

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

ΚΥΚΛΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

ΔΡ. ΧΑΡΑ ΝΤΡΙΝΙΑ

ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΠΑΛΑΙΟΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ - ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΑΣ

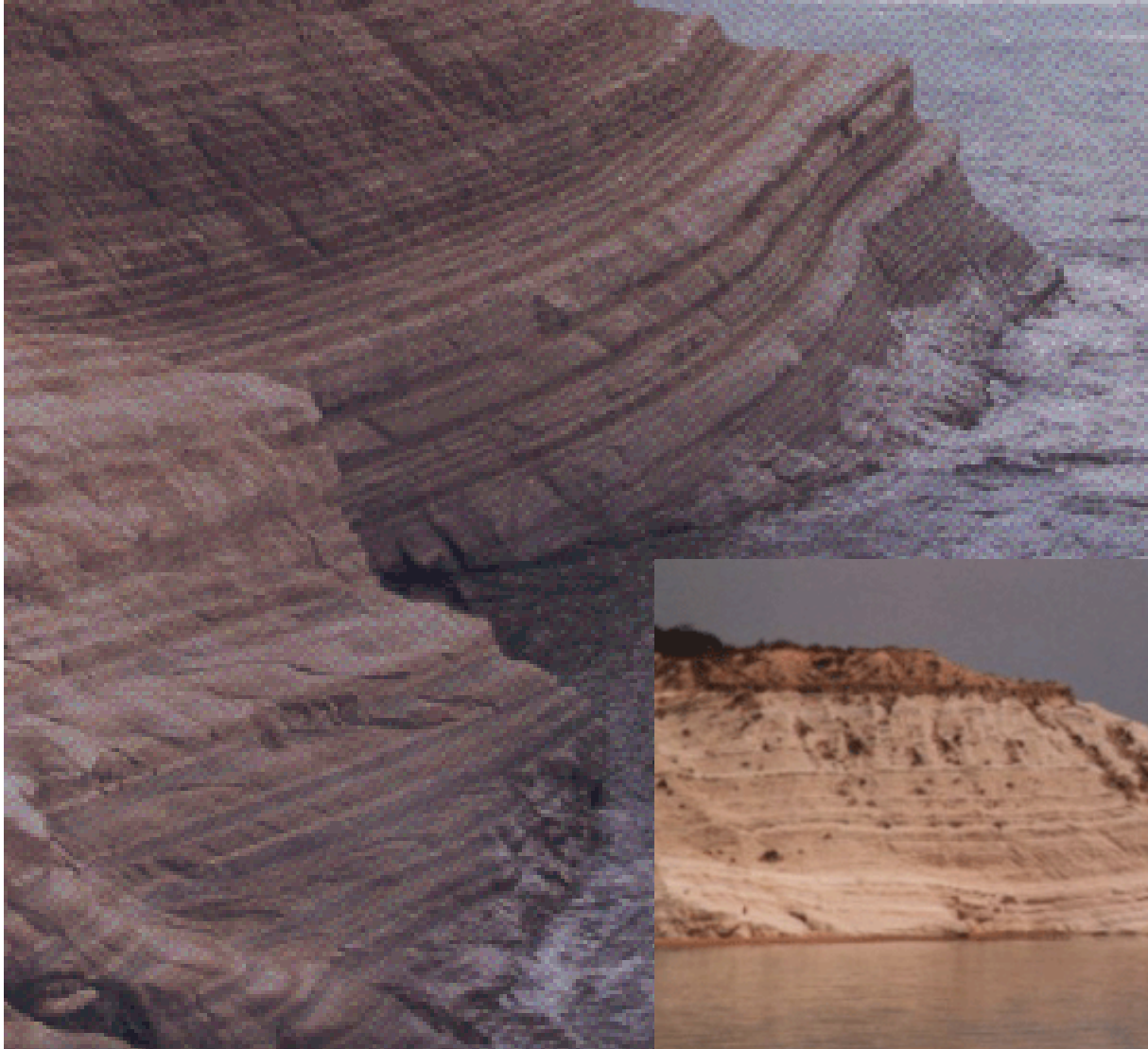
Κλασσικές μέθοδοι

- Λιθοστρωματογραφία
- Χρονοστρωματογραφία
- Βιοστρωματογραφία

Μοντέρνες μέθοδοι

- Σεισμική στρωματογραφία
- **Κυκλοστρωματογραφία**
- Μαγνητοστρωματογραφία
- Χημειοστρωματογραφία

Punta di Maiata, Sicily, Italy



Κυκλοστρωματογραφία

Η κυκλοστρωματογραφία αποτελεί αντικείμενο της Στρωματογραφίας που ασχολείται με την αναγνώριση, τον χαρακτηρισμό, την συσχέτιση και την ερμηνεία των κυκλικών μεταβολών στο στρωματογραφικό αρχείο.

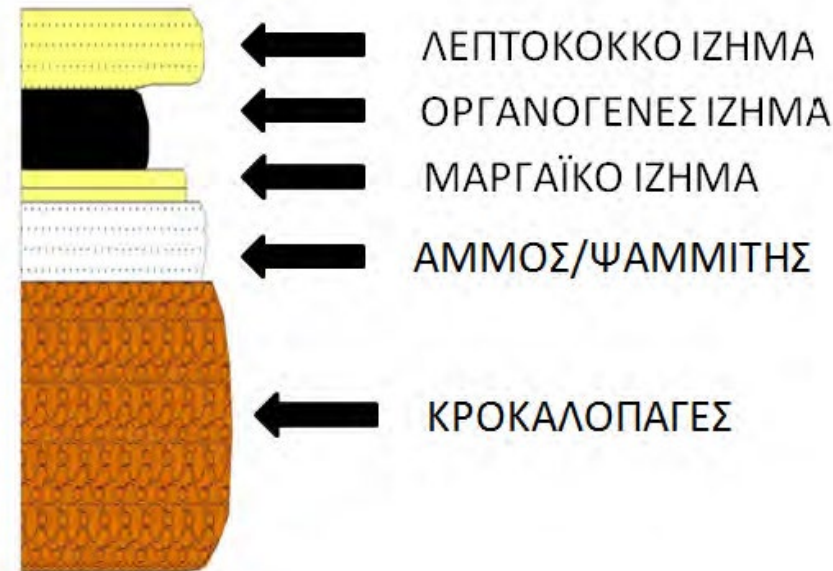
Αν και οι κυκλικές ή περιοδικές διεργασίες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα όσον αφορά στη κλίμακα που συμβαίνουν (από παλιρροιακούς κύκλους που λαμβάνουν χώρα δύο φορές ημερησίως έως κινήσεις λιθοσφαιρικών πλακών με περιοδικότητα δεκάδων εκατομμυρίων ετών), οι κύκλοι που χρησιμοποιούνται συχνότερα στην κυκλοστρωματογραφία είναι εκείνοι που προκαλούνται από τις διαταραχές-παραλλαγές στην τροχιά της Γης και στην κλίση του άξονα της (κύκλοι Milankovitch).

Ρυθμοί και κύκλοι στο στρωματογραφικό αρχείο

Τα ιζηματογενή πετρώματα πολύ συχνά εμφανίζουν ρυθμούς και κυκλικές εναλλαγές στρωμάτων. Οι κυκλικές αυτές εναλλαγές μπορεί να είναι ελασματοειδείς (varve) ή και μεγαλύτερης κλίμακας (επίπεδο στρώματος).

ΚΥΚΛΟΘΕΜΑ

ΤΥΠΙΚΟ
ΚΥΚΛΟΘΕΜΑ
ΤΟΜΩΝ 2β & 4



Ευστατικοί κύκλοι

Οι Haq et al. (1988) καθόρισαν μια ιεραρχία στην στρωματογραφία ιζηματογενών ακολουθιών και υποδιαίρεσαν τις στρωματογραφικές ενότητες σε κυκλικές ακολουθίες

Τουλάχιστον 5 τάξεις ανάλογα με τη διάρκεια των κύκλων

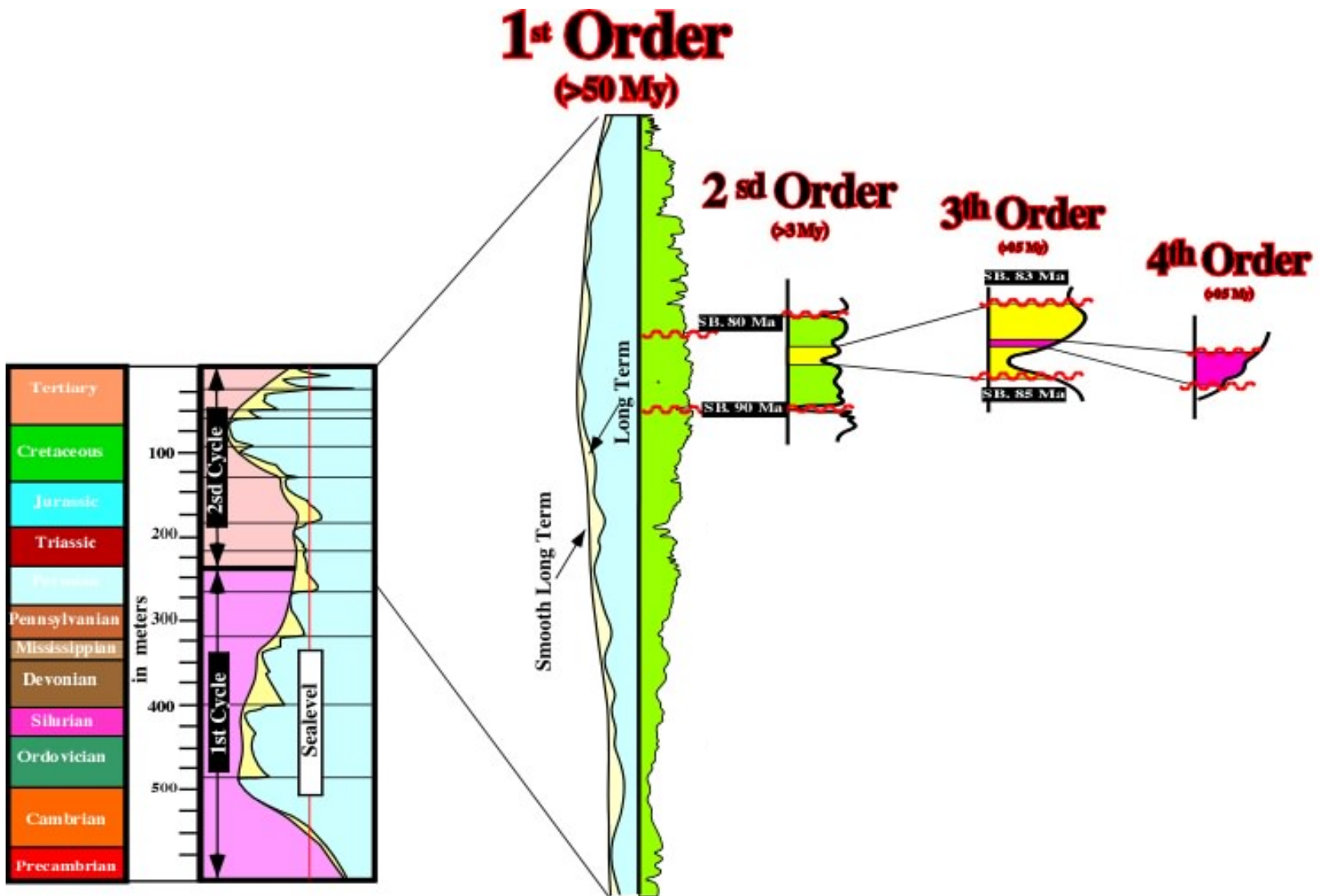
1η : ~50 - 200+ Ma

2η : ~5 - 50 Ma

3η : ~0.2 - 5 Ma

4η : ~100 - 200 Ka

5η : ~10 - 100 ka



ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΟΙ ΚΥΚΛΟΙ ΚΑΙ ΟΙ ΑΙΤΙΕΣ ΤΟΥΣ Vail et al. (1977)

Τύπος	Διάρκεια (m.y.)	Πιθανές αιτίες
1 ^{ης} τάξεως	200 - 400 (10^8)	Μεγάλης κλίμακας ευστατικοί κύκλοι που προκλήθηκαν από τον σχηματισμό και τη διάρρηξη των υπερ-ηπείρων.
2 ^{ης} τάξεως	10 – 100 (10^7)	Ευστατικοί κύκλοι που προκλήθηκαν από μεταβολές όγκου, σε παγκόσμια μεσο-ωκεάνια κέντρα εξάπλωσης.
3 ^{ης} τάξεως	1 – 10 (10^6)	Περιφερειακοί κύκλοι που προκλήθηκαν από συμπίεσεις εντός των πλακών. Οι περισσότεροι δεν είναι παγκόσμιας έκτασης.
4 ^{ης} τάξεως	0,2 – 0,5 (10^5)	1) Milankovitch παγετο-ευστατικοί κύκλοι 2) Περιφερειακοί κύκλοι από κάμψη λόγω φόρτωσης
5 ^{ης} τάξεως	0,01 – 0,2 (10^4)	1) Milankovitch παγετο-ευστατικοί κύκλοι 2) Περιφερειακοί κύκλοι από κάμψη λόγω φόρτωσης

1η Τάξη:

Προκαλούνται από τα θερμικά αποτελέσματα που σχετίζονται με τη δημιουργία και διάρρηξη των ηπείρων-συνοδεύτηκαν από άνοιγμα-κλείσιμο των ωκεανών.

Διάρκεια εκατοντάδες εκατ. έτη

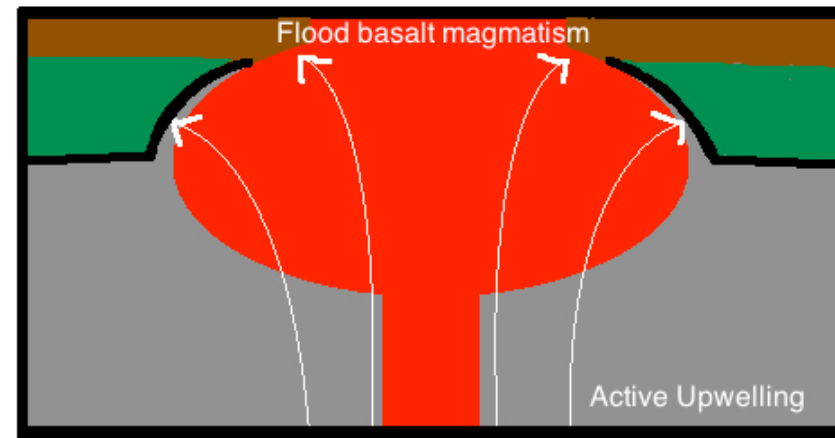
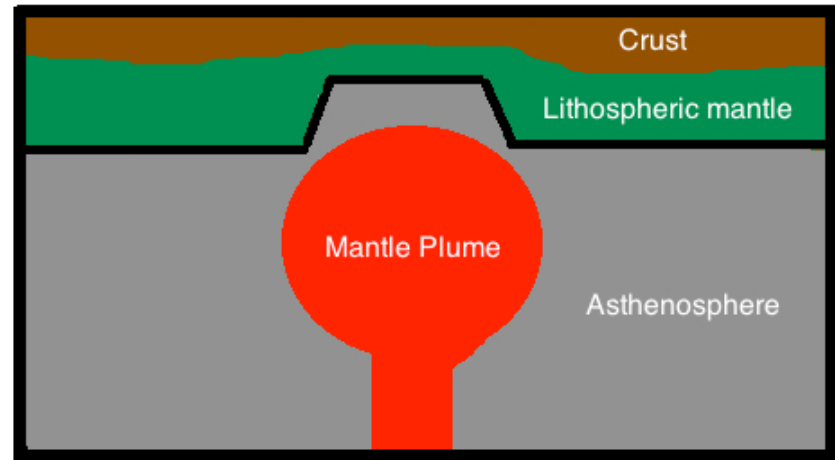
(μόνο 2 σε όλο το Φανεροζωικό).

Πρόκειται για μεγάλης κλίμακας μετακινήσεις των πλακών, που προκαλούν διαφοροποίηση σε μακροπρόθεσμη κλίμακα της ταχύτητας και της παγκόσμιας επέκτασης του θαλάσσιου πυθμένα.

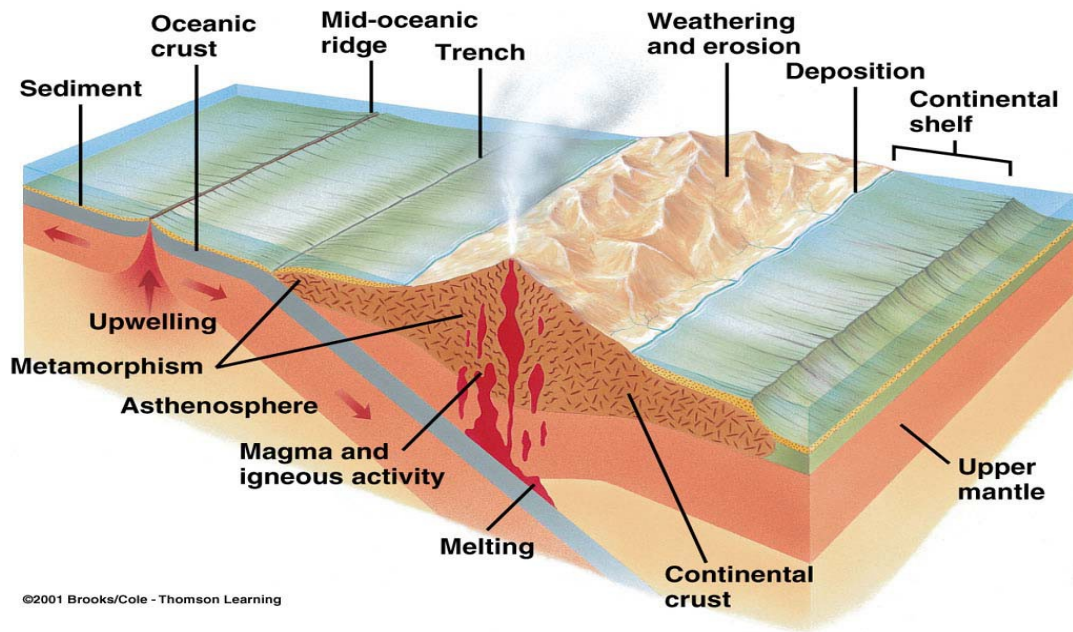
Κατά τη διάρρηξη των ηπείρων λαμβάνει χώρα θερμική ανύψωση σε περιοχές του θαλάσσιου πυθμένα και μεταφέρονται ωκεάνια ύδατα επί των ηπείρων (π.χ. ταχεία διάνοιξη του Ατλαντικού και Ινδικού κατά το Κρητιδικό).

Αντίθετα η σύγκρουση των πλακών οδήγησε στη δημιουργία super-ηπείρου, με συνέπεια την πτώση του θαλασσίου επιπέδου.

Στη συνέχεια λαμβάνει χώρα σταδιακή θερμική άνοδος κάτω από αυτή τη νέα ηπειρωτική μάζα - ΝΕΟΣ ΚΥΚΛΟΣ διάρρηξης και ηπειρωτικής ανακατανομής.



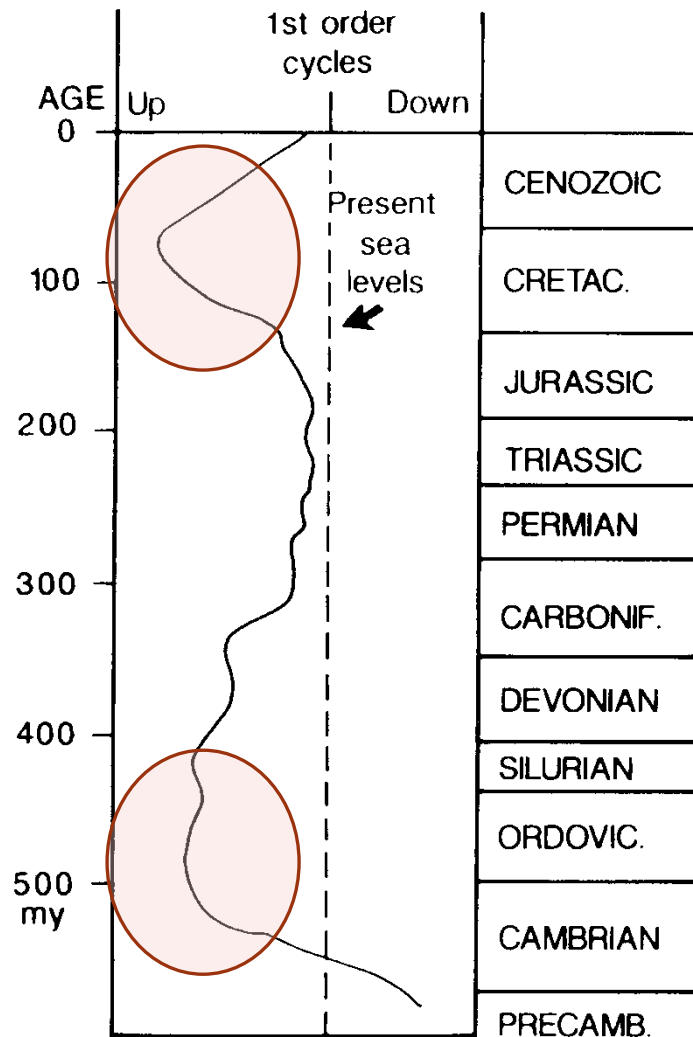
Ο πετρολογικός κύκλος – Η προοπτική της τεκτονικής των πλακών



Η μετακίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών ευθύνεται για τον πετρολογικό κύκλο και την ανακύκλωση των πετρωμάτων από τη μία μεγάλη ομάδα στην άλλη.

Π.χ., η θερμότητα και η πίεση που δημιουργείται κατά μήκος των συγκλινουσών ορίων των πλακών μπορεί να προκαλέσει το λιώσιμο και τη μεταμόρφωση των πετρωμάτων στην υποβυθιζόμενη ωκεάνια πλάκα και ως εκ τούτου να οδηγήσει στον σχηματισμό νέων εκρηξιγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

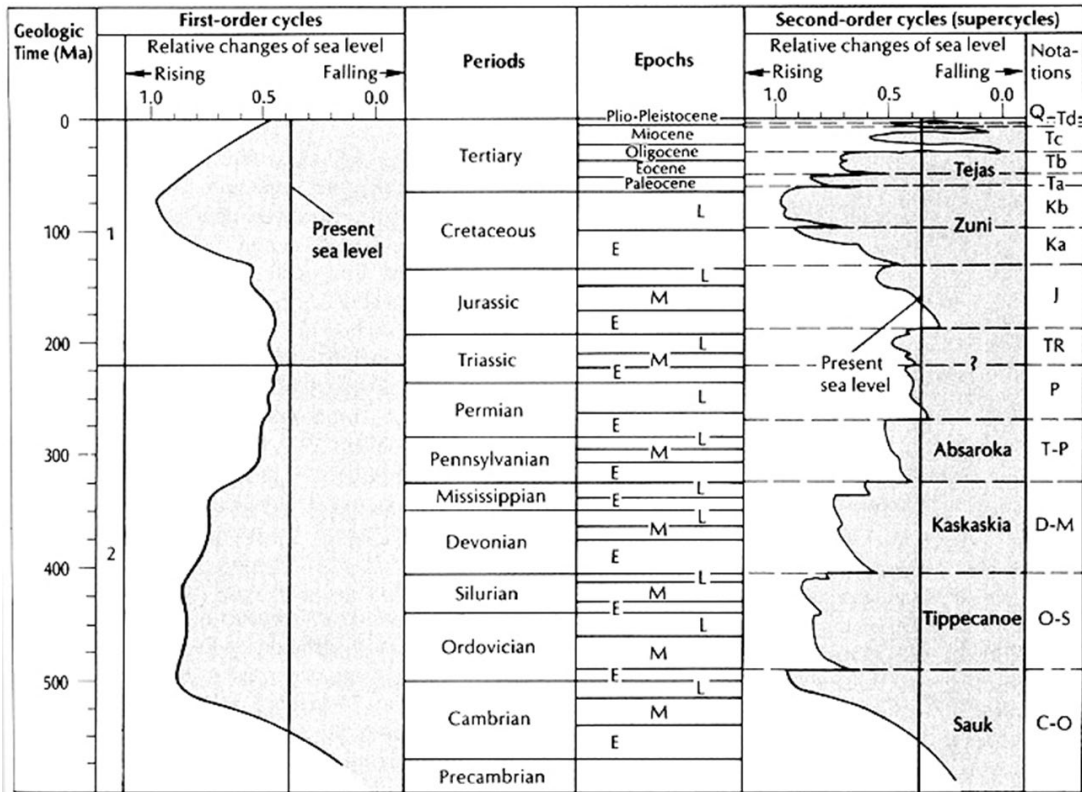
Μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης κατά τη διάρκεια της τεκτονικής των πλακών



2η Τάξη

Παγκόσμιας κλίμακας, ευστατικές μεταβολές του θαλασσίου επιπέδου διάρκειας δεκάδων εκατ. ετών.

Βύθιση πρότερων ηπειρωτικών ορίων



© Vail et al. 1977

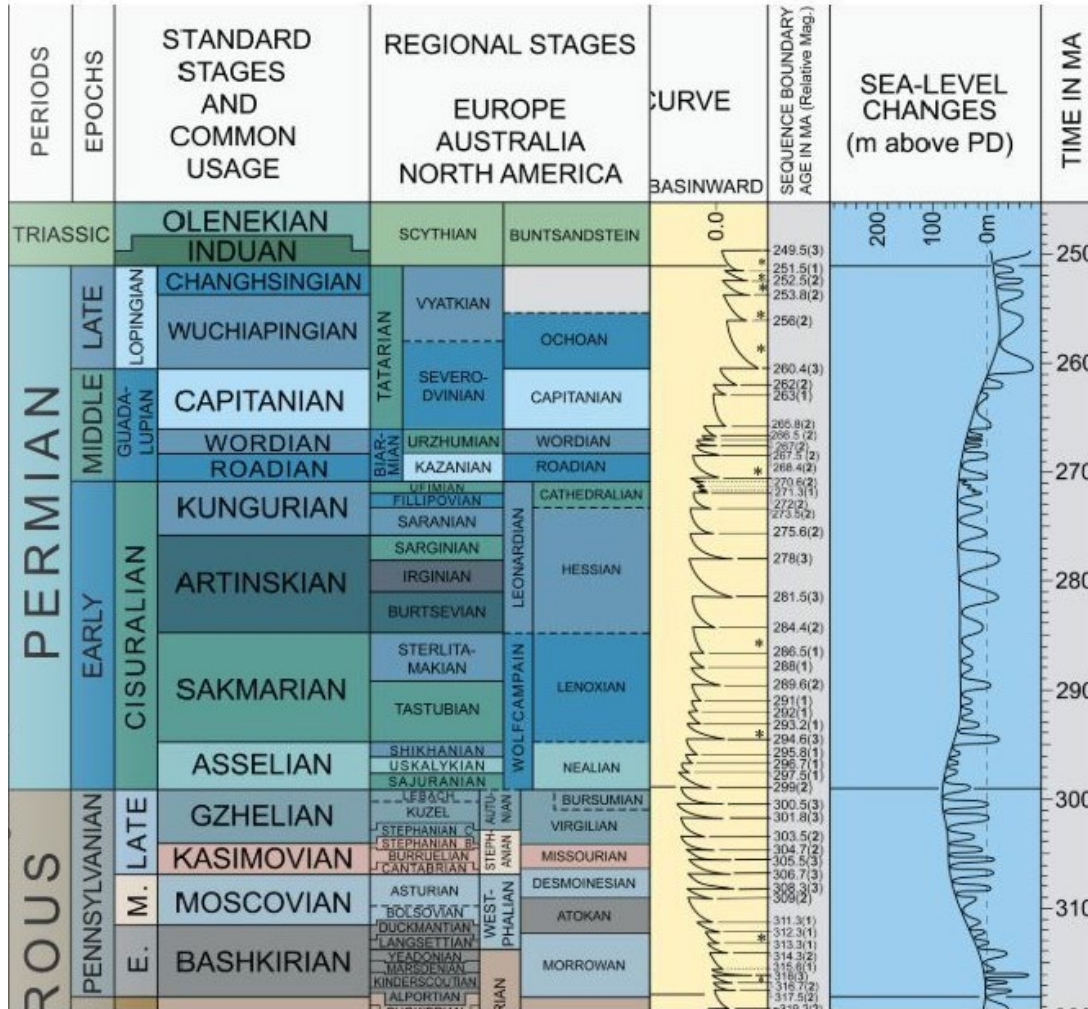
1ης και 2ης κύκλοι

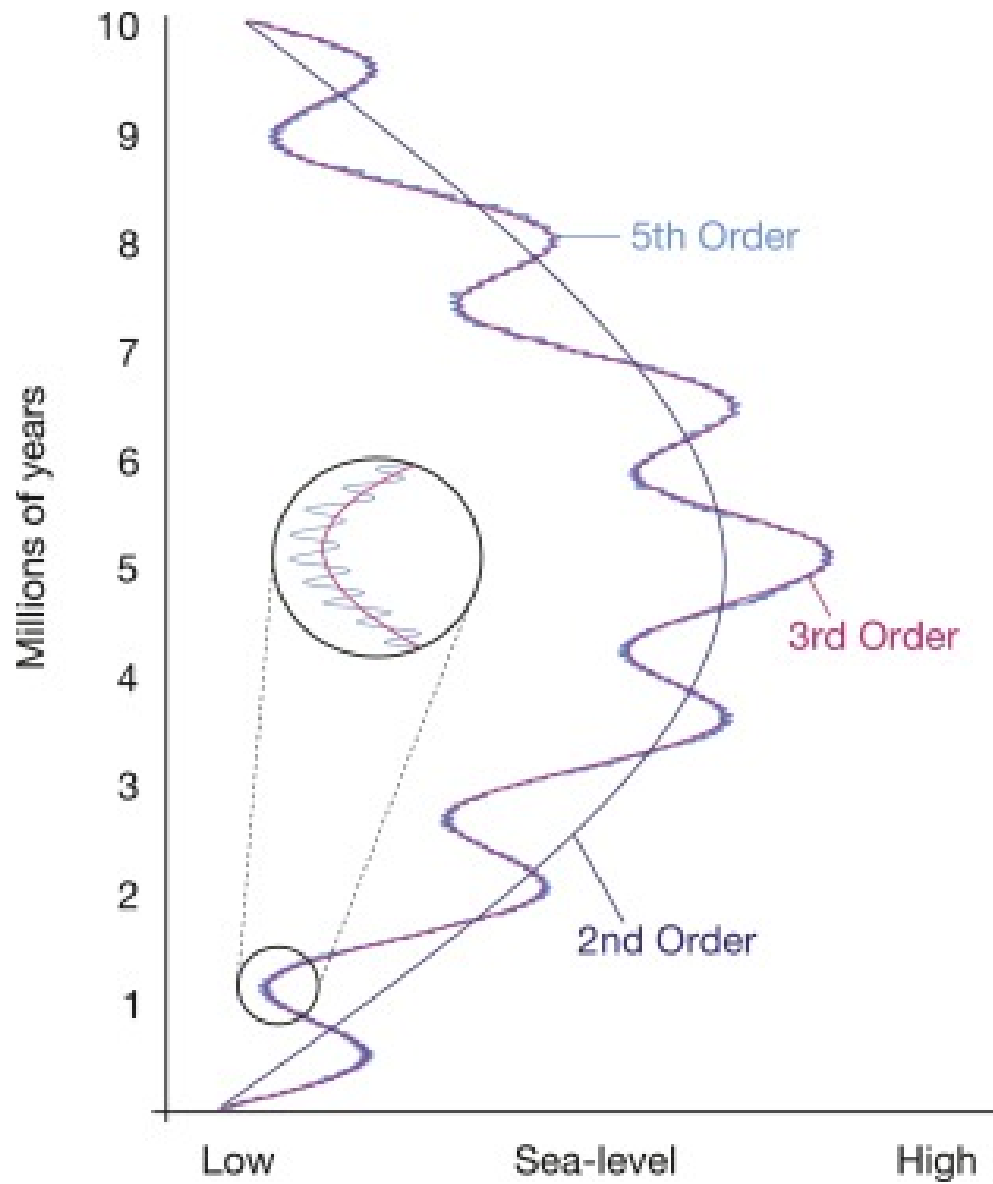
3η Τάξη

Τεκτονικοί μηχανισμοί τοπικής-ηπειρωτικής κλίμακας (όχι παγκόσμιας).

- Ηπειρωτικές μορφολογικές μεταβολές–αποτέλεσμα : επικλύσεις– αποσύρσεις.
- Λίγα εκατ. έτη.
- Οι κύκλοι αυτοί είναι υπεύθυνοι για το σύνολο των ανθρακικών σχηματισμών.
- Οφείλονται στην τεκτονική έκταση- επακόλουθη θερμική βύθιση.

3ης τάξης κύκλοι



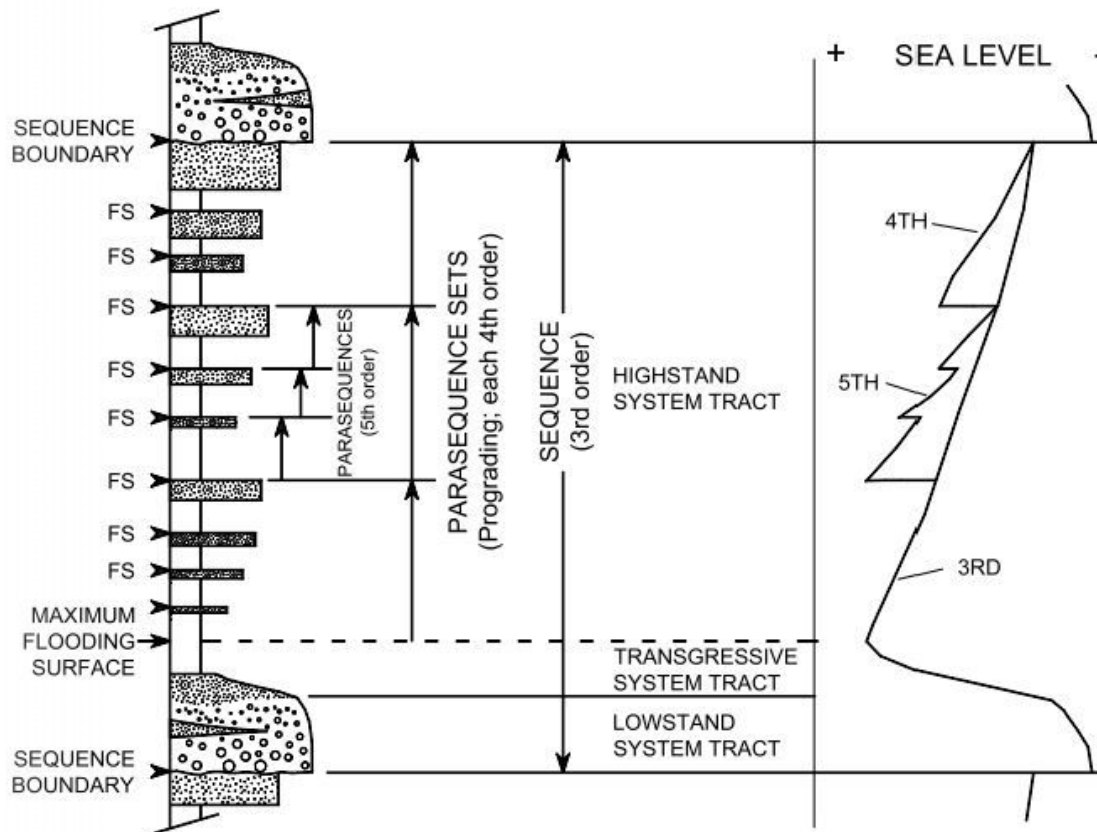


4η–5η Τάξη

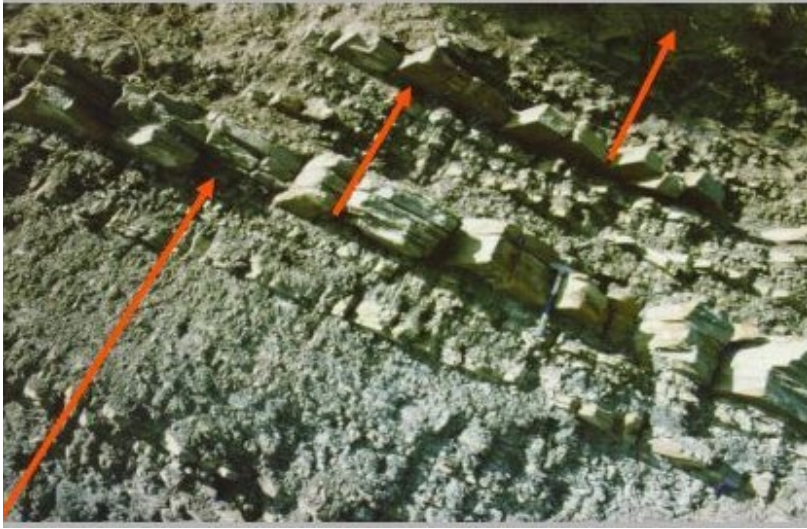
Οι 4^{ης} και 5^{ης} τάξεως κυκλικές μεταβολές, χρονικής διάρκειας μικρότερης του ενός εκατομμυρίου ετών, παρουσιάζουν μεγάλη σταθερότητα στην περιοδικότητά τους.

Εξηγούνται ως αποτέλεσμα των μεταβολών του κλίματος που οφείλονται στις κυκλικές διακυμάνσεις της κλίσεως του άξονα περιστροφής και της τροχιάς της Γης.

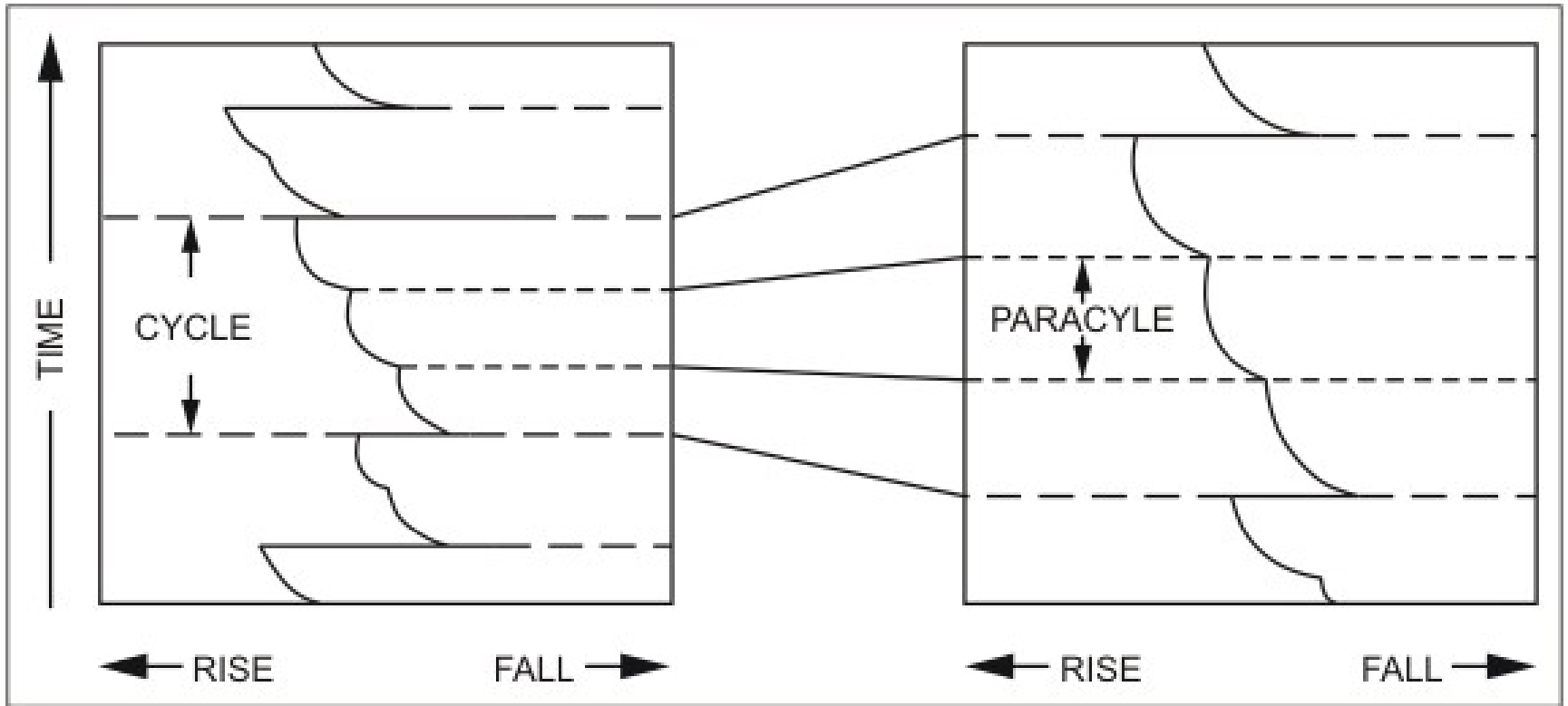
Οι αστρονομικές αυτές διακυμάνσεις είναι γνωστές ως κύκλοι Milankonitch, και πήραν το όνομά τους από έναν Σέρβο μαθηματικό ο οποίος πρώτος υπολόγισε την περίοδο και τα αποτελέσματα αυτών των κύκλων.



4ης και 5ης τάξης κύκλοι



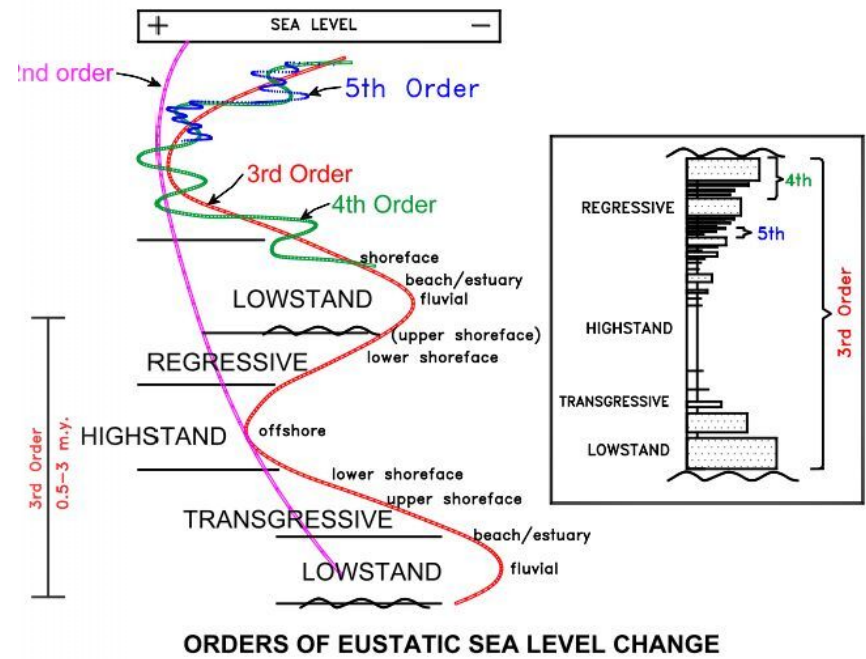
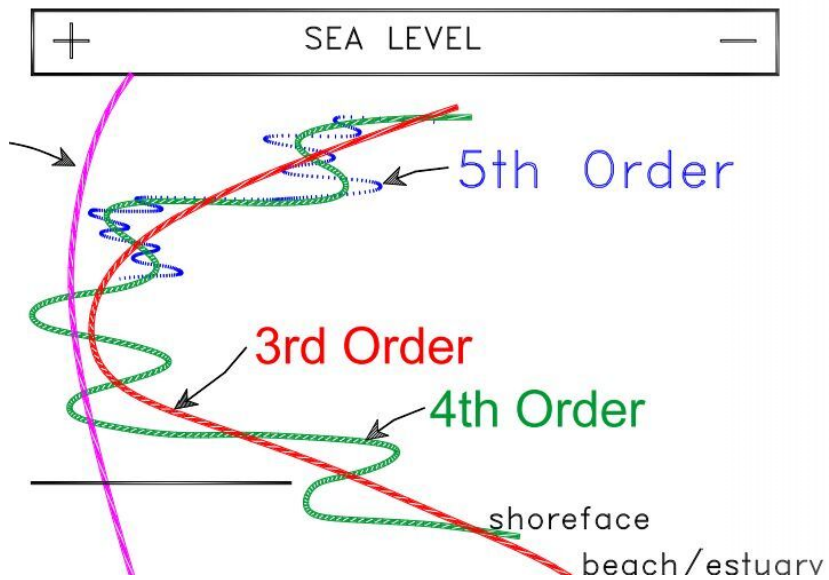
5ης τάξης παρακολουθίες



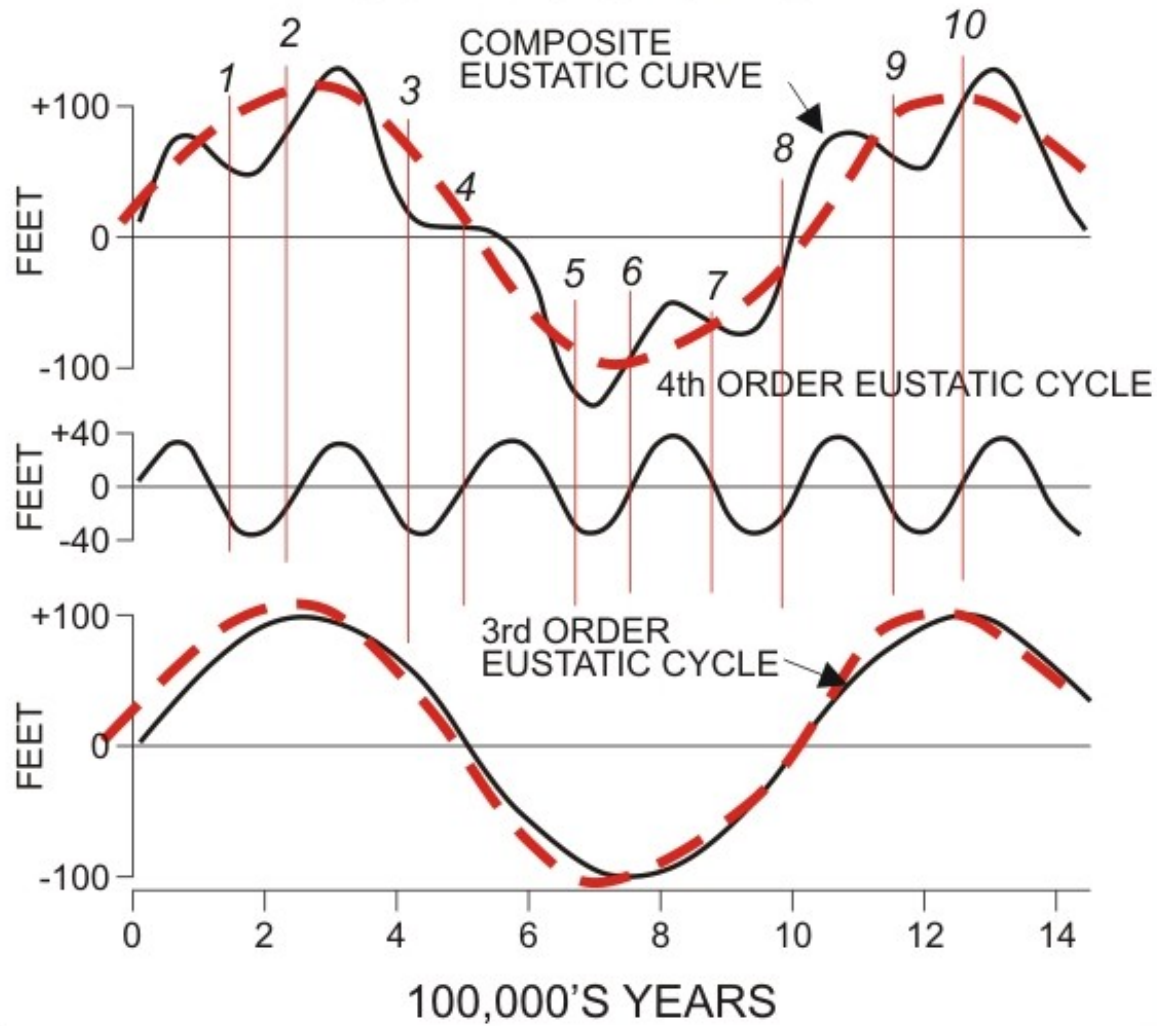
Ομάδα στρωμάτων, στρώμα, ομάδα ελασμάτων, έλασμα

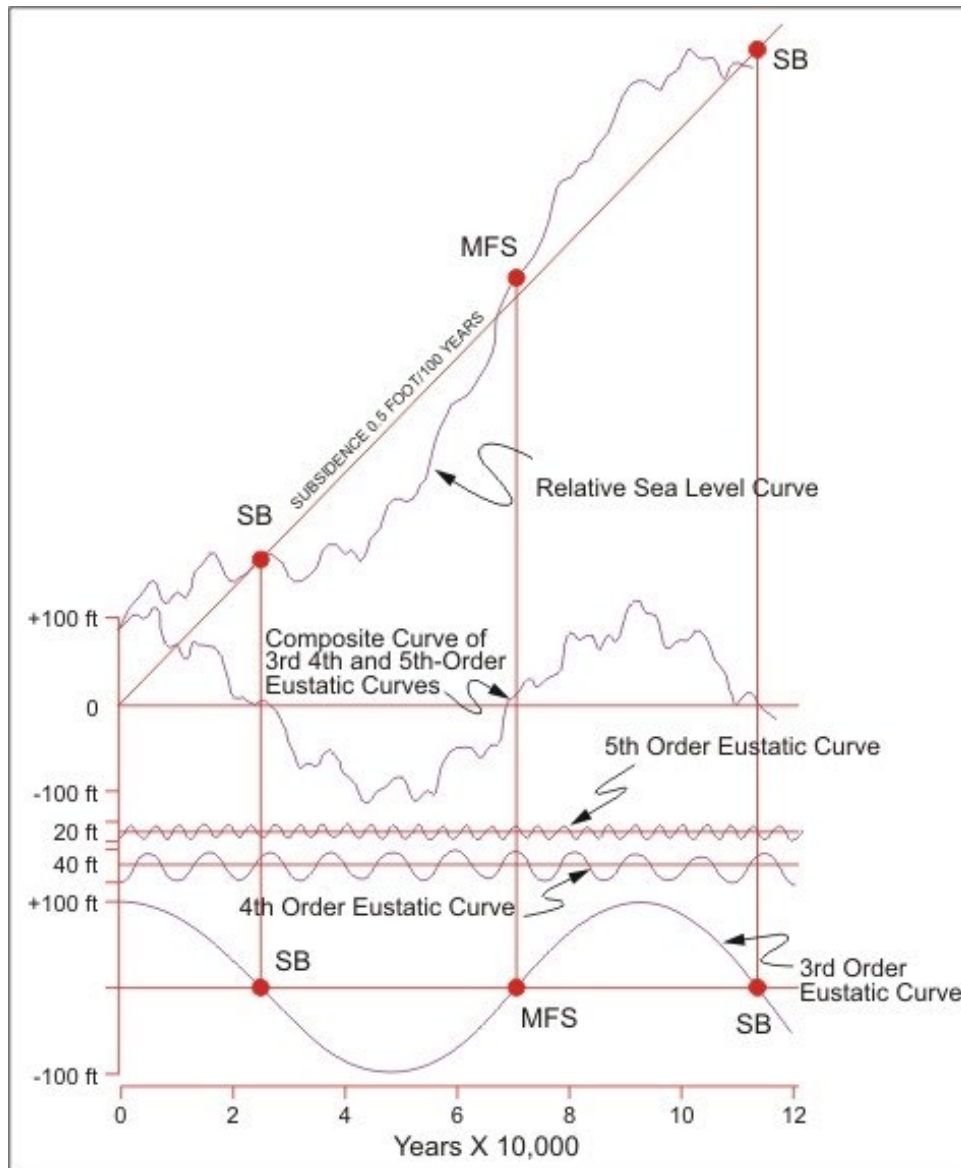


Ο κύκλος του κύκλου



INTERACTION OF 3rd AND 4th ORDER EUSTATIC CYCLES



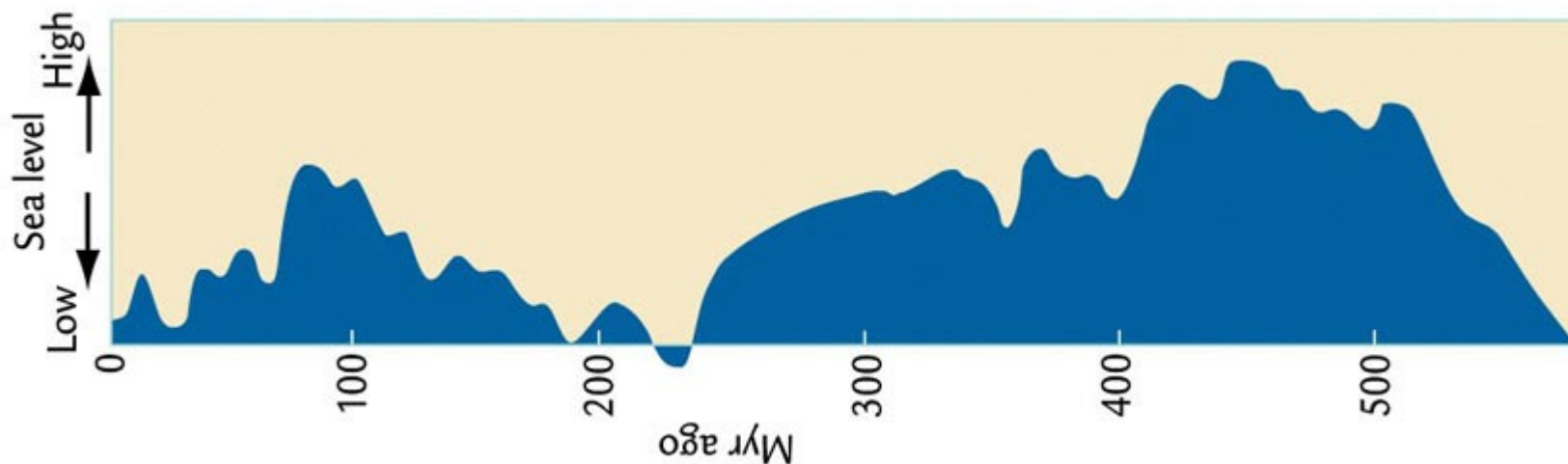


Μονάδα	Διάρκεια	Πάχος
Ακολουθία – 3 ^η τάξη	0.5 – 3 εκατομ. χρ.	15 μ. – 1500 μ
Υποακολουθία	0.1 – 2 εκατομ. χρ.	15 μ. – 1500 μ
Ομάδα παρακολουθιών	0.2 – 1 εκατομ. χρ.	10 μ. – 250 μ.
Παρακολουθία (4 ^η & 5 ^η τάξη)	0.1 – 0.5 εκατομ. χρ.	0,5 – 100 μ.
Ομάδα στρωμάτων	Έτη έως μερικές χιλιάδες έτη	2 εκατ. – 50 μ.
Στρώμα	Λεπτά έως εκατοντάδες χρόνια	1 εκατ. – 15 μ.
Ομάδα ελασμάτων	Λεπτά έως μέρες	0.1 – 3 εκατ.
Ελασμα	Δευτερόλεπτα έως ώρες	

Ιεραρχία στρωματογραφικών ενοτήτων



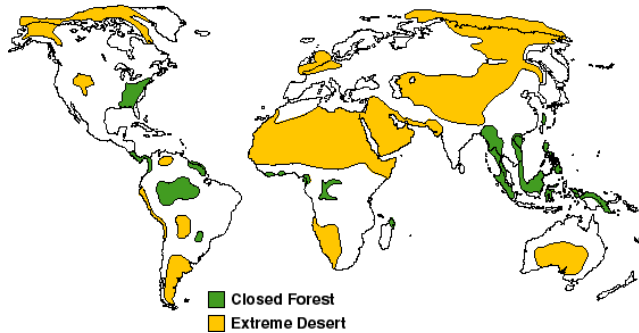
Puzzle: Εποχές των Παγετώνων!



Myr ago

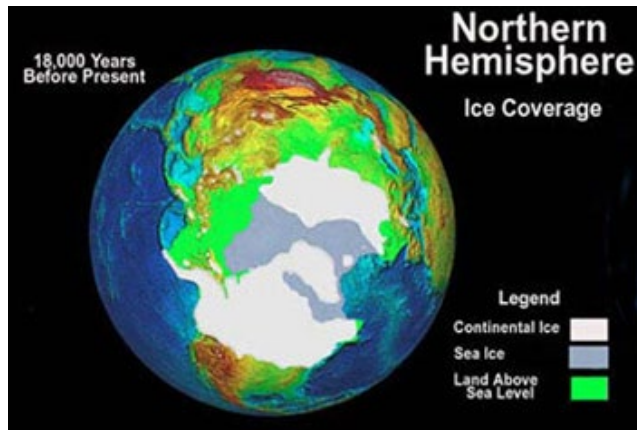
- Συμβαίνουν με μια περιοδικότητα ~ 250 εκατομ. έτη
- Οι κύκλοι του παγετώματος στην εποχή του πάγου συμβαίνουν με περίοδο 40.000 ετών
- Η πιο πρόσφατη εποχή των παγετώνων ξεκίνησε πριν από ~ 3 εκατομμύρια χρόνια και συνεχίζεται!

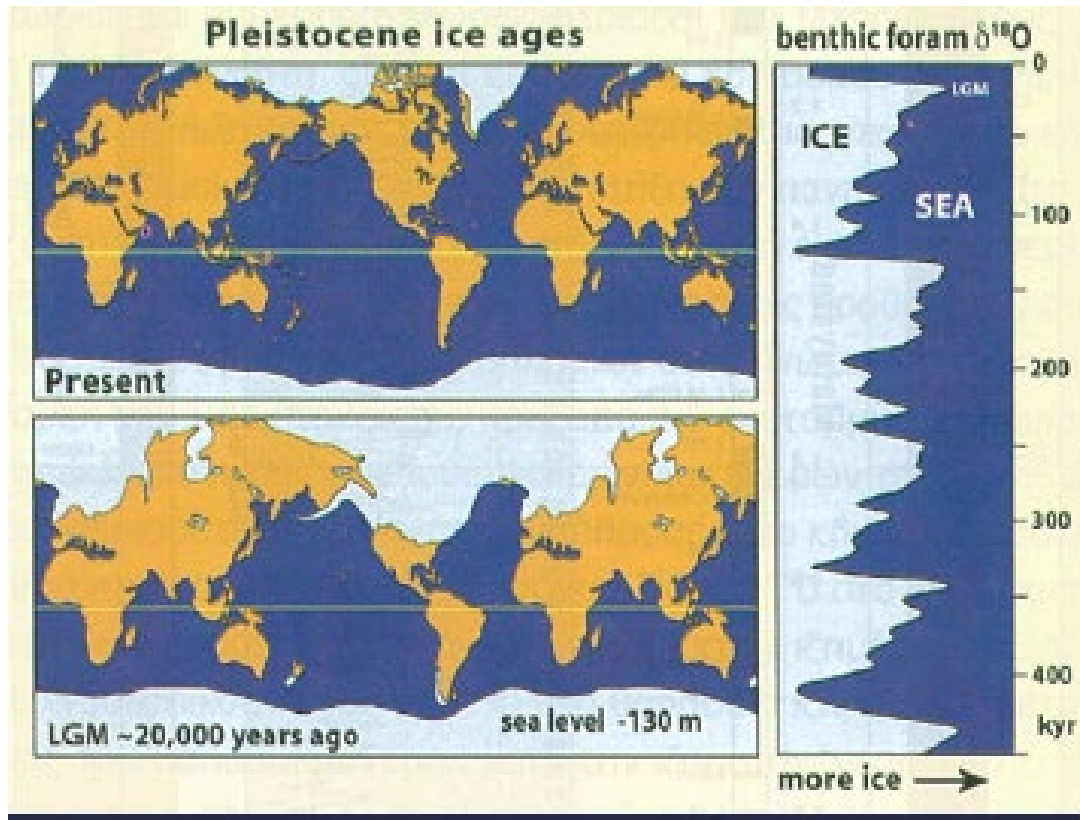
Last Glacial Maximum (18,000 ¹⁴C years ago)



Τελευταίο Μέγιστο Παγετώνα (Last Glacial Maximum): 18.000 χρόνια πριν, 32% της γης καλύπτεται με πάγο

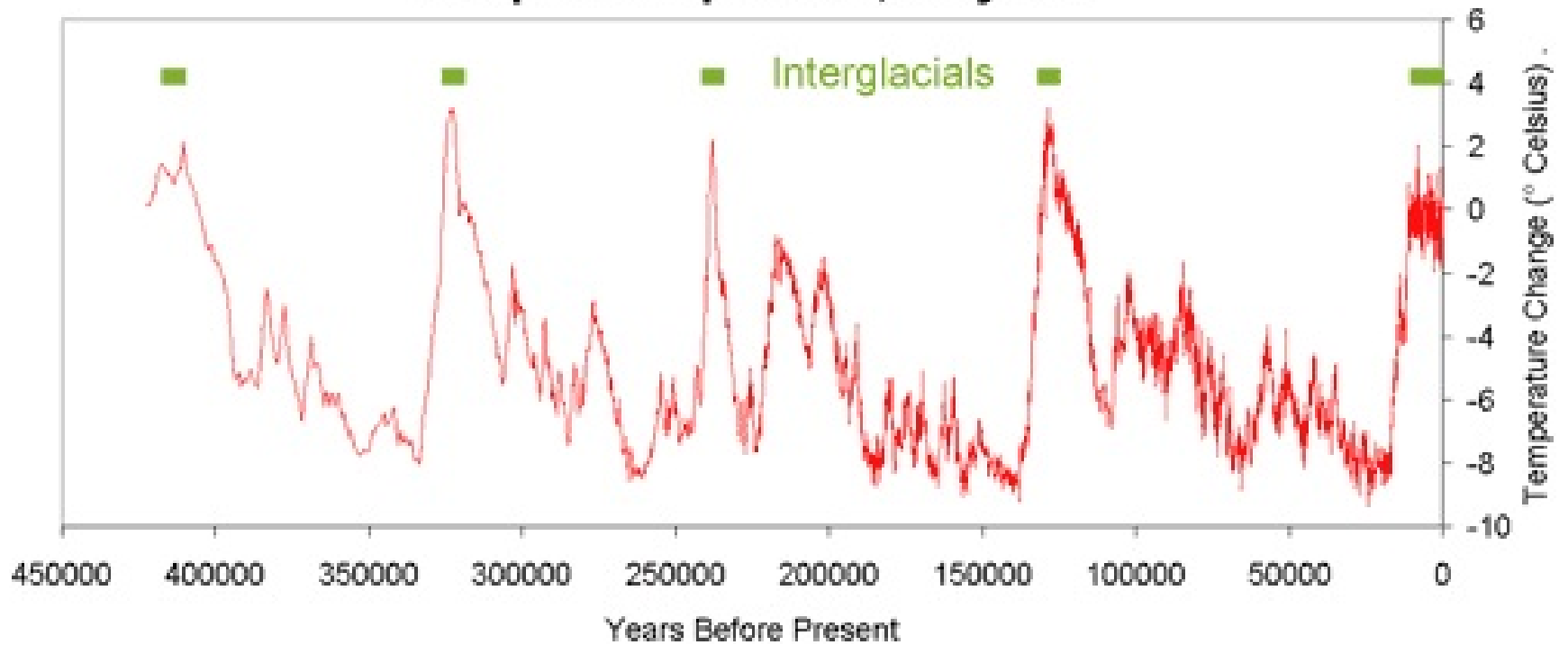
Η στάθμη της θάλασσας είναι 120 μέτρα χαμηλότερη από σήμερα





Η εξάπλωση των παγετώνων κατά το τελευταίο μέγιστο παγετώδες (LGM), η υποχώρησή τους σήμερα και δεξιά σχηματική παράσταση της «ανταγωνιστικής» σχέσης θαλάσσης - παγετώνων

Temperature past 420,000 years



Παγετώδεις κύκλοι – τι τους προκαλεί;;;

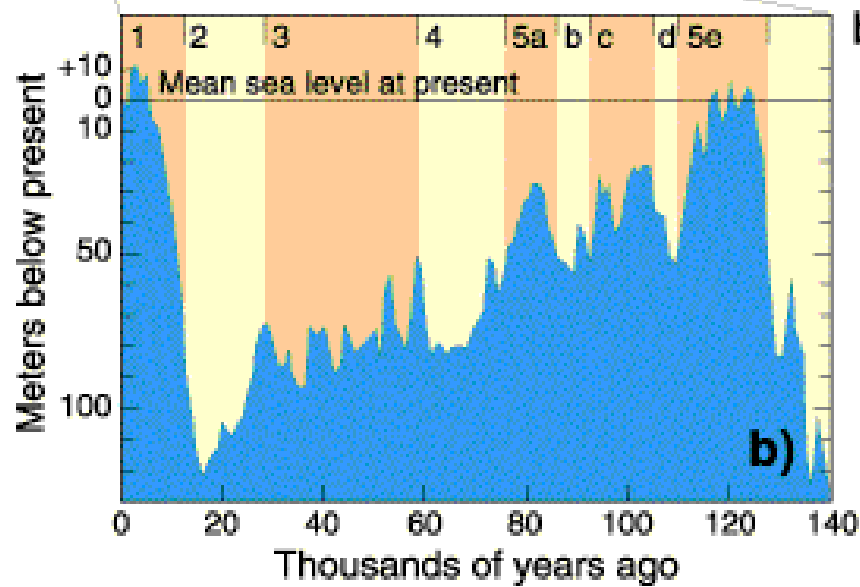
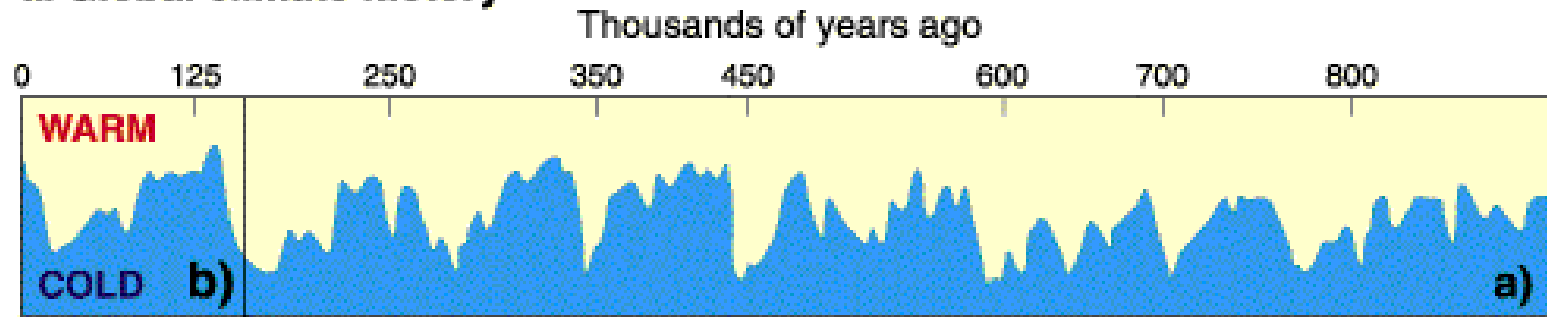
Υπόθεση Milankovitch: εμφανίζονται λόγω κυκλικών μεταβολών στην καλοκαιρινή ηλιακή ακτινοβολία του Βόρειου Ημισφαιρίου. Αυτές οι κυκλικές κλιματικές μεταβολές οφείλονται, με τη σειρά τους, σε διαφορές στις τροχιακές παραμέτρους της Γης:

- Μετάπτωση ισημεριών
- Εκκεντρότητα
- Λοξότητα

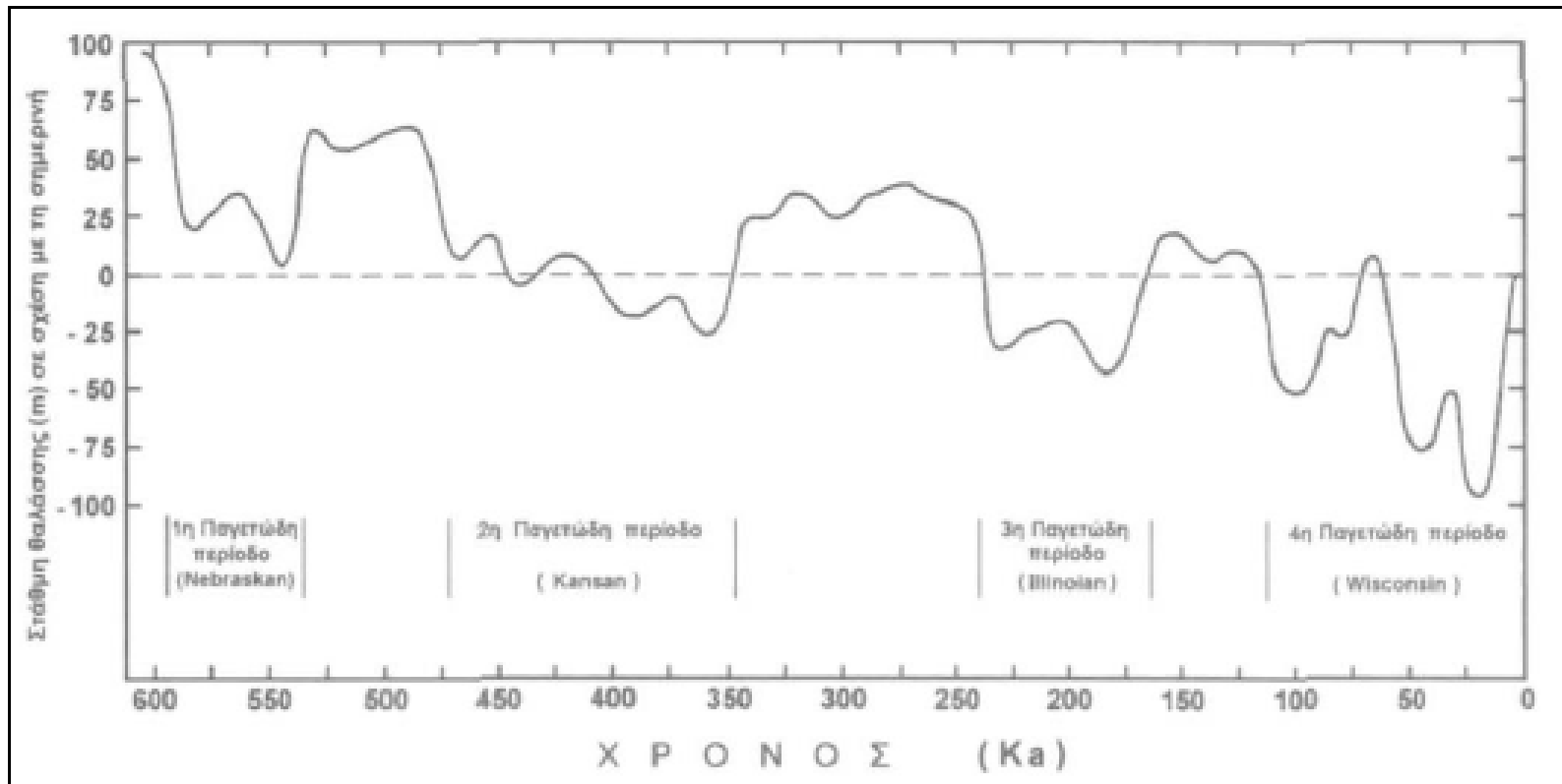


Milutin Milankovitch 1920

a. Global climate history

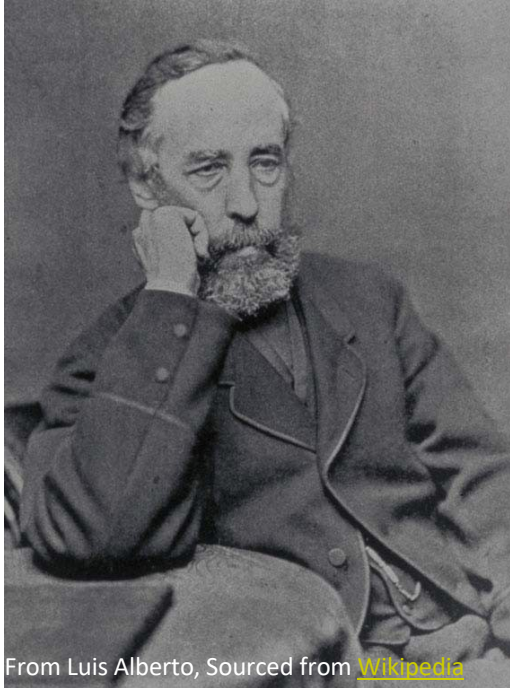


b. Late Quaternary sea-level history



ΤΡΟΧΙΑΚΗ ΠΑΡΑΒΙΑΣΗ (ORBITAL FORCING)

James Croll
from J. C. Irons (1896)



From Luis Alberto, Sourced from [Wikipedia](#)

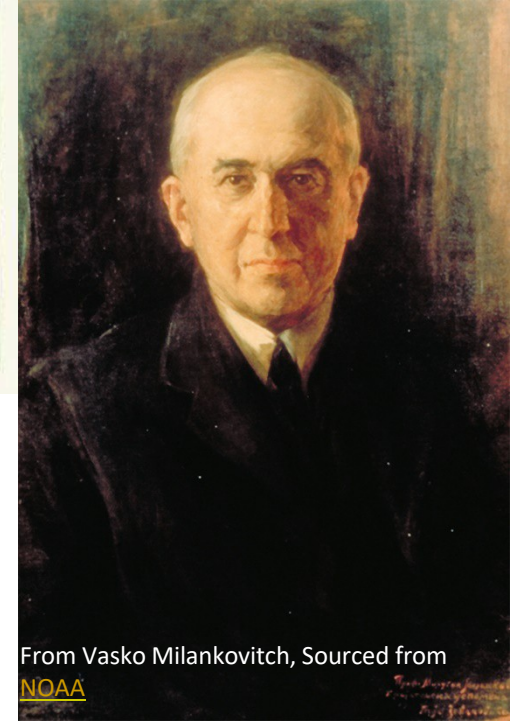
G. K. Gilbert,
at work for the U.S.G.S



Courtesy of USGS



Milutin Milankovitch
by Paja Jovanovic, 1943

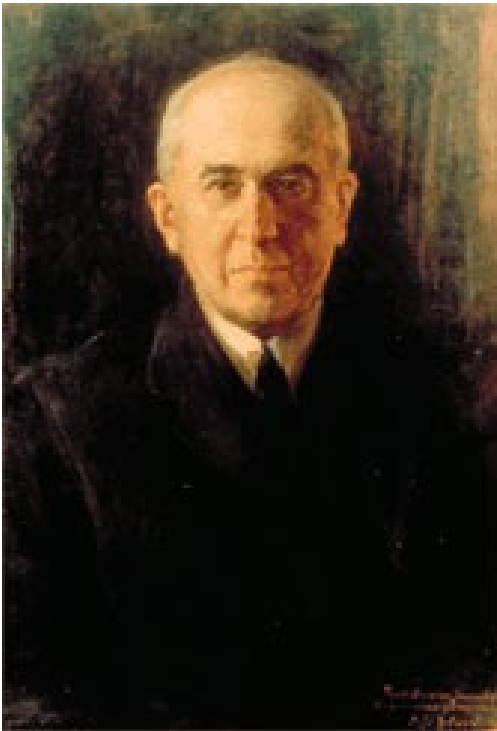


From Vasko Milankovitch, Sourced from [NOAA](#)

Milutin Milankovitch,

Σέρβος μαθηματικός

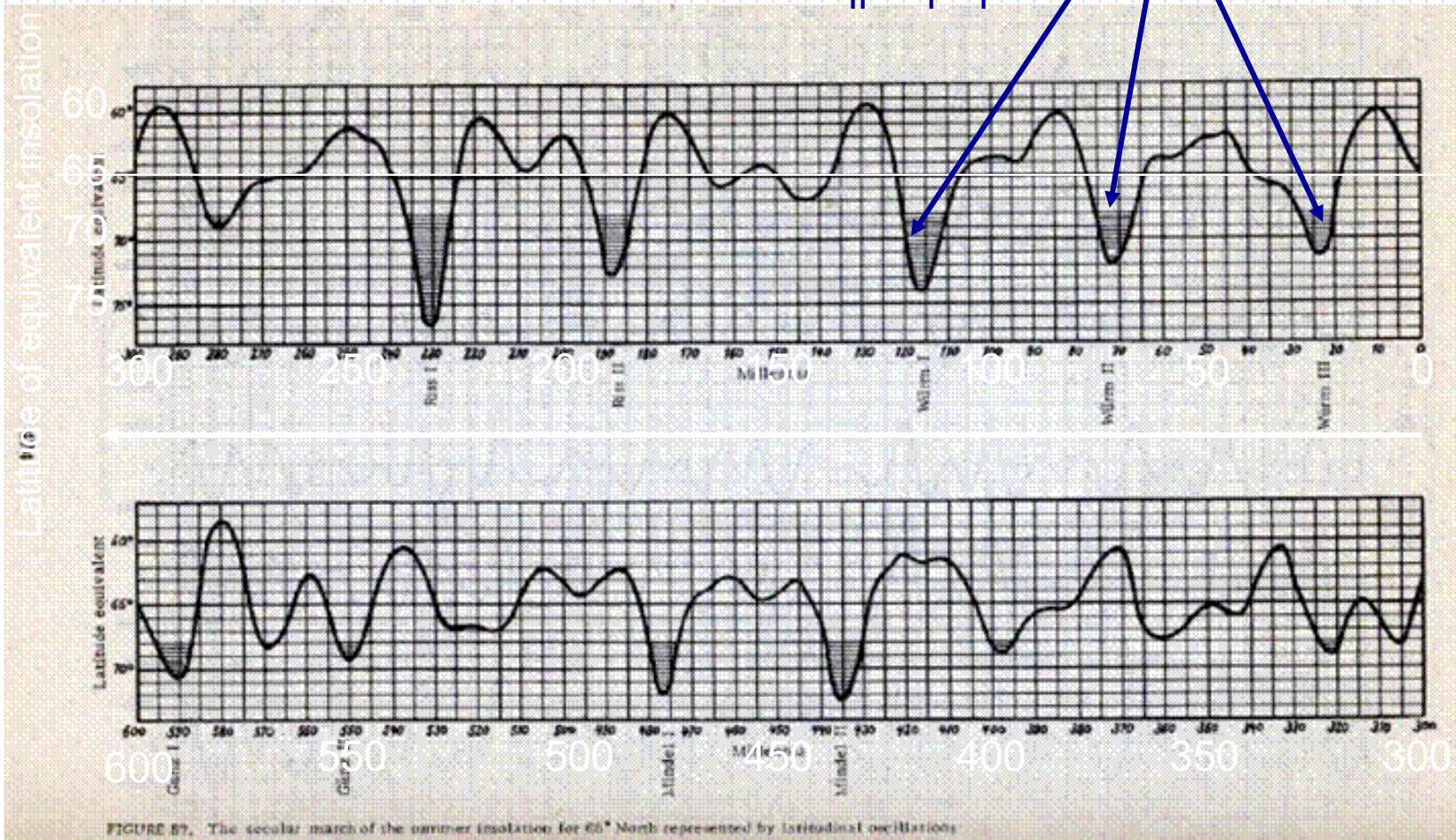
(1879-1958)



- 1941, “Canon of Insolation of the Earth and Its Application to the Problem of the Ice Ages,” 626 σελ.
- βελτίωσε το έργο του Croll εν μέρει με πιο ακριβείς υπολογισμούς (όλοι με το χέρι!)
- υπογράμμισε τη σημασία της μείωσης της θερινής ακτινοβολίας η οποία ευνοεί τη συσσώρευση παγετώνων

Milutin Milankovitch (1879 - 1958)

Ψυχρά καλοκαίρια στο βόρειο ημισφαίριο



Ο Milankovitch (1941) προέβλεψε ότι οι παγετώνες θα πρέπει να αντιστοιχούν στα ελάχιστα της καλοκαιρινής ηλιακής ακτινοβολίας. Δυστυχώς, η υπόθεση του τέθηκε στο αρχείο για περισσότερα από 30 χρόνια.

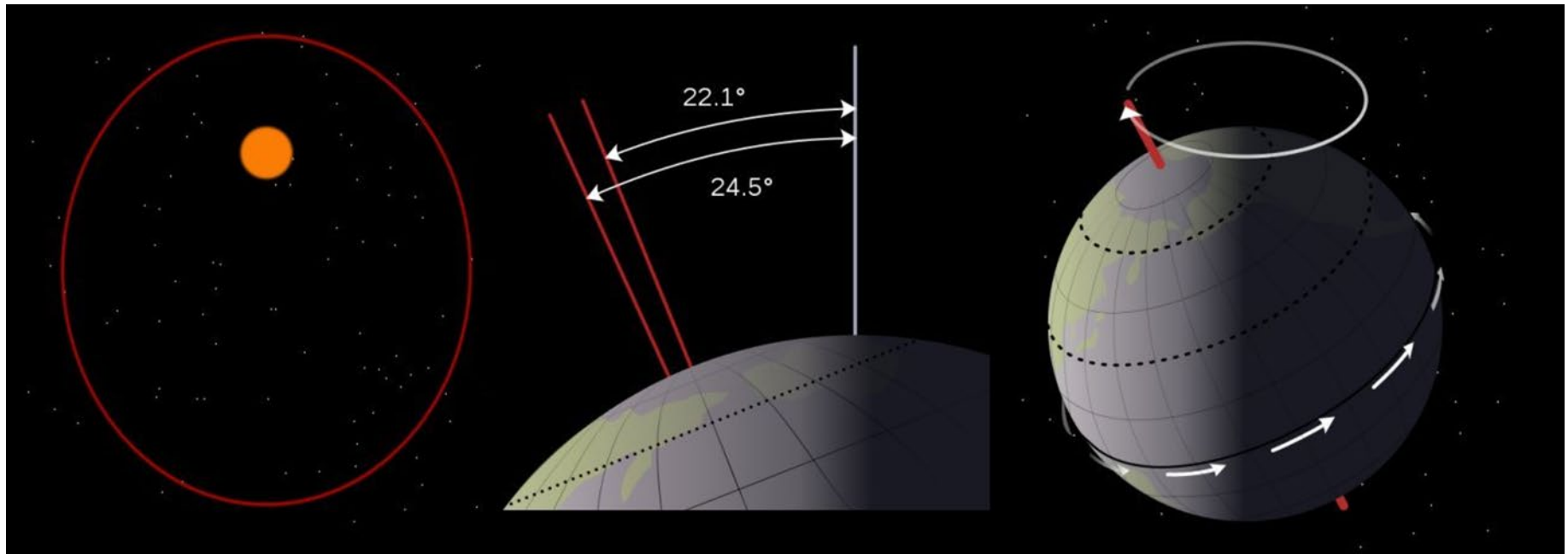
Θεωρία Milankovitch

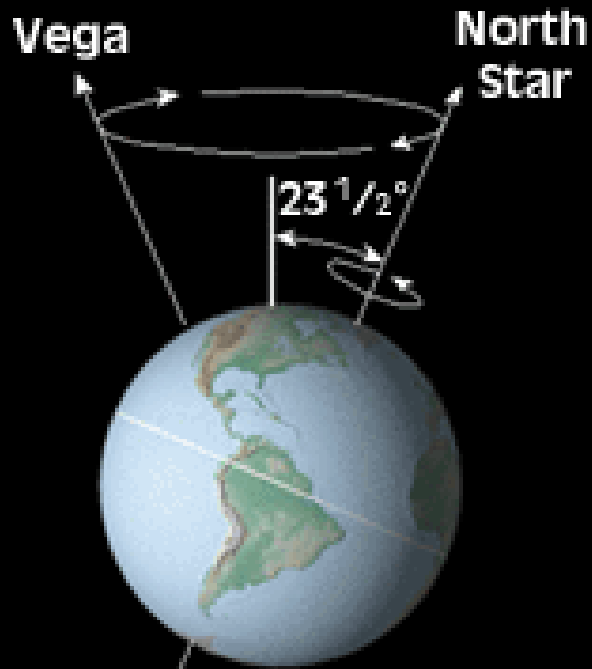
Η θεωρία Milankovitch αποτελεί προσπάθεια να συσχετιστούν οι κλιματικές μεταβολές με τις μεταβαλλόμενες παραμέτρους της γήινης τροχιάς γύρω από τον ήλιο.

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους η τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο μπορεί να επηρεάσει την λαμβανόμενη ακτινοβολία και κατά συνέπεια και το ίδιο το κλίμα.

Αυτοί είναι:

Οι τροχιακές παράμετροι της Γης που επηρεάζουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία:





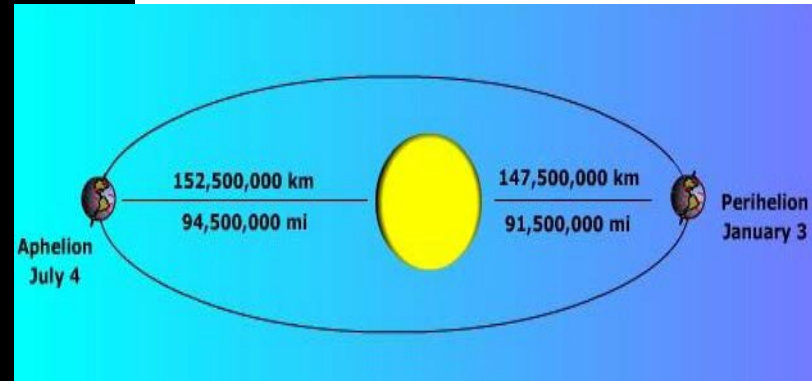
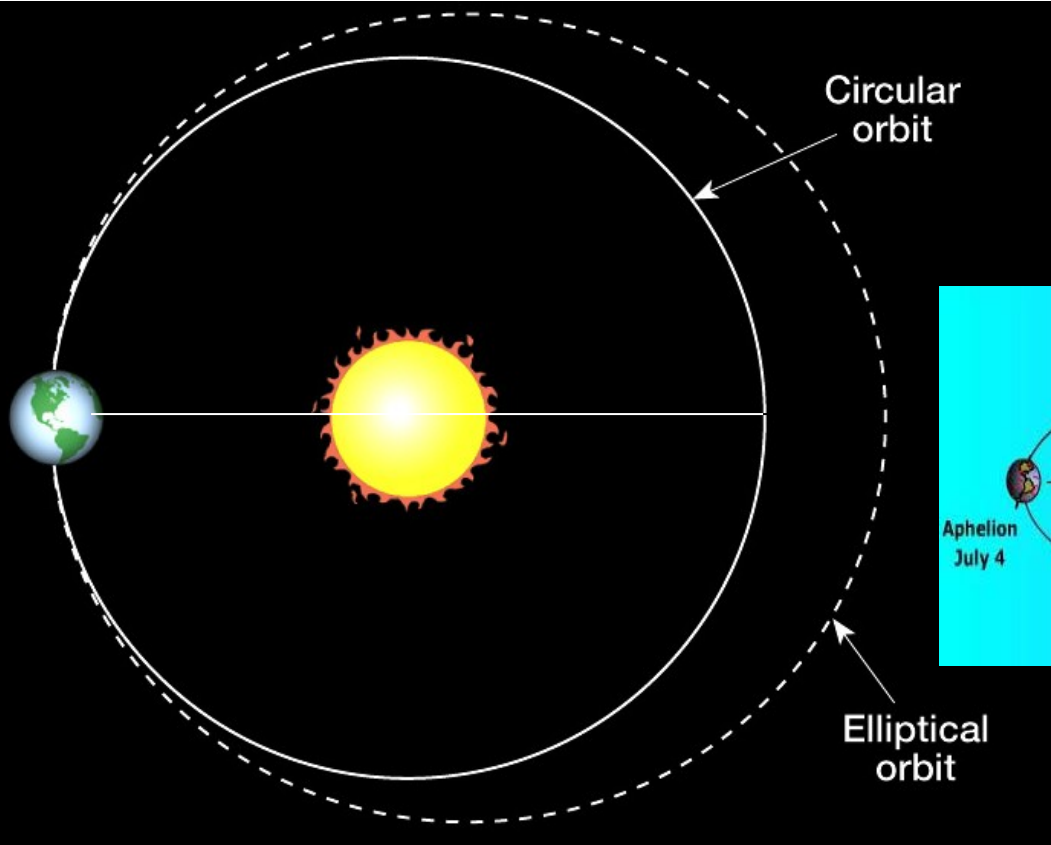
Μετάπτωση
ισημερινών

Maximum tilt $24\frac{1}{2}^\circ$
Today's tilt $23\frac{1}{2}^\circ$
Minimum tilt $22\frac{1}{2}^\circ$

Plane of
Earth's orbit



Εκκεντρότητα



Current value: 0.017

Range: 0-0.06

Period(s): ~100,000 yrs

~400,000 yrs

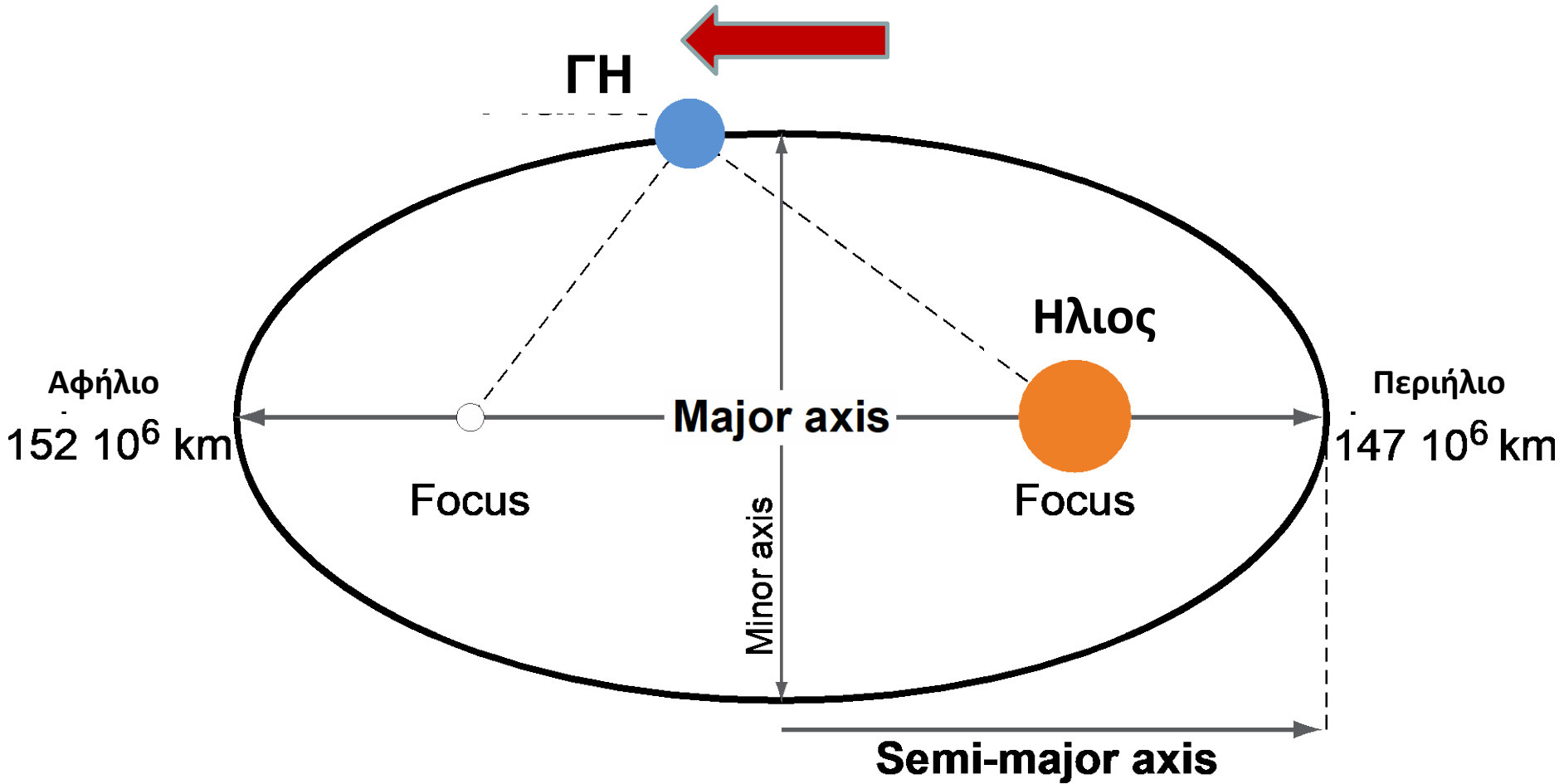
$$\text{Εκκεντρότητα} = \frac{a - p}{a + p}$$

a = η απόσταση αφηλίου

p = απόσταση περιηλίου

Η εκκεντρότητα της Γης έχει μεταβληθεί με τον χρόνο από τιμές 0,005 έως 0.0607 (τώρα η εκκεντρότητα είναι 0.0167).

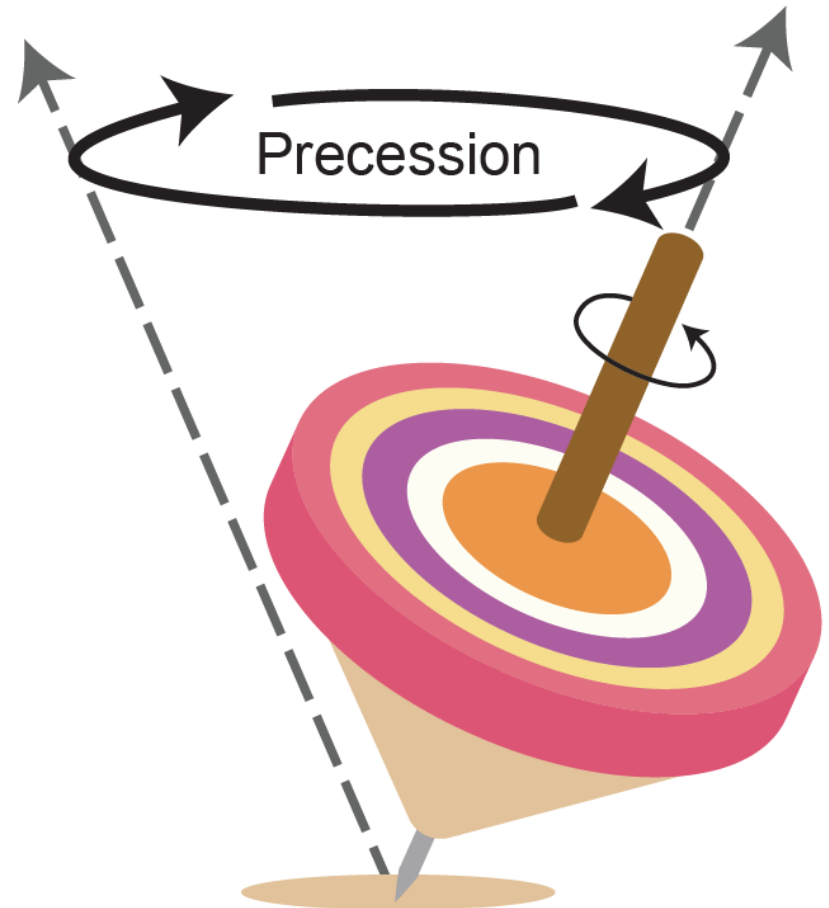
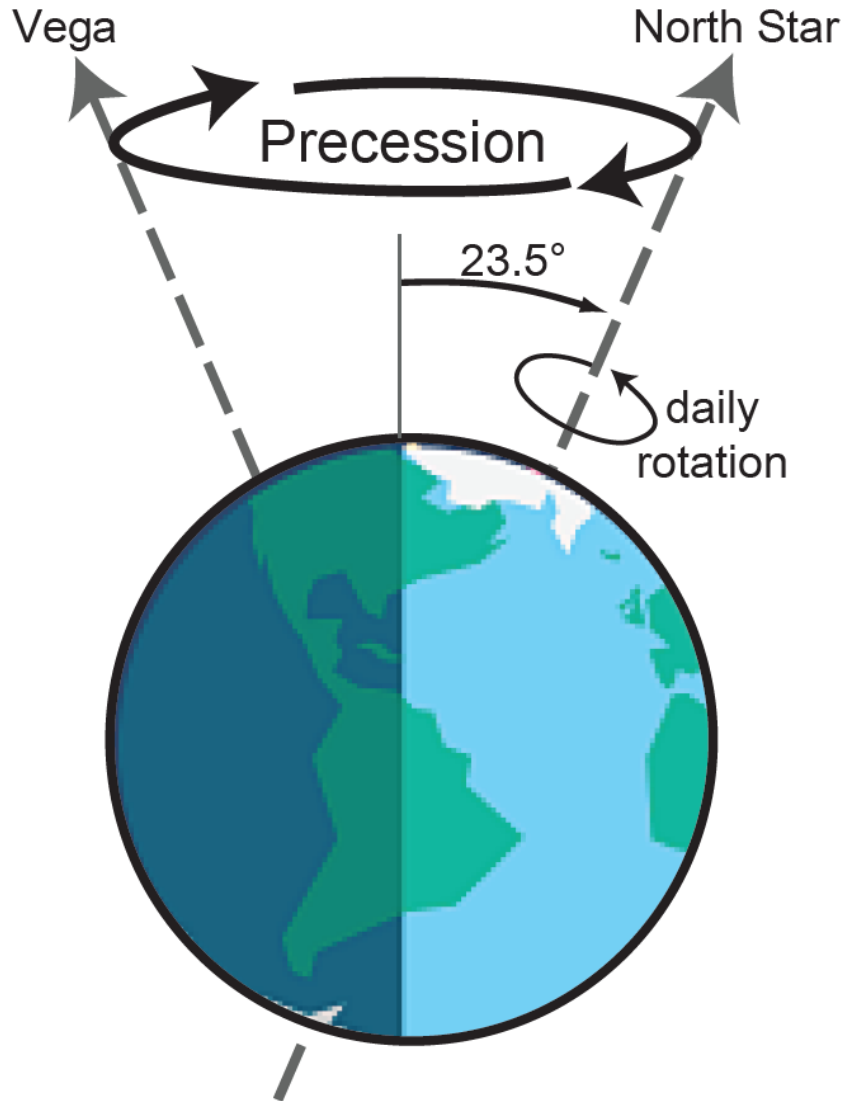
Ελλειπτική τροχιά της Γης



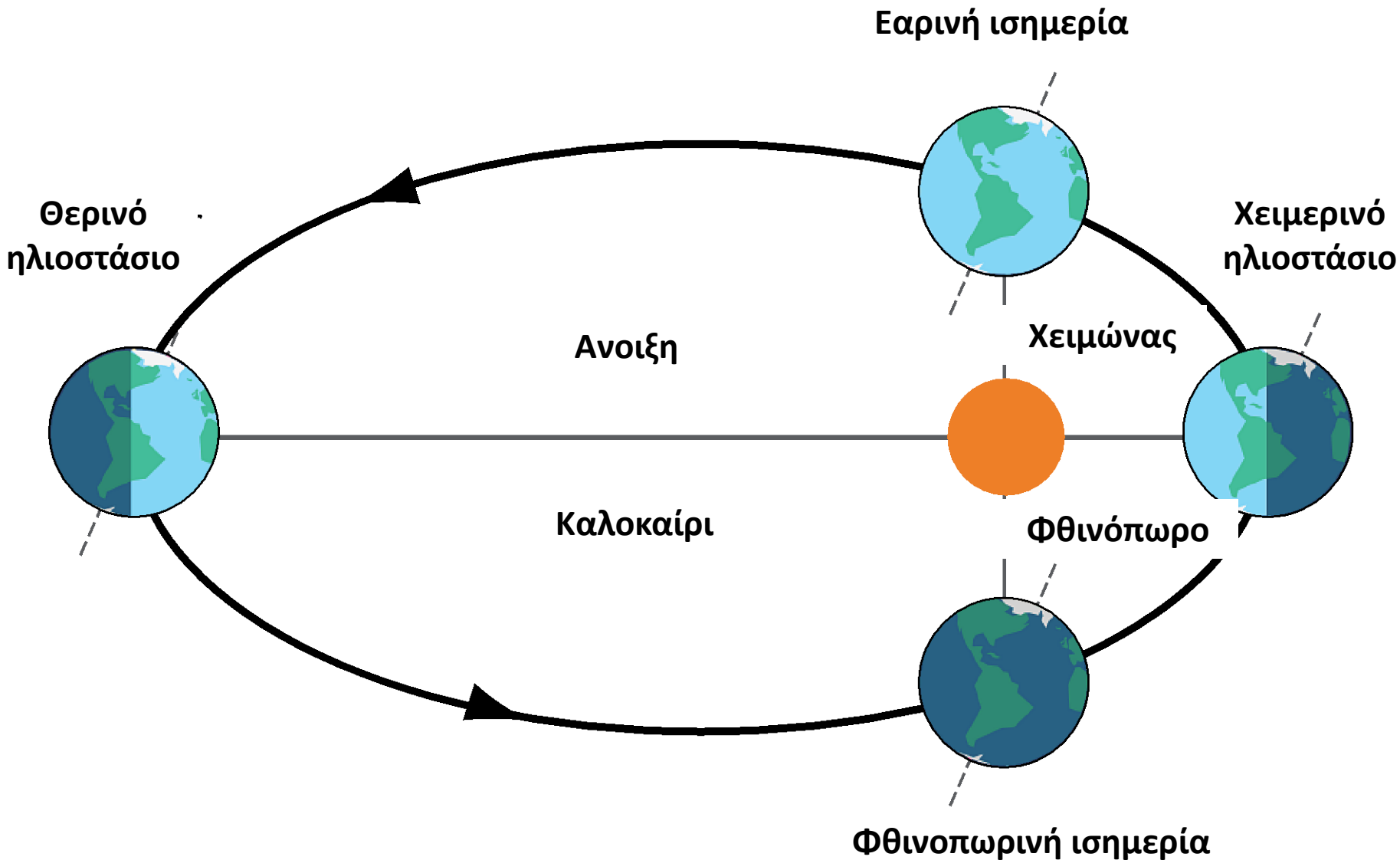
Σύνοψη εκκεντρότητας

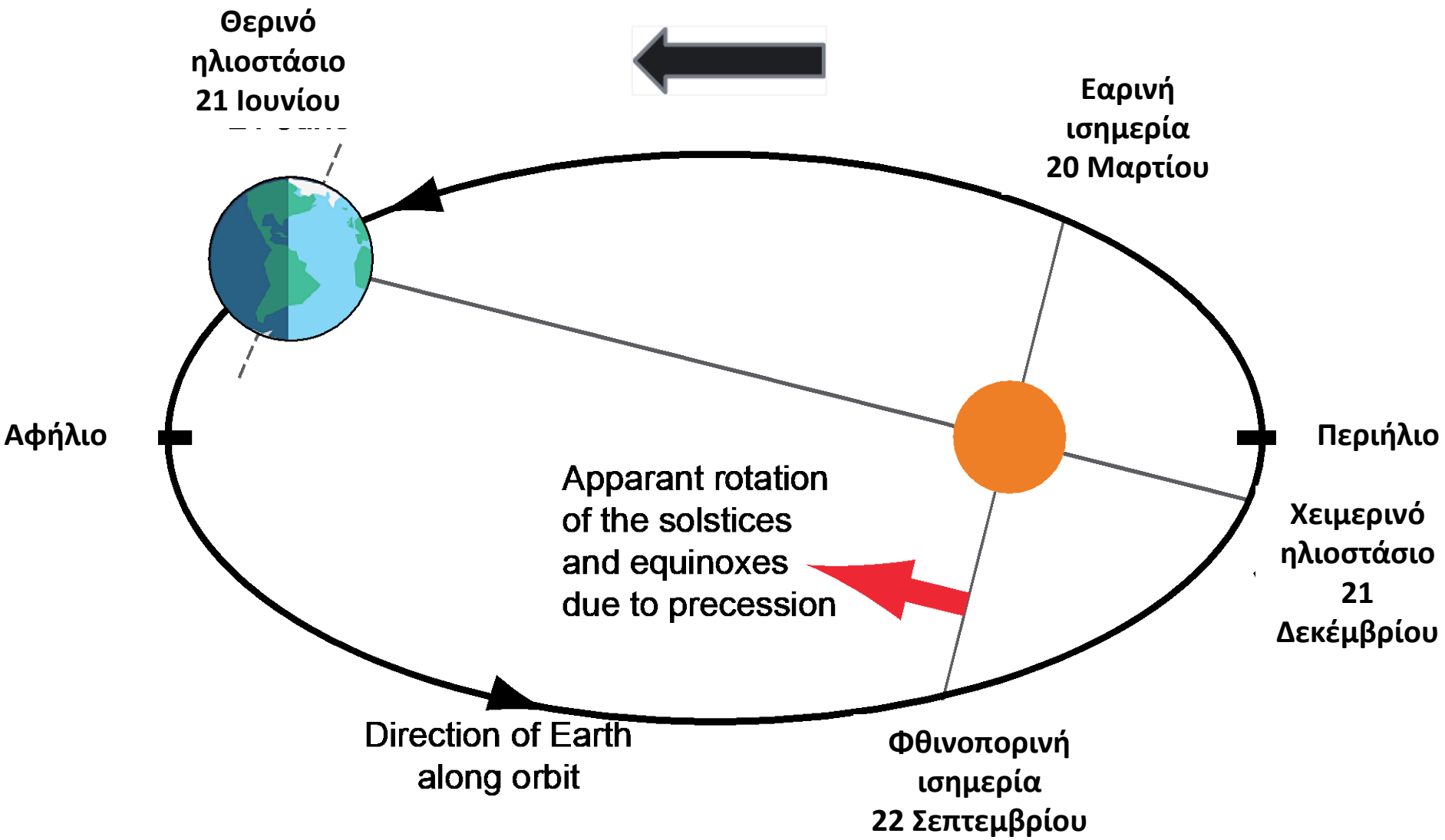
- Η εκκεντρότητα είναι η μόνη παράμετρος που επηρεάζει την ετήσια παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η Γη, αλλά αυτή η αλλαγή είναι μόνο της τάξης του 0,25%
- Κυμαίνεται μεταξύ σχεδόν 0 και 0,06 με κύριες περιόδους 100.000 και 400.000 ετών
- Ωστόσο, η κύρια επιρροή του είναι μέσω του κύκλου της κλιματικής μετάπτωσης, όπως θα δούμε.

Κύκλος Μετάπτωσης



Ισημερίες vs. Ηλιοστάσια

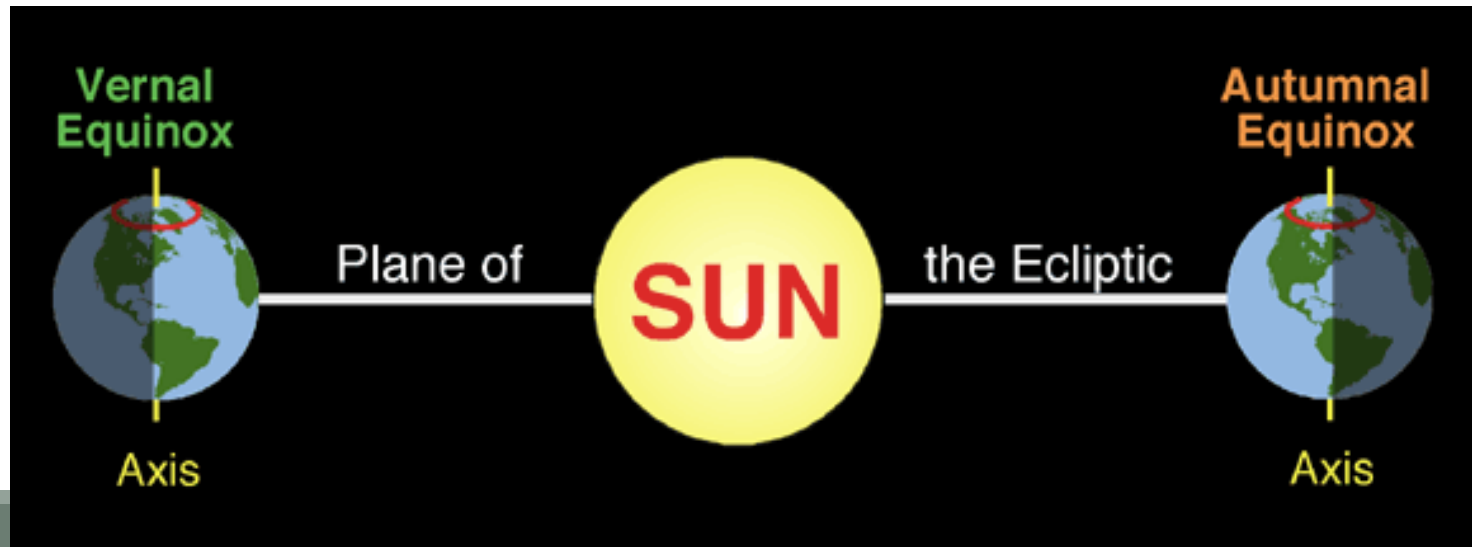
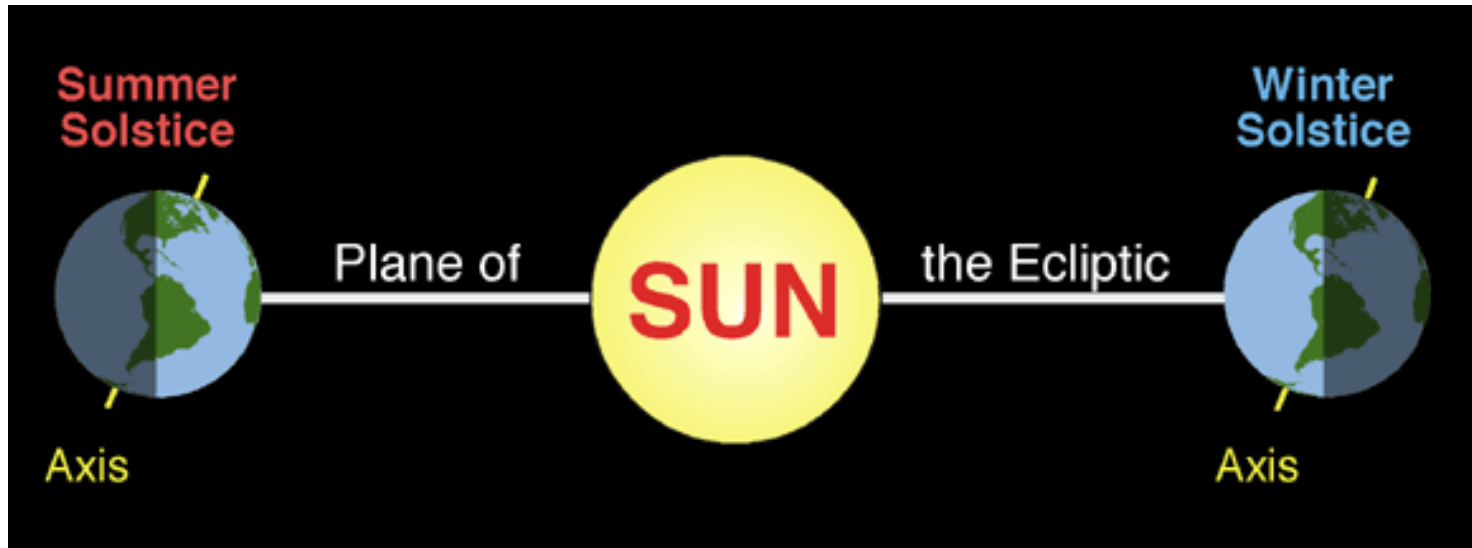




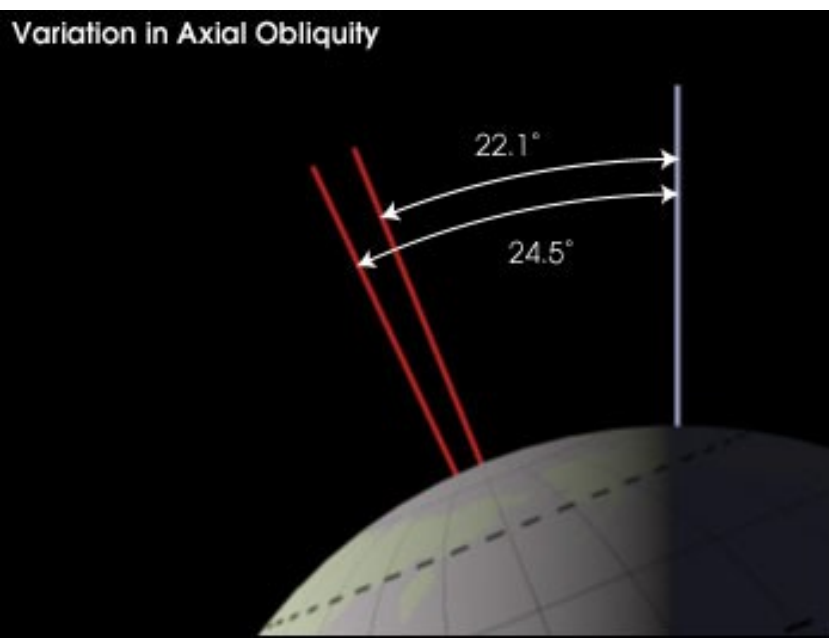
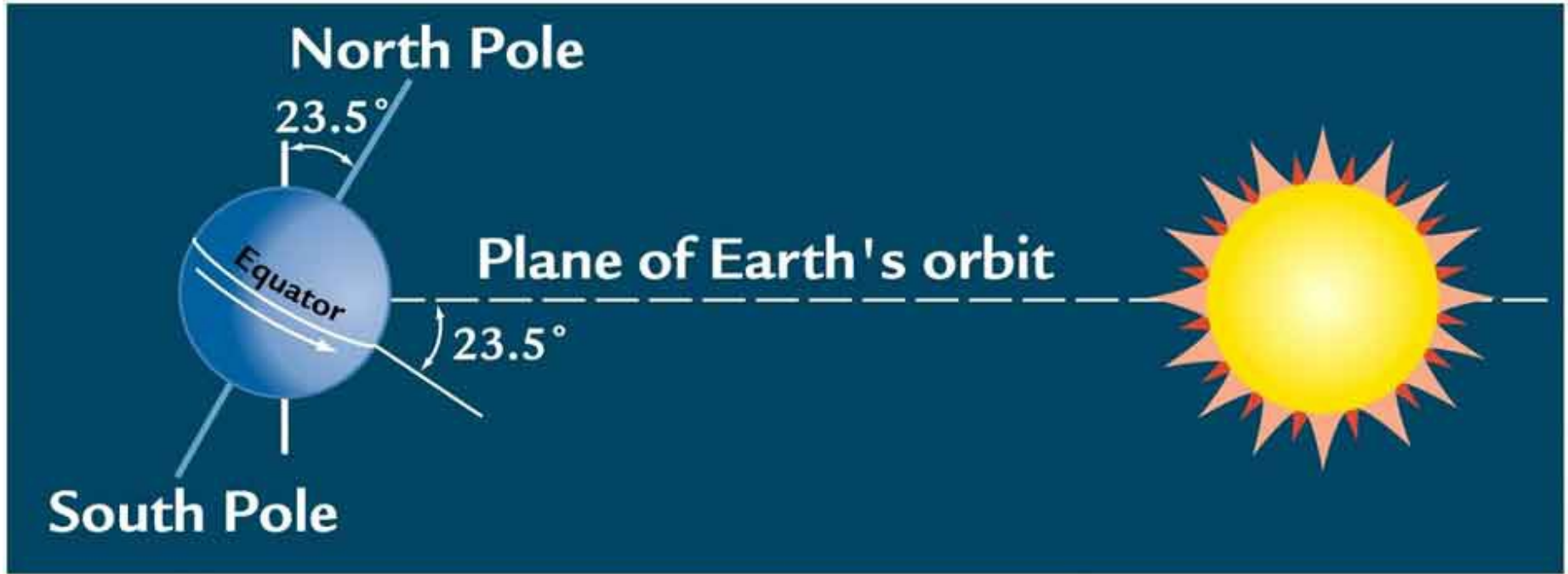
Σύνοψη κλιματικής μετάπτωσης

- Η κλιματική μετάπτωση περιγράφει τη μεταπτωτική κίνηση του άξονα της Γης σε σχέση με την ελλειπτική τροχιά και ποικίλλει με κυκλικό τρόπο με μέση περίοδο ~21 000 ετών.
- Η μετάπτωση δεν επηρεάζει την ετήσια παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η Γη, αλλά καθορίζει τη γεωγραφική και εποχιακή κατανομή της ηλιακής ηλιακής ακτινοβολίας, με αντίθετη επίδραση και στα δύο ημισφαίρια.
- Η εκκεντρικότητα καθορίζει το πλάτος (ισχύ) του κύκλου της κλιματικής μετάπτωσης.

Η λόξωση ή λοξότητα είναι υπεύθυνη για τις εποχές



Λόξωση



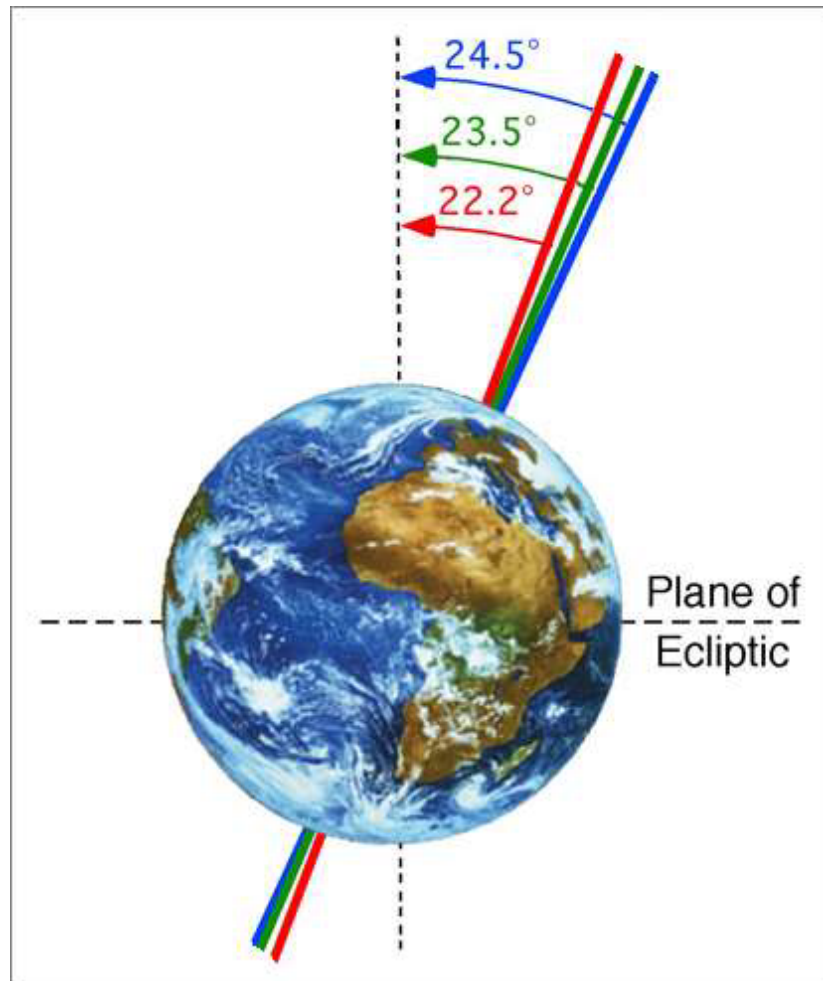
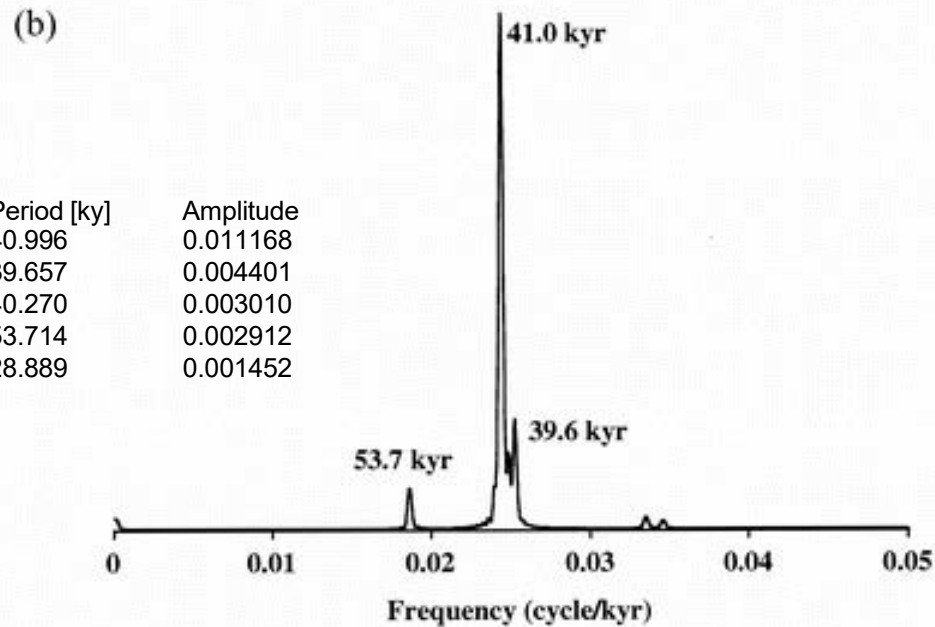
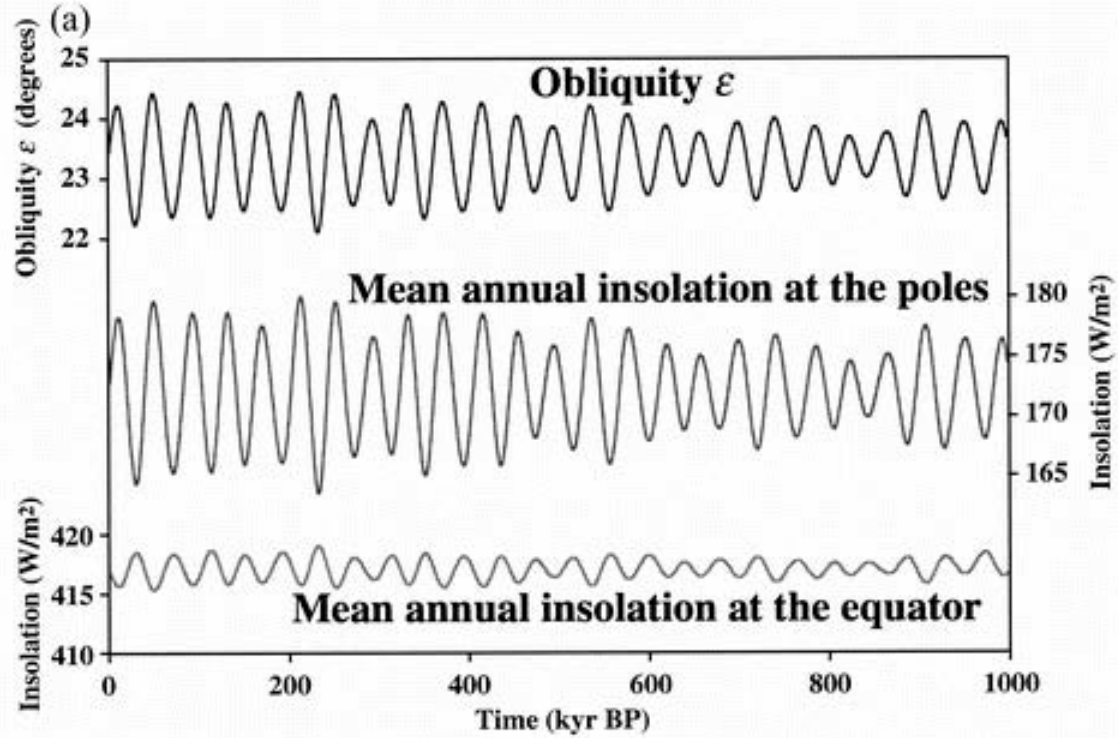


Figure 5. The tilt of the Earth's axis can vary from a minimum of 22.2° to a maximum of 24.5° over a period of 41,000 years.
(Image Copyright: Michael Pidwirny).

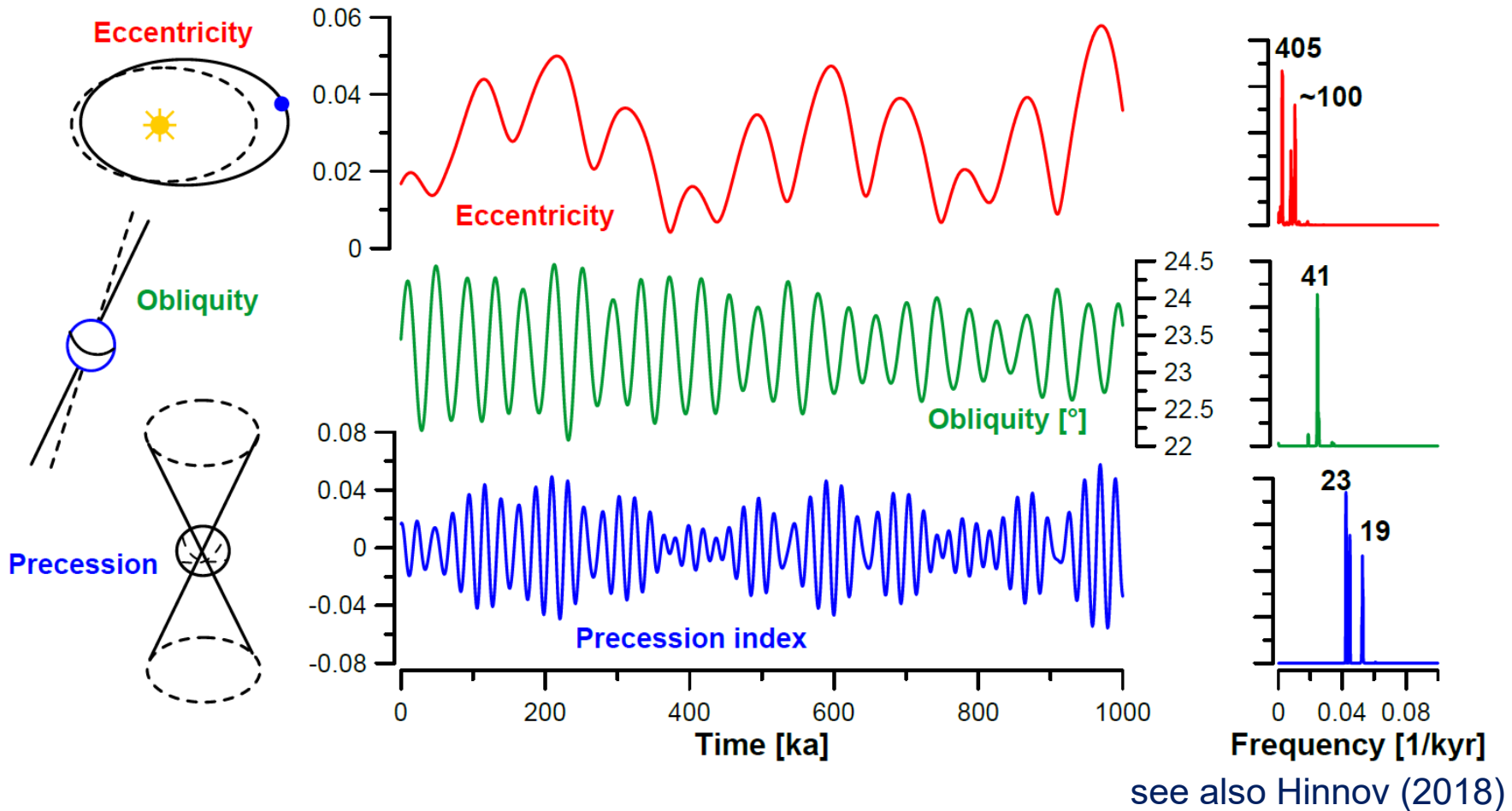


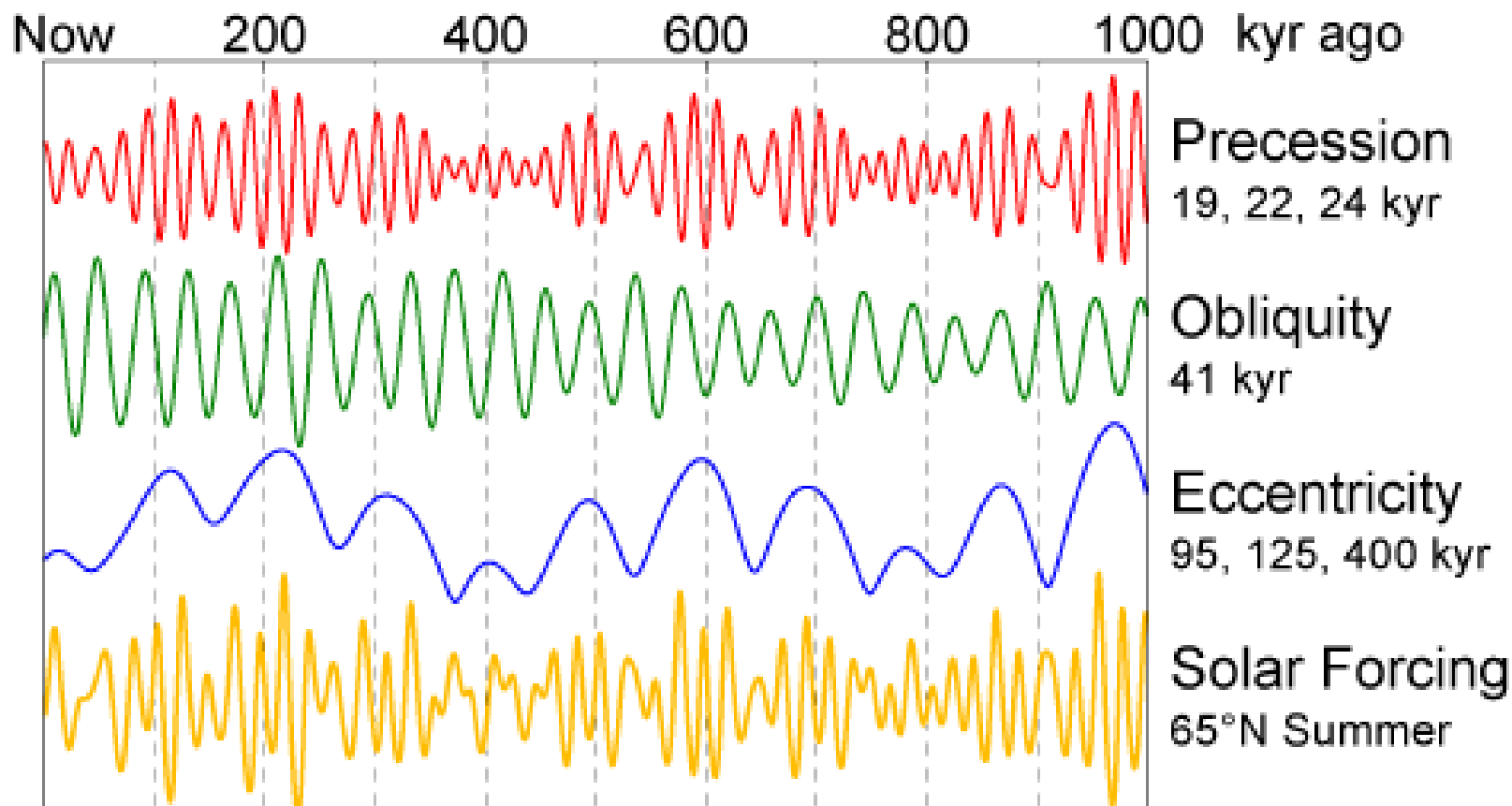
Obliquity
 frequency [1/ky]
 0.02439
 0.02522
 0.02483
 0.01862
 0.03462

Σύνοψη λοξότητα

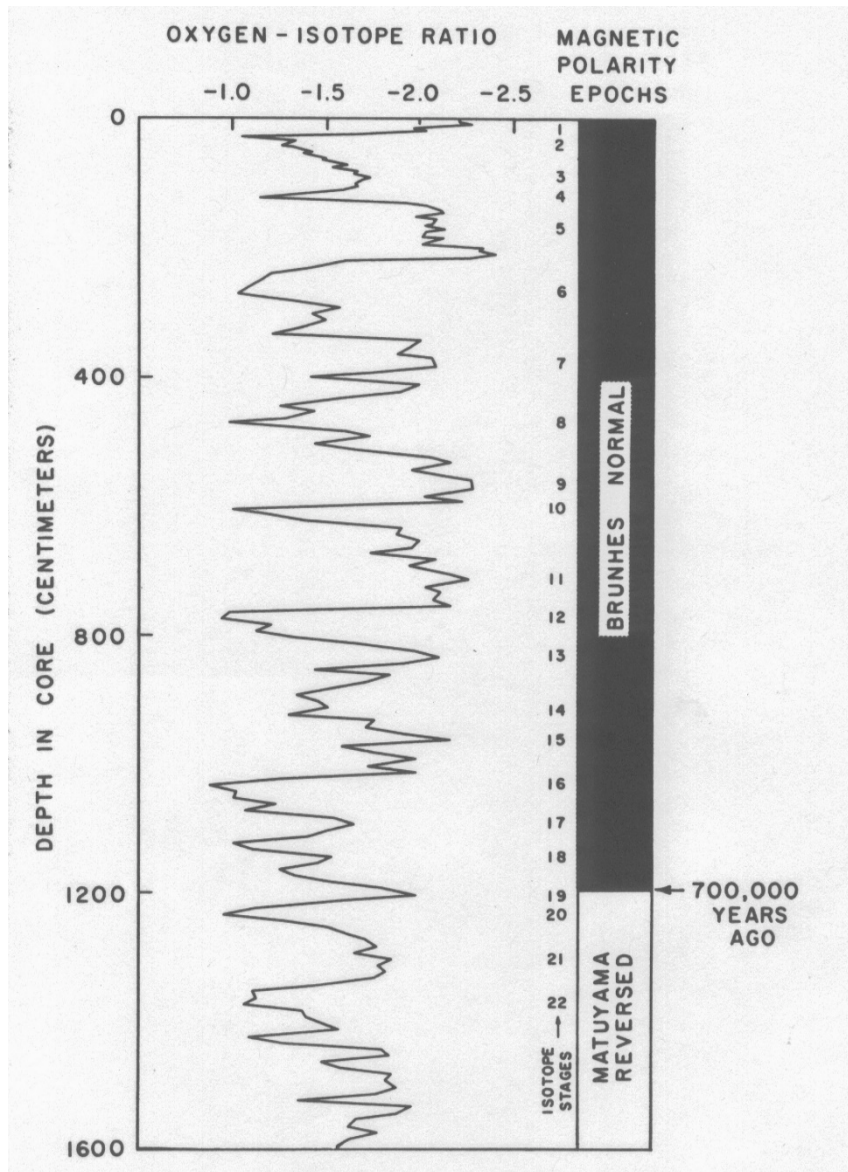
- Η λοξότητα κυμαίνεται μεταξύ 22 και 24,5 μοιρών με κυρίαρχες περιόδους ~41 000 ετών..
- Όπως και η μετάπτωση, η λοξότητα επηρεάζει τη γεωγραφική και εποχιακή κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά με έναν θεμελιωδώς διαφορετικό τρόπο έχοντας την ίδια επίδραση και στα δύο ημισφαίρια.
- Σε αντίθεση με την μετάπτωση, η κύρια επιρροή της είναι στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και το χειμώνα.

Τροχιακές παράμετροι:





Αναβίωση της θεωρίας Milankovitch



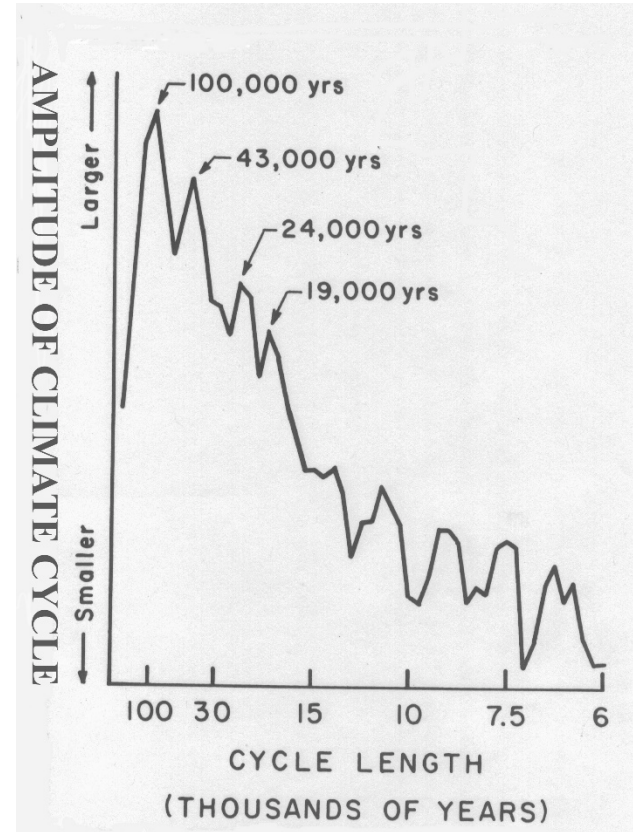
Ειρηνικός, πυρήνας V28-238

Shackelton & Opdyke, 1972

Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages



Τα ισότοπα του θαλάσσιου οξυγόνου απεικονίζουν τις ίδιες περιόδους που προβλέπονται από τις τροχιακές παραβιάσεις.



Προβλήματα της θεωρίας Milankovitch

Πολλά
προβλήματα

1. Πρόσφατα στοιχεία, που δημοσιεύτηκαν το 2000, δείχνουν ότι το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να διαδραματίζει έναν κύριο ρόλο ενισχυτικό της τροχιακής επίδρασης. Εντούτοις, μερικοί ερευνητές έχουν ακόμα αμφιβολίες για τη σύζευξη μεταξύ του κύκλου του κλίματος των 100.000 ετών και των τροχιακών παραλλαγών.
2. Οι ακριβείς μηχανισμοί από τους οποίους σχετικά μέτριες μεταβολές στην κατεύθυνση της τροχιάς και των αξόνων της Γης οδηγούν σε τέτοια μεγάλα αποτελέσματα, όπως οι Εποχές του Πάγου δεν αποδεικνύονται ικανοποιητικώς.
3. Μπορεί ο κύκλος του περιηλίου των 21.000 ετών και ο κύκλος της κλίσης των 41.000 ετών να παίζουν ρόλο στο κλίμα της Γης κατά το παρελθόν, αλλά ο κυρίαρχος κύκλος κλίματος φαίνεται να έχει μια περίοδο περίπου 100.000 ετών



Milutin Milankovitch

1879-1958

Τροχιακοί κύκλοι

ηλιοφάνεια στην κορυφή της ατμόσφαιρας

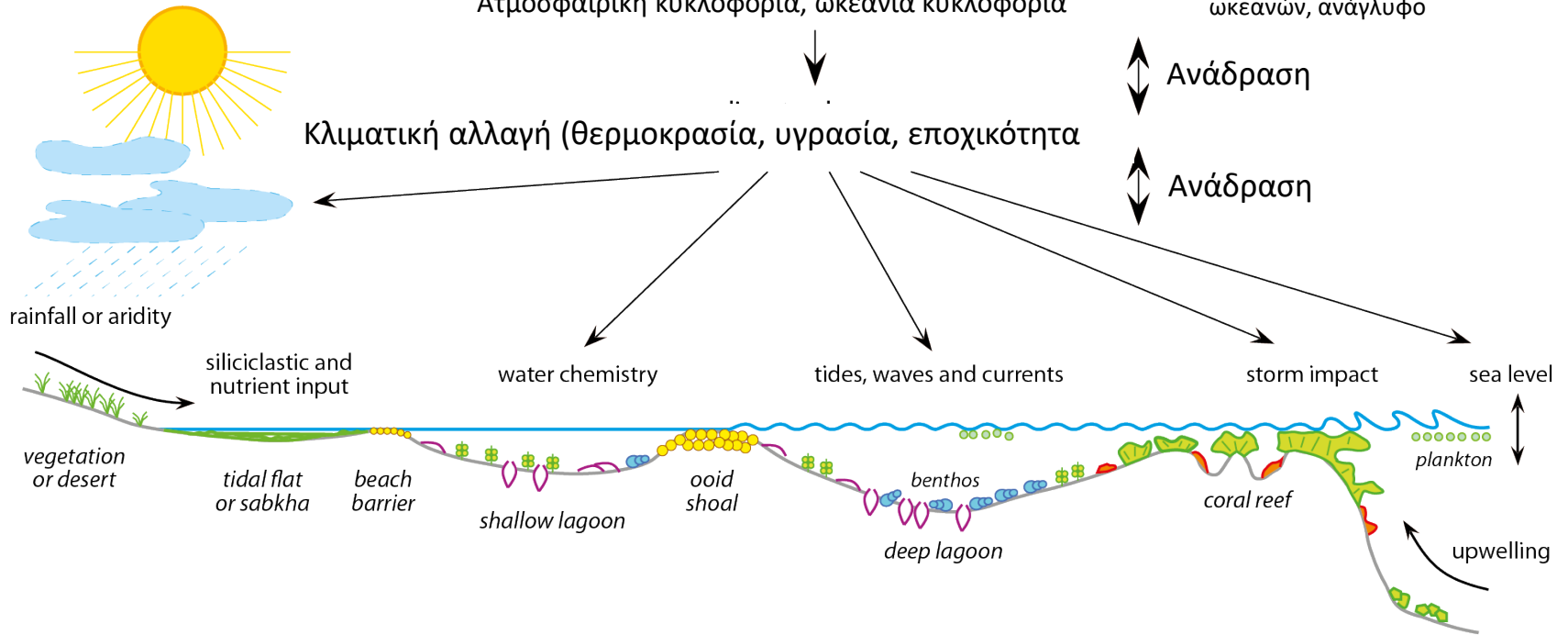
Ατμοσφαιρική κυκλοφορία, ωκεάνια κυκλοφορία

Κλιματική αλλαγή (θερμοκρασία, υγρασία, εποχικότητα)

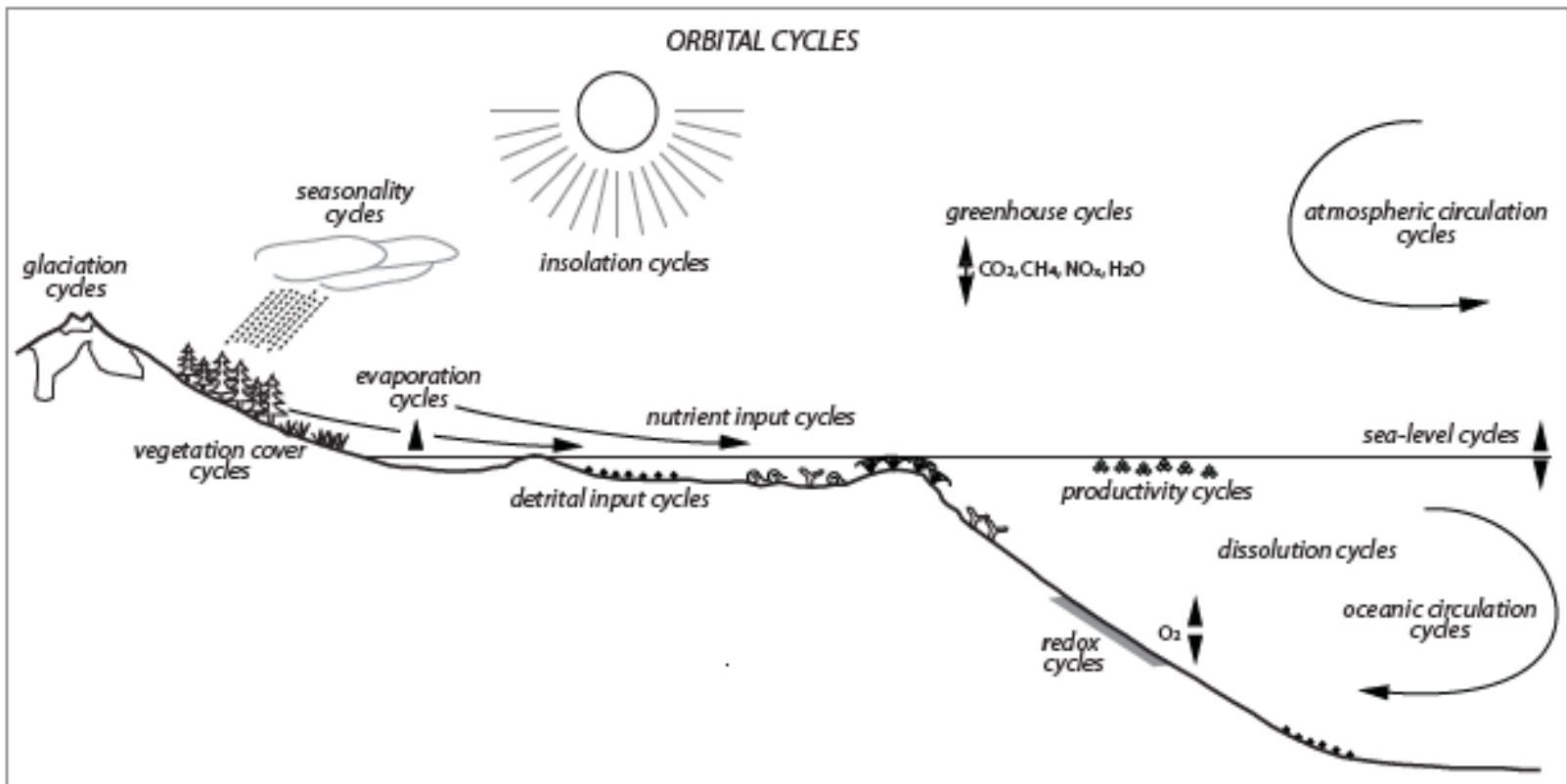
κύτταρα της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, κατανομή ξηρών ωκεανών, ανάγλυφο

Ανάδραση

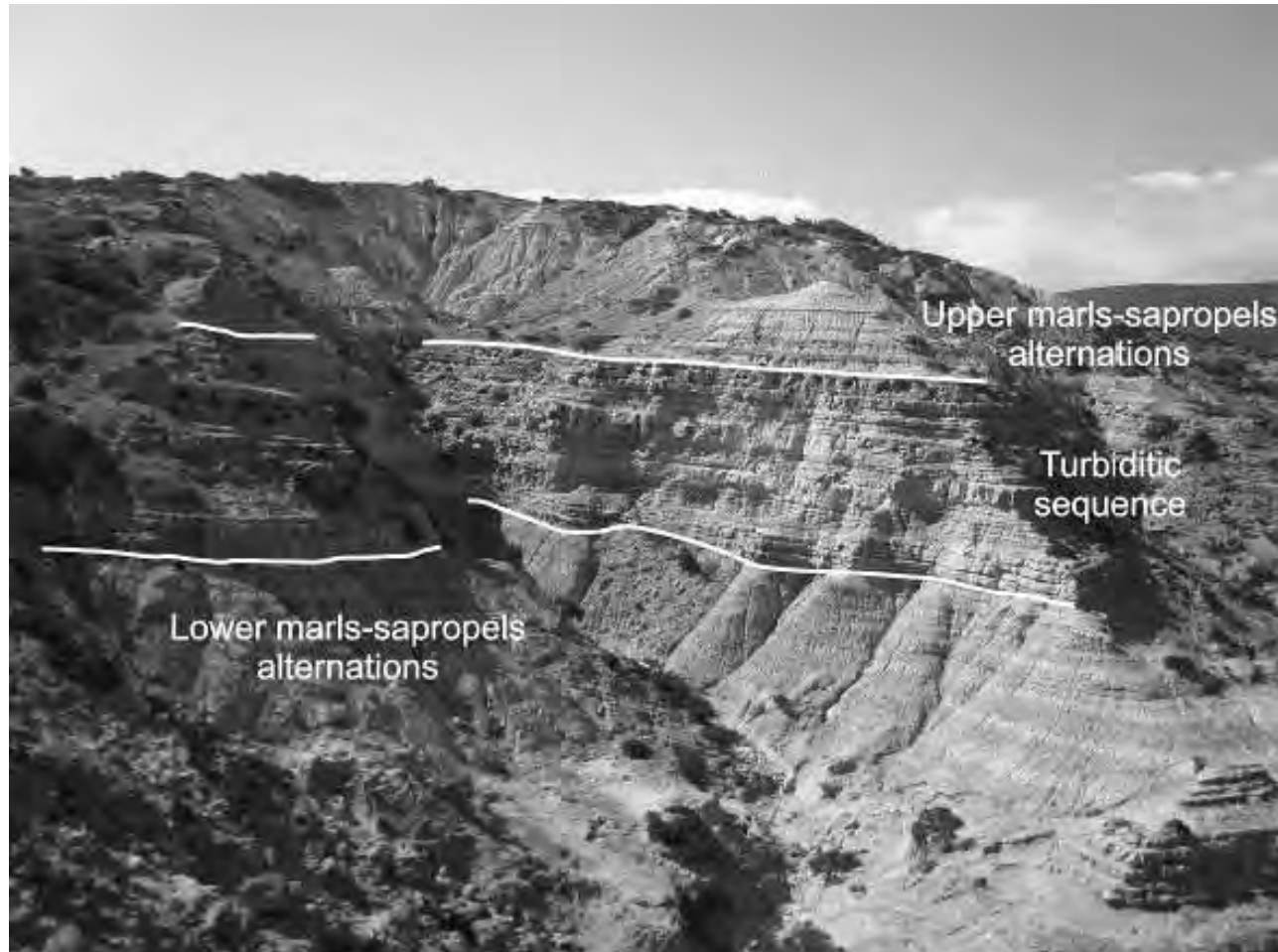
Ανάδραση



Modified from Strasser (2018)

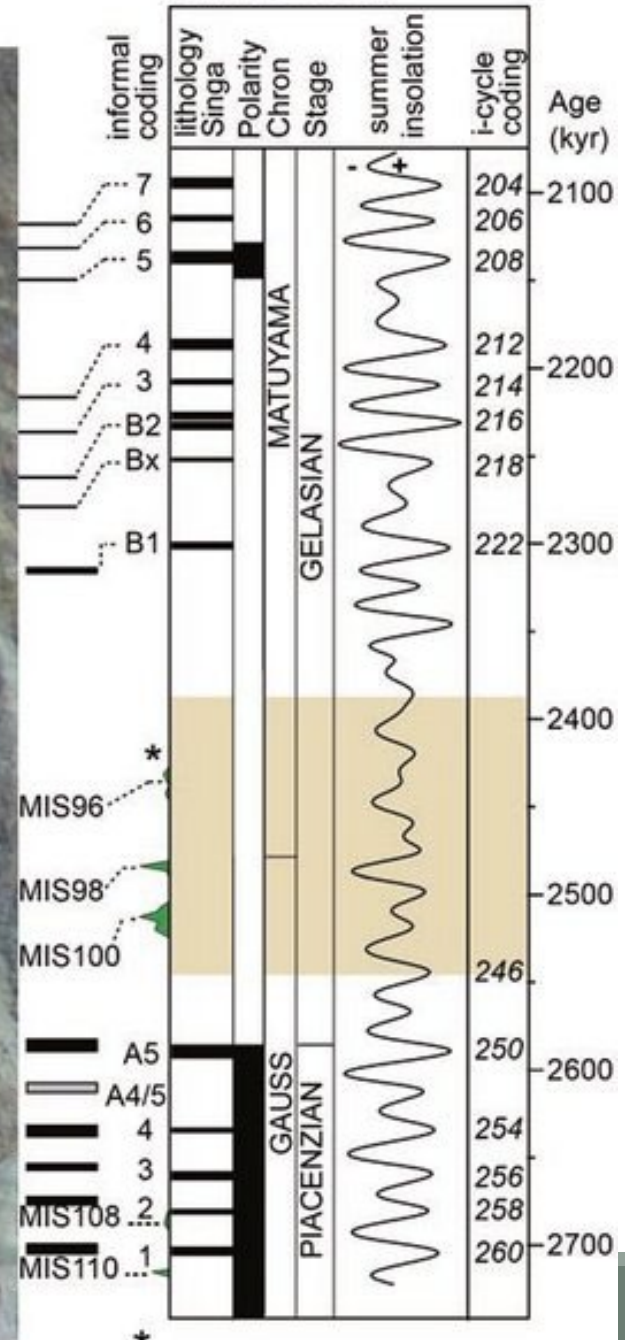
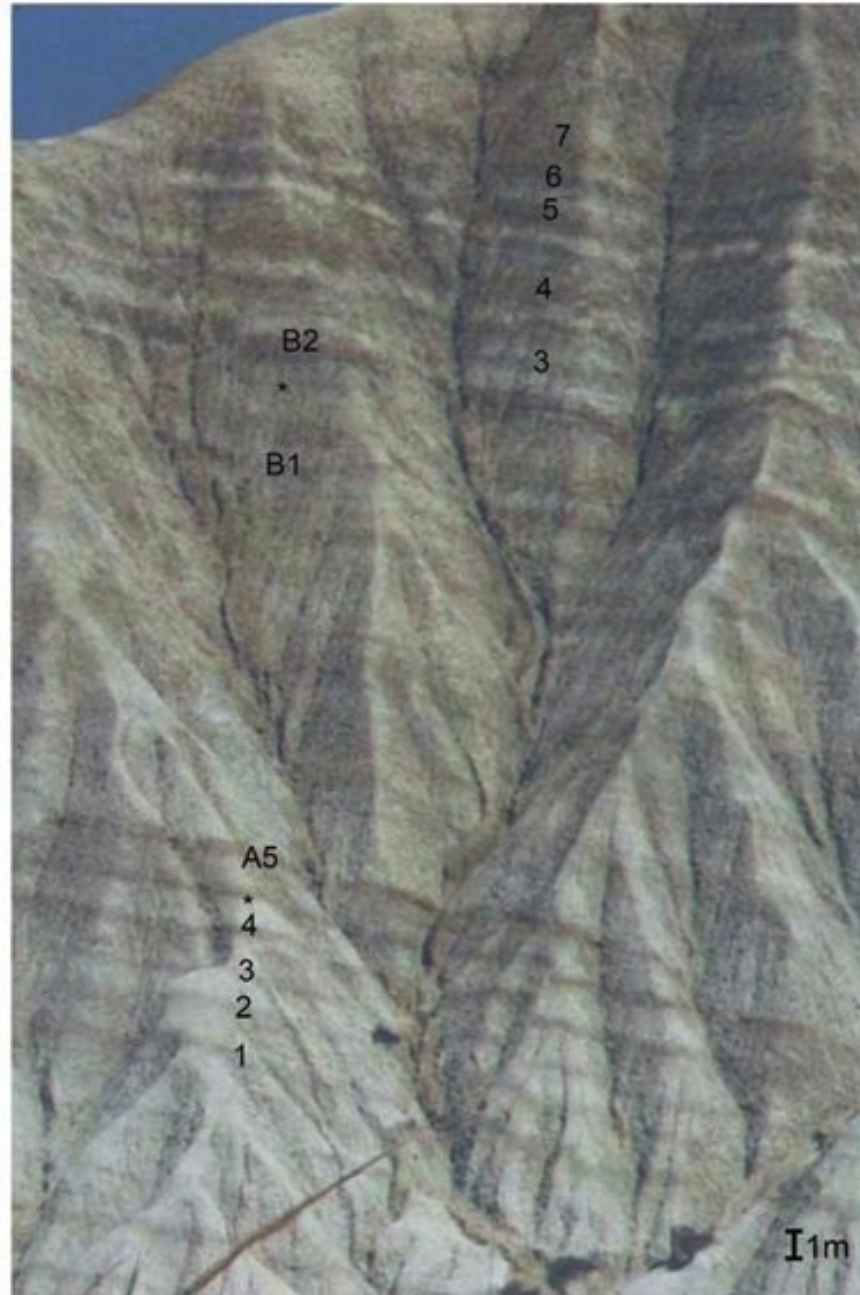


Από τους αστρονομικούς κύκλους στο ιζηματογενές αρχείο



San Nicola

ATNTS2004



Μεθοδολογία

- ❑ *Απαιτείται ανεξάρτητος έλεγχος χρόνου για τον περιορισμό του χρονικού διαστήματος εντός του οποίου διεξάγεται η κυκλοστρωματογραφική μελέτη. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω της βιοστρωματογραφίας, της χημειοστρωματογραφίας, της μαγνητοστρωματογραφίας και / ή στρωματογραφίας ακολουθιών όλα βαθμονομημένα σε απόλυτες ηλικίες. Ακόμα κι αν τα περιθώρια σφάλματος είναι μεγάλα, η μέση διάρκεια ενός ιζηματολογικού κύκλου μπορεί περίπου να εκτιμηθεί και να χρησιμεύσει ως αφετηρία για περαιτέρω ανάλυση.*
- ❑ *Λεπτομερής ανάλυση ιζηματογενών φάσεων*

Κυκλοστρωματογραφία

- Τι χρειάζεται για να τεκμηριωθεί η κυκλοστρωματογραφία?
 - Ο διαχωρισμός στα συστατικά περιόδους (αναγνώριση των συχνοτήτων Milankovitch) απαιτεί φασματική ανάλυση, δηλ υπολογιστές.
Υψηλής ευκρίνειας δεδομένα από μη διαταραγμένα ιζήματα (θαλάσσια;!)
Νέοι τύποι μετρήσεων για την καταγραφή του κλιματικού σήματος
- 1960's -> αργή αναγέννηση των εννοιών
 - Schwarzscher (1964): Φασματική ανάλυση σε ακολουθίες ασβεστόλιθου-ψαμμίτη
 - Emiliani (1966): η πρώτη σταθερή ισοτοπική καταγραφή πλειστοκαινικών τρηματοφόρων σε πυρήνες βαθέων υδάτων, έδειξε συσχέτιση με τις αλλαγές της ηλιακής ακτινοβολίας.

Το πρώτο αρχείο σταθερών ισotόπων του Emiliani

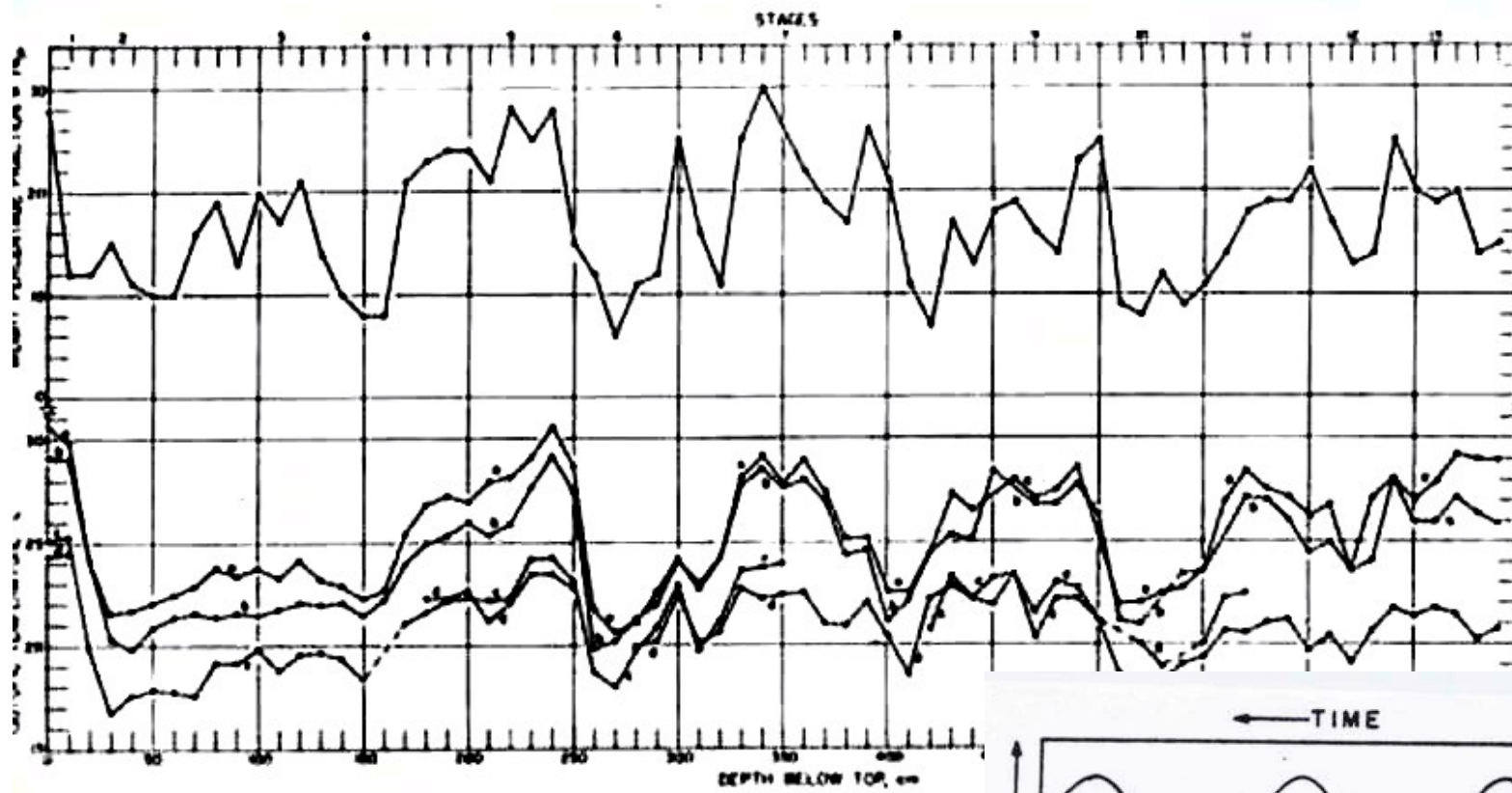


FIG. 2.—Core A179-4: percentages of the fraction larger than 74 μ and isotopic temperatures of *Nautilus sacculifera* (b), *Globorina dubia* (c), and *Globorotalia margaritae* (d).

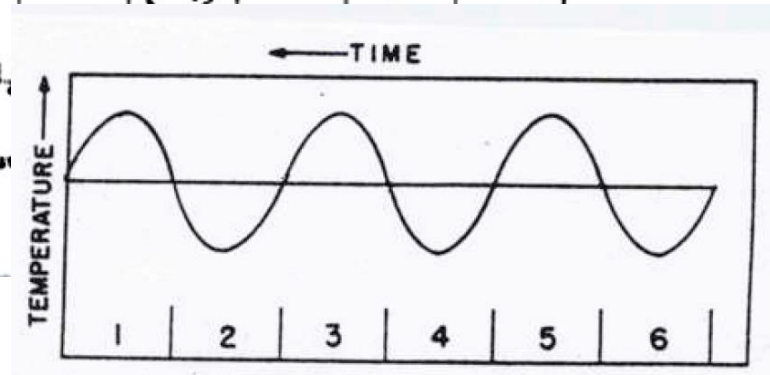


FIG. 1.—Ideal variation of temperature with time, and stage numbers.

Κυκλοστρωματογραφία

- 1976: εργασία ΟΡΟΣΗΜΟ που καθιέρωσε την σύγχρονη κυκλοστρωματογραφία και την κλιματική έρευνα
 - “Pacemaker of the Ice Ages” Hays, Imbrie and Shackleton (1976)
 - Αρχείο 500 kyr ισότοπα και πανίδα από βαθειά θάλασσα
 - Χρονοστρωματογραφικός έλεγχος με C-14 στρώματα τέφρας
- Αποτέλεσμα: κυκλικότητα στα παγετώδη καλύμματα & στις ωκεάνιες θερμοκρασίες
- Η φασματική ανάλυση ισχύος αποκαλύπτει κυρίαρχο κύκλο 41 & 100 ky
- 19 & 23 ky επίσης παρόντες, αλλά λιγότερο σημαντικοί
- χρησιμοποιήθηκαν υπολογισμοί Milankovitch και χρονολογήθηκαν τα πλειστοκαινικά παγετώδη συμβάντα

Hays, Imbrie, Shackleton data

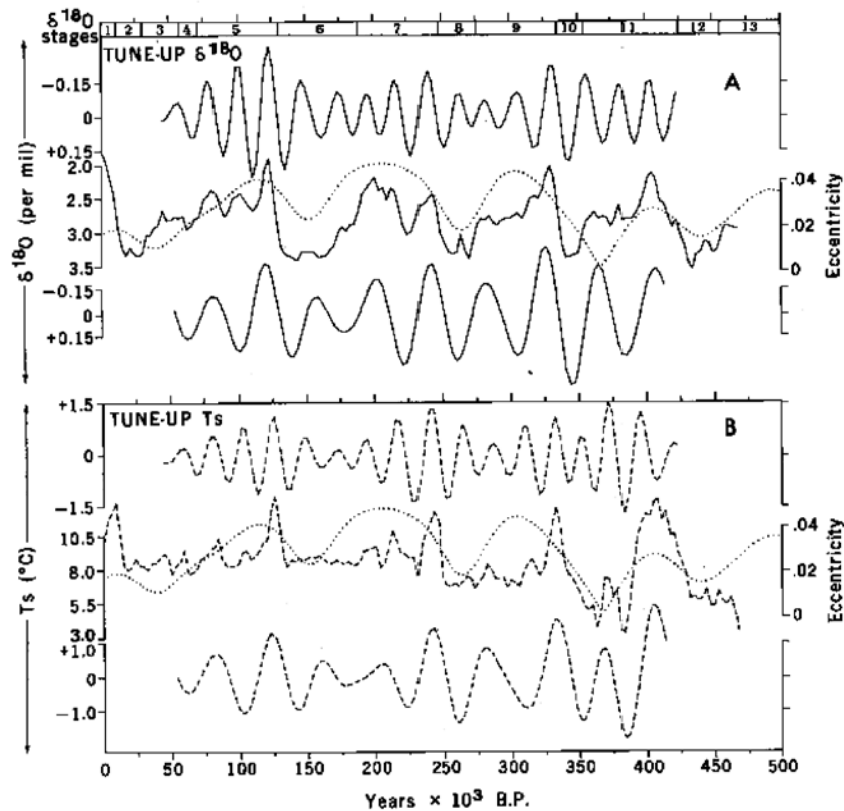
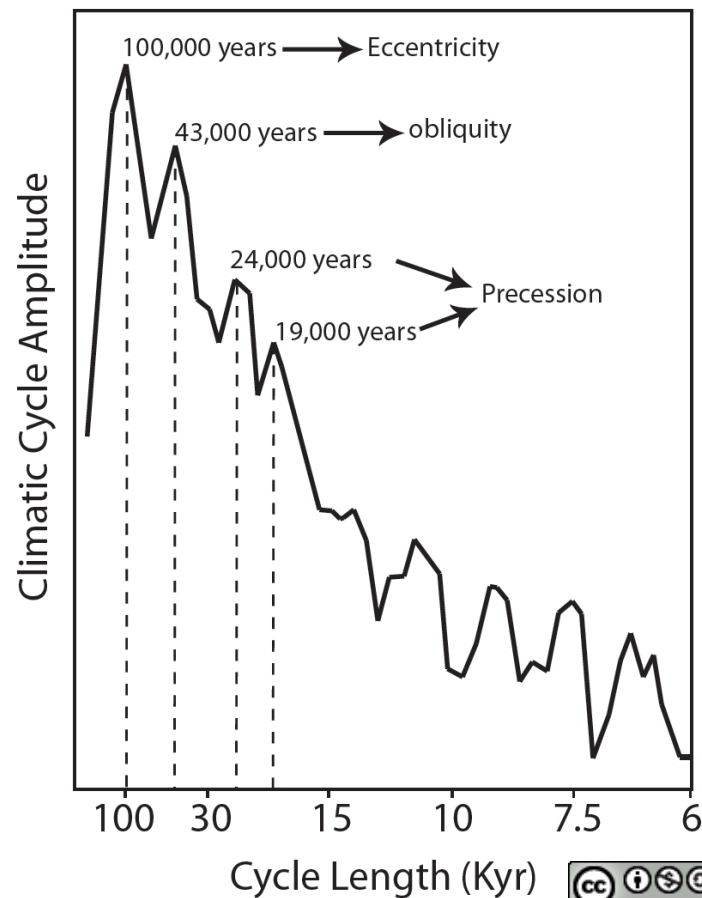


Fig. 9. Variations in eccentricity and climate over the past 500,000 years. Climatic curves are obtained from the combined (PATCH) record of two subantarctic deep-sea cores and plotted on the TUNE-UP time scale (Table 2). (A) Solid line in center shows variations in $\delta^{18}\text{O}$. Dotted line is a plot of orbital eccentricity (39). Upper curve is the 23,000-year frequency component extracted from $\delta^{18}\text{O}$ by a band-pass digital filter (Fig. 6). Lower curve is the 40,000-year frequency component extracted from $\delta^{18}\text{O}$ by a band-pass digital filter (Fig. 6). (B) Dashed line in center shows variations in estimated sea-surface temperature (T_s). Dotted line is a plot of orbital eccentricity data from Vernekar (39). Upper curve is the 23,000-year frequency component extracted from T_s by a band-pass digital filter (Fig. 6). Lower curve is the 40,000-year frequency component extracted from T_s by a band-pass digital filter (Fig. 6).



Ποια η κατάσταση σήμερα

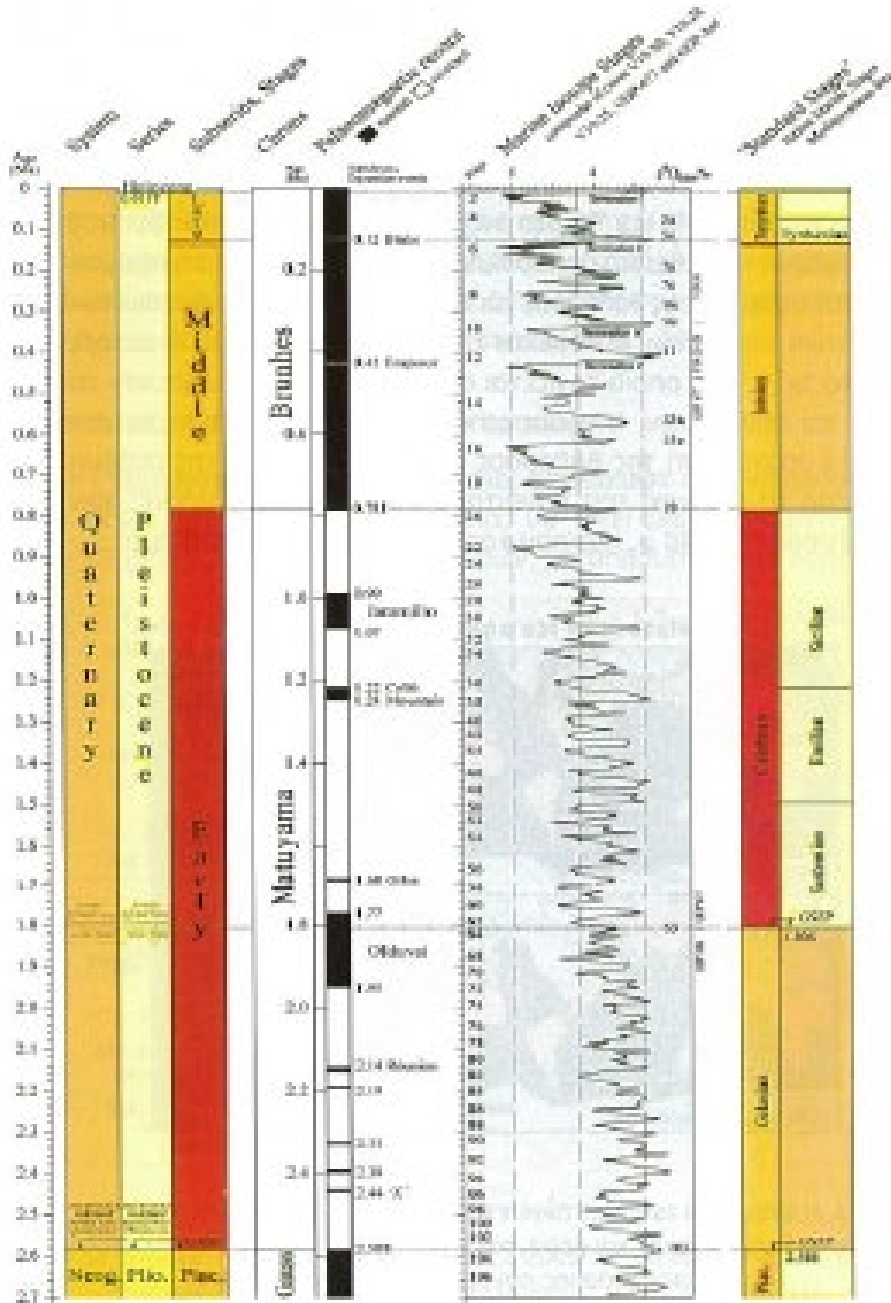
- 1980's-σήμερα = η κυκλοστρωματογραφία πολύ δημοφιλής
 - Οι κύκλοι Milankovitch βρίσκονται σε πολλά γεωλογικά περιβάλλοντα
 - Αναγνωρίστηκε η σημασία της κυκλικής μεταβολής του κλίματος σε διάφορα αποθετικά περιβάλλοντα
 - Προσδιορισμός του ρυθμού ιζηματογένεσης
 - Σχέση με διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας (Ακολουθίες και Παρακολουθίες)
- Χρονοστρωματογραφικός συντονισμός του Νεογενούς [Hilgen, Shackleton]
 - Μέχρι το Ολιγόκαινο
 - Λεπτομερής συντονισμών των ρυθμών εξάπλωσης (μαγνητικές αναστροφές)
 - Βελτιωμένο αστρονομικό μοντέλο του ηλιακού συστήματος
 - Εκ νέου βαθμονόμηση των προτύπων χρονολόγησης Ar / Ar

Ισοτοπική στρωματογραφία

- ❑ Η στρωματογραφία ισοτόπων είναι μια μέθοδος προσδιορισμού των σχετικών ηλικιών των ιζημάτων με βάση τη μέτρηση των ισοτοπικών αναλογιών ενός συγκεκριμένου στοιχείου.
- ❑ Βασίζεται στην αρχή ότι οι αναλογίες ορισμένων ισοτόπων που ενσωματώνονται σε βιογενή ανόργανα άλατα (ασβεστίτης, αραγονίτης, φωσφορικό άλας) αλλάζουν με το χρόνο σε απόκριση σε κυμαινόμενες παλαιοπεριβαλλοντικές και γεωλογικές συνθήκες.
- ❑ Η θαλάσσια ισοτοπική στρωματογραφία είναι η εφαρμογή της ισοτοπικής σύστασης του θαλασσινού νερού, όπως διατηρείται σε θαλάσσια ιζήματα και ιζηματογενή πετρώματα, για σκοπούς συσχέτισης και χρονολόγησης.

Ισοτοπικά στάδια

- ❑ Τα **ισοτοπικά στάδια οξυγόνου**, που συνδέονται με τις κλιματικές μεταβολές κατά το Πλειστόκαινο, προσφέρουν ένα αντικειμενικά τεκμηριωμένο χρονικό πλαίσιο αναφοράς, ιδιαίτερα χρήσιμο για την παρακολούθηση της εξέλιξης κατά την Παλαιολιθική Εποχή,
- ❑ Η χρονική κλίμακα της Παλαιολιθικής προϊστορίας στηρίζεται στη γεωλογική κλίμακα του χρόνου και σε αλληλένδετα γεωλογικά - κλιματικά φαινόμενα, όπως οι παγετώδεις και οι μεσοπαγετώδεις περίοδοι του Τεταρτογενούς.
- ❑ Η έναρξη του **Πλειστοκαίνου**, (2,6 Ma πριν), χαρακτηρίζεται από κλιματικούς κύκλους ψυχρών και θερμών σταδίων
- ❑ Έχουν αναγνωρισθεί περισσότερα από 100 εναλλασσόμενα κλιματικά στάδια με βάση τις διακυμάνσεις των ισοτόπων οξυγόνου ^{18}O και ^{16}O στα κελύφη μικροαπολιθωμάτων των θαλάσσιων ιζημάτων.



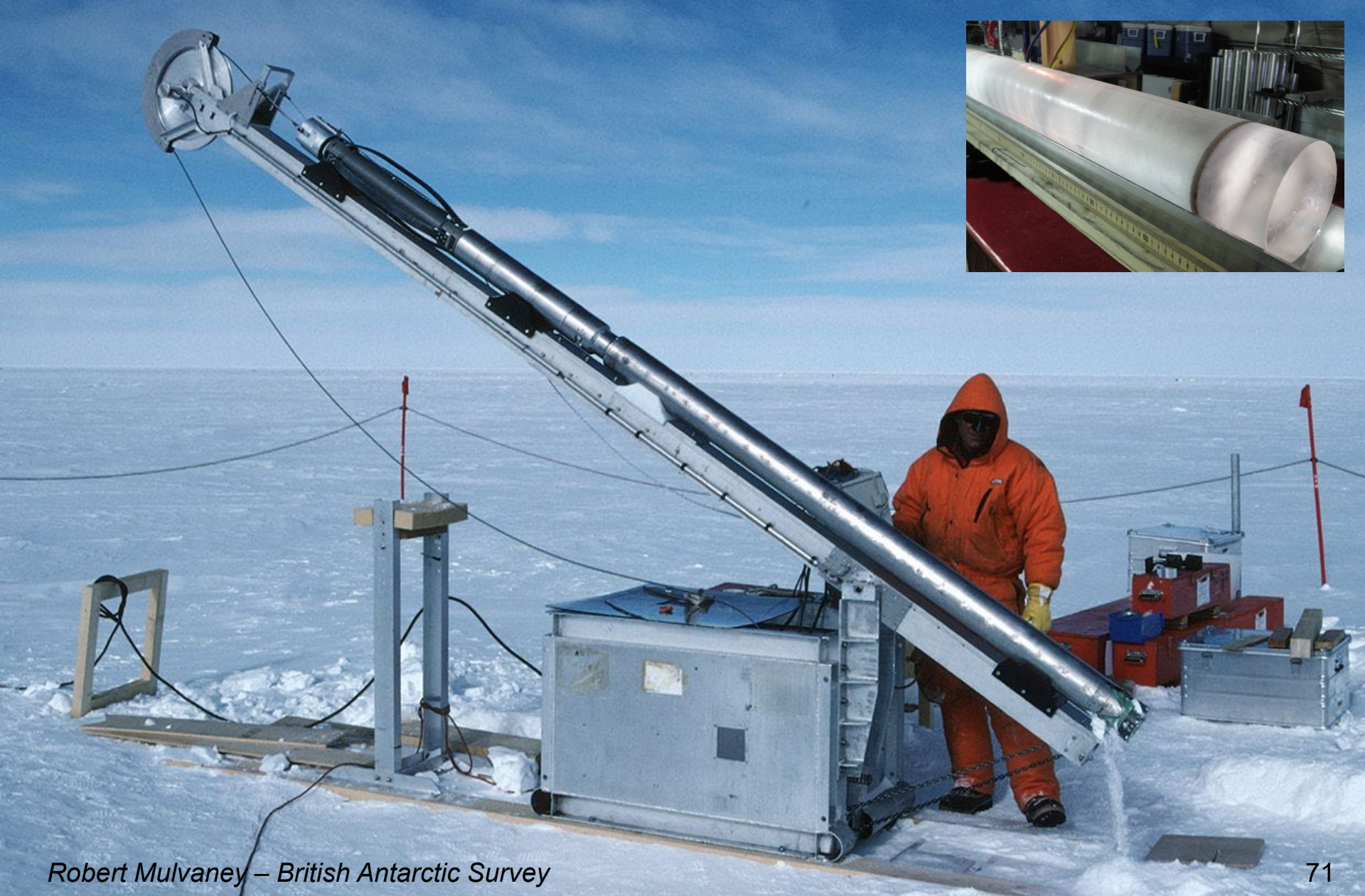
Περιττοί αριθμοί: **θερμά επεισόδια**

Άρτιοι αριθμοί: **ψυχρά επεισόδια,**

Πρώτο στην αρίθμηση είναι το **Ολόκαινο** που διανύουμε σήμερα (MIS 1, Marine Isotope Stage 1) και ξεκίνησε πριν από 11700 χρόνια.

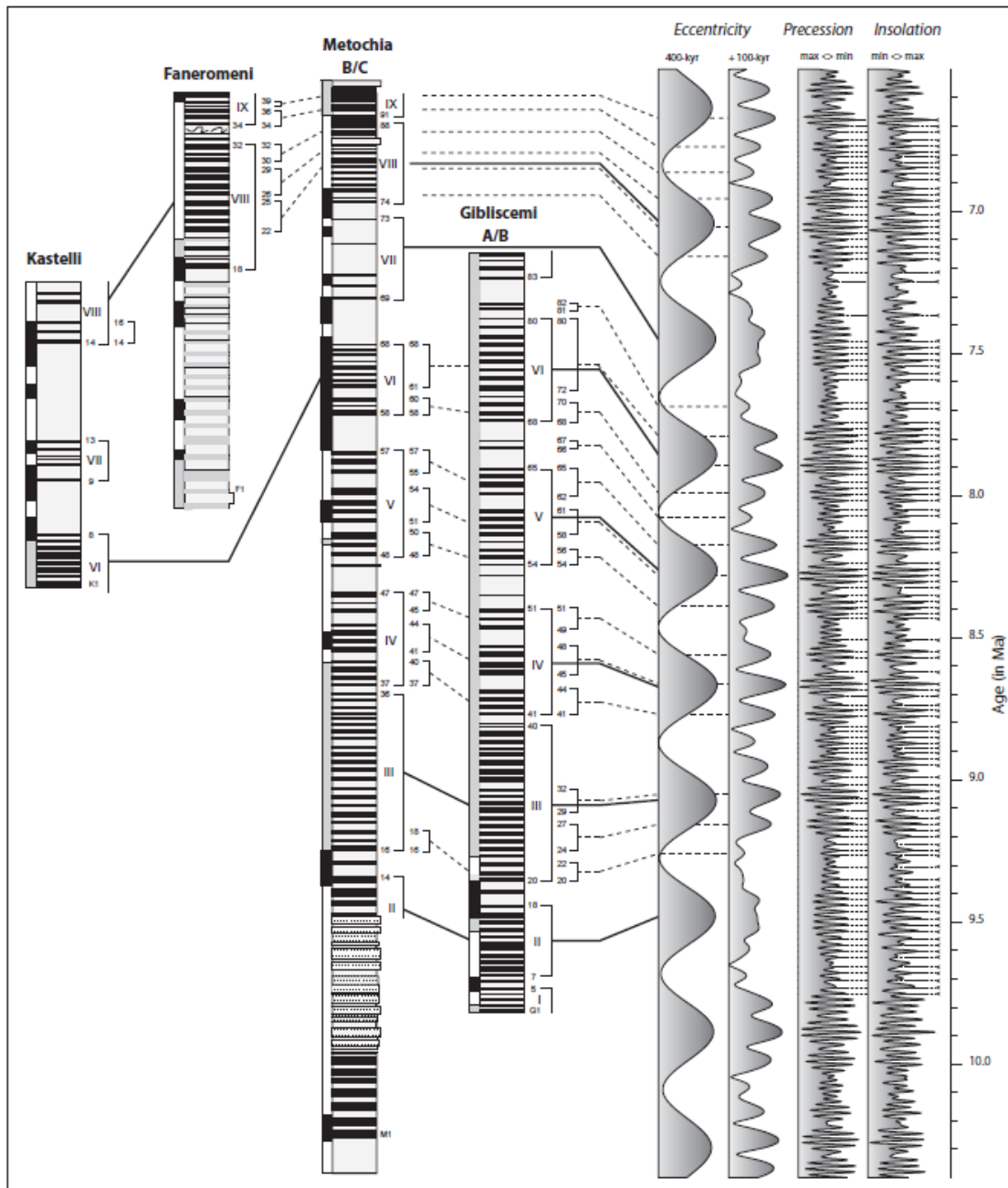
Η αποκορύφωση του ιστοπικού σταδίου 2 πριν από 20000 χρόνια θεωρείται ότι αντιστοιχεί στο τελευταίο παγετώδες μέγιστο (LGM, Last Glacial Maximum)

Πυρήνες πάγου: ένα σημαντικό αρχείο



Ορολογία

- ❑ *Ιζηματογενής κύκλος* (όπως χρησιμοποιείται στην κυκλοστρωματογραφία). Μία διαδοχή λιθοφάσεων που επαναλαμβάνεται πολλές φορές στο ιζηματογενές αρχείο και που συνδέεται αιτιωδώς με ένα ταλαντευόμενο σύστημα και, κατά συνέπεια, είναι (σχεδόν) περιοδικό και έχει χρονική σημασία.
- ❑ *Αστρονομικός συντονισμός*. Ο συσχετισμός ή ο συντονισμός των ιζηματογενών κύκλων ή των κυκλικών παραλλαγών στα αρχεία με κλιματικά δεδομένα με τις αστρονομικές καμπύλες-στόχους της μετάπτωσης, της λοξότητας και / ή της εκκεντρότητας ή με τις σχετικές καμπύλες ηλιακής ακτινοβολίας.
- ❑ *Αστρονομική χρονική κλίμακα (ATS)*. Μια γεωλογική κλίμακα χρόνου με απόλυτες ηλικίες που προκύπτει από τη βαθμονόμηση των ιζηματογενών κύκλων και άλλων κυκλικών ιζηματογενών ακολουθιών σε αστρονομικές χρονοσειρές



Ορολογία

□ **Αστροκύκλος.** Ενώ η «κυκλοστρωματογραφία» και η «αστρονομική κλίμακα χρόνου» είναι απλοί ορισμοί, ο όρος «ιζηματογενής κύκλος» δεν είναι τόσο πετυχημένος. Αυτός ο όρος χρησιμοποιείται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους στην ιζηματολογία και στην στρωματογραφία ακολουθιών και είναι καταρχήν περιγραφικός. Η χρονική σημασία ενός ιζηματογενούς κύκλου και, κατά συνέπεια, η χρήση του στην κυκλοστρωματογραφία και αστροχρονολογήση μπορεί να προσδιοριστεί μόνο μετά από λεπτομερείς αναλύσεις. Εναλλακτικά, προτείνουμε τον «αστροκύκλο» ως έναν ξεκάθαρο όρο που ορίζει αποκλειστικά ιζηματογενείς ή γεωχημικούς κύκλους που προκαλούνται από τις τροχιακές παραμέτρους.