



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά μαθήματα ΠΠ

**ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: Φαινόμενο του Θερμοκηπίου &
Κλιματικές Μεταβολές**

**ΕΝΟΤΗΤΑ: 6. Αίτια των Κλιματικών Αλλαγών κατά τους
Γεωλογικούς Χρόνους – Μέθοδοι Ανασύστασης του Κλίματος
του Παρελθόντος**

ΟΝΟΜΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

**ΤΜΗΜΑ: Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
ΑΓΡΙΝΙΟ**

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

Επίκουρη Καθηγήτρια

του Τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος &
Φυσικών Πόρων

 2641074156

 afotiadi@upatras.gr

Μέθοδοι ανασύστασης του κλίματος του παρελθόντος

- Υπάρχει ένα φάσμα διαφόρων τεχνικών οι οποίες επιτρέπουν να αντλήσουμε πληροφορία & να ανασυστήσουμε το κλίμα της Γης κατά το παρελθόν

- **‘Καρότα’ πάγου**

- **Δενδροχρονολόγηση**

- **Ιζήματα**

- **Κοράλλια**

- **Γύρη**

- **Ηφαιστειακή στάχτη**

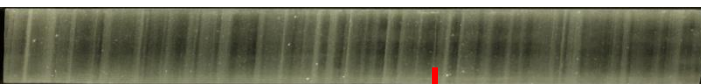


Μέθοδοι ανασύστασης του κλίματος του παρελθόντος

- **‘Καρότα πάγου’**: στήλες πάγου που εξάγονται από τους μόνιμους παγετώνες των πολικών περιοχών (Ανταρκτική & Αρκτική) και των οροσειρών με μεγάλο υψόμετρο (Ιμαλάια, Άλπεις, ...)

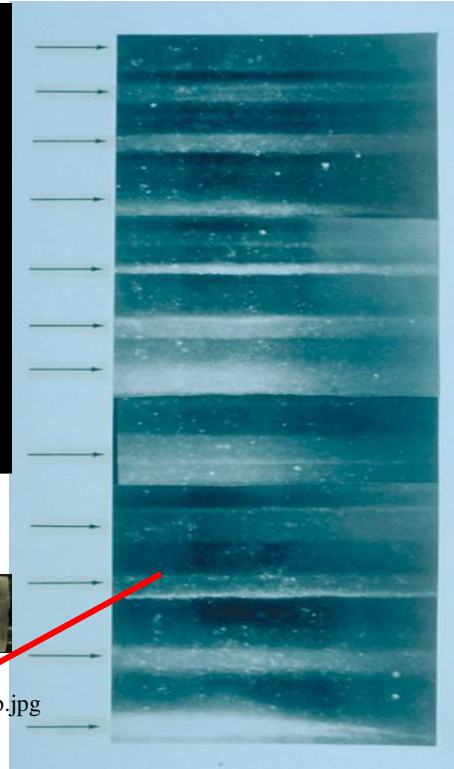


Πηγή: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/2/29/Gripsaw.jpg>



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Ice_core#/media/File:GISP2D1857_crop.jpg

ετήσια στρώματα πάγου



Πηγή: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/31/GISP2_1855m_ice_core_layers.png



Πηγή: <http://creationwiki.org/File:Icecore.jpg>



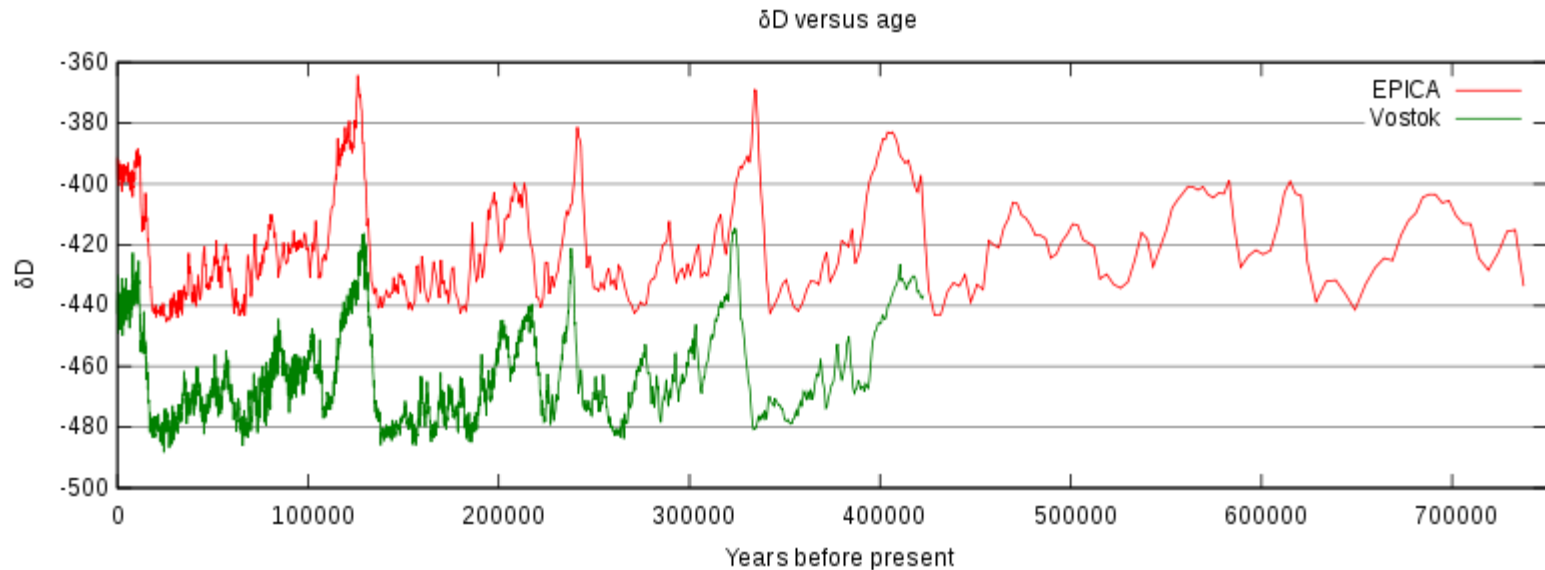
Πηγή: http://climate.nasa.gov/system/internal_resources/details/original/384_470904main_DRILL.jpg

- Ανάλυση καρότων πάγου δίνει δεδομένα που αναφέρονται σε αρκετές εκατοντάδες χρόνια πίσω. Π.χ. το πρόγραμμα EPICA επέτρεψε ανασύσταση κλίματος μέχρι 800.000 χρόνια πριν



Μέθοδοι ανασύστασης του κλίματος του παρελθόντος

- ‘Καρότα πάγου’
- Ανασύσταση της ατμόσφαιρας όπως προέκυψε από δεδομένα του προγράμματος EPICA



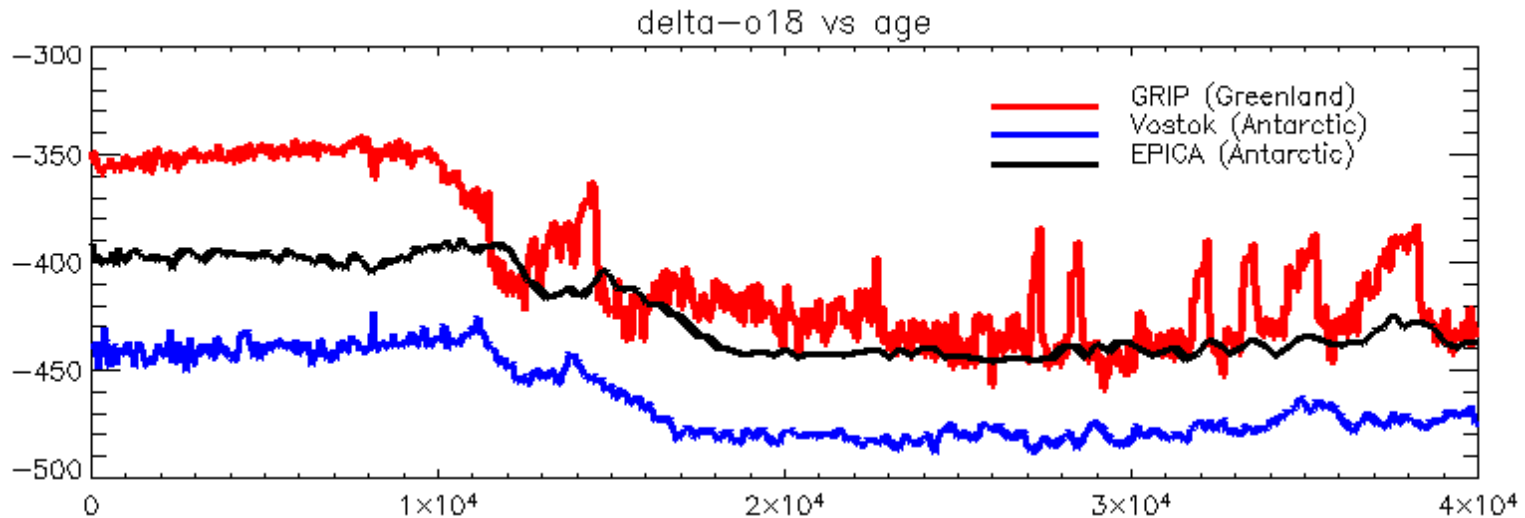
Πηγή:

https://en.wikipedia.org/wiki/European_Project_for_Ice_Coring_in_Antarctica#/media/File:EPICA_delta_D_plot.svg



Μέθοδοι ανασύστασης του κλίματος του παρελθόντος

- ‘Καρότα πάγου’: Σύγκριση ευρημάτων EPICA & Vostok, χρονική επέκταση της ανασύστασης από το πρόγραμμα EPICA



Πηγή: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9d/Epica-vostok-grip-140kyr.png>

- Σύγκριση ευρημάτων από ‘καρότα’ πάγου διαφόρων ερευνών



Μέθοδοι ανασύστασης του κλίματος του παρελθόντος

- **‘Καρότα πάγου’** δίνουν τις ακόλουθες πληροφορίες
- Τα διάφορα **στρώματα πάγου**, δεδομένου ότι η συσσώρευση πάγου εμφανίζει εποχική μεταβολή, σε συνδυασμό με το βάθος στο οποίο αντιστοιχεί => **χρονολογική ανασύσταση**
- Οι **φυσαλίδες αέρα** που εγκλωβίζονται μέσα στον πάγο επιτρέπουν μέσω άμεσων μετρήσεων => την **ανασύσταση της χημικής σύστασης της ατμόσφαιρας** την εποχή που σχηματίστηκε το συγκεκριμένο στρώμα πάγου
- **Μεταβολές του πάχους των στρωμάτων πάγου** => χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό μεταβολών στη θερμοκρασία & τη βροχόπτωση
- **Γύρη παγιδευμένη στα στρώματα του πάγου** => πληροφορία για τα **φυτά** που υπήρχαν την εποχή που σχηματίστηκε το συγκεκριμένο στρώμα πάγου & εμμέσως για τις συνθήκες θερμοκρασίας & βροχόπτωσης καθώς και για τους τύπους πανίδας

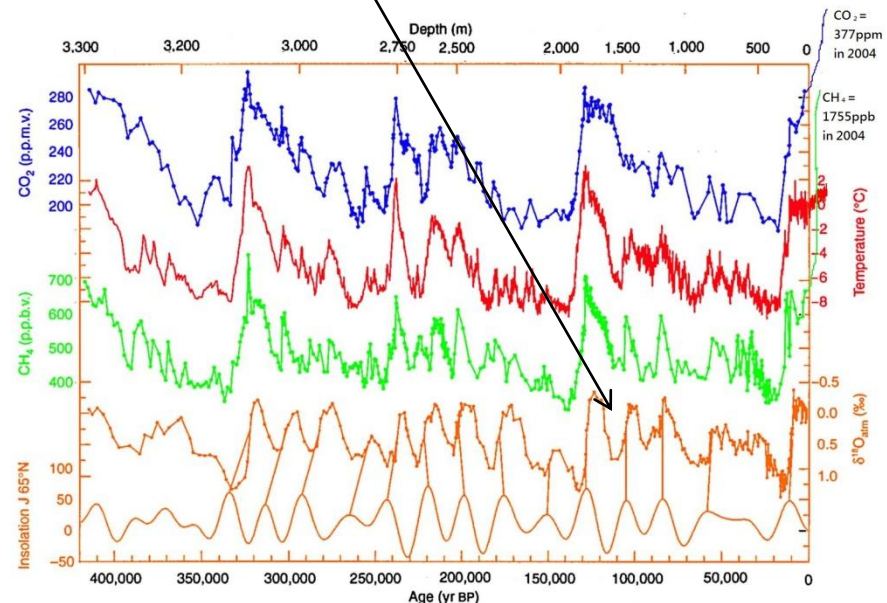


Μέθοδοι ανασύστασης του κλίματος του παρελθόντος

- ‘Καρότα πάγου’ η ανασύσταση της θερμοκρασίας στηρίζεται στον προσδιορισμό των ισοτόπων οξυγόνου-16 & οξυγόνο-18

- Μεταβολές της ποσότητας του **Οξυγόνου-18** ($\delta^{18}\text{O}$ ή **O-18**) στα στρώματα πάγου αντιπροσωπεύει μεταβολές της επιφανειακής θερμοκρασίας του ωκεανού

- Τα μόρια του νερού που περιέχουν το βαρύτερο ισότοπο O-18 εξατμίζονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες απ’ ότι τα μόρια του νερού που περιέχουν το πιο συνηθισμένο ισότοπο Οξυγόνο-16



Πηγή:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vostok_420ky_4curves_insolation.

⇒ Ο λόγος **O-18 / O-16** είναι υψηλότερος όταν η θερμοκρασία αυξάνει και μικρότερος όταν η θερμοκρασία μειώνεται



Ανασύσταση του κλίματος του παρελθόντος

- **‘Καρότα πάγου’**
- **Γύρη:** η γύρη που παρατηρείται & μετράται στα στρώματα πάγου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γίνει η ανασύσταση των φυτών την εποχή που σχηματίστηκε το συγκεκριμένο στρώμα πάγου
- Γνωρίζοντας την γλωρίδα κάποιας περιόδου, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την θερμοκρασία, την βροχόπτωση και την πανίδα
- **Ηφαιστειακή Τέφρα:** η οποία περιέχεται σε στρώματα πάγου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του χρόνου σχηματισμού του στρώματος
- Κάθε ηφαιστειακή έκρηξη εισάγει στην ατμόσφαιρα τέφρα με συγκεκριμένες & μοναδικές ιδιότητες (σχήμα, χρώμα & χημική σύσταση των σωματιδίων) => προσδιορίζοντας την πηγή της τέφρας => και επομένως την έκρηξη => ένα χρονικό διάστημα σχηματισμού του στρώματος πάγου



Ανασύσταση του κλίματος του παρελθόντος

➤ Δενδροχρονολόγηση:

- Πληροφορίες για την μεταβολή του κλίματος μπορεί να αντληθεί από αλλαγές στην ανάπτυξη των φυτών
- Γενικά, τα δέντρα ανταποκρίνονται στις μεταβολές του κλίματος (=> και των κλιματικών παραμέτρων) **επιταχύνοντας** ή **επιβραδύνοντας** την ανάπτυξη τους => κάτι που αντανακλάται στους **δακτυλίους των κορμών τους** με την **διεύρυνση** τους ή τον **περιορισμό** τους αντίστοιχα
- Βέβαια, τα διάφορα είδη δέντρων ανταποκρίνονται με διαφορετικό τρόπο στις μεταβολές του κλίματος
- Για να είναι αξιόπιστες οι καταγραφές από τους δακτυλίους των κορμών των δέντρων αυτές πραγματοποιούνται σε μεγάλο αριθμό ζώντων δέντρων μιας περιοχής



Ανασύσταση του κλίματος του παρελθόντος

➤ Δενδροχρονολόγηση:

- Χρησιμοποιώντας γηραιά αλλά υγιή δέντρα τα οποία δεν έχουν υποστεί κάποια φθορά & μέσω ταύτισης του 'πάχους' των δακτυλίων με σύγχρονα specimens μπορεί να ανασυσταθεί το κλίμα για μεγάλο χρονικό διάστημα πίσω
- Η μέθοδος των δακτυλίων για κάποιες περιοχές του πλανήτη επιτρέπει την ανασύσταση του κλίματος για μερικές χιλιάδες χρόνια πριν
- Η χρονολόγηση μέσω δακτυλιδίων, ιδιαίτερα για γηραιά δέντρα, γίνεται μέσω τεχνικών ραδιενεργού άνθρακα
- Η Δενδροχρονολόγηση επιτρέπει την ανασύσταση πληροφορίας σχετικά με την βροχόπτωση, την θερμοκρασία, την υδρολογία και τις πυρκαγιές μιας περιοχής



Ανασύσταση του κλίματος του παρελθόντος

➤ Κοράλλια:

- Κατά αντιστοιχία με τους δακτυλίους των κορμών των δέντρων οι δακτύλιοι των κοραλλιών παρέχουν πληροφορίες για την θερμοκρασία του νερού (θερμοκρασία επιφάνειας), την αλατότητα του νερού και τη δράση των κυμάτων
- Το ισότοπο $\delta^{18}\text{O}$ του coraline red algae παρέχει χρήσιμα δεδομένα proxy για τη θερμοκρασία των μεγάλων γεωγραφικών πλατών, όπου οι κλασσικές τεχνικές δίνουν περιορισμένα αποτελέσματα
- Με βάση τα κοράλλια μπορεί να γίνει ανασύσταση δεδομένων για αρκετούς αιώνες πριν



Ανασύσταση του κλίματος του παρελθόντος

➤ Ιζήματα & Πετρώματα:

- Τα πετρώματα & τα ιζήματα χρησιμοποιούνται από τους γεωλόγους για ανασύσταση του κλίματος σε μεγάλες κλίμακες χρόνου δηλαδή δισεκατομμύρια χρόνια πριν
- Μάλιστα, αρκετές από τις γεωλογικές χρονικές περίοδοι έχουν οριστεί από ορατές μεταβολές στα στρώματα των πετρωμάτων οι οποίες συνδέονται με συνδέονται με μεταβολές των επικρατούντων συνθηκών δηλ. με κλιματικές μεταβολές
- Τα ιζήματα που ορισμένες φορές κάτω από κατάλληλες συνθήκες σχηματίζουν πετρώματα, μπορεί να περιέχουν καλά διατηρημένα: βλάστηση, ζώα, πλαγκτόν ή γύρη δηλαδή υλικά που μπορεί να είναι χαρακτηριστικά συγκεκριμένων κλιματικών ζωνών



Ανασύσταση του κλίματος του παρελθόντος

➤ Ιζήματα & Πετρώματα:

- Διάφοροι βιολογικοί δείκτες (όπως π.χ. Alkenones) μπορούν να δώσουν πληροφορία για την θερμοκρασία σχηματισμού τους
- Χημικοί δείκτες και ιδιαίτερα ο λόγος Mg/Ca μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανασύσταση της θερμοκρασίας του παρελθόντος
- Τα ισότοπα παρέχουν επίσης πληροφορίες π.χ.
 - όπως συζητήθηκε πριν καταγραφές του $\delta^{18}\text{O}$ δίνουν πληροφορίες για μεταβολές της θερμοκρασίας και του όγκου του πάγου
 - ενώ δεδομένα του $\delta^{13}\text{C}$ δίνει ένα εύρος πληροφοριών
- Ειδικά τα πετρώματα δίνουν πληροφορία για την άνοδο και την πτώση του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας



Ανασύσταση του κλίματος του παρελθόντος

- Τα έμμεσα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την ανασύσταση του κλίματος του παρελθόντος και τα οποία προέρχονται από τις τεχνικές που παρουσιάστηκαν προηγούμενα (δηλαδή δεν προέρχονται από άμεσες μετρήσεις με όργανα των κλιματικών παραμέτρων όπως θερμοκρασία, βροχόπτωση κ.α.) λέγονται **δεδομένα proxy (proxy data)**
- Στα δεδομένα proxy θα πρέπει να συνυπολογιστούν και οι ιστορικές καταγραφές που διασώζονται
- Οι αξιόπιστες καταγραφές του κλίματος ξεκίνησαν μετά το 1880 και ταυτίζονται με καταγραφές από μετεωρολογικά όργανα



Αίτια μεταβολής του κλίματος στο παρελθόν

➤ Διάφοροι παράγοντες έχουν συμβάλει στις αλλαγές του κλίματος κατά το παρελθόν & συνδέονται με τους παράγοντες που διαμορφώνουν το κλίμα

- Μία θεωρία ή ένα μοντέλο είναι συνήθως δύσκολο να εξηγήσουν από μόνα τους του κλιματικές αλλαγές στο παρελθόν
- και αυτό γιατί εμπλέκεται πλήθος παραμέτρων διαφορετικών μεταξύ τους π.χ. γεωλογικοί, αστρονομικοί, βιολογικοί ή κλιματολογικοί



Αίτια μεταβολής του κλίματος στο παρελθόν

➤ **Αστρονομικοί παράγοντες**

- Μεταβολές της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο
- Μεταβολές της δραστηριότητας του Ήλιου => της ενέργειας (ακτινοβολίας) που φτάνει από αυτόν στη Γη

➤ **Γεωλογικοί παράγοντες**

- Μετακίνηση των Τεκτονικών πλακών
- Ορογένεση
- Εκρήξεις ηφαιστείων

➤ **Άλλοι παράγοντες**

- Αλλαγή της ωκεάνιας κυκλοφορίας (ωκεάνια ρεύματα)
- Μεταβολή της χημικής σύστασης της Ατμόσφαιρας

Αίτια μεταβολής του κλίματος στο παρελθόν

➤ Μετακίνηση Λιθοσφαιρικών Πλακών

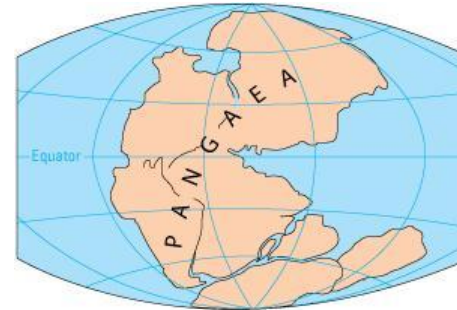
- Η μετακίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών κατά τη διάρκεια των γεωλογικών χρόνων είναι διαπιστωμένη
- Βάσει παλαιομαγνητικών δεδομένων, οι **μαγνητικοί πόλοι** της Γης σε σχέση με τις ηπείρους
- Στις αρχές της Καμβρίου περιόδου οι θέσεις των μαγνητικών πόλων ήταν κοντά στον σημερινό Ισημερινό
 - ο ένας στις ακτές της σημερινής Δυτικής Αφρικής (0° γεωγραφικό μήκος)
 - ο άλλος στη σημερινή θέση της Χαβάης (180° γεωγραφικό πλάτος)
- Στη σημερινή τους θέση εμφανίζονται στο τέλος περίπου της Ηώκαινου εποχής



Αίτια μεταβολής του κλίματος στο παρελθόν

➤ Μετακίνηση Λιθοσφαιρικών Πλακών

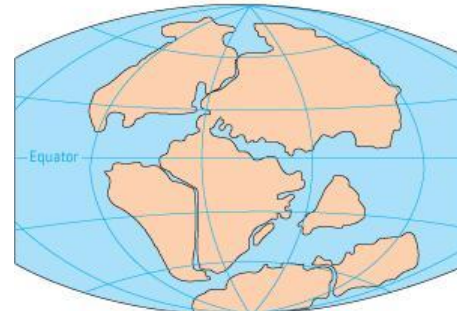
- Π.χ. μέχρι την Τριάσιο περίοδο η Ευρώπη & η βόρειος Αμερική ήταν πλησιέστερα κατά 30° σε σχέση με τη σημερινή τους απόσταση



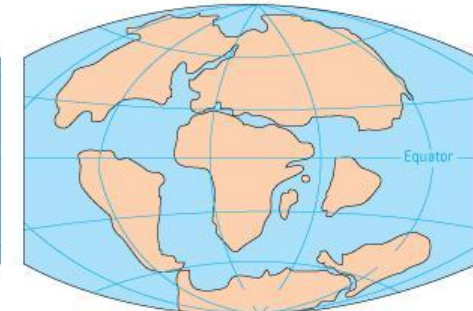
PERMIAN
225 million years ago



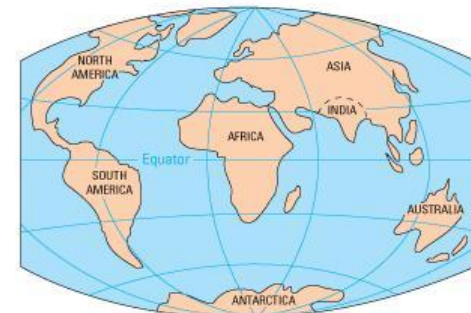
TRIASSIC
200 million years ago



JURASSIC
150 million years ago



CRETACEOUS
65 million years ago

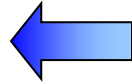


PRESENT DAY



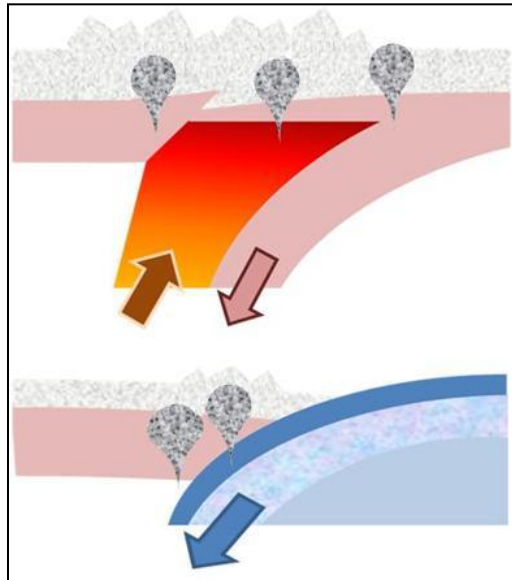
Αίτια μεταβολής του κλίματος στο παρελθόν

➤ Ορογένεση

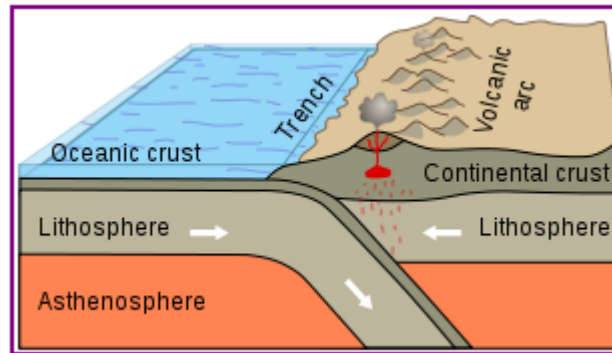


Μετακίνηση Λιθοσφαιρικών Πλακών

- Η ορογένεση συνδέεται με την μετακίνηση των τεκτονικών πλακών



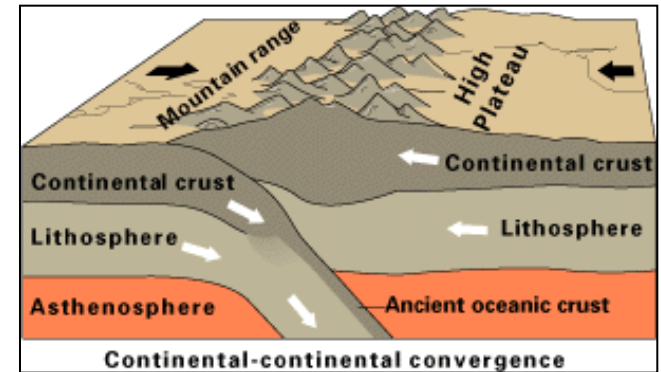
Delamination: Sierra Nevada



Subduction of ocean crust: Andes

Πηγή:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/29/Active_Margin.svg/1280px-Active_Margin.svg.png



Continental collision: Alps

Πηγή:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/Continental-continental_convergence_Fig21contcont.gif

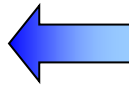
Πηγή: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f2/SubductionDelamination.JPG>

- Βρέθηκε εξαιρετική συσχέτιση μεταξύ της ορογένεσης και την ενίσχυσης των παγετώνων
- Με ελάχιστες εξαιρέσεις, έντονες ορογενέσεις προηγήθηκαν των πεγετωνικών περιόδων κατά την Πέρμιο περίοδο και το Τεταρτογενές
- Κατά την ορογένεση το κλίμα γίνεται θερμότερο



Αίτια μεταβολής του κλίματος στο παρελθόν

➤ Ηφαιστειακές εκρήξεις



Μετακίνησης Λιθοσφαιρικών Πλακών
Ορογένεση

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις συνδέονται με την μετακίνηση των τεκτονικών πλακών και την ορογένεση. Το μέγιστο της ηφαιστειακής δράσης συνέπιπτε με το μέγιστο της ορογένεσης

- Με τις εκρήξεις των ηφαιστείων απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα τεράστιες ποσότητες σωματιδίων (αερολύματα, aerosols) όπως: SO_2 , σκόνη, τέφρα αλλά και υδρατμοί
- Τα σωματίδια επηρεάζουν το κλίμα μέσω της αλληλεπίδρασης τους με την ηλιακή ακτινοβολία



Πηγή: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fe/Sarychev_Volcano_edit.jpg

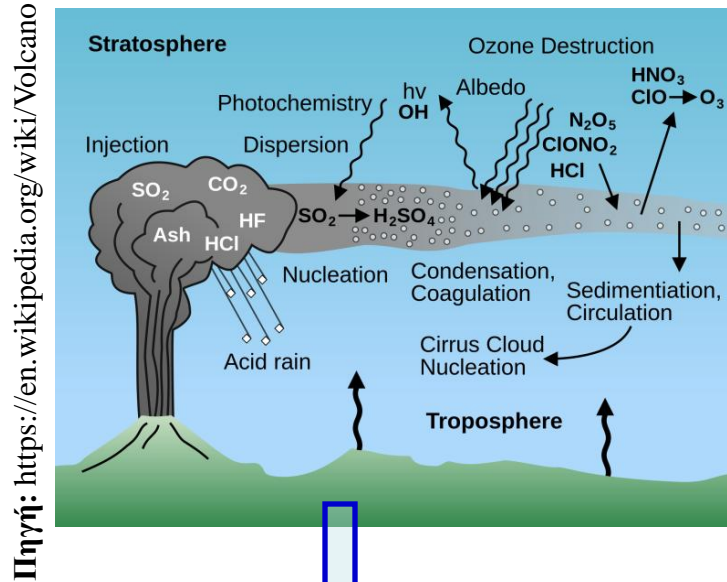
- Λόγω σκέδασης 'ανακλούν' ένα ποσοστό της εισερχόμενης ακτινοβολίας πίσω στο διάστημα μειώνοντας έτσι την ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης και προκαλούν έτσι **ψύξη** του πλανήτη

- Το CO_2 που επίσης απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά τις εκρήξεις ηφαιστείων και που είναι αέριο του θερμοκηπίου για τα σημερινά δεδομένα θεωρείται μικρή ποσότητα σε σχέση με τις ανθρωπογενείς εκπομπές CO_2



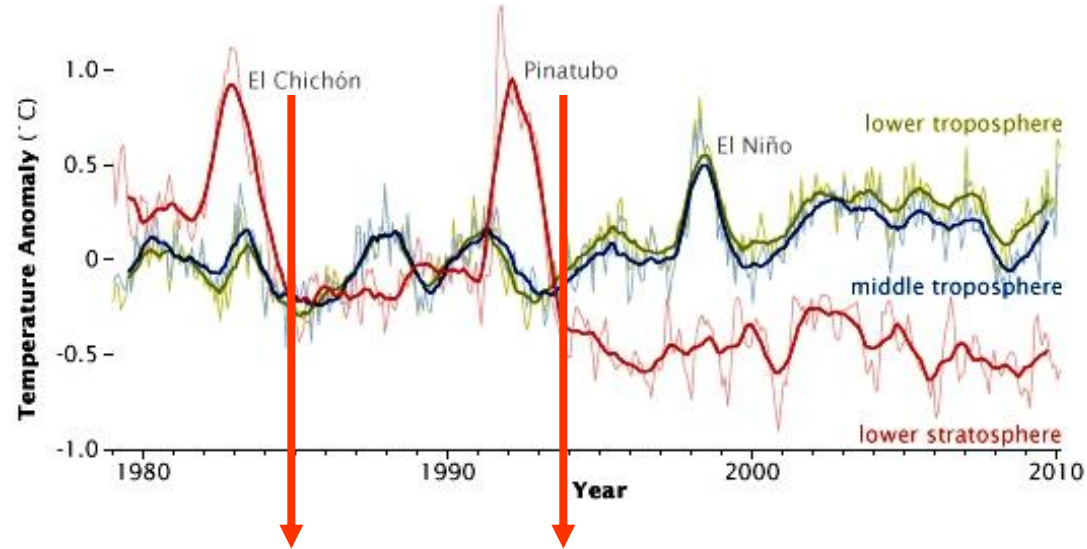
Αίτια μεταβολής του κλίματος στο παρελθόν

➤ Ηφαιστειακές εκρήξεις



καθαρή ψύξη της επιφάνειας

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_change#/media/File:Msu_1978-2010.jpg



μείωση της εισερχόμενης ακτινοβολίας & επομένως και της θερμοκρασίας μετά τις εκρήξεις των ηφαιστειών El Chichon (1983) & Pinatubo (1991)

- Η ταχεία μείωση της θερμοκρασίας του Β. ημισφαιρίου το 1942 αποδίδεται από πολλούς σε έντονη ηφαιστειακή δράση
- Η ηφαιστειακή δράση πιστεύεται ότι αποτέλεσε μηχανισμό έναρξης ή ενίσχυσης των παγετώνων στο παρελθόν
- Το ερωτηματικό σε αυτή την θεωρία είναι γιατί καθυστερεί αρκετά εκατομμύρια χρόνια το μέγιστο των παγετώνων



Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ Αλλαγή της ωκεάνιας κυκλοφορίας

■ Στους γεωλογικούς χρόνους, η μετακίνηση των τεκτονικών πλακών προκάλεσε αλλαγή της ωκεάνιας κυκλοφορίας. Δεν ήταν όμως ο μοναδική αιτία

• Ο ωκεανός είναι κύρια συνιστώσα του κλιματικού συστήματος:

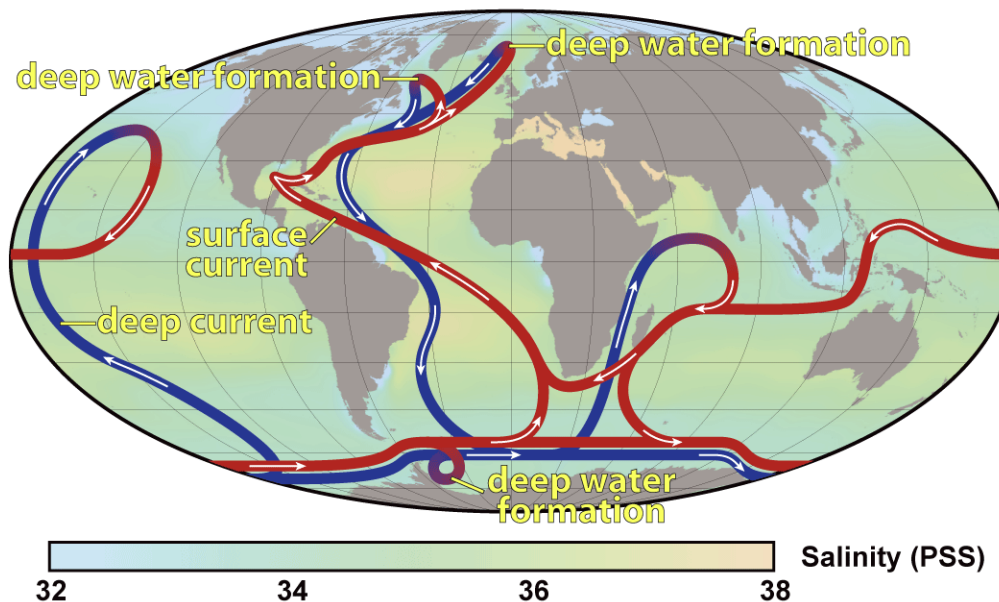
○ αποτελεί μια τεράστια δεξαμενή θερμότητας καθώς αποθηκεύει τεράστια ποσά ενέργειας

○ αποτελεί τη μεγαλύτερη δεξαμενή (καταβόθρα) δέσμευσης του CO₂

○ καθοδηγεί την ατμοσφαιρική κυκλοφορία και ταυτόχρονα επηρεάζεται από αυτή

○ συμβάλλει στην αναδιανομή της ενέργειας του πλανήτη, από περιοχές με πλεόνασμα (ισημερινός) σε περιοχές με έλλειμμα (πόλοι) μέσω της ωκεάνιας κυκλοφορίας (ωκεάνιων ρευμάτων)

Thermohaline Circulation



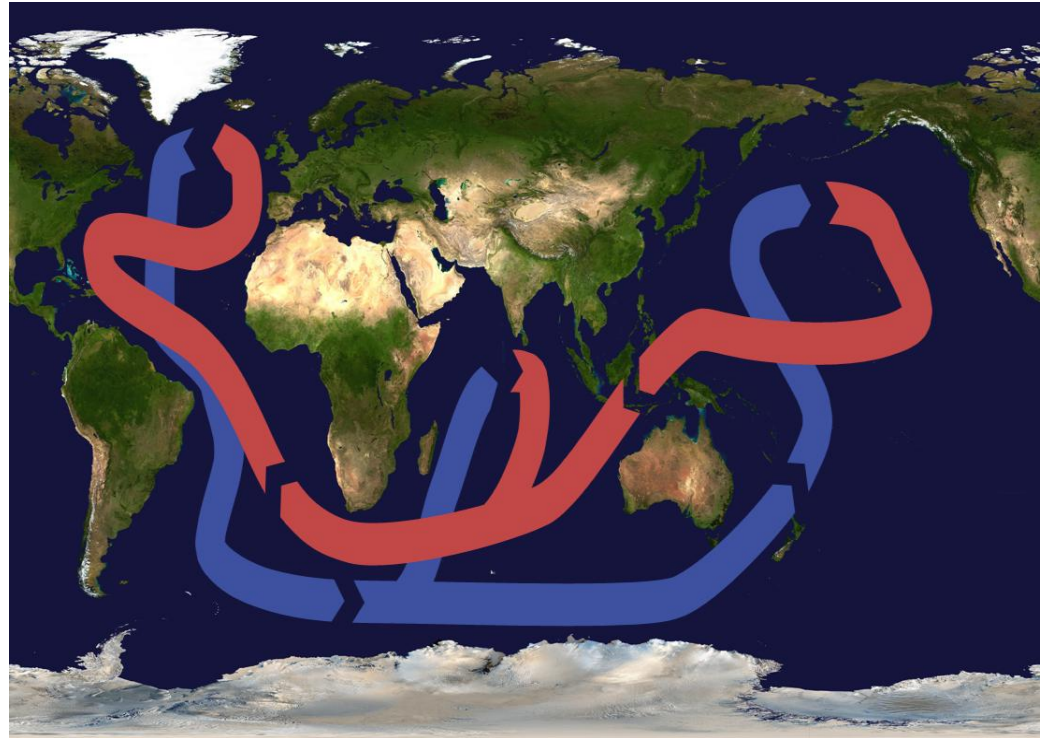
Πηγή:

https://en.wikipedia.org/wiki/Thermohaline_circulation#/media/File:Thermohaline_Circulation_2.png

Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ Αλλαγή της ωκεάνιας κυκλοφορίας

- Η ωκεάνια κυκλοφορία στο παρελθόν έχει διακοπεί ή αλλάξει
- Οι αλλαγές αυτές έχουν προκληθεί κυρίως λόγω μεταβολών των ιδιοτήτων του νερού (της πυκνότητας του - αλατότητα) οι οποίες προκαλούνται από εισροή στους ωκεανούς μεγάλων ποσοτήτων 'γλυκού' (φρέσκου) νερού
- αυτό γίνεται είτε μέσω της αύξησης των βροχοπτώσεων είτε μέσω του λιώσιμο των πάγων



Πηγή: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b0/Thermohaline_circulation.png

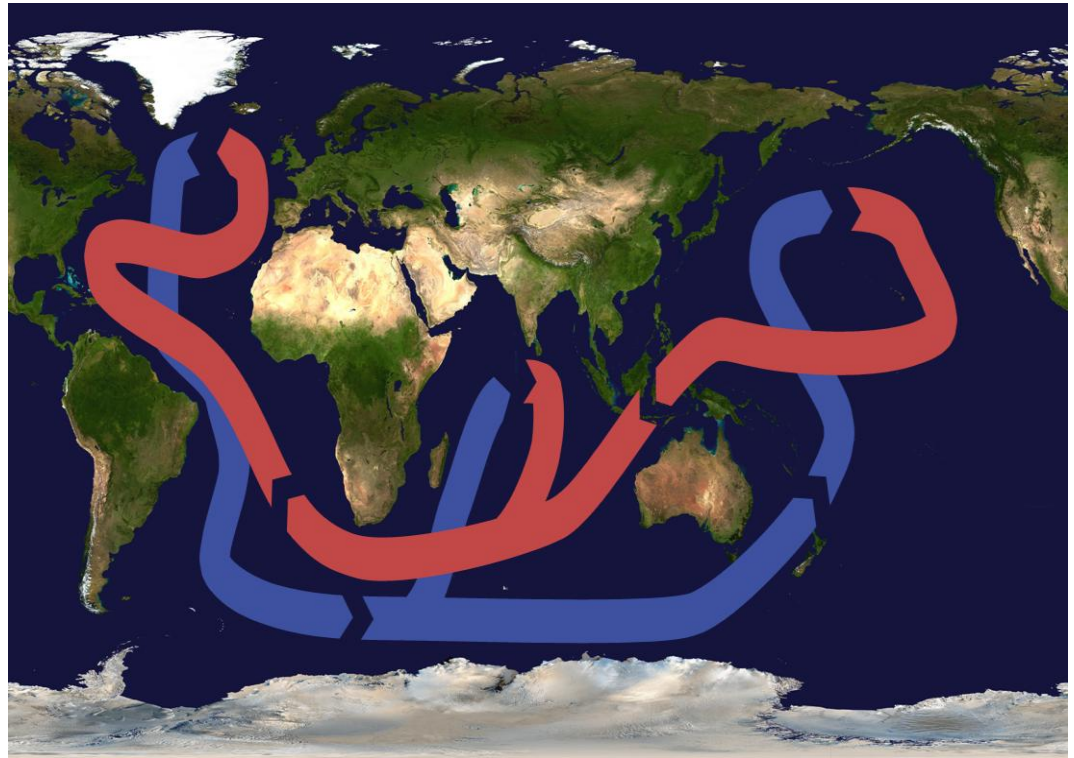


Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ Αλλαγή της ωκεάνιας κυκλοφορίας

• Η ωκεάνια κυκλοφορία (conveyor belt ή thermohiline) διαμορφώνεται:

- από την ατμοσφαιρική κυκλοφορία
- από παλιρροϊκά φαινόμενα και άλλες κυμάνσεις των υδάτων
- η πυκνότητα των υδάτων η οποία με τη σειρά της διαμορφώνεται από τη θερμοκρασία και την αλατότητα των υδάτων



Πηγή: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b0/Thermohaline_circulation.png

- Στο παρελθόν η ωκεάνια κυκλοφορία έχει διακοπεί ή αλλάξει και μετά αποκατασταθεί εκ νέου προκαλώντας σημαντικές μεταβολές του κλίματος (π.χ. ψύξη και μετά θέρμανση)
- Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C ίσως δεν θα επηρεάσει την ωκεάνια κυκλοφορία, όμως αύξηση 3 – 5°C ίσως προκαλέσει διαταραχές

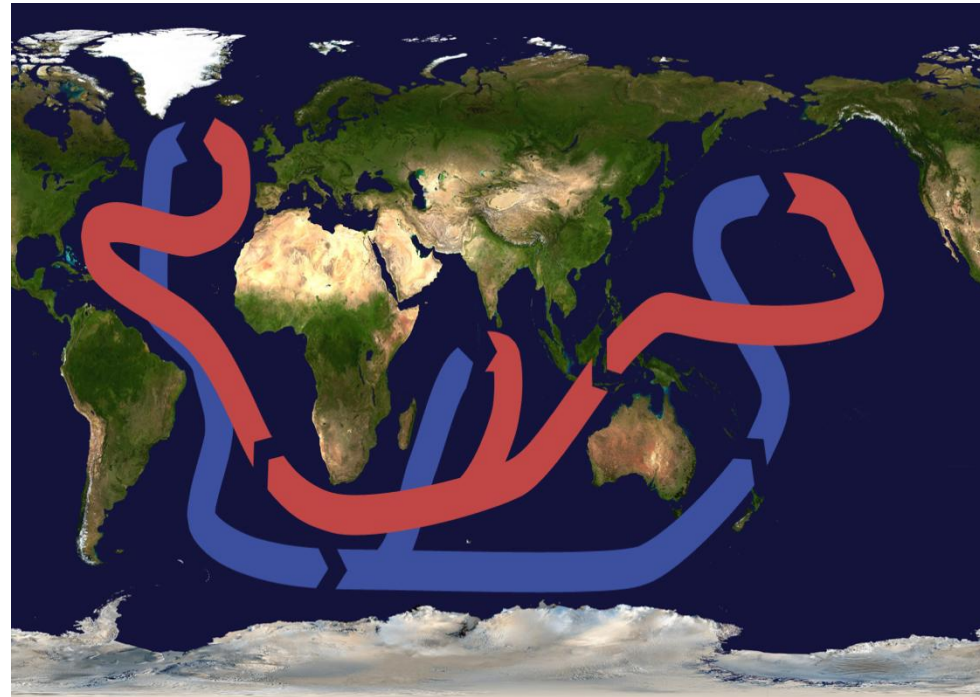


Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ Αλλαγή της ωκεάνιας κυκλοφορίας

- Στο παρελθόν μεταβολές του κλίματος με έχουν συνδεθεί με διαταραχές της ωκεάνιας κυκλοφορίας όταν π.χ.:

- ο διακοπτόταν η επικοινωνία μεταξύ Ειρηνικού & Ατλαντικού ωκεανού
- ο διακοπτόταν η επικοινωνία μεταξύ του Βόρειου Ατλαντικού και του Αρκτικού ωκεανού



Πηγή: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b0/Thermohaline_circulation.png

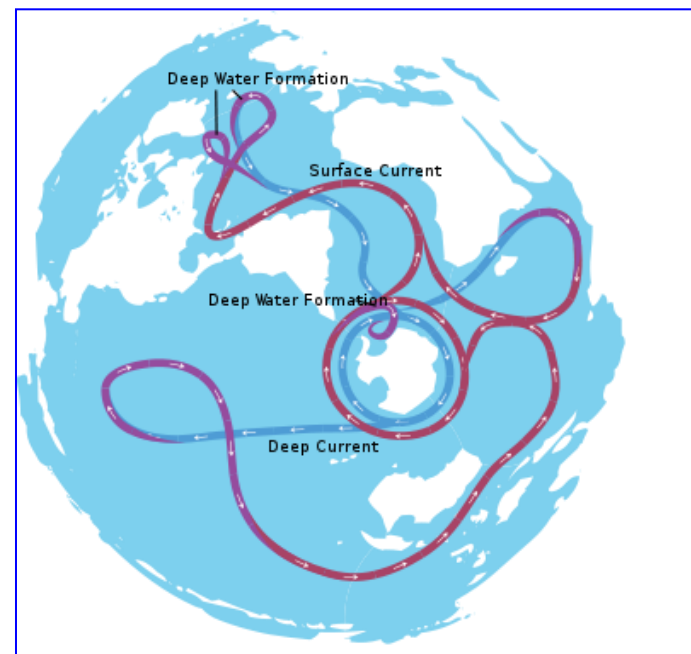
- Τα παραπάνω συνέβαιναν όταν μεταβάλλονταν η στάθμη των επιφανειακών υδάτων, η οποία συναρτάται από τις αυξομειώσεις του όγκου των παγετώνων
- Υπήρξαν περίοδοι στο γεωλογικό παρελθόν όπου η άνοδος της στάθμης των ωκεανών μείωσε την επιφάνεια των ηπείρων κατά 25%
- Η αύξηση της επιφάνειας των ωκεανών συμπίπτει με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα με συνέπεια αύξηση της εξάτμισης & των βροχοπτώσεων



Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ Αλλαγή της ωκεάνιας κυκλοφορίας

- Στις αρχές της Πλειόκαινου εποχής σημειώθηκε άνοδος της στάθμης των ωκεανών 300 m σε σχέση με σήμερα
- Κατά τη διάρκεια αυτής της αύξησης η μέση θερμοκρασία του πλανήτη ήταν 10oC υψηλότερη σε σχέση με αυτή κατά την έναρξη του φαινομένου



Πηγή:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a6/Conveyor_belt.svg/2000px-Conveyor_belt.svg.png

- Η απότομη θέρμανση του βορείου Ατλαντικού 11.000 χρόνια πριν συνδέεται με διαταραχή της ωκεάνιας κυκλοφορίας

- Λίγο πριν το γεγονός αυτό, η σημαντική αύξηση των παγετώνων της περιοχής λόγω αφομοίωσης των υδρατμών του αρκτικού περιβάλλοντος, προκάλεσε κλείσιμο του αβαθούς του πυθμένα μεταξύ Γροιλανδίας & Νορβηγίας μέσω του οποίου πραγματοποιείται η επικοινωνία των υδάτων της Αρκτικής & του Βόρειου Ατλαντικού

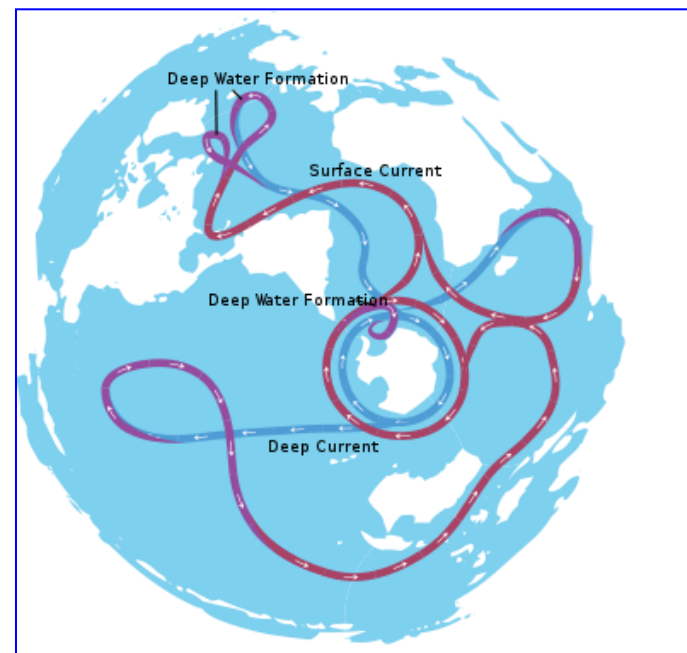
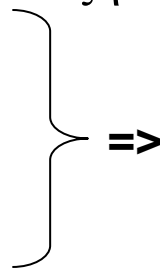
- Έτσι, τα νερά της Αρκτικής σταμάτησαν να θερμαίνονται με αποτέλεσμα την ταχεία παγοποίηση τους



Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ Αλλαγή της ωκεάνιας κυκλοφορίας

- Η θερμότητα που απελευθερώθηκε θέρμανε τον Βόρειο Ατλαντικό
- Η παγοποίησης της Αρκτικής θάλασσας είχε σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό των υδρατμών στην περιοχή λόγω μείωσης της εξάτμισης
- Μείωση των υδρατμών => σταματάει η αύξηση του όγκου των παγετώνων
- Παράλληλα η θερμότητα που ελευθερώθηκε θέρμανε τον βόρειο Ατλαντικό



Πηγή:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a6/Conveyor_belt.svg/2000px-Conveyor_belt.svg.png

=> αρχίζει έτσι η μεταπαγετώδης περίοδος αφού σε σύντομο χρονικό διάστημα αποκαθίσταται η επικοινωνία των δύο αποκομμένων θαλασσών

- Η στάθμη της θάλασσας στον παρελθόν δεν έχει αλλάξει μόνο λόγω της μεταβολής της έκτασης των παγετώνων αλλά και εξ' αιτίας μεταβολών του πυθμένα των ωκεανών. Π.χ. κατά την τριτογενή περίοδο σημειώθηκε πτώση της στάθμης της θάλασσας όταν οι παγετώνες παρουσίαζαν ελάχιστο. Άλλωστε κατά τη διάρκεια των παγετωνικών περιόδων μειώνεται σημαντικά η βροχόπτωση. Π.χ. η τέταρτη παγετωνική περίοδος της Πλειστοκαίνου περιόδου ήταν η ψυχρότερη των 3 προηγούμενων & η ξηρότερη



Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ Μεταβολή της Χημικής Σύστασης της Ατμόσφαιρας

- Κατά τους γεωλογικούς χρόνους η χημική σύσταση της ατμόσφαιρας της Γης μεταβαλλόταν

- Αρκετοί ερευνητές προσπάθησαν να συσχετίσουν μεταβολές του κλίματος κατά τους γεωλογικούς χρόνους με μεταβολές της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου και ειδικά του CO₂ & του CH₄

Εικόνα από:

www.naturalclimatechange.us/

- Το CO₂ εισερχόταν στην ατμόσφαιρα μέσω ηφαιστειακών εκρήξεων & από τις θερμοπηγές αλλά και εκρήξεων υποθαλάσσιων ηφαιστειών



Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ Μεταβολή της Χημικής Σύστασης της Ατμόσφαιρας

- Τα τελευταία 650.000 χρόνια η συγκέντρωση του CO₂ φαίνεται να συμβαδίζει με τις μεταβολές της θερμοκρασίας

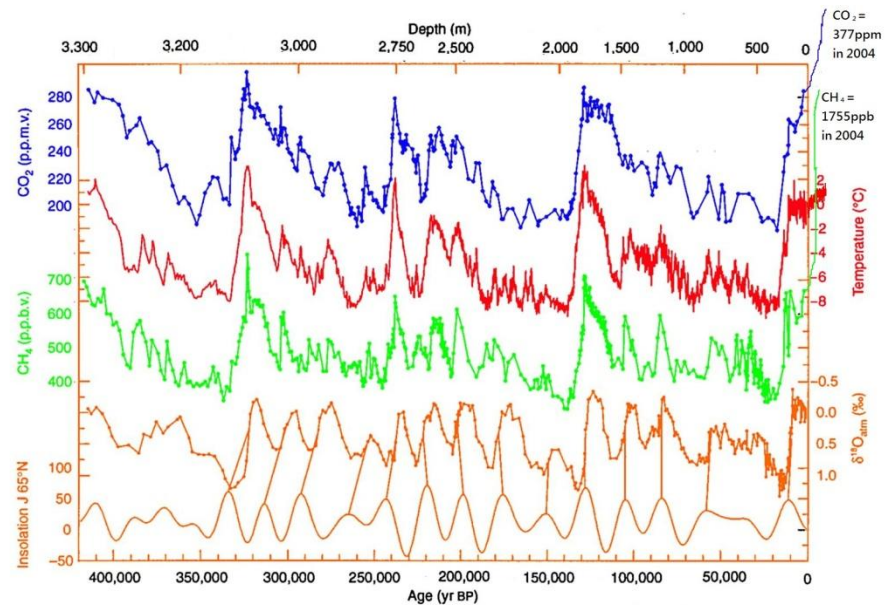
- κατά τις θερμές μεσοπαγετωνικές περιόδους τα επίπεδα του CO₂ είναι υψηλά

- κατά τις περιόδους των παγετώνων τα επίπεδα του CO₂ είναι χαμηλά

- Συχνά οι παράγοντες που προκαλούν μεταβολή του κλίματος μπορούν να προκαλέσουν επιπλέον μεταβολή η οποία αρχικά έχει προκληθεί από άλλα αίτια

- Αυτή η περαιτέρω ενίσχυση της μεταβολής καλείται ανατροφοδότηση ή ανάδραση ή feedback

- Τα αέρια του θερμοκηπίου αποτελούν τέτοιο παράδειγμα



Πηγή:

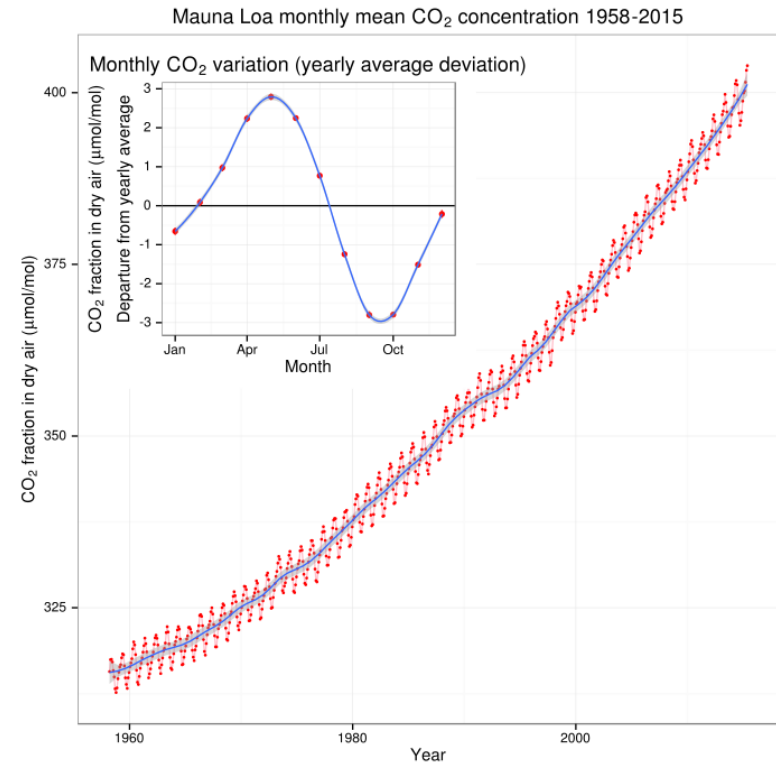
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vostok_420ky_4curves_insolation.



Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ Μεταβολή της Χημικής Σύστασης της Ατμόσφαιρας

- Όταν η θερμοκρασία του πλανήτη είναι αυξημένη τότε οι ωκεανοί απελευθερώνουν CO_2 => εάν για κάποιον άλλο λόγο έχει προκληθεί αύξηση της θερμοκρασίας, τότε η απελευθέρωση CO_2 θα ενισχύσει περαιτέρω την θέρμανση



Πηγή:

https://en.wikipedia.org/wiki/Mauna_Loa_Observatory#/media/File:Mauna_Loa_CO2_monthly_mean_concentration.svg

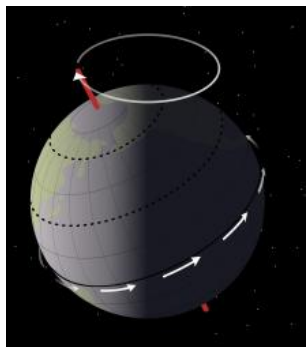
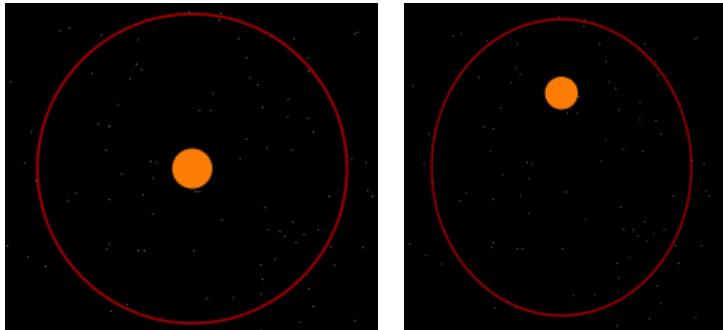
- Αντίθετα, σε περιόδους ψύξης το CO_2 δεσμεύεται από τους ωκεανούς



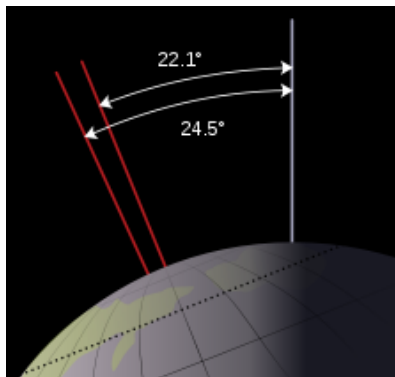
Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ Αστρονομικοί παράγοντες: μεταβολές της τροχιάς της Γης

Εκκεντρότητα της εκλειπτικής (100 Ky)

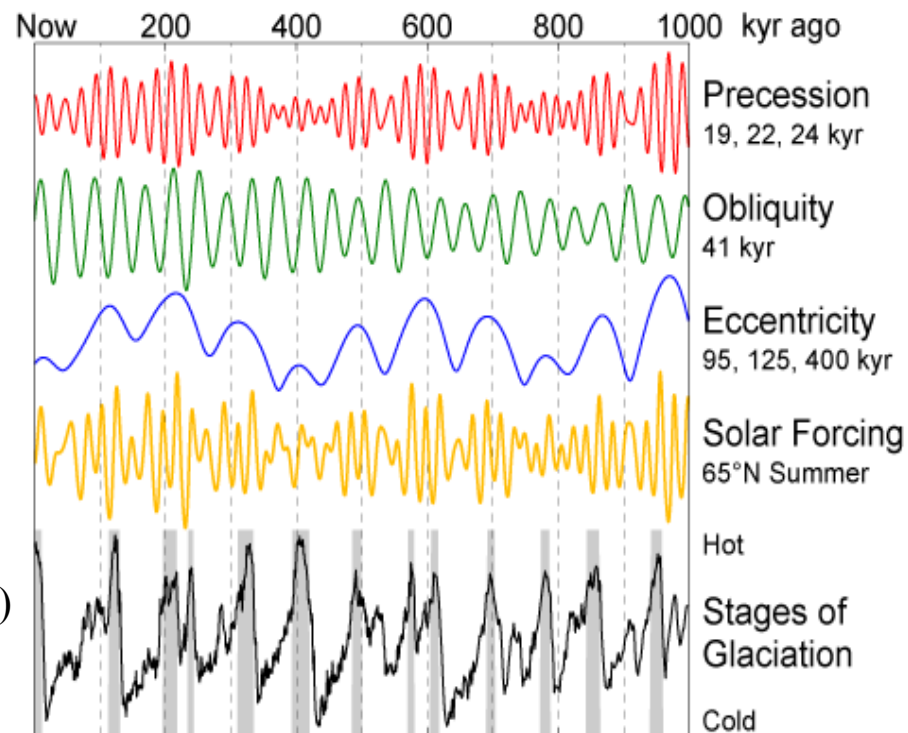


Λόξωση της εκλειπτικής (41 Ky)



Μετάπτωση Ισημεριών ~ (21 Ky)

Κύκλοι Milankovitch



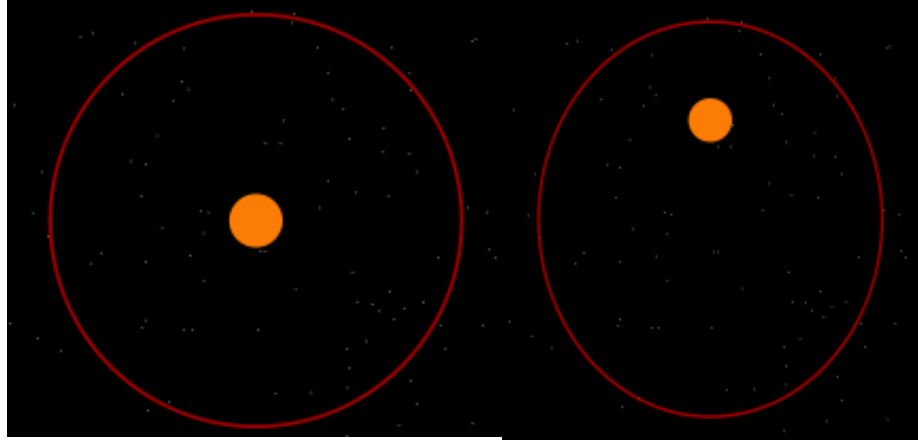
Πηγή:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7e/Milankovitch_Variations.png



Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

- **Αστρονομικοί παράγοντες:** μεταβολές της τροχιάς της Γης - Κύκλοι Milankovitch
 - **Μεταβολές της εκκεντρότητας της τροχιάς της Γης (Eccentricity)**



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles

- Η τροχιά της Γης παρουσιάζει μια περιοδικότητα μεταξύ μιας έλλειψης υψηλής εκκεντρότητας μέχρι μιας σχεδόν κυκλικής τροχιάς (χαμηλή εκκεντρότητα)
- Η μεταβολή εμφανίζει μια περίοδο μεταξύ 90.000 και 100.000 ετών
- Όταν η τροχιά είναι ιδιαίτερα ελλειπτική, το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφανείας που λαμβάνεται στο περιήλιο είναι 20 έως 30% μεγαλύτερη από ό,τι στο αφήλιο =>
=> ένα διαφορετικό κλίμα από αυτό που έχουμε σήμερα.

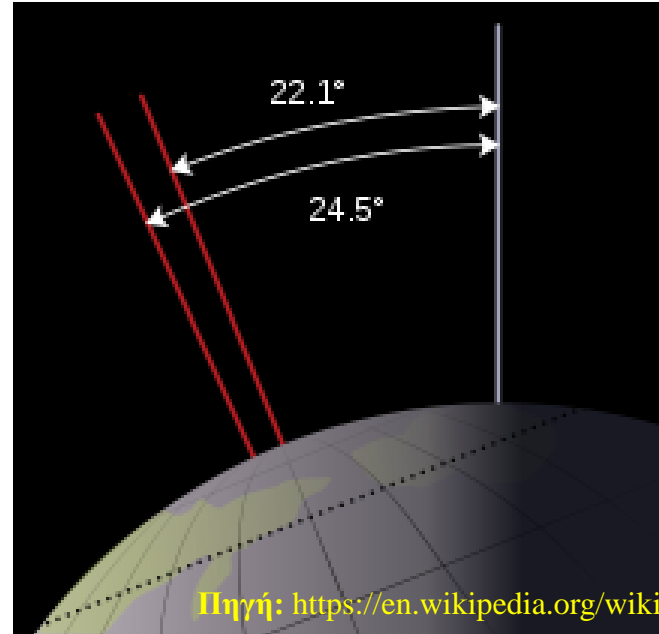


Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ **Αστρονομικοί παράγοντες:** μεταβολές της κίνησης της Γης - Κύκλοι Milankovitch

■ **Μεταβολές της λόξωσης της εκλειπτικής ή της κλίσης του άξονα (Obliquity)**

- Η γωνία του άξονα περιστροφής της Γης μεταβάλλεται μεταξύ 22.1° και 24.5° μια περίοδο περίπου 42.000 ετών



- Η μείωση της γωνίας από την τρέχουσα τιμή των 23.45° σημαίνει λιγότερες εποχιακές διαφορές μεταξύ του βόρειου και νότιου ημισφαιρίου ενώ
- Μεγαλύτερη γωνία σημαίνει μεγαλύτερες εποχιακές διαφορές (δηλ. θερμότερα καλοκαίρια και ψυχρότερους χειμώνες)

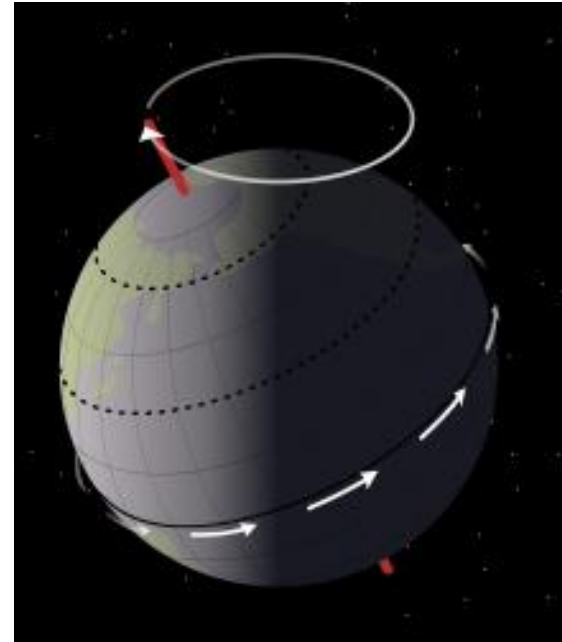


Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ **Αστρονομικοί παράγοντες:** μεταβολές της τροχιάς της Γης - Κύκλοι Milankovitch

■ Μετάπτωση ισημεριών (Precession)

- Οι μεταβολές στην κατεύθυνση (προσανατολισμό) του άξονα περιστροφής της Γης αλλάζουν τις ημερομηνίες του περιηλίου και του αψηλίου

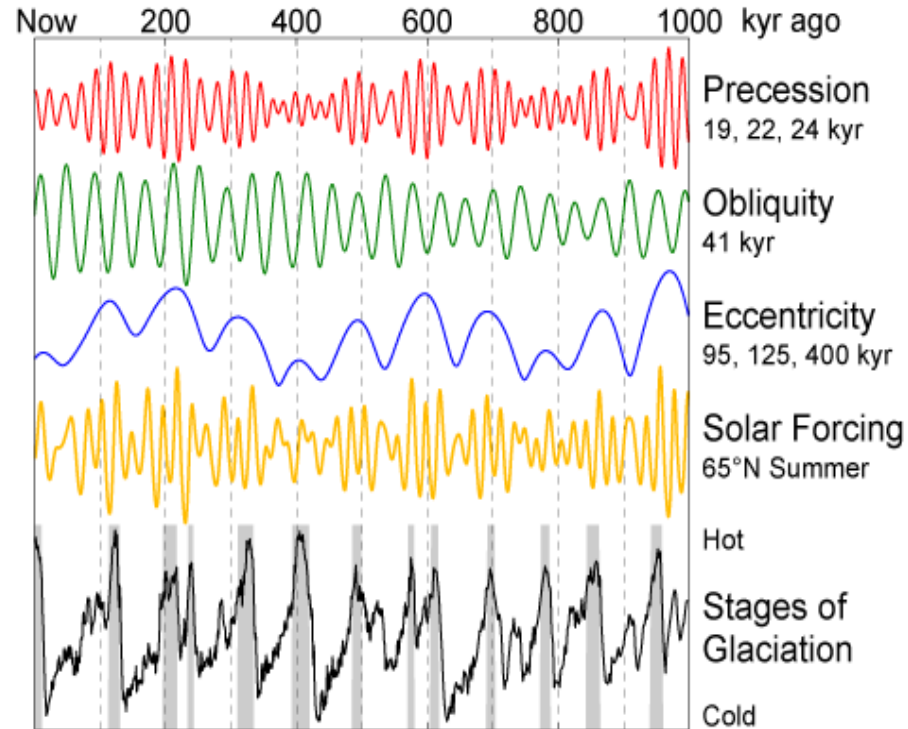
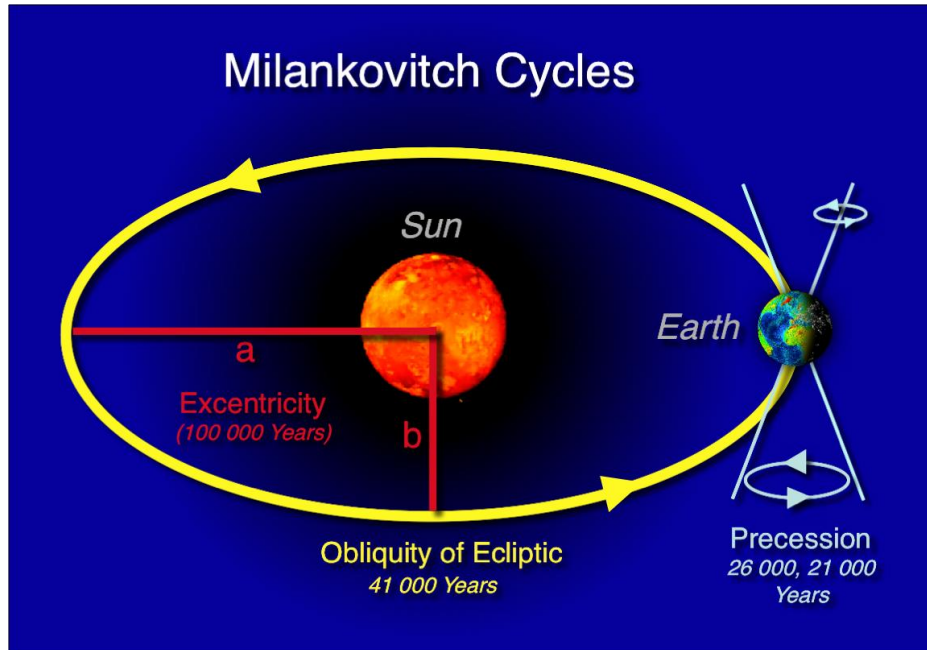


Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles

- Συνέπεια αυξάνει η εποχιακή αντίθεση στο ένα ημισφαίριο και μειώνουν την εποχιακή αντίθεση στο άλλο ημισφαίριο
- Η περίοδος μετάπτωσης είναι περίπου 26.000 χρόνια =>
=> σε 12.000 χρόνια από τώρα το βόρειο ημισφαίριο θα έχει καλοκαίρι το Δεκέμβριο και χειμώνα τον Ιούνιο

Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ Μεταβολές της τροχιάς της Γης (Κύκλοι Milankovitch)



Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Milankovitch-cycles_hg.png

Πηγή: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7e/Milankovitch_Variations.png

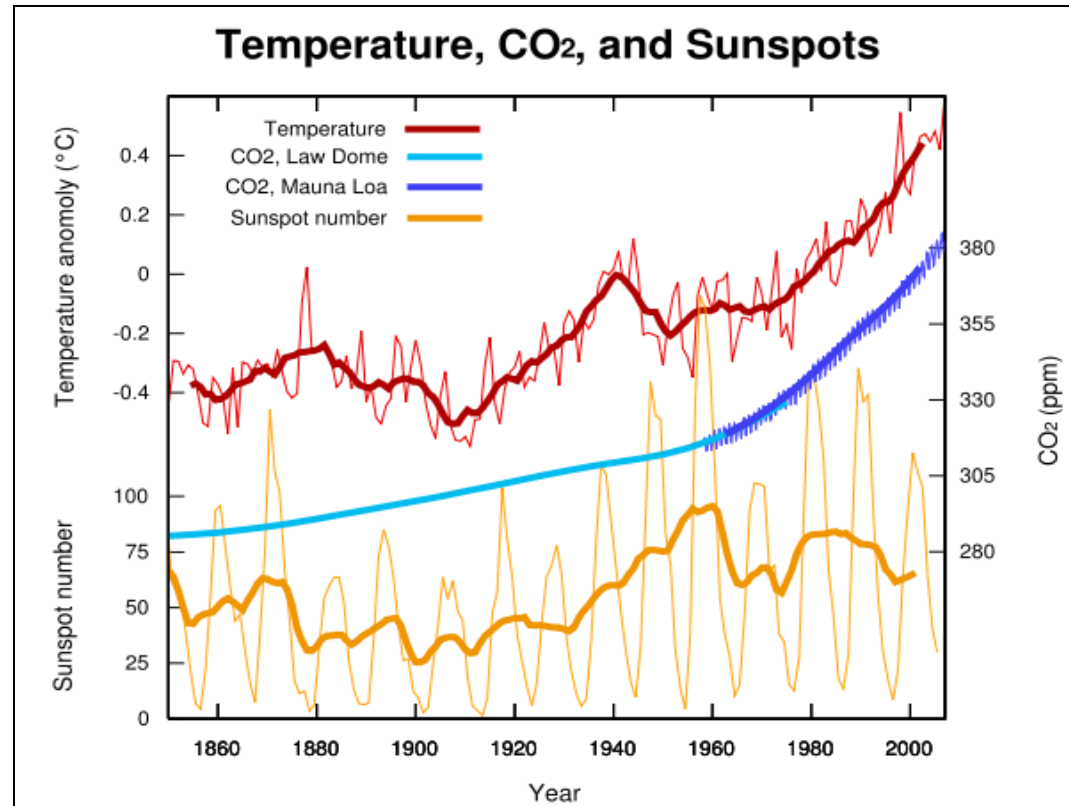
- Συνδυαζόμενες οι μεταβολές της τροχιάς της Γης φαίνεται να συσχετίζονται με μεταβολές του κλίματος
- Φαίνεται ότι περίοδοι μικρής εκκεντρότητας συνδέονται με περιόδους παγετώνων



Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ Αστρονομικοί παράγοντες: ηλιακή δραστηριότητα

- Ερευνητές έχουν συνδέσει μεταβολές του κλίματος στο παρελθόν με μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στον πλανήτη & κατά συνέπεια με μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας
- Πιστεύεται ότι κύκλοι του κλίματος οφείλονται στις μεταβολές της ακτινοβολίας που προέρχονται από διαταραχές της δράσης των ηλιακών κηλίδων



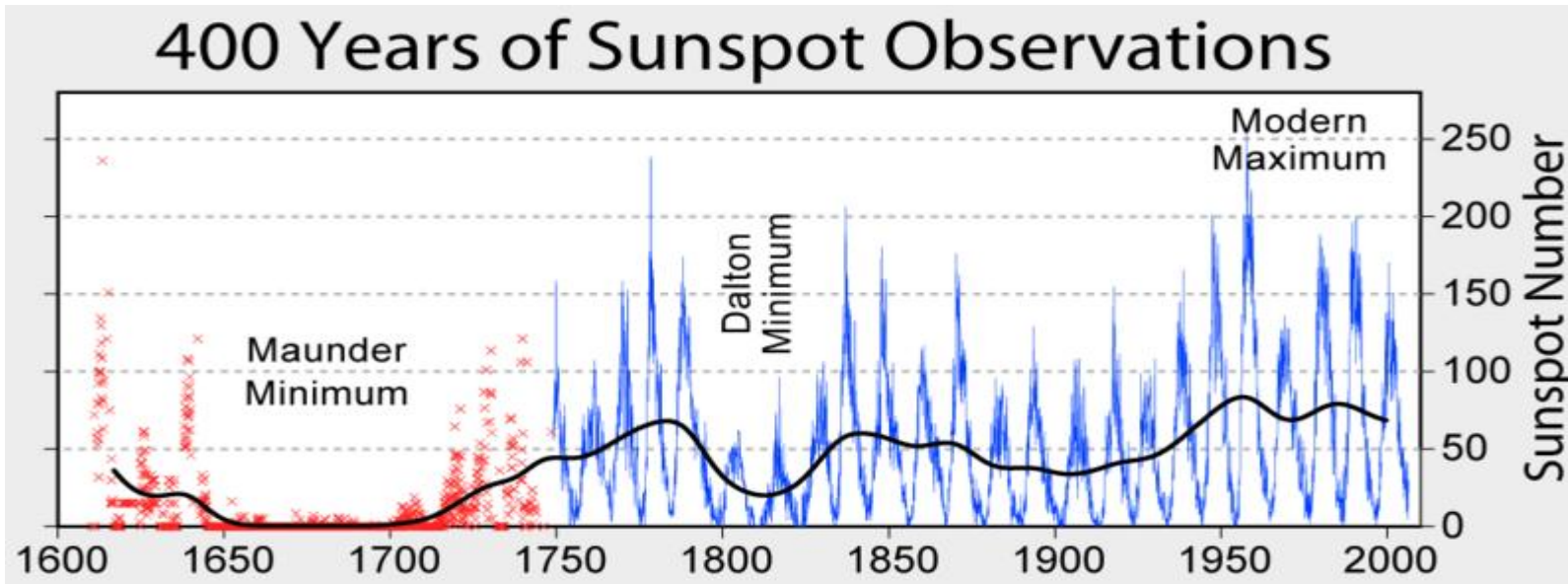
Πηγή: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7b/Temp-sunspot-co2.svg/2000px-Temp-sunspot-co2.svg.png>

- Πιστεύεται ότι η ομαλή ηλιακή δραστηριότητα μπορεί να εξηγήσει τους κύκλους του κλίματος που παρατηρήθηκαν από την αρχή της Πλειστοκαίνου εποχής μέχρι σήμερα
- Ορισμένες φορές η επίδραση της δραστηριότητας των ηλιακών κηλίδων στις μεταβολές του κλίματος είναι σημαντικά δυσδιάκριτη



Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ Αστρονομικοί παράγοντες: ηλιακή δραστηριότητα



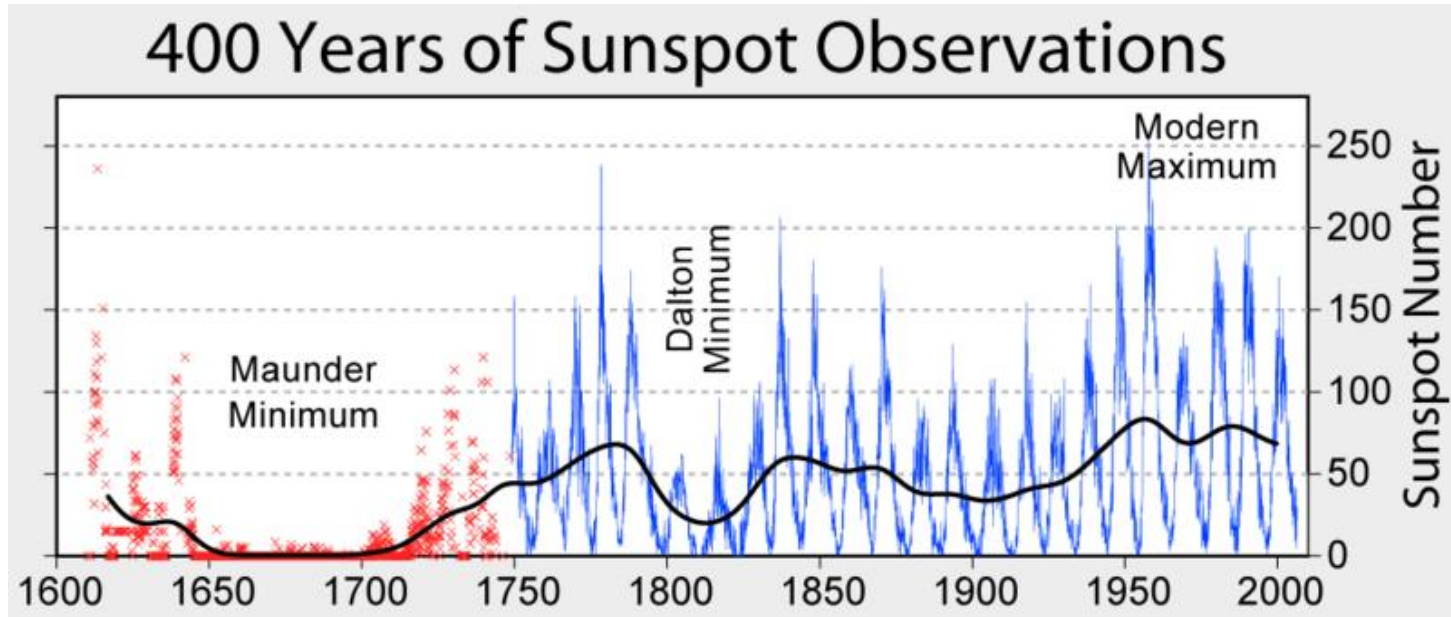
Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Sunspot#/media/File:Sunspot_Numbers.png

- Αναλύοντας την δραστηριότητα των ηλιακών κηλίδων (αριθμός wolf) προκύπτουν δύο περιοδικές μεταβολές
 - Μία με περίοδο 11 περίπου ετών (ή 22 για έναν πλήρη κύκλο)
 - Μία άλλη με περίοδο 80 περίπου ετών η οποία χαρακτηρίζεται από βαθμιαία αύξηση του μεγίστου των ηλιακών κηλίδων
- Ο διπλός κύκλος των 22 ετών είναι σαφώς μικρότερος σε σχέση με αυτόν των 80 ετών και η σύνδεση του με κλιματικές μεταβολές δεν είναι πάντοτε προφανής



Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

➤ Αστρονομικοί παράγοντες: ηλιακή δραστηριότητα



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Sunspot#/media/File:Sunspot_Numbers.png

- Υπάρχει σημαντική συζήτηση μεταξύ των ερευνητών για το κατά πόσο ο κύκλος της δραστηριότητας των κηλίδων μπορεί να συσχετιστεί με τις μεταβολές του κλίματος
- Το ελάχιστο των ηλιακών κηλίδων της περιόδου 1645-1715 (**Maunder minimum**) συμπίπτει με το μέγιστο της μικρής παγετωνικής περιόδου (**Little Ice Age**)
- Γενικά ο κύκλος των ηλιακών κηλίδων είναι 'μικρός' για να εξηγήσει μεγάλης κλίμακας κλιματικές μεταβολές όπως οι παγετωνικές περιόδοι. Μεταβολές τέτοιας κλίμακας ερμηνεύονται καλύτερα από τους κύκλους Milankovitch



Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

- Οι μεταβολές του κλίματος στο παρελθόν διακρίνονται σε:
 - Μεγάλης κλίμακας μεταβολές (της τάξης των 100-αδων εκατομμυρίων ετών) ➔ ερμηνεύονται κυρίων από τις θεωρίες μετακίνησης των τεκτονικών πλακών
+
άλλοι παράγοντες
 - Μέσης κλίμακας μεταβολές (της τάξης του 1 εκατομμυρίου ετών) ➔ ερμηνεύονται κυρίων από μεταβολές της τροχιάς της Γης (κύκλοι Milankovich)
 - Μικρής κλίμακας μεταβολές (της τάξης των 160.000 ετών)
 - Πρόσφατες μεταβολές (τελευταίοι αιώνες)



Αιτίες των μεταβολών του κλίματος στο παρελθόν

- Συνήθως μία θεωρία (ή αιτία) δεν αρκεί από μόνη της να ερμηνεύσει τις μεταβολές του κλίματος που συνέβησαν κατά τους γεωλογικούς χρόνους
- Μπορεί μία από τις αιτίες που αναλύσαμε να προκάλεσε την έναρξη της κλιματικής μεταβολής αλλά τελικά να έδρασε συνδυασμός παραγόντων
- Π.χ. η μετακίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών μπορεί να συνδυαζόταν με:
 - ηφαιστειακές εκρήξεις (εισαγωγή σκόνης στην ατμόσφαιρα
 - μεταβολή της ωκεάνιας κυκλοφορίας
 - εντατικοποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου λόγω εισαγωγής στην ατμόσφαιρα ποσοτήτων αερίων του θερμοκηπίου)
- Άλλοι παράγοντες που συνδυάζονται με τα αίτια που αναφέραμε πριν είναι:
 - Τα επίπεδα σκόνης (σωματίδια στην ατμόσφαιρα)
 - Μεταβολή της ανακλαστικότητας των μόνιμων παγετώνων
 - Μεταβολή της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου
 - Μεταβολή των χαρακτηριστικών & του ποσού της νέφωσης



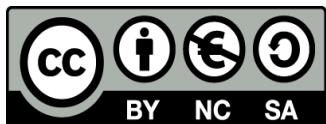
Σημειώματα

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση: **1.**

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright: Πανεπιστήμιο Πατρών, **Αγγελική Φωτιάδη, 2014. Αγγελική Φωτιάδη.**
«Φαινόμενο του Θερμοκηπίου και Κλιματικές Μεταβολές. 6^η ενότητα». Έκδοση:
1.0. Αργίτιο 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή
διεύθυνση:<https://eclass.upatras.gr/courses/ENV119/>

Σημείωμα Αδειοδότησης



Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης
Creative Commons

**«Το υλικό της παρουσίασης προέρχεται από τις πανεπιστημιακές
παραδόσεις της καθηγήτριας Α. Φωτιάδη».**

ΣΗΜΕΙΩΜΑ ΧΡΗΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΤΡΙΤΩΝ

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Διαφάνεια 6: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/2/29/Gripsaw.jpg>

https://en.wikipedia.org/wiki/Ice_core#/media/File:GISP2D1837_crop.jpg

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/31/GISP2_1855m_ice_core_layers.png

<http://creationwiki.org/File:Icecore.jpg>

http://climate.nasa.gov/system/internal_resources/details/original/384_470904main_DRILL.jpg

Διαφάνεια 7:

https://en.wikipedia.org/wiki/European_Project_for_Ice_Coring_in_Antarctica#/media/File:EPICA_delta_D_plot.svg

Διαφάνεια 8: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9d/Epica-vostok-grip-140kyr.png>

Διαφάνεια 10: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vostok_420ky_4curves_insolation.

Διαφάνεια 21:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5c/Pangaea_to_present.gif

Διαφάνεια 22:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f2/SubductionDelamination.JPG>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/29/Active_Margin.svg/1280px-Active_Margin.svg.png

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/Continental-continental_convergence_Fig21contcont.gif

Διαφάνεια 23:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fe/Sarychev_Volcano_edit.jpg

Διαφάνεια 24: <https://en.wikipedia.org/wiki/Volcano>

- https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_change#/media/File:Msu_1978-2010.jpg

Διαφάνεια 25:

https://en.wikipedia.org/wiki/Thermohaline_circulation#/media/File:Thermohaline_Circulation_2.png

Διαφάνεια 26,27,28:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b0/Thermohaline_circulation.png

Διαφάνεια 29.30:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a6/Conveyor_belt.svg/2000px-Conveyor_belt.svg.png

Διαφάνεια 32: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vostok_420ky_4curves_insolation.

Διαφάνεια 33:

https://en.wikipedia.org/wiki/Mauna_Loa_Observatory#/media/File:Mauna_Loa_CO2_monthly_mean_concentration.svg

Διαφάνεια 34: https://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7e/Milankovitch_Variations.png

Διαφάνεια 35,36,37: https://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles

Διαφάνεια 38: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Milankovitch-cycles_hg.png

[-https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7e/Milankovitch_Variations.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7e/Milankovitch_Variations.png)

Διαφάνεια 39: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7b/Temp-sunspot-co2.svg/2000px-Temp-sunspot-co2.svg.png>

Διαφάνεια 40,41: https://en.wikipedia.org/wiki/Sunspot#/media/File:Sunspot_Numbers.png