

## Ο πλανήτης μας είναι όμορφος και έχει ζωή λόγω των ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ



### ΟΡΙΣΜΟΙ

- Η **Γεωδυναμική** μελετά τις κινήσεις των **λιθοσφαιρικών πλακών** καθώς και τα αίτια που τις προκαλούν.
- Οι κινήσεις αυτές συνήθως περιγράφονται με τον όρο **τεκτονικές κινήσεις** και διακρίνονται σε **οριζόντιες και κατακόρυφες**. Αν και ο χωρισμός αυτός είναι κυρίως συμβατικός, μια και πολλές τεκτονικές κινήσεις αποτελούν συνδυασμό οριζοντίων και κατακόρυφων κινήσεων, παραμένει επίκαιρος αφού τα δύο είδη κινήσεων βρίσκονται σε άμεση συσχέτιση με τα μοντέλα που αφορούν τα αίτια που τις προκαλούν.
  - Παλαιότερα, οι περισσότεροι γεω-επιστήμονες πίστευαν ότι οι κατακόρυφες κινήσεις είναι επικρατέστερες, ενώ οριζόντιες κινήσεις δεν γίνονται σε μεγάλη κλίμακα αλλά μόνο τοπικά πάνω σε ορισμένα ρήγματα ή κατά την πτυχωση των ιζημάτων.
  - Αυτό εξηγείται, γιατί οι κατακόρυφες κινήσεις διαπιστώνονται σχετικά εύκολα στην ύπαιθρο από τους γεωλόγους με απευθείας παρατηρήσεις, μετριούνται με ικανοποιητική ακρίβεια και τα αίτιά τους είναι γνωστά.
  - Αντίθετα, οι οριζόντιες κινήσεις διαπιστώνονταν στο παρελθόν (μέχρι περίπου τις αρχές του 20ου αιώνα) και υπολογίζονταν κυρίως με έμμεσες μεθόδους και λιγότερο με απ' ευθείας παρατηρήσεις
- Τα εργαλεία μελέτης περιλαμβάνουν:
  - Γεωμαγνητισμό
  - Παραμόρφωση του φλοιού
  - Αλλαγές του Τοπογραφικού ανάγλυφου
  - Γεωλογία
  - Γεωφυσική

**ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΠΟΥ ΟΔΗΓΗΣΑΝ ΣΤΗΝ  
ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΩΝ  
ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ**

**2 ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ > 1 ΘΕΩΡΙΑ**

- **Υπόθεση της Μετάθεσης των ηπείρων**
- **Continental Drift**
  - Alfred Wegener, 1912
  
- **Υπόθεση της Επέκτασης του θαλάσσιου πυθμένα**
- **Sea floor spreading**
  - H. Hess & R. Dietz, 1962
  
- **Θεωρία των Λιθοσφαιρικών Πλακών**
- **Plate tectonics**
  - T. Wilson, 1965
  - McKenzie & Parker, 1967
  - J. Morgan, 1968
  - X. Le Pichon, 1968

## ΥΠΟΘΕΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΗΠΕΙΡΩΝ WEGENER 1912



200 million years ago all of the present-day continents combined to form a single supercontinent called Pangaea.



**Wegener 1912**

- Η μετάθεση των ηπείρων προτάθηκε αρχικά από τον Alfred Wegener, Γερμανό μετεωρολόγο, το 1912 - 1915.
- Ο Wegener χρησιμοποίησε
  - την κατανομή των απολιθωμάτων
  - τη συναρμογή των ηπείρων
  - την παρόμοια στρωματογραφία σε πολυάριθμες θέσεις
  - τις παλαιο-κλιματικές συνθήκες
  - τη φαινόμενη μετάθεση των πόλων
- για να υποθέσει ότι οι σημερινές ήπειροι κάποτε ήταν τμήματα μιας ενιαίας ηπείρου, που ονομαζόταν **Παγγαία**.

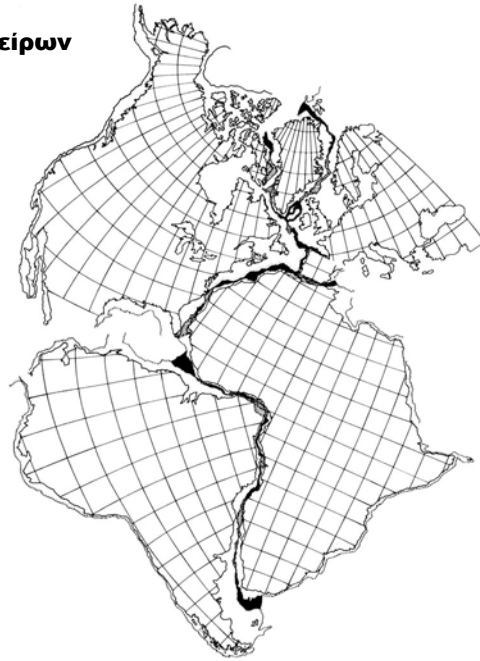
5

## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΣΥΝΗΓΟΡΟΥΝ ΥΠΕΡ ΤΗΣ ΜΕΤΑΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΗΠΕΙΡΩΝ

- συναρμογή των ηπείρων
- κατανομή των απολιθωμάτων
- παρόμοια στρωματογραφία σε πολυάριθμες θέσεις
- φαινόμενη μετάθεση των πόλων
- παλαιο-κλιματικές συνθήκες

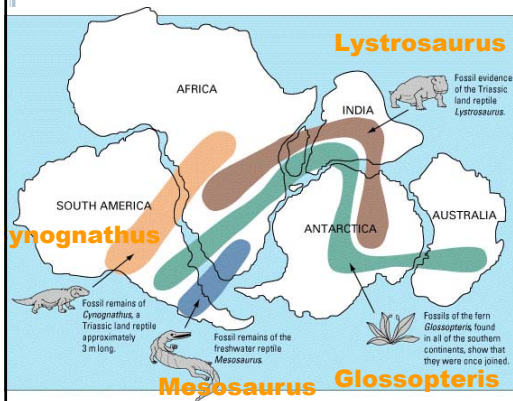
6

## συναρμογή των ηπείρων



7

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΩΝ

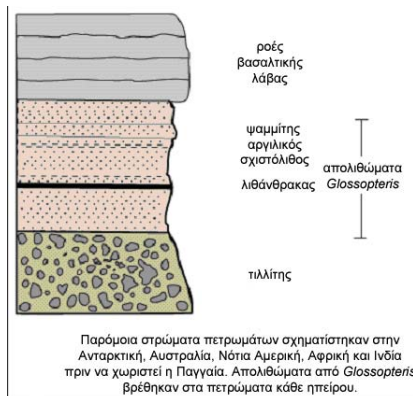


- Απολιθώματα του ίδιου είδους βρέθηκαν σε διαφορετικές ηπείρους τις οποίες σήμερα χωρίζουν ωκεανοί.
  - Ο Wegener πρότεινε ότι τα είδη διασκορπίστηκαν όταν οι ήπειροι ήταν ενωμένες και αργότερα μεταφέρθηκαν στις σημερινές τους θέσεις καθώς οι ήπειροι μετατέθηκαν.
- Για παράδειγμα το γένος **Glossopteris**, ένα είδος φτέρης, βρέθηκε στις ηπείρους της Νότιας Αμερικής, Αφρικής, Ινδίας και Αυστραλίας.
  - Αν οι ήπειροι συνενωθούν ξανά, στην Παγγαία, η κατανομή του γένους Glossopteris, υπολογίζεται σε μία πολύ μικρότερη γεωγραφική περιοχή.
  - Η κατανομή των άλλων ειδών μπορεί επίσης να υπολογιστεί, από αρχική εξαπλώση κατά μήκος της Παγγαίας, τη μετέπειτα διάρρηξη της ενιαίας αυτής ηπείρου και τη μετακίνηση των ηπείρων στην σημερινή τους θέση.

8

## Παρόμοια στρωματογραφία σε πολυάριθμες θέσεις

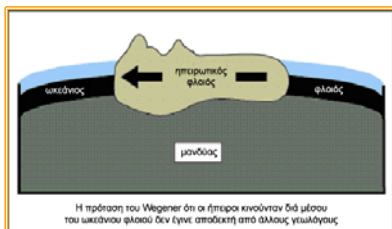
- Οι αλληλουχίες των πετρωμάτων στη **Νότια Αμερική, Αφρική, Ινδία, Ανταρκτική και Αυστραλία**, παρουσιάζουν αξιοσημείωτες ομοιότητες.
- Ο Wegener απέδειξε ότι τρία όμοια στρώματα συναντώνται σε κάθε μία από αυτές τις περιοχές.
  - Το κατώτερο στρώμα (παιλιότερο) ονομάζεται **πιλλίτης** και πιστεύεται ότι είναι ένα ίζημα που αποτελεί προϊόν παγετώνα.
  - Το ενδιάμεσο στρώμα αποτελείται από **ψαμμίτες, σχιστόλιθους και στρώματα άνθρακα**. Τα απολιθώματα του γένους *Glossopteris*, βρίσκονται στα κατώτερα και ενδιάμεσα στρώματα.
  - Το ανώτερο στρώμα (νεότερο) αποτελείται από **ροές λάβας**.
- Τα τρία αυτά όμοια στρώματα έχουν την ίδια διάταξη, σε περιοχές που όμως σήμερα χωρίζονται από μεγάλες αποστάσεις. Ο Wegener πρότεινε ότι τα στρώματα των πετρωμάτων δημιουργήθηκαν όταν όλοι οι ήπειροι ήταν μέρος της Παγγαίας. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν σε μία μικρότερη γειτονική περιοχή που αργότερα διασπάστηκε και μετατέθηκε χωριστά.



9

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ WEGENER ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΗΠΕΙΡΩΝ

- Το μεγαλύτερο μειονέκτημα τουλάχιστον για τους Αμερικανούς γεωλόγους ήταν η **έλλειψη κάποιου ικανοποιητικού μηχανισμού που να μετακινεί τις ηπείρους**.
  - Ο Wegener πρότεινε ότι η κεντρομόλος δύναμη λόγω της περιστροφής της γης προκάλεσε την **κίνηση των ηπείρων που προχώρησαν αργά διαμέσου της ωκεάνιας πλάκας και δημιούργησαν βουνά στις άκρες τους**.
  - Jeffreys-Bowie έδειξαν ποσοτικά ότι η φυγόκεντρη δύναμη δεν επαρκεί για να κινήσει τις ηπείρους πάνω στο στερεό ωκεάνιο φλοιό, κυρίως λόγω των δυνάμεων τριβής.
  - Η εργασία του Wegener αποδοκιμάστηκε σε μεγάλο βαθμό στο βόρειο ημισφαίριο.
  - Στο νότιο ημισφαίριο όπου οι γεωλόγοι έχουν εξοικειωθεί με τα πετρώματα που χρησιμοποίησε ο Wegener για να στηρίξει την υπόθεσή του, η μετάθεση των ηπείρων έγινε γενικά αποδεκτή.



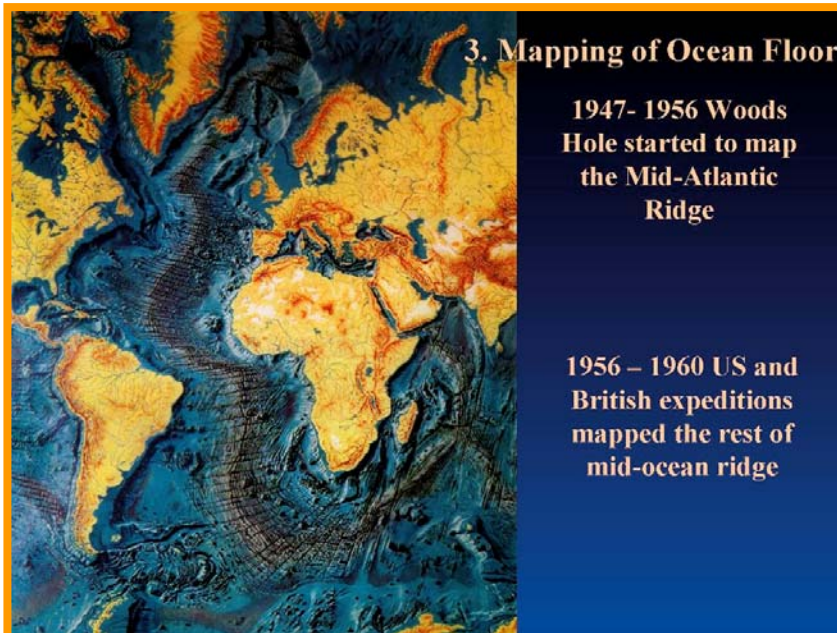
10

## ΑΝΑΒΙΩΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΗΠΕΙΡΩΝ

- Κατά τη διάρκεια του 1940 και 1950, έγιναν σημαντικές πρόοδοι στη γνώση μας για το θαλάσσιο πυθμένα και τις μαγνητικές ιδιότητες των πετρωμάτων.
  - Τα δύο αυτά πεδία μελέτης εξασφάλισαν νέες αποδείξεις για να υποστηρίξουν τη μετάθεση των ηπείρων.
  - Οι γεωλόγοι γνώριζαν για περισσότερο από έναν αιώνα την ύπαρξη μιας ράχης στο μέσο του Ατλαντικού ωκεανού. Αυτή η μέσο-ατλαντική ράχη έχει ύψος ~2000 μέτρα πάνω από τον παρακείμενο ωκεάνιο πυθμένα, ο οποίος βρίσκεται σε βάθος περίπου 6000 μέτρα κάτω από το επίπεδο της θάλασσας.
- Οι μεσοωκεάνιες ράχες και οι τεκτονικές τάφροι εκτείνονται σε περισσότερα από 60,000 χιλιόμετρα στο σύνολο των ωκεανών της Γης.

11

## ΜΕΤΑΠΟΛΕΜΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

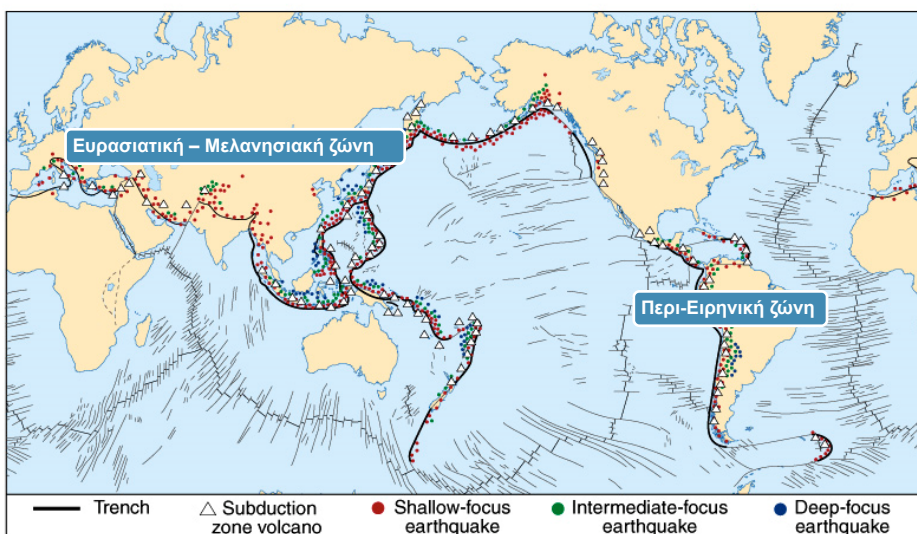


12

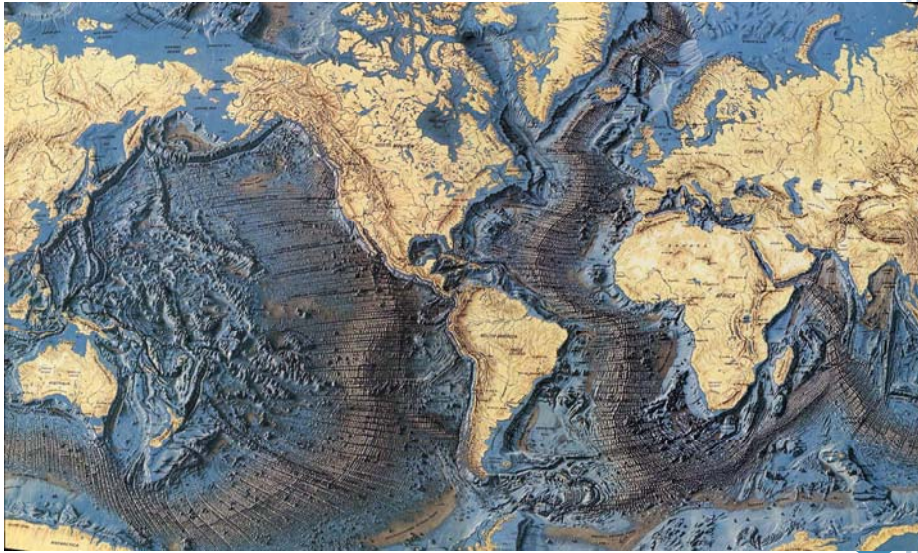
### 3.2 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ

- Ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης
- Ωκεάνιο σύστημα διάρρηξης (σύστημα μεσωκεάνιων ραχών)
- Θερμές κηλίδες

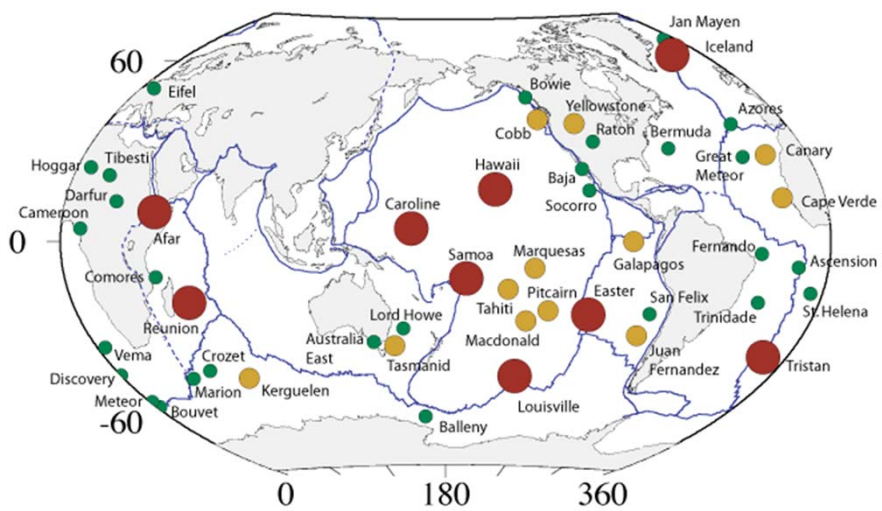
### Ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης



## Ωκεάνιο σύστημα διάρρηξης



## ΘΕΡΜΕΣ ΚΗΛΙΔΕΣ





## ΘΕΡΜΕΣ ΚΗΛΙΔΕΣ

- Οι θερμές κηλίδες (hot spots) είναι ανώμαλες εξάρσεις της επιφάνειας της Γης όπου παρατηρείται ενεργή ηφαιστειακή δράση, η οποία δεν συνδέεται άμεσα με την τεκτονική των λιθοσφαιρικών πλακών. Η ηφαιστειακή δράση των περισσότερων θερμών κηλίδων παρατηρείται διάσπαρτα κατανεμημένη.
- Οι διασημότερες θερμές κηλίδες αντιστοιχούν σε απομονωμένα ηφαιστειακά νησιά, μακριά από μεσωκεάνιες ράχες όπως η **Χαβάη**, η **Ρεουνιόν**, οι **Αζόρες**, τα **Κανάρια**, οι **Βερμούδες**, κ.λπ.
- Σε ορισμένες περιπτώσεις οι θερμές κηλίδες βρίσκονται πάνω ή πολύ κοντά σε μεσωκεάνιες ράχες, όπως η **Ισλανδία**, τα **Γκαλαπάγκος**, η **Αγ. Ελένη** ή ακόμα και μέσα σε ηπείρους, π.χ. η περιοχή του **Γέλοουστοουν (Yellowstone)** στη **Β. Αμερική** και του **Αφάρ (Afar)** στην **Α. Αφρική**.

17

## ΘΕΡΜΕΣ ΚΗΛΙΔΕΣ

Οι περισσότερες από τις θερμές κηλίδες παρουσιάζουν **τοπογραφικές ανυψώσεις, με σχετικά ύψη τα οποία φτάνουν έως και 3km.**

Τα ηφαιστειακά πετρώματα των θερμών κηλίδων έχουν κυρίως βασαλτική σύσταση που γενικά μοιάζει με τη σύσταση του βασαλτικού υλικού στις μεσωκεάνιες ράχες αλλά παρουσιάζουν και σημαντικές γεωχημικές και ισοτοπικές διαφορές.

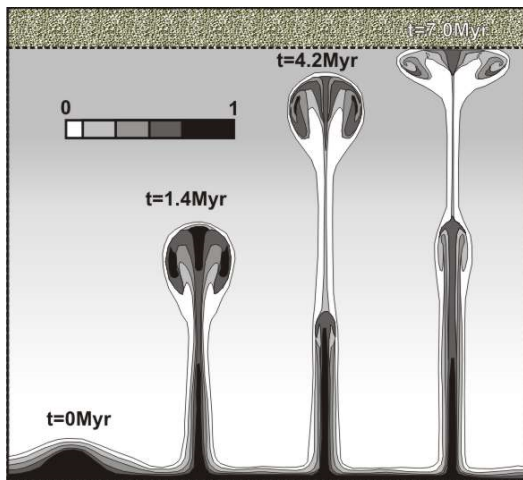
Ειδικά οι **βασάλτες των απομονωμένων νησιωτικών θερμών κηλίδων (Ocean Island Basalts ή OIB)**, οι οποίες διαπερνούν εύκολα το λεπτό ωκεάνιο φλοιό, παρουσιάζουν πολύπλοκο και διαφορετικό γεωχημισμό

από ότι οι **βασάλτες μεσωκεάνιων ραχών (MORB)**, αφού δεν εμφανίζουν την έλλειψη K, Rb, U και Th που παρουσιάζουν τα MORB που προέρχονται από την τήξη περιδοιτικού μανδύα.



**Old Faithful Geyser  
Yellowstone, USA  
Wyoming, Idaho, Montana**

18

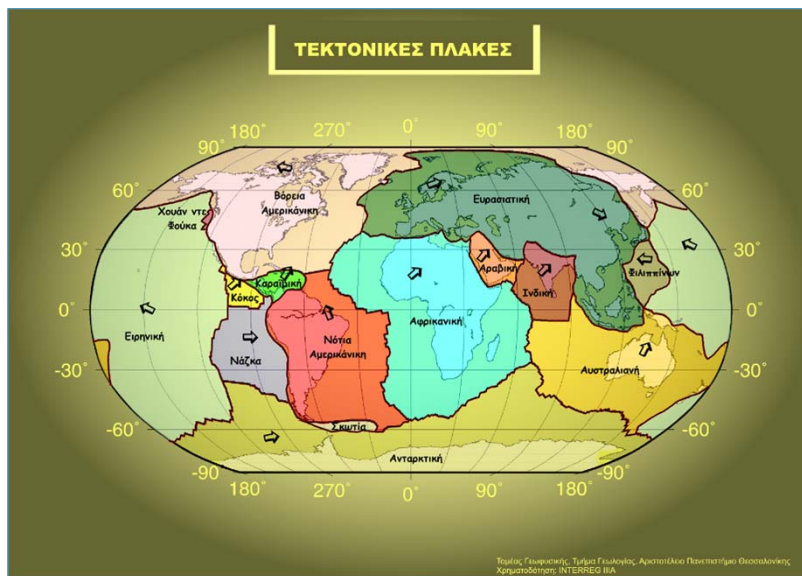


**Οι θερμές κηλίδες οφείλονται σε κατακόρυφους ανοδικούς θύλακες (mantle plumes) οι οποίοι έχουν περίπου κυλινδρικό σχήμα και πηγάζουν από το κατώτερο μέρος του μανδύα και πιθανώς από την περιοχή D''**

Τυπική μορφή και χρονική εξέλιξη ενός ανερχόμενου θύλακα (plume) ο οποίος δημιουργείται λόγω μεταβολής του ιξώδους από έντονη επίδραση θερμοκρασίας και πίεσης. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί σε σχετική μεταβολή της θερμοκρασίας στον θύλακα, το ανώτερο στρώμα δείχνει την περιοχή που είναι αδιαπέρατη από το θύλακα (π.χ. ανθεκτική ηπειρωτική λιθόσφαιρα).

19

### 3.4 Η θεωρία των Λιθοσφαιρικών πλάκων



20

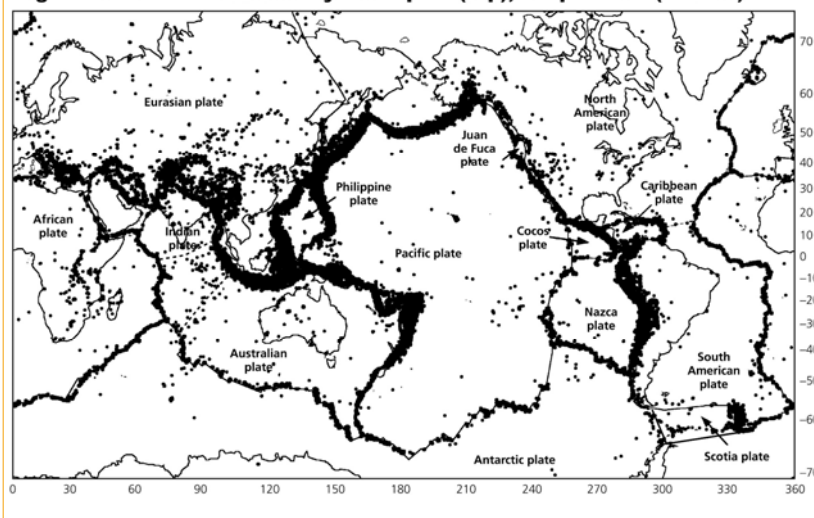
## ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

- Από την ελληνική λέξη τέκτων (κτίζω)
- Είναι η θεωρία που αναπτύχθηκε για να ερμηνεύσει τις παρατηρήσεις για τις, μεγάλης κλίμακας, κινήσεις τμημάτων της λιθόσφαιρας της Γης
- Το εξωτερικό κάλυμμα της Γης αποτελείται από 15 συμπαγείς «πλάκες», πάχους ~ 100 km, οι οποίες κινούνται η μια σε σχέση με την άλλη.
- Οι πλάκες είναι συμπαγείς έτσι ώστε να μην παραμορφώνονται στο εσωτερικό τους, και όλη η παραμόρφωση να συμβαίνει στα όρια αυτών, με αποτέλεσμα στα όρια αυτά να συμβαίνουν σεισμοί, να γίνεται ορογένεση, να εμφανίζεται ηφαιστειότητα και άλλα εντυπωσιακά φαινόμενα.
- Αυτές οι ανθεκτικές συμπαγείς πλάκες αποτελούν τη λιθόσφαιρα της Γης, και κινούνται πάνω στην ασθενέστερη Ασθενόσφαιρα.

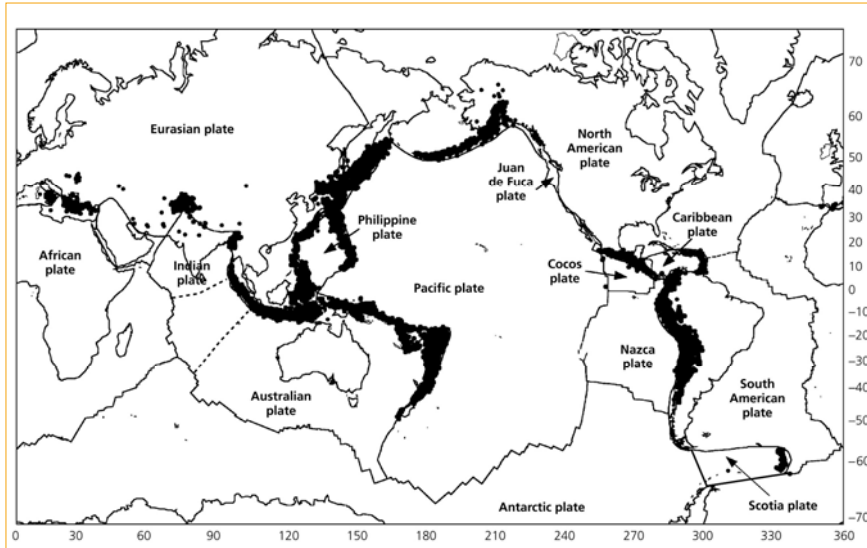
## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΣΥΝΗΓΟΡΟΥΝ ΓΙΑ ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ ΠΛΑΚΕΣ

### A. ΣΕΙΣΜΟΙ ΜΟΝΟ ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

Figure 5.1-4: Global seismicity: all depths (top), deep events (bottom).



## Β. ΣΕΙΣΜΟΙ ΒΑΘΟΥΣ ΜΟΝΟ ΣΕ ΖΩΝΕΣ ΚΑΤΑΔΥΣΗΣ



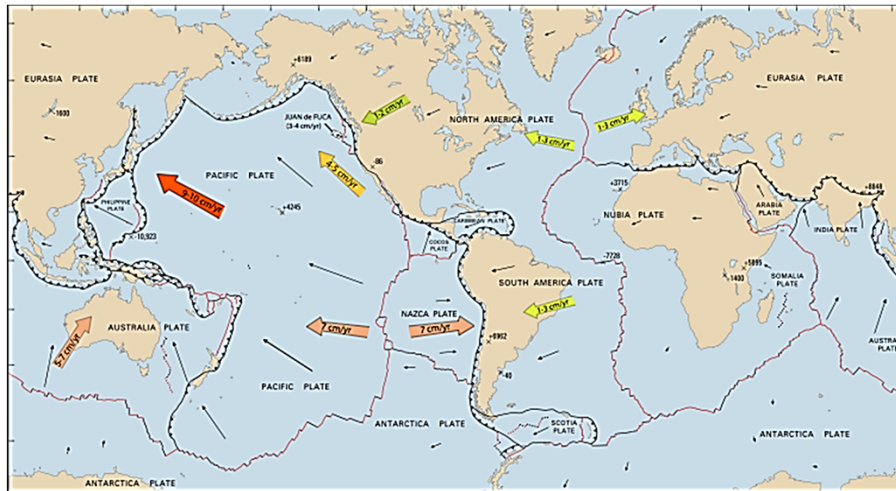
## Γ. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΗΦΑΙΣΤΕΙΩΝ ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ «ΤΟ ΔΑΧΤΥΛΙΔΙ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ»



- Ένα καλό παράδειγμα είναι η σειρά των ηφαιστείων που κυκλώνουν το μεγαλύτερο μέρος του Ειρηνικού ωκεανού.
- Αυτή η ζώνη είναι γνωστή ως «δακτυλίδι της φωτιάς» γιατί είναι περιοχή με τις συχνότερες εκρήξεις.

## ΠΟΣΟ ΓΡΗΓΟΡΑ ΚΙΝΟΥΝΤΑΙ?

**Plates move 1-10 centimeters per year (≈ rate of fingernail growth).**



## ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ –ΒΑΣΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ (I)

- Η θεωρία βασίζεται στη διαφορετική ρεολογία της λιθόσφαιρας σε σχέση με την ασθενόσφαιρα.
  - Η λιθόσφαιρα είναι ψυχρότερη και ανθεκτικότερη.
  - Η ασθενόσφαιρα, αν και βρίσκεται σε στερεά κατάσταση, είναι θερμότερη, έχει χαμηλότερο ιξώδες, είναι μηχανικά ασθενέστερη και μπορεί να ρέει σε βάθος γεωλογικού χρόνου.
  - Η ασθενόσφαιρα μπορεί να μεταδίδει θερμότητα με μεταφορά και έτσι επιτρέπει τη δημιουργία των ρευμάτων μεταφοράς. Ο βαθύτερος μανδύας κάτω από την ασθενόσφαιρα είναι πάλι πιο στερεός λόγω υψηλότερων πιέσεων.
- Η λιθόσφαιρα είναι κατακερματισμένη σε ένα αριθμό μεγάλων πλακών οι οποίες κινούνται σχετικά μεταξύ τους δημιουργώντας τρία είδη ορίων.
- ΟΡΙΑ: Συγκλίνοντα όρια - Αποκλίνοντα όρια - Ρηγμάτων μετασχηματισμού
- Τυπικές ταχύτητες σχετικής κίνησης των πλακών 0.65 - 8.50 εκ/έτος.

## ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ –ΒΑΣΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ (II)

- Οι λιθοσφαιρικές πλάκες έχουν πάχος ~ 100 km και αποτελούνται στο κατώτερο τμήμα τους από υλικό του ανώτερου μανδύα πάνω στον οποίο βρίσκεται ο φλοιός (είτε ωκεάνιος είτε ηπειρωτικός).
- Μια λιθοσφαιρική πλάκα μπορεί να έχει και ηπειρωτικό φλοιό σε κάποια τμήματα και ωκεάνιο φλοιό σε κάποια άλλα τμήματα. Ο ωκεάνιος φλοιός είναι πυκνότερος και βαρύτερος και για το λόγο αυτό συνήθως βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Σε αντίθεση ο ηπειρωτικός φλοιός, λόγω ισοστασίας, βρίσκεται πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.
- Επειδή ο σχετικά μικρότερης πυκνότητας ηπειρωτικός φλοιός δεν καταδύεται, οι ήπειροι αναπτύσσονται για περισσότερα από τα 200 εκατομμύρια έτη, που είναι η ηλικία του παλαιότερου ωκεάνιου φλοιού.
- Σχετικές ταχύτητες κίνησης - παραδείγματα
  - Μερικά χιλ/ έτος ως μερικά εκ/έτος
  - [Mid-Atlantic Ridge](#) 10-40 mm/yr (με την ταχύτητα που μεγαλώνουν τα νύχια μας)
  - [Nazca Plate](#) 160 mm/yr (με την ταχύτητα που μακραίνουν τα μαλλιά μας)

## ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ –ΒΑΣΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ (III)

### ΤΥΠΙΚΑ ΟΡΙΑ

- **Αποκλίνοντα όρια – όρια επαύξησης = (μεσοωκεάνιες ράχες)**
  - **Παράδειγμα:** Mid-Atlantic Ridge και ενεργές ζώνες ηπειρωτικής διάρρηξης Παράδειγμα: Africa's [Great Rift Valley](#)
- **Συγκλίνοντα όρια ή ενεργά όρια.**
  - Σύγκλιση και δημιουργία ζώνης κατάδυσης ή
  - Σύγκλιση δυο ηπειρωτικών πλακών και ορογένεση, πχ Ιμαλάια.
- **Όρια ρηγμάτων μετασχηματισμού:** Οι δυο πλάκες κινούνται εφαπτομενικά κατά μήκος των ρηγμάτων μετασχηματισμού.
  - Αριστερόστροφα ή δεξιόστροφα ρήγματα.
  - Παράδειγμα: [San Andreas Fault](#) , Ρήγμα Β. Ανατολίας

## PLATE BOUNDARIES

- **Oceanic Domain**
  - Mid-ocean ridges
  - Trenches
  - Strike-slip faults
- **Continental Domain**
  - Rifts
  - Collision zones
  - Transcurrent faults

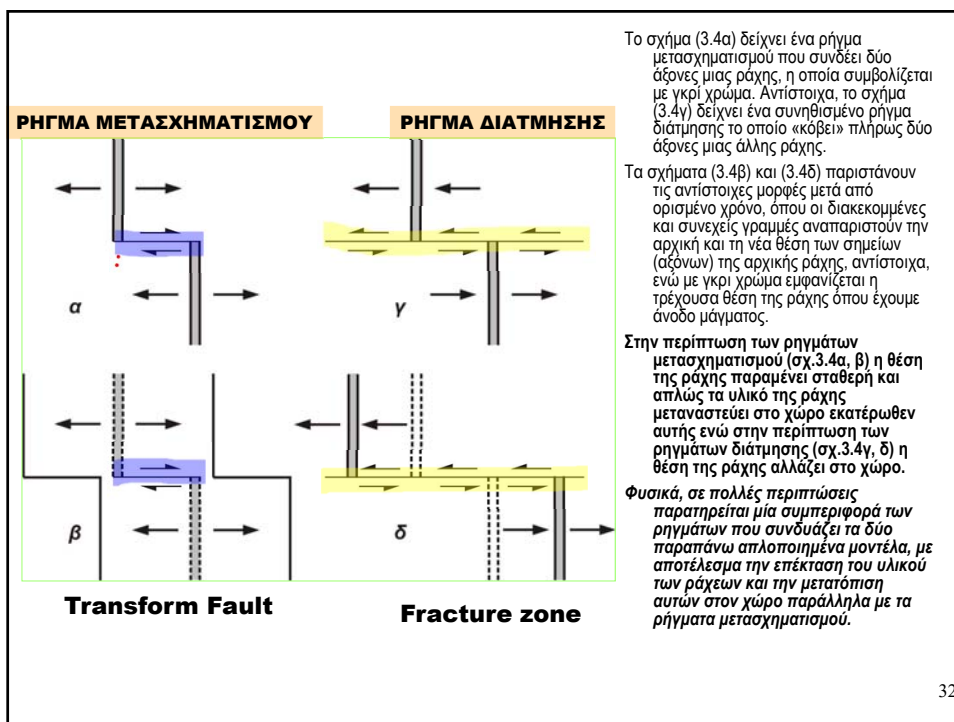
29

## 3.5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΩΝ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

30

## Μεσο-ωκεάνιες ράχες - Mid-ocean ridges

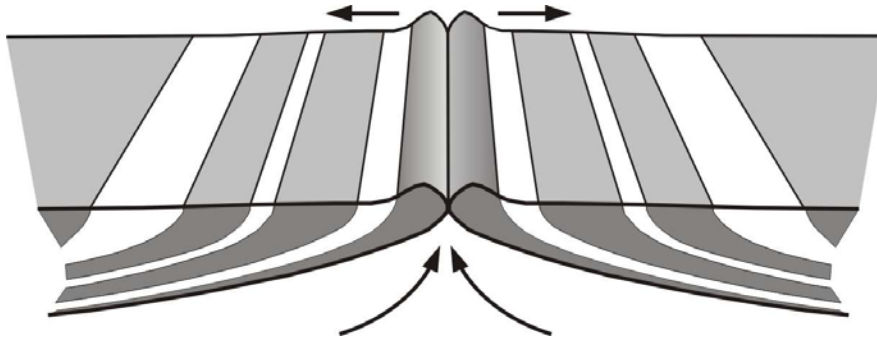
1. Εξάρσεις του ωκεάνιου φλοιού με ύψη συνήθως μικρότερα από 3km.
2. Σε πολλά μέρη στο σύστημα διασχίζει και τμήματα ξηράς
3. Οι ράχες τέμνονται κάθετα από ρήγματα που λέγονται **ημι-διατμητικά ή ρήγματα μετασχηματισμού**.
4. Πετρώματα: Έχουν προέρθει κυρίως από **λάβες και αποτελούνται από ολιβίνη-βασάλτη (MORB)**
5. Στις κορυφές των ράχων δεν υπάρχουν καθόλου ιζήματα
6. Στην Ατλαντική μεσο-ωκεάνια ράχη παρατηρείται ενεργή ηφαιστειακή δράση.
7. Οι σεισμοί στις ράχες είναι μικρού εστιακού βάθους <sup>31</sup>



32



## Μαγνητικές ραβδώσεις



33

### Ιδιότητες Μεσωκεάνιων ράχων

Cross-section

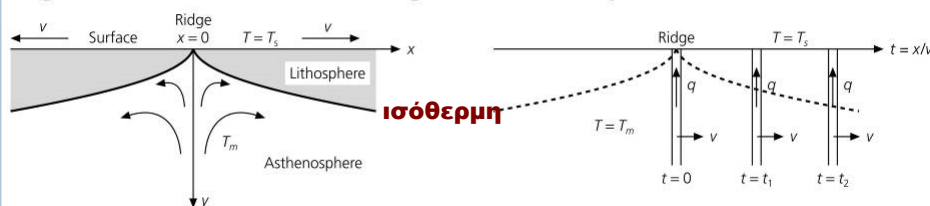
Divergent plate boundary

Map view

- Στις μεσωκεάνιες ράχες το θερμό υλικό που ανεβαίνει από την ασθενόσφαιρα καλύπτει το κενό που αφήνουν οι αποκλίνουσες λιθοσφαιρικές πλάκες και καθώς το υλικό ψύχεται γίνεται μέρος των δύο αποκλίνουσών ωκεάνιων πλακών. Το υλικό που ανέρχεται έχει υποστεί **μερική τήξη**, τόσο λόγω της ανόδου των ισόθερμων όσο και λόγω της απότομης μείωσης της πίεσης η οποία μειώνει σημαντικά το σημείο τήξης του λερζολιθικού μανδύα. Κατά συνέπεια οι μεσωκεάνιες ράχες είναι περιοχές **επαύξησης (accretion)** των ωκεάνιων λιθοσφαιρικών πλακών. Όπως προκύπτει και από το όνομα τους οι μεσωκεάνιες ράχες είναι ανυψωμένες δομές (μέχρι ~ 3km από τον πυθμένα του ωκεανού).
- Η τοπογραφική τους ανύψωση οφείλεται στο ότι η δημιουργούμενη λιθόσφαιρα κοντά στην κορυφογραμμή της ράχης είναι λεπτή, θερμότερη από τη γειτονική της λιθόσφαιρα και έχει μικρότερη πυκνότητα. Η ανυψωμένη ράχη ασκεί, λόγω του μεγάλου βάρους της (υλικό ύψους ~3km και οριζοντίων διαστάσεων έως και εκατοντάδων χιλιομέτρων), σημαντική **απωθητική δύναμη** στις δύο αποκλίνουσες λιθοσφαιρικές πλάκες, φαινόμενο που είναι γνωστό ως **βαρυτική ολίσθηση (gravitational sliding)**. Η δύναμη αυτή αποτελεί μία από τις βασικές αιτίες κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών.

## Πάχυνση και ψύξη της ωκεάνιας λιθόσφαιρας καθώς απομακρύνεται από τη μεσο-ωκεάνια ράχη

**Figure 5.3-4: Model for the cooling of the oceanic plate.**



■ **το βάθος, Z (σε μέτρα), του θαλάσσιου πυθμένα δίνεται από τη σχέση:**

■ όπου t (σε εκατομμύρια έτη) είναι η ηλικία της ωκεάνιας λιθόσφαιρας, h (σε μέτρα), είναι το βάθος της κορυφής της ράχης και c είναι σταθερά με μία αντιπροσωπευτική τιμή ίση με 300. Η σταθερά αυτή έχει μικρότερη τιμή για τις ταχέως κινούμενες πλάκες και μεγαλύτερη για τις βραδύτερες.

35

- Η ταχύτητα παραγωγής λιθόσφαιρικού υλικού στις ράχες μεταβάλλεται με το γεωλογικό χρόνο με συνέπεια να μεταβάλλεται τόσο ο όγκος της ράχης όσο και ο όγκος του νερού που αυτή εκτοπίζει. Έτσι, κατά το Κρητιδικό (πριν από ~80Myr) η επέκταση του θαλάσσιου πυθμένα ήταν κατά 30% μεγαλύτερη από τη σημερινή με συνέπεια την εκτόπιση μεγαλύτερου όγκου νερού και την ανύψωση της θάλασσας κατά ~200m από ότι είναι σήμερα. Δηλαδή, κατά το Κρητιδικό σημαντικές εκτάσεις της σημερινής ξηράς καταλαμβάνονταν από ρηχή θάλασσα.
- Καθώς η ωκεάνια πλάκα απομακρύνεται από τη μέσο-ωκεάνια ράχη όπου σχηματίστηκε, ψύχεται με αποτέλεσμα να γίνεται πυκνότερη και έτσι να βυθίζεται περισσότερο μέσα στην ασθενόσφαιρα. Κατά συνέπεια αυξάνεται το βάθος, Z, του θαλάσσιου πυθμένα όσο αυξάνεται η απόσταση του από τη ράχη.
- Έχει αποδειχθεί θεωρητικά και επαληθεύτηκε από παρατηρήσεις ότι το βάθος, Z (σε μέτρα), του θαλάσσιου πυθμένα δίνεται από τη σχέση:

$$Z = h + c\sqrt{t}$$

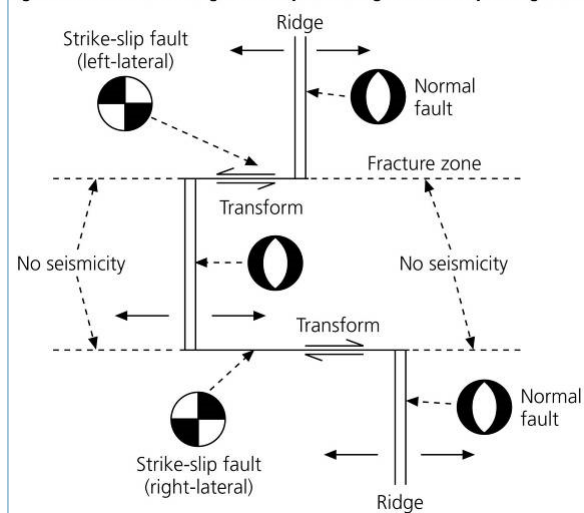
- όπου t (σε εκατομμύρια έτη) είναι η ηλικία της ωκεάνιας λιθόσφαιρας, h (σε μέτρα), είναι το βάθος της κορυφής της ράχης και c είναι σταθερά με μία αντιπροσωπευτική τιμή ίση με 300. Η σταθερά αυτή έχει μικρότερη τιμή για τις ταχέως κινούμενες πλάκες και μεγαλύτερη για τις βραδύτερες. Έτσι, αν μία κορυφή μεσοωκεάνιας ράχης βρίσκεται σε βάθος 3km, τότε το βάθος του ωκεάνιου πυθμένα θα βρίσκεται σε βάθος 6 km μετά από 100 Myr. Λιθόσφαιρικές πλάκες με ηλικία μεγαλύτερη των 100 Myr έχουν πλήρως ψυχθεί σε βάθος 6 km και δεν βυθίζονται περισσότερο.

## Β. ΡΗΓΜΑΤΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

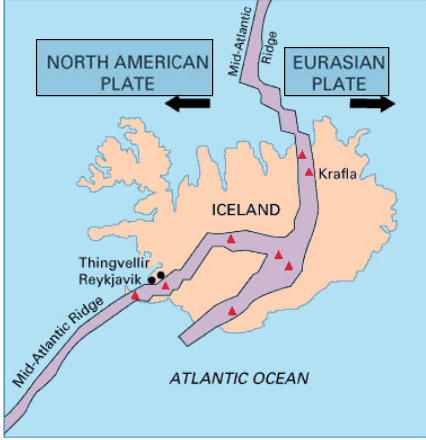
37

### ΑΠΟΚΛΙΝΟΝΤΑ ΟΡΙΑ – ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΕΝΕΣΗΣ


Figure 5.3-1: Tectonic settings of earthquakes along an oceanic spreading center.




- Ορισμοί:
- Ζώνες Διάρρηξης και
- Ρήγματα μετασχηματισμού (το σεισμικά ενεργό τμήμα της ζώνης διάρρηξης)



The map shows Iceland situated on the Mid-Atlantic Ridge, which separates the North American Plate (moving west) and the Eurasian Plate (moving east). Key locations marked include Thingvellir, Reykjavik, and Krafla. The Atlantic Ocean is labeled below the island.



An aerial photograph showing a dark, winding river flowing through a rugged, volcanic landscape with green vegetation and rocky terrain.



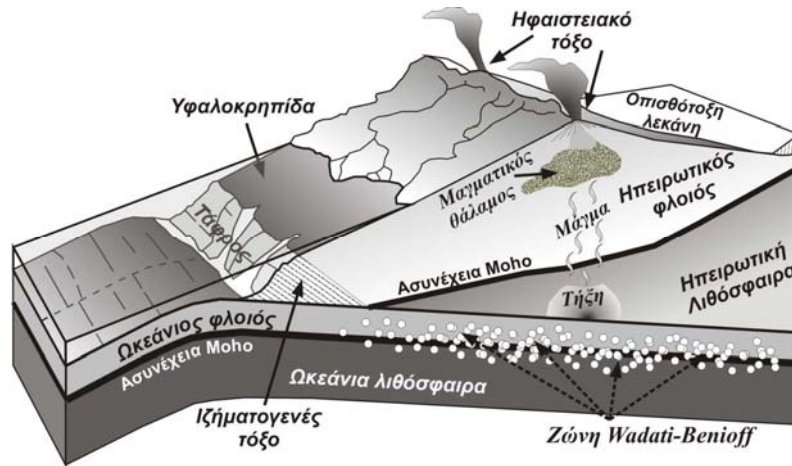
A photograph of a volcanic eruption, showing bright orange and red lava flows and a large plume of white smoke rising into the dark sky.

**ΙΣΛΑΝΔΙΑ**

## SUBDUCTION ZONES

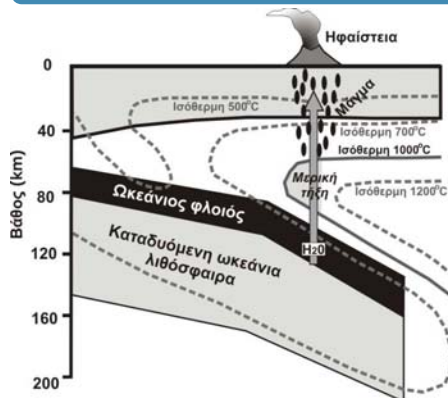
### γ. Ζώνες κατάδυσης και καταστροφής

## Κατάδυση ωκεάνιας λιθόσφαιρας κάτω από ηπειρωτική



41

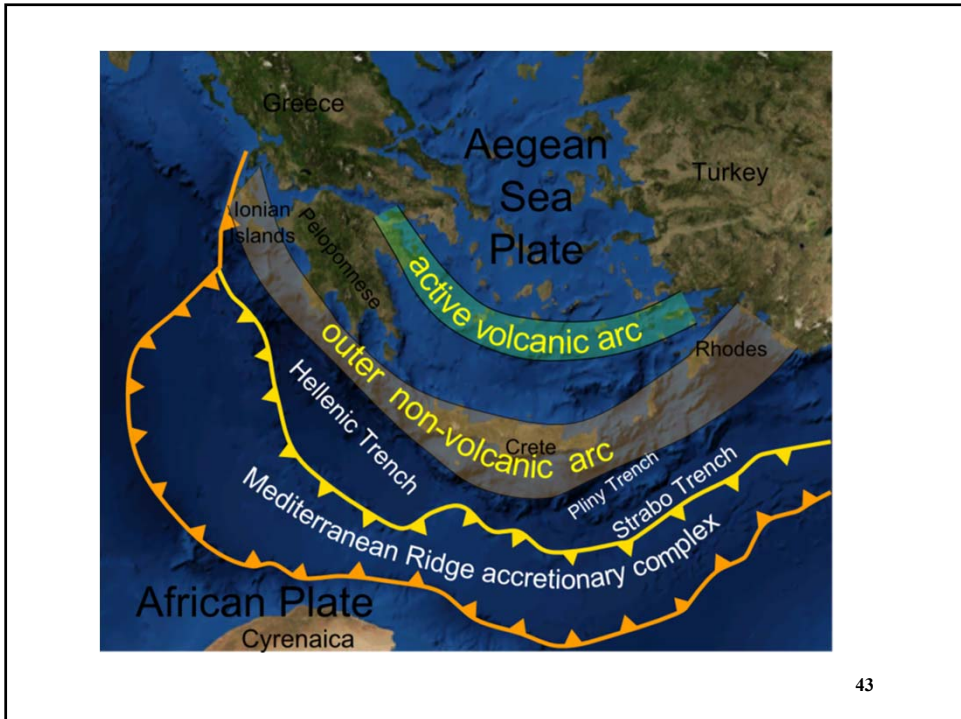
## Μηχανισμός δημιουργίας ηφαιστειακού τόξου λόγω αφυδάτωσης της καταδύμενης ωκεάνιας λιθόσφαιρας



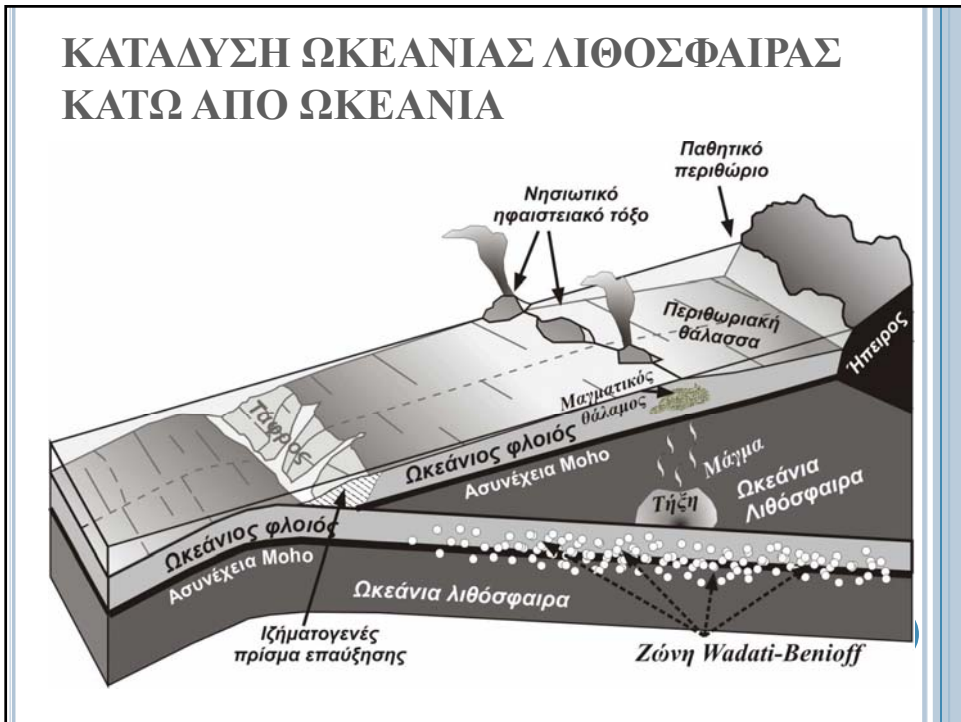
Τμήμα των ωκεάνιων ιζημάτων καταδύεται μαζί με τον ωκεάνιο φλοιό και την ωκεάνια λιθόσφαιρα κάτω από την ηπειρωτική πλάκα. Λόγω της πολύ μικρής θερμικής αγωγιμότητας των περισσότερων πετρωμάτων, η καταδύμενη λιθόσφαιρα παραμένει πιο ψυχρή από τον περιβάλλοντα μανδύα, «παρασύροντας» τις ισόθερμες. Όταν η καταδύμενη λιθόσφαιρα φτάσει σε βάθος περίπου 80-100km (πίεση ~25-33kbar) και ενδεικτικά σε θερμοκρασία ~700°C, πολλά από τα ένυδρα ορυκτά των ιζημάτων και του ωκεάνιου φλοιού χάνουν μέσω μεταμορφικών διαδικασιών το μεγαλύτερο τμήμα του νερού, καθώς και διάφορα άλλα στοιχεία όπως τα LILE (Large-Ion Lithophile Elements), δηλαδή K, Rb, Ba, Sr, Cs, U, Th.

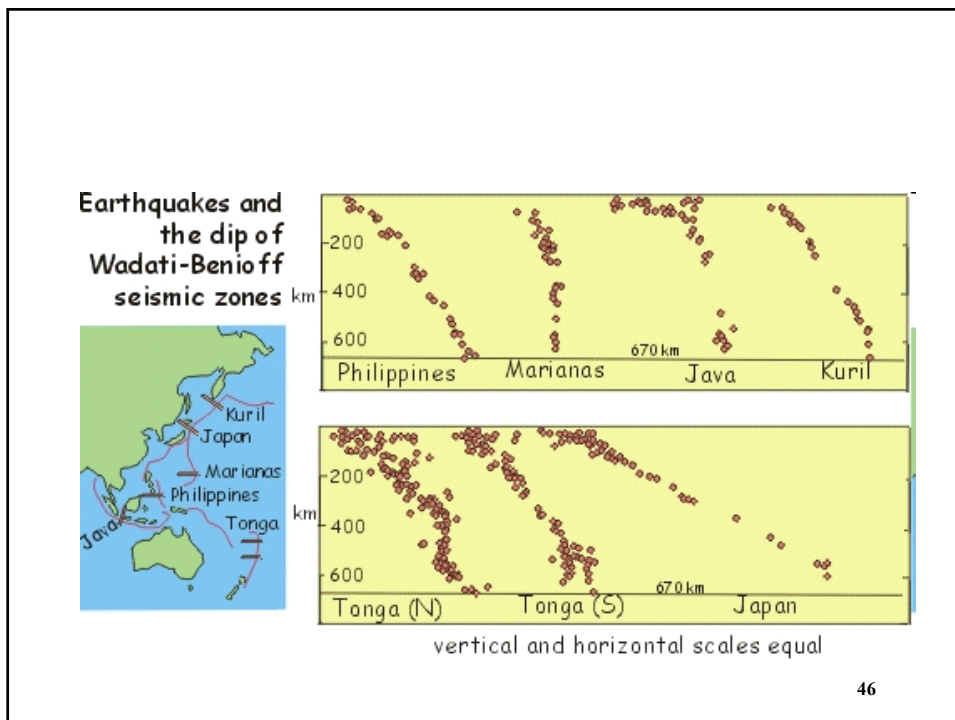
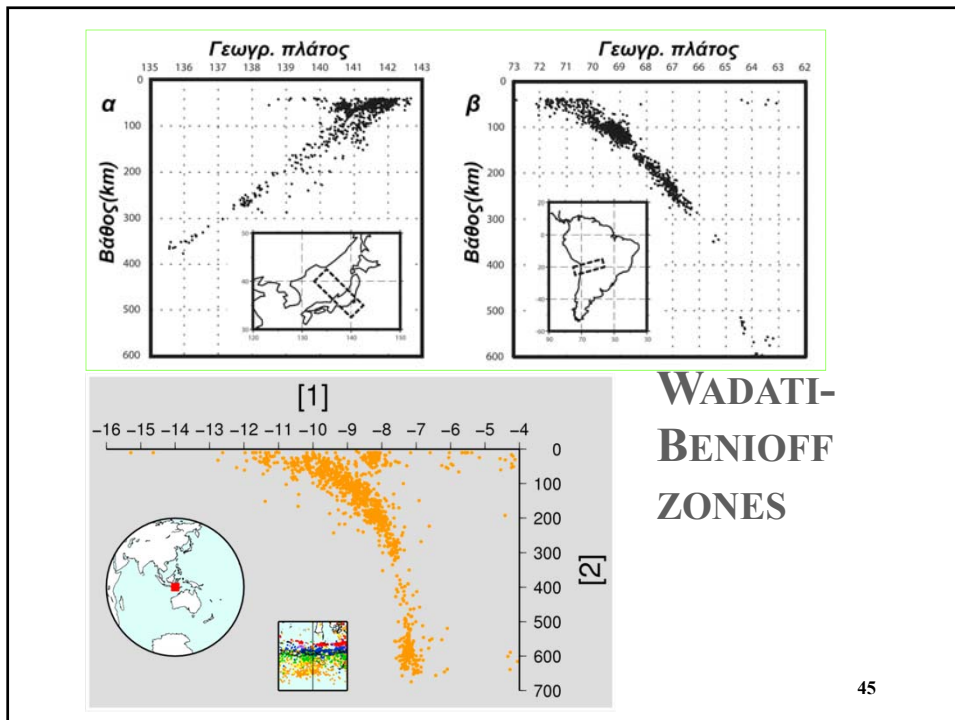
Το νερό αυτό, ως πολύ ελαφρύτερο από τα υλικά του μανδύα ανέρχεται γρήγορα (ουσιαστικά λόγω άνωσης) και εισέρχεται στο μανδύα πάνω από την καταδύμενη πλάκα, ο οποίος βρίσκεται σε πολύ υψηλότερη θερμοκρασία λόγω της παραμόρφωσης των ισόθερμων. Όταν το νερό εισέλθει στην ισόθερμη των 1000°C (σημείο τήξης του άνω μανδύα σε αυτό το βάθος) προκαλεί μερική τήξη του υλικού του μανδύα το οποίο βρίσκεται πάνω από την βυθιζόμενη ωκεάνια πλάκα ή και μετασυστάτωση του υλικού του μανδύα με τη δημιουργία ένυδρων ορυκτών (π.χ. φλογοπίτης) και στη συνέχεια τήξη του. Το θερμό και πιο ελαφρύ αυτό υλικό ανεβαίνει προς τη λιθόσφαιρα του εσωτερικού μέρους του τόξου, σε αρκετή απόσταση από την εξωτερική τάφρο (σχ. 3.17). Η άνοδος του θερμού αυτού τμήματος αποτελεί το αίτιο δημιουργίας του ηφαιστειακού τόξου, όπου παράλληλα έχουμε αύξηση της ροής θερμότητας, εμφάνιση σημαντικών μαγνητικών ανωμαλιών κ.λ.π. Η διαδικασία αυτή της γένεσης του ηφαιστειακού τόξου αποτελεί το δεύτερο βασικό μηχανισμό αύξησης του υλικού των ηπειρωτικών περιοχών και δημιουργίας ηπειρωτικής λιθόσφαιρας.

42



43

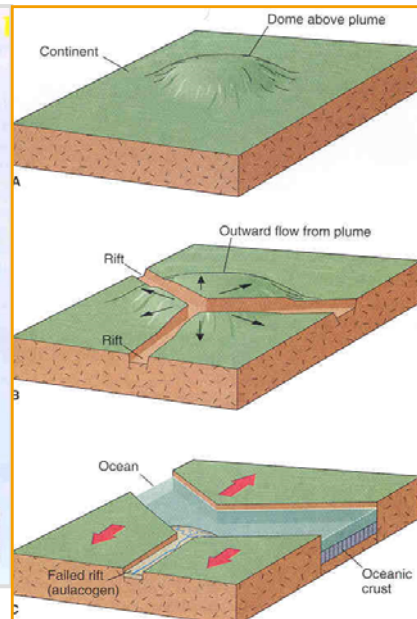
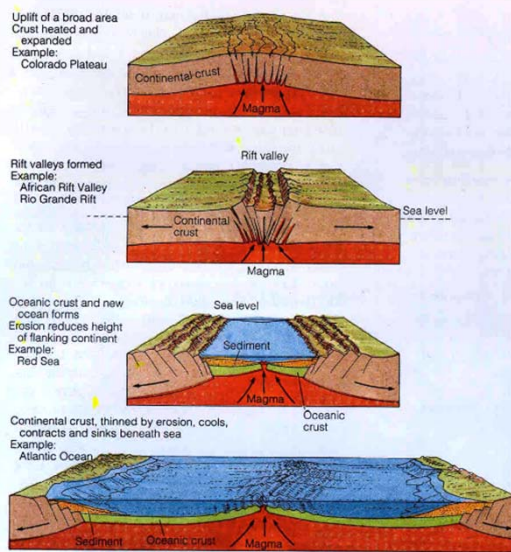




## ○ Ζώνες Ηπειρωτικής Διάρρηξης

47

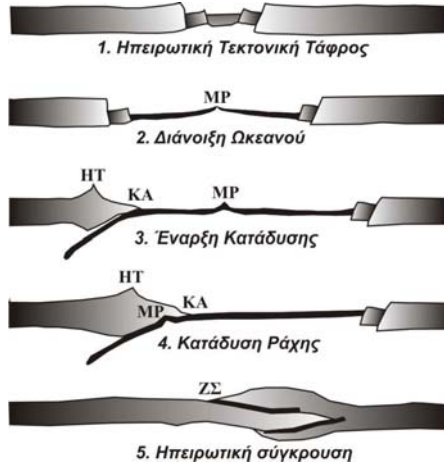
## RIFT VALLEYS – ΡΗΓΙΓΕΝΕΙΣ ΚΟΙΛΑΔΕΣ





## ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ WILSON

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΑΣ



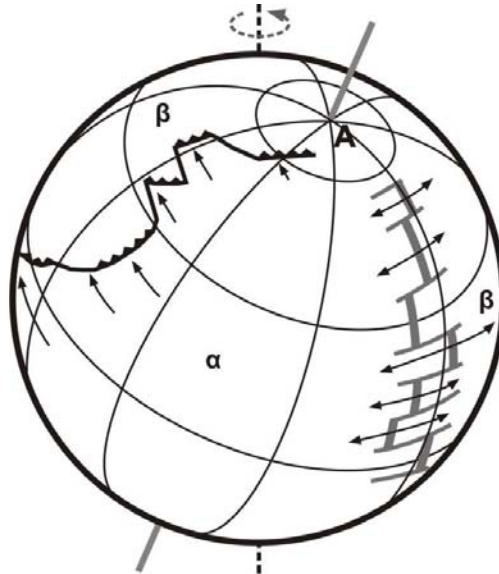
1. Θερμή κηλίδα > ηπειρωτική τεκτονική τάφρο

Παράδειγμα: Α. Αφρική λόγω της θερμής κηλίδας του Αφάρ

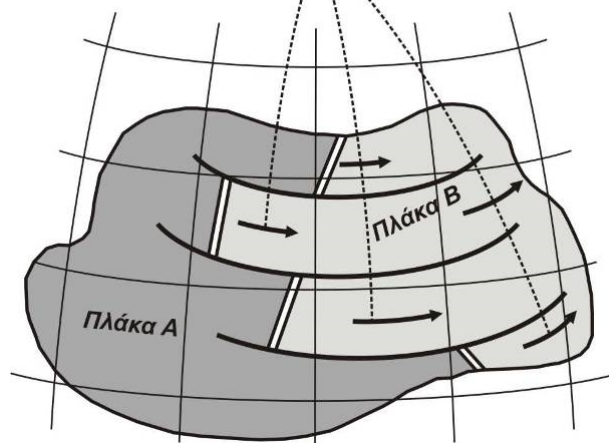
2. Δημιουργία μεσωκεάνιας ράχης
3. Κατάδυση > ανδεσιτικό ηφαιστειακό τόξο
4. Κλείσιμο του ωκεανού – κατάδυση και της ράχης
5. Μετά το κλείσιμο του ωκεανού σύγκλιση δυο ηπειρωτικών περιοχών - Ιμαλαία

## 3.6 ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

## Πόλοι περιστροφής



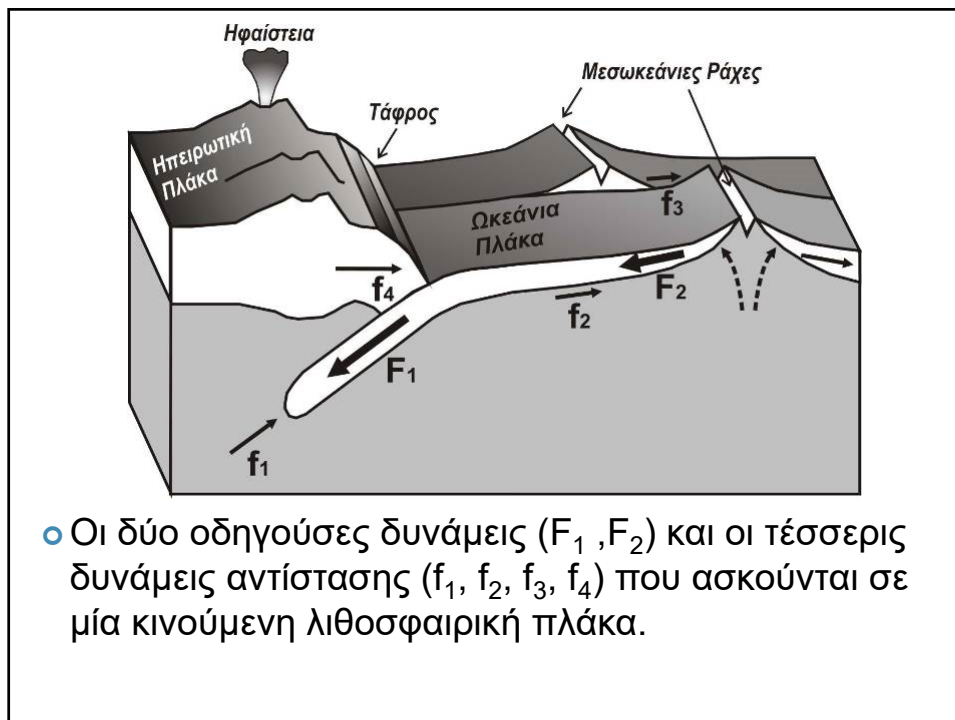
### Πόλος Περιστροφής



- Καθορισμός του πόλου της σχετικής περιστροφής των λιθοσφαιρικών πλακών Α και Β με την τομή των μέγιστων κύκλων (στικτές γραμμές) οι οποίοι είναι κάθετοι στα τόξα των μικρών κύκλων (πλήρεις γραμμές) που παριστάνουν τα ρήγματα μετασχηματισμού μιας ωκεάνιας ράχης (Morgan, 1968).

### 3.7 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΚΙΝΟΥΜΕΝΕΣ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ

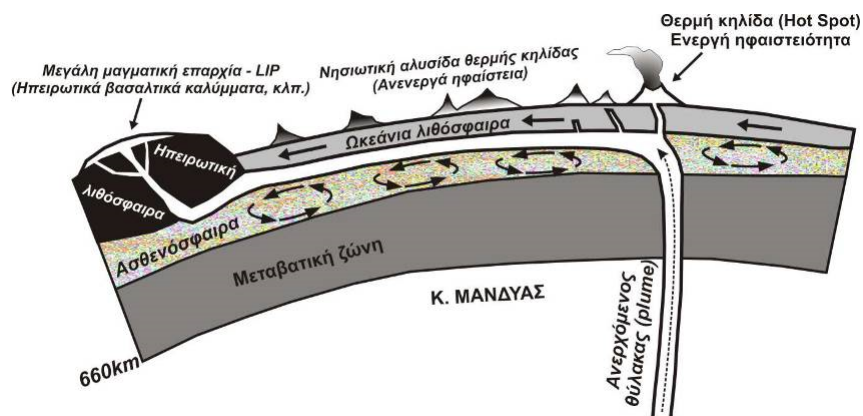
53



### 3.8 ΑΠΟΛΥΤΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ

- Ακίνητος θεωρείται ο μανδύας της Γης και ιδιαίτερα η περιοχή που βρίσκεται κάτω από την ασθενόσφαιρα και η οποία καλείται **μεσόσφαιρα**.
- Για το σκοπό αυτό εφαρμόζεται η αρχή της Μηδενικής Συνισταμένης Περιστροφής (ή Ροπής), NNR (No Net Rotation ή No Net Torque).
- Σύμφωνα με την αρχή αυτή η λιθόσφαιρα ως σύνολο δεν περιστρέφεται σε σχέση με τη μεσόσφαιρα και συνεπώς η συνισταμένη απόλυτη κίνηση όλων των λιθοσφαιρικών πλακών σε σχέση με τη μεσόσφαιρα είναι ίση με το μηδέν.
- Δηλαδή, για την μέτρηση της απόλυτης κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών καθορίζεται ένα σύστημα αναφοράς ως προς το οποίο η συνισταμένη των ροπών που ασκούνται στις μεγάλες λιθοσφαιρικές πλάκες της Γης είναι ίση με μηδέν.

### ΘΕΡΜΕΣ ΚΗΛΙΔΕΣ: ΑΠΟΛΥΤΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΛΑΚΩΝ

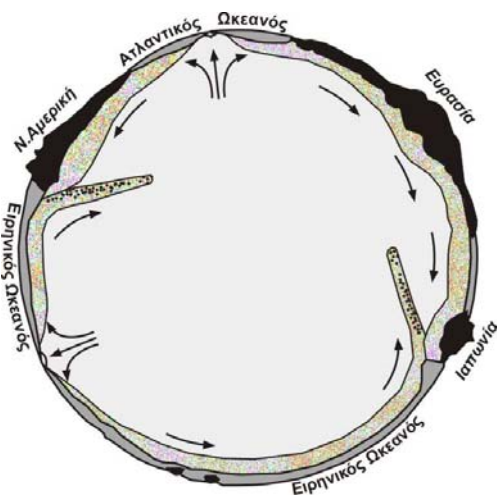


- Απλοποιημένο μοντέλο δημιουργίας νησιωτικής αλυσίδας με θερμή κηλίδα στο ένα άκρο, λόγω της κίνησης ωκεάνιας λιθοσφαιρικής πλάκας πάνω από ανερχόμενο θύλακα (plume).

### 3.9 ΟΡΟΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ

57

#### ΟΡΟΓΕΝΕΣΗ



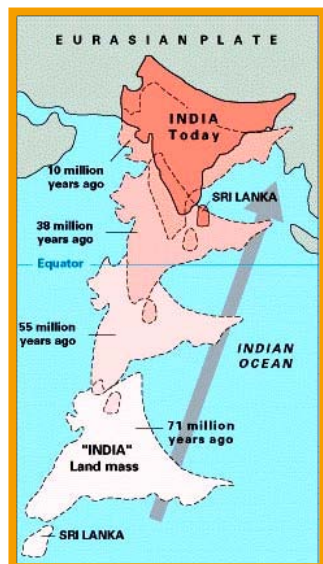
Το βασικό αίτιο της ορογένεσης είναι οι δυνάμεις συμπίεσης που παράγονται στις περιοχές της σύγκλισης των λιθосφαιρικών πλακών.

Το συνολικό φαινόμενο της ορογένεσης ακολουθεί μια διαδικασία σχετικά μεγάλης διάρκειας, όπως προκύπτει και από το γεγονός ότι σε πολλές οροσειρές τέτοια φαινόμενα συνεχίζονται ακόμα και για μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια.

Η πραγματική ανύψωση είναι το τελικό στάδιο της ορογένεσης και είναι σχετικά γρήγορη. Αυτό προκύπτει από πολλές γεωλογικές παρατηρήσεις, όπου εντυπωσιακές κατακόρυφες κινήσεις μερικών χιλιομέτρων παρατηρήθηκαν σε ενεργές οροσειρές σε χρονικά διαστήματα λίγων εκατομμυρίων χρόνων.

58

## ΤΟ ΤΑΞΙΔΙ ΤΗΣ ΙΝΔΙΚΗΣ ΠΛΑΚΑΣ

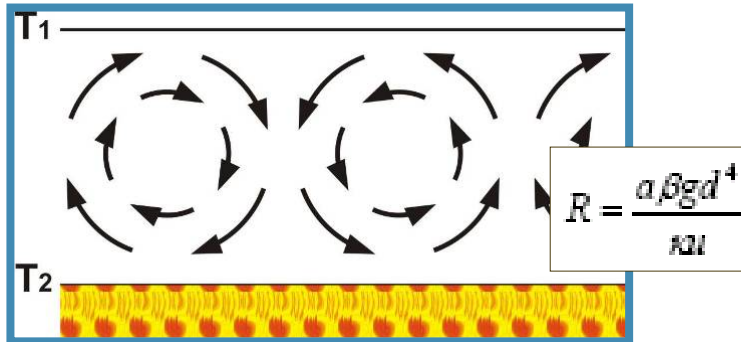


Η Ινδία βρισκόταν κάποτε αρκετά νοτίως του Ισημερινού, κοντά στην Αυστραλία.

6,000 km διένυσε η Ινδική πλάκα πριν συγκρουσθεί με την Ευρασία πριν από 40 - 50 εκατ. χρόνια.

### 3.10 ΤΑ ΑΙΤΙΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

## ΡΕΥΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ



Ρεύματα μεταφοράς μέσα σε υγρό που βρίσκεται μεταξύ δύο οριζόντιων επιφανειών. Η κάτω επιφάνεια βρίσκεται σε μεγαλύτερη θερμοκρασία από την πάνω, δηλαδή  $T_2 > T_1$ .

## ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

- Επί της ουσίας οι τεκτονικές πλάκες είναι το κρύο ανώτερο θερμικό στρώμα του μανδύα.
- Είναι η επιφανειακή εκδήλωση της διαδικασίας μεταφοράς θερμότητας του μανδύα και ουσιαστικά είναι αυτές οι οποίες απορροφούν τη θερμότητα που χάνεται στον μανδύα
- Οι πλάκες επομένως μεταφέρουν τη θερμότητα που χάνεται στον μανδύα

# Θερμό κατώτερο θερμικό όριο

