

‘Υδρογραφία - Ωκεανογραφία’ 8ο Εξάμηνο, Ακαδ. Έτος 2018-19

Διδάσκοντες:

Δ. Δεληκαράογλου

A. Μαρίνου

Δημιουργία των ωκεανών

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Θεματολογία του σημερινού μαθήματος

- Δημιουργία των ωκεανών
 - Δημιουργία της Γης και της αρχέγονης ατμόσφαιρας
 - Εξέλιξη της υδρόσφαιρας και των ωκεανών
 - Η αρχική όψη της Γης
 - Θεωρία ολίσθησης των ηπείρων και των τεκτονικών πλακών
 - Επέκταση του ωκεάνιου πυθμένα

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

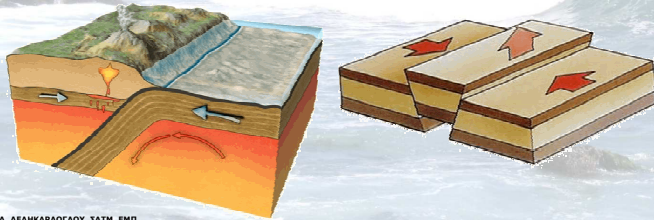
Η δυναμική Γη

Η εξωτερική μορφή της Γης, συμπεριλαμβανομένων και των ωκεανών, συνεχώς αλλάζει



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

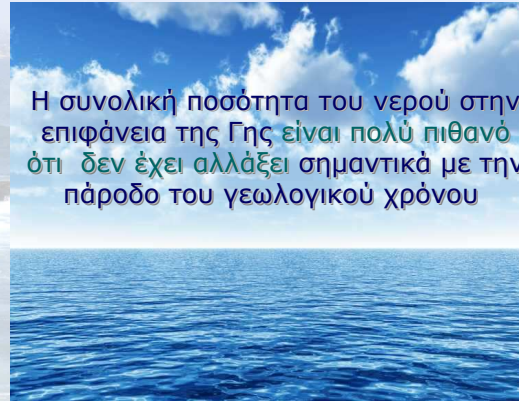
- Με την πάροδο του γεωλογικού χρόνου το σχήμα, το μέγεθος και η γεωγραφική κατανομή των ηπείρων και των θαλασσιών λεκανών αλλάζει
 - Οροσειρές αναδύονται ή διαβρώνονται,
 - ήπειροι μετακινούνται,
 - ωκεανοί ανοίγουν ή κλείνουν ...



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Η δυναμική Γη

Η συνολική ποσότητα του νερού στην επιφάνεια της Γης είναι πολύ πιθανό ότι δεν έχει αλλάξει σημαντικά με την πάροδο του γεωλογικού χρόνου



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Η προέλευση των ωκεανών

- Το 70% της συνολικής επιφάνειας της Γης σήμερα καλύπτεται από νερό.

Από πού όμως προήλθε αυτό;



- Το ερώτημα αυτό αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα των γεωεπιστημών σήμερα, καθώς ...
 - σήμερα η Γη είναι ένας αρκετά ψυχρός πλανήτης για να έχει νερό, ενώ
 - όταν σχηματίστηκε για πρώτη φορά, ήταν υπερβολικά θερμός για να σχηματιστεί με νερό.

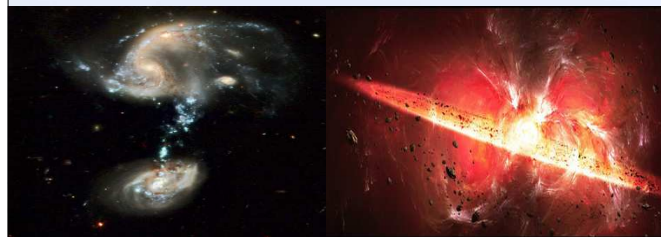
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ



- Οι ιδέες σχετικά με την πρώιμη ιστορία της υδρόσφαιρας συνδέονται στενά με τις θεωρίες για την προέλευση και την εξέλιξη της Γης.
 - Η παρουσία ιζημάτων που σχηματίστηκαν πριν από 2.3-3.0 δισεκ. έτη είναι η αρχαιότερη ένδειξη της ύπαρξης των ωκεανών → παρέχουν ενδείξεις ότι τα αρχαιότερα γνωστά πετρώματα σχηματίστηκαν σε ένα περιβάλλον που περιείχε νερό.

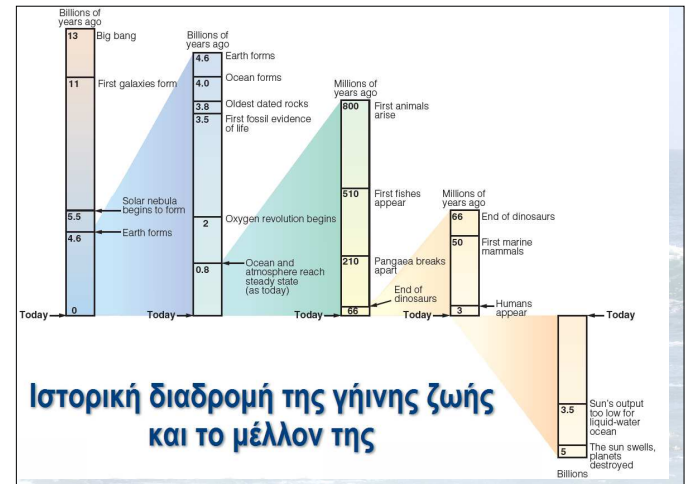
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Προέλευση του Σύμπαντος



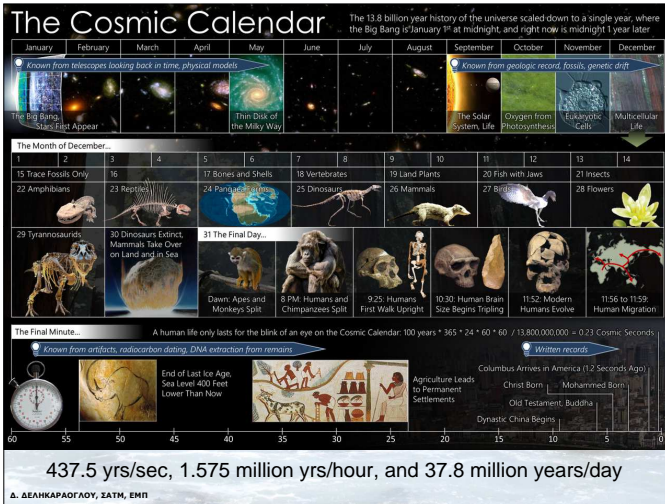
- Σήμερα πιστεύεται ότι ολόκληρο το ηλιακό μας σύστημα σχηματίστηκε από τη συγκέντρωση στερεών σωματιδίων που προήλθαν από ένα μεγάλο κοσμικό νεφέλωμα (Nebula) που σχηματίστηκε μετά την ‘μεγάλη έκρηξη’ (Big Bang)

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Ιστορική διαδρομή της γήινης ζωής και το μέλλον της



Η δημιουργία του σύμπαντος

- Σύμφωνα με την κοσμολογική θεωρία που βασίζεται στο μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης, το Σύμπαν δημιουργήθηκε από μια υπερβολικά πυκνή και θερμή κατάσταση, πριν από περίπου 13.8 δισεκ. χρόνια.
- Ο χώρος και ο χρόνος ξεκινούν με τη Μεγάλη Έκρηξη

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Η μεγάλη έκρηξη προκάλεσε τη γενική διαστολή του σύμπαντος, με παράλληλη ελάττωση της θερμοκρασίας
- Στη διάρκεια των πρώτων λεπτών της δημιουργίας το Σύμπαν μεγάλωσε κατά 30 φορές, ενώ την ίδια χρονική περίοδο δημιουργήθηκε όλο το υδρογόνο που υπάρχει σήμερα σε αυτό, καθώς και όλο το πρωταρχικό ήλιο.

- Έκτοτε, οποιαδήποτε πυρηνοσύνθεση (δημιουργία δηλαδή χημικών στοιχείων), γίνεται μόνο στο εσωτερικό των άστρων και στις σουπερνόβα.

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Το νεαρό ακόμα Σύμπαν συνέχισε να διαστέλλεται και να ψύχεται στη διάρκεια των επόμενων εκατοντάδων χιλιάδων χρόνων, οπότε η θερμοκρασία του έπεσε στους 3000 °C
- Σ` ένα εκατ. χρόνια σε ορισμένες περιοχές, όπου υπήρχαν μεγάλες συγκεντρώσεις ύλης, κάτω από την αδύνατη, αλλά επίμονη, πίεση της βαρύτητας το ομογενές Σύμπαν άρχισε να "διασπάται", σχηματίζοντας έτσι τους "σπόρους" που έγιναν αργότερα περιαστρικοί δίσκοι, γαλαξίες, πλανητικά έμβρυα και πρωτοπλανήτες.

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Η ακριβής αλληλουχία με την οποία τα πλανητικά έμβρυα συσπειρώθηκαν για τη συναρμολόγηση των πλανητών, δεν είναι γνωστή.
- Ωστόσο, πιστεύεται ότι οι αρχικές συγκρούσεις θα πρέπει να αντικατέστησαν την πρώτη "γενιά" εμβρύων με μια δεύτερη γενιά από λιγότερα αλλά μεγαλύτερα έμβρυα.
 - Περαιτέρω συγκρούσεις → μια τρίτη γενιά λιγότερων, αλλά ακόμη μεγαλύτερων πλανητικών εμβρύων.
- Τελικά, έμειναν μόνο λίγοι πρωτοπλανήτες, οι οποίοι συγκρούστηκαν για να ολοκληρωθεί η συναρμολόγηση των ιδίων των πλανητών

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Στο εσωτερικό μας ηλιακό σύστημα, οι τρεις πρώτοι πρωτοπλανήτες που επιβίωσαν σχεδόν άθικτοι είναι οι αστεροειδείς *Ceres* (Δήμητρα), *Pallas* και *Vesta* (Εστία).

Ο πρωτοπλανήτης Γη

- Ήταν μεγαλύτερος σε μέγεθος από τη σημερινή Γη
- Με ομοιογενή σύσταση
- Βομβαρδιζόταν από μετεωρίτες

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Οι πρώτοι πρωτοπλανήτες είχαν περισσότερα ραδιενεργά στοιχεία, η ποσότητα των οποίων μειώθηκε με την πάροδο του χρόνου λόγω ραδιενεργού αποσύνθεσης
- Καθώς οι πλανητές αναπτύχθηκαν στο σύννεφο του υλικού που ήταν το πρώιμο ηλιακό σύστημα, υποβλήθηκαν επίσης σε μια διαδικασία που ονομάζεται **πλανητική διαφοροποίηση** (planetary differentiation)

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Με κάθε σύγκρουση με αστεροειδείς και άλλα πλανητικά έμβρυα, η θέρμανση λόγω της ραδιενέργειας, της πρόσκρουσης και της βαρυτικής πίεσης, έλιωνε τμήματα των αναπτυσσόμενων πρωτοπλανητών καθώς μεγάλωναν προς το να γίνουν πλανήτες
- Στις ζώνες τηγμένων υλικών, τα βαρύτερα (πυκνότερα) υλικά (π.χ., σίδηρος, νικέλιο) βυθίστηκαν στο κέντρο, ενώ τα ελαφρύτερα στοιχεία ανέβαιναν στην επιφάνεια.

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

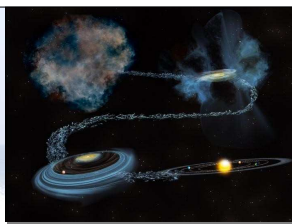
Πρόελευση της Γης

- Η γεωλογική ιστορία της Γης άρχισε ~4.6 δισεκ. χρόνια πριν, όταν οι πλανήτες του Ηλιακού Συστήματος δημιουργήθηκαν έξω από το ηλιακό νεφέλωμα, μια μάζα ιονισμένων σωματιδίων και αερίων, σε σχήμα δίσκου που απέμεινε από το σχηματισμό του Ήλιου (που είναι 2^{ης} ή 3^{ης} γενιά άστρο)

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Στην περίπτωση της Γης

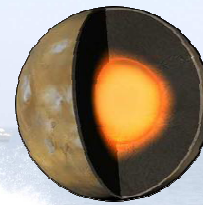
- η αεριώδης ύλη του αστρικού νεφελώματος συμπυκνώθηκε σε μικρά σωματίδια που συγχωνεύτηκαν για να σχηματίσουν, μαζί με άλλες συγκεντρώσεις κοσμικής ύλης (*protoplanets*), τον *πρωτοπλανήτη-Γη*, που σταδιακά αύξησε τη μάζα του με τη βοήθεια της βαρυτικής έλξης περισσότερων σωματιδίων



Πλανητικά έμβρυα (planetesimals) → Πρωτοπλανήτες



- Μερικά από τα συστατικά αυτά σωματίδια είχαν **σύνθεση παρόμοια με εκείνη μετεωριτών ανθρακούχου χονδρίτη** (ενός υλικού που έχει διαπιστωθεί ότι προέρχεται από το πρώιμο Ηλιακό Σύστημα) που μπορεί να περιέχει έως 20% νερό.



- Ακολούθησε θέρμανση αυτής της αρχικά δροσερής διάσπαρτης μάζας, από τη **διάσπαση ραδιενεργών στοιχείων** και τη μετατροπή της κινητικής και δυναμικής ενέργειας σε θερμότητα → ανάπτυξη του υγρού σιδηρούχου πυρήνα της Γης και την εσωτερική διαφοροποίηση του πλανήτη σε στρωματώσεις (δηλ., πυρήνα, μανδύα και φλοιό).



- Είναι πιθανό ότι ο σχηματισμός του πυρήνα οδήγησε στη διαφυγή της οποιασδήποτε πρωτόγονης ατμόσφαιρας σε αυτό το στάδιο
- Αρχικά **τετηγμένο**, το εξωτερικό στρώμα της Γης άρχισε να ψύχεται → δημιουργώντας ένα στερεό φλοιό, ενώ ...
- Το φαινόμενο των εκρών και η ηφαιστειακή δραστηριότητα παρήγαγαν την **αρχέγονη ατμόσφαιρα**

Από την αρχή της σύγχρονης Αστρονομίας, υπήρξαν τουλάχιστον τέσσερις υποθέσεις για την προέλευση της Σελήνης:

1. **Fussion theory** - 'Ότι ένα ενιαίο πλανητικό σώμα χωρίστηκε στη Γη και στη Σελήνη
 - Η Σελήνη αποκολλήθηκε από τη Γη λόγω φυγόκεντρων δυνάμεων
2. **Capture theory** - 'Ότι η Σελήνη συλλήφθηκε από τη βαρύτητα της Γης (όπως πολλά από τα μικρότερα φεγγάρια των εξωτερικών πλανητών).
3. **Condensation (ή co-creation) theory** - 'Ότι η Γη και η Σελήνη σχηματίστηκαν σχεδόν την ίδια στιγμή που δημιουργήθηκε ο αρχέγονος (γαλαξιακός) δίσκος καυτών υλικών, και
4. **Το σενάριο του αστεροειδούς Theia (Θεία)**
 - Η θεωρία της μεγάλης πρόσκρουσης

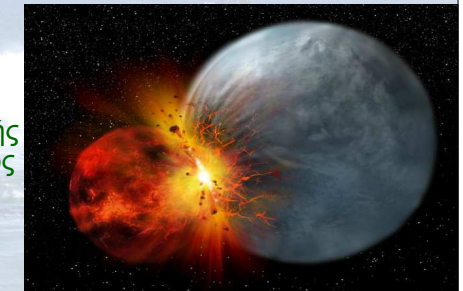
Ως προς τους πρώτους τρεις θεωρούμενους μηχανισμούς:

1. Η αποκοπή της Σελήνης από το φλοιό της Γης λόγω φυγόκεντρων δυνάμεων, θα απαιτούσε υπερβολικά μεγάλη αρχική ταχύτητα περιστροφής της Γης
2. Η βαρυτική σύλληψη μιας προσχηματισμένης Σελήνης, θα απαιτούσε μια ανέφικτα εκτεταμένη ατμόσφαιρα της Γης να διαχέει την ενέργεια της εκεί που διέρχεται η Σελήνη
3. Η συν-δημιουργία της Γης και της Σελήνης από κοινού στον αρχέγονο δίσκο, δεν εξηγεί την έλλειψη μεταλλικού σιδήρου στη Σελήνη

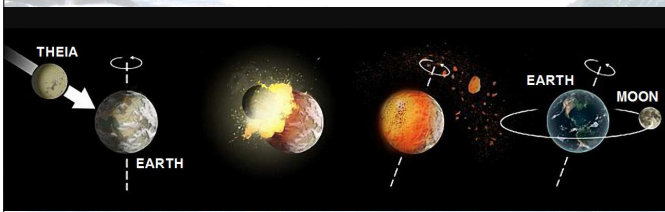
Αυτές οι προηγούμενες υποθέσεις, επίσης, δεν μπορούν να εξηγήσουν την υψηλή στροφορμή στο σύστημα Γης-Σελήνης

- Η Σελήνη σχηματίστηκε λίγο αργότερα, πιθανότατα ως αποτέλεσμα σύγκρουσης της νεαρής τότε Γης με έναν αστεροειδή με περίπου 10% της μάζας της Γης

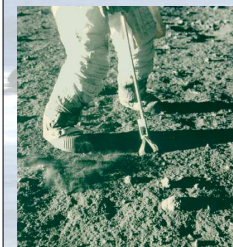
→ Μια υπόθεση που είναι συνεπής με τις μετρήσεις της στροφορμής του συστήματος Γης-Σελήνης, και το μικρό μέγεθος του πυρήνα της Σελήνης



- Μετά τη σύγκρουση του αστεροειδούς Theia με τη Γη, τα συντρίμια που εκτινάχθηκαν στο διάστημα τέθηκαν σε γήινη τροχιά και τελικά σχημάτισαν τη Σελήνη.
- Οι γεωχημικές αναλύσεις μέχρι σήμερα έχουν δείξει ότι το ισοτοπικό "δαχτυλικό αποτύπωμα" της Γης και της Σελήνης είναι σχεδόν πανομοιότυπο → τα δύο σώματα προήλθαν από την ίδια πηγή, χωρίς να διακρίνονται ίχνη από κάποιο τρίτο σώμα

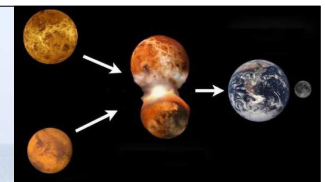


Παράγοντες που συνηγορούν υπέρ της θεωρίας της μεγάλης πρόσκρουσης



- Τα δείγματα σεληνιακών πετρωμάτων που ανακτήθηκαν μη επανδρωμένα σοβιετικά ρομπότ και από τους αστροναύτες των διαστημικών αποστολών "Απόλλων" βρέθηκαν να είναι πολύ παρόμοια σε σχέση με εκείνα του γήινου φλοιού και πιθανότατα απομακρύνθηκαν από τη Γη σε κάποιο βίαιο γεγονός.

Παρά την κυρίαρχη θεωρία που εξηγεί την προέλευση της Σελήνης, υπάρχουν πολλά ερωτήματα που ακόμα δεν έχουν επιλυθεί



- Η σχέση μεταξύ των στοιχείων ρουβιδίου/καϊσίου στα συντρίμια της πρόσκρουσης θα αναμενόταν να είναι υψηλότερη στη Σελήνη από ό,τι στη Γη, αφού το καϊσίο είναι πιο πτητικό από το ρουβίδιο, αλλά συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο.
 - Προσομοιώσεις δείχνουν ότι τα συντρίμια από τη σύγκρουση θα έπρεπε να πέσουν (εν είδη βροχής) πίσω στη Γη αντί να παραμείνουν σε τροχιά και να σχηματίσουν τη Σελήνη.

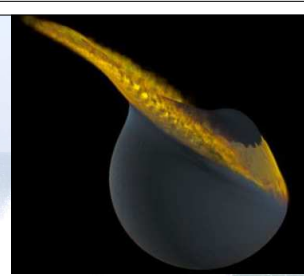
- Μια δεύτερη θεωρία υποστηρίζει ότι αρχικά από το κατακλυσμικό συμβάν της σύγκρουσης δημιουργήθηκαν δύο φεγγάρια τα οποία στη συνέχεια συγχωνεύτηκαν σε μια αργή σύγκρουση, σχηματίζοντας την σημερινή Σελήνη.



- Προσομοιώσεις δείχνουν ότι το μικρότερο φεγγάρι είχε μόλις το ένα τριακοστό της μάζας της Σελήνης και διάμετρο γύρω στα 1200 km.

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Καθώς οι παλιρροϊκές δυνάμεις της Γης θα αύξαναν την ακτίνα της τροχιάς των δύο φεγγαριών, οι ισορροπίες μεταξύ τους άλλαξαν, με αποτέλεσμα να συγκρουστούν με μικρή ταχύτητα και ουσιαστικά το μικρό φεγγάρι να "απλωθεί" γύρω από το μεγαλύτερο.



- Άλλες θεωρίες για να εξηγήσουν το φαινόμενο είναι μια ασύμμετρη σύγκρουση που δημιούργησε το μεγάλο κρατήρα στο νότιο πόλο της Σελήνης και η δράση των παλιρροϊκών δυνάμεων

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Παράγοντες που επηρεάζουν τη σύνθεση της ατμόσφαιρας

- Απαερίωση (outgassing)
 - Θέρμανση από τον πυρήνα της Γης
 - Ηφαιστειακές εκρήξεις
- Συγκρούσεις: μετεωρίτες, κομήτες
- Θερμική διαφυγή
 - Μόρια αερίων που κινούνται ταχύτερα από την ταχύτητα διαφυγής
- Διάσπαση
 - Αλληλεπίδραση με την ηλιακή ακτινοβολία
- Αλληλεπίδραση με ορυκτά, το έδαφος και τους ωκεανούς

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Δημιουργία και εξέλιξη της ατμόσφαιρας

- Η πρωταρχική ατμόσφαιρα δημιουργήθηκε συγχρόνως με το ηλιακό σύστημα πριν από περίπου 4.6 δις. χρόνια.
- Στο αρχικό στάδιο δημιουργίας της, η Γη ήταν μια λιωμένη σφαιροειδής μάζα με επιφανειακές θερμοκρασίες της τάξης των χιλιάδων °C, που περιβαλλόταν από μια πυκνή και θερμή μάζα αερίων προερχόμενα από το ηλιακό νεφέλωμα (κυρίως υδρογόνο και ήλιο, καθώς και ενώσεις του υδρογόνου, όπως το μεθάνιο και η αμμωνία).
- Η Γη δεν είχε ακόμη αναπτύξει το μαγνητικό της πεδίο, και σε συνδυασμό με τη μικρή μοριακή μάζα των συστατικών της και την αδύναμη βαρύτητά της, η πρωταρχική αυτή ατμόσφαιρα παρασυρθηκε από τον ηλιακό άνεμο.

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Σήμερα, γνωρίζουμε ότι η ατμόσφαιρα της Γης είναι 78% άζωτο (N_2), 21% οξυγόνο (O_2).
 - Η σύσταση αυτή είναι πολύ διαφορετική από τις ατμόσφαιρες των εσωτερικών πλανητών, της Αφροδίτης και του Άρη, των οποίων η ατμόσφαιρα κυριαρχείται από διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), αλλά χωρίς ελεύθερο οξυγόνο.
 - Ακόμη πιο διαφορετικές είναι οι ατμόσφαιρες των γιγαντιαίων πλανητών που αποτελούνται από H , He , και ενώσεις CH_4 και NH_3 .
- Οι ατμοί του νερού (H_2O), το CO_2 και το N_2 , μαζί με άλλα αέρια, απελευθερώνονται στην επιφάνεια με την ηφαιστειακή δραστηριότητα στη Γη σήμερα, και **πιθανότατα το ίδιο συνέβη και στις πρώτες ημέρες της Γης.**

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ



- Δεν είναι απαραίτητα "ενδογενής/*endogenous*" (δηλ., εκεί από το αρχή). Εξάτμιση από το φλοιό λόγω ηφαιστειών ή επιφανειακών επιπτώσεων (π.χ., πτώση μετεωριτών)
- Μια σημαντική εναλλακτική εκδοχή είναι η "εξωγενής/*exogenous*" παράδοση οργανικών υλικών από κομήτες, αστεροειδείς, διαπλανητική σκόνη ...

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ



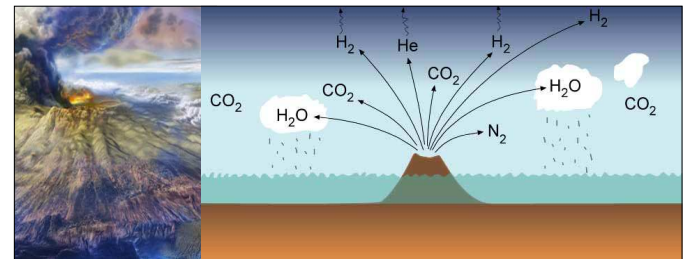
- Σε πρώιμο στάδιο η Γη δεν είχε το νερό ή υδρατμούς στην επιφάνειά της.
- Στο εσωτερικό της Γης, το **υδρογόνο και οξυγόνο** που σχηματίζουν το νερό **ήταν αρχικά περιορισμένα στα ορυκτά** → οι υδρατμοί, ενώ θα μπορούσαν να απελευθερώνονται σε βάθος και να διαφύγουν προς την επιφάνεια, καθώς η Γη θερμαινόταν διέφευγαν στην ατμόσφαιρα

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ



- Σταδιακά, καθώς η Γη ψύχθηκε αρκετά, σχηματίστηκε ένας στερεός φλοιός καλυμμένος με ηφαιστεια, τάφρους και χαράδρες → διέξοδοι ατμών. Με αυτό τον τρόπο εκλύονταν από την επιφάνεια της Γης αέρια που ήταν διαλυμένα στην πυρακτωμένη μάζα που εξακολουθούσε να υπάρχει στο εσωτερικό του πλανήτη.

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ



- Τα αέρια αυτά (κυρίως υδρατμοί (H_2O), διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , άζωτο N_2 , κ.ά.), αποτέλεσαν τη 2^η ατμόσφαιρα της Γης και, όπως προκύπτει από ανάλυση των αρχαιότερων πετρωμάτων της Γης, ήταν παρόμοια με αυτά που εκλύουν ακόμη και σήμερα τα ηφαιστεια και με εκείνα των εσωτερικών πλανητών

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ



- Μερικά από τα αέρια στην νέα ατμόσφαιρα ήταν μεθάνιο (CH₃), αμμωνία (NH₃), υδρατμοί (H₂O), και διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

- Το νερό στη Γη παρέμεινε σε αέρια μορφή, ώσπου η επιφάνεια του πλανήτη άρχισε να ψύχεται αρκετά (κάτω από 374° C) → αυτό επέτρεψε στους υδρατμούς να συμπυκνωθούν και να συγκεντρωθούν ως υγρό → **πρώτες βροχές και πλήρωση με νερό των κοιλωμάτων του φλοιού (ωκεάνιοι πυθμένες)** → σταδιακά, οι πρωτόγονοι ωκεανοί και η υδρόσφαιρα

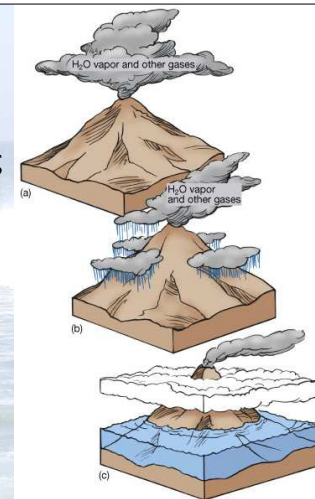
Η εξέλιξη της πρώιμης υδρόσφαιρας

- Στο στάδιο αυτό, το χλωριούχο υδρογόνο μπορούσε να διαλυθεί στον ωκεανό (περίπου ένα γραμμομόριο ανά λίτρο), αλλά με
- το μεγαλύτερο μέρος του διοξειδίου του άνθρακα να παραμένει στην ατμόσφαιρα, με μόνο περίπου 0.5 γραμμομόρια ανά λίτρο στο νερό του ωκεανού.
- Αυτά τα οξέα στον πρώιμο ωκεανό θα πρέπει να είχαν αντιδράσει έντονα με τα ορυκτά του φλοιού, διαλύοντας το πυρίτιο και κατιόντα στα πυριγενή ορυκτά πετρώματα → **αργιλικά ορυκτά που θα σχηματίσουν τα ιζήματα των πρώτων ωκεάνιων λεκανών.**

Ως αποτέλεσμα της διαστρωμάτωσης της πυκνότητας στο εσωτερικό της Γης, το νερό για τους ωκεανούς απαεριώνεται μέσα από τη Γη

—
Η λεγόμενη διαδικασία του **outgassing** (απαερίωση= εξάτμιση και η εξαέρωση μέσα στο κενό)

—
Γεωχημικοί κύκλοι



Απαρχή των

- Καθώς το νερό από την ατμόσφαιρα άρχισε να τροφοδοτεί τους ωκεανούς, έφερε μαζί του διαλυμένα αέρια προερχόμενα από τα ηφαίστεια και τους θερμοπίδακες του μανδύα.

- Το νερό ως απορροή από τη γη → φέρνει διαλυμένα μεταλλικά στοιχεία από το υπέδαφος στην επιφάνεια. Τα ορυκτά αυτά περιλαμβάνουν τα άλατα → **αλμυρό θαλασσινό νερό**

Γεωχημικών κύκλων



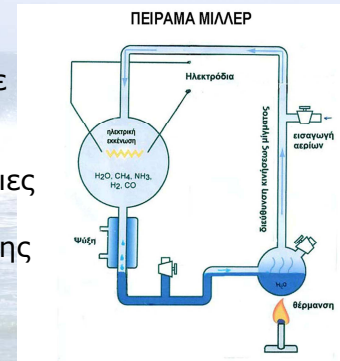
- Η συνολική γενικευμένη αντίδραση ενδεικτική της χημείας που οδηγεί στο σχηματισμό των πρώτων ωκεανών μπορεί να γραφτεί στη μορφή:



πρωτοβάθμια πυριγενή ορυκτά πετρώματα + όξινα πτητικά υλικά + H₂O = ιζηματογενή πετρώματα + ωκεανοί + ατμόσφαιρα

Το Πείραμα Miller-Urey

- Έγινε το 1952 και θεωρείται ως το κλασικό πείραμα με στόχο να προσομοιωθούν οι υποτιθέμενες ωκεάνιες και ατμοσφαιρικές συνθήκες της πρώιμης Γης και της προέλευσης της ζωής (**Αβιογένεση**)



- Με τον όρο **αβιογένεση (abiogenesis)** στις φυσικές επιστήμες, εννοείται η μελέτη της προέλευσης των ζωντανών οργανισμών (και της ζωής εν γένει) από μη έμβια ύλη
- Τα αμινοξέα, τα οποία συχνά αναφέρονται και ως “δομικά στοιχεία της ζωής”, είναι δυνατόν να σχηματιστούν από χημικές αντιδράσεις ανεξαρτήτως της ύπαρξης ζωής.

- Τα αμινοξέα είναι οργανωμένα σε πρωτεΐνες, για τον σχηματισμό των οποίων μεσολαβούν τα νουκλεϊκά οξέα

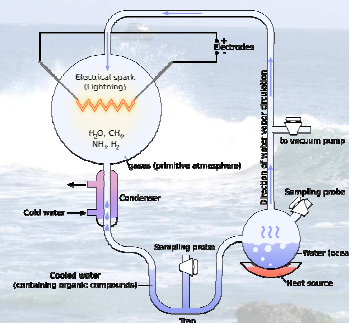
- Ειδικότερα το πείραμα των Μίλερ και Ούρι εξέτασε την υπόθεση ότι οι συνθήκες της νεαρής Γης ευνοούσαν χημικές αντιδράσεις οι οποίες θα συνέθεταν οργανικές ενώσεις από ανόργανα υλικά.

Για το πείραμα των Μίλερ και Ούρι

- Χρησιμοποιήθηκε H₂O, CH₄ (μεθάνιο), NH₃ (αμμωνία) και H₂.

Σε μια αποστειρωμένη διάταξη γυάλινων σωλήνων και φιαλιδίων συνδεδεμένων σε βρόγχο,

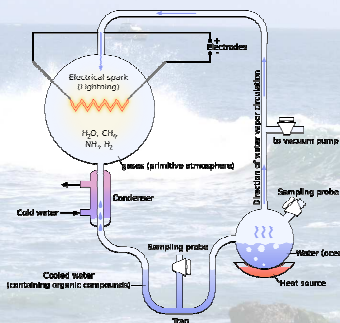
- το υγρό νερό θερμαινόταν ώστε να προκληθεί εξάτμιση, ...



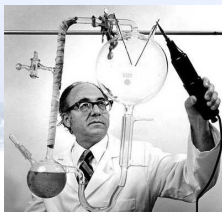
- ενώ πυροδοτούνταν σπινθήρες μεταξύ των ηλεκτροδίων ώστε να προσομοιωθούν οι αστραπές στην ατμόσφαιρα και τους υδρατμούς, ενώ μετά

- η ατμόσφαιρα κρύωνε ξανά ώστε το νερό να υγροποιηθεί και να διαρρέυσει πίσω στο αρχικό φιαλίδιο σε συνεχή κύκλο

Miller, Stanley L.; Harold C. Urey (July 1959). «Organic Compound Synthesis on the Primitive Earth». *Science* **130**: 245



- Μετά από μια βδομάδα παρατηρήθηκε ότι στο σύστημα είχαν σχηματίσει οργανικές ενώσεις
 - 2% του άνθρακα είχε σχηματίσει αμινοξέα, οι δομικές μονάδες για την παρασκευή πρωτεϊνών από τα ζωντανά κύτταρα.



- Το πείραμα κατέδειξε τη δυνατότητα της φυσικής οργανικής σύνθεσης για την προέλευση της ζωής πάνω στη Γη, και
 - έδειξε ότι η ζωή άρχισε πιθανότατα στους ωκεανούς

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Το 2007, νέες έρευνες του Jeffrey Bada (Scripps) με αποξηραμένα υπολείμματα που συλλέχθηκαν στα πειράματα που διεξήχθησαν το 1953 και 1954, και μια παραλλαγή της αρχικής συσκευής (που είχε κατασκευάσει ο Miller) ανιχνεύτηκαν 22 αμινοξέα



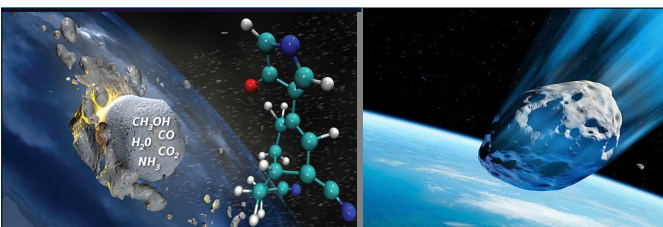
- Η δεύτερη συσκευή βελτίωσε το πείραμα, επειδή η προσθήκη του ατμού φαινόταν να αναπαράγει αυτό που θα μπορούσε να υπήρχε σε λιμνοθάλασσες και δεξαμενές νερού γύρω από τα ηφαίστεια

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Τα τελευταία χρόνια, το πείραμα Miller-Urey έχασε την αρχική σημασία του.
- Με την ανακάλυψη αμινοξέων σε μετεωρίτες εικάζεται ότι τα δομικά στοιχεία της ζωής ήρθαν από το διάστημα, εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για την εξεύρεση χημικών διεργασιών, με τις οποίες θα μπορούσαν να παραχθούν στη Γη.

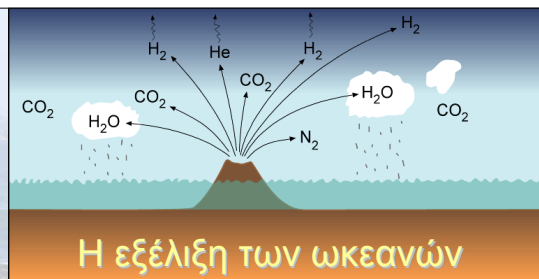


Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ



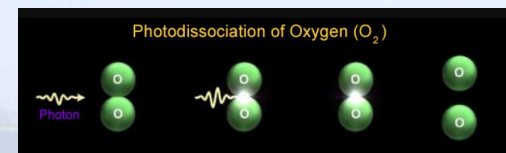
- Κατά μια παρόμοια εκδοχή, εικάζεται ότι κομήτες έφεραν ένα μεγάλο ποσοστό του νερού στην αρχέγονη Γη.
 - Παρά τη φαινομενικά λογική αυτή σύνδεση, η σύνθεση του νερού που έχει εντοπιστεί σε κομήτες διαφέρει ριζικά από εκείνη των ωκεανών της Γης → δεν θα μπορούσε να αποτελεί πρωταρχικό πηγή.

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ



- Είναι πιθανό ότι η υδρόσφαιρα απόκτησε τον όγκο των υδάτων της νωρίς στην ιστορία της Γης, και από τότε έχουν υπάρξει μόνο μικρές απώλειες και προσαυξήσεις (με τη διεργασία της συνεχούς απαέρωσης, degassing)

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ



- Απώλειες μέσω της διάλυση των μορίων ατμού ύδατος σε υδρογόνο και οξυγόνο, λόγω της ενέργειας του υπεριώδους φωτός (φωτοδιάσπαση / photodissociation)
- Προσαυξήσεις μέσω της διεργασίας της συνεχούς απαέρωσης (degassing) των χημικών στοιχείων του φλοιού



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Γιατί το θαλάσσιο νερό είναι αλμυρό;



- Ανθρακικά ιζήματα ηλικίας 2 δισεκ. ετών υποδεικνύουν ότι το νερό των ωκεανών είναι αλμυρό τουλάχιστον για τη μισή του ιστορία.

Οι ωκεανοί δεν είναι απλώς ένας συσσωρευτής αλάτων, αλλά μάλλον ένα σύστημα σταθερής κατάστασης (ίσως εκροής/εισροής ουσιών)



- Με την αυξανόμενη γνώση της ηλικίας της Γης, ωστόσο, σύντομα διαπιστώθηκε ότι, η συνολική περιεκτικότητα σε αλάτι και τη μάζα των επιμέρους αλάτων στους ωκεανούς θα μπορούσε να επιτευχθεί σε γεωλογικά σύντομα χρονικά διαστήματα σε σχέση με την ηλικία του πλανήτη

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Το 2004, οι επιστήμονες που εξερεύνησαν τον βαθύ βυθό κοντά στα νησιά Μαριάννα παρατήρησαν μάζες ορυκτών και διοξειδίου του άνθρακα που διαφεύγουν από τον φλοιό στον ωκεανό. Αυτοί οι αεραγωγοί (vents) συνεισφέρουν διαλυμένα ορυκτά άλατα στους ωκεανούς



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

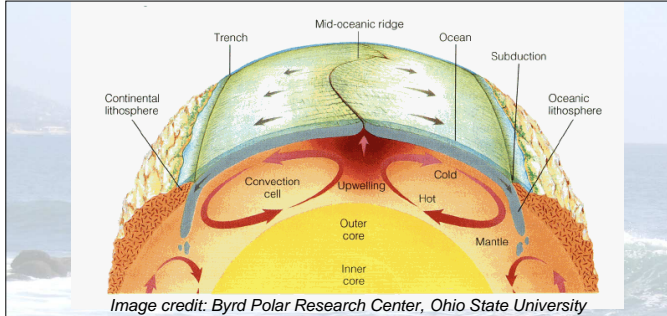
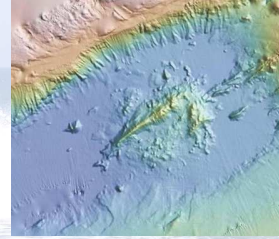


Image credit: Byrd Polar Research Center, Ohio State University

- Νέες έρευνες υποδεικνύουν ότι η κυκλοφορία στον μανδύα, που προσφέρει νέα υλικά στο φλοιό διαμέσου των μεσο-ωκεάνιων ραχών, παρέχει επίσης νερό στους ωκεανούς.

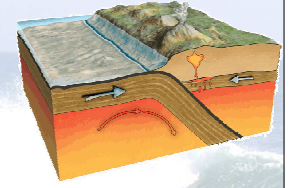
Γεωλογικά χαρακτηριστικά των ωκεανών

Παρατηρούνται ότι είναι ίδια για όλους τους ωκεανούς, π.χ. με νησιωτικά τόξα, ρήγματα μετασχηματισμού, μέσο-ωκεάνιες ράχες, ωκεανικά οροπέδια, σεισμικές ράχες, κλπ.



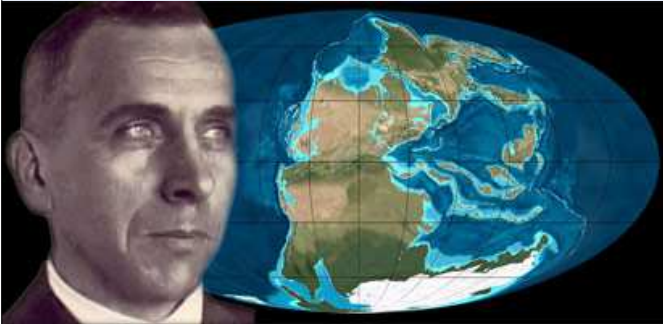
- Τεράστιες περιοχές του ωκεάνιου πυθμένα είναι επίπεδες ή σχεδόν επίπεδες. Ο ωκεάνιος φλοιός αυτών των περιοχών είναι αξιοσημείωτα ομοιόμορφος, τόσο στο πάχος όσο και στη σύσταση.

Για την κατανόηση των γεωλογικών χαρακτηριστικών των ωκεανών έχουν αναπτυχθεί και επικρατήσει διάφορες θεωρίες, με επικρατέστερες εκείνες για ...



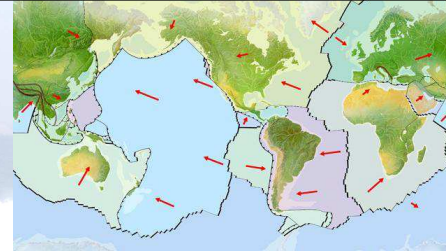
- την ολίσθηση των ηπείρων (continental drift)
- τη κίνηση των τεκτονικών πλακών (tectonic plates)
- τη διάνοξη (ή επέκταση) του ωκεάνιου πυθμένα (sea floor spreading)
- τη νέα Παγκόσμια Τεκτονική

Θεωρία ολίσθησης των ηπείρων



Προτάθηκε από τον Γερμανό μετεωρολόγο **Alfred Lothar Wegener (1880-1930)**

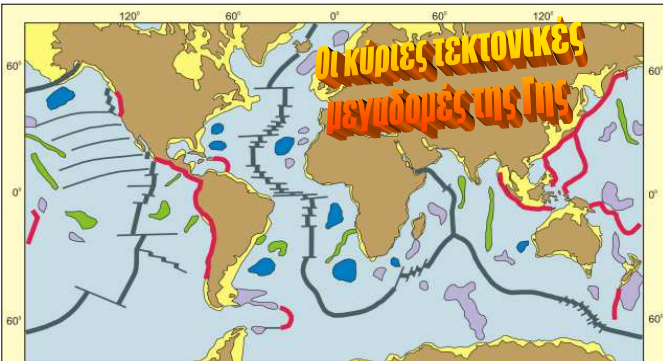
Ολίσθηση των ηπείρων



- Όλες οι οριζόντιες κινήσεις των ηπείρων είναι υπεύθυνες για το σύνολο σχεδόν των γεωδυναμικών φαινομένων ...
 - συμπεριλαμβανομένης και της δημιουργίας της χερσαίας και της ωκεάνιας μορφής της σημερινής Γης

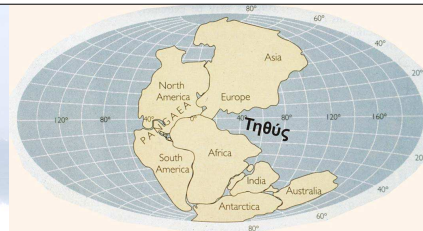


- Κατά την διάρκεια του γεωλογικού χρόνου η μορφή των θαλασσών άλλαξε επανειλημμένα καθώς το υγρό στοιχείο προσαρμόζονταν στο σχήμα που του επέβαλε η συνεχής μετατόπιση των ηπείρων.
- Η μετατόπιση αυτή ερμηνεύεται ικανοποιητικά από την **θεωρία των Τεκτονικών Πλακών**



■ Ωκεανικά πλάτους ηπειρωτικής ή άνωστης προέλευσης
■ Αβυσσικές πεδιάδες
■ Υφαλοκρηπίδα
■ Ασεισμικές ράχες κυρίως ηφαιστειακής ή πυριγενούς προέλευσης
— Νησιωτικά τόξα, ενδοηπειρωτικά τόξα, τόφθοι
— Μεσοοκεάνιες ράχες & ρήγματα μετασχηματισμού

- Μετά τη δημιουργία της υδρόσφαιρας, η Γη δεν είχε τη σημερινή της μορφή



- Την άποψη αυτή διατύπωσε πρώτος ο Alfred Wegener, το 1910.
- Κατά τη θεώρηση του, ξεκινώντας από μια ενιαία ήπειρο (την **Πανγαία** ή **Παγγαία**) και μια ενιαία θάλασσα (την **Πανθάλασσα**), η κίνηση των γιγαντιαίων τμημάτων της λιθόσφαιρας οδήγησε στην σημερινή μορφή των ωκεάνιων λεκανών

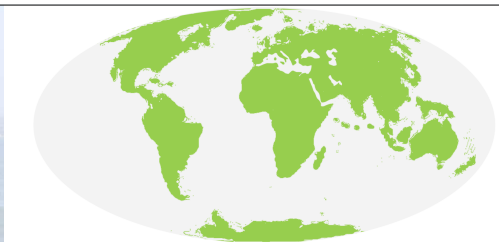


- Η Παγγαία προέκυψε από τη σύγκρουση της Γκοντβάνα, της Λαυρασίας και της Σιβηρίας, περίπου 350-260 εκατ. χρόνια πριν. Διάφορα μικρότερα τμήματα, ειδικά της Ν.Α. Ασίας, ήταν τα τελευταία της συγκέντρωσης.

- Καθώς ο πυθμένας των θαλασσών απλώθηκε εξαιτίας τεκτονικών ανακατατάξεων, η Πανγαία (ή Παγγαία) διαχωρίστηκε και οι ήπειροι άρχισαν να απομακρύνονται μεταξύ τους, παίρνοντας τελικά τη σημερινή τους θέση.



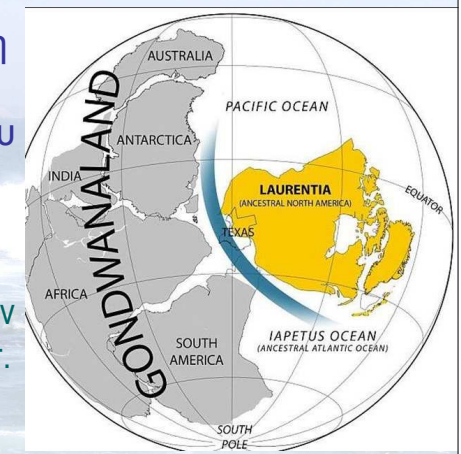
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ



- Η υπόθεση του Wegener δεν επιβεβαιώθηκε ως το 1968, οπότε τα εμπειρικά στοιχεία που αντλήθηκαν από τους πυθμένες των ωκεανών αποδυνάμωσαν τα παλιά γεωλογικά μοντέλα και η θεωρία της μετατόπισης των ηπείρων έγινε το κύριο ρεύμα κατανόησης της γεωλογικής δομής της Γης

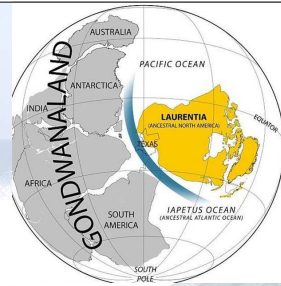
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

Η διάσπαση της υπερηπείρου Γκοντβάνα στην Κάμβρια περίοδο (πριν από ~550 εκατ. έτη)



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

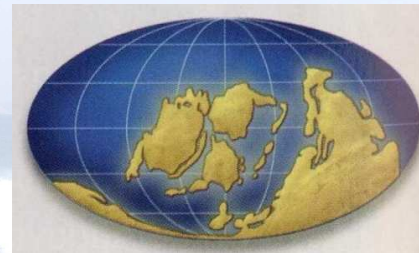
- Ο διαχωρισμός της Β. Αμερικής από την Ανταρκτική με την οποία ήταν συνδεδεμένη στην Γκοντβάνα προκάλεσε, όπως δείχνουν νέες έρευνες, την ταχεία ανάπτυξη ζωής στον πλανήτη



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

- Ταυτόχρονα αυξήθηκαν αξιοσημείωτα τα επίπεδα των (μέχρι τότε ρηχών) ωκεανών → Σειρά από άλλες περιβαλλοντικές αλλαγές με κυριότερες την αλλαγή της χημικής σύνθεσης των ωκεανών αλλά και την αύξηση των επιπέδων οξυγόνου στην ατμόσφαιρα.

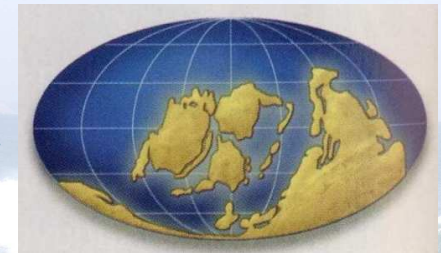
Η όψη της Γης κατά την Ορδοβίκια περίοδο (πριν από 488-444 εκατ. χρόνια)



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

Οι ήπειροι του νοτίου ημισφαιρίου είναι συγκεντρωμένες στην υπερηπειρο Γκοντβάνα, η οποία καλύπτει το Νότιο πόλο → Αρχέγονοι ωκεανοί χωρίζουν τις άγονες ηπείρους της Laurentia, Baltica, Σιβηρία και Γκοντβάνα.

Η όψη της Γης κατά την Ορδοβίκια περίοδο (πριν από 488-444 εκατ. χρόνια)



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

Η περίοδος αυτή θεωρείται η ψυχρότερη στην ιστορία της Γης → Παγετώνες που καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος της νότιας περιοχής της Γκοντβάνα δεσμεύουν πολύ από το νερό του πλανήτη, με αποτέλεσμα να αφανιστεί μεγάλο μέρος της θαλάσσιας ζωής

Η όψη της Γης κατά την Δεβόνιο περίοδο (πριν από 416-359 εκατ. χρόνια)



Οι πρώτοι ωκεανοί έκλεισαν, σχηματίζοντας μια "προ-Πανγαία". Ψάρια μεταναστεύουν από τις ηπείρους του Ν. Ημισφαιρίου στη Β. Αμερική και την Ευρώπη. Σημαντικό σημείο της συγκεκριμένης περιόδου είναι η εμφάνιση των πρώτων αμφιβίων.

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

Η όψη της Γης κατά την Δεβόνιο περίοδο (πριν από 416-359 εκατ. χρόνια)



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

Η Γκοντβάνα προσφέρει καλές συνθήκες ανάπτυξης της χερσαίας ζωής, π.χ. τα δάση αυξήθηκαν για πρώτη φορά στις περιοχές του αρκτικού Καναδά.

Η όψη της Γης κατά την Πέρμια περίοδο (πριν από 299-251 εκατ. έτη)



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

Όλες οι ήπειροι είναι συγκεντρωμένες στην Πανγαία, που απλώνεται από τον έναν πόλο στον άλλο. Οι παράκτιες ζώνες είναι πολύ μικρότερες συγκριτικά με πριν - κάτι που δεν ευνοεί πολλά θαλάσσια είδη.

Η όψη της Γης κατά την Πέρμια περίοδο (πριν από 299-251 εκατ. έτη)



Πιστεύεται ότι ο ωκεανός της Τηθύος αναπτύχθηκε στο χώρο ανάμεσα στην Ευρασία και την Γκοντβάνα, αλλά πριν αποχωρισθούν από την τελευταία οι μικροπλάκες της Αραβίας της Μαδαγασκάρης και των Ινδίων

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Η όψη της Γης κατά την Κρητιδική περίοδο (πριν από 146-66 εκατ. έτη)



Σε αυτή την περίοδο σχηματίστηκαν τα στρώματα της "κρητιδικής διάπλασης" του στερεού φλοιού της (από μαλακό, ασβεστολιθικό και σχεδόν λευκό πέτρωμα -τη γνωστή κιμωλία ή κρητιδα)

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Η όψη της Γης κατά την Κρητιδική περίοδο (πριν από 146-66 εκατ. έτη)



Διανοίγεται ο Ατλαντικός Ωκεανός, διασπώντας συγχρόνως τη Λαυρασία σε δύο τμήματα, τη Β. Αμερική και την Ευρασία. Η Ινδία διαχωρίζεται από τη Μαδαγασκάρη, κινούμενη προς βορρά σε πορεία σύγκρουσης με την Ευρασία, δημιουργώντας έτσι τα Ιμαλάια. Η Αυστραλία ήταν ακόμη ενωμένη με την Ανταρκτική.

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Η όψη της Γης κατά την Κρητιδική περίοδο (πριν από 146-66 εκατ. έτη)



Ταυτόχρονα η Αφρική κινήθηκε και αυτή προς βορρά συγκρούστηκε με τη Ευρασία και δημιούργησε το υπόλοιπο αλπικό σύστημα στη Μεσόγειο (Άλπεις, Απέννινα Όρη κλπ.)

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Η όψη της Γης κατά την Κρητιδική περίοδο (πριν από 146-66 εκατ. έτη)



Η διάσπαση της στεριάς σε ξεχωριστές ηπείρους, προκαλεί την εμφάνιση ενδημικών ειδών ζώων και φυτών. Σε αυτό το στάδιο γίνονται μερικές μεταβολές με μορφή ορογενετικών μετακινήσεων (π.χ., η δημιουργία των Βραχωδών Όρων της ΒΑ Αμερικής)

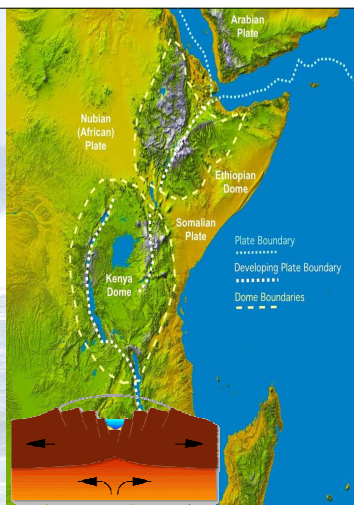
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ



- Πριν από περίπου 15-20 εκ. χρόνια άρχισε να απομακρύνεται η Αραβία από την Αφρική και στη συνέχεια συγκρούστηκε με την Ευρασία δίνοντας τα βουνά στο Ιράν και την ανατολική Τουρκία, ενώ ταυτόχρονα άνοιξε η Ερυθρά θάλασσα.

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Σήμερα βρίσκεται σε εξέλιξη η διαδικασία απόσπασης ενός ακόμη κομματιού της Αφρικής. Αυτό γίνεται μέσα από τη διάνοιξη μιας βαθιάς σχισμής (τάφρος ανατολικής Αφρικής, East African Rift), με την οποία συνδέεται η έντονη ηφαιστειότητα της περιοχής (ηφαίστεια της Κένυας, όπως το Κιλιμάντζαρο).



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

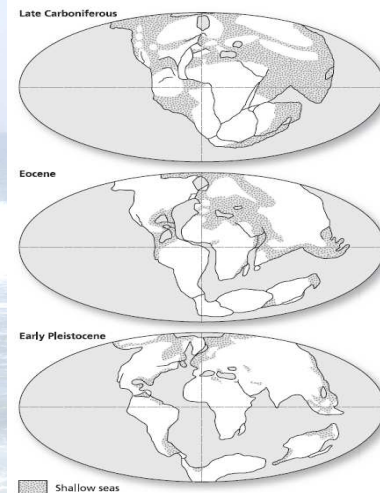


- Κατά την ταφρογένεση που συμβαίνει ενεργά στο χώρο της Ανατολικής Αφρικής, εκκολάπτεται μια νέα ηπειρωτική διάρρηξη με πιθανή απομάκρυνση του ηπειρωτικού τμήματος του κέρατος της Αφρικής προς τα Ανατολικά

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Θεμελίωση της θεωρίας ολίσθησης των ηπείρων

Continental Drift



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Η θεωρία των τεκτονικών λιθосφαιρικών πλακών (*Theory of plate tectonics*)
- ενοποιεί πολλά από τα χαρακτηριστικά της θεώρησης περί της *ολίσθησης των ηπείρων (Continental Drift)* και της εξάπλωσης του ωκεάνιου πυθμένα (*Seafloor Spreading*)
- σε ένα συνεκτικό μοντέλο που εξηγεί τη γεωλογική εξέλιξη της Γης και όλα σχεδόν τα γεωδυναμικά φαινόμενα που σχετίζονται με την κίνηση των ηπείρων της Γης μεταξύ τους, το σχηματισμό των ωκεάνιων λεκανών, των οροσειρών και τη γεωλογική ιστορία της Γης

Theory of Plate Tectonics = Continental Drift + Seafloor Spreading

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

- Η θεωρία της μετατόπισης των τεκτονικών λιθосφαιρικών πλακών (*Theory of plate tectonics*) και της *ολίσθησης των ηπείρων (Continental drift)* εξηγούν τη γεωλογική εξέλιξη της Γης και όλα σχεδόν τα γεωδυναμικά φαινόμενα που σχετίζονται με την κίνηση των ηπείρων της Γης μεταξύ τους
 - Σήμερα, ο όρος **Νέα Παγκόσμια Τεκτονική** περιλαμβάνει το σύνολο των σύγχρονων υποθέσεων, ιδεών και θεωριών, που αναφέρονται στις οριζόντιες κυρίως κινήσεις γιγαντιαίων επιφανειακών τμημάτων της γήινης λιθόσφαιρας, στα αίτια που προκαλούν τις κινήσεις αυτές και την συμβολή των κινήσεων αυτών στην διαμόρφωση της μορφολογίας της επιφάνειας της Γης

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ



- Η υπόθεση ότι οι ήπειροι κινούνται διατυπώθηκε για πρώτη φορά από τον **Αβραάμ Ortelius** το 1596 και αναπτύχθηκε πλήρως από τον **Alfred Wegener** το 1912.

- Ωστόσο, επαρκείς γεωλογικές εξηγήσεις δόθηκαν μετά την ανάπτυξη της θεωρίας των τεκτονικών πλακών στη δεκαετία του 1960.



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ



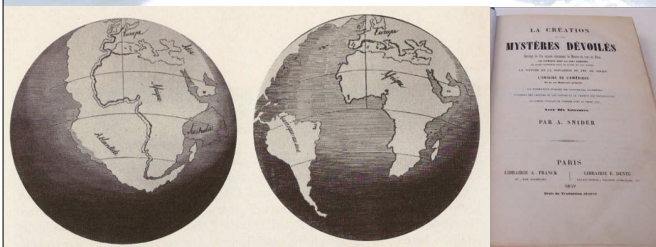
- Ο **Francis Bacon** παρατήρησε, για πρώτη φορά, την ομοιότητα που είχαν οι ακτές της Αφρικής και της νότιας Αμερικής, στο βιβλίο του *Novum organum (Το νέο όργανο)*



- Ο Γερμανός φυσιολάτρης **Αλέξανδρος von Humboldt**, σημειώνοντας την φαινομενική προσαρμογή της ανατολικής Νότιας Αμερικής και της Αφρικής, πρότεινε (περίπου το 1800) ότι οι εκτάσεις που βρέχονται από τον Ατλαντικό Ωκεανό ήταν κάποτε ενωμένες

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

- Ο Γάλλος γεωγράφος **Αντόνιο Snider-Πελεγκρίνι**, το 1858, πρότεινε ότι πανομοιότυπα κοιτάσματα άνθρακα που βρέθηκαν στην Ευρώπη και Β. Αμερική θα μπορούσε να εξηγηθούν εάν οι δύο ήπειροι ήταν προηγουμένως ενωμένες,



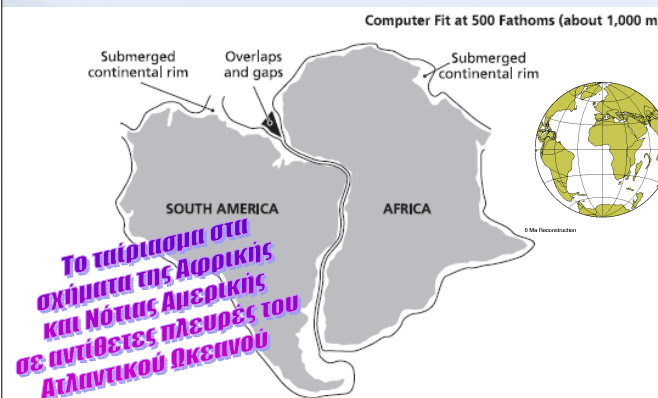
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

- Ο Αμερικανός ειδικός στη γεωλογία των παγετώνων των Μεγάλων Λιμνών, **Frank Bursley Taylor**, το 1910, και ο Γερμανός μετεωρολόγος **Alfred Wegener**, το 1912, ήταν οι πρώτοι που, ανεξάρτητα, διατύπωσαν την θεωρία για τις μεγάλης κλίμακας οριζόντιες κινήσεις των ηπείρων μέσα στο γεωλογικό χρόνο

- Ο Taylor εξήγησε το σχηματισμό ορισμένων οροσειρών (Άνδεις, Άλπεις, Ιμαλάια) με τη θεωρία της σύγκρουσης των ηπείρων, ενώ
- ο Wegener έδωσε την πρώτη αληθινά λεπτομερειακή και συνεκτική θεωρία για τη μετατόπιση των ηπείρων

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

Οι πρώτες παρατηρήσεις του Wegener



Πανομοιότυπα σχήματα οροσειρών



Σήμερα

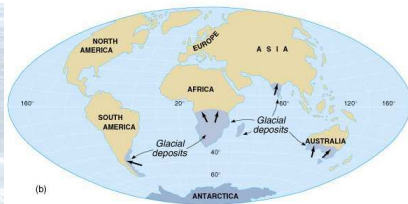
300 εκατ. χρόνια πριν

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

Η ηλικία των παγετώνων / παλαιοκλίμα

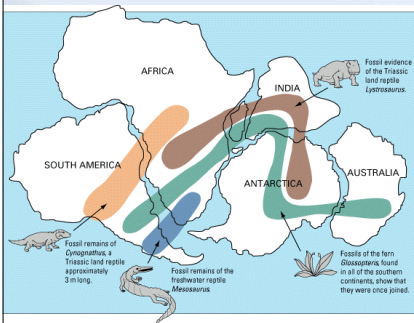


καθώς, και η προφανής μετατόπιση των πολικών περιοχών της Γης



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

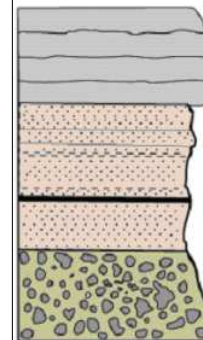
Η κατανομή των απολιθωμάτων



... του ίδιου είδους που βρέθηκαν σε διαφορετικές ηπείρους

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

Η κατανομή των απολιθωμάτων



ροές βασάλτης
λάβας
ψαμμίτης αργιλικός σχιστόλιθος
λιθάνθρακας
απολιθώματα *Glossopteris*
τιλλίτης



... καθώς, και μια παρόμοια αλληλουχία - ακολουθία βράχων σε πολυάριθμες τοποθεσίες

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

- Η θεωρία του Wegener διατυπώθηκε ανεξάρτητα και ήταν πιο πλήρης από αντίστοιχες παρόμοιες θεωρήσεις, π.χ. των Ortelius, Bacon, Snider-Pellegrini κ.ά.



- Λίγα χρόνια πριν, η ομοιότητα του γεωλογικού σχηματισμού της νότιας ηπείρου είχε οδηγήσει, το 1889 και το 1909, τον Ιταλό γεωλόγο (και περίφημο βιολιστή) **Roberto Mantovani** στη δημοσίευση σχετικών χαρτών που υποστήριζαν τη **θεωρία της επεκτεινόμενης Γης (Expanding Earth theory)**, η οποία έκτοτε έχει αποδειχθεί ότι είναι λανθασμένη



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

- Ο Wegener επεσήμανε την ομοιότητα των χαρτών του Mantovani με τους δικούς του χάρτες αναφορικά με τις πρότερες θέσεις της νότιας ηπείρου της Παγγαίας.



“... Μέσα από ηφαιστειακές δραστηριότητες εξαιτίας της θερμικής διαστολής, η ήπειρος αυτή έσπασε και οι νέες ήπειροι απομακρύνθηκαν η μια από την άλλη, και λόγω της περαιτέρω επέκτασης των ζωνών διάσπασης δημιουργήθηκαν οι ωκεανοί”

- Ωστόσο, ο Wegener δεν υποστήριζε την υπόθεση της επεκτεινόμενης Γης, του Mantovani, γράφοντας ο ίδιος: “... οι χάρτες του διαφέρουν εν μέρει από τους δικούς μου, αλλά σε ορισμένα σημεία συμφωνούν εκπληκτικά στενά: για παράδειγμα, σε σχέση με την προηγούμενη ομαδοποίηση των νότιων ηπείρων γύρω από τη νότια Αφρική”

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

Αντιρρήσεις για τη θεωρία της ολίσθησης των ηπείρων

- Ο Wegener θεωρούσε (και πρότεινε) ότι οι ήπειροι απλώς προχωρούσαν αργά μέσω του πυθμένα των ωκεάνιων λεκανών
- Δεν μπορούσε όμως να περιγράψει έναν αληθοφανή μηχανισμό για να εξηγήσει πώς οι ήπειροι θα μπορούσαν να έχουν απομακρυνθεί
- Η πλειονότητα της τότε επιστημονικής κοινότητας απέρριψε την κίνηση των ηπείρων, επειδή θεωρήθηκε ‘πολύ τραβηγμένη’ και σε αντίθεση με τους νόμους της φυσικής
 - Σημειώτέον, η Γεωφυσική δεν ήταν πολύ προχωρημένη όταν ο Wegener παρουσίασε τη θεωρία του. Επομένως, δεν μπορούσε να εξηγηθεί ο ισχυρισμός του

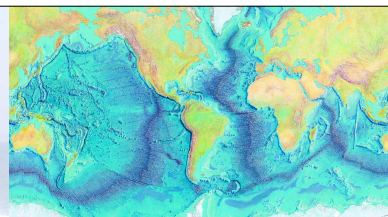
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

Ένα μικρό διάλειμμα 15'



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

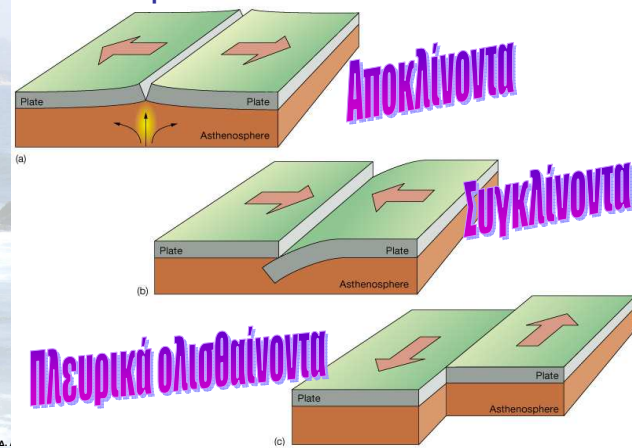
Η θεωρία των τεκτονικών πλακών



- Η λιθόσφαιρα της Γης αποτελείται από ένα μωσαϊκό από λεπτές άκαμπτες πλάκες που κινούνται οριζόντια σε σχέση η μια με την άλλη
- Οι πλάκες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους κατά μήκος των ορίων τους, όπου υπάρχει υψηλός βαθμός τεκτονικής δραστηριότητας (σεισμοί, ενεργά ηφαιστεια κ.ά.)

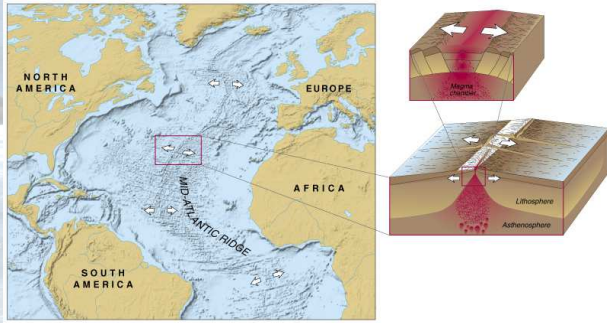
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

Τύποι ορίων των τεκτονικών πλακών



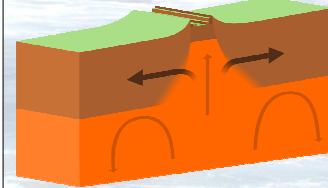
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

- Η μέσο-Ατλαντική ράχη (Mid-Atlantic Ridge) είναι όριο τεκτονικών πλακών που αποκλίνουν (*divergent plate boundary*) όπου συμβαίνει επέκταση του πυθμένα

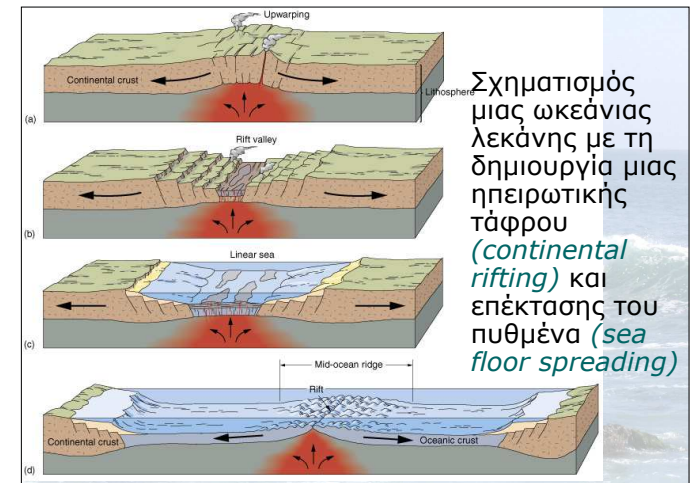


Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Η Ιρλανδία βρίσκεται επάνω στο όριο τεκτονικών πλακών που αποκλίνουν (*divergent plate boundary*) όπου δημιουργείται ηπειρωτική τάφρος



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

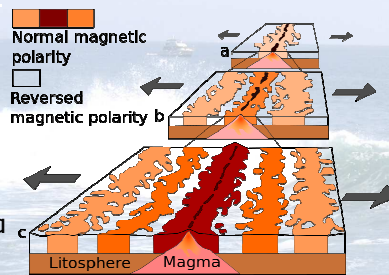


Σχηματισμός μιας ωκεάνιας λεκάνης με τη δημιουργία μιας ηπειρωτικής τάφρου (*continental rifting*) και επέκτασης του πυθμένα (*sea floor spreading*)

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Η ολίσθηση των ηπείρων επανεξετάστηκε στη δεκαετία του 1960, όταν έγιναν διαθέσιμα νέα στοιχεία

- Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά του ωκεάνιου πυθμένα έγιναν πιο γνωστά



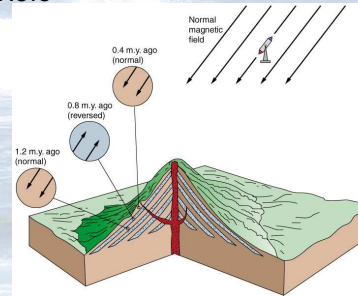
- Αναπτύχθηκε μια νέα τεχνική, του παλαιομαγνητισμού (paleomagnetism), που επέτρεψε στους επιστήμονες να καθορίσουν τις αρχικές θέσεις των ορυκτών στη Γη

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

Ενδεικτικά στοιχεία σύμφωνα με τη θεωρία των τεκτονικών πλακών

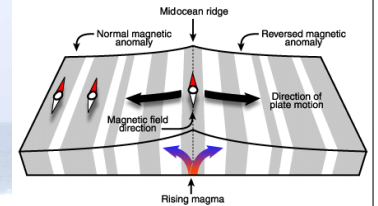
- Το γήινο μαγνητικό πεδίο επηρεάζει όλα τα μαγνητικά αντικείμενα στη Γη και αφήνει ίχνη πάνω στον γήινο φλοιό

- Μαγματικά υλικά όταν κρυώσουν, στην επιφάνεια της Γης, καταγράφουν το γήινο μαγνητικό πεδίο (κανονική ή ανάστροφη πόλωση)



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Η ηλικία του φλοιού της Γης (ή σωστότερα, η διάταξη των πετρωμάτων στον πυθμένα ανάλογα με την ηλικία τους)



- Θερμές τοποθεσίες (hot spots) περιγράφουν την ηφαιστειακή δραστηριότητα που συμβαίνει εντός των τεκτονικών πλακών και γενικά ΔΕΝ σχετίζεται με τα όρια των πλακών και τις κινήσεις των πλακών



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Η κατανομή των θέσεων των ισχυρών σεισμών
- Ηφαιστειακές εκρήξεις

Τα ηφαιστεια και οι σεισμοί προκύπτουν και από την κίνηση των τεκτονικών πλακών, όπως δείχνει εμφανώς και η σχέση μεταξύ τους και με τα όρια των τεκτονικών πλακών



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

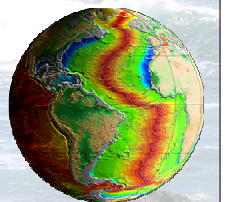
Καταρχήν, εξ όσων γνωρίζουμε, η Γη είναι ο μοναδικός πλανήτης που διαθέτει την τεκτονική των λιθосφαιρικών πλακών.

- Για να δημιουργηθεί η τεκτονική των πλακών ένας πλανήτης θα πρέπει να έχει το κατάλληλο μέγεθος:
 - αν είναι πολύ μικρός η λιθόσφαιρά του - το στερεό τμήμα του φλοιού και του εξωτερικού μανδύα- θα είναι υπερβολικά πυκνή.
 - Αν είναι υπερβολικά μεγάλος το ισχυρό βαρυντικό πεδίο του συμπιέζει τις λιθосφαιρικές πλάκες κρατώντας τις ακίνητες.

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

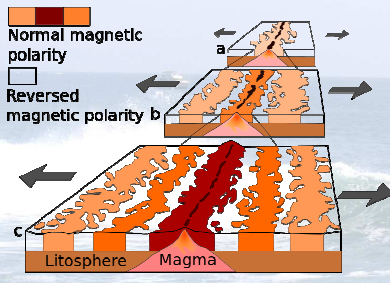
- Κατάλληλος πρέπει επίσης να είναι και οι συνθήκες: τα πετρώματα που αποτελούν τον πλανήτη δεν πρέπει να είναι
 - ούτε υπερβολικά θερμά, ούτε υπερβολικά ψυχρά,
 - ούτε υπερβολικά υγρά, ούτε υπερβολικά ξηρά

- Ακόμη όμως κι αν υπάρχουν όλες οι παραπάνω προϋποθέσεις, απαιτείται ένας επιπλέον καθοριστικός παράγοντας: με κάποιον τρόπο η λιθόσφαιρα πρέπει να έχει υποστεί ρωγμές έτσι ώστε το ένα κομμάτι να μπαίνει κάτω από το άλλο
 - π.χ., κατάδυση (subduction)



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Παλαιομαγνητικές μελέτες δείχνουν εναλλασσόμενες λωρίδες της κανονικής και αντίστροφης πολικότητας στην κορυφογραμμή μέσα στον ωκεανό



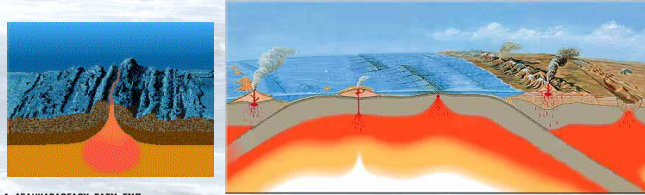
- Το παρατηρούμενο μοτίβο δημιουργείται από τη λεγόμενη 'εξάπωση' ή 'επέκταση' ή 'διάνοιξη' του πυθμένα της θάλασσας

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Το 1960, ο Harry Hess υπέθεσε ότι μια διεργασία γνωστή ως **κυκλοφορία (convection) του μανδύα** οδηγεί στην **εξάπωση** του πυθμένα των ωκεανών

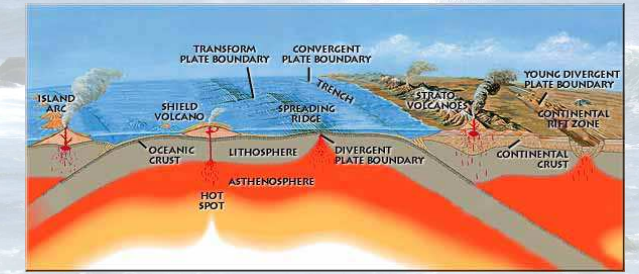


Η επέκταση του πυθμένα



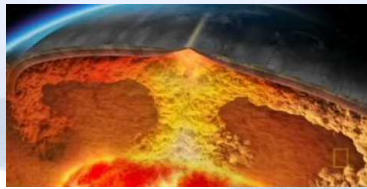
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Για την υπόθεση του, ο H. Hess βασίστηκε στα τοπογραφικά χαρακτηριστικά του ωκεάνιου πυθμένα, όπως τις μέσο-ωκεάνιες ράχες (*ridges*) και τις ωκεάνιες τάφρους (*trenches*)



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

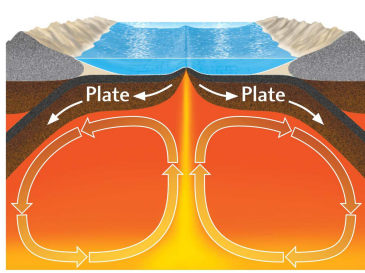
- Ο πυρήνας της Γης είναι εξαιρετικά ζεστός και με την πάροδο του χρόνου ψύχεται.



- Η παγιδευμένη θερμότητα στο εσωτερικό της Γης προκαλεί **ρεύματα μεταφοράς** → περιοχές όπου τα ρευστά υλικά κάτω από το φλοιό ανέρχονται κάτω από τις ηπείρους, διαδίδονται πλευρικά και, στη συνέχεια κατέρχονται κάτω από τους ωκεανούς → **συναγωγή του μανδύα**

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

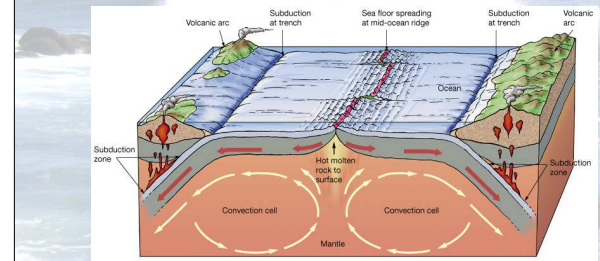
- Καθώς ο ωκεάνιος φλοιός ψύχεται στην επιφάνεια γίνεται βαρύτερος / πυκνότερος / παχύτερος μέχρι να αρχίσει να βουλιάζει, τροφοδοτώντας έτσι την κυκλοφορία στον μανδύα



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

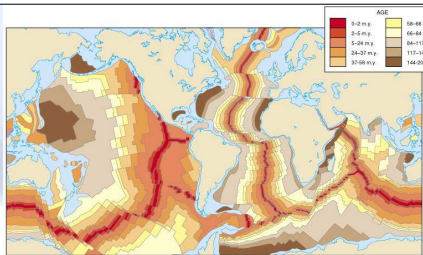
- Το ζεστό μάγμα στροβιλιίζεται συνεχώς και μετατοπίζεται, προς τα πάνω για να δημιουργήσει τα ρεύματα μεταφοράς.

- Γιατί ο ωκεάνιος φλοιός γίνεται πυκνότερος / παχύτερος ?
- Η ψύξη της πλάκας προξενεί τη στερεοποίηση του μανδύα κάτω από την πλάκα → ως εκ τούτου την αύξηση του πάχους του φλοιού (Crustal Underplating)

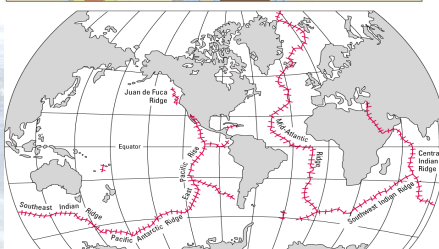


Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

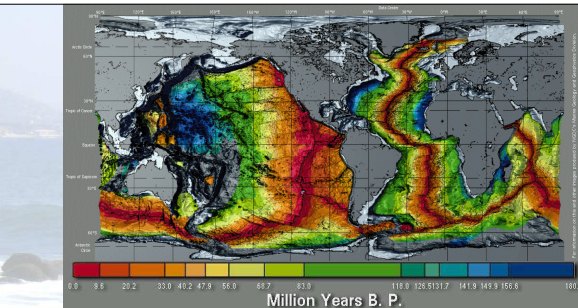
- Η ηλικία του πυθμένα εμφανίζει εξαιρετικά παρόμοια μοτίβα



με εκείνα που προβλέπονται από την επέκταση του πυθμένα της θάλασσας



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ



- Μικρότερος σε ηλικία θαλάσσιος πυθμένας απαντάται στις μεσο-ωκεάνιες ράχες
- Μεγαλύτερος σε ηλικία πυθμένας βρίσκεται σε ολόένα μεγαλύτερες αποστάσεις από τις μεσο-ωκεάνιες ράχες

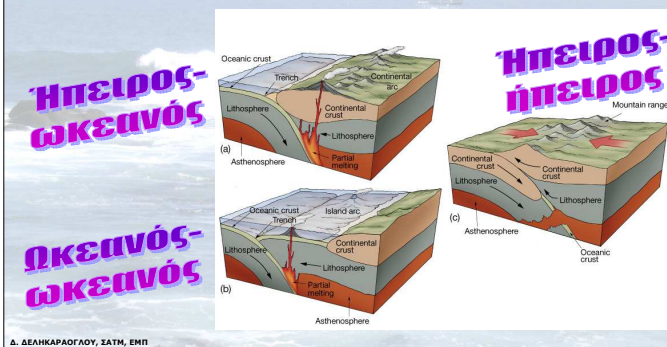
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Η κατανομή των μεγαλύτερων σε ένταση σεισμών ...
- ακολουθεί το ίδιο μοτίβο με τα όρια των τεκτονικών πλακών boundaries



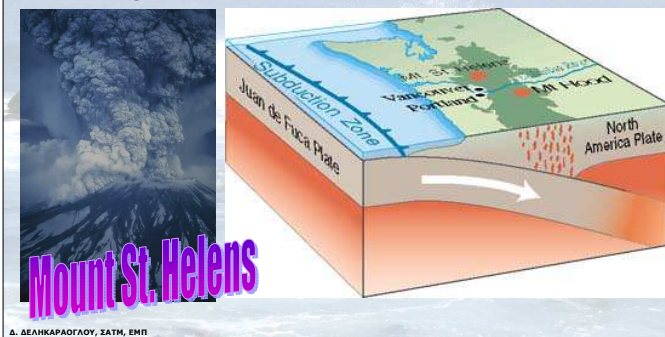
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ

- Τα όρια τεκτονικών πλακών που συγκλίνουν (convergent plate boundaries) διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του φλοιού



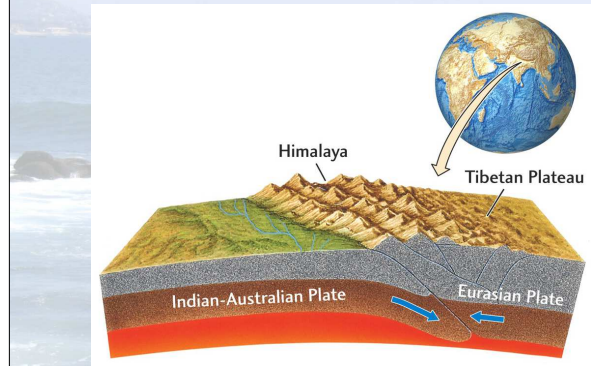
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

- Ενδεικτικό παράδειγμα (όριο σύγκλισης ηπείρου-ωκεανού): Cascadia subduction zone και Cascade Mountains, στα στενά Juan de Fuca ανάμεσα στο Βανκούβερ και την πολιτεία Washington



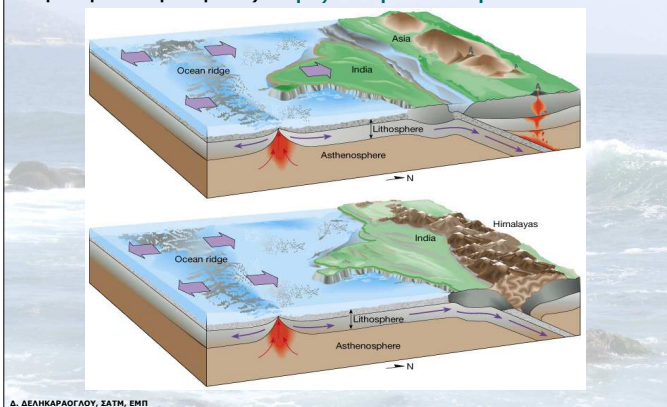
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

- Ενδεικτικό παράδειγμα (όριο σύγκλισης ηπείρου-ηπείρου): η ζώνη των Ιμαλαΐων



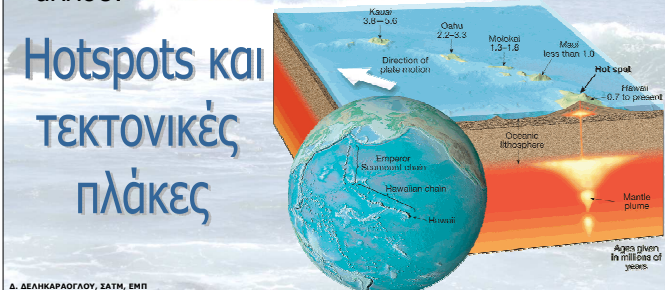
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

- Ενδεικτικό παράδειγμα (όριο σύγκλισης ηπείρου-ηπείρου): η ζώνη των Ιμαλαΐων



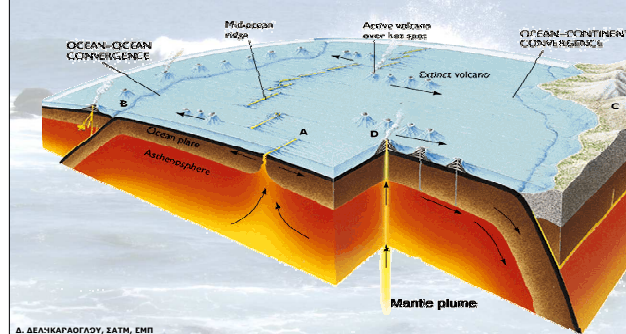
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

- Στη γεωλογία, τοποθεσίες που είναι γνωστές ως hotspots ή καυτά σημεία είναι ηφαιστειογενείς περιοχές όπου πιστεύεται ότι τροφοδοτούνται από υλικά του υποκειμένου μανδύα που είναι αφύσικα ζεστός σε σύγκριση με το μανδύα αλλού.



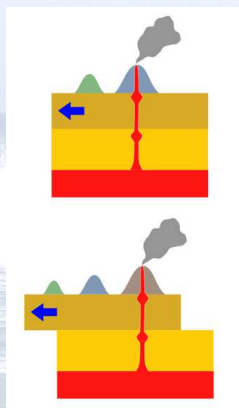
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

- Σε μια τέτοια περιοχή η λιθσφαιρική πλάκα κινείται πάνω από το hotspot, και δημιουργεί μια σειρά από ηφαιστεια προοδευτικά παλαιότερα προς το ένα άκρο

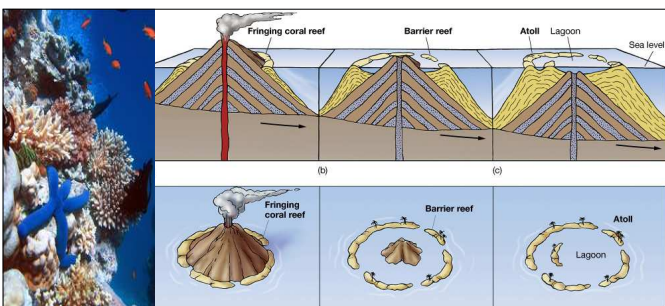


Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ

- Κατά μια άλλη υπόθεση, θεωρείται ότι στα hotspots δεν είναι η υψηλή θερμοκρασία εκείνη που προκαλεί την ηφαιστειακή δραστηριότητα, αλλά η επέκταση των λιθσφαιρικών πλακών που επιτρέπει την παθητική ανύψωση τηγμένου υλικού από μικρά βάθη.



Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ



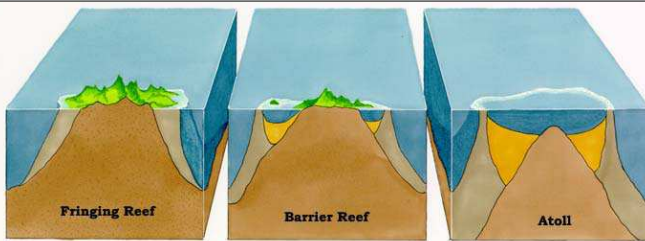
- Σε τροπικά ρηγά νερά, κοραλλιογενείς ύφαλοι μπορεί να σχηματιστούν στις κορυφές ηφαιστειών
- Ο Δαρβίνος προέβλεψε αρχικά το μηχανισμό σχηματισμού τους

Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ



- Οι κοραλλιογενείς ύφαλοι βρίσκονται σε βαθιά ύδατα μακριά από τις ηπειρωτικές υφαλοκρηπίδες, γύρω από ωκεάνια νησιά που έχουν κυρίως ηφαιστειογενή (και λιγότερο τεκτονική) προέλευση

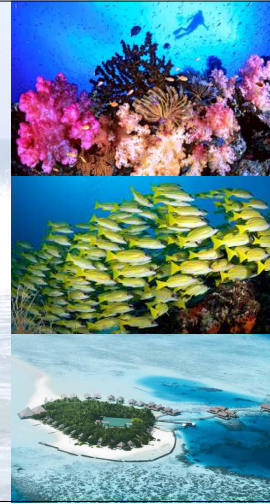
Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΓΛΟΥ, ΣΑΤΗ, ΕΜΠ



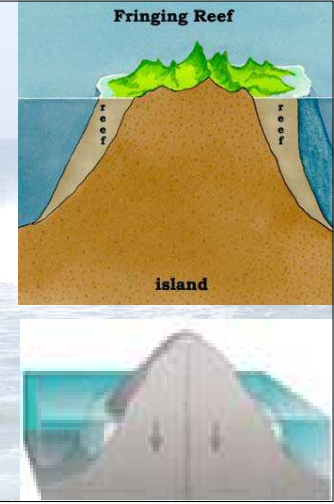
Οι σχηματισμοί κοραλλιών, αποτελούν οικοσυστήματα που παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Διακρίνονται σε

- περιθωριακούς κ. υφάλους (fringing reef)
- κοραλλιογενείς υφάλους (barrier reef), και
- ατόλλες (atoll)

- Οι κοραλλιογενείς ύφαλοι είναι εύθραυστα οικοσυστήματα, εν μέρει επειδή είναι πολύ ευαίσθητοι στη θερμοκρασία του νερού.
- Βρίσκονται υπό απειλή από την κλιματική αλλαγή, την όξινη βροχή, την αλιεία για ψάρια ενυδρείων, την υπερβολική χρήση των πόρων των υφάλων, και των επιβλαβών πρακτικών χρήσης της γης



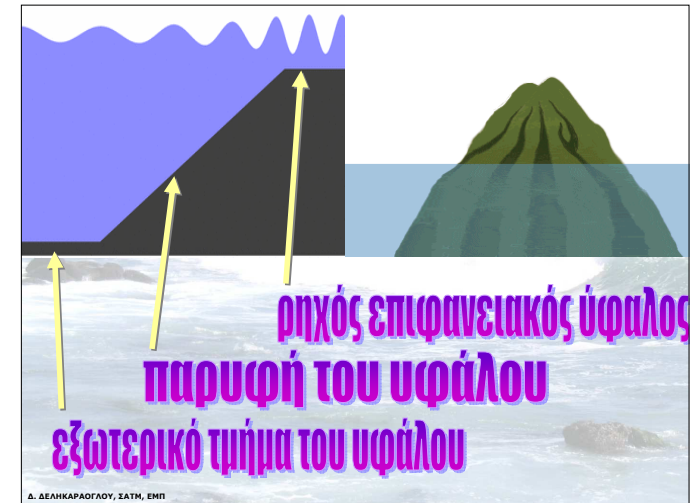
Στάδιο 1 - Όταν ένα νησί και ο πυθμένας του ωκεανού υποχωρούν, η ανάπτυξη των κοραλλιών δημιουργεί ένα **περιθωριακό ύφαλο**, που συχνά περιλαμβάνει μια ρηχή λιμνοθάλασσα ανάμεσα στη γη και τον κεντρικό ύφαλο



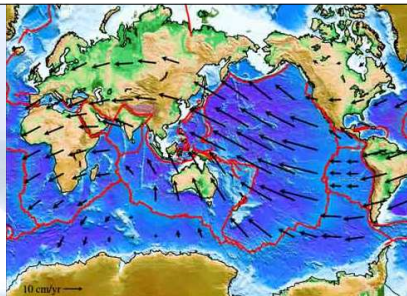
Στάδιο 2 - Καθώς η καθίζηση συνεχίζεται, ο περιθωριακός ύφαλος μετατρέπεται σε ένα **μεγαλύτερο κοραλλιογενή ύφαλο** μακρύτερα από την ακτή με μια μεγαλύτερη και βαθύτερη λιμνοθάλασσα στο εσωτερικό του.



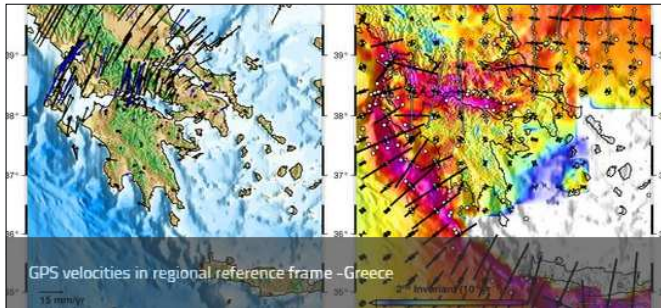
Στάδιο 3 - Τελικά, το ηφαιστειακό νησί βυθίζεται κάτω από τη θάλασσα, και ο κοραλλιογενής ύφαλος μετατρέπεται σε μια **ατόλλη** η οποία περικλείει μια ανοικτή λιμνοθάλασσα.



Αποτελέσματα δορυφορικών μετρήσεων



- Η σύγκριση των αποτελεσμάτων από δορυφορικές τεχνικές εντοπισμού σε εκατοντάδες σταθμούς συμφωνούν με τα μοντέλα πρόβλεψης των μετακινήσεων και των ταχυτήτων των τεκτονικών πλακών



- Η σύγκριση των αποτελεσμάτων από δορυφορικές τεχνικές εντοπισμού σε εκατοντάδες σταθμούς συμφωνούν με τα μοντέλα πρόβλεψης των μετακινήσεων και των ταχυτήτων των τεκτονικών πλακών

Την επόμενη φορά, θα εξετάσουμε ...

- Τα χαρακτηριστικά των ωκεανών και των θαλασσών
- Οι τύποι και τα τμήματα των θαλασσών