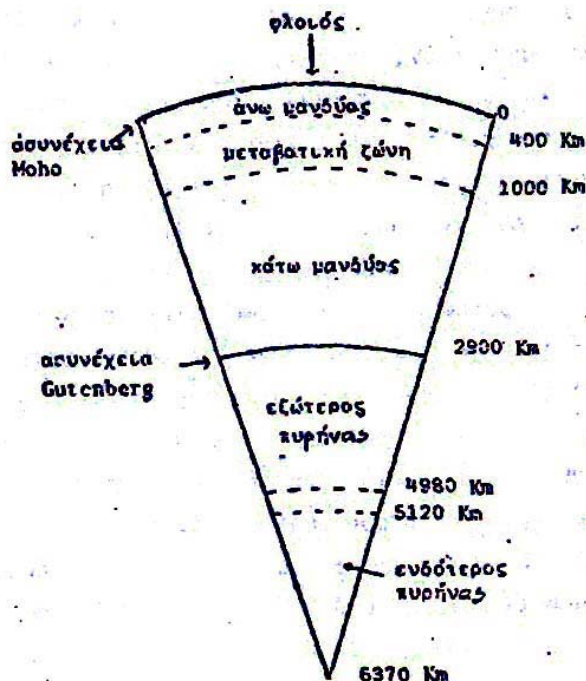


ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ

Δομή της Γης

Η Γη αποτελείται από σφαιρικά στρώματα το ένα επάνω στο άλλο. Οι γνώσεις μας για τη σύσταση του εσωτερικού της δεν στηρίζονται στην άμεση παρατήρηση και εξέταση των υλικών που την αποτελούν, όπως συμβαίνει με την επιφάνεια, αλλά σε υποθέσεις που στηρίζονται κυρίως σε γεωφυσικές παρατηρήσεις και δεδομένα, σε συνδυασμό με τα πορίσματα της μελέτης των μετεωριτών. Έτσι η μέση πυκνότητα της Γης, που είναι ίση περίπου προς 5,5, σε σύγκριση με τη μέση πυκνότητα των υλικών της επιφάνειάς της, που είναι πολύ μικρότερη (περίπου 2,7), δείχνει ότι στα βαθύτερα σημεία υπάρχουν υλικά μεγαλύτερης πυκνότητας.

Με βάση τη σύσταση των μετεωριτών, που θεωρούνται σαν κομμάτια άλλων πλανητικών σωμάτων, και αποτελούνται όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο κυρίως από σίδηρο και νικέλιο έγινε δεκτό ότι και ο πυρήνας της Γης, η καλούμενη Βαρύσφαιρα, πρέπει να έχει ανάλογη σύσταση. Γύρω από τη Βαρύσφαιρα ή Σιδηρόσφαιρα και σε βάθος 2.900 χ.λ.μ. περίπου από την επιφάνεια της Γης βρίσκεται ο μανδύας (Σχ. 2). Το εξωτερικό μέρος της Γης μέχρι το μανδύα είναι ο φλοιός. Τα ανώτερα τμήματα του μανδύα μαζί με το φλοιό αποτελούν αυτό που ονομάζουμε Λιθόσφαιρα. Πολλοί χρησιμοποιούν τον όρο Ασθενόσφαιρα για να χαρακτηρίσουν το πάνω τμήμα του μανδύα.



Σχήμα 2. Εσωτερική δομή της Γης

α. Φλοιός.

Το πάνω-πάνω τμήμα του φλοιού της Γης αποτελείται από ιζηματογενή πετρώματα (που σχηματίζονται μέσα στις θάλασσες και ωκεανούς). Αυτά τα πετρώματα μπορεί να απουσιάζουν σε ορισμένα σημεία ιδίως τα ηπειρωτικά. Κάτω από τα ιζήματα βρίσκεται ένα στρώμα γρανιτοειδούς σύστασης, το οποίο μπορεί να απουσιάζει στα βαθύτερα σημεία του πυθμένα των ωκεανών.

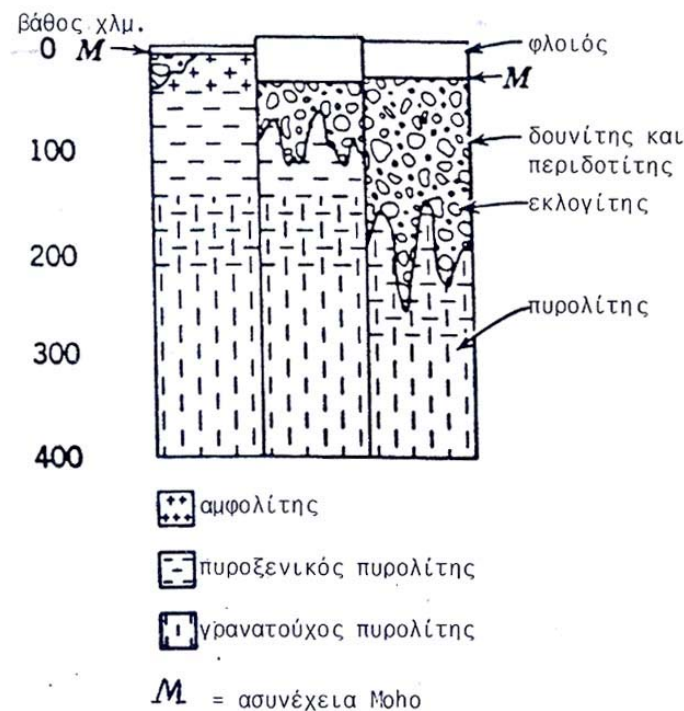
Με βάση πολυάριθμες αναλύσεις και τους κρυσταλλοχημικούς νόμους βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο φλοιός αποτελείται, κατά ποσοστό πάνω από 90%, από ενώσεις του πυριτίου και αργιλίου με τα υπόλοιπα στοιχεία. Απ' αυτές στο ανώτερο τμήμα του φλοιού (που καλείται και SIAL επειδή στις ενώσεις επικρατούν τα στοιχεία πυρίτιο και αργίλιο) αφθονούν τα όξινα αργιλοπυριαιτικά ορυκτά (καλιούχοι άστριοι και όξινα πλαγιόκλαστα) καθώς και χαλαζίας, ενώ στο κατώτερο τμήμα αυτού (που καλείται και SIMA από τα αρχικά πυριτίου και μαγνησίου) επικρατούν πυριτικές ενώσεις του μαγνησίου και σιδήρου (κεροστίλβη, πυρόξενος, ολιβίνης) καθώς και βασικά πλαγιόκλαστα.

Η κατώτερη επιφάνεια του φλοιού της Γης, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, χαρακτηρίζεται ως επιφάνεια του Mohorovicic. Ο φλοιός στις ηπείρους είναι μωσαϊκό από ιζήματα, μεταμορφωμένα πετρώματα, πυριγενείς διεισδύσεις και ηφαιστειακά υλικά, σε διάφορα σχήματα και μεγέθη. Παρόλα αυτά υπάρχει μια βαθμιαία αλλαγή στη μέση σύσταση του υλικού από γρανιτικό, κοντά στην επιφάνεια, έως γαββρικό στα βαθύτερα σημεία. Αξίζει να σημειωθεί ότι το όριο μεταξύ φλοιού και μανδύα δεν αποτελεί μόνο σεισμική ασυνέχεια, αλλά είναι επίσης και επιφάνεια ισορροπίας. Αυτή, λοιπόν, η ασυνέχεια Moho, χωρίζει τον ετερογενή φλοιό από τον περισσότερο ομοιογενή μανδύα και χαρακτηρίζεται από απότομη μεταβολή στις ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων.

Για την ασυνέχεια Mohorovicic έχουν επικρατήσει βασικά δύο θεωρίες. Η μια τη δέχεται σαν φυσική ασυνέχεια, αποτέλεσμα δηλαδή της αλλαγής φάσεως από τα κατώτερα πετρώματα του φλοιού, που θεωρούνται γαββρικής σύστασης, στα εκλογιτικά του μανδύα, που είναι παρόμοιας σύστασης αλλά έχουν υψηλότερη πυκνότητα. Η άλλη άποψη δέχεται την ασυνέχεια σαν χημική διότι θεωρεί ότι ο ανώτερος μανδύας έχει υπερβασική σύσταση (δουνίτη ή γενικότερα περιδοτίτη).

β. Μανδύας.

Σχετικά με τη σύσταση του μανδύα, κατά μια άποψη θεωρείται ότι στα ανώτερα τμήματά του αποτελείται από μια άποψη θεωρείται ότι στα ανώτερα τμήματά του αποτελείται από αργιλιπυριτικές ενώσεις και πυριτικές ενώσεις του μαγνησίου (SIMA) αντιστοιχεί σε ένα είδος εκλογιτικού τύπου πετρώματος (Γκρηκουαΐτης), που έχει υπερβασική σύσταση. Το κατώτερο τμήμα του μανδύα αποτελείται κατά τον Goldschmidt από θειούχες ενώσεις. Τελευταία έγινε προσπάθεια να συνδυασθούν οι γεωχημικές, γεωφυσικές και πετρολογικές ιδιότητες και προτάθηκε ένα μοντέλο υπερβασικής σύστασης για τον πάνω μανδύα με μέση σύσταση που αντιστοιχεί σε ένα μίγμα ενός μέρους βασάλτη προς τρία μέρη δουνίτη. Το μίγμα αυτό ονομάστηκε πυρολίτης (πυροξενικό-ολιβινικό πέτρωμα (Σχ. 3).



Σχήμα 3. Δομή του άνω μανδύα
(Από Mason and Moore, 1982)

Κλασματική τήξη του υλικού αυτού έδωσε το βασαλτικό μάγμα, το οποίο με την πάροδο των γεωλογικών χρόνων εισέδυσσε στο φλοιό και άφησε ένα υπολειμματικό τήγμα δουνίτη ή περιδοσίτη. Περισσότερες λεπτομέρειες για το σχηματισμό των βασαλτικών μαγμάτων θα πούμε στη συνέχεια σε ξεχωριστό κεφάλαιο. Η

ορυκτολογική σύσταση του πυρολίτη ποικίλλει ανάλογα με τη θερμοκρασία και πίεση και μπορεί να κρυσταλλωθεί σε τέσσερις παραγενέσεις:

Αμφολίτης

ολιβίνης και αμφίβολος

Πλαγιοκλαστικός πυρολίτης

ολιβίνης + φτωχός σε Al πυρόξενος + πλαγιόκλαστο

Πυροξενικός πυρολίτης

ολιβίνης + πλούσιος σε Al πυρόξενος + σπινέλλιος

Γρανατούχος πυρολίτης

ολιβίνης + φτωχός σε Al πυρόξενος + γρανάτης

Με βάση πάλι τα σεισμικά δεδομένα ο Bullen θεωρεί ότι υπάρχουν δύο δευτερεύουσες ασυνέχειες μέσα στο μανδύα και σε βάθη 400 και 1000 χιλιόμετρα, αντίστοιχα, (μεταβατική ζώνη) (Σχ. 2). Ο Birch δέχεται ότι το μεταβατικό αυτό στρώμα, μέσα στο οποίο η σύσταση αλλάζει βαθμιαία, βρίσκεται μεταξύ 300 και 900 χιλιόμετρα. Σ' αυτό το μεταβατικό στρώμα θα πρέπει πιθανόν να αναζητήσει κανείς την ερμηνεία για πολλά γεωφυσικά και γεωχημικά προβλήματα. Από αυτό προέρχονται οι σεισμοί και πιθανόν εδώ να βρίσκεται η τελευταία πηγή μαγμάτων. Όσον αφορά τη χημική του σύσταση, φαίνεται ότι κυριαρχούν τα οξειδία MgO και SiO₂ κυρίως, με τη μορφή ολιβίνη Mg₂SiO₄ και πυροξένου Mg₂SiO₃. Οι φάσεις αυτές είναι σταθερές μέχρι βάθους 400 χιλιομέτρων. Κάτω από το βάθος αυτό θα πρέπει να συμβαίνουν μετατροπές σε πιο περιορισμένης σύστασης φάσεις, όπως σπινέλλιο, ιλμενίτη κ.λ.π.

Πιθανότατα στο μεταβατικό αυτό στρώμα υπάρχουν πολύμορφοι τύποι ενώσεων άγνωστοι σε μας. Δηλαδή, ενδέχεται να έχουμε σχηματισμό ολιβίνη υψηλής πίεσης. Η σκέψη αυτή για την πολυμορφία του ολιβίνη στηρίχθηκε στο γεγονός ότι το γερμανικό μαγνήσιο, Mg₂GeO₄, που είναι ανάλογο τύπου με τον ολιβίνη, παρατηρήθηκε σε δύο μορφές, μία ισόμορφη με τον ολιβίνη (ρομβικό) και μία κυβικής φάσης με πυκνότητα κατά 9% υψηλότερη από την προηγούμενη. Σύμφωνα, λοιπόν, με αυτή την υπόθεση ο ολιβίνης πρέπει να αρχίζει να μεταβάλλεται σε ένα τύπο πολυμορφίας υψηλότερης πυκνότητας στην αρχή της μεταβατικής ζώνης και η

μεταβολή αυτή θα πρέπει να ολοκληρώνεται σε βάθος 1000 χιλιομέτρων περίπου. Προφανώς η αλλαγή (μεταβολή) αυτή που είναι βαθμιαία μέσα στη ζώνη είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, πίεσης και της σχέσης Mg/Fe του ολιβίνη, σε συνδυασμό με το βάθος.

Μια άλλη πολυμορφική αλλαγή μπορεί να είναι η μεταβολή του Mg_2SiO_3 από τη δομή του πυρόξενου σε δομή παρόμοια με του κορούνδιου (Al_2O_3). Αυτό στηρίζεται στην αρχή ότι τα πυριτικά γίνονται ασταθή σε υψηλές πιέσεις, όπως αυτές του μανδύα, οπότε πιθανότατα διασπώνται σε απλά οξείδια. Οι μετατροπές θα πρέπει, όπως είπαμε, να σταματούν γύρω στα 1000 χιλιόμετρα.

Ο κατώτερος μανδύας μεταξύ 1000 και 2900 χιλιόμετρα φαίνεται να είναι πιο ομοιογενής και πιθανόν αποτελείται από ένα μίγμα $(Mg, Fe)SiO_3$ ιλμενιτικής δομής και $(Mg, Fe)O$ (περίκλαστο).

γ. Πυρήνας.

Όσον αφορά τον πυρήνα κάποια συμπεράσματα για τη σύστασή του προκύπτουν από γεωφυσικά δεδομένα συνδυασμένα με γεωχημικούς συλλογισμούς. Έτσι αποκλείουμε την περίπτωση να έχουμε σύσταση από ελαφρά μέταλλα ή οξείδια αυτών. Το πιθανότερο μέταλλο με βάση τις φυσικές ιδιότητες του πυρήνα φαίνεται να είναι ο σίδηρος. Τα γεωφυσικά αποτελέσματα δείχνουν ότι το μέσος ατομικός αριθμός του πυρήνα είναι περίπου 22. Εφόσον ο ατομικός αριθμός του σιδήρου είναι 26 φαίνεται ότι ο πυρήνας περιέχει και στοιχεία χαμηλότερου ατομικού αριθμού. Τα πιθανότερα πιστεύεται ότι είναι το θείο, ο άνθρακας και το πυρίτιο. Το θείο και ο άνθρακας αφθονούν και στο μετεωριτικό υλικό και μπορούν να κατεβάσουν τη μέση τιμή του ατομικού αριθμού ευκολότερα από το πυρίτιο. Οποσδήποτε ο σίδηρος παίζει το βασικό ρόλο στη σύσταση του πυρήνα και πιθανόν το μαγνητικό πεδίο της Γης σχετίζεται με μια υγρή φάση αυτού, συνδυασμένη με ύπαρξη νικελίου.

Έτσι λοιπόν η Γη φαίνεται ότι αποτελείται από ένα κατεξοχή σιδηρούχο πυρήνα, ένα αρκετά ομοιογενή πυριτικό μανδύα και ένα ετερογενή πυριτικό φλοιό. Πάντως θα πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με πετρολογικές παρατηρήσεις το πυριτικό υλικό ελαττώνεται διαδοχικά από το φλοιό προς το μανδύα. Ο φλοιός φαίνεται ότι δημιουργήθηκε από το μανδύα με συνεχείς κλασματικές τήξεις και κρυσταλλώσεις. Αυτός ο τύπος της σύστασης της Γης θεωρείται ο πιθανότερος γιατί έρχεται και σε συμφωνία με τις σχετικές συχνότητες εμφάνισης των χημικών στοιχείων.

Όλα τα παραπάνω δεν αποδεικνύουν, βέβαια, ότι το μοντέλο αυτό για το εσωτερικό της Γης ανταποκρίνεται οπωσδήποτε στην πραγματικότητα, τουλάχιστον όμως θεωρείται το πιο πιθανό. Για να συμπληρωθεί επίσης η εικόνα αυτή θα πρέπει στο φλοιό, μανδύα και πυρήνα να προστεθούν ακόμη τρεις ζώνες: η ατμόσφαιρα, η υδρόσφαιρα και η βιόσφαιρα.

Η ατμόσφαιρα είναι το αερίωδες κάλυμμα που περιβάλλει τη Γη.

Η υδρόσφαιρα είναι το ασυνεχές περιβλήμα από το νερό, καθαρό ή αλατούχο, το οποίο σχηματίζει τους ωκεανούς, τις λίμνες και τους ποταμούς.

Τέλος η βιόσφαιρα είναι το σύνολο του οργανικού υλικού που υπάρχει στην επιφάνεια του φλοιού, στην υδρόσφαιρα και στην ατμόσφαιρα.

Στους πίνακες 6 και 7, αντίστοιχα, δίνονται τα σπουδαιότερα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των ζωνών της Γης, καθώς και στοιχεία για το πάχος, όγκο μέση πυκνότητα και μάζα κάθε ζώνης (στοιβάδας). Είναι προφανές ότι η ατμόσφαιρα, η υδρόσφαιρα και η βιόσφαιρα αν και παίζουν σημαντικό γεωχημικό ρόλο αποτελούν λιγότερο από 0,03% της όλης μάζας της Γης, ενώ ο φλοιός είναι κάτω από το ένα εκατοστό της ολικής μάζας της.

Πίνακας 6. Η δομή της Γης (Από Mason and Moore 1982)

Όνομα	Χημικά χαρακτηριστικά	Φυσικά χαρακτηριστικά
Ατμόσφαιρα	N ₂ , O ₂ , H ₂ O, CO ₂ , αδρανή αέρια	αέριο
Βιόσφαιρα	H ₂ O, οργανικές ουσίες, σκελετικό υλικό	στερεό και υγρό συχνά κολλοειδές
Υδρόσφαιρα	νερό αλμυρό και μη, χιόνι, πάγος	υγρό κατά μέρη στερεό
Φλοιός	πυριτικά πετρώματα	στερεό
Μανδύας	πυριτικά υλικά κυρίως ολιβίνης και πυρόξενος	στερεό
Πυρήνας	κράμα Fe-Ni	άνω τμήμα υγρό, κάτω τμήμα πιθανόν στερεό

Πίνακας 7. Όγκοι και μάζες των στοιβάδων της Γης.

(Από Mason and Moore 1982).

	Πάχος (km)	Όγκος (X 10 ²⁷ cm ³)	Μέση πυκνότητα (gr/cm ³)	Μάζα (X 10 ²⁷ g)	Μάζα %
Ατμόσφαιρα	—	—	—	0,000005	0,00009
Υδρόσφαιρα	3,80	0,00137	1,03	0,00141	0,024
Φλοιός	17	0,008	2,8	0,024	0,4
Μανδύας	2883	0,899	4,5	4,075	68,1
Πυρήνας	3471	0,175	10,7	1,876	31,5
Σύνολο Γης	6371	1,083	5,52	5,976	100,00