ηπείρου, η οποία κάποτε έσπασε στα δύο.

β) *Η ανεύρεση απολιθωμάτων ίδιων φυτών και ζώων στις δύο ηπείρους:* Ο Wegener παραξενεύτηκε από το γεγονός ότι στις ακτές της Αφρικής και της Νότιας Αμερικής, -που βρίσκονται η μία απέναντι της άλλης, ταιριάζουν μεταξύ τους και χωρίζονται από τον Ατλαντικό Ωκεανό- παρατηρούνται παρόμοιοι ασυνήθιστοι γεωλογικοί σχηματισμοί και ανευρίσκονται παρόμοια απολιθώματα φυτών και ζώων. Ο Wegener σκέφτηκε ότι θα ήταν αδύνατον στο παρελθόν οι οργανισμοί αυτοί να είχαν διασχίσει έναν τεράστιο ωκεανό κολυμπώντας από την μία ακτή στην άλλη ή να είχαν μεταφερθεί με άλλον τρόπο εκεί. Έτσι, θεώρησε ότι οι δύο αυτές ήπειροι θα πρέπει κάποτε να ήταν ενωμένες και ότι η παρουσία των παρόμοιων απολιθωμάτων αυτό ακριβώς αποδεικνυε.

γ) *Οι ενδείξεις δραματικών κλιματικών αλλαγών σε μερικές ηπείρους:* Επίσης, ο Wegener προβληματίστηκε πολύ όταν συνειδητοποίησε ότι ανακαλύφθηκαν απολιθώματα τροπικών φυτών (ως κοιτάσματα

κάρβουνου) στην Ανταρκτική. Αυτή η ανακάλυψη τον οδήγησε στο συμπέρασμα ότι κάποτε η παγωμένη Ανταρκτική θα πρέπει να βρίσκονταν πλησιέστερα στον Ισημερινό, όπου το κλίμα είναι πιο θερμό και επιτρέπει να αναπτυχθούν τέτοιου είδους φυτά. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαίωσε και το γεγονός ότι στη Νότιο Αφρική ανακαλύφθηκαν ίχνη παγετώνων.

Η θεωρία της μετατόπισης των ηπείρων

Ο Wegener προσπάθησε να ταιριάξει όλες τις ενδείξεις σε μία συνεπή θεωρία που να τις εξηγεί και έτσι κατέληξε στη θεωρία της μετατόπισης των ηπείρων. Η θεωρία αυτή έλεγε ότι οι σημερινές ήπειροι είναι κομμάτια που αποσπάστηκαν από προϋπάρχουσες μεγαλύτερες εκτάσεις ξηράς (τις «υπερηπείρους»).

Ο Wegener υποστήριξε ότι, περίπου 200 εκατομμύρια έτη πριν, υπήρχε μία υπερήπειρος την οποία ονόμασε *Πανγαία* (Pangaea που στα αρχαία Ελληνικά σημαίνει «όλη η γη-ξηρά») επειδή όλη η ξηρά ήταν ενωμένη σε ένα ενιαίο κομμάτι. Η υπερήπειρος αυτή σταδιακά διαμελίστηκε. Αρχικά έσπασε σε δύο μεγάλες ηπείρους: την *Λαυρασία* (Laurasia) στο Βόρειο ημισφαίριο και την *Γκοντουαναλάντ* (Gondwanaland) στο Νότιο ημισφαίριο. Αργότερα η Λαυρασία και η Γκοντουαναλάντ διαμελίστηκαν διαδοχικά στις διάφορες μικρότερες ηπείρους που υπάρχουν σήμερα.

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται ο βαθμιαίος σχηματισμός των ηπείρων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.



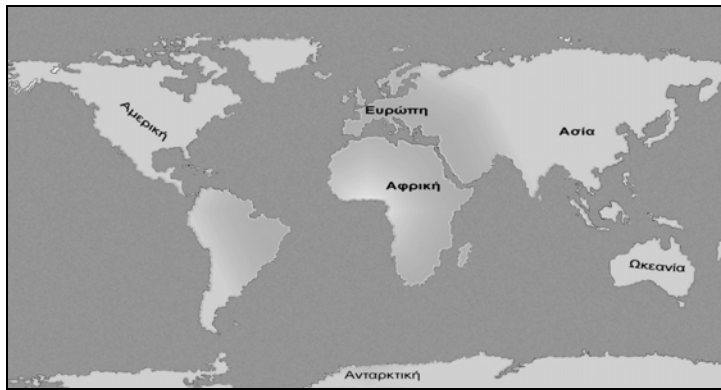
1. Πριν 225 εκ. χρόνια



2. Πριν 200 εκ. χρόνια



3. Πριν 135 εκ. χρόνια



4. Σήμερα

Η ερμηνεία του Wegener για το πώς μετατοπίζονται οι ήπειροι και σχηματίζονται τα όρη

Η θεωρία της μετατόπισης των ηπείρων ήταν κατά βάση περιγραφική. Δηλαδή περιγράφει πώς πρέπει να έγιναν τα πράγματα και όχι και με ποιον μηχανισμό έγιναν. Για να θεωρηθεί όμως μια θεωρία επιστημονική πρέπει να παρέχει και αξιόπιστες εξηγήσεις. Ο Wegener λοιπόν αποπειράθηκε να δώσει έναν εξηγητικό μηχανισμό που να δικαιολογεί τα συγκεκριμένα φαινόμενα:

- α) *Η μετατόπιση των ηπείρων*: Ο Wegener υποστήριξε ότι απλά οι ήπειροι προχωρούν με δυσκολία διαμέσου του πυθμένα των ωκεανών.
- β) *Ο σχηματισμός των βουνών*: Ο Wegener πρότεινε ότι καθώς οι ήπειροι κινούνται, οι μπροστινές (προς την κατεύθυνση της κίνησης) άκρες των ηπείρων συναντούν αντίσταση. Τότε οι ήπειροι συμπιέζονται και αναγκάζονται να διπλώσουν προς τα επάνω σχηματίζοντας με αυτόν τον τρόπο τα όρη. Γι'αυτό το λόγο τα όρη, δημιουργούνται κοντά στις άκρες των ηπείρων που δέχονται την αντίσταση. Έτσι, ο Wegener μπόρεσε να εξηγήσει τον σχηματισμό της οροσειράς των Ιμαλαΐων, η οποία υποστήριξε ότι οφείλεται στην μετατόπιση της Ινδίας προς Βορρά και στη συνάντησή της με την Ασία.

Οι αντιρρήσεις της επιστημονικής κοινότητας

Σε αντίθεση με την έως τότε επικρατούσα επιστημονική άποψη ότι οι ήπειροι και οι ωκεανοί είναι σταθερά και αμετακίνητα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της Γης, η θεωρία της μετατόπισης των ηπείρων πρότεινε έναν ριζικά νέο τρόπο κοιτάγματος της Γης. Η

νέα αυτή ματιά αντιμετωπίζει τη Γη ως ένα δυναμικό σύστημα το οποίο συνεχώς μεταβάλλεται. Επιπλέον, η θεωρία της μετατόπισης των ηπείρων ήταν συμβατή με τα έως τότε επιστημονικά δεδομένα. Όμως, η επιστημονική κοινότητα θεώρησε αρχικά τη θεωρία αυτή ως μία ανοησία. Ο λόγος γι' αυτή τη σκληρή θέση των επιστημόνων της εποχής είναι το γεγονός ότι η θεωρία του Wegener είχε μία σοβαρή αδυναμία. Δεν μπορούσε να δώσει μία ικανοποιητική απάντηση στο πιο σημαντικό ερώτημα που του απηύθυναν οι επικριτές του και το οποίο ήταν: *Τι είδους δυνάμεις θα μπορούσαν να είναι τόσο ισχυρές ώστε να μετακινούν τόσο μεγάλες μάζες στερεών πετρωμάτων σε τόσο μεγάλες αποστάσεις;* Όπως μάλιστα απέδειξε ο Άγγλος γεωφυσικός Harold Jeffreys η εξήγηση που έδινε ο Wegener για την μετατόπιση των ηπείρων δεν θα μπορούσε να ευσταθεί, διότι στην περίπτωση αυτή οι ήπειροι θα έπρεπε να σπάσουν σε ακόμη μικρότερα κομμάτια. Ο Wegener πικράθηκε από την απόρριψη των συναδέλφων του αλλά δεν πτοήθηκε. Αφιέρωσε το υπόλοιπο της ζωής του αναζητώντας επιπλέον ενδείξεις που να υποστηρίζουν τη θεωρία του. Το 1930 κατά τη διάρκεια μιας αποστολής διασχίζοντας τις παγωμένες βουνοκορφές της Γροιλανδίας πέθανε από το κρύο. Όμως μετά τον θάνατό του νέες ενδείξεις που συγκεντρώθηκαν από εξερευνήσεις στον ωκεάνιο πυθμένα, καθώς και από άλλες μελέτες, αναζωπύρωσαν το ενδιαφέρον για τη θεωρία του Wegener. Οι ενδείξεις αυτές και οι συνεχιζόμενες έρευνες οδήγησαν τελικά στη διατύπωση της *θεωρίας της τεκτονικής των πλακών*.

Η θεωρία της τεκτονικής των πλακών

Ο σπόρος που έριξε η θεωρία του Wegener φαίνεται ότι κάρπισε διότι οι επόμενοι ερευνητές εργάστηκαν επάνω στην ίδια ιδέα φροντίζοντας να την εξελίξουν ώστε να υπερβούν τις όποιες ασυνέπειές της. Πράγματι, μερικά χρόνια αργότερα ο Arthur Holmes πρότεινε έναν μηχανισμό εξήγησης της μετατόπισης των ηπείρων που φαίνεται ότι έλυσε το πρόβλημα που είχε αντιμετωπίσει ο Wegener στην εποχή του. Ο Holmes έδωσε ως εξήγηση ότι η αιτία για τη διαίρεση και μετακίνηση των ηπείρων βρίσκεται βαθιά μέσα στη Γη, όπου τα *αγώγιμα ρεύματα*¹ που αναπτύσσονται από την κίνηση του λιωμένου και διάπυρου υλικού της Γης παρέχουν την απαραίτητη δύναμη για την κίνηση τόσο μεγάλων μαζών.

Στα επόμενα έτη συνεχίστηκαν οι έρευνες σε διάφορα σημεία του πλανήτη έως ότου έρευνες που πραγματοποιούνταν στον πυθμένα των ωκεανών αποκάλυψαν κάτι εκπληκτικό: ότι, από ρήγματα που υπάρχουν εκεί, καινούργιο υλικό συνεχώς αναδύεται από το εσωτερικό της Γης και δημιουργεί νέο φλοιό. Οι νέες ανακαλύψεις, μαζί με την εξήγηση που έδωσε ο Holmes ήταν καιρός να συνδυαστούν ώστε να εξελίξουν τη θεωρία του Wegener σε μία αυτοσυνεπή και πλήρη θεωρία. Στο σημείο αυτό όμως η επιστημονική σκέψη -και μαζί όλη η ανθρωπότητα- έπρεπε να κάνει ένα ακόμη άλμα. Ενώ ο Wegener μίλαγε για μετατόπιση των ηπείρων, το άλμα που χρειάστηκε να κάνει η ανθρωπότητα ήταν ότι η νέα θεωρία

¹ Αγώγιμα ρεύματα είναι ρεύματα στα οποία τα φορτία μεταφέρονται από κινούμενες μάζες σημαντικά βαρύτερες από τα ηλεκτρόνια.

αναφέρεται στη μετατόπιση πολύ μεγαλύτερων κομματιών που δεν περιορίζονται στα όρια των ηπείρων, αλλά που μπορεί να περιλαμβάνουν τόσο τμήματα ηπείρων όσο και τμήματα των ωκεανών.

Έτσι, 50 έτη μετά τον Wegener, στις αρχές της δεκαετίας του 1960 διατυπώθηκε η θεωρία της τεκτονικής των πλακών η οποία σήμανε επανάσταση στον τρόπο που βλέπουμε τον πλανήτη Γη. Με γεωλογικούς όρους, μία *πλάκα* είναι ένα μεγάλο κομμάτι λιθόσφαιρας (δηλαδή ένα συμπαγές κομμάτι που περιλαμβάνει τμήμα του φλοιού της Γης μαζί με το αντίστοιχο ανώτερο τμήμα του άνω μανδύα). Ο όρος *τεκτονική των πλακών* αναφέρεται στο πώς η επιφάνεια της Γης έχει χτιστεί από πλάκες. Η *θεωρία της τεκτονικής των πλακών* αναφέρει ότι ο φλοιός της Γης βρίσκεται συνεχώς σε κίνηση. Και αυτό διότι το εξωτερικό στρώμα της Γης είναι διαμελισμένο σε δώδεκα ή περισσότερες μεγάλες και μικρές πλάκες που κινούνται η μία σε σχέση με την άλλη, καθώς ανεβαίνει από το εσωτερικό της Γης προς τα επάνω ένα διάπυρο και παχύρρευστο (σε κατάσταση τήξης) υλικό. Οι περιοχές όπου οι πλάκες συγκρούονται μεταξύ τους παρουσιάζουν συχνή σεισμική και ηφαιστειακή δραστηριότητα. Σήμερα γνωρίζουμε άμεσα ή έμμεσα ότι η τεκτονική των πλακών επηρεάζει σχεδόν όλες τις γεωλογικές διαδικασίες και προκαλεί τη συνεχή αλλαγή της μορφολογίας της Γης.

Με αυτή τη διαδικασία, ο φλοιός της Γης συνεχώς ανανεώνεται. Το μεγαλύτερο μέρος του νέου φλοιού σχηματίζεται στον πυθμένα των ωκεανών. Συγκεκριμένα, υλικό (πετρώματα και ορυκτά) σε διάπυρη και ρευστή μορφή ανεβαίνει από το εσωτερικό της Γης προς τα επάνω

μέσω ανοιγμάτων (τάφρων) που υπάρχουν στον πυθμένα των ωκεανών. Εκεί, καθώς εναποτίθεται εκατέρωθεν των ανοιγμάτων, ψύχεται και μετατρέπεται σε στερεό, σχηματίζοντας τις μεσοωκεάνιες ράχες. Ακολούθως, ο νέος φλοιός μέσω των κινήσεων των πλακών μεταφέρεται με πολύ αργούς ρυθμούς (ελάχιστα εκατοστά ανά έτος) μακριά. Τελικά, ο φλοιός αυτός θα ανακυκλωθεί (θα εισέλθει και πάλι βαθιά μέσα στη Γη) μετά από εκατομμύρια έτη. Κατά τη διαδικασία αυτή προκαλούνται σεισμοί και ηφαίστεια στα όρια των κινούμενων λιθοσφαιρικών πλακών. Έτσι, οι ωκεανοί είτε συνεχώς διευρύνονται (π.χ. ο Ατλαντικός Ωκεανός), είτε κλείνουν (π.χ. η Μεσόγειος Θάλασσα).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο φλοιός της Γης δεν είναι ίδιος παντού. Ο ηπειρωτικός φλοιός είναι παχύτερος (εκτείνεται σε μεγαλύτερο βάθος) και έχει μικρότερη πυκνότητα από τον νεώτερο ωκεάνιο φλοιό, ο οποίος είναι πιο λεπτός και πιο πυκνός. Έτσι, ο ηπειρωτικός φλοιός ως πιο ελαφρύς δεν βυθίζεται αρκετά βαθιά ώστε να ανακυκλωθεί και κατά ένα μεγάλο μέρος διατηρείται στην ξηρά. Κατά συνέπεια τα πετρώματα της βάσης του ηπειρωτικού φλοιού είναι πολύ παλαιότερα από τα πετρώματα της βάσης του ωκεάνιου φλοιού.

Οι κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών

Δεδομένου ότι σημαντικά φαινόμενα που επηρεάζουν τη ζωή στον πλανήτη μας (σεισμοί, ηφαίστεια, κλπ.) οφείλονται στην κίνηση των τεκτονικών ή λιθοσφαιρικών πλακών, καλόν είναι να εξετάσουμε τα

είδη των κινήσεων αυτών των πλακών, καθώς και τα φαινόμενα που τις συνοδεύουν. Οι περισσότερες κινήσεις συμβαίνουν κατά μήκος μιας στενής ζώνης ανάμεσα στις πλάκες, όπου εμφανίζονται και τα αποτελέσματα αυτών των κινήσεων.

Ανάλογα με τις κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών, αναγνωρίζονται 4 τύποι ορίων αυτών των πλακών:

- α) Αποκλίνοντα όρια λιθοσφαιρικών πλακών (Divergent boundary), όπου νέος φλοιός δημιουργείται καθώς οι πλάκες απομακρύνονται η μία από την άλλη.
- β) Συγκλίνοντα όρια λιθοσφαιρικών πλακών (Convergent boundary), όπου φλοιός καταστρέφεται καθώς η μία πλάκα βυθίζεται κάτω από την άλλη.
- γ) Μετασχηματιζόμενα όρια λιθοσφαιρικών πλακών (Transform boundaries), όπου δεν παράγεται ούτε καταστρέφεται φλοιός καθώς οι πλάκες γλιστρούν οριζόντια και σε αντίθετη κατεύθυνση η μία σε σχέση με την άλλη.
- δ) Οριακές ζώνες των λιθοσφαιρικών πλακών (Plate-boundary zones), δηλαδή ευρείες ζώνες στις οποίες τα όρια δεν είναι καλά ορισμένα και τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης των λιθοσφαιρικών πλακών είναι ασαφή, ενώ οι πλάκες κινούνται με την ίδια σχετική κίνηση.

A) Απόκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών (Αποκλίνοντα όρια τεκτονικών πλακών) - Δημιουργία νέου φλοιού

Αποκλίνοντα όρια πλακών συναντούμε κατά μήκος περιοχών που βρίσκονται ανάμεσα σε δύο λιθοσφαιρικές πλάκες οι οποίες απομακρύνονται (κινούνται αντίθετα) η μία από την άλλη. Τι συμβαίνει όμως όταν δύο λιθοσφαιρικές πλάκες αποκλίνουν; Τότε ανοίγει μία τάφρος ανάμεσά τους, όπου νέος φλοιός δημιουργείται από το μάγμα που ανεβαίνει με μεγάλη πίεση από τον μανδύα προς τα επάνω.

Ο Ατλαντικός Ωκεανός δημιουργήθηκε κατ' αυτόν τον τρόπο. Η μεσοωκεάνεια ράχη στον Ατλαντικό Ωκεανό είναι μία περιοχή όπου νέος ωκεάνιος πυθμένας συνεχώς δημιουργείται. Όταν για πρώτη φορά λόγω της πίεσης του μάγματος άνοιξε στην αρχική υπερήπειρο (ενωμένη η Ευρώπη, η Αφρική και η Αμερική σε μία ήπειρο) μία τεκτονική τάφρος, η υπερήπειρος αυτή βαθμιαία έσπασε και χωρίστηκε αρχικά σε δύο μεγάλα κομμάτια ξηράς. Έκτοτε, τα λιωμένα πετρώματα που ανέρχονται από το εσωτερικό της Γης προς τα επάνω σπρώχνουν συνεχώς και διευρύνουν το άνοιγμα του παλαιού φλοιού, δημιουργώντας κατ' αυτό τον τρόπο καινούργιο φλοιό. Επιπλέον, όταν άνοιξε η τεκτονική τάφρος, νερά άρχισαν να συγκεντρώνονται εκεί με αποτέλεσμα τελικά να σχηματιστεί μία θάλασσα, η οποία εξελίχθηκε σιγά-σιγά στον Ατλαντικό Ωκεανό.

Σήμερα, η μεσοωκεάνεια ράχη στον Ατλαντικό Ωκεανό έχει ύψος 2,000 μέτρα σε σχέση με τον διπλανό πυθμένα (ο οποίος βρίσκεται σε

βάθος 6,000 μέτρων κάτω από το επίπεδο της θάλασσας). Η ράχη αυτή έχει δημιουργηθεί από το μάγμα που συνεχώς εναποτίθεται εκεί. Εκτείνεται δε από την Αρκτική έως το νότιο άκρο της Αφρικής. Ο πυθμένας του ωκεανού συνεχώς μεγαλώνει με μέση ταχύτητα 2.5 εκατοστά το χρόνο ή 25 χιλιόμετρα σε ένα εκατομμύριο έτη και οι πλάκες γίνονται ολοένα και μεγαλύτερες. Αυτή η διαδικασία παρατηρείται σε διάφορα μέρη του πλανήτη (όπου συμβαίνει απόκλιση των τεκτονικών πλακών) και παράγει 17 τετραγωνικά χιλιόμετρα νέας πλάκας κάθε έτος.

B) Σύγκλιση τεκτονικών πλακών (Συγκλίνοντα όρια τεκτονικών πλακών) – Καταστροφή του φλοιού

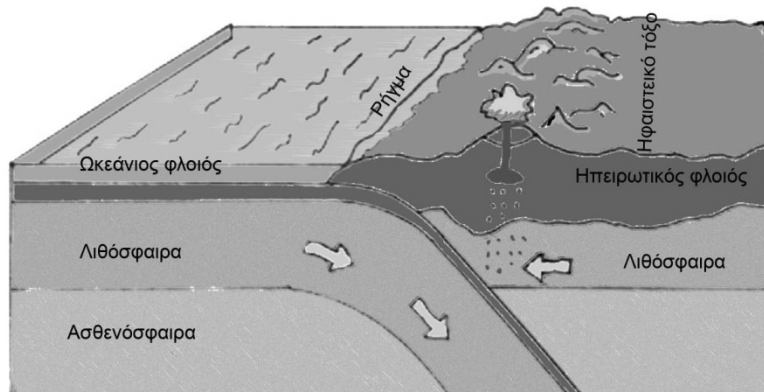
Εάν ίσχυε μόνον η απόκλιση των τεκτονικών πλακών και η παραγωγή νέου φλοιού, η Γη θα γινόταν ολοένα και μεγαλύτερη, πράγμα όμως που δεν παρατηρείται. Πράγματι, η Γη διατηρεί σταθερά τον ίδιο όγκο εδώ και τουλάχιστον 600 εκατομμύρια έτη. Έτσι, εφόσον σε κάποια σημεία της Γης δημιουργείται νέος φλοιός (μέσω του μάγματος που ανέρχεται στην επιφάνειά της από τον μανδύα) σε κάποια άλλα σημεία θα πρέπει με τον ίδιο ρυθμό να καταστρέφεται φλοιός (δηλαδή τμήματά του να βυθίζονται στο εσωτερικό της Γης). Ο μηχανισμός αυτός εξασφαλίζεται με τη σύγκλιση των τεκτονικών πλακών. Κατά τη σύγκλιση των τεκτονικών πλακών η μία πλάκα μπορεί να καταβυθιστεί κάτω από την άλλη, με αποτέλεσμα την ανακύκλωση του υλικού της. Το είδος της σύγκλισης εξαρτάται από το είδος της

λιθόσφαιρας που συμμετέχει στο όλο φαινόμενο. Σύγκλιση τεκτονικών πλακών μπορεί να συμβεί ανάμεσα σε μια ωκεάνια και μια ηπειρωτική πλάκα ή μεταξύ δύο ωκεάνιων πλακών ή μεταξύ δύο ηπειρωτικών πλακών.

Είδη σύγκλισης των τεκτονικών πλακών

Σύγκλιση ωκεάνιας και ηπειρωτικής πλάκας

Στην περίπτωση αυτή συνήθως μια μεγάλης πυκνότητας ωκεάνια πλάκα βυθίζεται κάτω από μια μικρής πυκνότητας ηπειρωτική πλάκα. Στην περιοχή της βύθισης δημιουργείται ένα ρήγμα. Τα ρήγματα βρίσκονται στο βαθύτερο σημείο του ωκεάνιου πυθμένα. Για παράδειγμα, ο πυθμένας του Ειρηνικού Ωκεανού είναι χαραγμένος από ρήγματα, τα οποία έχουν μήκος χιλιάδων χιλιομέτρων και βρίσκονται σε βάθος 8 έως 10 χιλιομέτρων.



Σύγκλιση ωκεάνιας και ηπειρωτικής πλάκας

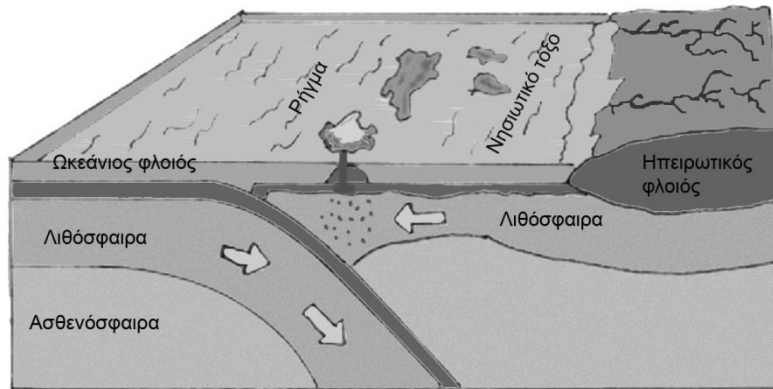
Χαρακτηριστικό παράδειγμα καταβύθισης λιθοσφαιρικής πλάκας αποτελεί η σύγκλιση της πλάκας της Nazca (Nazca Plate) –ανάμεσα στην πλάκα του Ειρηνικού ωκεανού και στην πλάκα της Νοτίου Αμερικής) με την ηπειρωτική πλάκα της Νότιας Αμερικής. Έξω από τις ακτές της Νότιας Αμερικής υπάρχει ένα βαθύ ρήγμα κατά μήκος του Περού και της Χιλής. Το ρήγμα αυτό σηματοδοτεί την περιοχή όπου συμβαίνει η καταβύθιση της πλάκας της Nazca κάτω από το ηπειρωτικό κομμάτι της πλάκας της Νοτίου Αμερικής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η πλάκα της Νοτίου Αμερικής να ανυψώνεται δημιουργώντας την οροσειρά των Άνδεων. Ισχυροί σεισμοί συνοδεύουν το όλο φαινόμενο με καταστροφικά αποτελέσματα για τον ντόπιο πληθυσμό. Οι σεισμοί αυτοί συχνά συνοδεύονται από ανύψωση της ξηράς κατά μερικά μέτρα.

Κατά τη καταβύθιση της ωκεάνιας πλάκας, νερό μεταφέρεται στο εσωτερικό της Γης μαζί με τον ωκεάνιο φλοιό, ενώ τα πετρώματα αρχίζουν να θερμαίνονται καθώς βυθίζονται αργά μέσα στη Γη. Τότε, το νερό εξατμίζεται πυροδοτώντας τον σχηματισμό μικρών δεξαμενών από πετρώματα σε κατάσταση τήξης, τα οποία με αργούς ρυθμούς ανυψώνονται προς τα επάνω. Η πλάκα που βυθίζεται κινείται προς τα κάτω με έναν ρυθμό λίγων εκατοστών το έτος. Το πέτρωμα που βρίσκεται σε ρευστή κατάσταση από τις υψηλές θερμοκρασίες θα χρειαστεί δεκάδες χιλιάδες έτη ώστε είτε να στερεοποιηθεί αργά στο εσωτερικό σχηματίζοντας γρανίτες, είτε να ανέβει στην επιφάνεια και να εκτοξευθεί ως λάβα, όπου και θα κρυώσει γρήγορα σχηματίζοντας βασάλτες.

Ο Ανατολικός Ειρηνικός κινείται προς τη Νότιο Αμερική με μέση ταχύτητα 9 εκατοστών το έτος, που μπορεί να μη φαίνεται εντυπωσιακή για τα ανθρώπινα μέτρα, αλλά στη διάρκεια των τελευταίων 10 εκατομμυρίων ετών ο φλοιός του Ειρηνικού έχει βυθιστεί κάτω από τη Νότιο Αμερική περίπου 1000 χιλιόμετρα μέσα στο εσωτερικό της Γης.

Σύγκλιση ωκεάνιας και ωκεάνιας πλάκας

Όταν δύο ωκεάνιες πλάκες συγκλίνουν, η μία συνήθως καταβυθίζεται κάτω από την άλλη και σε αυτή τη διαδικασία σχηματίζεται ένα βαθύ ρήγμα. Ένα τέτοιο ρήγμα έχει σχηματιστεί παράλληλα των Νησιών Μαριάνας, όπου η πλάκα του Ειρηνικού συγκλίνει με την πλάκα των Φιλιππίνων. Οι δύο πλάκες δεν κινούνται με την ίδια ταχύτητα: η πλάκα του Ειρηνικού κινείται ταχύτερα από την πλάκα των Φιλιππίνων. Η καταβύθιση της μίας πλάκας κάτω από την άλλη φαίνεται να διευκολύνεται από το νερό, το οποίο φαίνεται να λειτουργεί ως ένα είδος λιπαντικού καθώς η βαρύτερη πλάκα γλιστρά κάτω από την ελαφρύτερη πλάκα.



Σύγκλιση ωκεάνιας και ωκεάνιας πλάκας

Η σύγκλιση δύο ωκεάνιων πλακών συχνά έχει ως αποτέλεσμα αρχικά τον σχηματισμό ηφαιστίων και ακολούθως τον σχηματισμό νησιωτικών τόξων.

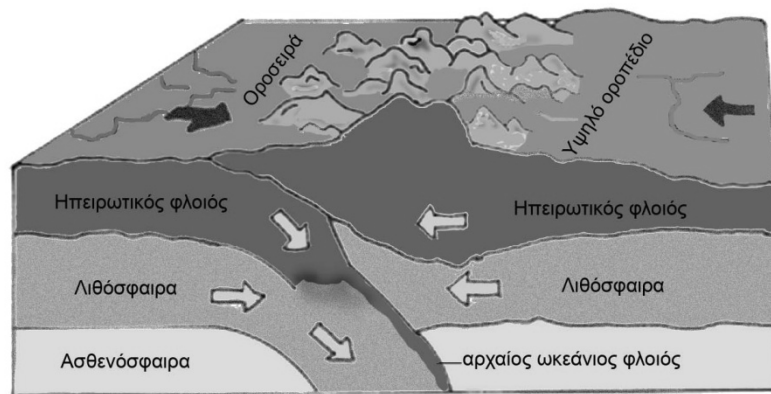
Η διαδικασία με την οποία συμβαίνει αυτό είναι η ακόλουθη:

Καθώς ο ωκεάνιος φλοιός της μίας πλάκας καταβυθίζεται, τήκεται διότι συναντά βαθμιαία υψηλές θερμοκρασίες. Το μάγμα που σχηματίζεται κατ' αυτόν τον τρόπο ανεβαίνει στην επιφάνεια και σχηματίζει ηφαίστεια. Κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων ετών, η λάβα που προέρχεται από τις εκρήξεις των ηφαιστίων και τα ηφαιστειακά κατάλοιπα συσσωρεύονται στον πυθμένα των ωκεανών, έως ότου το υποβρύχιο ηφαίστριο να αποκτήσει ικανό ύψος και ανέβει επάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, με αποτέλεσμα να σχηματίσει ένα νησί ηφαίστριο. Συνήθως τα ηφαίστεια αυτά παρατάσσονται σε αλυσίδες και ονομάζονται ηφαιστειακά τόξα. Τα ηφαιστειακά αυτά νησιωτικά τόξα σχηματίζονται κοντά στα ρήγματα και παράλληλα με αυτά. Τα ρήγματα εξηγούν πώς σχηματίστηκαν νησιωτικά τόξα, όπως τα νησιά

Μαριάνας και οι Αλεούτιοι Νήσοι και γιατί συμβαίνουν εξαιρετικά ισχυροί σεισμοί εκεί.

Σύγκλιση ηπειρωτικής και ηπειρωτικής πλάκας

Όταν δύο ηπειρωτικές πλάκες συγκρούονται κατά μέτωπο, καμία από τις δύο δεν καταβυθίζεται, διότι τα ηπειρωτικά πετρώματα είναι σχετικά μικρής πυκνότητας -επομένως και σχετικά ελαφρά- με αποτέλεσμα να αντιστέκονται στην προς τα κάτω κίνηση. Στην περίπτωση αυτή, ο φλοιός αναγκάζεται να λυγίσει και εξωθείται προς τα επάνω ή λοξά στο πλάι. Έτσι, δημιουργούνται οι διάφορες προεξοχές της Γης (τα βουνά και οι οροσειρές).



Σύγκλιση ηπειρωτικής και ηπειρωτικής πλάκας

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της κίνησης αποτελεί ο σχηματισμός των Ιμαλαΐων, της υψηλότερης οροσειράς στον κόσμο. Ο σχηματισμός των Ιμαλαΐων άρχισε εκατομμύρια έτη πριν. Τότε, η Ινδία και ένας αρχαίος ωκεανός ο Τήθυς (Tethys Ocean) βρίσκονταν σε μία λιθосφαιρική πλάκα. Αυτή η πλάκα κινούνταν βόρεια προς την

Ασία με ρυθμό 10 εκατοστών το έτος. Ο ωκεάνιος φλοιός του Tethys καταβυθίστηκε κάτω από την ασιατική ηπειρωτική πλάκα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, ο ωκεανός βαθμιαία να ελαττώνεται, έως ότου 55 εκατομμύρια έτη πριν η Ινδία «χτύπησε» στην Ασία. Επειδή δεν είχε μείνει πλέον ωκεανός, ώστε το νερά του να λειτουργήσουν ως λιπαντικό και να διευκολύνουν την καταβύθιση και του ηπειρωτικού φλοιού, η ηπειρωτική πλάκα της Ινδίας σταμάτησε την καταβύθιση και ήρθε αντιμέτωπη με την πλάκα της Ασίας. Όμως, η σύγκλιση των δύο ηπειρωτικών πλακών συνεχίζονταν, έστω και με αργό ρυθμό. Οι δύο ηπειρωτικές πλάκες άρχισαν να συμπιέζονται. Βαθμιαία, η Ευρασιατική πλάκα, άρχισε να «τσαλακώνεται» και να προεξέχει της Ινδικής πλάκας. Με τη διαδικασία αυτή, και με την πάροδο εκατομμυρίων ετών, σιγά-σιγά σχηματίστηκαν τα Ιμαλάια (μεγαλύτερο ύψος = 8,854 m επάνω από το επίπεδο της θάλασσας) και το οροπέδιο του Θιβέτ (μέσο ύψος = 4,600 m επάνω από το επίπεδο της θάλασσας). Μία από τις πιο σαφείς ενδείξεις, ότι υπήρξε αυτή η εξέλιξη αποτελεί το γεγονός ότι βόρεια του Κατμαντού (της πρωτεύουσας του Θιβέτ) υπάρχει ένα βαθύ φαράγγι στα Ιμαλάια, όπου τα πετρώματα εκεί είναι μεταμορφωσιγενή και γρανίτες με στρώματα θαλάσσιων ιζημάτων που βρίσκονταν στον βυθό του Τίθη ωκεανού 60 εκατομμύρια έτη πριν.

Γ) Οριζόντια κίνηση δύο πλακών – Μετασχηματιζόμενα όρια

Τα μετασχηματιζόμενα όρια συμβαίνουν όταν δύο πλάκες γλιστρούν η μία κατά μήκος της άλλης σε αντίθετες κατευθύνσεις. Κατά τη διαδικασία αυτή, οι πλάκες τρίβονται μεταξύ τους και συχνά κολλούν καθώς προσπαθούν να κινηθούν η μία σε σχέση με την άλλη. Αυτό δημιουργεί μία ένταση στην περιοχή και εκεί συσσωρεύεται ενέργεια, η οποία ακολούθως απελευθερώνεται μέσω των σεισμών. Κατά την κίνηση αυτή των πλακών δεν δημιουργείται, ούτε καταστρέφεται φλοιός.

Η ζώνη, η οποία βρίσκεται ανάμεσα σε δύο πλάκες που ολισθαίνουν οριζόντια η μία ως προς την άλλη ονομάζεται όριο μετασχηματισμού. Ο Καναδός γεωφυσικός J. Tuzo Wilson πρότεινε ότι υπάρχουν μεγάλα ρήγματα πετρωμάτων ή ζώνες θάλασης (που έχουν σπάσει τα πετρώματα) που συνδέουν τα όρια δύο αποκλινουσών πλακών ή σπανιότερα τα όρια δύο συγκλινουσών πλακών. Οι περισσότερες μετασχηματιζόμενες μετατοπίσεις βρίσκονται στον πυθμένα των ωκεανών. Συχνά αντισταθμίζουν την ενεργή εξάπλωση των μεσοωκεάνιων ραχών, παράγοντας ζιγκ-ζαγκ όρια των πλακών. Γενικά προσδιορίζονται από σεισμούς μικρού βάθους. Όμως, κάποιες φορές αυτά τα ρήγματα συμβαίνουν στην ξηρά, όπως για παράδειγμα το ρήγμα του Αγίου Ανδρέα στην Καλιφόρνια. Αυτό το ρήγμα συνδέει μία αποκλίνουσα πλάκα στο νότο (East Pacific Rise), με μία άλλη αποκλίνουσα πλάκα στον βορρά (South Gorda -- Juan de Fuca --

Explorer Ridge). Το ρήγμα του Αγίου Ανδρέα έχει μήκος 1,300 km και πλάτος που φθάνει σε ορισμένα σημεία δεκάδες χιλιόμετρα.

Δ) Ζώνες ορίων των λιθοσφαιρικών πλακών (Plate-boundary zones)

Σε κάποιες περιοχές, τα όρια δεν είναι ξεκάθαρα, διότι η παραμόρφωση που συμβαίνει εκεί εξαιτίας της κίνησης των πλακών εκτείνεται σε μία ευρεία ζώνη (ζώνη ορίων). Μία από αυτές τις ζώνες υπάρχει στην περιοχή της Μεσογείου μεταξύ της πλάκας της Ευρασίας και της πλάκας της Αφρικής. Σε αυτήν την περιοχή έχουν εντοπιστεί διάφορα μικρότερα θραύσματα πλακών (μικροπλάκες). Οι ζώνες ορίων των λιθοσφαιρικών πλακών περιλαμβάνουν τουλάχιστον δύο μεγάλες πλάκες και μία ή περισσότερες μικροπλάκες που έχουν συλληφθεί ανάμεσά τους. Για το λόγο αυτό τείνουν να έχουν πολύπλοκες γεωλογικές δομές και σχήματα σεισμών.

Οι ζώνες κατά μήκος των ορίων των πλακών είναι οι πιο γεωλογικά ενεργές περιοχές της Γης. Οι σεισμοί είναι συχνό φαινόμενο σε όλους τους τύπους των ορίων και συμβαίνουν σε όλο τον κόσμο, ενώ τα ηφαίστεια εν γένει συνδέονται με τα αποκλίνοντα και τα συγκλίνοντα όρια.

Διαδικτυακοί τόποι:

<http://www.enchantedlearning.com/subjects/volcano/glossary/indexc.shtml> (animation με τη μετατόπιση των ηπείρων στον γεωλογικό χρόνο)

<http://www.enchantedlearning.com/subjects/astronomy/planets/earth/Continents.shtml> (οι κύριες τεκτονικές πλάκες της Γης)

<http://www.pbs.org/wgbh/aso/tryit/tectonics/intro.html> (πληροφορίες και animations σχετικά με την κίνηση των τεκτονικών πλακών)

<http://geology.com/teacher/plate-tectonics.shtml> (σχέδια μαθήματος για τις τεκτονικές πλάκες)

Κεφάλαιο 4^ο: Οι σεισμοί

Εισαγωγή

Οι σεισμοί ανήκουν στα φυσικά φαινόμενα τα οποία τρομάζουν τους ανθρώπους και κινητοποιούν τους βαθύτερους φόβους τους. Οι λόγοι γι' αυτό κυρίως είναι διότι εκδηλώνονται ξαφνικά και απρόβλεπτα και μπορεί να προκαλέσουν θανάτους και σημαντικές υλικές ζημιές. Επιπλέον, οι σεισμοί απειλούν το αίσθημα της σταθερότητας που θέλουν να έχουν οι άνθρωποι για τη Γη και αντίθετα τους καλούν να ασκηθούν στην εν δυνάμει απότομη αλλαγή και αυτού ακόμη του εδάφους στο οποίο πατούν. Κατά καιρούς, μεγάλοι σεισμοί έχουν εξαφανίσει ολόκληρες πόλεις από το χάρτη της Γης. Ακόμη και σήμερα όμως, εάν ένας σεισμός μεγάλου μεγέθους εκδηλωθεί σε κατοικημένες περιοχές μπορεί να προκαλέσει δυστυχία και πόνο σε σημαντική μερίδα του πληθυσμού. Οι άνθρωποι, μπροστά στο φαινόμενο ενός καταστρεπτικού σεισμού, αισθάνονται αδύναμοι και ανήμποροι να αντιμετωπίσουν τις συνέπειές του. Ίσως γι' αυτό κατέφευγαν σε μεταφυσικές ερμηνείες του.

Για παράδειγμα, στην ελληνική μυθολογία τον σεισμό προσωποποιούσε μία χθόνια θεότητα, ο Εγκέλαδος. Ο Εγκέλαδος ήταν ένας από τους Γίγαντες, τους γιους της Γης. Στη γιγαντομαχία ήταν αντίπαλος της Αθηνάς που τον σκότωσε ρίχνοντάς του επάνω του το νησί Σικελία ή την Αίτνα (γεωγραφικοί τόποι που δοκιμάζονται από έντονη σεισμική και ηφαιστειακή δραστηριότητα). Από τότε, κάθε φορά που ο καταπλακωμένος γίγαντας προσπαθεί να

αλλάξει θέση, σείονται τα βουνά (σεισμοί) ή όταν θυμώνει και ξεφουσκώνει βγαίνουν καπνοί και φωτιές από τη Γη (ηφαίστεια).

Σήμερα, γνωρίζουμε πολύ περισσότερα για τον μηχανισμό της πρόκλησης σεισμών. Αυτό μας βοηθά να γνωρίζουμε τις περιοχές μεγάλης σεισμικής δραστηριότητας του πλανήτη μας. Έτσι, μπορεί να λειτουργήσουμε προληπτικά ώστε, σε περίπτωση εκδήλωσης ενός σεισμού να μπορέσουμε να προλάβουμε πολλές από τις καταστροφικές συνέπειές του. Γενικά, οι σεισμοί είναι τα φυσικά μέσα μέσω των οποίων η Γη απελευθερώνει ενέργεια για να εκτονώσει την πίεση που υφίστανται για μεγάλο χρονικό διάστημα τα πετρώματα που βρίσκονται κατά μήκος των ορίων των τεκτονικών πλακών και η οποία έχει ως αποτέλεσμα την καταπόνησή τους και τη θραύση τους.

Τι είναι σεισμός;

Σεισμός είναι η ξαφνική και, μερικές φορές, βίαιη δόνηση της επιφάνειας της Γης, η οποία προκαλείται εξαιτίας των ξαφνικών και απότομων μετατοπίσεων των πετρωμάτων που βρίσκονται κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών ή εξαιτίας της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Κατά τη διάρκεια του σεισμού απελευθερώνονται τεράστια ποσά ενέργειας (δυναμική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική).

Αλλά γιατί συμβαίνει αυτή η απότομη μετακίνηση πετρωμάτων;

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, η επιφάνεια της Γης (ένα τμήμα που εκτείνεται σε βάθος 100 περίπου χιλιομέτρων από την επιφάνεια της Γης προς το εσωτερικό της) είναι σπασμένη σε κομμάτια. Τα

κομμάτια αυτά ονομάζονται τεκτονικές (ή λιθοσφαιρικές) πλάκες, αποτελούνται από πετρώματα σε στερεά κατάσταση και είναι ποικίλων μεγεθών. Υπάρχουν πλάκες (ή θραύσματα πλακών) των οποίων η επιφάνεια έχει έκταση όσο ένα αυτοκίνητο και υπάρχουν πλάκες των οποίων η επιφάνεια έχει μέγεθος όσο ένας ωκεανός ή μία ήπειρος.

Όπως ήδη γνωρίζουμε οι τεκτονικές πλάκες κινούνται συνεχώς η μία σε σχέση με την άλλη: πλησιάζουν, απομακρύνονται ή κινούνται παράλληλα η μία ως προς την άλλη (με διαφορετικές ταχύτητες). Συχνά όμως οι πλάκες λόγω της τριβής σκαλώνουν στις διπλανές τους και αυτό τις εμποδίζει να μετατοπιστούν για κάποιο χρονικό διάστημα.

Τότε, καθώς οι πλάκες συνεχίζουν να τείνουν να μετακινηθούν προς την αρχική κατεύθυνσή τους, ασκούνται τεράστιες δυνάμεις στην περιοχή όπου οι δύο πλάκες έχουν σκαλώσει. Δεδομένου ότι οι τεκτονικές πλάκες αποτελούνται από στερεά πετρώματα, οι δυνάμεις που ασκούνται στην περιοχή προκαλούν ελαφρά κάμψη των αντίστοιχων πετρωμάτων. Όταν όμως η πίεση, η οποία βαθμιαία αυξάνει, ξεπεράσει τελικά το όριο θραύσης των πετρωμάτων, τα πετρώματα αυτά (τα οποία βρίσκονται συνήθως στα όρια των δύο πλακών) σπάζουν σε δύο κομμάτια, και ταλαντεύονται πολύ γρήγορα το ένα σε σχέση με το άλλο. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αποκόλληση των δύο πλακών. Στην περιοχή δημιουργείται ένα μικρό ή μεγάλο **ρήγμα**. Ταλαντώσεις που ονομάζονται **σεισμικά κύματα** δημιουργούνται και αρχίζουν να μεταδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις, διασχίζοντας τόσο το εσωτερικό της Γης όσο και την

επιφάνειά της. Αυτά τα σεισμικά κύματα προκαλούν τη δόνηση που αισθανόμαστε κατά τη διάρκεια του φαινομένου που ονομάζεται **σεισμός**. Κατά τη διάρκεια του σεισμού, τεράστια ενέργεια που είχε συσσωρευτεί στην περιοχή κάμψης των πλακών απελευθερώνεται προκαλώντας καταστροφές.

Η ενέργεια αυτή μεταφέρεται με την μορφή σεισμικών κυμάτων από το σημείο αποκόλλησης των πετρωμάτων (**εστία** του σεισμού) προς όλες τις κατευθύνσεις. Όταν κάποιο από αυτά τα κύματα φθάσει σε ένα σημείο της επιφάνειας της Γης, το έδαφος ταλαντώνεται γρήγορα (είτε επάνω-κάτω είτε δεξιά-αριστερά). Η εστία ενός σεισμού μπορεί να βρίσκεται σε βάθος έως και 700 χιλιόμετρα.

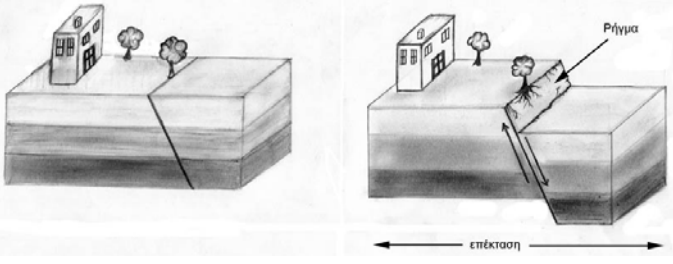
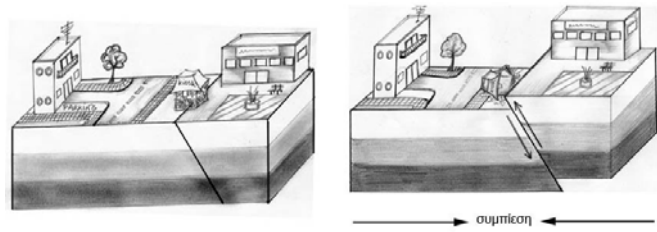
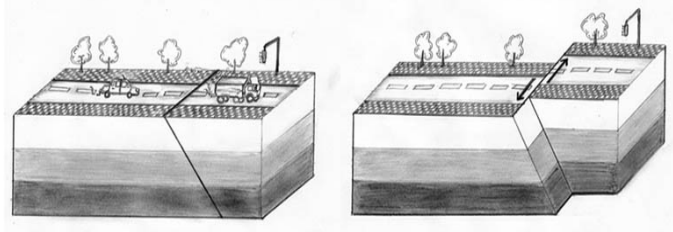
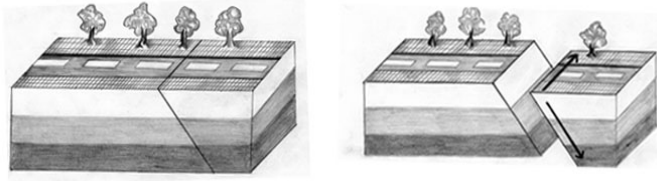
Εάν η ένταση ενός σεισμού είναι μεγάλη, ο σεισμός γίνεται εύκολα αντιληπτός από τους ανθρώπους και τα ζώα. Οι περισσότεροι όμως σεισμοί είναι τόσο μικρής έντασης που δεν γίνονται αντιληπτοί από τους ανθρώπους και τα ζώα, παρά μόνον από τους σειсмоγράφους. Οι άνθρωποι που κατοικούν κοντά στο **επίκεντρο** του σεισμού (το σημείο στην επιφάνεια της Γης που βρίσκεται στην κατακόρυφο που περνά από την εστία του σεισμού) είναι περισσότερο πιθανό να αισθανθούν έναν σεισμό. Επειδή τα σεισμικά κύματα με τα οποία μεταφέρεται η ενέργεια κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες που κυμαίνονται από 4,5 έως 14 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο, άνθρωποι που βρίσκονται σε διαφορετικές αποστάσεις από την εστία του σεισμού θα αισθανθούν τον σεισμό σε διαφορετικούς χρόνους. Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε ότι ένα ταχέως κινούμενο σεισμικό κύμα χρειάζεται λιγότερο από 20 λεπτά για να φθάσει στην άλλη

άκρη της Γης, διασχίζοντας μία απόσταση περίπου 13,000 χιλιομέτρων.

Η διάρρηξη (το σπάσιμο) των πετρωμάτων και το αντίστοιχο ρήγμα που προκαλείται δεν είναι πάντοτε του ίδιου τύπου. Παραδείγματα των διαφόρων τύπων τέτοιων μετατοπίσεων (διαρρήξεων) και ρηγμάτων παρουσιάζονται παρακάτω:

Τι είναι ρήγμα;

Ένα ρήγμα είναι μία περιοχή στο εσωτερικό της Γης, όπου τα πετρώματα λόγω των ισχυρών πιέσεων που για αρκετό χρονικό διάστημα ασκούνται επάνω τους, σπάζουν -γλιστρώντας απότομα το ένα σε σχέση με το άλλο- και προξενώντας ένα σπάσιμο στην επιφάνεια της Γης. Τα ρήγματα μπορεί να είναι μικρού μήκους και βάθους (όπως τα ρήγματα που δημιουργούνται στο εσωτερικό μιας πλάκας, λόγω της συμπίεσης που γενικά αυτή η πλάκα δέχεται) ή μπορεί να είναι μεγάλου μήκους και σχετικά μεγάλου βάθους (όπως τα ρήγματα που δημιουργούνται στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών όταν η μία πλάκα σκαλώνει κατά τη μετακίνησή της στην άλλη). Οι κύριες μορφές ρηγμάτων είναι: κανονικό ρήγμα (dip-slip normal fault), ανάστροφο ρήγμα (dip-slip reverse fault), ρήγμα διεύθυνσης (strike-slip fault) και λοξό ρήγμα (oblique-slip fault).

<p>Dip-Slip Κανονικό Ρήγμα (Κανονική Διάρρηξη)</p>	
<p>Dip-Slip Ανάστροφο Ρήγμα (Ανάστροφη διάρρηξη)</p>	
<p>Ρήγμα Διεύθυνσης Strike-Slip Fault (Οριζόντια διάρρηξη)</p>	
<p>Λοξό ρήγμα Oblique-Slip Fault (Λοξή διάρρηξη)</p>	

Πού συμβαίνουν οι σεισμοί;

Οι περισσότεροι σεισμοί συμβαίνουν στα όρια των πλακών, ιδιαίτερα στις περιοχές όπου συμβαίνει καταβύθιση μιας πλάκας κάτω από μία άλλη. Στις περιοχές αυτές συμβαίνει συχνά καταπόνηση των πετρωμάτων και τεράστια ποσά (δυναμικής) ενέργειας συσσωρεύονται σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα.

Κάποιες περιοχές έχουν περισσότερους σεισμούς σε σχέση με κάποιες άλλες. Έχει ενδιαφέρον να επισημάνουμε ότι το 80% των καταγεγραμμένων σεισμών συμβαίνει στα όρια της πλάκας του Ειρηνικού, γνωστής και ως *Δαχτυλίδι της Φωτιάς*. Τα όρια αυτά εκτείνονται:

- α) προς βορρά από τα νησιά Φίτζι, διαμέσου της Παπούα Νέας Γουινέας, των Φιλιππίνων, της Ιαπωνίας και της Ανατολικής ακτής της Ρωσίας
- β) προς ανατολικά προς τα νότια όρια της Αλάσκας.
- γ) προς νότο κατά μήκος της δυτικής ακτής του Καναδά, της Νοτίου Αμερικής και της Νότιας Αμερικής.

Το 95% των σεισμών συμβαίνουν στα όρια των τεκτονικών πλακών. Μόνον ένα 5% των σεισμών συμβαίνει μακριά από τα όρια των πλακών. Αυτοί οι σεισμοί είναι γενικά μικρού βάθους.



Μικρού μεγέθους σεισμοί συμβαίνουν πολύ συχνά και προκαλούν ελάχιστες καταστροφές. Ένας μεγάλος σεισμός ακολουθείται από άλλους μικρότερους μετασεισμούς, μπορεί δε να περάσουν αρκετοί μήνες έως ότου η περιοχή ηρεμήσει ξανά.

Όταν ένας μεγάλος σεισμός συμβεί στον ωκεανό, μπορεί να προκαλέσει **τσουνάμι**, δηλαδή γιγάντια κύματα που διασχίζουν τον ωκεανό και μπορεί να προξενήσουν εκτεταμένες ζημιές σε παράκτιες περιοχές.

Μικροί σεισμοί συμβαίνουν συχνά εξαιτίας τυχαίων γεωλογικών διαδικασιών, π.χ. από εκρήξεις ηφαιστειών ή καταρρεύσεις του εδάφους. Υπάρχουν ενδείξεις ότι σεισμοί μπορεί να προκληθούν και από μεγάλα φράγματα εξαιτίας της μεγάλης πίεσης των αποθεμάτων νερού στα στρώματα του εδάφους.

Πώς ανιχνεύονται οι σεισμοί και προσδιορίζεται το σημείο στο οποίο εκδηλώθηκαν;

Οι σεισμοί ανιχνεύονται με ένα όργανο που ονομάζεται *σεισμογράφος*. Βασικό στοιχείο του σεισμογράφου είναι το σεισμόμετρο, ένα ευαίσθητο όργανο το οποίο συνεχώς «αισθάνεται» τις κινήσεις στο εσωτερικό της Γης, δηλαδή συλλαμβάνει τα σεισμικά κύματα που έρχονται από σεισμούς που προκαλούνται σε διάφορα μέρη της Γης. Ο σεισμογράφος συνδυάζει ένα σεισμόμετρο με ένα σύστημα καταγραφής, το οποίο συνεχώς καταγράφει τις κινήσεις της Γης. Ο σεισμογράφος καταγράφει της ταλαντώσεις των κυμάτων που προκαλούνται σε έναν σεισμό και παράγει το *σεισμόγραμμα*.

Το *επίκεντρο* του σεισμού μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια εάν τρεις σεισμογράφοι (σε έναν σεισμολογικό σταθμό) ανιχνεύσουν το σεισμό. Τα στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για να προσδιοριστεί ένας σεισμός είναι το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος, το βάθος και ο χρόνος που εκδηλώθηκε ο σεισμός. Ο χρόνος άφιξης των σεισμικών κυμάτων εξαρτάται από το είδος του κύματος. Τα διαμήκη κύματα (P waves) φθάνουν πρώτα στον σεισμικό σταθμό και παραμορφώνουν τα πετρώματα αλλάζοντας το σχήμα τους, μέσω μιας διαδικασίας που ταχύτατα τα συμπιέζει και τα αναδιαστέλλει (εκτείνει). Τα εγκάρσια κύματα (S waves) φθάνουν δεύτερα και παραμορφώνουν τα πετρώματα μεταβάλλοντας το σχήμα τους προκαλώντας την κάθετη ταλάντωσή τους. Τελευταία φθάνουν τα επιφανειακά κύματα τα οποία κυρίως διατρέχουν επιφανειακά (γύρω-γύρω) τη Γη και δεν τη διαπερνούν. Το επίκεντρο προσδιορίζεται με τη σύγκριση του χρόνου άφιξης των διαμήκων (P) και εγκαρσίων (S)

κυμάτων. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά του χρόνου άφιξης, τόσο ο σειсмоγράφος βρίσκεται μακρύτερα από τον σεισμό.

Όμως θα πρέπει να επισημάνουμε ότι τα πράγματα δεν είναι πολύ απλά, διότι η Γη δεν αποτελείται από ένα ομοιογενές υλικό σταθερής πυκνότητας και μορφολογίας. Έτσι, καθώς τα σεισμικά κύματα (επιμήκη, εγκάρσια και επιφανειακά) διαδίδονται στην επιφάνεια και στο εσωτερικό της Γης συναντούν ρήγματα και στρώματα πετρωμάτων διαφορετικής πυκνότητας. Στα όρια αυτών των ασυνεχειών τα σεισμικά κύματα μπορεί είτε να ανακλαστούν (να γυρίσουν πίσω), είτε να διαθλαστούν (να εισχωρήσουν στο άλλο μέσο με διαφορετική ταχύτητα και η τροχιά τους να αποκλίνει από την αρχική πορεία της), είτε να μετατραπούν σε άλλες φάσεις (επιμήκη σε εγκάρσια και εγκάρσια σε επιμήκη). Επομένως ένα σεισμόγραμμα μπορεί να είναι πολύ σύνθετο, αλλά η σωστή ερμηνεία του μας δίνει πολλές πληροφορίες όχι μόνον για τον ίδιο το σεισμό, αλλά και για τη σύνθεση της Γης.

Πώς μετράμε το μέγεθος ενός σεισμού;

Το μέγεθος ενός σεισμού μετριέται επίσης με τον σειсмоγράφο. Από τις καταγραφές των κινήσεων της Γης που γίνονται σε έναν σειсмоγράφο, οι επιστήμονες μπορούν να υπολογίσουν πόση *ενέργεια* απελευθερώνεται σε έναν σεισμό. Οι υπολογισμοί για τον προσδιορισμό του μεγέθους του σεισμού βασίζονται στα δεδομένα των καταγραφών διαφόρων σειсмоγράφων, που βρίσκονται τόσο κοντά όσο και μακριά από την εστία του σεισμού. Οι υπολογισμοί που γίνονται σε διάφορους σεισμικούς σταθμούς για τον ίδιο σεισμό

θα πρέπει να δίνουν το ίδιο μέγεθος για το σεισμό αυτό έτσι, προκύπτει μόνον ένα μέγεθος για κάθε σεισμό.

Τι είναι η κλίμακα Richter;

Η κλίμακα Richter είναι ένα μέτρο του πλάτους των σεισμικών κυμάτων και σχετίζεται με το ποσό της ενέργειας που απελευθερώνεται σε κάθε σεισμό. Υπολογίζεται από τις καταγραφές ενός σεισμού στους σειсмоγράφους. Η κλίμακα Richter διαιρεί τους σεισμούς σε κατηγορίες που ονομάζονται μεγέθη. Είναι λογαριθμική κλίμακα, πράγμα που σημαίνει ότι κάθε ένα νούμερο στην κλίμακα αντιστοιχεί σε αύξηση κατά 10. Δηλαδή, ένα σεισμός μεγέθους 4 αντιστοιχεί σε ένα σεισμικό κύμα που είναι 10 φορές πιο μεγάλο από το αντίστοιχο ενός σεισμού μεγέθους 3, ένας σεισμός μεγέθους 5 αντιστοιχεί σε ένα σεισμικό κύμα που είναι 100 φορές μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ενός σεισμού μεγέθους 3 και ένας σεισμός μεγέθους 6 αντιστοιχεί σε ένα σεισμικό κύμα που είναι 1000 φορές μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κύμα ενός σεισμού μεγέθους 3. Όμως το μέγεθος ενός σεισμού αποτελεί επίσης μία εκτίμηση της ενέργειας που απελευθερώνεται στην εστία του σεισμού όταν εκδηλώνεται ο σεισμός.

Η αύξηση μιας μονάδας στην κλίμακα Richter ισοδυναμεί με αύξηση της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια του σεισμού κατά περίπου 30 φορές. Για παράδειγμα, ένας σεισμός μεγέθους 2 απελευθερώνει 30 φορές περισσότερη ενέργεια από έναν σεισμό μεγέθους 1, ενώ ένας σεισμός μεγέθους 3 απελευθερώνει ενέργεια $(30 \times 30) = 900$ φορές παραπάνω από έναν σεισμό μεγέθους 1. Μπορείτε

να φανταστείτε πόσες φορές παραπάνω ενέργεια από έναν σεισμό μεγέθους 4 απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού μεγέθους 8; Εάν κάνουμε τους σχετικούς υπολογισμούς φτάνουμε σε ένα απίστευτο νούμερο ότι ένας σεισμός μεγέθους 8 της κλίμακας Richter απελευθερώνει $(30 \times 30 \times 30 \times 30) = 810,000$ φορές περισσότερη ενέργεια από έναν σεισμό μεγέθους 4! Καταλαβαίνουμε λοιπόν πολύ καλά γιατί οι σεισμοί μεγέθους 1 και 2 της κλίμακας Richter δεν είναι αντιληπτοί, ενώ οι σεισμοί μεγάλων μεγεθών έχουν καταστρεπτικές συνέπειες στη Γη. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια ενός σεισμού μεγέθους 8.6 της κλίμακας Richter απελευθερώνεται ενέργεια ισοδύναμη με 10 χιλιάδες «ατομικές» βόμβες όπως αυτές που κατέστρεψαν τη Χιροσίμα στον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο.

Οι συνέπειες που μπορεί να έχει ένας σεισμός σε κατοικημένες περιοχές εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η απόσταση από το επίκεντρο του σεισμού, η σύσταση (γεωλογική διαμόρφωση) του εδάφους, κ.α.. Σε γενικές γραμμές όμως ισχύουν τα ακόλουθα:

Μέγεθος	Πιθανές καταστροφές
< 3.4	Καταγράφονται μόνον από σειсмоγράφους (Μεγέθη μεταξύ 2 και 3,4 μπορεί να γίνουν αισθητά σε μια περιοχή λίγων χιλιομέτρων από το επίκεντρο)
3.5 - 4.2	Γίνονται αισθητοί μόνον από ανθρώπους που βρίσκονται μέσα σε κλειστούς χώρους
4.3 - 4.8	Γίνονται αισθητοί από πολλούς ανθρώπους – Τα παράθυρα τρίζουν (πάλλονται)
4.9 - 5.4	Γίνονται αισθητοί από όλους - Πιάτα σπάζουν και πόρτες ανοιγοκλείνουν
5.5 - 6.1	Προκαλούνται ελαφρές ζημιές στα κτίρια (ρωγμές στους σοβάδες – κεραμίδια πέφτουν)
6.2 - 6.9	Προκαλούνται μεγάλες ζημιές στα κτίρια και τα σπίτια κινούνται από τα θεμέλιά τους
7.0 - 7.3	Προκαλούνται σοβαρές υλικές ζημιές (οι γέφυρες στριφογυρίζουν, σπάζουν και ανοίγουν οι τοίχοι, και οι τοιχοποιίες σε πολλά σπίτια καταρρέουν)
7.4 - 7.9	Προκαλούνται μεγάλες ζημιές και τα περισσότερα κτίρια καταρρέουν
> 8.0	Προκαλείται ολική καταστροφή (παρατηρούνται κύματα στην επιφάνεια του εδάφους και αντικείμενα πετάνε στον αέρα)

Πόσοι μεγάλοι σεισμοί συμβαίνουν κάθε έτος;

Κάθε έτος συμβαίνουν εκατομμύρια σεισμοί σε όλο τον κόσμο. Ευτυχώς, η πλειοψηφία από αυτούς είναι τόσο μικροί που δεν γίνονται αισθητοί από τους ανθρώπους, αλλά μόνον από τους σειсмоγράφους. Ο ακόλουθος πίνακας δείχνει τη συχνότητα των σεισμών ανάλογα με το μέγεθός τους.

Περιγραφή	Μέγεθος	Συχνότητα ανά έτος
Πάρα πολύ μεγάλοι	8.0+	1
Πολύ μεγάλοι	7.0-7.9	18
Μεγάλοι	6.0-6.9	120
Μέτριοι	5.0-5.9	1,000
Μικροί	4.0-4.9	6,000
Αισθητοί	3.0-3.9	49,000
Εν δυνάμει αντιληπτοί	2.0-2.9	300,000
Ανεπαίσθητοι -Μη αντιληπτοί	Λιγότερο από 2.0	600,000+

Οι σεισμοί είναι φυσικά φαινόμενα που συμβαίνουν συχνά στη Γη. Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα, κατά μέσον όρο σε κάποιο σημείο της Γης συμβαίνει ένας σεισμός κάθε 30 δευτερόλεπτα.

Ποιοι είναι οι πιο καταστροφικοί σεισμοί;

Ο μεγαλύτερος σεισμός που έχει ποτέ καταγραφεί συνέβη στη Χιλή το 1960, είχε μέγεθος 9.5 και είχε ως αποτέλεσμα τον θάνατο 6,000 ανθρώπων. Ο σεισμός αυτός προκάλεσε ένα τσουνάμι (ή σεισμικά κύματα) που προκάλεσε το θάνατο ανθρώπων στην Ιαπωνία και στη Χαβάη. Η Χιλή είναι γνωστό ότι βρίσκεται σε ζώνη καταβύθισης. Το 1976, ένας σεισμός μεγέθους 8 προκάλεσε το θάνατο 255,000 ανθρώπων στην Κίνα. Στην ίδια χώρα (Κίνα), ένας σεισμός το 1556 προκάλεσε το θάνατο περίπου 830,000 ανθρώπων.

Τι συμβαίνει σε έναν σεισμό; Το έδαφος ανοίγει και οι άνθρωποι μπορεί να πέσουν μέσα;

Φυσικά κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει. Οι σχισμές και τα ρήγματα που εμφανίζονται στο έδαφος είναι ένα σύνηθες αποτέλεσμα των σεισμών. Τα περισσότερα από αυτά είναι στενά και ρηχά. Σε πολύ μεγάλους σεισμούς, μπορεί να δημιουργηθούν μεγάλα ρήγματα που να προκαλέσουν αλλαγές στο επίπεδο του εδάφους. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή των κτιρίων, αλλά τόσο οι άνθρωποι όσο και τα κτίρια δεν πέφτουν μέσα στη Γη.

Διαδικτυακοί τόποι:

<http://www.nationalgeographic.com/xpeditions/lessons/15/g35/earthquakes.html> (γενικά για σεισμούς)

<http://www.nationalgeographic.com/forcesofnature/interactive/index.html?section=e> (δικτυακός τόπος με προσομοιώσεις σεισμών, κινήσεις λιθοσφαιρικών πλακών, χάρτη με κατανομή σεισμών, σειсмоγράφια, κ.λπ.)*

<http://school.discovery.com/lessonplans/programs/earthquakes-gettingready/> (σχέδια μαθήματος για σεισμούς, ανά βαθμίδα)*

<http://msnucleus.org/membership/html/k-6/pt/index.html> (σχέδια μαθήματος για τις τεκτονικές πλάκες, για τους σεισμούς και τα ηφαίστεια)

Κεφάλαιο 5^ο: Ηφαιστεια – Οι καμινάδες της Γης

Εισαγωγή

Τα ηφαιστεια προκαλούν το δέος και τον τρόμο στους ανθρώπους. Η έκρηξη ενός ηφαιστείου είναι ένα από τα πιο εντυπωσιακά, όσο και καταστροφικά -μερικές φορές- φυσικά φαινόμενα. Κατά καιρούς, σημαντικές πόλεις και πολιτισμοί έχουν καταστραφεί από τις εκρήξεις ονομαστών ηφαιστείων (όπως εικάζεται ότι συνέβη με την εξαφάνιση του αρχαίου Μινωικού Πολιτισμού που αποδίδεται στη έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης ή η καταστροφή της Πομπηίας που συνέβη από την έκρηξη του Βεζούβιου). Ταυτόχρονα όμως, σημαντικές πόλεις έχουν δημιουργηθεί κοντά σε ηφαιστεια και πολλοί άνθρωποι φαίνεται να στηρίζουν την επιβίωσή τους στην ευεργετική παρουσία ενός ηφαιστείου. Έτσι, τα ηφαιστεια κατά καιρούς παρουσιάζουν δύο διαφορετικές όψεις στους κατοίκους της περιοχής τους: ένα τρομακτικό και καταστροφικό στις περιόδους έκρηξής τους και ένα φιλικό και αποδοτικό στις λοιπές περιόδους.

Τα παλιά χρόνια, οι άνθρωποι επειδή δεν μπορούσαν να κατανοήσουν τον μηχανισμό των ηφαιστείων και –ως εκ τούτου- να μπορέσουν να εκλογικεύσουν τις απρόσμενες και καταστροφικές εκρήξεις τους κατέφευγαν σε μεταφυσικές ερμηνείες. Πράγματι, σε περιοχές με έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα διάφοροι μύθοι έχουν πλαστεί, μερικοί από τους οποίους παρουσιάζονται παρακάτω.

Ο όρος «ηφαιστειο» προέρχεται από το όνομα του θεού της Ελληνικής μυθολογίας *Ηφαιστο*, που για άλλους αποτελεί τη θεοποίηση του κεραυνού του Δία και για άλλους τη θεοποίηση της

φωτιάς που ο Δίας έδωσε στους ανθρώπους. Ο Ήφαιστος ήταν ένας από τους 12 θεούς του Ολύμπου και ο σιδηρουργός των θεών. Είχε το εργαστήριό του στα βάθη της Γης που κατασκεύαζε –ανάμεσα στα άλλα- τα πολεμικά όπλα των θεών (π.χ. την τρίαινα του Ποσειδώνα, την ασπίδα του Αχιλλέα, τον θώρακα του Ηρακλή, τους κεραυνούς του Δία, κ.λπ.). Έτσι, η ενεργή παρουσία ενός ηφαιστείου και οι αναθυμιάσεις του θεωρούσαν ότι αποτελούν ενδείξεις της λειτουργίας του εργαστηρίου του Ηφαίστου και των φοβερών δυνατοτήτων που είχαν τα προϊόντα που παρήγαγε. Αντίστοιχα, ο λατινικός όρος «volcano (ηφαίστειο)» προέρχεται από το όνομα της ρωμαϊκής θεότητας *Vulcanus*, που λατρεύονταν ιδιαίτερα στην Όστια. Κατά τη διάρκεια της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας, οι άνθρωποι που κατοικούσαν εκεί πίστευαν ότι το ηφαίστειο ήταν η καμινάδα από το σιδηρουργείο του *Vulcanus* – του σιδηρουργού των Ρωμαίων θεών. Σε αυτό το πλαίσιο, θεωρούσαν ότι η λάβα και τα σύννεφα σκόνης που εκπέμπονταν κατά τις εκρήξεις του ηφαιστείου *Vulcano* (ενός μικρού νησιού της Μεσογείου έξω από τη Σικελία) προέρχονταν από το σιδηρουργείο του *Vulcanus*, καθώς κατασκεύαζε αστροπελέκια για τον Δία, τον βασιλιά των θεών, και όπλα για τον Άρη τον θεό του πολέμου. Στη δε Πολυνησία, οι άνθρωποι απέδιδαν την έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα της περιοχής τους στην απρόβλεπτη συμπεριφορά της όμορφης αλλά οργισμένης θεάς των ηφαιστειών Πέλε.

Σήμερα, η επιστήμη έχει μελετήσει επαρκώς τα ηφαίστεια και μας προσφέρει έναν κατανοητό μηχανισμό λειτουργίας τους, ώστε να μην χρειάζεται να καταφύγουμε σε μεταφυσικές ερμηνείες.

Τι είναι τα ηφαιίστεια;

Τα ηφαιίστεια είναι σχισμές στον φλοιό της Γης. Μέσω αγωγών διασχίζουν τη λιθόσφαιρα και επικοινωνούν με το εσωτερικό της Γης, και συγκεκριμένα, με εκείνη την περιοχή του μανδύα όπου υπάρχουν δεξαμενές *μάγματος* (δηλαδή πετρώματα που βρίσκονται σε κατάσταση τήξης λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν εκεί). Υπό ορισμένες συνθήκες, οι αγωγοί αυτοί επιτρέπουν την άνοδο του μάγματος προς την επιφάνεια της Γης, όπου και εκχύνεται μαζί με άλλα αναβλήματα προς τα έξω, σχηματίζοντας βαθμιαία -με την απόθεση και ψύξη αυτών των αναβλημάτων- έναν λόφο (ή και βουνό) σχήματος κώνου. Τα αναβλήματα των ηφαιιστείων είναι κυρίως *λάβα* (όπως ονομάζεται το μάγμα όταν εξέλθει από το ηφαιίστριο), *θραύσματα πετρωμάτων* (υψηλής θερμοκρασίας), *ατμός* και *τέφρα* (συνδυασμός στάχτης και σκόνης).

Ποιος είναι ο μηχανισμός έκρηξης ενός ηφαιιστείου;

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, βαθιά μέσα στον μανδύα της Γης, και συγκεκριμένα στην ασθενόσφαιρα, οι θερμοκρασίες είναι πολύ υψηλές με αποτέλεσμα κάποια πετρώματα να λιώνουν αργά και να μετατρέπονται σε ένα παχύρρευστο υλικό που ονομάζεται μάγμα. Επειδή το μάγμα είναι μικρότερης πυκνότητας από τα στερεά πετρώματα που το περιβάλλουν, λόγω της άνωσης ανέρχεται προς τα επάνω και συγκεντρώνεται σε μεγάλες δεξαμενές, που ονομάζονται *μαγματικοί θάλαμοι* και αποτελούν τις δεξαμενές καυσίμων του ηφαιιστείου. Όσο το μάγμα πλησιάζει την επιφάνεια της Γης τόσο η

πίεση ελαττώνεται με αποτέλεσμα τα αέρια στο μάγμα να διαστέλλονται. Αυτή η διαστολή των αερίων του μάγματος προκαλεί την άνοδο του μάγματος στην επιφάνεια της Γης (μέσω των ανοιγμάτων που υπάρχουν εκεί). Τότε θεωρούμε ότι συμβαίνει η έκρηξη του ηφαιστείου.

Κάποιες εκρήξεις ηφαιστειών είναι εκρηκτικές, ενώ κάποιες άλλες είναι πιο ήρεμες. Το είδος της έκρηξης εξαρτάται από το πόσο ρευστό και πυκνό είναι το μάγμα. Δηλαδή, η εκρηκτικότητα του ηφαιστείου εξαρτάται από τη ρευστότητα του μάγματος (πόσο εύκολα ρέει) και από την ποσότητα του αερίου που είναι παγιδευμένο σε αυτό. Συνήθως μέσα στο μάγμα υπάρχουν μεγάλες ποσότητες νερού και διοξειδίου του άνθρακα, τα οποία συμπεριφέρονται όπως το αέριο στα αεριούχα ποτά. Όπως δηλαδή με το άνοιγμα του μπουκαλιού ενός αεριούχου ποτού, το αέριο διαστέλλεται σχηματίζοντας φυσαλίδες και τελικά διαφεύγει από το ποτό, αντίστοιχα συμβαίνει και όταν το μάγμα ανέρχεται γρήγορα από το εσωτερικό στην επιφάνεια της Γης. Τότε, οι υδρατμοί και το διοξείδιο του άνθρακα σχηματίζουν φυσαλίδες στο εσωτερικό του που διαστέλλονται έως και 1000 φορές σε σχέση με το αρχικό μέγεθός τους.²

Έτσι, η έκρηξη ενός ηφαιστείου μπορεί να είναι είτε σχετικά ήρεμη, με τη λάβα απλά να ξεχειλίζει από το ηφαίστειο και να χύνεται στις

² Το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρατμοί που απελευθερώνονται από τα ηφαίστεια βοήθησαν ώστε στις πρώιμες φάσεις της Γης να δημιουργηθεί η πρώτη αρχέγονη ατμόσφαιρά της. Αυτό βοήθησε ώστε να συγκρατηθεί ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας και να εξομαλυνθεί η θερμοκρασία στον πλανήτη μας (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Έτσι, δεν υπήρχαν μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας στον πλανήτη. Ακολούθως μέσα στην ατμόσφαιρα οι υδρατμοί άρχισαν να σχηματίζουν σύννεφα. Όταν τα σύννεφα αυτά έγιναν αρκετά πυκνά, άρχισαν να πέφτουν συνεχείς βροχές και σχηματίστηκαν οι ωκεανοί.

πλαγιές του ηφαιστείου, είτε αντίθετα βίαιη με κομμάτια λάβας να εκτοξεύονται στην ατμόσφαιρα σχηματίζοντας πυκνά σύννεφα. Τα βαρύτερα από αυτά τα θραύσματα λάβας πέφτουν πάλι προς κάτω, στην περιοχή γύρω από το ηφαίστειο, όπου ρέουν στις πλαγιές του ηφαιστείου σχηματίζοντας χείμαρρους στάχτης. Κάποια από τα πιο ελαφρά και μικρά κομμάτια λάβας μεταφέρονται με τους ανέμους σε περιοχές που βρίσκονται πολλά χιλιόμετρα μακριά από το ηφαίστειο. Τέλος, τα πιο μικρά σωματίδια στάχτης μπορεί να εκτοξευτούν από το ηφαίστειο σε πολύ μεγάλο ύψος και μέσω των στρατοσφαιρικών ανέμων να διατρέξουν πολλές φορές τη Γη, πριν κατακαθίσουν στο έδαφος.

Πόσο επικίνδυνες είναι οι εκρήξεις των ηφαιστείων;

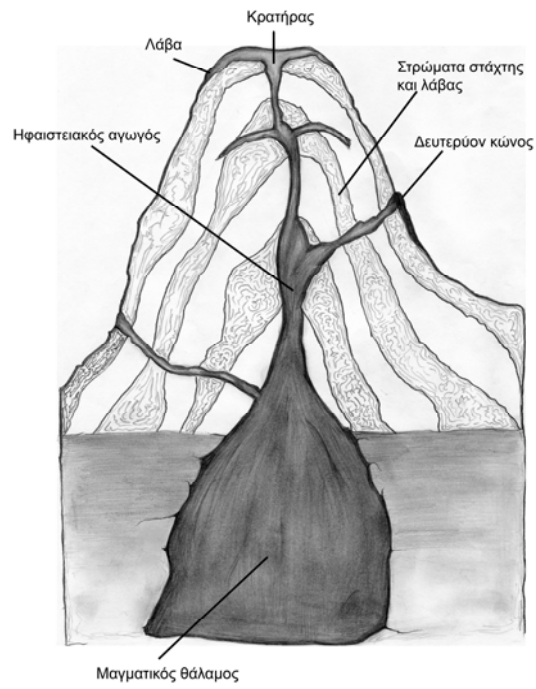
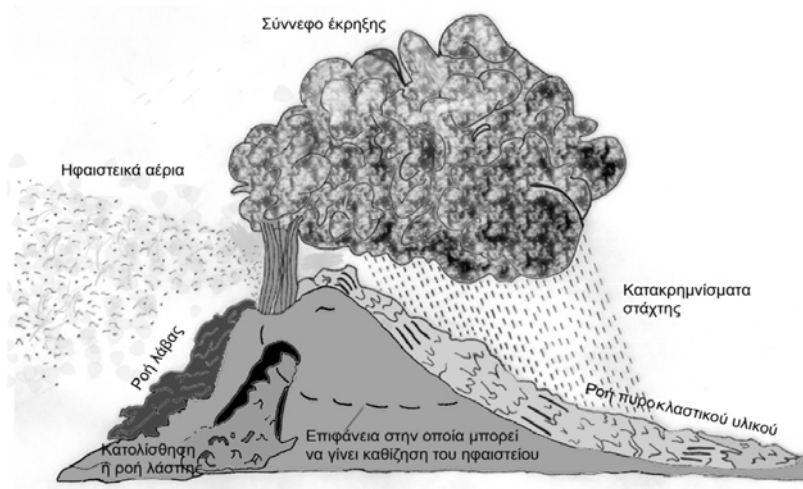
Όπως προαναφέραμε, η ήρεμη έκρηξη του ηφαιστείου προκαλεί απλή ροή λάβας από την κορυφή του ηφαιστειακού κώνου προς τα κάτω. Η ροή λάβας σπάνια σκοτώνει ανθρώπους διότι κινείται με μικρή ταχύτητα και έτσι δίνει την ευκαιρία στους ανθρώπους να φύγουν μακριά. Όμως, ακόμη και τότε η λάβα μπορεί να καταστρέψει κτίρια και άλλες υποδομές, εφόσον βρεθούν στο πέρασμά της.

Η βίαιη έκρηξη ηφαιστείου προκύπτει εάν το μάγμα είναι πυκνό και κολλώδες. Τότε η πίεση αυξάνει συνεχώς έως ότου τα αέρια καταφέρουν να διαφύγουν με βιαιότητα και το ηφαίστειο να εκραγεί. Τότε, το μάγμα εκτινάσσεται στον αέρα και διασπάται σε μικρά κομμάτια που ονομάζονται *τέφρα*. Η τέφρα κυμαίνεται σε μέγεθος από πολύ μικρά κομματάκια στάχτης έως ογκόλιθους μεγέθους ενός

σπιτιού. Τα ορμητικά σύννεφα ζεστής τέφρας που σχηματίζονται κυλούν στις πλαγιές των βουνών καταστρέφοντας τα πάντα στο πέρασμά τους. Η δε στάχτη που εκτοξεύεται στον ουρανό ξαναπέφτει στη Γη σαν λευκό χιόνι, που όμως δεν λιώνει. Εάν μάλιστα σχηματίσει ένα αρκετά παχύ στρώμα, μπορεί να προκαλέσει ασφυξία σε φυτά, ζώα και ανθρώπους.³ Επιπλέον, όταν ηφαιστειακά υλικά αναμιχθούν με νερό που υπάρχει σε χείμαρρους ή με λιωμένο χιόνι και πάγο δημιουργούνται κύματα λάσπης. Η ροή λάσπης μπορεί να θάψει πλήρως τις πόλεις που βρίσκονται κοντά στο ηφαίστειο. Αλλά και γενικότερα, η έκρηξη ενός ηφαιστείου έχει πάντοτε επιπτώσεις στο κλίμα και στη ζωή των ανθρώπων ολόκληρου του πλανήτη. Τα ηφαίστεια αποτελούν μία από τις βασικότερες πηγές φυσικής ρύπανσης του πλανήτη μας. Αυτό συμβαίνει διότι το σύννεφο στάχτης που σχηματίζεται, και διαδίδεται με τους στρατοσφαιρικούς ανέμους σε όλο τον πλανήτη, εμποδίζει ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας να φτάσει στη Γη, με αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας και την μείωση της φυτικής και, συνακόλουθα, της ζωικής παραγωγής.

³ Εικάζεται ότι ένα τέτοιο στρώμα στάχτης, που είχε εκτοξευτεί κατά την έκρηξη του Βεζούβιου, κάλυψε την πόλη της Πομπηίας, με αποτέλεσμα να πεθάνουν από ασφυξία οι κάτοικοί της.

Ποια είναι τα χαρακτηριστικά ενός ηφαιστείου;



Ένα κλασσικό ηφαίστειο έχει το σχήμα κώνου. Το μάγμα ανέρχεται από την ασθενόσφαιρα (και ιδιαίτερα από τον μαγματικό θάλαμο) στην επιφάνεια της Γης μέσω ενός αγωγού (ηφαιστειακός αγωγός), ο οποίος καταλήγει σε έναν κρατήρα σε σχήμα χωνιού που βρίσκεται στην κορυφή ηφαιστείου. Όταν μέσα στον κρατήρα εμφανίζεται και ένας μικρότερος κώνος, ο αρχικός κρατήρας ονομάζεται *καλδέρα*. Ο ηφαιστειακός κώνος δημιουργείται από την εναπόθεση λάβας και/ή πυροκλαστικού υλικού γύρω από τον κεντρικό αγωγό. Το πυροκλαστικό υλικό αποτελείται από ηφαιστειακά αέρια υψηλής θερμοκρασίας, στάχτες και ηφαιστειακές βόμβες (θραύσματα πετρωμάτων υψηλής θερμοκρασίας) και κινείται με τη μορφή χιονοστιβάδας ταχύτητας 130 περίπου χιλιομέτρων την ώρα.

Τα είδη των ηφαιστείων

Το σχήμα ενός ηφαιστείου σχετίζεται με το είδος της έκρηξης.

Σύνθετο ηφαίστειο (στρατο-ηφαίστειο): Εάν το μάγμα που εκπέμπεται από το ηφαίστειο είναι παχύ και κολλώδες, οι φυσαλίδες του αερίου δεν μπορούν να διασταλούν. Αυτό προκαλεί τον απότομο διαχωρισμό του μάγματος σε στοιχειώδη κομματάκια που ονομάζονται ηφαιστειακή στάχτη. Αυτές οι εκρήξεις είναι πολύ βίαιες και δημιουργούν απότομους κώνους από στάχτη και πετρώματα. Μερικές φορές προκαλούν στρώματα λάβας, σύννεφα στάχτης και επικίνδυνα κύματα λάσπης. Το Pago είναι ένα παράδειγμα σύνθετου ηφαιστείου που βρίσκεται στην Παπούα Νέας Γουινέας.

Σφραγισμένα ηφαίστεια: Όταν το μάγμα είναι ρευστό και όχι κολλώδες τα αέρια μπορούν εύκολα να ξεφύγουν. Αυτές οι εκρήξεις των ηφαιστείων δεν είναι βίαιες και το μεγαλύτερο μέρος του μάγματος κυλάει ήρεμα στις πλαγιές του ηφαιστείου. Ο κώνος αυτών των ηφαιστείων αποτελείται από στρώματα λάβας. Το ηφαίστειο Kilauea στην Χαβάη είναι ένα παράδειγμα τέτοιων ηφαιστείων.

Caldera volcano: Τα ηφαίστεια αυτά εκρήγνυνται τόσο απότομα που μόνο λίγο υλικό μένει για να εναποτεθεί κοντά στο άνοιγμά τους. Από την έκρηξη αδειάζει συνήθως ένα μεγάλο μέρος ή και ολόκληρος ο μαγματικός θάλαμος από το μάγμα, αφήνοντας χωρίς στήριγμα την περιοχή γύρω από το άνοιγμα του ηφαιστείου, με αποτέλεσμα να βυθιστεί η περιοχή αυτή λόγω του δικού της βάρους. Έτσι, δημιουργείται ένα βαθούλωμα σχήματος λεκάνης που είναι περίπου κυκλικό και του οποίου η διάμετρος είναι μερικά χιλιόμετρα.

Τι είναι τα ενεργά, μη ενεργά και σβησμένα ηφαίστεια;

Τα ηφαίστεια συναντώνται σε τρεις καταστάσεις: μη ενεργά, σβησμένα και ενεργά. Ένα σβησμένο ηφαίστειο δεν θα εκραγεί ξανά. Ένα λανθάνων ή μη ενεργό ηφαίστειο δεν έχει εκραγεί τα τελευταία 2000 έτη. Ένα ενεργό ηφαίστειο έχει εκραγεί πρόσφατα και πιθανόν να εκραγεί και πάλι. Ένα ηφαίστειο θεωρείται ενεργό εάν εκτοξεύει λάβα, αέρια ή εμφανίζει σεισμική δραστηριότητα.

Ποιες περιοχές του πλανήτη μας έχουν ηφαιστειακή δράση;

Εκρήξεις ηφαιστείων συμβαίνουν μόνον σε συγκεκριμένους γεωγραφικούς τόπους και δεν προκύπτουν τυχαία. Η μεγαλύτερη

συχνότητα των ηφαιστείων συναντάται στα όρια των λιθοσφαιρικών ή τεκτονικών πλακών. Μερικά ηφαίστεια, όπως αυτά που σχημάτισαν τα νησιά της Χαβάης συμβαίνουν στο εσωτερικό των πλακών σε περιοχές που ονομάζονται *καυτά σημεία (hot spots)*. Παρά το γεγονός ότι τα περισσότερα ηφαίστεια που γίνονται αντιληπτά βρίσκονται στην ξηρά, ο μεγαλύτερος αριθμός ηφαιστείων δεν φαίνεται διότι τα ηφαίστεια βρίσκονται στον πυθμένα των ωκεανών, και συγκεκριμένα κατά μήκος των μεσοωκεάνιων ραχών (δηλαδή κατά μήκος της περιοχής όπου δύο πλάκες αποκλίνουν). Το ηφαίστριο της Αγίας Ελένης είναι ένα τυπικό δείγμα του 80% των ηφαιστείων που υπάρχουν στην ξηρά και είναι γνωστά ως ηφαίστεια της ζώνης καταβύθισης. Συμβαίνουν στα όρια δύο πλακών που συγκλίνουν, και συγκεκριμένα κατά μήκος της περιοχής όπου η μία πλάκα καταβυθίζεται κάτω από την άλλη.

Ο μεγαλύτερος αριθμός ενεργών ηφαιστείων συναντάται κατά μήκος μιας ηφαιστειακής αλυσίδας, γνωστής ως «Δαχτυλίδι της Φωτιάς», η οποία περιβάλλει τον Ειρηνικό Ωκεανό. Τα ηφαίστεια αυτά έχουν σχηματιστεί στα όρια μιας πλάκας καταβύθισης και εκτείνονται από την Ιαπωνία στις Φιλιππίνες και την Ιάβα και από την Αλάσκα στην Αργεντινή.

Πότε θα εκραγεί ένα ηφαίστριο;

Τα περισσότερα ηφαίστεια παρέχουν διάφορες προειδοποιήσεις πριν εκραγούν. Παρά το γεγονός ότι μία βίαιη έκρηξη ηφαιστείου μπορεί να συμβεί χωρίς προειδοποίηση, κάποια χαρακτηριστικά γεγονότα είναι πιθανόν να προηγηθούν της επόμενης έκρηξης. Έτσι, ενώ οι

εκτοξεύσεις ατμού μπορεί να συμβούν με καθόλου ή μικρή προειδοποίηση, η εκπομπή μάγματος προκαλεί ανιχνεύσιμους σεισμούς, που μπορεί να προκαλέσουν παραμόρφωση του εδάφους, αλλαγές στη θερμοκρασία και στη χημική σύσταση του εδάφους και των νερών των πηγών.

Οι άνθρωποι που κατοικούν κοντά στα ηφαίστεια μπορεί να ανιχνεύσουν τέτοιου είδους προειδοποιητικά σημάδια πριν την έκρηξη του ηφαιστείου. Πράγματι, τόσο η συχνότητα όσο και η ένταση των σεισμών συνήθως αυξάνουν πριν από τις εκρήξεις. Επίσης παρατηρούνται εκπομπές ατμού από το ηφαίστειο, ενώ το έδαφος μπορεί να θερμαίνεται. Όμως οι περισσότερες από αυτές τις αλλαγές είναι ανεπαίσθητες και ανιχνεύονται μόνον με συγκεκριμένα όργανα που συνδυάζουν γεωφυσικές, γεωδαιτικές και γεωχημικές τεχνικές.

Η έγκαιρη ανίχνευση της επικείμενης έκρηξης ηφαιστείου επιτρέπει την άμεση εκκένωση των κατοικημένων περιοχών που απειλούνται και τον περιορισμό των υλικών καταστροφών. Βέβαια πρέπει να σημειώσουμε ότι η ανίχνευση των προειδοποιητικών σημάτων που εκπέμπει ένα ηφαίστειο πριν την έκρηξή του δεν είναι απαραίτητο ότι μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε και τον χρόνο που θα συμβεί η έκρηξη. Προειδοποιητικά σημάδια μπορεί να συμβαίνουν για εβδομάδες, μήνες ή και χρόνια πριν συμβεί η έκρηξη του ηφαιστείου.

Γιατί οι άνθρωποι κατοικούν κοντά στα ηφαίστεια;

Όταν σκεφτόμαστε τα ηφαίστεια συνήθως η καταστρεπτική φύση τους κυριαρχεί στη σκέψη μας. Πράγματι, τα ηφαίστεια για πολλούς

ανθρώπους θεωρούνται επικίνδυνα και -εν πολλοίς- άχρηστα φυσικά φαινόμενα. Όμως, τα πράγματα δεν είναι ακριβώς έτσι. Τα ηφαίστεια -πέρα από την καταστροφική- μπορεί να δείξουν και την ευεργετική όψη τους στον άνθρωπο. Πράγματι, πολλοί άνθρωποι στηρίζουν την καθημερινή επιβίωση και ευημερία τους στα ηφαίστεια. Σήμερα, εκατομμύρια άνθρωποι ζουν κοντά στα ηφαίστεια γιαυτό το λόγο. Ας δούμε όμως ποιοι είναι οι σημαντικότεροι λόγοι για τους οποίους επιλέγουν οι άνθρωποι να κατοικήσουν σε ηφαιστειακές περιοχές.

- *Αξιοποίηση γεωθερμικής ενέργειας:* Στην Ισλανδία και στη Νέα Ζηλανδία, οι άνθρωποι αξιοποιούν την γεωθερμική ενέργεια που οφείλεται στον ατμό που βρίσκεται στο υπέδαφος και ο οποίος έχει θερμανθεί λόγω του μάγματος. Ο ατμός αυτός χρησιμοποιείται για τη λειτουργία γεννητριών σε γεωθερμικούς σταθμούς. Έτσι παράγεται ηλεκτρική ενέργεια για οικιακή ή βιομηχανική χρήση.
- *Ανάπτυξη τουριστικής βιομηχανίας:* Κάθε χρόνο εκατομμύρια τουρίστες επισκέπτονται τόπους στους οποίους βρίσκονται γνωστά ηφαίστεια. Στους τόπους αυτούς συναντά κανείς και θερμές πηγές και γκείζερς (geysers). Έτσι, πολλοί άνθρωποι εργάζονται στις περιοχές αυτές στην τουριστική βιομηχανία (σε ξενοδοχεία, σε εστιατόρια, σε μαγαζιά δώρων και ως ξεναγοί).
- *Εξόρυξη των συστατικών που περιλαμβάνονται στη λάβα:* Η λάβα, καθώς προέρχεται από το εσωτερικό της Γης, περιλαμβάνει ορυκτά και πετρώματα τα οποία -εφόσον η λάβα κρυώσει- μπορεί να γίνει η εξόρυξή τους. Ανάλογα με τη χημική σύστασή τους, τα πετρώματα μπορεί να περιλαμβάνουν χρυσό, ασήμι, διαμάντια,

χαλκό και ψευδάργυρο. Έτσι, συχνά κοντά στα ηφαίστεια αναπτύσσονται πόλεις των οποίων οι κάτοικοι ασχολούνται με την εξόρυξη αυτών των ορυκτών.

- Ανάπτυξη της γεωργίας: Οι περιοχές γύρω από τα ηφαίστεια έχουν εξαιρετικά γόνιμα και εύφορα εδάφη που οφείλονται στα συστατικά της λάβας και των πυροκλαστικών υλικών (φωσφόρο, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο και θείο). Τα εδάφη αυτά παράγουν πλούσιες σοδειές. Επίσης οι περιοχές αυτές συχνά παράγουν εξαιρετικής ποιότητας κρασιά. Έτσι, οι κάτοικοι αυτών των περιοχών ασχολούνται συχνά με τη γεωργία.

Δικτυακοί τόποι:

<http://www.volcano.si.edu/world/region.cfm?rnum=0102>

(Πληροφορίες για ηφαίστεια της Ελλάδας)

<http://www.volcano.si.edu/world/region.cfm?rnum=01> (Χάρτης που απεικονίζει τα ηφαίστεια της Μεσογείου)

<http://volcano.und.edu/> (πληροφορίες και εκπαιδευτικό υλικό για την ηφαιστειακή δραστηριότητα)

http://volcano.und.edu/vwdocs/current_volcs/current.html

(ενημέρωση σχετικά με γνωστά ηφαίστεια)

<http://www.nationalgeographic.com/forcesofnature/interactive/index.html?section=v> (προσομοιώσεις διαφόρων τύπων ηφαιστείων)*

<http://www.enchantedlearning.com/subjects/volcano/> (κάθετη τομή ενός ηφαιστείου, όπου φαίνονται όλα τα χαρακτηριστικά του)

Βιβλιογραφία:

- Anderson, D.L., 1989, *Theory of the Earth*: Boston, Blackwell Publications, 366 pages.
- Carey H.H. & Greenberg J.E. (1990). *Volcanoes*. Raintree Publishers, New York.
- Flint, R.F., and Skinner, B.J., 1977, *Physical geology*: New York, John Wiley and Sons, 594 pages.
- Lambert D. (1990). *Mountains*. Rahway, Troll, New York.
- Lambert D. (1990). *Volcanoes and Earthquakes*. Rahway, Troll, New York.
- Markle S. (1991). *The Kid's Earth Handbook*. Macmillan, New York.
- Press, Frank, and Siever, Raymond, 1974, *Earth*: San Francisco, W.H. Freeman, 649 pages.
- Robertson, E.C., 1966, *The interior of the Earth; an elementary description*: U.S. Geological Survey Circular 532, 10 pages.
- Smith, P.J., editor, 1986, *The Earth*: New York, Macmillan, 248 pages.
- Stoneley R. (1989). Γεωφυσική. Στο *Επιστημονική Σκέψη 1900 – 1960*. Επιμέλεια R. Harre (Μετάφραση Μ. Ιατρίδου). Εκδόσεις Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης.
- Tyler Miller, G. Jr., 1999, *Βιώνοντας στο Περιβάλλον*, (μετάφραση Ταλαντοπούλου Μαρία), Εκδόσεις «ΙΩΝ», Αθήνα.
- Victor E. & Kellough R.D. (1997). *Science for the Elementary School*. Macmillan Publishing Company, New York.

Yockstick, M.L., 1987, Earthbook -- Encyclopedia of the Earth:
Stockholm, Sweden, Esselte Map Service, 327 pages.

Κωστόπουλος Δ. και Κλωνάρη Αικ. (200), *Ο Κόσμος μας - Οι
Επιστήμες της Γης*, (αυτοέκδοση), Αθήνα.