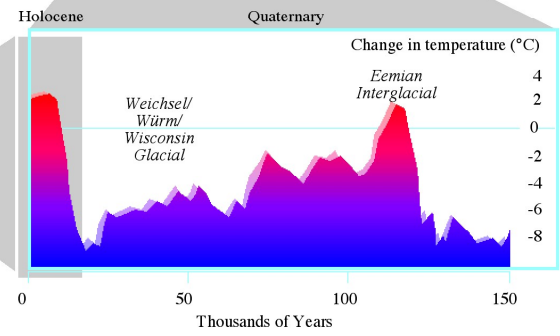
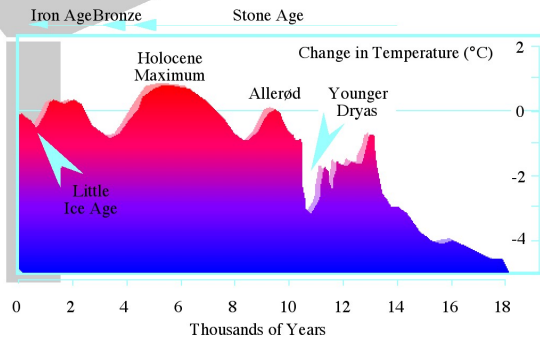
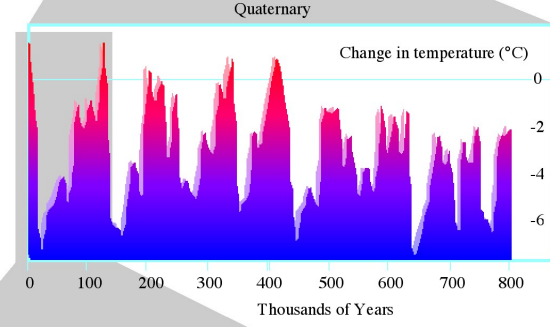
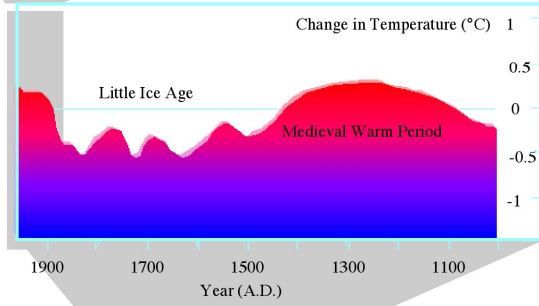
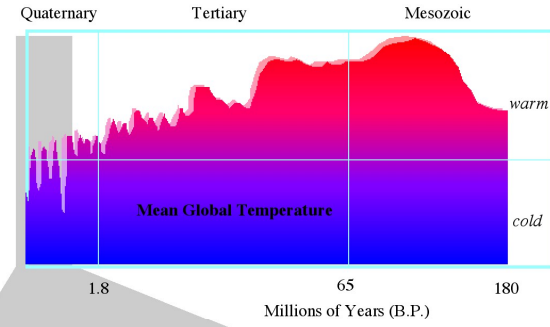
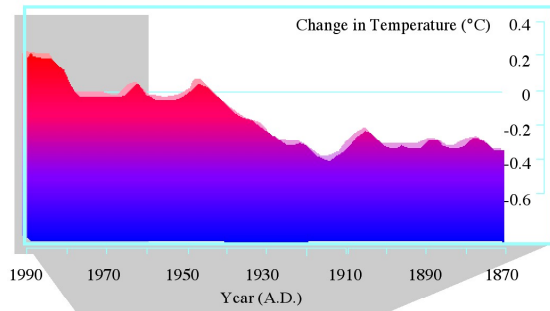
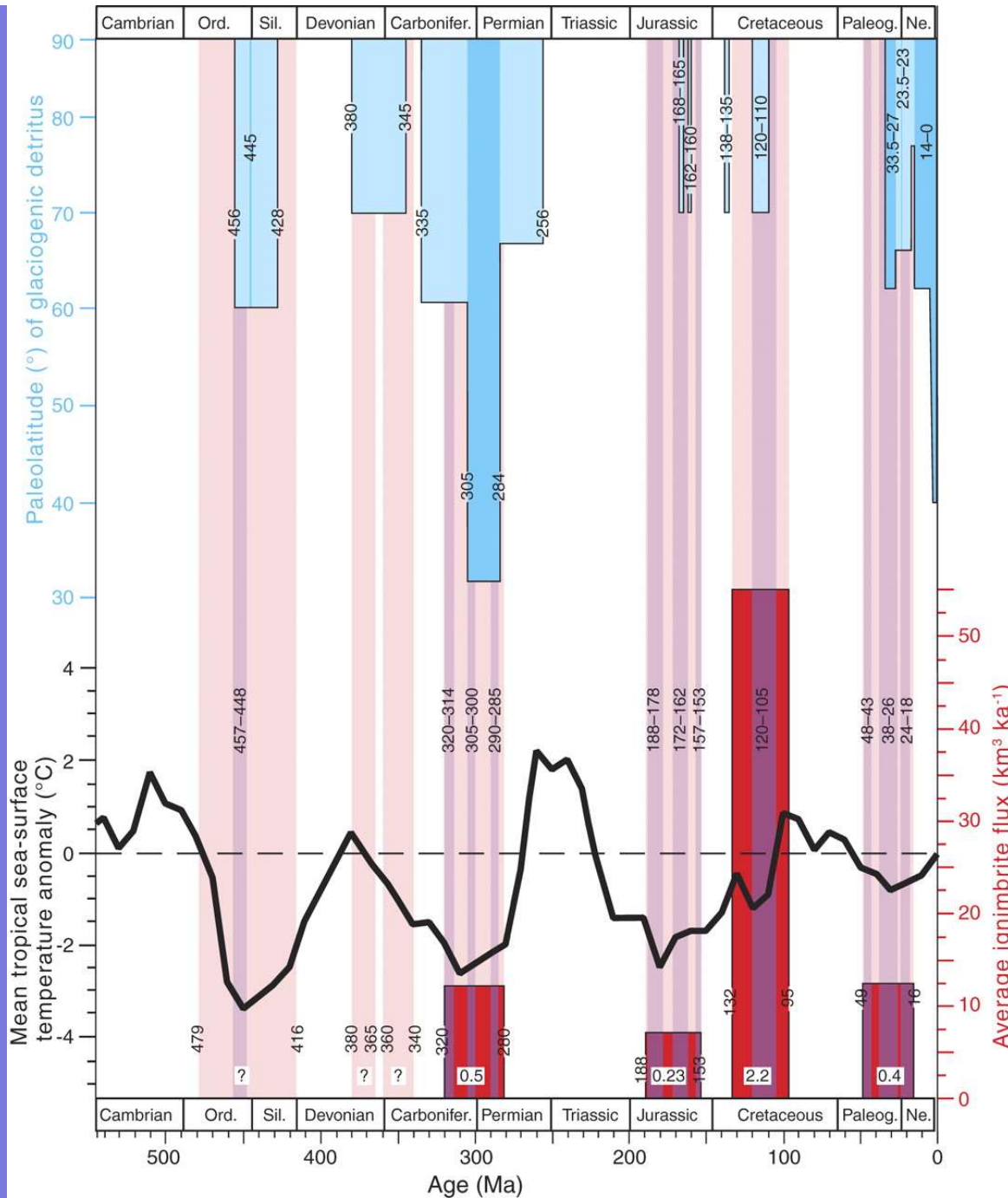


**κλίμα
&
μηχανισμοί μεταβολής του**

- Το κλίμα έχει μεταβληθεί σημαντικά σε όλη τη διάρκεια ύπαρξης της Γής
- Μεγάλης διάρκειας μεταβολές
 - (τάξη μεγέθους: εκατομμύρια χρόνια)
 - **Ice-Green Ages**
 - (τάξη μεγέθους: χιλιάδες χρόνια)
 - **Glacial-Interglacial periods**
- Μικρής διάρκειας μεταβολές
 - (τάξη μεγέθους: δεκάδες-εκατοντάδες χρόνια)
 - **Stadials-interstadials**

Χρονικά παράθυρα κλιματικών μεταβολών



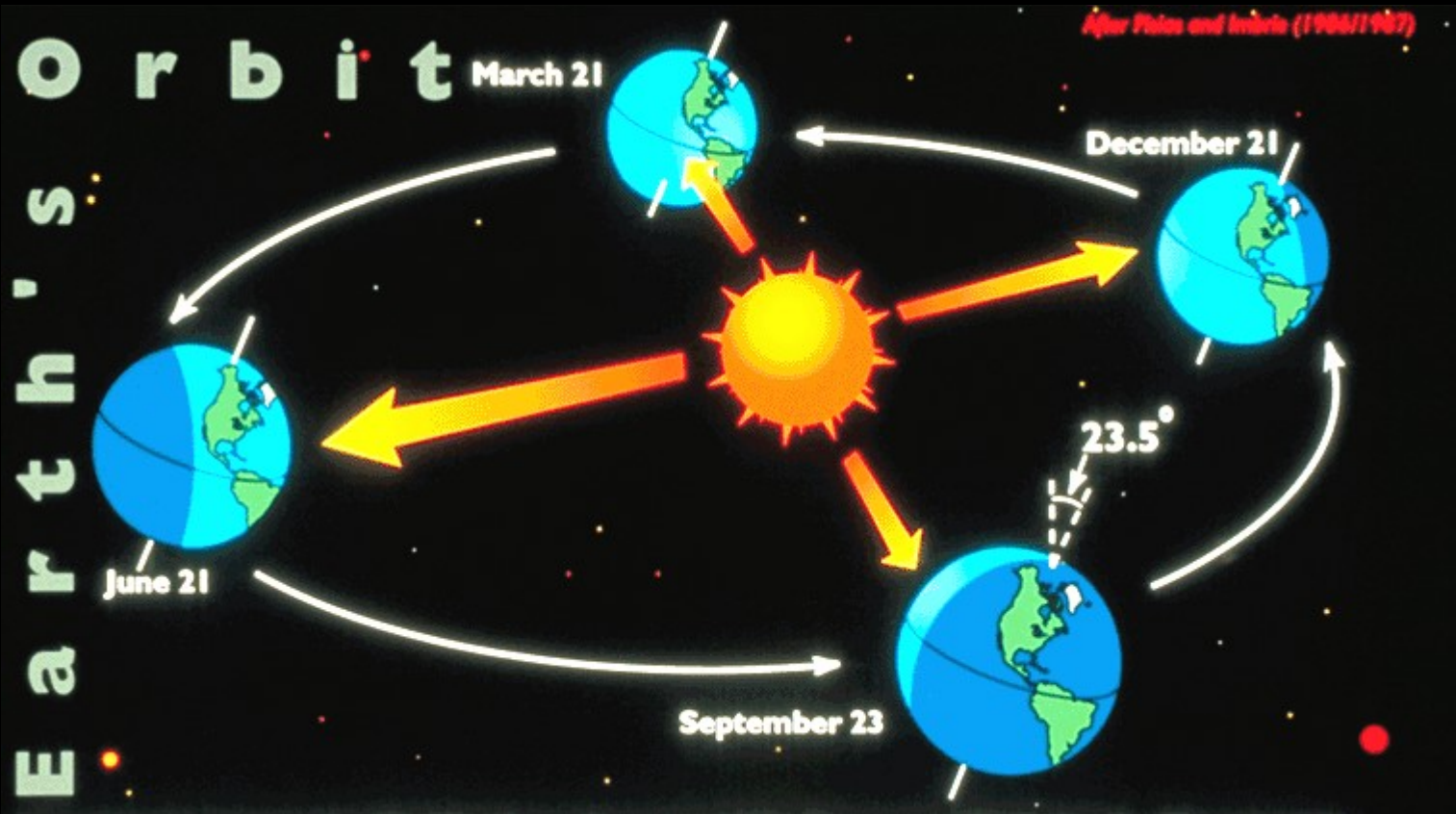


- Τεκτονικές κινήσεις περιλαμβάνουν κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών, μεταβολές της γεωγραφιάς της χέρσου, ορογένεση και καταστροφή του ωκεάνιου πυθμένα
- κλιματικές μεταβολές που συμπίπτουν με μαζικές εξαφανίσεις ειδών

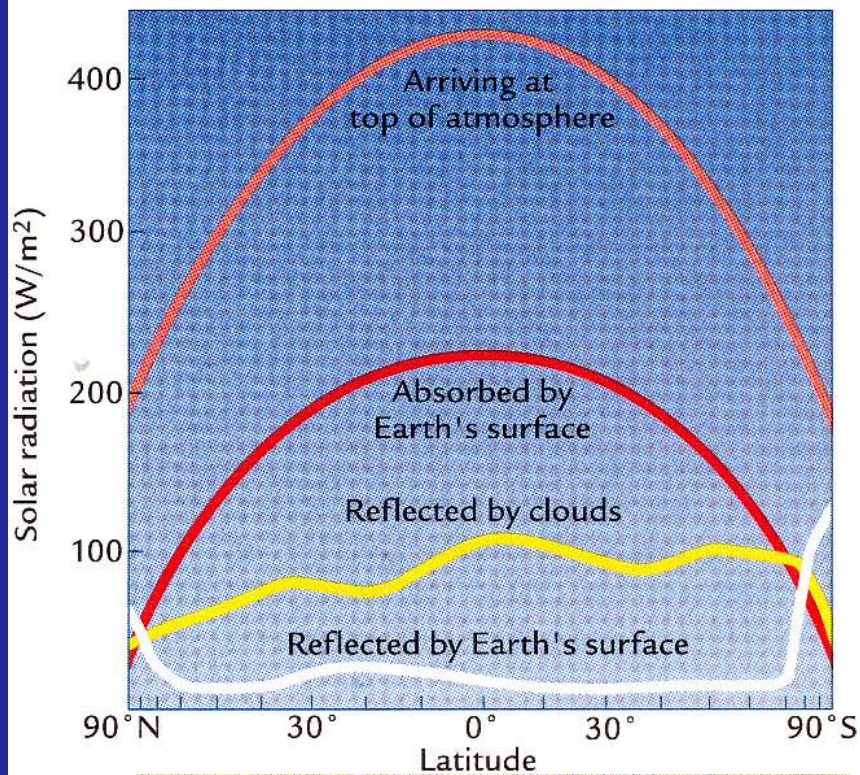
Τροχιακές κινήσεις Γης



Παγετώδεις /
Μεσοπαγετώδεις περίοδοι





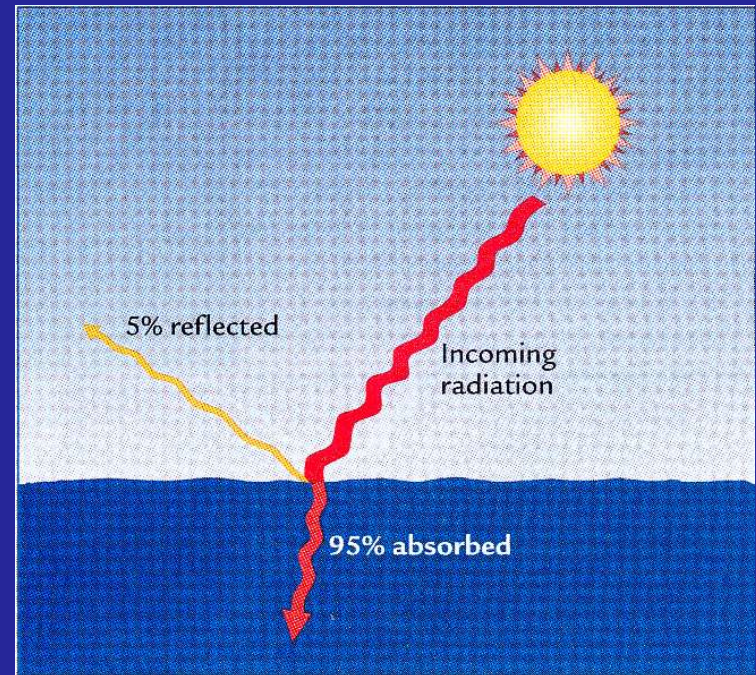


Surface

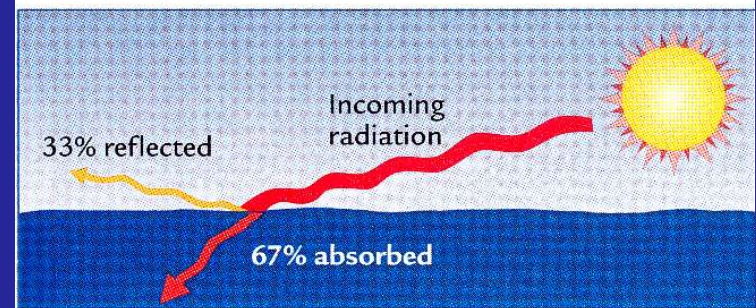
Fresh snow or ice
 Old, melting snow
 Clouds
 Desert sand
 Soil
 Tundra
 Grasslands
 Forest
 Water

Albedo range (percent)

60–90%
 40–70
 40–90
 30–50
 5–30
 15–35
 18–25
 5–20
 5–10



A Low latitude



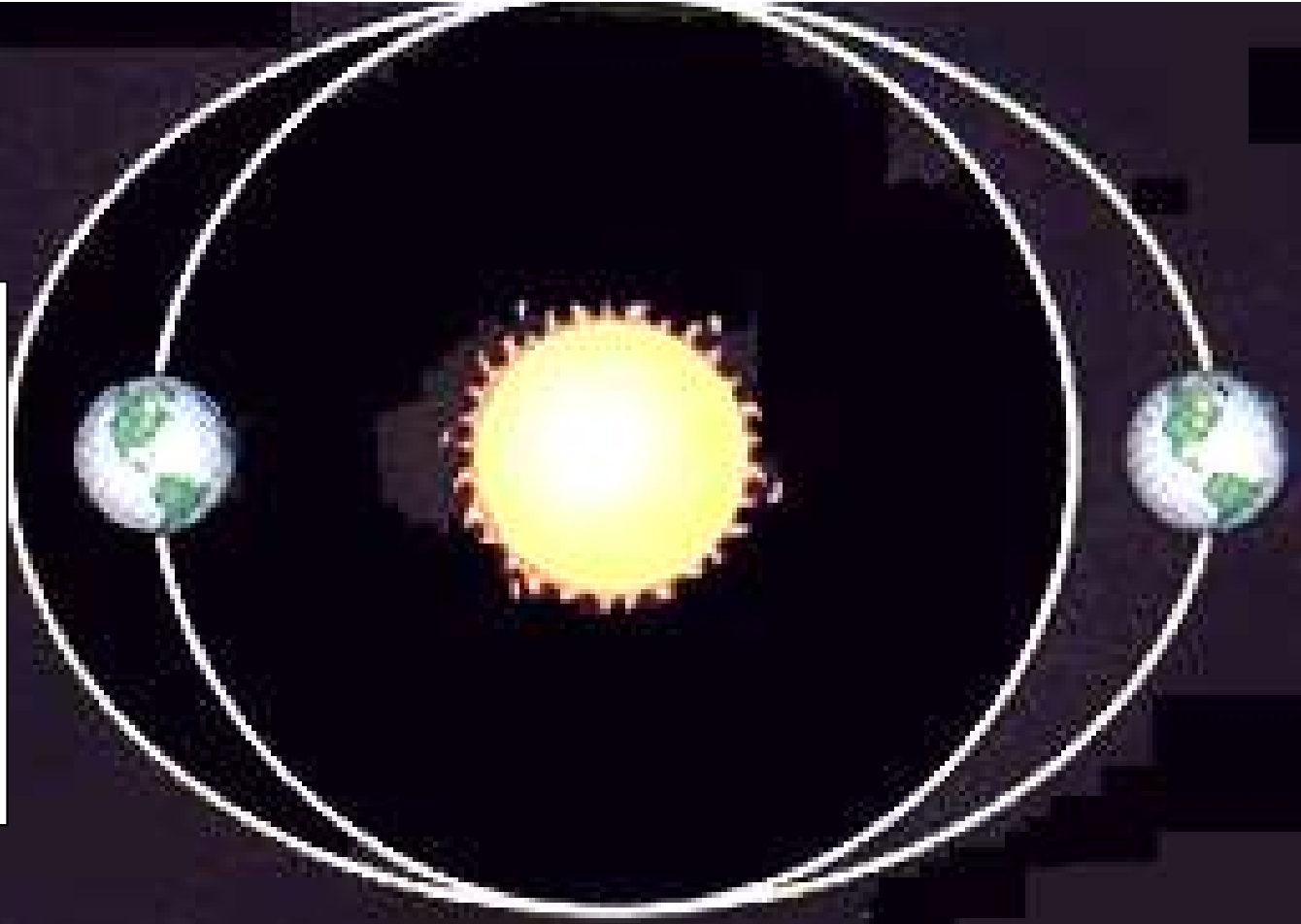
B High latitude

Μεταβολές στην εκκεντρότητα

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

Past: $e : \sim 0-0.0679$

Today: $e=0.0167$



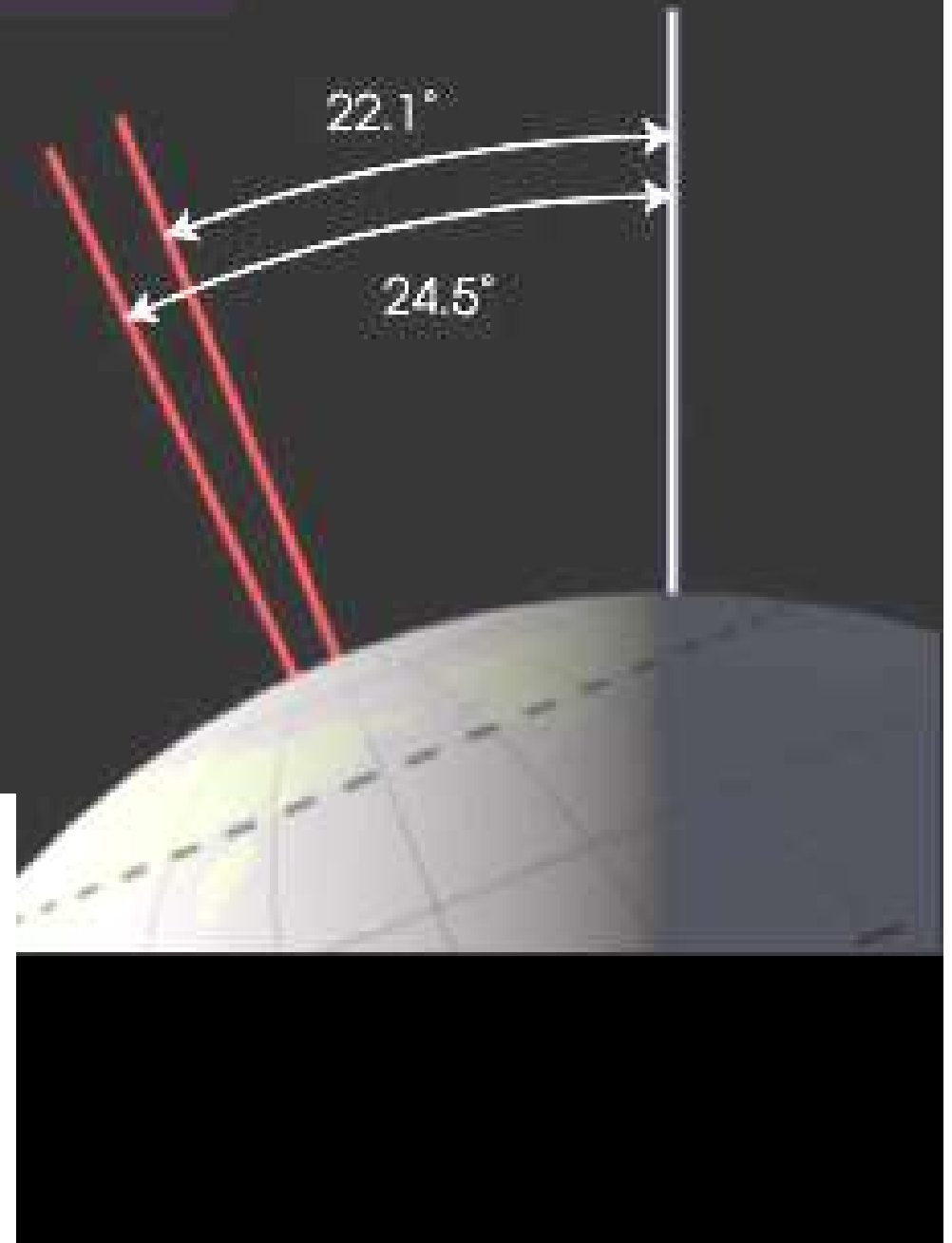
Υψηλή εκκεντρότητα = ελλειπτική

Χαμηλή εκκεντρότητα = κυκλική

Κατά τη διάρκεια υψηλής εκκεντρότητας:

Το ποσοστό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο περιήλιο είναι 20-30% > από το αντίστοιχο του αψηλίου

Μεταβολές στην κλίση του άξονα της Γης με το επίπεδο της εκλειπτικής

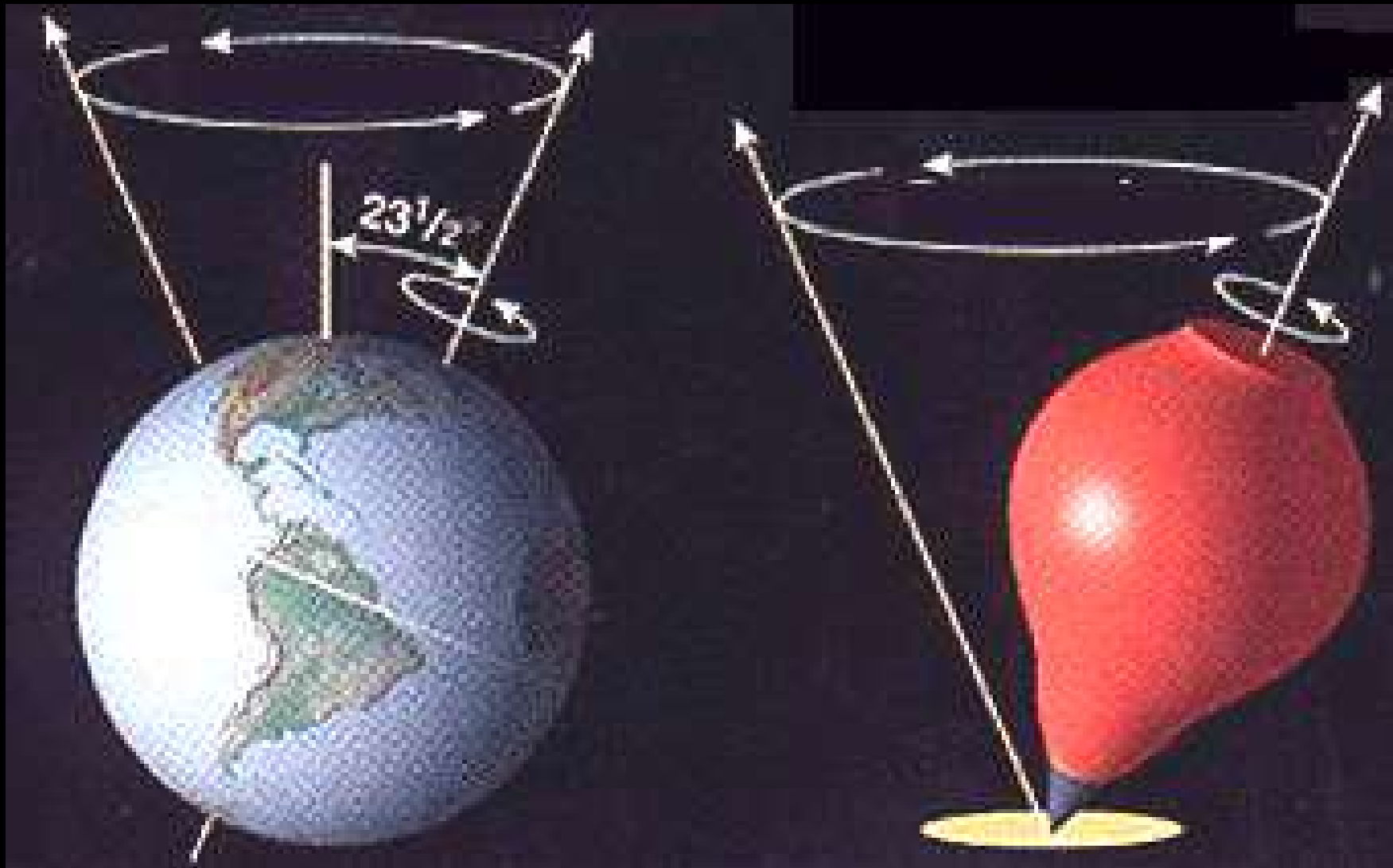


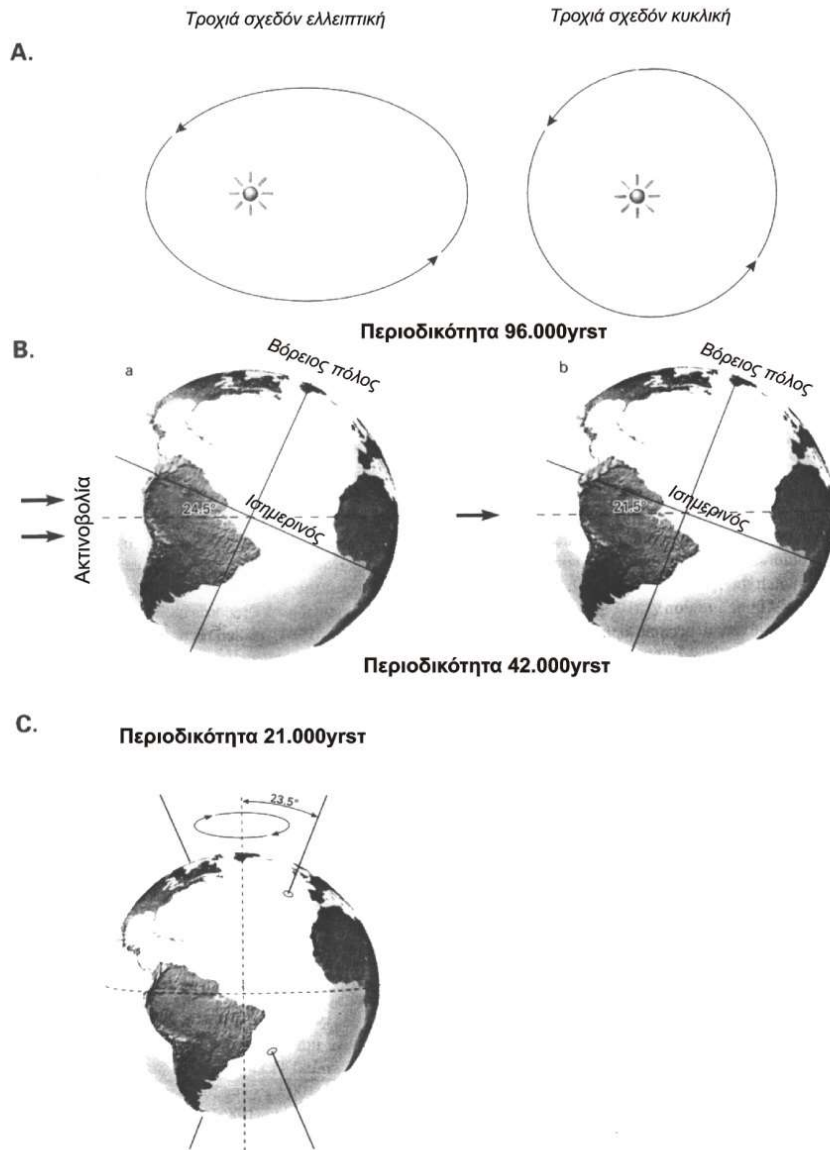
Σήμερα=23.5 degrees

Και μειώνεται

Όσο αυξάνεται η κλίση τόσο αυξάνεται η διαφορά μεταξύ των εποχών

**Μετάπτωση ισημεριών
ή μεταβολή στην κατεύθυνση του γήινου άξονα της περιστροφής**

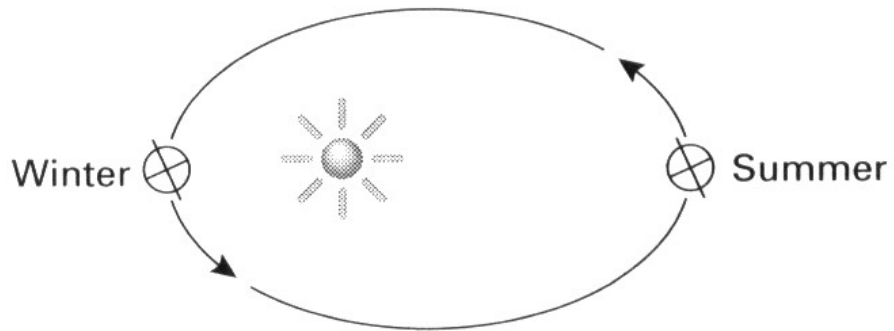




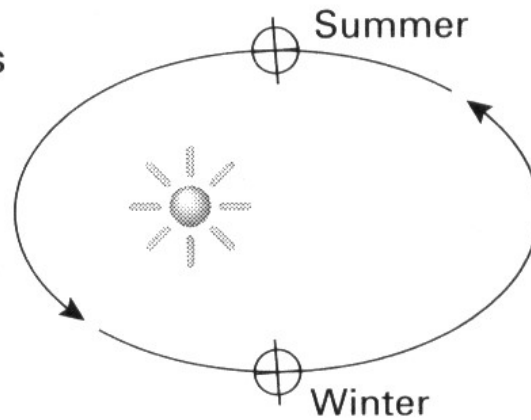
Σχηματική αναπαράσταση των τριών τύπων των τροχιακών μεταβολών της γης, οι οποίες ελέγχουν τις κλιματικές μεταβολές, σύμφωνα με την αστρονομική θεωρία Milankovitch.

A: μεταβολές της εκκεντρότητας (eccentricity),
 B: μεταβολές της γωνίας που σχηματίζει ο άξονας της Γης με το επίπεδο της εκλειπτικής τροχιάς της Γης (obliquity) και
 C: μεταβολές του χρονικού σημείου των ισημεριών (precession index).

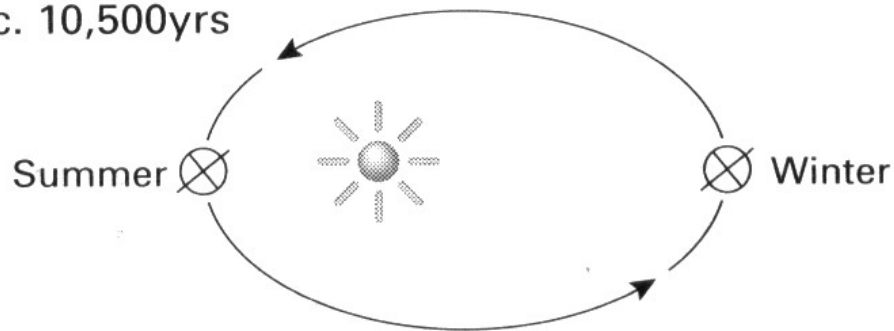
(i) Now



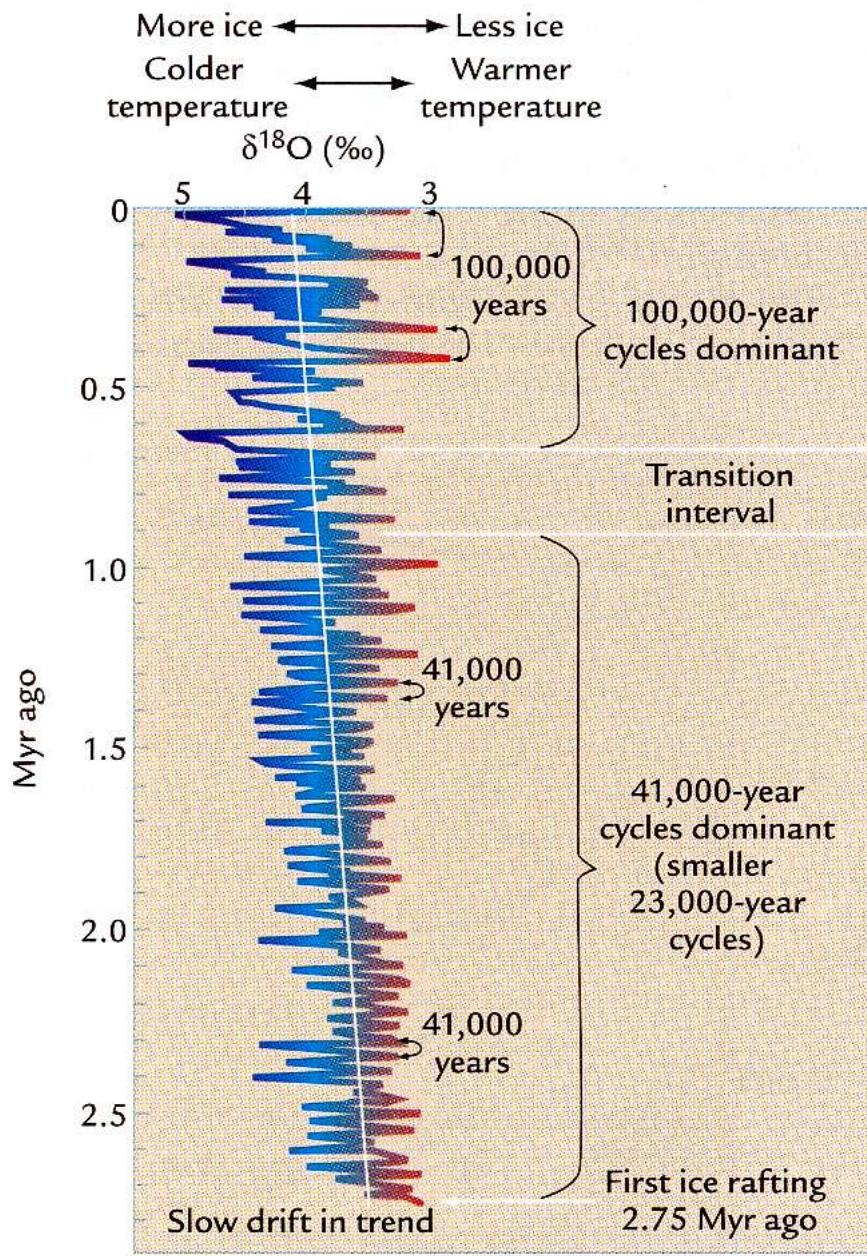
(ii) In c. 5,250yrs



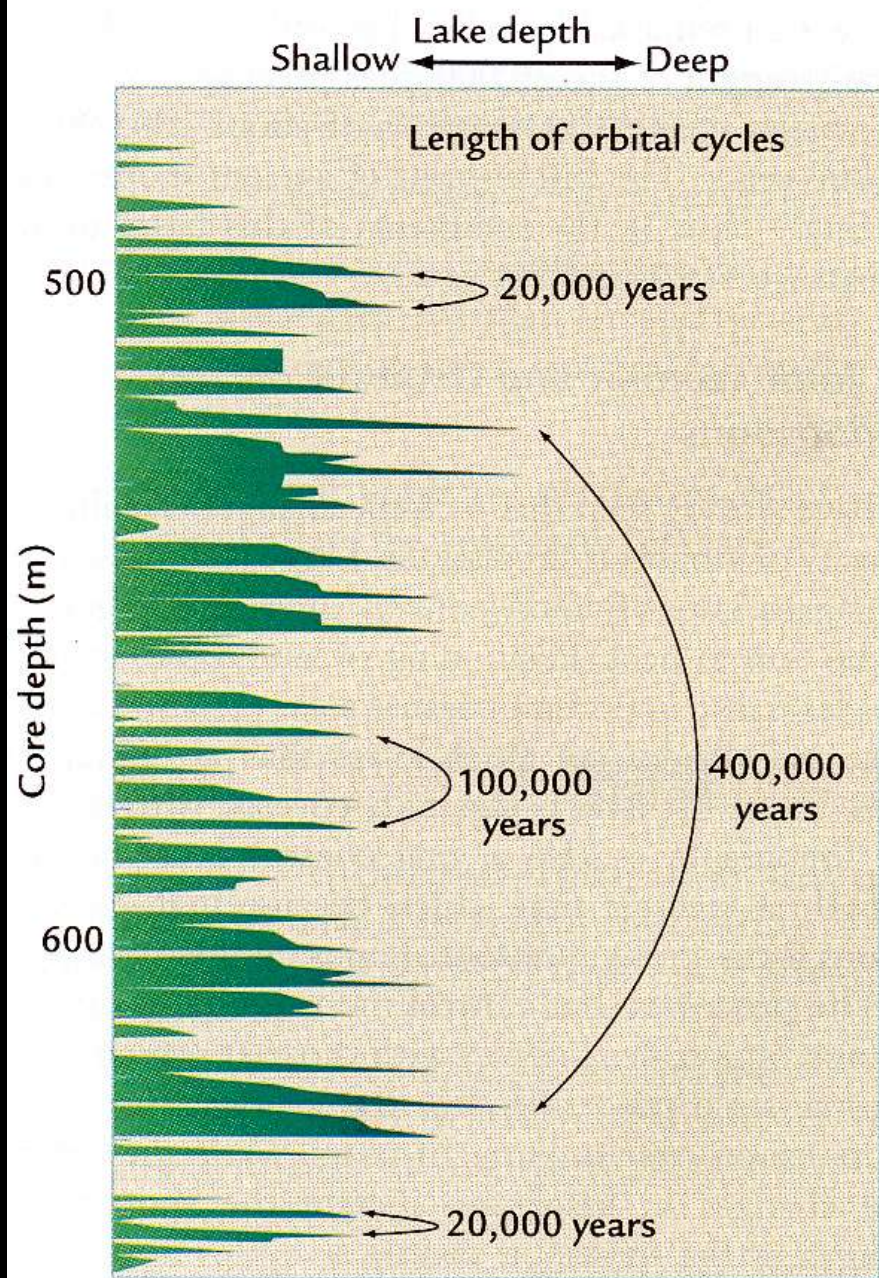
(iii) In c. 10,500yrs



Παράδειγμα:
Διαφοροποιήσεις
της Τροχιάς της
Γης σε τρεις
«πρόσφατες»
χρονικές φάσεις

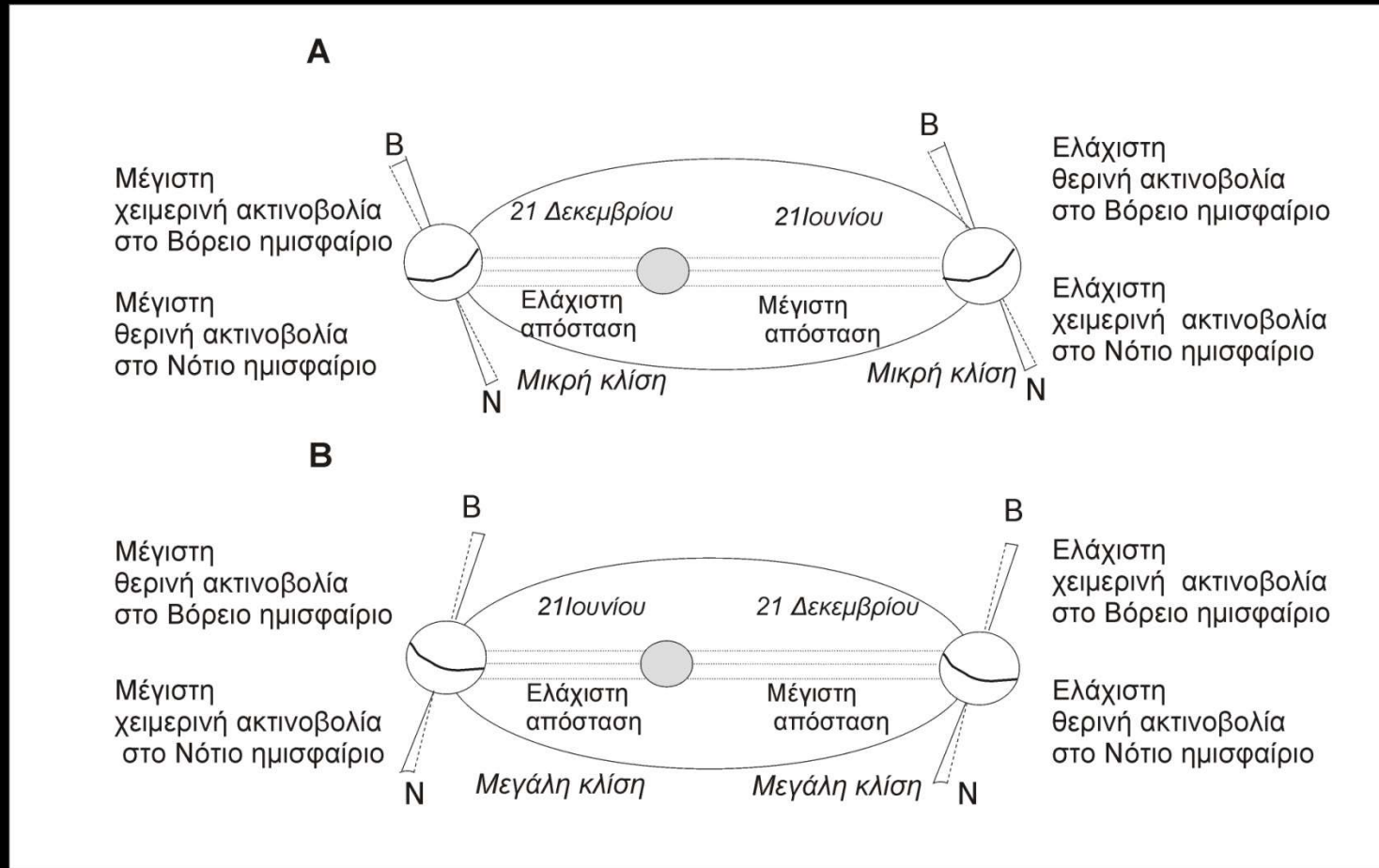


Η διακύμανση ενόργανων δεικτών που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της **Θερμοκρασίας** στο παρελθόν παρουσιάζει **περιοδικότητες αντίστοιχες με αυτές των τροχιακών κινήσεων της Γης** και **Πιστοποιούν** τη θεωρία **Milankovitch**



Η διακύμανση δεικτών που χρησιμοποιούνται για την **εκτίμηση της υγρασίας** στο παρελθόν παρουσιάζει **περιοδικότητες αντίστοιχες με αυτές των τροχιακών κινήσεων της Γης** και **Πιστοποιούν** τη θεωρία Milankovitch

Σύμφωνα με τους κύκλους Milankovitch...



A) Η ανάπτυξη των παγετώνων ευνοείται όταν το αφήλιο συμβαίνει στις 21 Ιουνίου και η γωνία που σχηματίζει ο άξονας της Γης με το επίπεδο της εκλειπτικής τροχιάς είναι μικρή.

B) Η τήξη των παγετώνων ευνοείται όταν το περιήλιο συμβαίνει στις 21 Ιουνίου και η γωνία που σχηματίζει ο άξονας της Γης με το επίπεδο της εκλειπτικής είναι μεγάλη.

(Ruddiman and Mc Intyre, 1981)

Οι διακυμάνσεις των μεταβολών της τροχιάς της γης προκαλούν

- μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας της Γης,
- μεταβολές της διαφοράς των θερμοκρασιών μεταξύ των εποχών του έτους και
- μεταβολές της γεωγραφικής κατανομής της θερμοκρασίας με το γεωγραφικό πλάτος

Η εντατική μελέτη του παλαιοκλίματος έδειξε ότι:

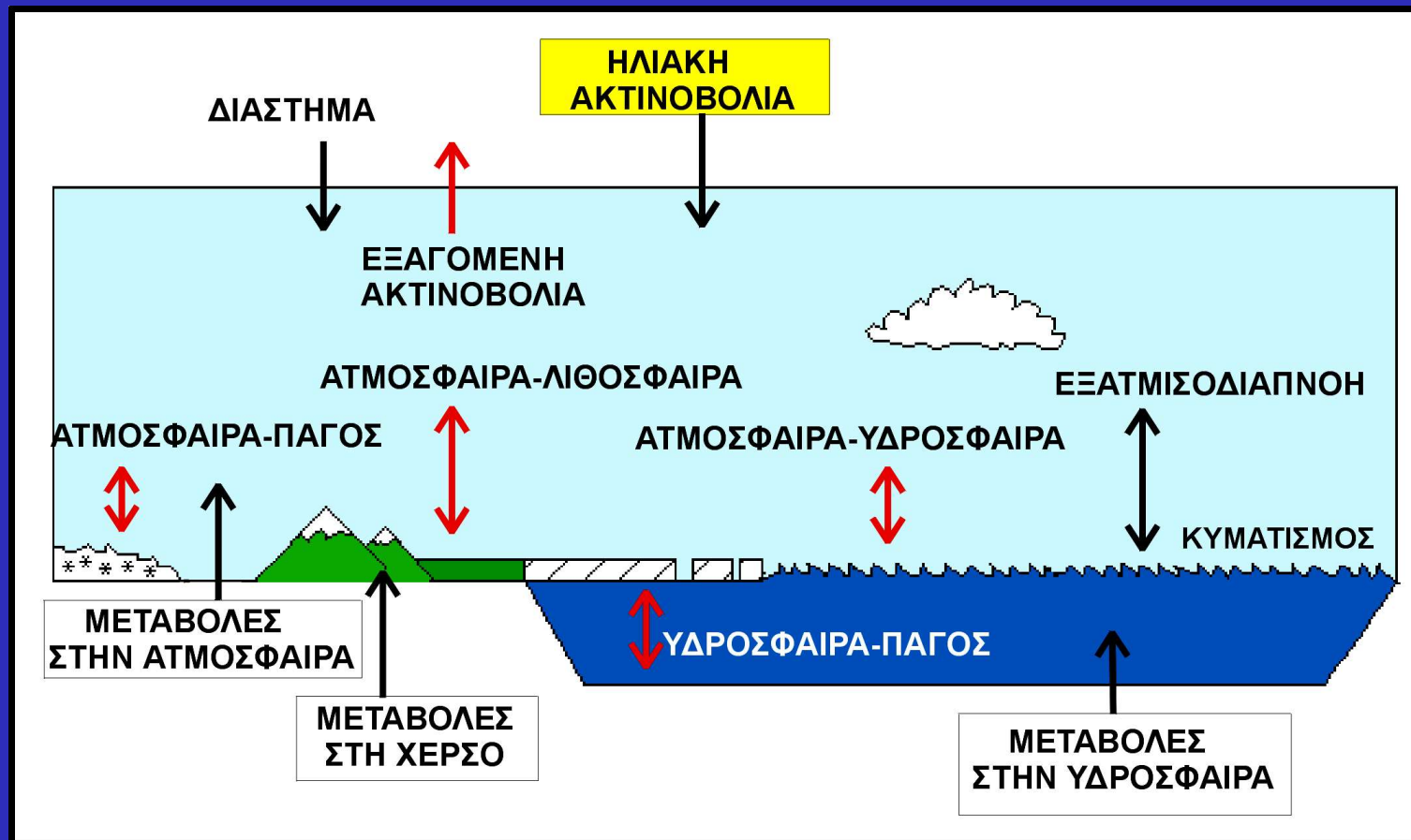
Οι μεταβολές των κινήσεων της Γης
“βηματοδότησαν”
τις παγετώδεις /μεσοπαγετώδεις περιόδους
χωρίς
να είναι και οι μοναδικές αιτίες που τις προκάλεσαν

Γιατί:

- οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας που τελικά λαμβάνει η Γη, βάσει της αστρονομικής θεωρίας, είναι της τάξεως των 1-2°C
- δεν δικαιολογεί την παρουσία των σύντομων κλιματικών μεταβολών (stadial και interstadial), των οποίων η περίοδος εμφάνισης φαίνεται να είναι ανεξάρτητη από τις περιόδους των τροχιακών κινήσεων της Γης

(Hays et al., 1976)

Η πρόβλεψη του κλίματος στο παρελθόν είναι πολύπλοκη
Το κλίμα επηρεάστηκε από πολλούς παράγοντες



Μοντέλα που προτάθηκαν στην προσπάθεια να ερμηνευτούν οι κλιματικές μεταβολές

- Μεταβολές στις ανατροφοδοτούμενες διεργασίες (feedback processes) του συστήματος υδρόσφαιρα/λιθόσφαιρα/ατμόσφαιρα,
- Μεταβολές της συγκέντρωσης του CO₂ και άλλων αερίων στην ατμόσφαιρα,
- Μεταβολές της κυκλοφορίας των υδάτινων μαζών (thermohaline circulation),
- Μεταβολές της εισερχόμενης ακτινοβολίας και της λευκαύγειας και
- Μεταβολές του παλαιομαγνητισμού και του σχήματος της Γης.

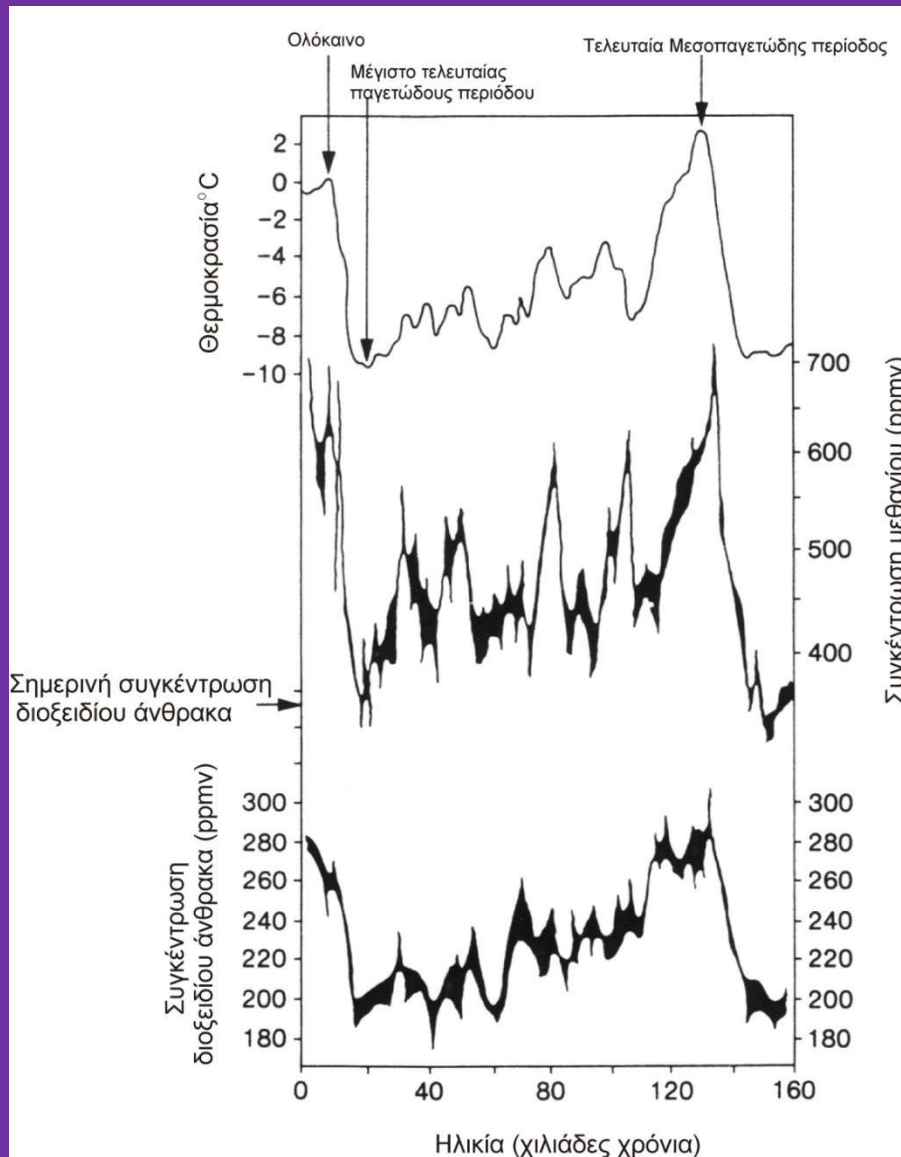
Παράδειγμα: **Μεταβολές στις ανατροφοδοτούμενες διεργασίες (feedback processes)** του συστήματος υδρόσφαιρα/ατμόσφαιρα

- Βασίζεται στη θεωρία του Milankovitch, η οποία προϋποθέτει χαμηλή θερινή ηλιακή ακτινοβολία και
- στο γεγονός ότι τα επιφανειακά νερά του υποπολικού και βόρειου υποτροπικού Ατλαντικού παραμένουν σε μη αναμενόμενη υψηλή θερμοκρασία και υψηλή αλατότητα, παρά την έναρξη σχηματισμού παγετώνων. Η καθυστέρηση στη μείωση της T των νερών ($\sim 5\text{ka}$) οφείλεται στη διαφορά θερμοχωρητικότητας (heat capacity) μεταξύ του ωκεανού και της χέρσου.
- Σε αυτό το μοντέλο οι παγετώνες αντλούν την απαιτούμενη υγρασία για την ανάπτυξη τους από τους σχετικά θερμές θάλασσες των χαμηλών γεωγραφικών πλατών



→
Κίνηση βροχοφόρων νεφών

Μεταβολές της συγκέντρωσης του CO₂ και άλλων αερίων στην ατμόσφαιρα

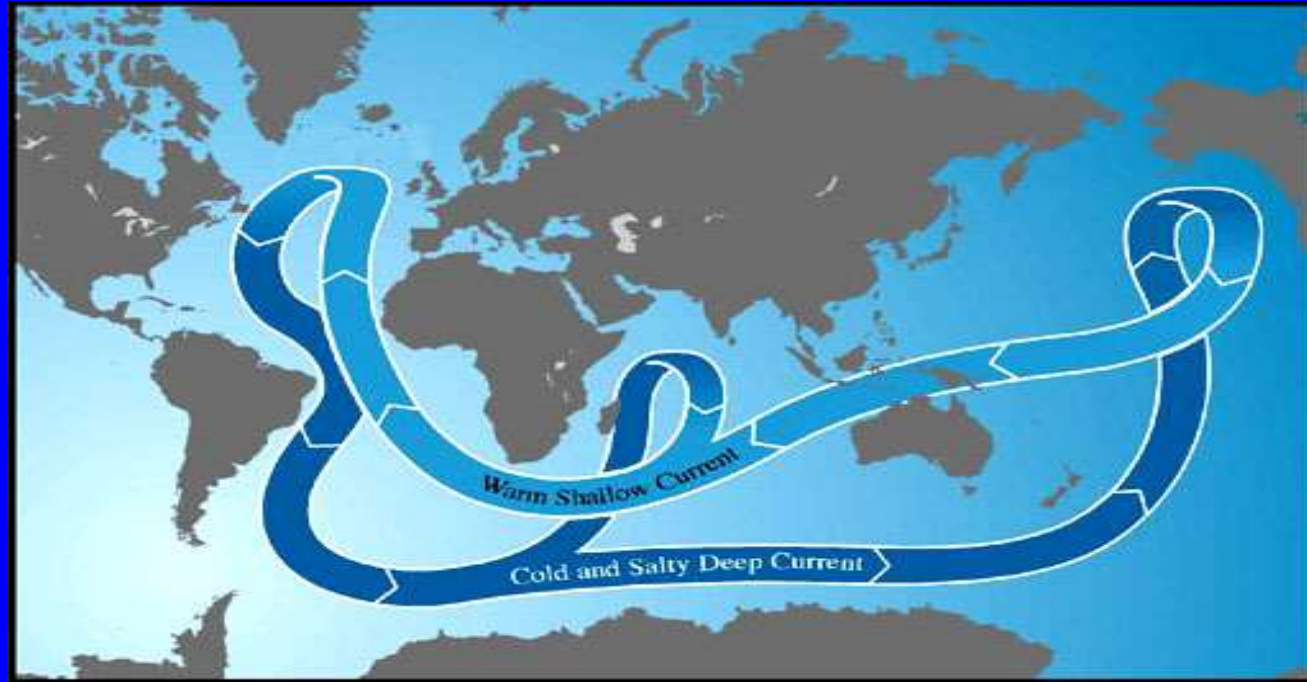


Κατακόρυφες κατανομές των συγκεντρώσεων του CO₂ και του μεθανίου (: αερίων θερμοκηπίου), όπως προέκυψαν από αναλύσεις φυσαλίδων αέρα εγκλωβισμένες σε πυρήνες πάγου, οι οποίοι συλλέχθηκαν στην περιοχή της Ανταρκτικής (Goudie, 1992).

Η διακύμανση των συγκεντρώσεων των αερίων αυτών συμβαδίζει με την ανάπτυξη των παγετωδών-μεσοπαγετωδών περιόδων.

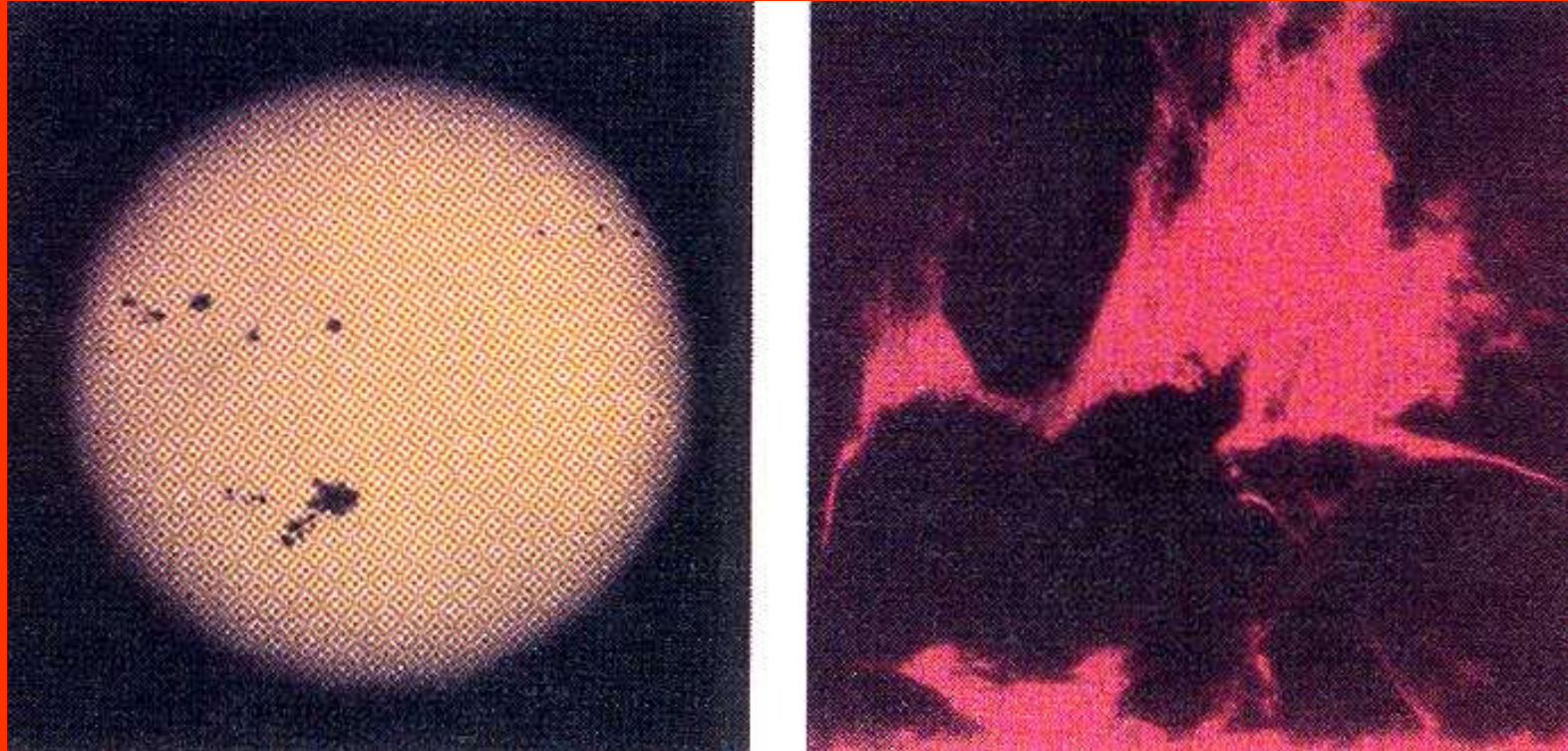
Πιθανό σενάριο εξήγησης της μείωσης κατά τις παγετώδεις περιόδους είναι η κατανάλωση του από αυξημένη ανάπτυξη φυτοπλαγκτού και της αύξησης κατά τις μεσοπαγετώδεις περιόδους είναι η απελευθέρωση τους από εδάφη και θαλάσσια ιζήματα μετά το λιώσιμο του πάγου και την αύξηση ανόδου της θαλάσσιας στάθμης

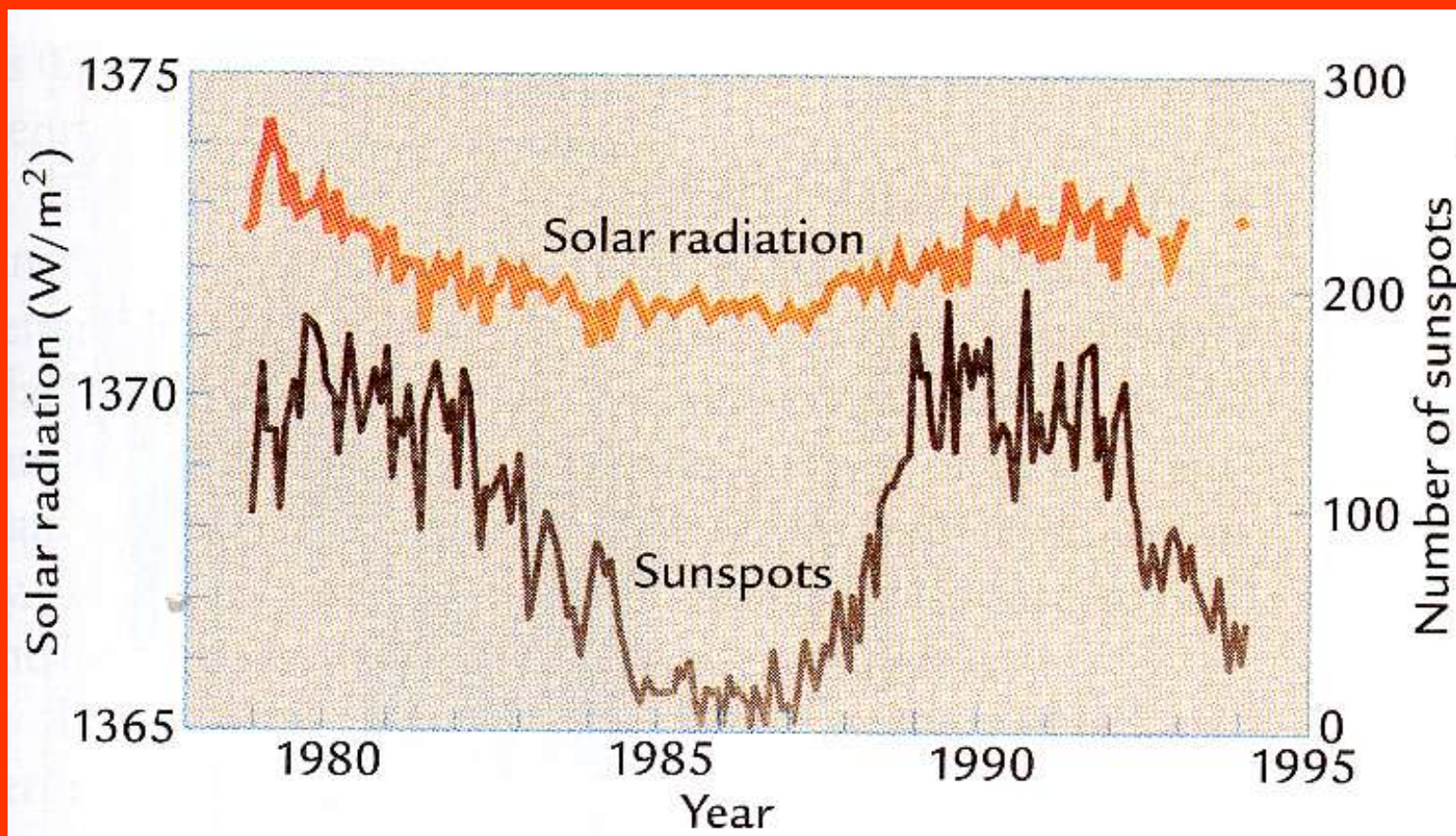
Μεταβολές της κυκλοφορίας των υδάτινων μαζών (thermohaline circulation)



- Με την κυκλοφορία των υδάτινων μαζών του Ατλαντικού ωκεανού, μεταφέρονται μεγάλα ποσά θερμότητας, μέσω των θερμών ρευμάτων.
- Ο σχηματισμός του ψυχρού και υψηλής αλατότητας NADW αποδίδει στην ατμόσφαιρα περίπου $5-7 \times 10^{14}$ W (~20-30% της ηλιακής ενέργειας σε γεωγραφικό πλάτος 35° N).
- Μείωση ή παύση του ρυθμού της θερμοαλατικής κυκλοφορίας στο παρελθόν σηματοδότησε ραγδαία μείωση της θερμοκρασίας σε πολλές περιοχές της Γης

Μεταβολές της εισερχόμενης ακτινοβολίας



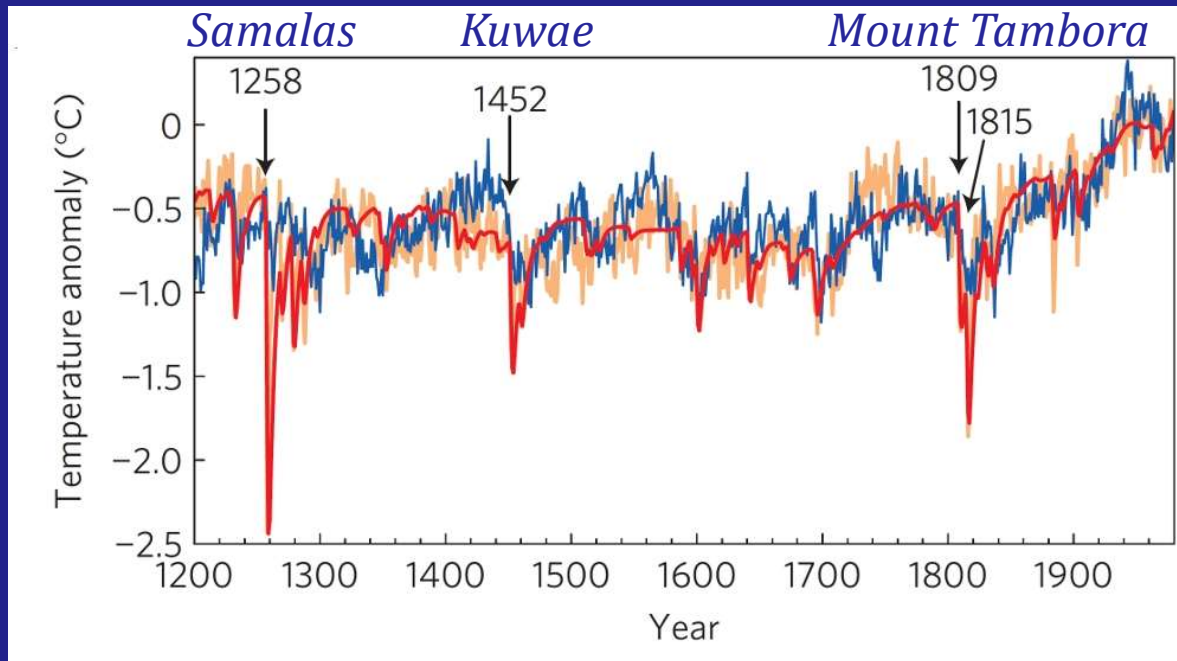


Στο παρελθόν φαίνεται να υπήρξαν σύντομα χρονικά διαστήματα αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας, όπως π.χ. κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα

Σημείωση: Ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων είναι μεταβλητός και φαίνεται να ακολουθεί περιόδους 11 ετών (11-ετής κύκλος)

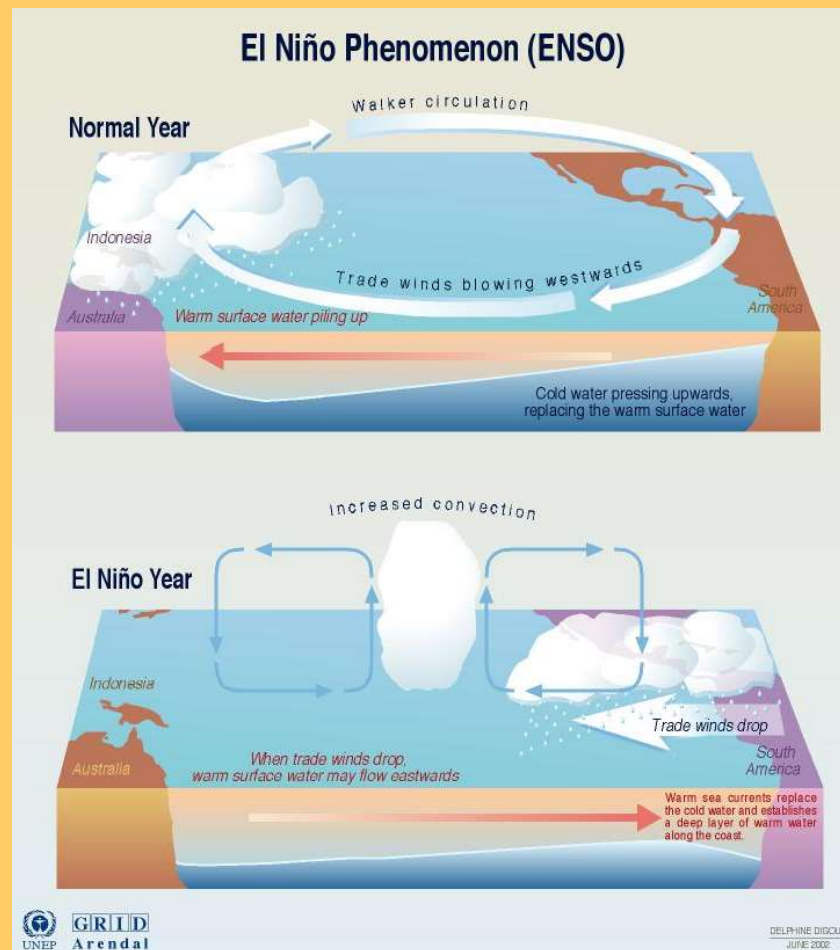
Εκρήξεις ηφαιστείων

Συνδέονται με πτώσεις της θερμοκρασίας σε μεγάλης έκτασης περιοχές της Γης και για σύντομο χρονικό διάστημα



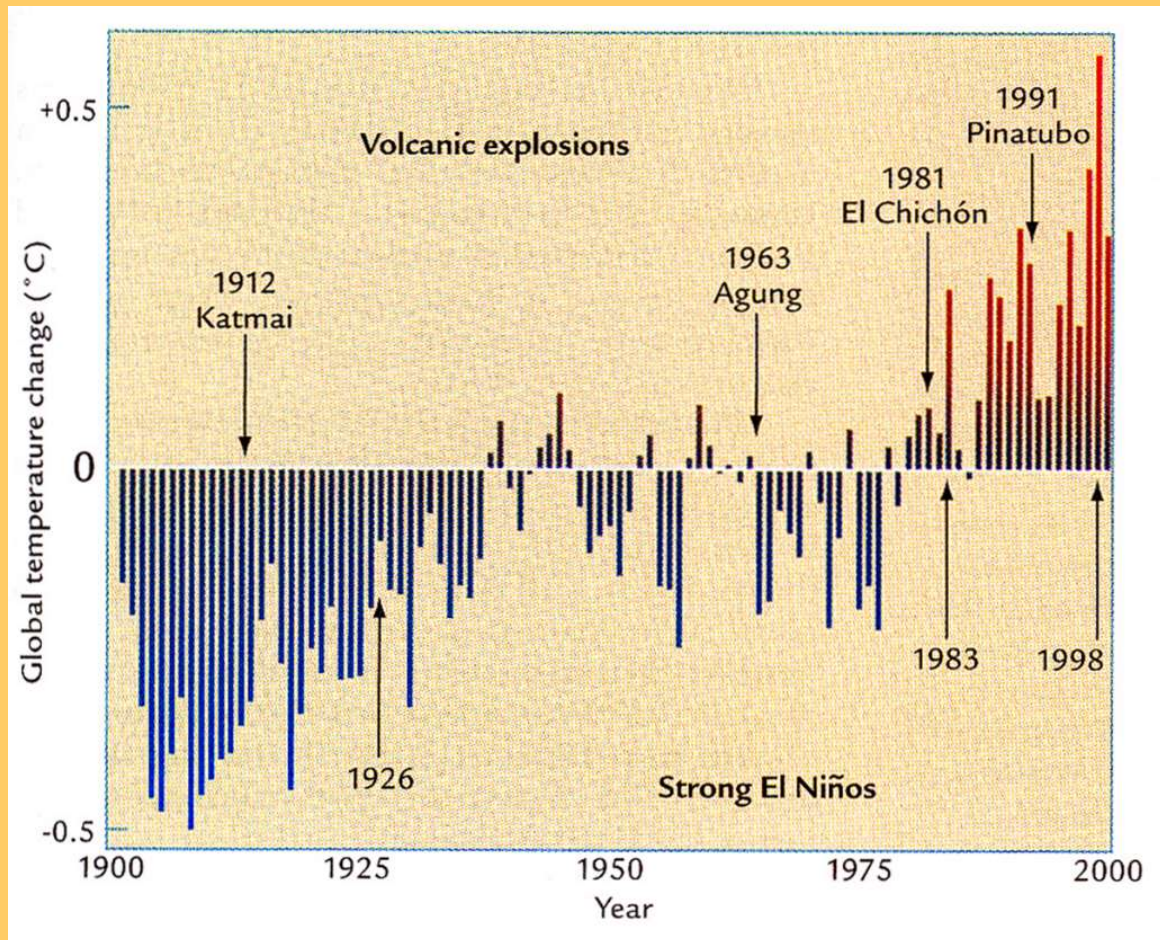
Γεγονότα El Niño

: η περιοδική αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων στον κεντρικό και ανατολικό Ειρηνικό Ωκεανό - και οι σχετιζόμενες με αυτό αλλαγές των ατμοσφαιρικών συνθηκών αποτελούν ένα σημαντικό λόγο για την εμφάνιση κλιματικών διαταραχών σε παγκόσμιο επίπεδο.



Sources: Climate Prediction Center-NCEP; NOAA.

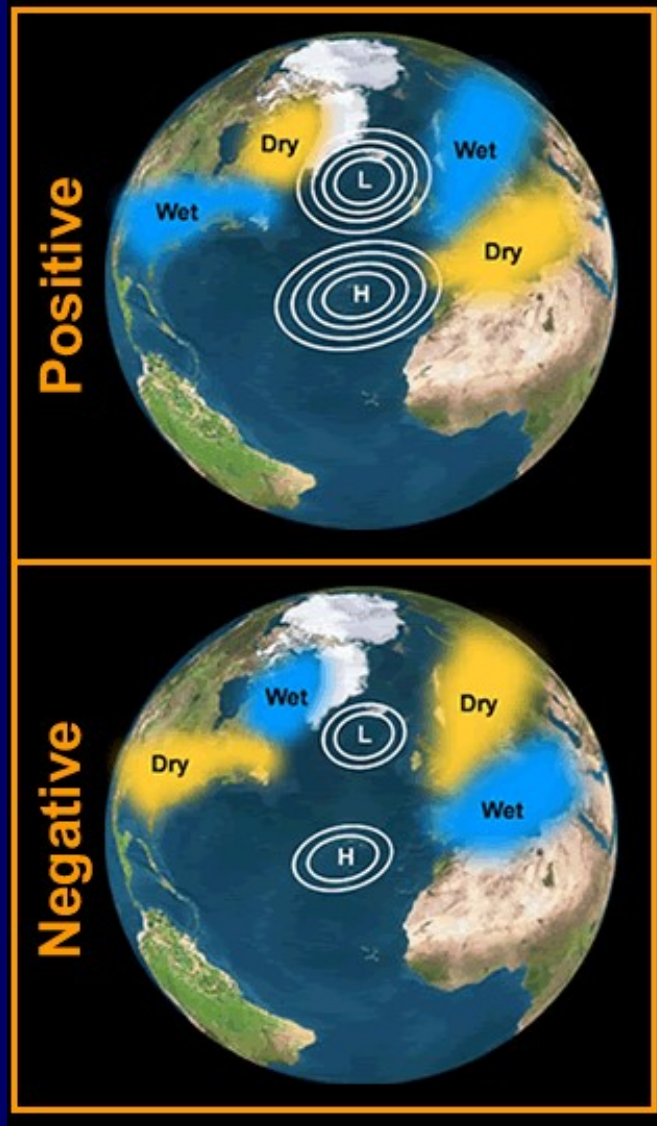
Γεγονότα El Niño



Συνδέονται με υψηλές θερμοκρασίες και έντονες ξηρασίες σε μεγάλες περιοχές της Γης (όπως Αφρική, Ν. Αμερική, ΝΑ Ασία)

Ταλάντωση του Βόρειου Ατλαντικού (NAO: North Atlantic Oscillation)

Είναι διαφορά της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ των υψηλών πιέσεων στην περιοχή των Αζορών-Βερμούδων και τις χαμηλές πιέσεις στην περιοχή της Ισλανδίας.

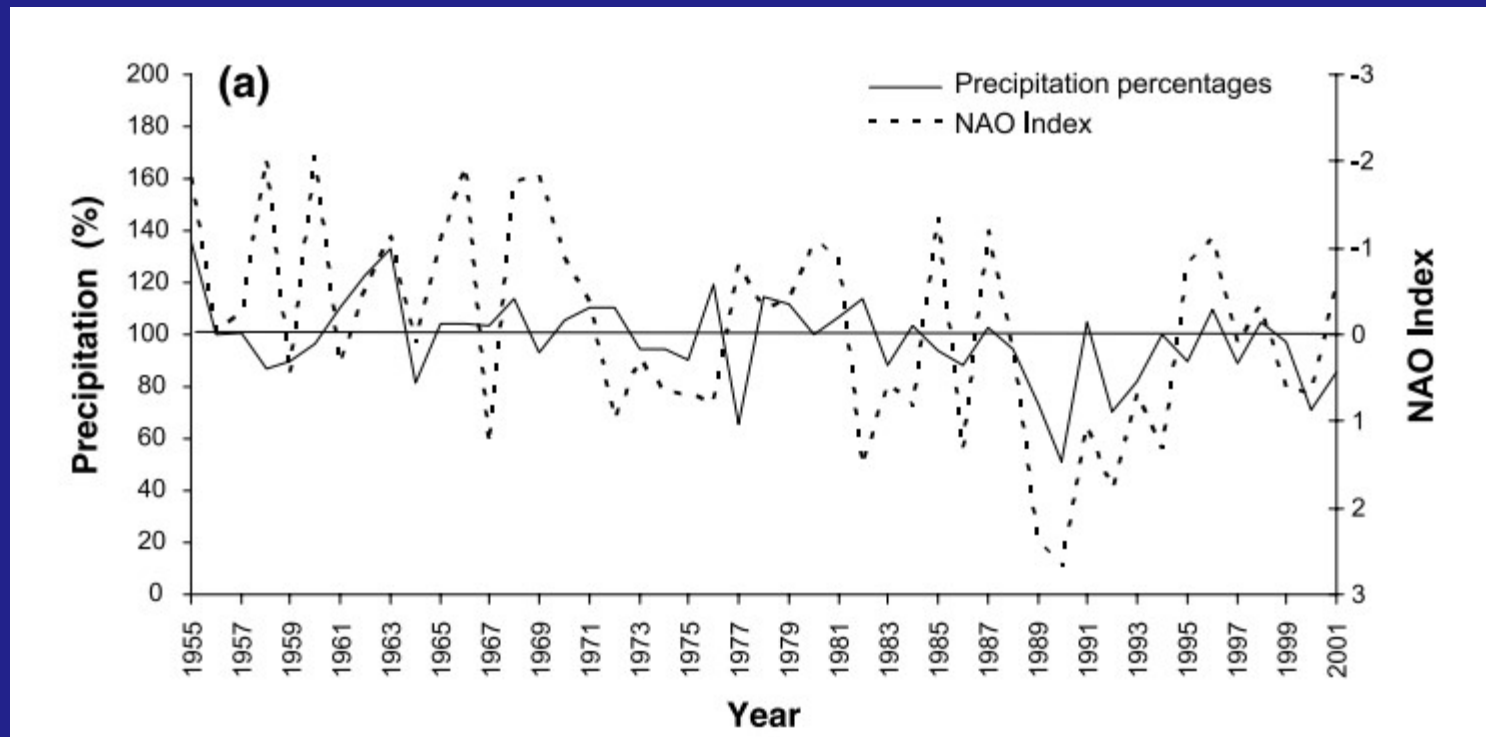


Όταν οι δύο πιέσεις είναι ισχυρές και η διαφορά μεταξύ τους μεγάλη, **το NAO είναι σε θετική φάση**. Τότε στη Ν. Ευρώπη (και στη **Μεσόγειο**) επικρατούν συνθήκες **πιο ξηρές σε σχέση με τις συνήθειες**, ενώ στη Β. Ευρώπη επικρατούν πιο υγρές και ίσως πιο θερμές συνθήκες σε σχέση με τις συνήθειες.

Όταν οι δύο πιέσεις είναι ασθενείς και η διαφορά μεταξύ τους μικρότερη, **το NAO είναι σε αρνητική φάση**.

Τότε στη Ν. Ευρώπη (και στη **Μεσόγειο**) επικρατούν συνθήκες **πιο υγρές και ίσως πιο θερμές** σε σχέση με τις συνήθειες, ενώ στη Β. Ευρώπη επικρατούν πιο ξηρές και πιο ψυχρές συνθήκες σε σχέση με τις συνήθειες.

Η διακύμανση του δείκτη NAO εξηγεί κατά μεγάλο ποσοστό τη διακύμανση των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα



Σύγκριση της ετήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα και του δείκτη NAO (π.χ. η έντονη ξηρασία που καταγράφηκε σε όλη την Αν. Μεσόγειο (συμπεριλαμβανομένου της Ελλάδας και της Κύπρου) συμπίπτει με παρατεταμένη περίοδο θετικής φάσης του NAO

(Feidas et al. 2007)