



ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΗ

Φυσική της Λιθόσφαιρας
Κεφάλαιο 7

Καθ. Αναστασία Κυρατζή

Εισαγωγή

- Υπόθεση της Μετάθεσης των ηπείρων
 - Wegener 1912
- Υπόθεση της Επέκτασης του θαλάσσιου πυθμένα
 - H. Hess & R. Dietz 1962
- Θεωρία των Λιθοσφαιρικών Πλακών
 - T. Wilson 1965
 - J. Morgan 1967
 - X. Le Pichon 1967

Υπόθεση της Μετάθεσης των ηπείρων Wegener 1912



- Η μετάθεση των ηπείρων προτάθηκε αρχικά από τον Alfred Wegener, Γερμανό μετεωρολόγο, το 1912. Ο Wegener χρησιμοποίησε

- τη συναρμογή των ηπείρων
- την κατανομή των απολιθωμάτων
- τις παρόμοιες ακολουθίες πετρωμάτων σε πολυάριθμες θέσεις
- τις παλαιοκλιματικές συνθήκες
- τη φαινομενική μετάθεση των πόλων για να υποστηρίξει την άποψή του.

- Ο Wegener χρησιμοποίησε τις παρατηρήσεις του για να υποθέσει ότι οι σημερινές ηπείροι κάποτε ήταν τμήματα μιας ενιαίας ηπείρου, που ονομαζόταν Παγγαία.



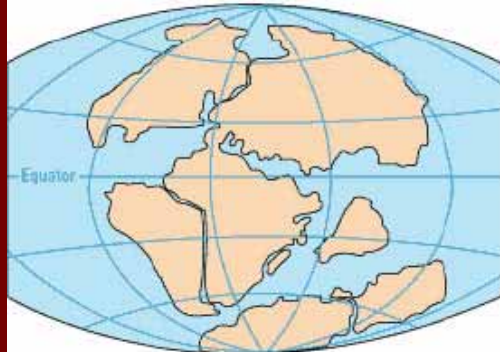
200 million years ago all of the present-day continents combined to form a single supercontinent called Pangaea.



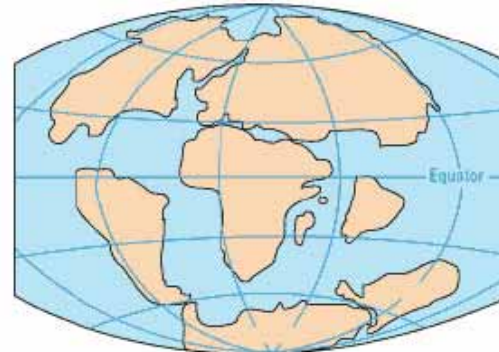
PERMIAN
225 million years ago



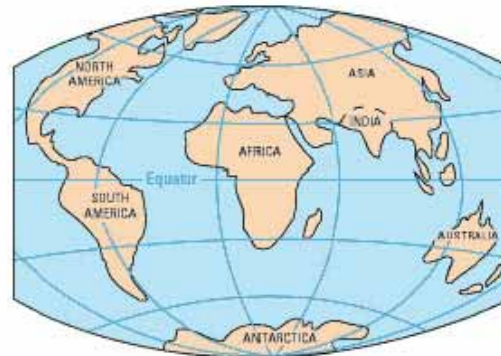
TRIASSIC
200 million years ago



JURASSIC
135 million years ago

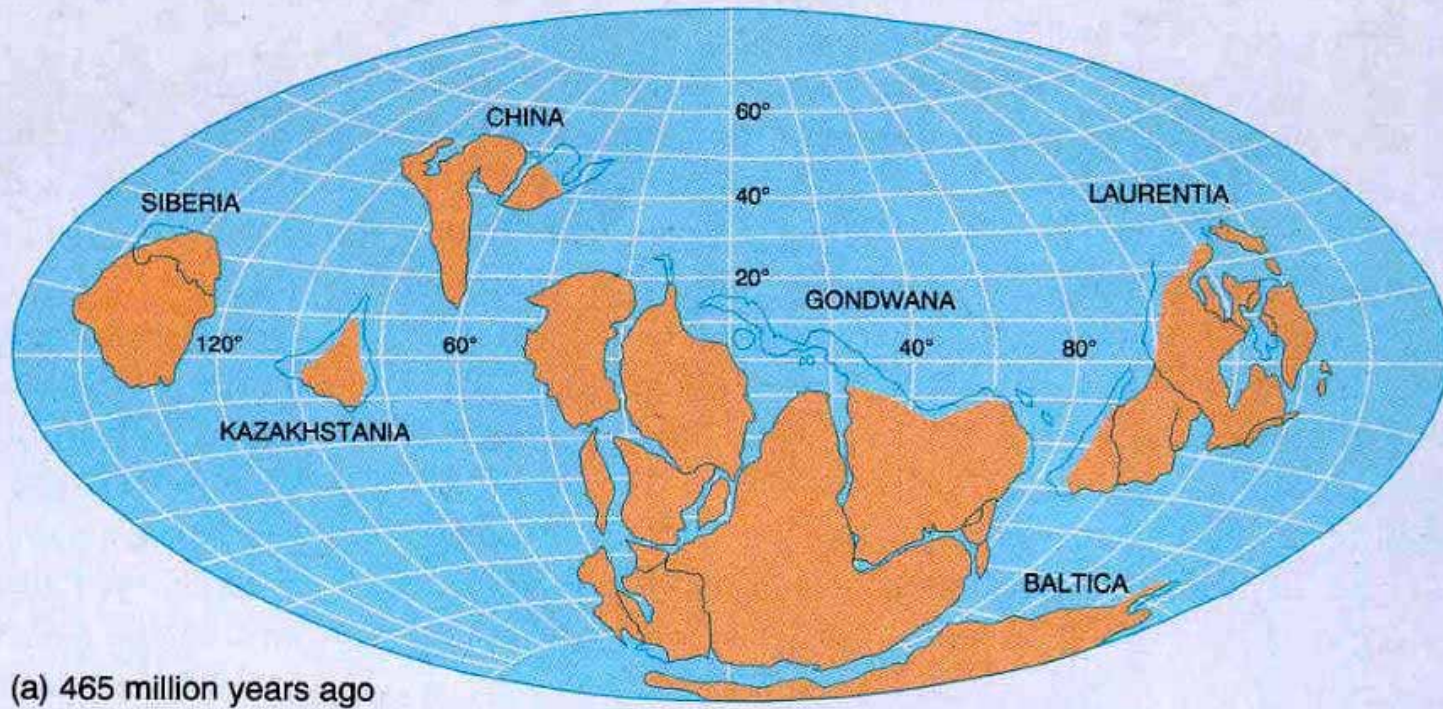


CRETACEOUS
65 million years ago

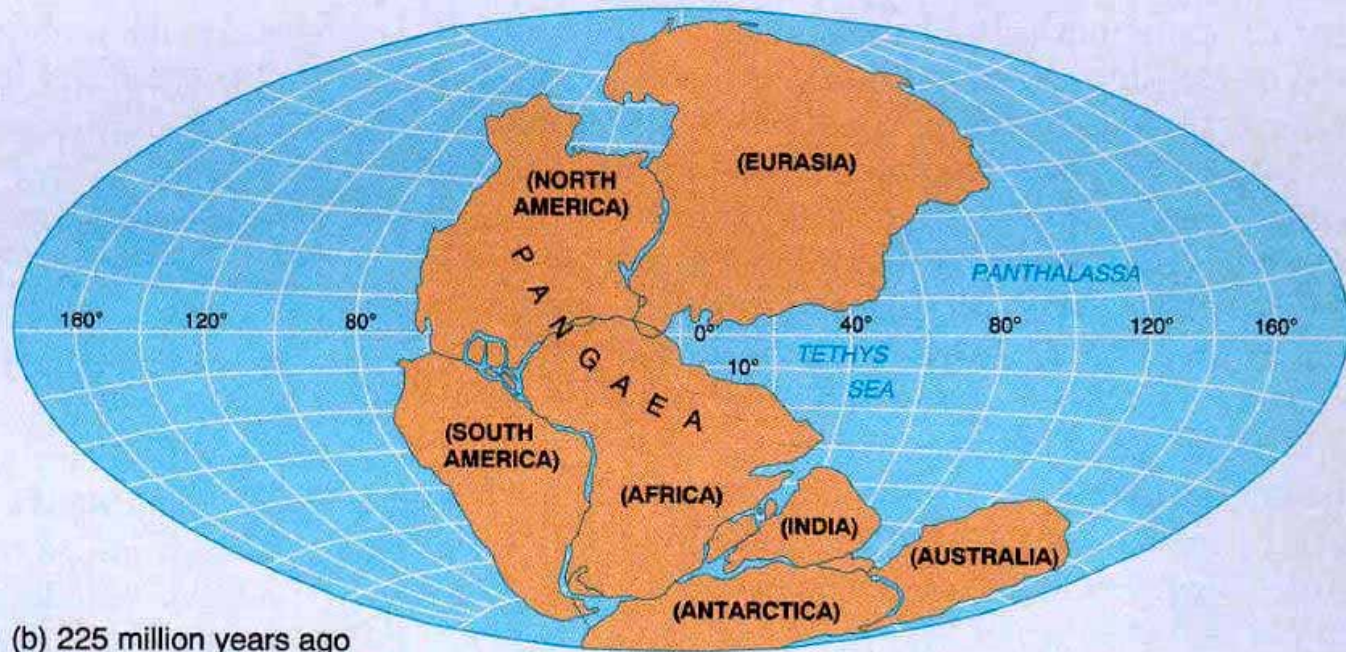


PRESENT DAY

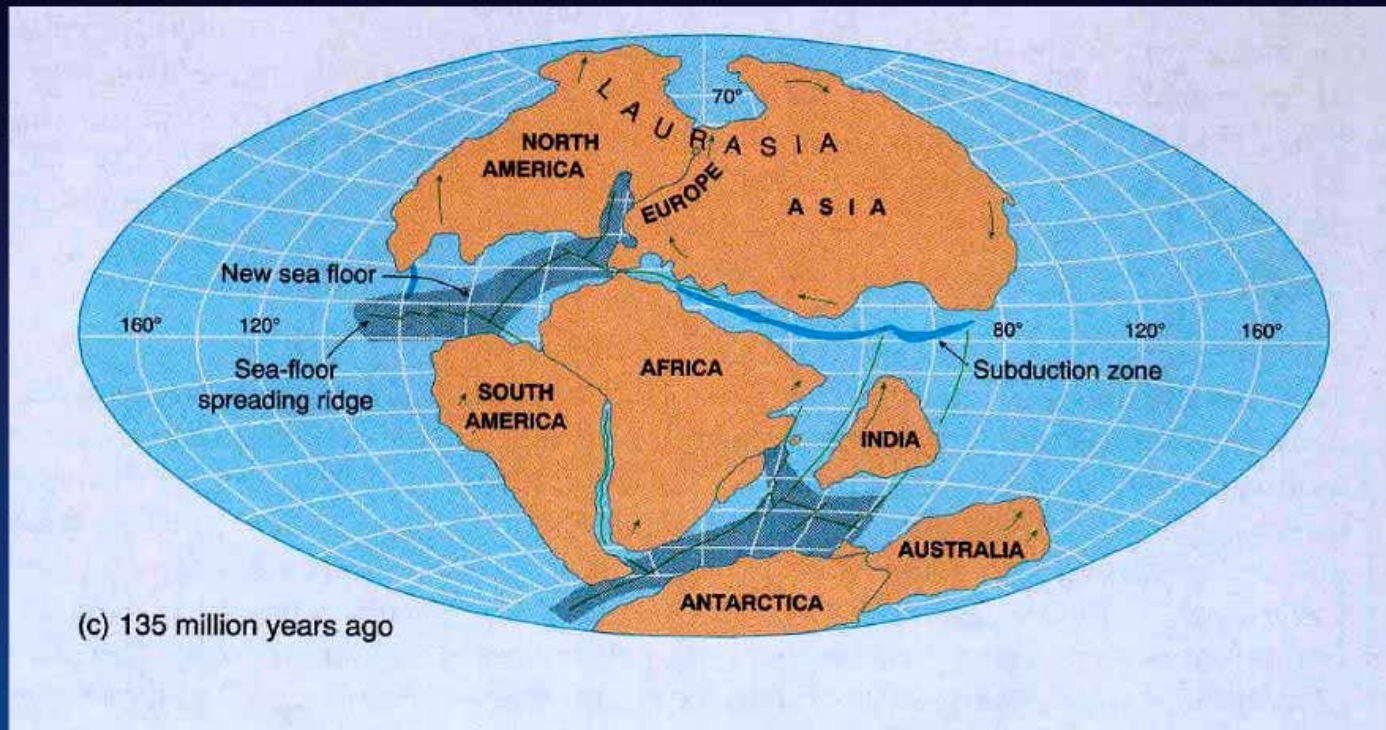
Formation and Breakup of Pangaea



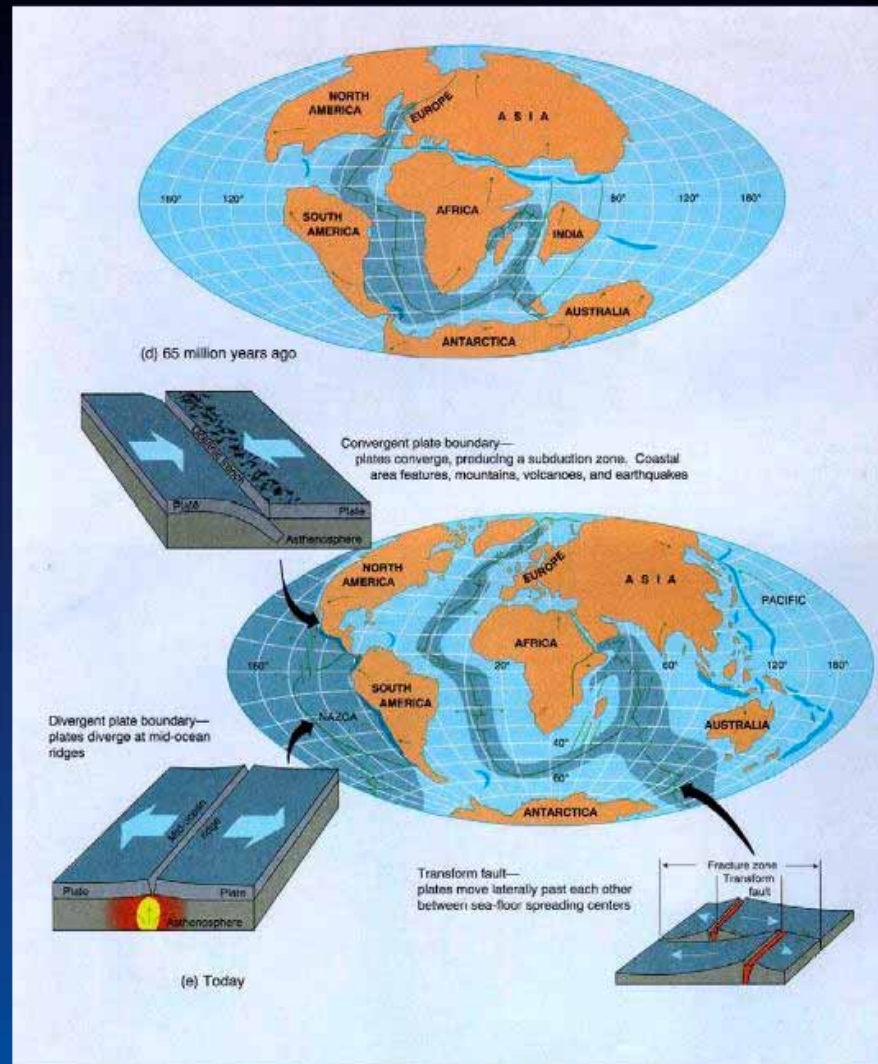
Pangaea



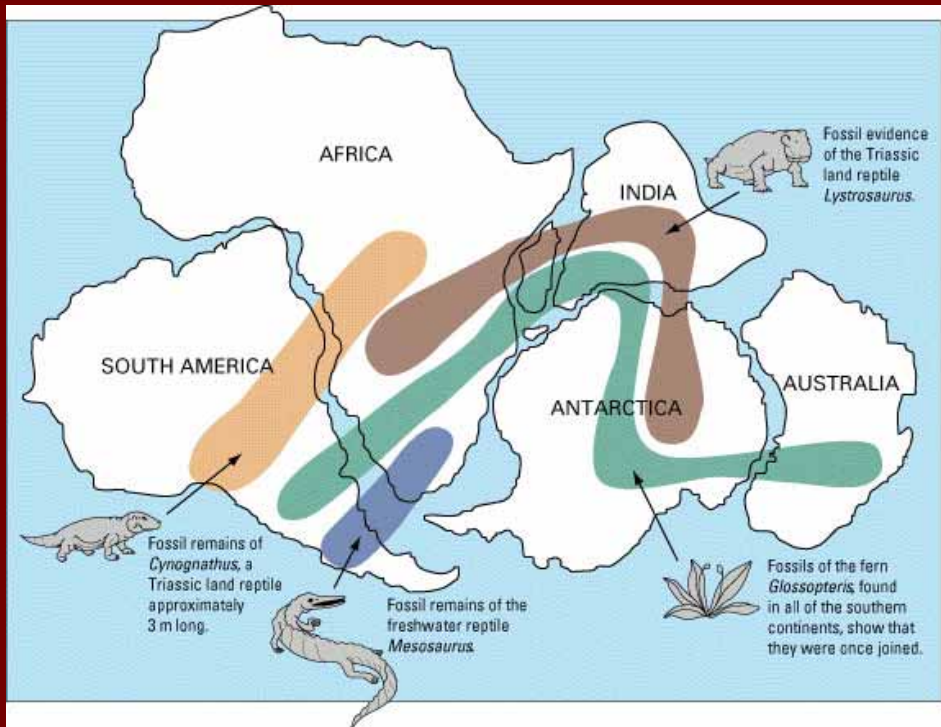
Pangaea



Modern continents take shape



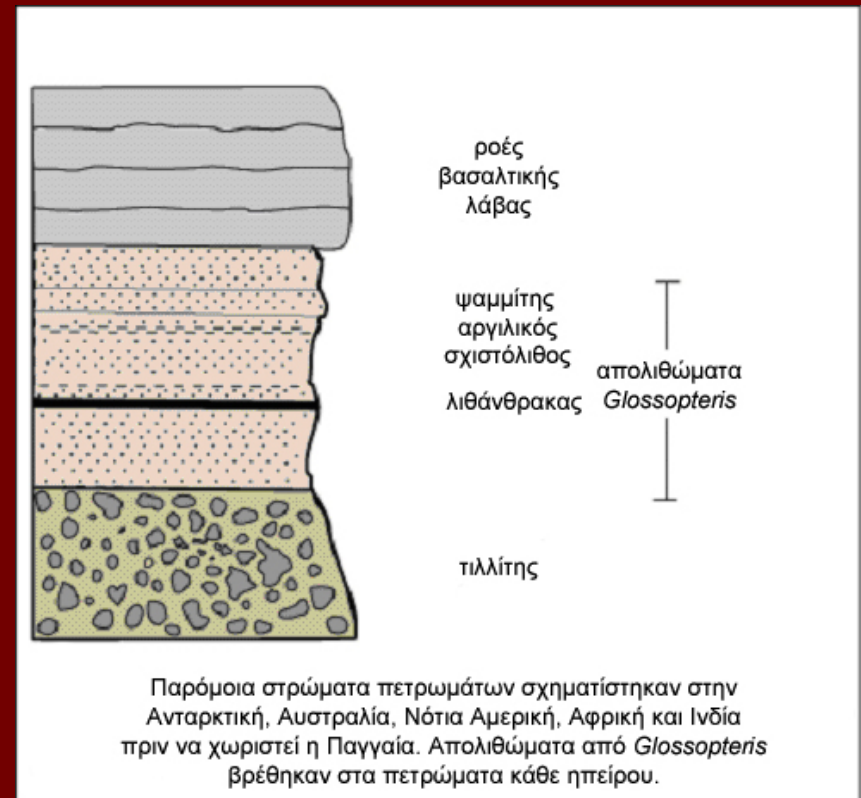
ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΗΠΕΙΡΩΝ Απολιθώματα



- Απολιθώματα του ίδιου είδους βρέθηκαν σε διαφορετικές ηπείρους. 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 εξάπλωση κατά μήκος της Παγγαίας, τη μετέπειτα διάσπαση της ενιαίας αυτής ηπείρου αι τη μετακίνηση των ηπείρων στην σημερινή τους θέση.

ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΗΠΕΙΡΩΝ — ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

- 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 (παλαιότερο) ονομάζεται τιλλίτης 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.



ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΗΠΕΙΡΩΝ — ΠΑΓΕΤΩΝΕΣ



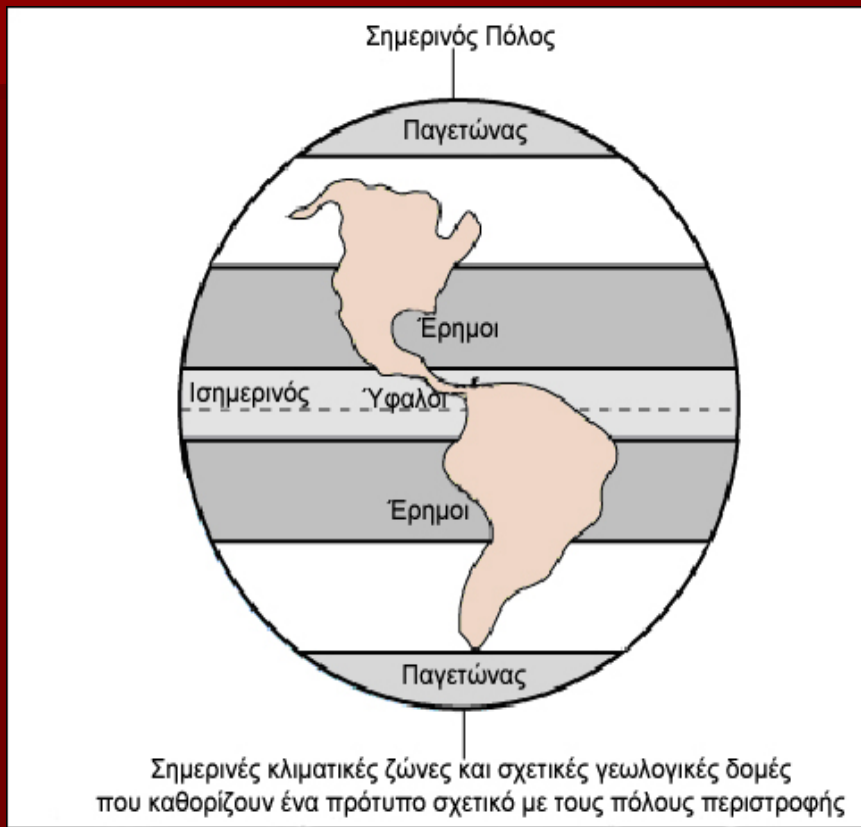
Οι αυλακώσεις που σχηματίστηκαν από τους παγετώνες (βέλη) παρήγαγαν στοιχεία για την ηπειρωτική μετατόπιση. Σε αυτό το διάγραμμα οι ήπειροι βρίσκονται στη σημερινή τους θέση.



Η κατανομή των παγετωδών δομών μπορούν να εξηγηθούν με τον καλύτερο τρόπο εάν οι ήπειροι ήταν μέρος της Παγγαίας.

- Η ύπαρξη παγετώνων στη Νότια Αμερική, Αφρική, Ινδία και Αυστραλία εξηγείται καλύτερα αν αυτές οι ήπειροι ήταν κάποτε ενωμένες. Παγετώνες κάλυψαν ολόκληρη ή μέρος της κάθε ηπείρου κατά τη διάρκεια της ίδιας χρονικής περιόδου στο γεωλογικό παρελθόν.
- Αν οι ήπειροι ήταν πάντα στη σημερινή τους θέση, είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός τεράστιου παγετώνα που κάλυψε όλες τις ηπείρους και επεκτάθηκε βόρεια του ισημερινού, για να εξηγήσει τις παρατηρήσεις.
- Οι γεωλόγοι δεν βρήκαν αποδείξεις δράσης παγετώνων στο βόρειο ημισφαίριο κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου. Συνεπώς, κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου, το κλίμα στη βόρεια Αμερική ήταν θερμό.
- Ο Wegener πρότεινε ότι οι ήπειροι ήταν πολύ κοντά η μία στην άλλη κατά τη διάρκεια της παγετωνικής δράσης. Επομένως οι παγετώνες εξαπλώθηκαν σε μία πολύ μικρότερη περιοχή, στο νότιο ημισφαίριο και πιθανόν δεν επηρέασαν το κλίμα του βόρειου ημισφαιρίου.

Κλιματικές ζώνες



- Ο Wegener χρησιμοποίησε την κατανομή των συγκεκριμένων πετρογραφικών τύπων για να προσδιορίσει την κατανομή των κλιματικών ζωνών στο γεωλογικό παρελθόν.
- Για παράδειγμα, παγετωνικά κορήματα και γραμμώσεις στα πετρώματα, αμμόλοφοι, κοραλλιογενείς ύφαλοι, δηλώνουν πολικό ερημικό και τροπικό κλίμα, αντίστοιχα. Δείχνουν πως η κατανομή των υφάλων, ερήμων και πάγων, εξαναγκάζουν την περιστροφική κίνηση των πόλων της Γης.

Οι σημερινές κλιματικές ζώνες

Κλιματικές ζώνες

Δύο πιθανές ερμηνείες της κατανομής των παλαιών κλιματικών ζωνών

Είτε οι ήπειροι έμειναν σταθερές και οι πόλοι περιφερόμενοι



είτε οι πόλοι παρέμειναν σταθεροί και οι ήπειροι περιφερόμενες

Παλαιά θέση των πόλων
(ίδια με τη σημερινή)



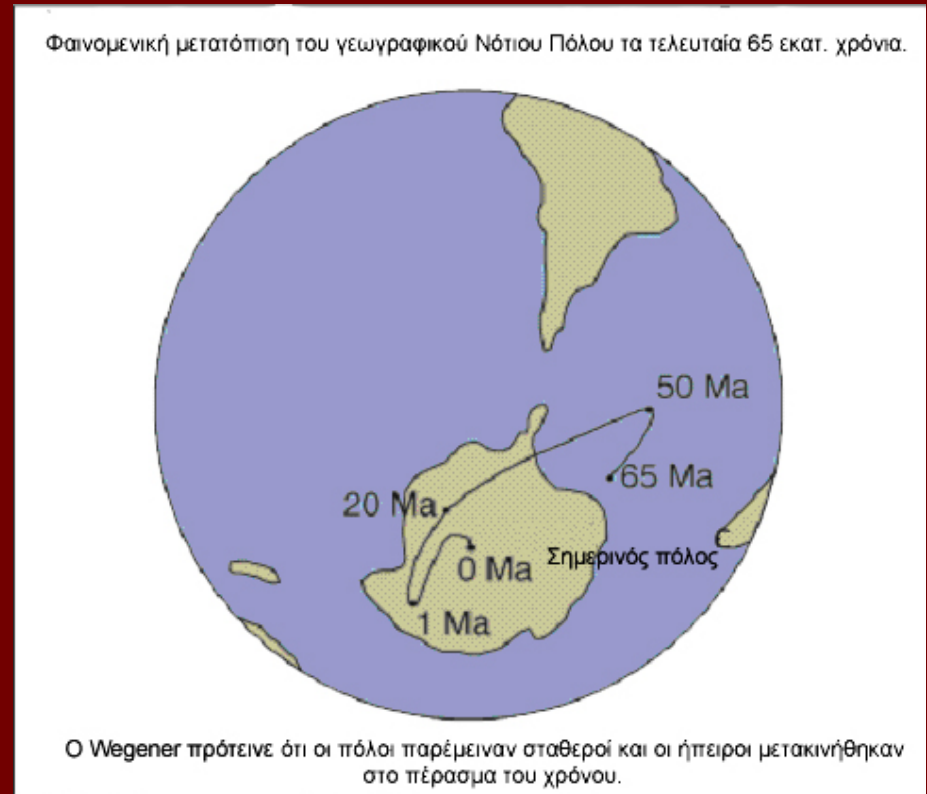
Χρησιμοποιώντας την κατανομή των πετρογραφικών τύπων, ο Wegener αναδόμησε την κατανομή των κλιματικών ζωνών σε συγκεκριμένες περιόδους του γεωλογικού παρελθόντος. Παρατήρησε ότι αντίθετα με τη σημερινή κατανομή, στην οποία οι ζώνες είναι παράλληλες προς τον ισημερινό, παλαιότερα βρίσκονταν σε διαφορετικές θέσεις.

Αυτό είχε ως αποτέλεσμα ο πόλος περιστροφής να βρίσκεται σε πολύ διαφορετικές θέσεις σχετικά με τις σημερινές.

Ο Wegener πρότεινε μια εναλλακτική ερμηνεία. Πίστευε ότι οι κλιματικές ζώνες παρέμειναν στατικές και ότι οι ήπειροι μετατέθηκαν σε διαφορετικές περιοχές. Η μετάθεση των ηπείρων προκάλεσε τη φαινομενική κίνηση των κλιματικών ζωνών.

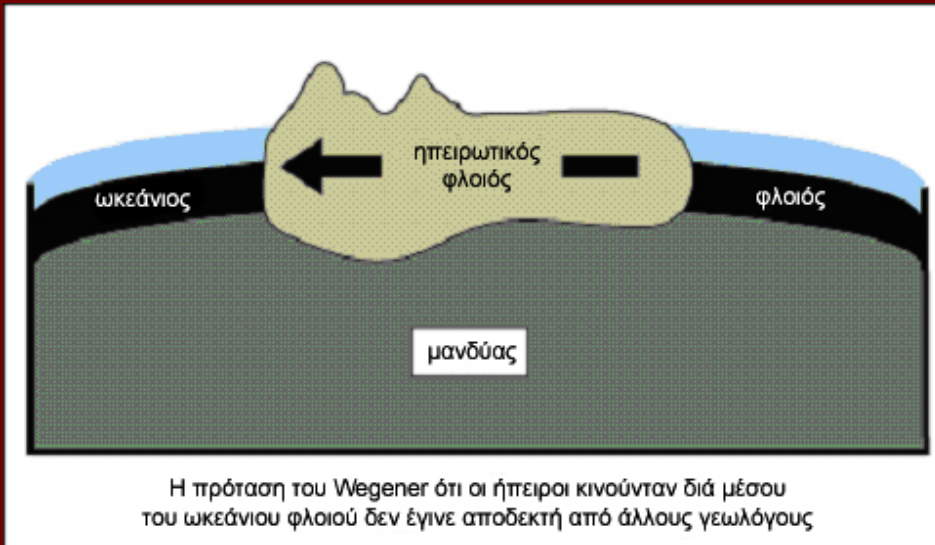
Κλιματικές ζώνες – Μετάθεση των πόλων

- Ο Wegener χρησιμοποίησε την κατανομή των κλιματικών ζωνών για να προσδιορίσει τη θέση των πόλων σε διαφορετικές περιόδους του γεωλογικού παρελθόντος.
 - Παρατήρησε ότι ο πόλος περιστροφής εμφανίζεται να αλλάζει βαθμιαία θέση και να παίρνει τη σημερινή του θέση στο πολύ πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν.
- Η φαινομενική κίνηση της θέσης του πόλου με το χρόνο ονομάζεται **μετάθεση των πόλων**.
 - Ο Wegener πρότεινε μία εναλλακτική εξήγηση. Πρότεινε ότι οι πόλοι παρέμειναν στατικοί και οι ήπειροι μετακινήθηκαν στο πέρασμα του χρόνου.



ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ WEGENER ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΗΠΕΙΡΩΝ

Some unanswered questions



- Το μεγαλύτερο μειονέκτημα τουλάχιστον για τους Αμερικανούς γεωλόγους ήταν η **έλλειψη κάποιου ικανοποιητικού μηχανισμού που να μετακινεί τις ηπείρους**.
 - Ο Wegener πρότεινε ότι το spin της γης προκάλεσε την κίνηση των ηπείρων που προχώρησαν αργά διαμέσου της ωκεάνιας πλάκας και δημιούργησαν βουνά στις άκρες τους. Όμως οι γεωλόγοι την περίοδο αυτή είχαν ήδη αντιληφθεί αρκετά θέματα σχετικά με την αντοχή των πετρωμάτων για να συμπεράνουν ότι αυτό ήταν απίθανο.
 - 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.



Sir Arthur Holmes – ρεύματα μεταφοράς



Το μοντέλο του Holmes των ρευμάτων διαβίβασης θερμότητας. Α. περιοχές ανοδικής ροής. Β. περιοχές καθοδικής ροής και τήξης.

- **O Arthur Holmes**, Σκοτσέζος γεωλόγος, πρότεινε το 1928 έναν μηχανισμό για τη μετάθεση των ηπείρων. Αυτός πίστευε ότι θερμότητα παγιδευμένη στο εσωτερικό της Γης, προκαλούσε ρεύματα μεταφοράς, δηλαδή περιοχές όπου τα ρευστά κάτω από το φλοιό ανέρχονταν, έρρεαν πλευρικά και στη συνέχεια κατέρχονταν. Τα ρεύματα μεταφοράς ανέρχονταν κάτω από τις ηπείρους, διαδίδονταν πλευρικά και στη συνέχεια κατέρχονταν κάτω από τους ωκεανούς.
 - [Οι γεωλόγοι σήμερα γνωρίζουν ότι τα στερεά πετρώματα και όχι τα ρευστά μεταφέρουν θερμότητα με αγωγή μέσα στο μανδύα].
- Δυστυχώς ο Wegener πέθανε το 1930 καθώς ερευνούσε την παγοσκεπή κορυφή της Γροιλανδίας. Ποτέ δεν είχε την ευκαιρία να προσαρμόσει την ιδέα του Holmes στις δικές του απόψεις για τη μετάθεση των ηπείρων

ΑΝΑΒΙΩΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΗΠΕΙΡΩΝ

- Κατά τη διάρκεια του 1940 και 1950, έγιναν σημαντικές πρόοδοι στη γνώση μας για τον 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 ράχεις και οι τεκτονικές τάφροι εκτείνονται σε περισσότερα από 60,000 χιλιόμετρα στο σύνολο των ωκεανών της Γης.

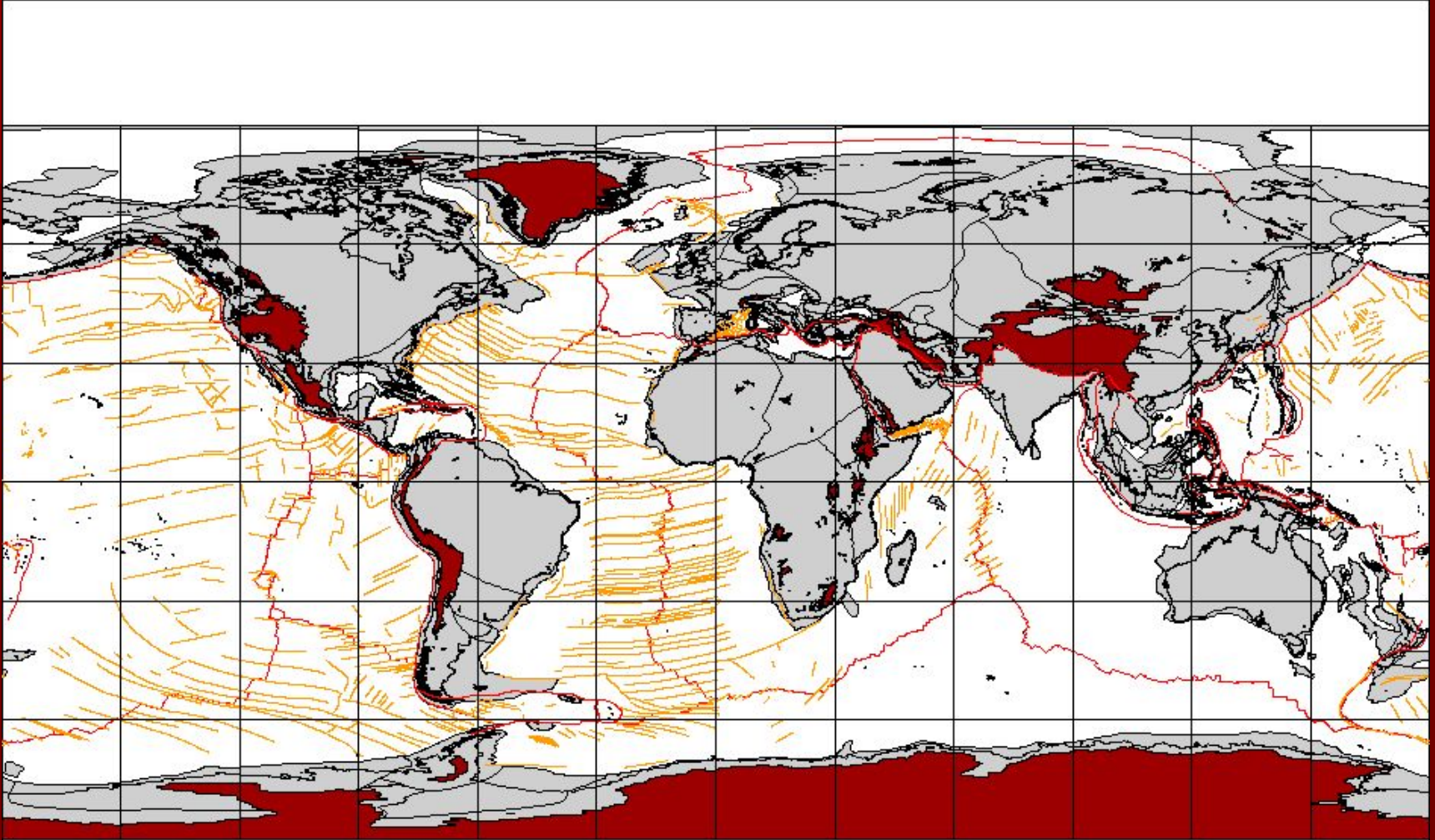
3. Mapping of Ocean Floor

**1947- 1956 Woods
Hole started to map
the Mid-Atlantic
Ridge**

**1956 – 1960 US and
British expeditions
mapped the rest of
mid-ocean ridge**

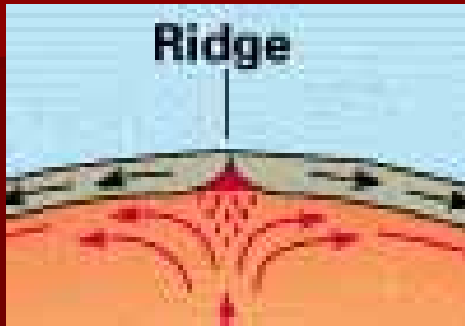


Ζώνες Διάρρηξης



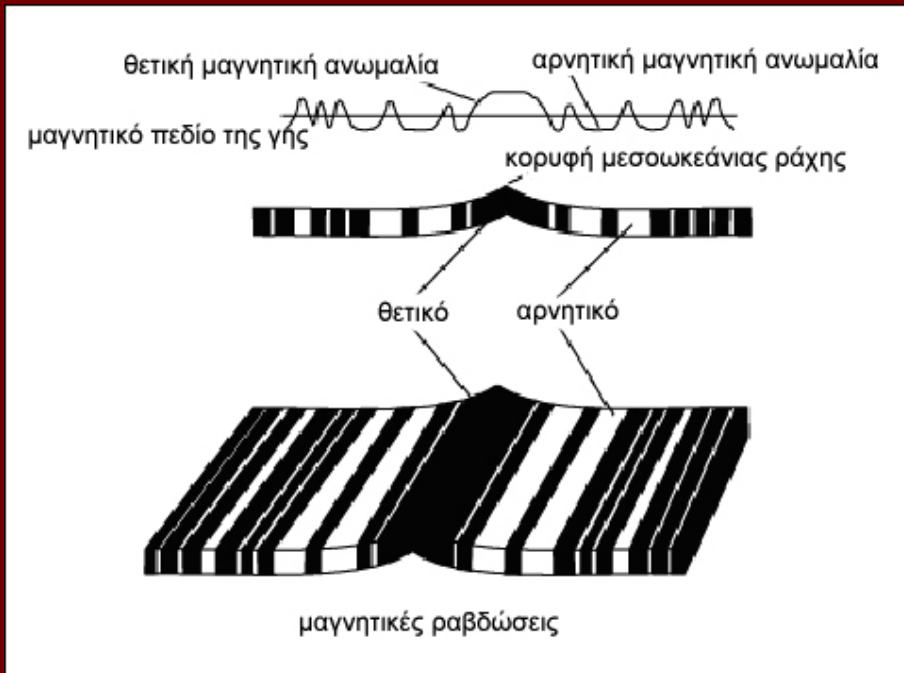
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ Hess & Dietz

Sea floor spreading



- 1962 "Η ιστορία των ωκεάνιων λεκανών" : Ο Harry Hess πρότεινε ότι νέος ωκεάνιος φλοιός δημιουργείται στις τεκτονικές τάφρους των μεσο-ωκεάνιων ράχων.
- Σ' αυτήν την κλασική εργασία ο Hess περιέγραψε τα βασικά σημεία της επέκτασης του θαλάσσιου πυθμένα: λιωμένα πετρώματα (μάγμα) ανεβαίνει αργά από το εσωτερικό της Γης κατά μήκος των μεσο-ωκεάνιων ράχων, δημιουργώντας νέο θαλάσσιο πυθμένα που επεκτείνεται μακριά από τη ενεργή κορυφή της ράχης και τελικά βυθίζεται μέσα στις βαθιές ωκεάνιες τάφρους.
- Robert Dietz: Ταυτόχρονα με τον Hess πρότεινε και αυτός την επέκταση του θαλάσσιου πυθμένα

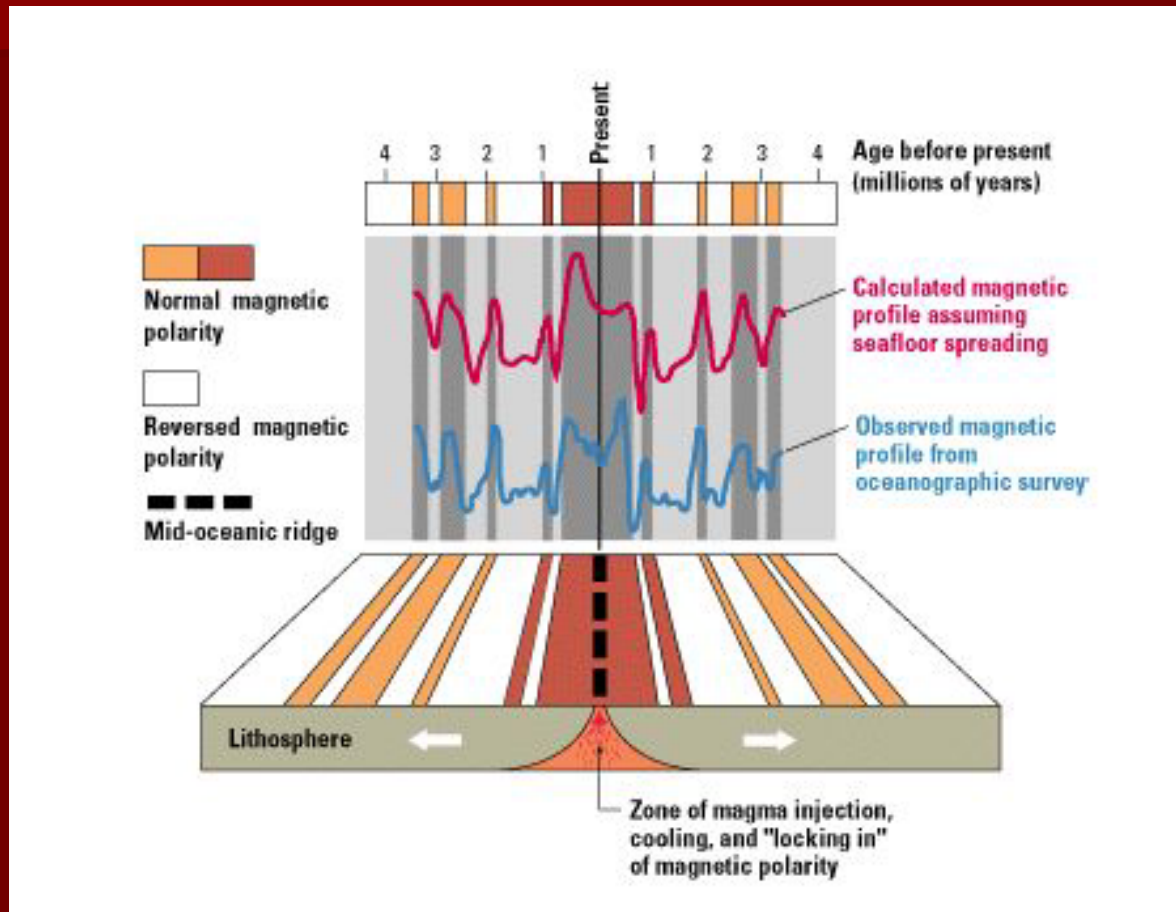
ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΥΠΟΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ



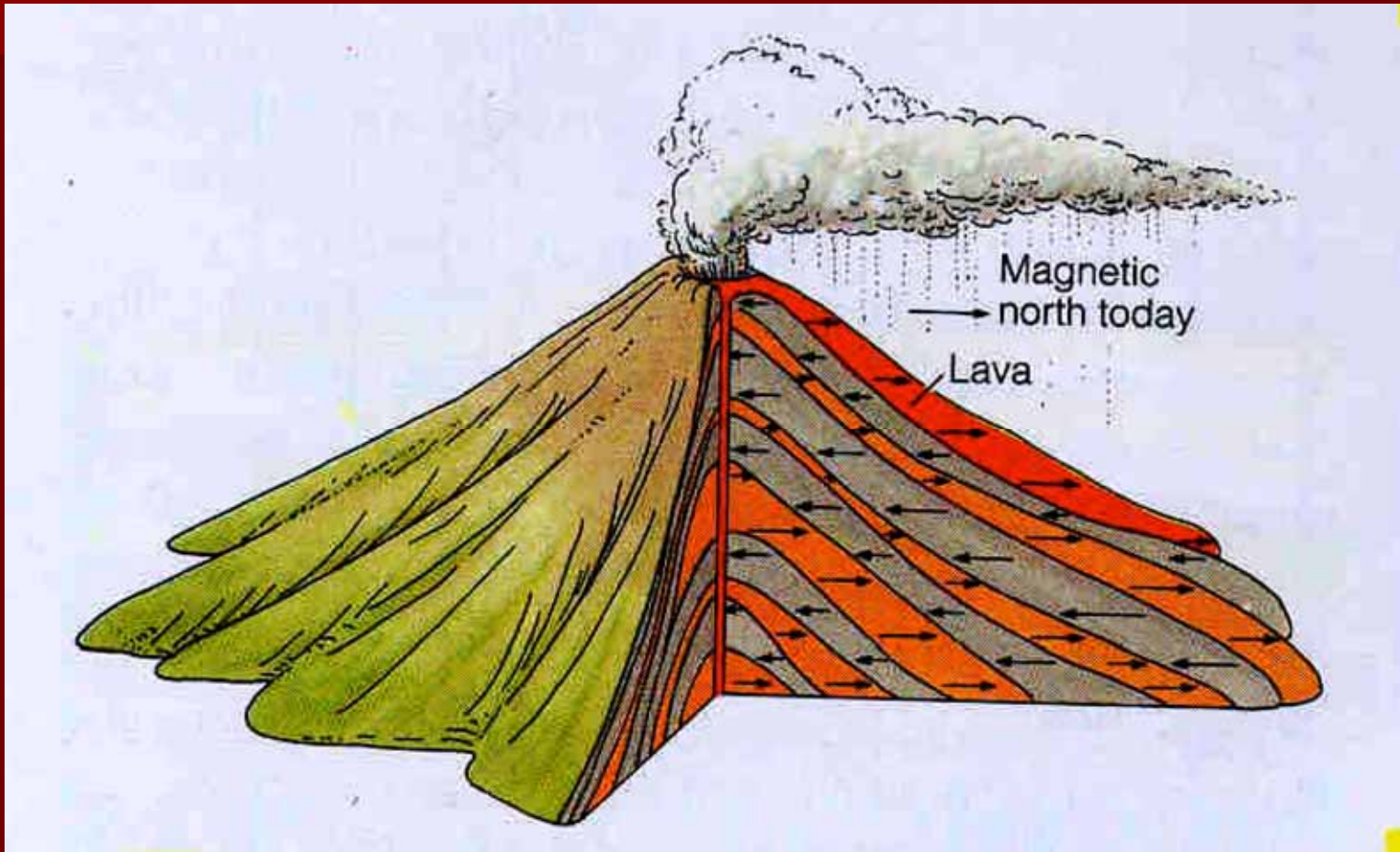
- Στο τέλος της δεκαετίας του 1950, οι επιστήμονες χαρτογράφησαν το σημερινό μαγνητικό πεδίο που δημιουργήθηκε από τα πετρώματα στον πυθμένα του Ειρηνικού ωκεανού.
- Τα ηφαιστειακά πετρώματα που αποτελούν το θαλάσσιο πυθμένα έχουν μαγνήτιση γιατί, καθώς ψύχονται, μαγνητικά ορυκτά μέσα στο πέτρωμα ευθυγραμμίζονται με το μαγνητικό πεδίο της γης.
- Η ένταση του μαγνητικού πεδίου που μετρήθηκε ήταν πολύ διαφορετική από την ένταση που είχαν υπολογίσει.
- Μαγνητικές ανωμαλίες, ή διαφορές στο μαγνητικό πεδίο από περιοχή σε περιοχή.
- Θετικές και αρνητικές μαγνητικές ανωμαλίες.

Θετικές μαγνητικές ανωμαλίες είναι σε περιοχές που το μαγνητικό πεδίο είναι ισχυρότερο από το αναμενόμενο

Μαγνητικές Ραβδώσεις



ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΥΠΟΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ

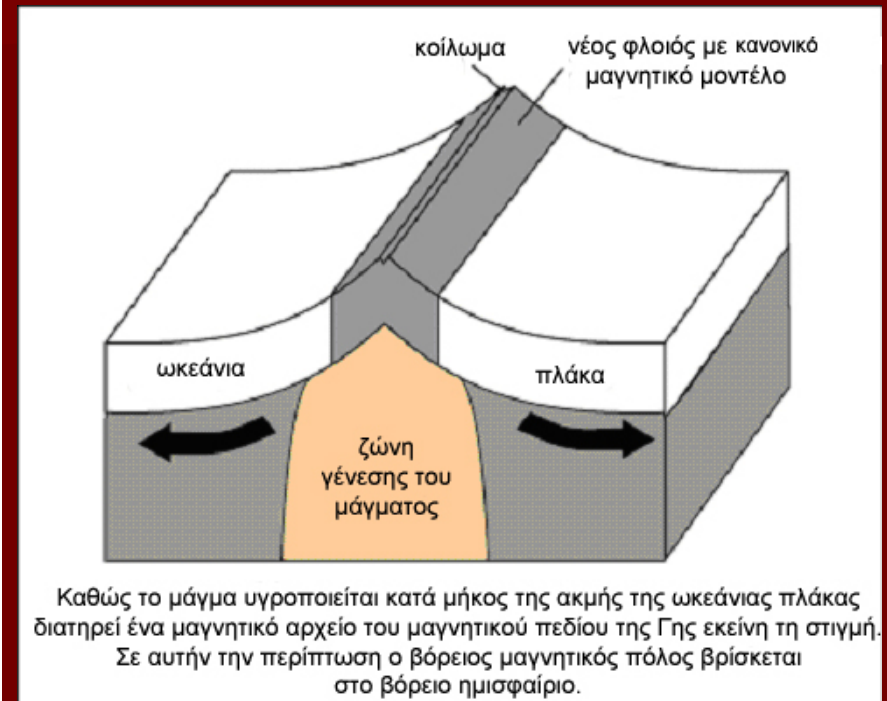
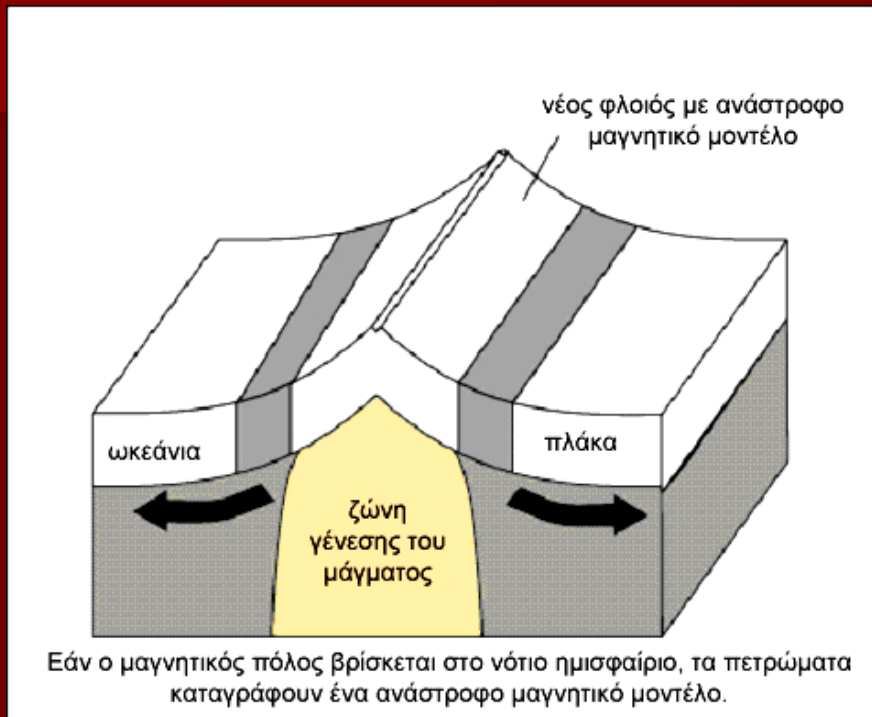


Μαγνητικές ραβδώσεις



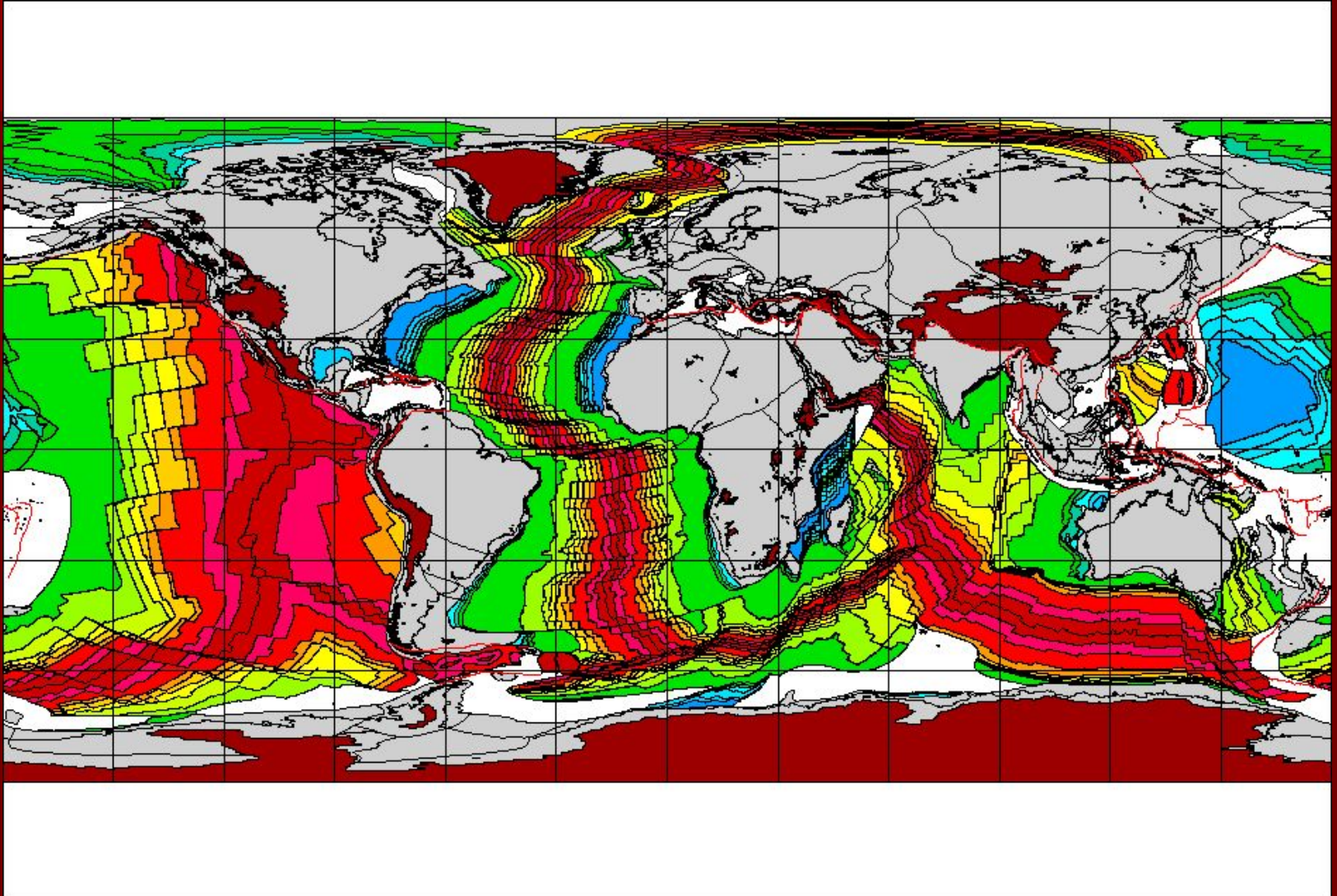
- Κατά τη χαρτογράφηση οι ανωμαλίες δημιουργούν ένα ραβδωτό σε σχήμα ζέμπρας, από παράλληλες αρνητικές και θετικές ταινίες, που αναπτύσσονται κατά μήκος συμμετρικά ως προς τη μεσοωκεάνια ράχη.

Ερμηνεία [Vine & Matthews]

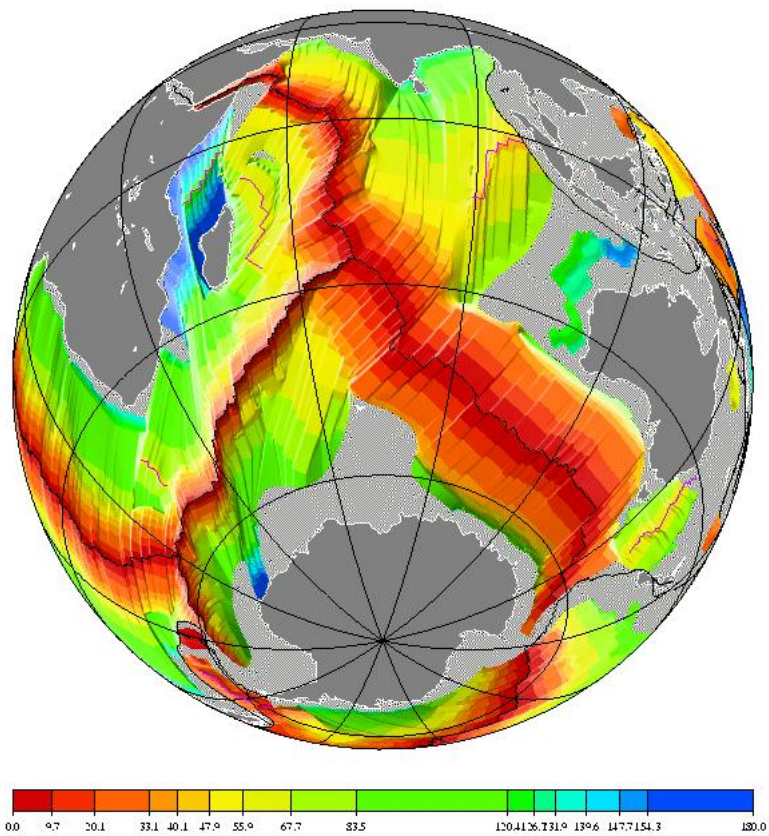


- **1963: Fred Vine & Drummond Matthews.** Πρότειναν ότι λάβα εκρήγνυται σε διαφορετικές στιγμές κατά μήκος της τάφρου στην κορυφή των μεσο-ωκεάνιων ράχων διατηρώντας διαφορετικές μαγνητικές ανωμαλίες.

Ηλικία του ωκεάνιου φλοιού



Age of the Ocean Floor



Age of the Ocean Floor

