

# Μεταβολή των ταχυτήτων των σεισμικών κυμάτων με το βάθος

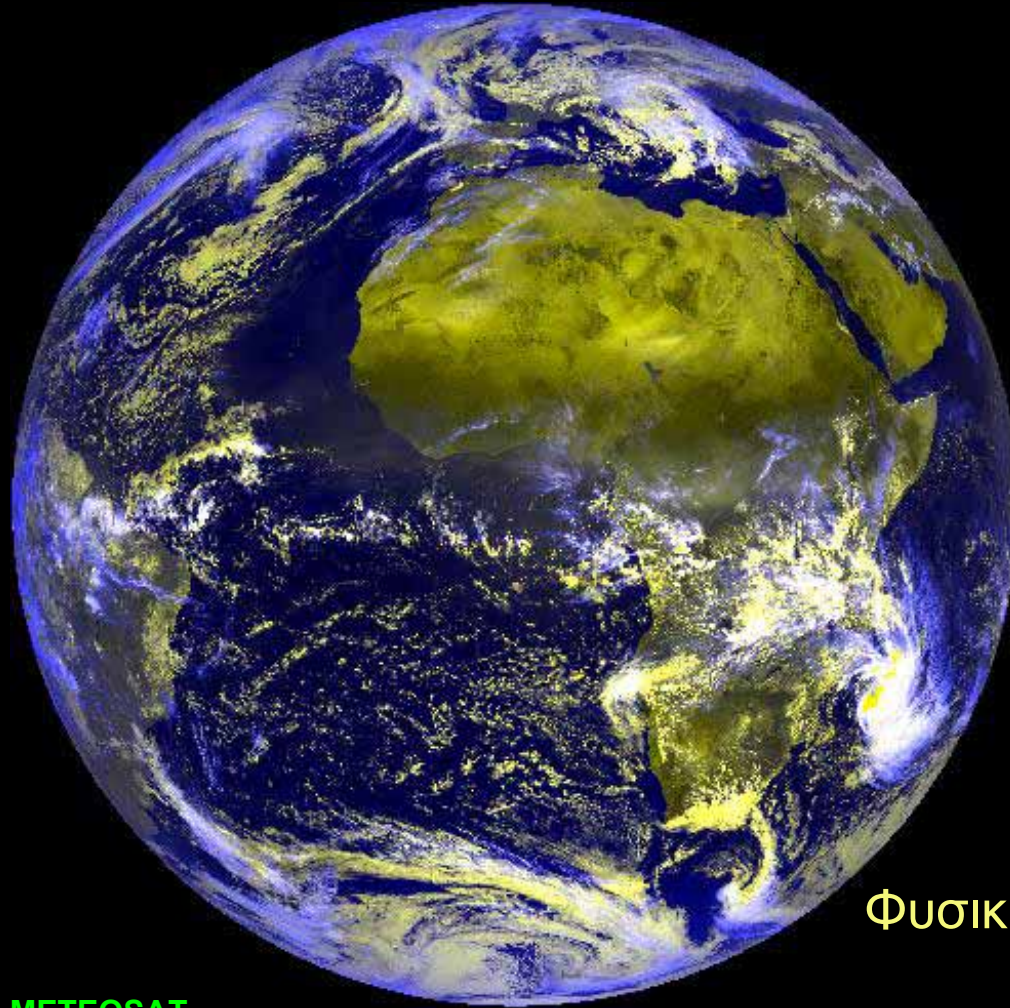
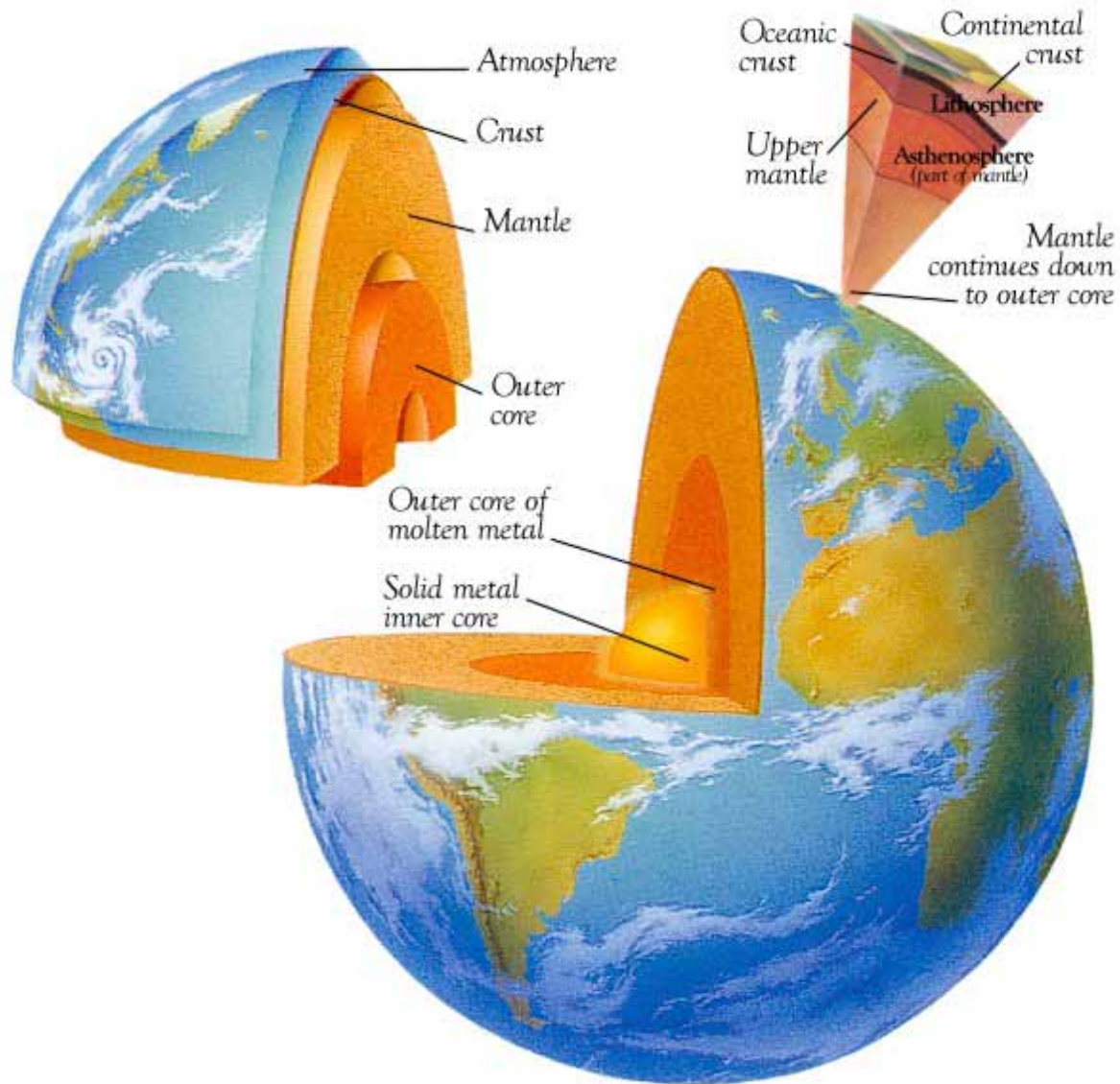


Image: METEOSAT

Φυσική της Λιθόσφαιρας

Κεφάλαιο 2

Αναστασία Κυρατζή 02/2005



# Πως γνωρίζουμε για τη δομή του εσωτερικού της Γης?

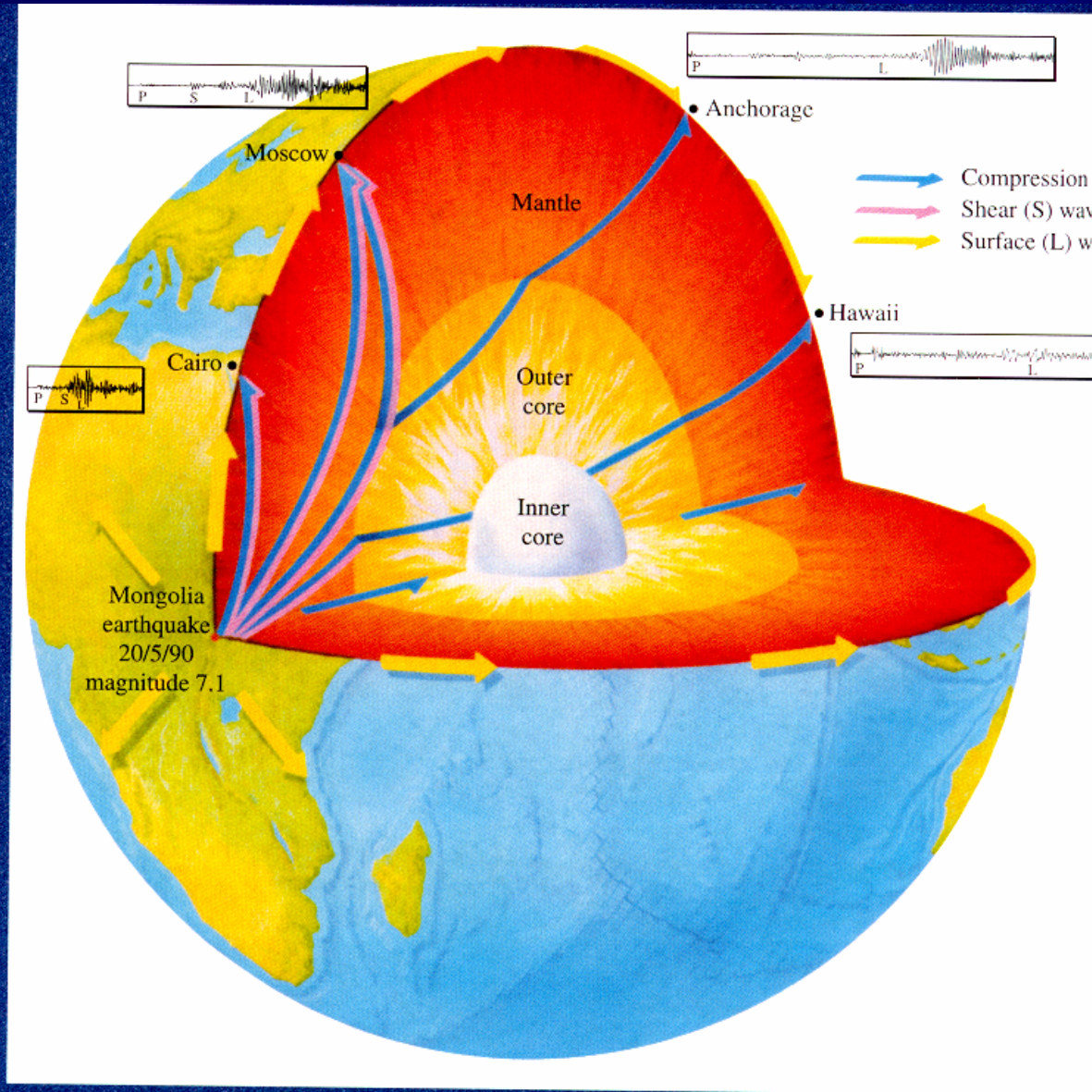
## ❖ - Έμμεσες μέθοδοι καθορισμού του εσωτερικού της Γης:

- Σεισμικά κύματα
- Ροή Θερμότητας
- Μετρήσεις έντασης του πεδίου βαρύτητας της Γης
- Μετρήσεις της έντασης του μαγνητικού πεδίου της Γης

## ❖ ΤΙ ΓΝΩΡΙΖΟΥΜΕ?

**Το εσωτερικό της Γης αποτελείται από στρώματα διαφορετικής χημικής σύστασης και φυσικών ιδιοτήτων**

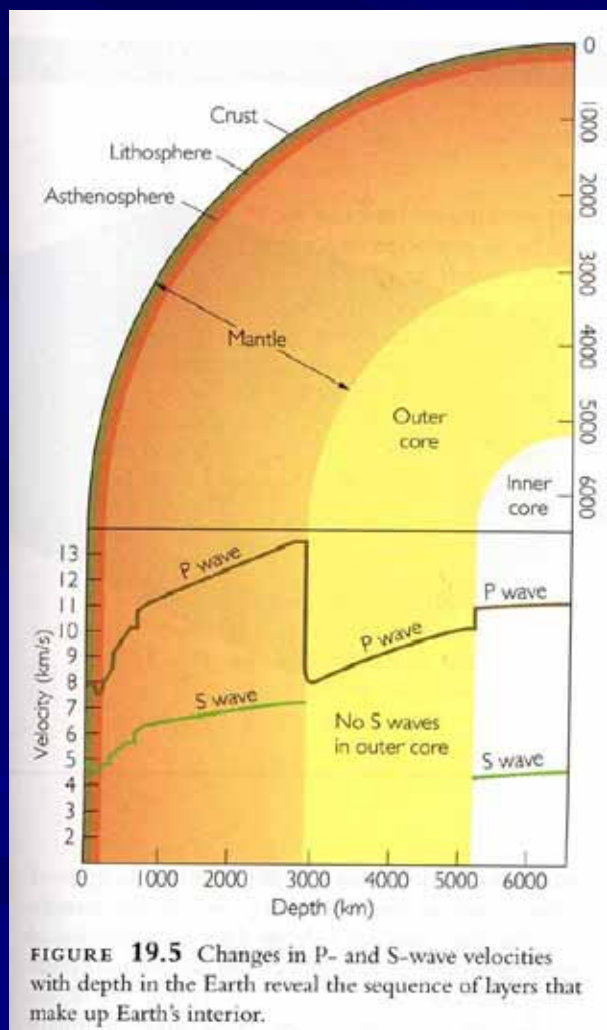
# Δεδομένα



Σεισμοί

# Μεταβολή της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων

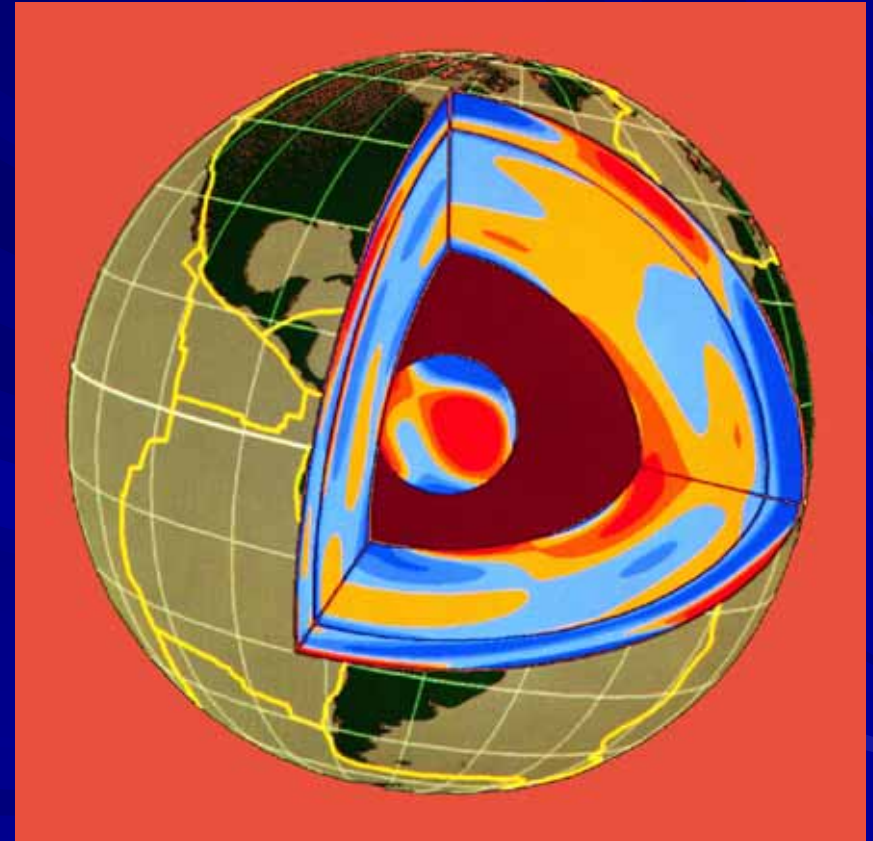
## 1-D Η ταχύτητα σε συνάρτηση με το βάθος



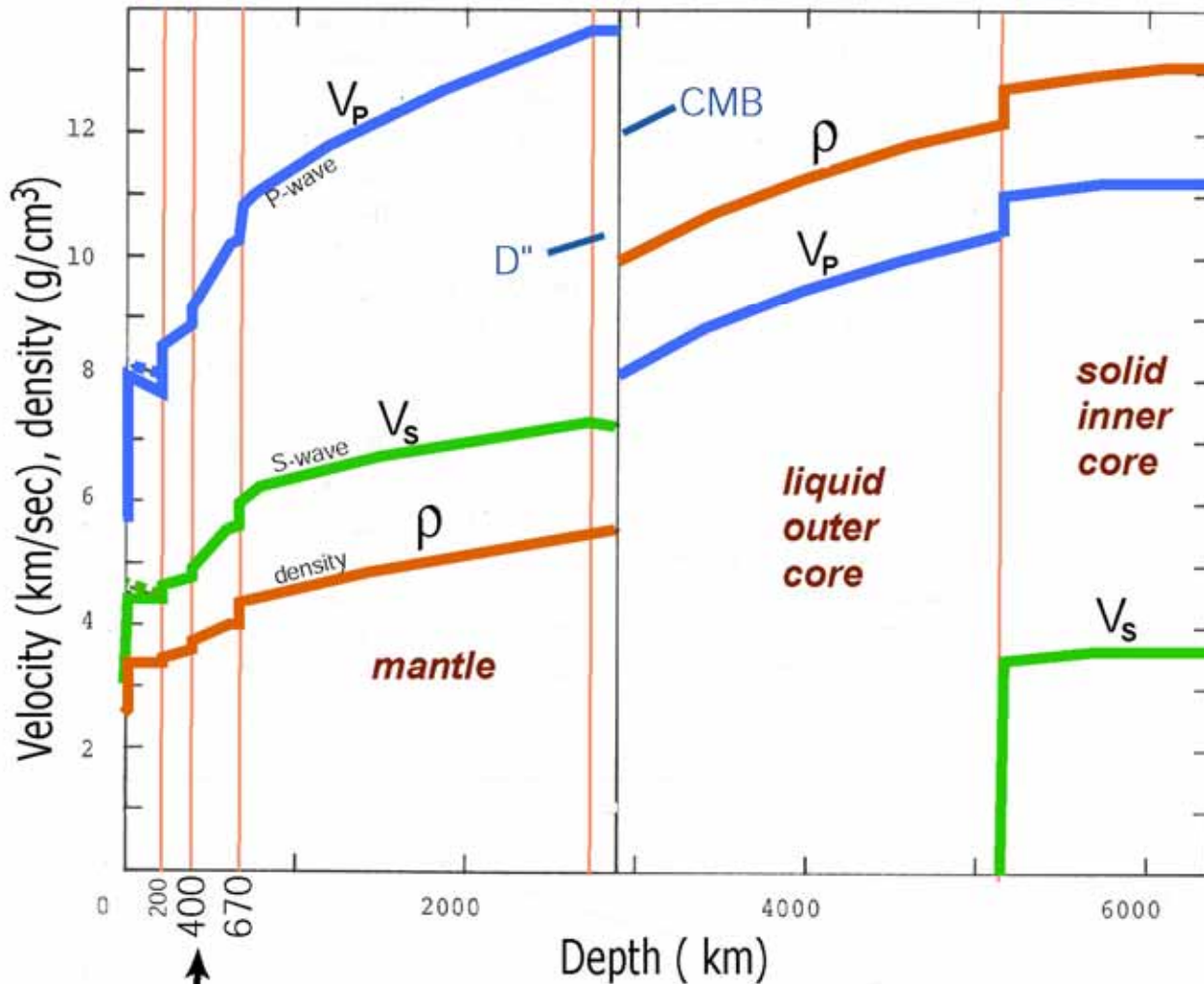
- Η ταχύτητα αυξάνει με το βάθος
- Δεν αυξάνει κανονικά (ομαλά)
- **ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ**
- **ΦΛΟΙΟΣ – ΜΑΝΔΥΑΣ**  
Moho (Mohorovicic) [35 km]
- **ΜΑΝΔΥΑΣ – ΠΥΡΗΝΑΣ**  
Gutenberg [2900 km]
- Έσω – έξω πυρήνα [Lehman]
- Άνω – κάτω μανδύα [Repetti]
- Γρανιτικό – Βασαλτικό (Conard)

# 3-D Η ταχύτητα σε συνάρτηση τόσο με το βάθος όσο και με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος

- Μετράμε τις αποκλίσεις των ταχυτήτων από το μονοδιάστατο μοντέλο
- ΜΠΛΕ=Πιο γρήγορες ταχύτητες από τη μέση τιμή
- ΚΟΚΚΙΝΟ=Πιο αργές ταχύτητες από τη μέση τιμή  
Κόκκινες περιοχές>μικρές ταχύτητες, τις ερμηνεύουμε ως περιοχές μικρότερης πυκνότητας, >ΘΕΡΜΟ ΥΛΙΚΟ!
  - Το υλικό θα ανέρθει
- Μπλε περιοχές>μεγαλύτερης ταχύτητας, τις ερμηνεύουμε ως περιοχές μεγαλύτερης πυκνότητας, ->ΨΥΧΡΟ ΥΛΙΚΟ!
  - Το υλικό θα βυθισθεί



# 1-D seismic velocity and density in the Earth



"PREM", Dziewonski and Anderson (1981)

- Μεταβολή της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων και της πυκνότητας με το βάθος.
- Παρατηρείστε ότι η μεγαλύτερη ασυνέχεια στις ιδιότητες του εσωτερικού της Γης εμφανίζεται ~ στο  $\frac{1}{2}$  της απόστασης από το κέντρο της, δηλαδή στην ασυνέχεια πυρήνα – μανδύα,
- όπου στερεά πυριτικά πετρώματα του μανδύα υπέρκεινται το θερμό και ρευστό κράμα σιδήρου του εξωτερικού μανδύα.

# ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΗΣ ΓΗΣ

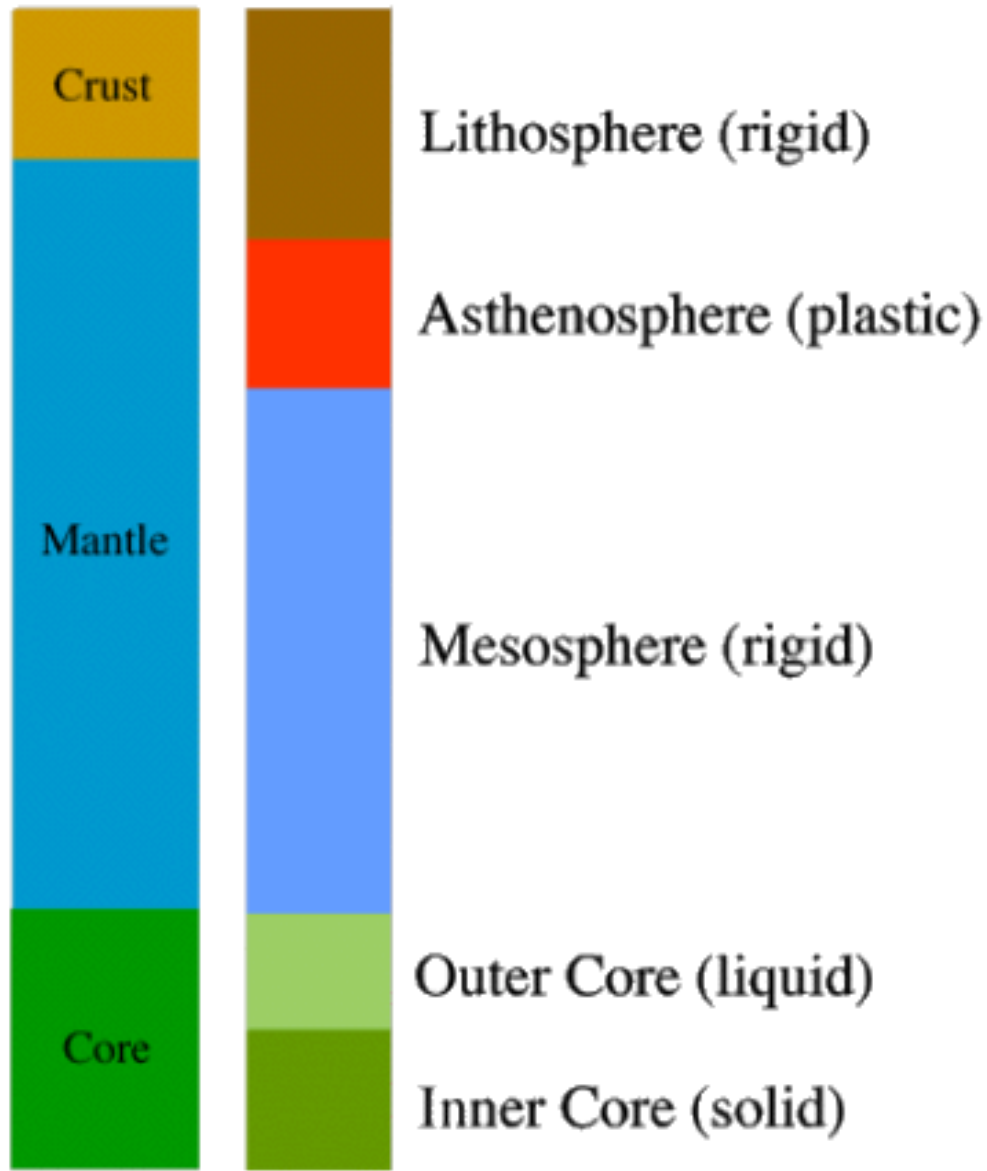
## ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

- Φλοιός
- Πυρήνας
- Μανδύας

## ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ

- Λιθόσφαιρα
- Ασθενόσφαιρα
- Μεσόσφαιρα
- Πυρήνας



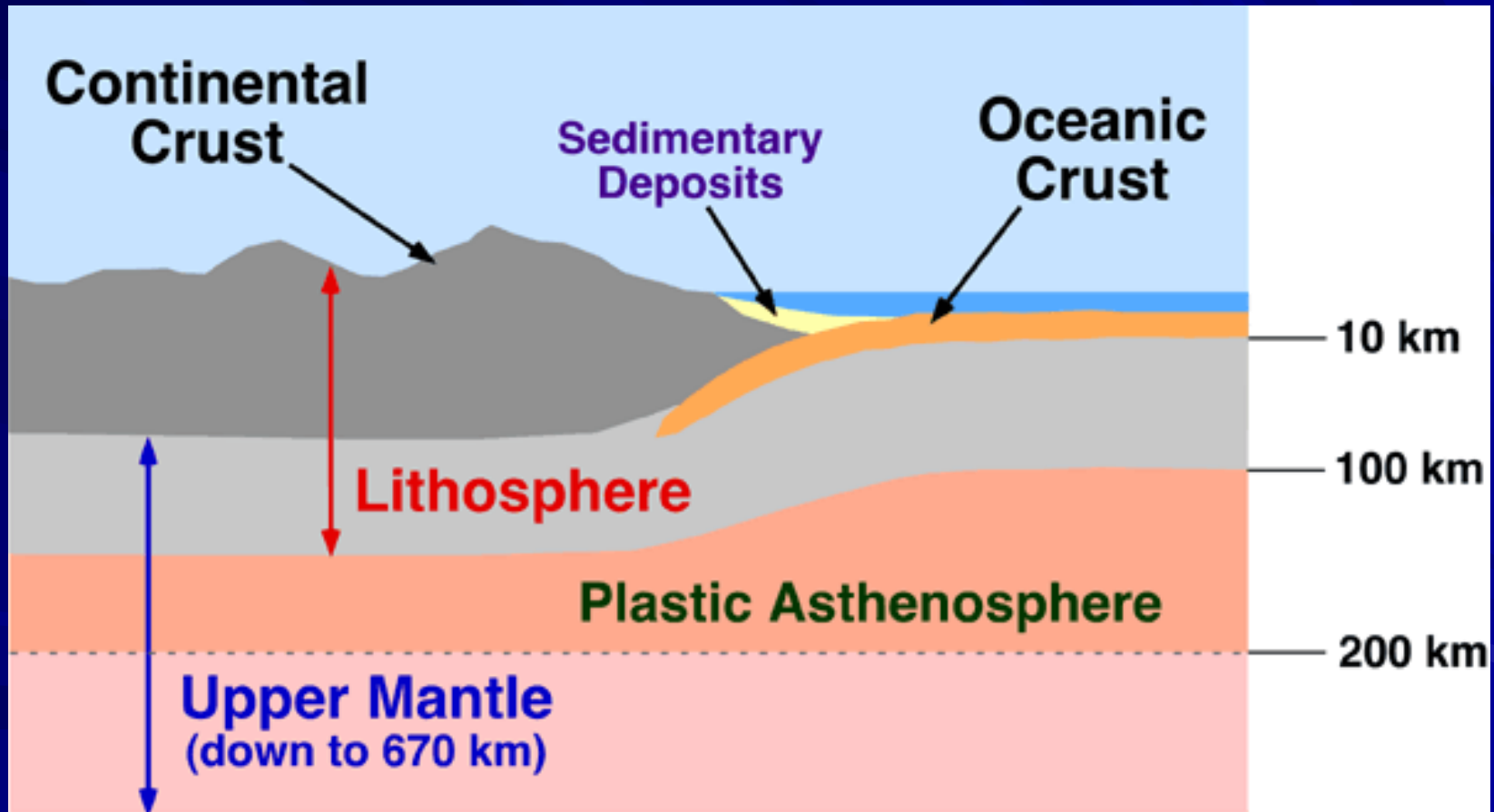


**Σχετικά Πάχη**

# Φλοιός

- Το ανώτερο στρώμα,
  - με τη μικρότερη πυκνότητα ( $2.7- 3.3 \text{ gr/cm}^3$ )
- Ωκεάνιος Φλοιός: Πάχος 8 – 10 Km και βασαλτικής σύστασης
- Ηπειρωτικός Φλοιός: Πάχος 20 – 60 Km. Ο παχύτερος φλοιός βρίσκεται κάτω από τις οροσειρές και ο λεπτότερος κάτω από τις πεδιάδες. Είναι γρανιτικής σύστασης στα επιφανειακότερα τμήματα και στα βαθύτερα κοντά στη Moho πλησιάζει τη σύσταση του γάβρου.

# Ωκεάνιος - ηπειρωτικός

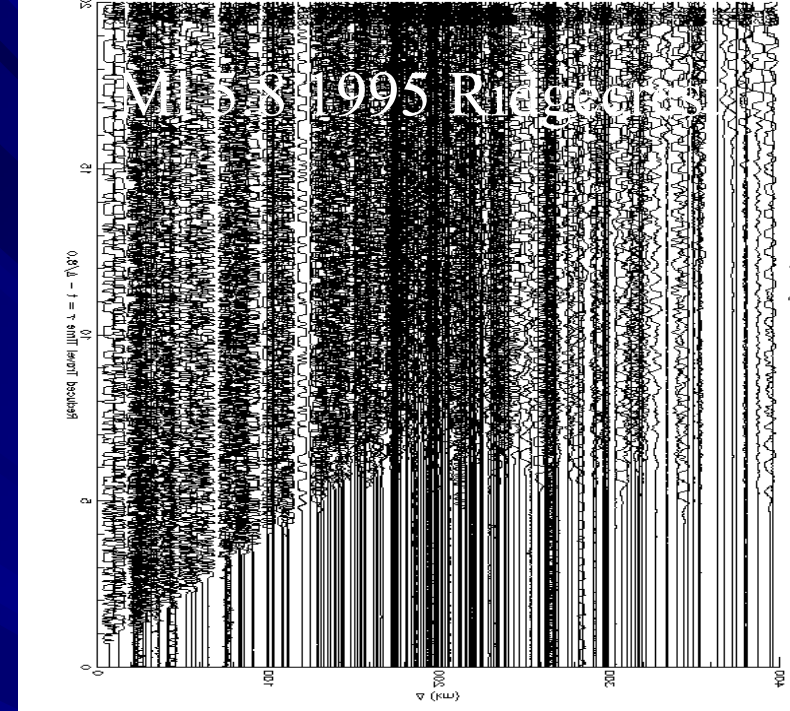


# Moho

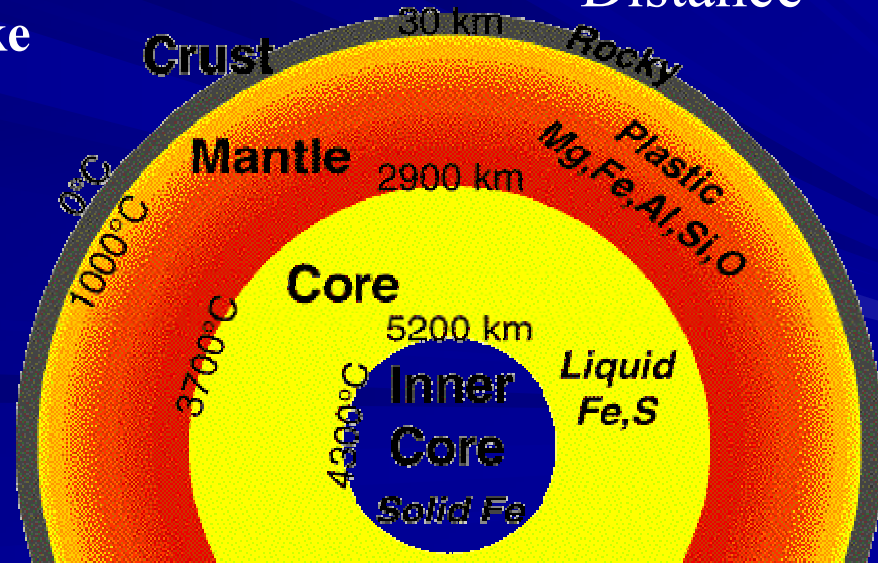
## Andrija Mohorovicic (1857-1936)

Pokuplje (Kupa Valley) earthquake  
of  
8 October 1909

Time



Distance



## – Το όριο φλοιού – μανδύα (crust-mantle boundary CMB)

- Διαφορετικοί χρόνοι άφιξης των επιφανειακών κυμάτων και των κυμάτων χώρου
  - Δεν είναι μια απλή γραμμική σχέση
  - “Κρίσιμη απόσταση” στα ~300 km
    - Μικρές αποστάσεις : Τα επιφανειακά κύματα φθάνουν πρώτα
    - Μεγάλες αποστάσεις: Τα κύματα χώρου φθάνουν πρώτα
- Απότομη αύξηση της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων
  - Το υλικό του μανδύα είναι κατά πολύ πυκνότερο από το υλικό του φλοιού

Andrija Mohorovicic

– Υπέθεσε μια ασυνέχεια (Moho)

# Μανδύας

- 82% του όγκου της Γης
- Αποτελείται από Fe, Mg-RICH SILICATES (3.2 – 5.0 gr/cm<sup>3</sup>)
- Οι ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων αυξάνουν απότομα στη Moho.
- Στο μανδύα οι ταχύτητες είναι αυτές που παρατηρούνται στο πέτρωμα περιδοτίτης, που αποτελείται από ολιβίνη, πυρόξενο και γρανάτες.

# Δομή του εσωτερικού της Γης - ΜΑΝΔΥΑΣ

## ● Δομή του μανδύα

- ~ 2,900 km πάχος

- ~ 80% του συνολικού όγκου της Γης

## ● Ταχύτητες σεισμικών κυμάτων

### ● Αύξηση στο όριο φλοιού/ μανδύα

- Χημικές αλλαγές οδηγούν σε ορυστά μεγαλύτερης πυκνότητας

### ● Ελάττωση στο όριο μανδύα /ασθενόσφαιρας

- Αρχίζει η πλαστιμότητα της ασθενόσφαιρας

### ● Αύξηση στο όριο ασθενόσφαιρας /μανδύα

- Τελειώνει η πλαστιμότητα της ασθενόσφαιρας

### ● Αύξηση στην ασυνέχεια των 660-km

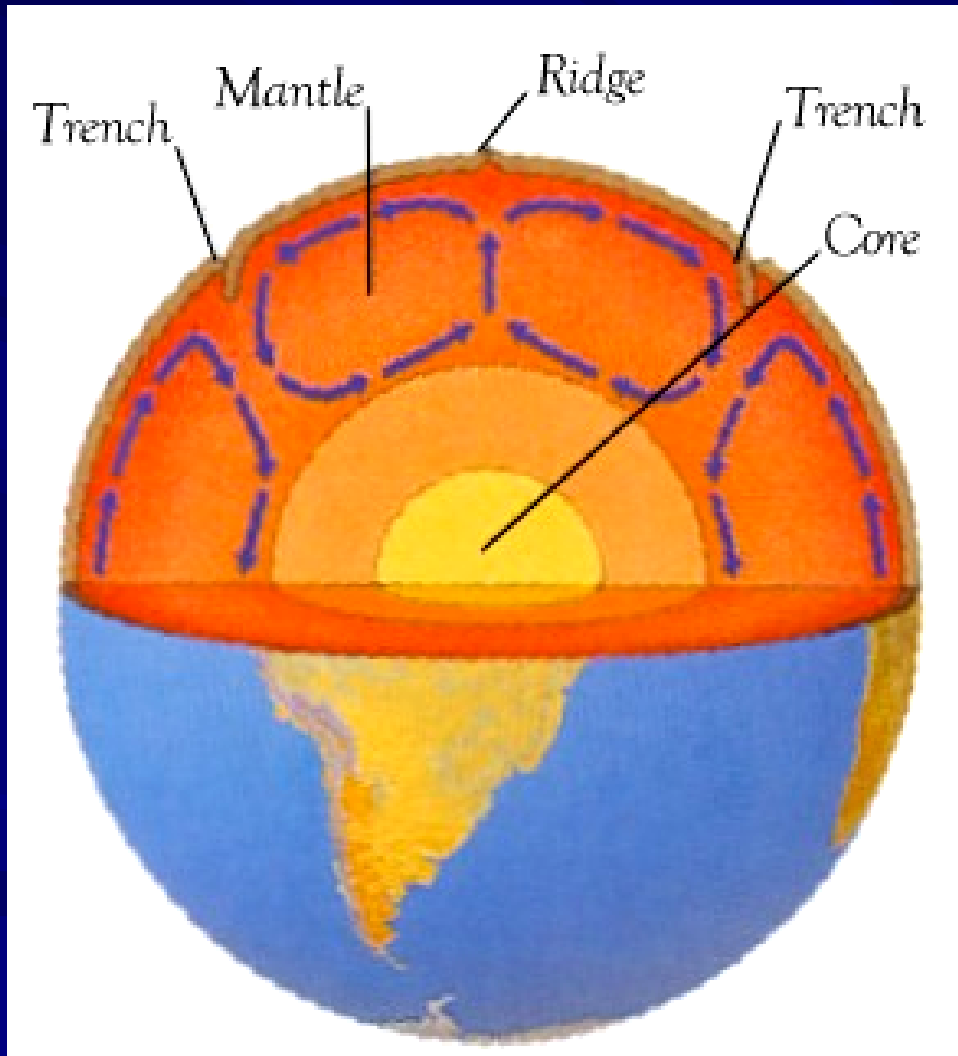
- Ανακρυστάλλωση υψηλής πίεσης οδηγεί σε ορυστά μεγαλύτερης πυκνότητας

# Ασυνέχεια Repetti

- Άνω μανδύας: 10 km - 300 km κάτω από την επιφάνεια της Γης, θερμοκρασία 1400°C - 3000°C, πυκνότητα 3.4g/cm<sup>3</sup> - 4.3g/cm<sup>3</sup>.
- Κατώτερος Μανδύας: 300 km - 2,890 km κάτω από την επιφάνεια της Γης, θερμοκρασία 3000°C, τα πετρώματα στερεά λόγω μεγάλης πίεσης. Σουλφίδια και οξείδια πυριτίου και μαγνησίου. Πυκνότητα: 4.3g/cm<sup>3</sup> - 5.4g/cm<sup>3</sup>.



# Μανδύας και Τεκτονική πλακών



# Πυρήνας

- ~ 7000 km σε ΔΙΑΜΕΤΡΟ
- Σε βάθος 2900 Km οι ταχύτητες των επιμήκων κυμάτων ελαττώνονται απότομα και ταυτόχρονα μηδενίζονται οι ταχύτητες των εγκαρσίων κυμάτων
  - Υποδηλώνει ότι ο εξωτερικός πυρήνας είναι σε υγρή κατάσταση.
- Σε βάθος ~4800 Km η ξαφνική αύξηση στην ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων
  - Υποδηλώνει την ύπαρξη του στερεού εσωτερικού πυρήνα. Ο πυρήνας έχει σύσταση συναφή με τον σίδηρο και μικρές ποσότητες νικελίου.

# Ασυνέχεια Lehman

## ■ Εξωτερικός Πυρήνας

- 2,890-5,150 km κάτω από την επιφάνεια της Γης
- Σίδηρο, νικέλιο
- Θερμοκρασία 4000-5000°C
- Πυκνότητα 10g/cm<sup>3</sup> -12,3g/cm<sup>3</sup>.

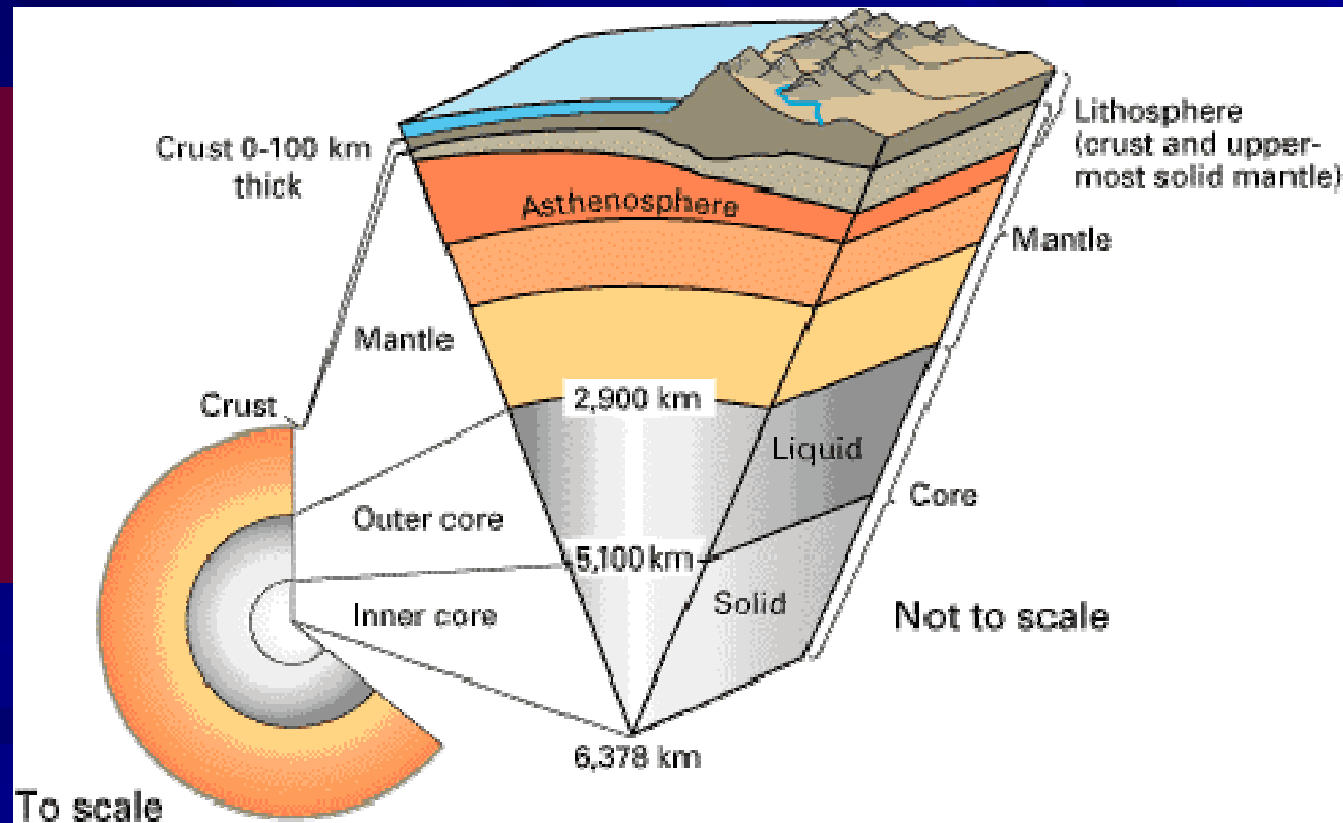
## ■ Εσωτερικός Πυρήνας:

- 5,150-6,370 km κάτω από την επιφάνεια της Γης
- Σίδηρο, νικέλιο
- Θερμοκρασία 5000-6000 °C.
- Λόγω της υψηλής πίεσης είναι στερεός
- Μέση πυκνότητα 15g/cm<sup>3</sup>.

## ■ Ο πυρήνας προκαλεί το μαγνητικό πεδίο της Γης

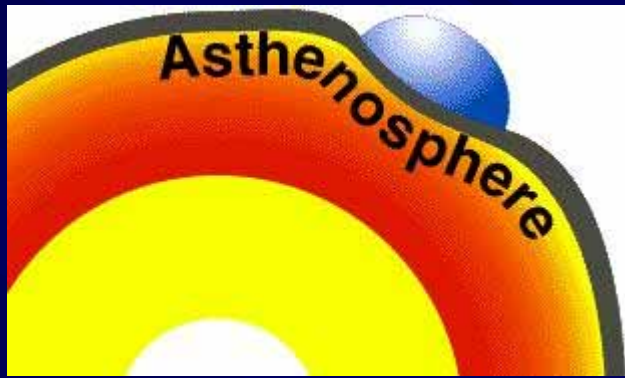
# ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΗΣ ΓΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ

- Λιθόσφαιρα
- Ασθενόσφαιρα
- Μεσόσφαιρα
- Πυρήνας



# Λιθόσφαιρα

- **Ανώτερα 100 km**
  - (Φλοιός και τμήμα του άνω μανδύα)
- **Σε βάθος 100 km εμφανίζεται απότομη μείωση στις ταχύτητες και των επιμήκων και των εγκαρσίων κυμάτων.**
  - Αυτή η ασυνέχεια καθορίζει τη βάση της λιθόσφαιρας και το πάνω όριο της ασθενόσφαιρας.
  - Η λιθόσφαιρα είναι εύθραυστη – αποτελεί τμήμα των λιθοσφαιρικών πλακών, και έχει τη δυνατότητα να κινείται πάνω στην πλαστική ασθενόσφαιρα (μηχανικό ανάλογο: πάγος σε νερό).



# Ασθενόσφαιρα

- 100 έως 700 km- Ζώνη όπου η θερμοκρασία και η πίεση έχουν τέτοιες τιμές έτσι ώστε τα πετρώματα να συμπεριφέρονται ως πλαστικά, να μην παραμορφώνονται, με αποτέλεσμα η ασθενόσφαιρα να συμπεριφέρεται ως παχύρρευστο υλικό.
- Στο πάνω όριο της ασθενόσφαιρας υπάρχει μια Ζώνη Χαμηλής Ταχύτητας των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων. Θεωρείται ότι αυτή η μείωση των ταχυτήτων προκαλείται από θερμοκρασίες που πλησιάζουν το σημείο μερικής τήξης του μανδύα, και έτσι ο μανδύας σε αυτά τα βάθη συμπεριφέρεται πλαστικά, δηλαδή έχει τη δυνατότητα να συσσωρεύει τάσεις παραμόρφωσης.

# Ασθενόσφαιρα: **Ασυνέχεια των 400 km**

- Σε βάθος 400 Km εμφανίζεται απότομη αύξηση της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων, και αυτό το όριο είναι γνωστό ως η **ασυνέχεια των 400 Km**.
  - Από εργαστηριακά πειράματα σε πετρώματα που προέρχονται από το μανδύα φάνηκε ότι η θερμοκρασία και η πίεση είναι τέτοια σε αυτά τα βάθη έτσι ώστε να γίνεται πολυμορφική μεταβολή της φάσης, που προκαλεί και αλλαγή της κρυσταλλικής δομής του ολιβίνη, ο οποίος αποτελεί ένα από τα συνηθέστερα ορυκτά του μανδύα.

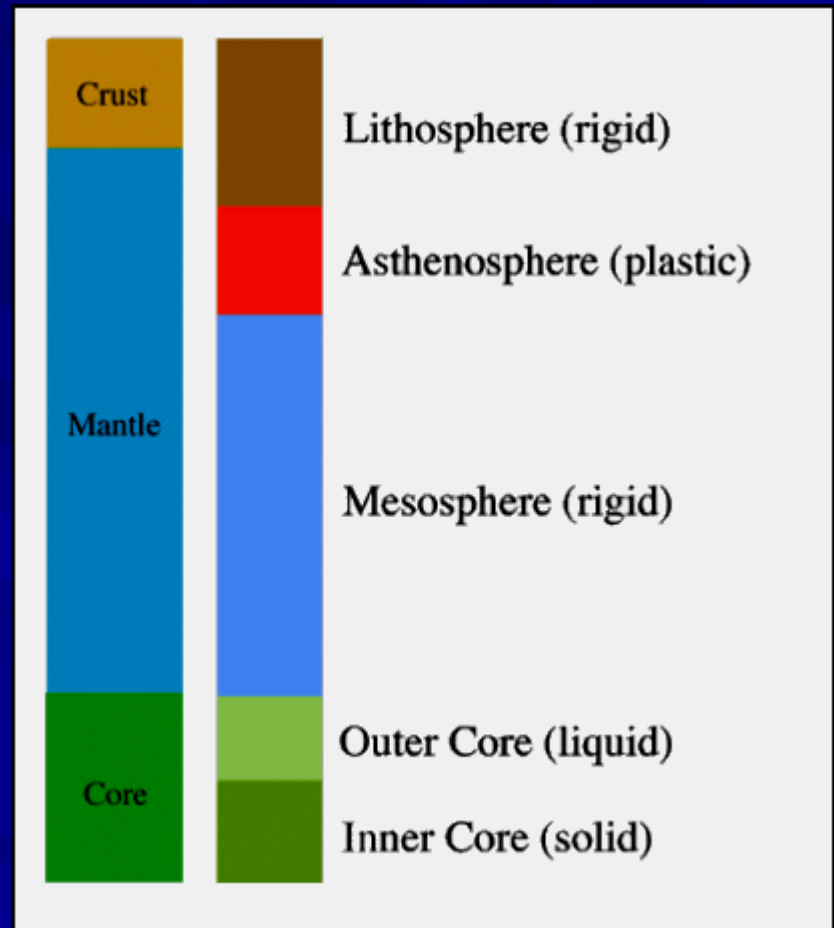
# Ασθενόσφαιρα: **Ασυνέχεια των 670 km**

- Σε βάθος 670 Km εμφανίζεται άλλη μια απότομη αύξηση της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων, και αυτό το όριο είναι γνωστό ως η ασυνέχεια των 670 Km.
  - Προς το παρόν δεν είναι σαφές αν αυτή η ασυνέχεια προκαλείται από μεταβολή της φάσης των ορυκτών ή από αλλαγή της σύστασης των υλικών του μανδύα ή και τα δυο.



# Μεσόσφαιρα

■ 700 έως 2900 Km



# Πυρήνας

## ■ Εξωτερικός Πυρήνας

– 2900 έως 5100 km:  
**ΥΓΡΟ**

## ■ Εσωτερικός Πυρήνας

– 5100 έως 6400 km:  
**ΣΤΕΡΕΟ**

