

Ηλιακές και κοσμικές επιδράσεις στην Ατμόσφαιρα και το κλίμα της Γης

Στέργιος Μήσιος

Κέντρο Ερεύνης Φυσικής της Ατμοσφαίρας και Κλιματολογίας
Ακαδημία Αθηνών

Το Κέντρο Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Κλιματολογίας



Ιδρύθηκε το 1977 από τη Σύγκλητο της Ακαδημίας Αθηνών και τον Ηλία Γ. Μαριολόπουλο. Ο Καθηγητής Χρήστος Ζερεφός διορίστηκε ως πρώτος Διευθυντής.

Το κέντρο διεξάγει έρευνα σε:

- Κλιματική μεταβλητότητα σε διαφορετικές χωρικές και χρονικές κλίμακες
- Παρατηρήσεις, μοντελοποίηση και παρακολούθηση περιβαλλοντικών μεταβλητών
- Τηλεπισκόπηση, μοντελοποίηση και παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των αερολυμάτων
- Κλιματική αλλαγή και προσαρμογή
- Συμβουλευτικές υπηρεσίες προς την κυβέρνηση και τις περιφερειακές αρχές

Research Centre for Atmospheric Physics and Climatology

Welcome to Research Centre for Atmospheric Physics and Climatology



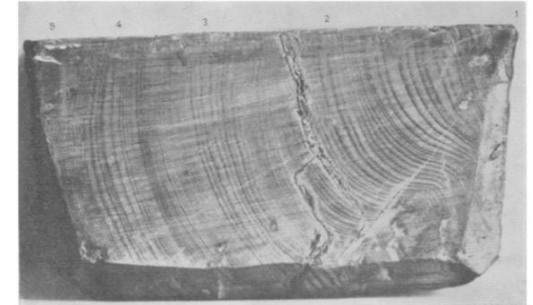
Μήπως ο Παρθενώνας δείχνει την επίδραση του Ήλιου στη βροχόπτωση ;



Elias Mariolopoulos 1900-1991



Ξύλινα εμπόλια από αρχαίο κυπαρίσσι (600 BC) στους στύλους του Παρθενώνα.



FLUCTUATION OF RAINFALL IN ATTICA DURING THE YEARS OF THE ERECTION OF THE PARTHENON

by ELIAS G. MARIOLOPOULOS (*)

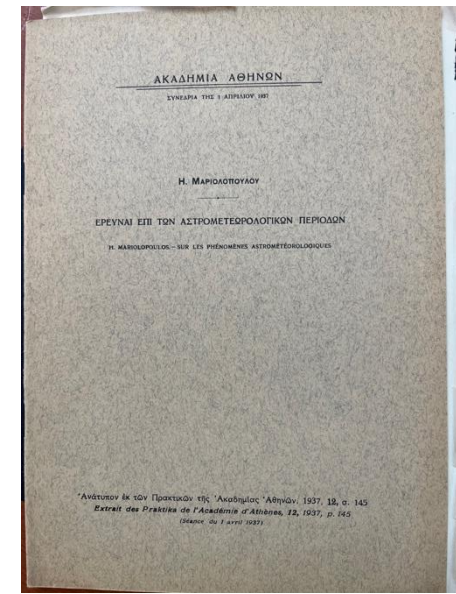
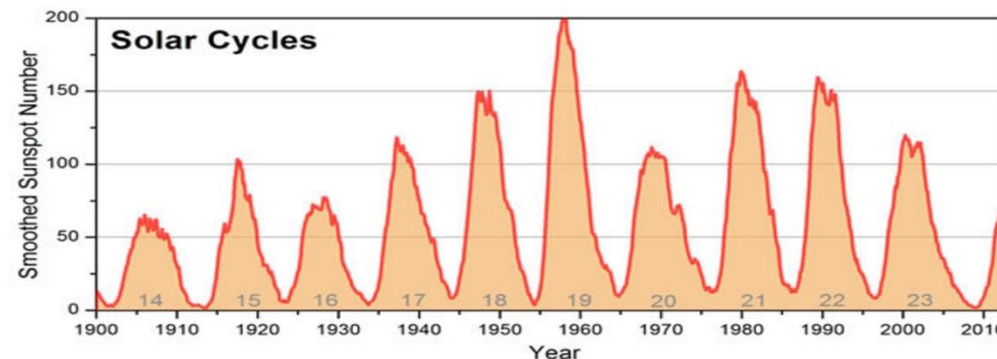
Conclusions.

1. In the course of about two hundred years, which elapsed before 440 B.C., i.e. nearly 2,600 years ago, the rings of the blocks of the Parthenon show great and distinct changes in their width; these betray the proportionate changes in rainfall and are periodical.

2. The periods of these changes verify the existence in rainfall 2,600 years ago on the one hand of BRÜCKNER's 35-year period and, on the other hand, of the 11-year period, which correspond to the same periods of the sunspots and verify the close relation of rainfall with them. The mean values of the above-mentioned two periods are 34.5 and 11.5 years respectively.

Έρευνα επι των αστρομετεωρολογικων περιόδων, 1937

Geofisica pura e applicata, 1962



Θεματολογία

- **Εισαγωγή στο κλίμα και στην ατμόσφαιρα, μηχανισμοί**
- Συνταγές μοντελοποίησης των μηχανισμών
- Επιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας
- Επιδράσεις των ηλιακών πρωτονίων
- Επιδράσεις των κοσμικών ακτίνων
- Cosmic Watch detector



Κλίμα, κλιματική μεταβλητότητα, και κλιματική αλλαγή

Κλίμα είναι η μέση κατάσταση για μια μεγάλη περίοδο (π.χ. 30 χρόνια, WMO)

Xarray.mean()

Κλιματική μεταβλητότητα είναι οι χωρικές και χρονικές μεταβολές των στατιστικών παραμέτρων του κλίματος

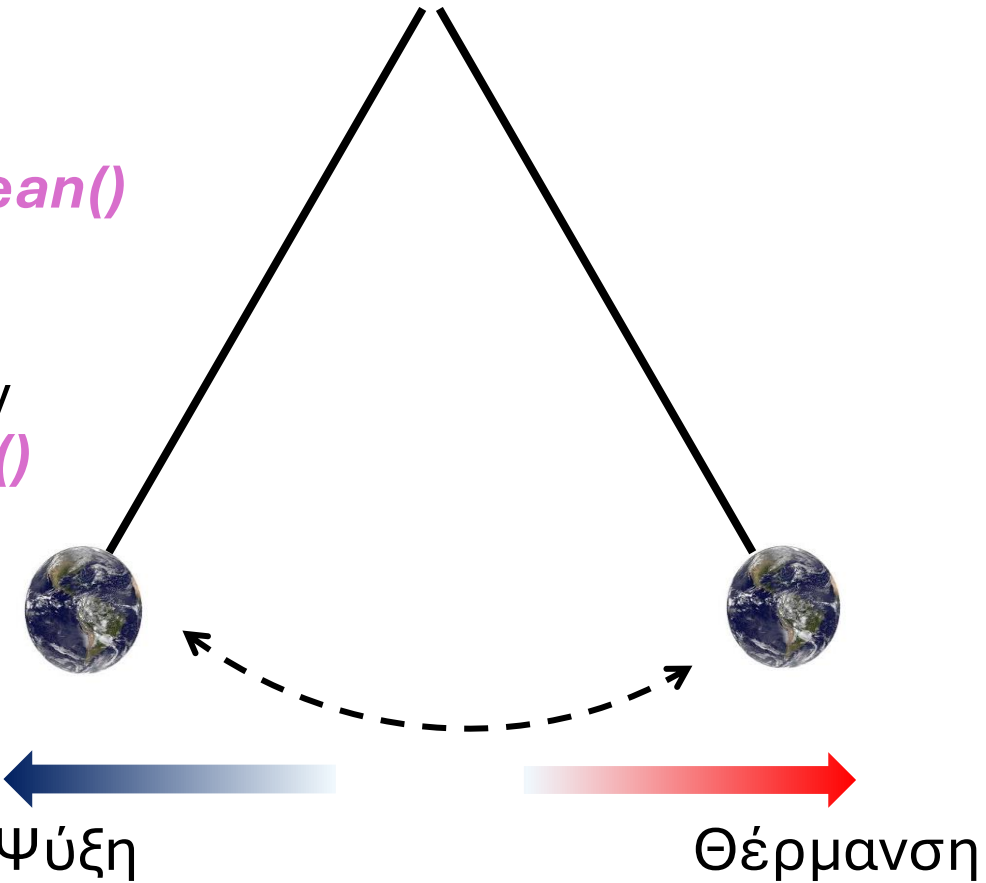
Xarray.std()

Κυρίως θεωρούμε ότι ευθύνονται οι εσωτερικοί μηχανισμοί του κλιματικού συστήματος

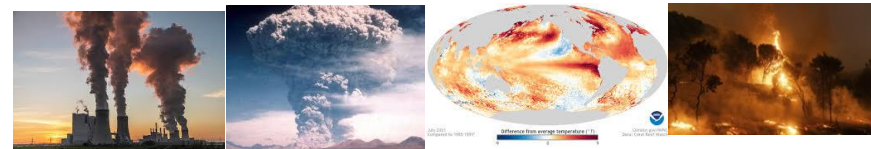
Κλιματική αλλαγή είναι στατιστικά σημαντικές αποκλίσεις της μέσης κατάστασης του κλίματος ή της μεταβλητότητάς του.

Κυρίως θεωρούμε τις μεταβολές λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων

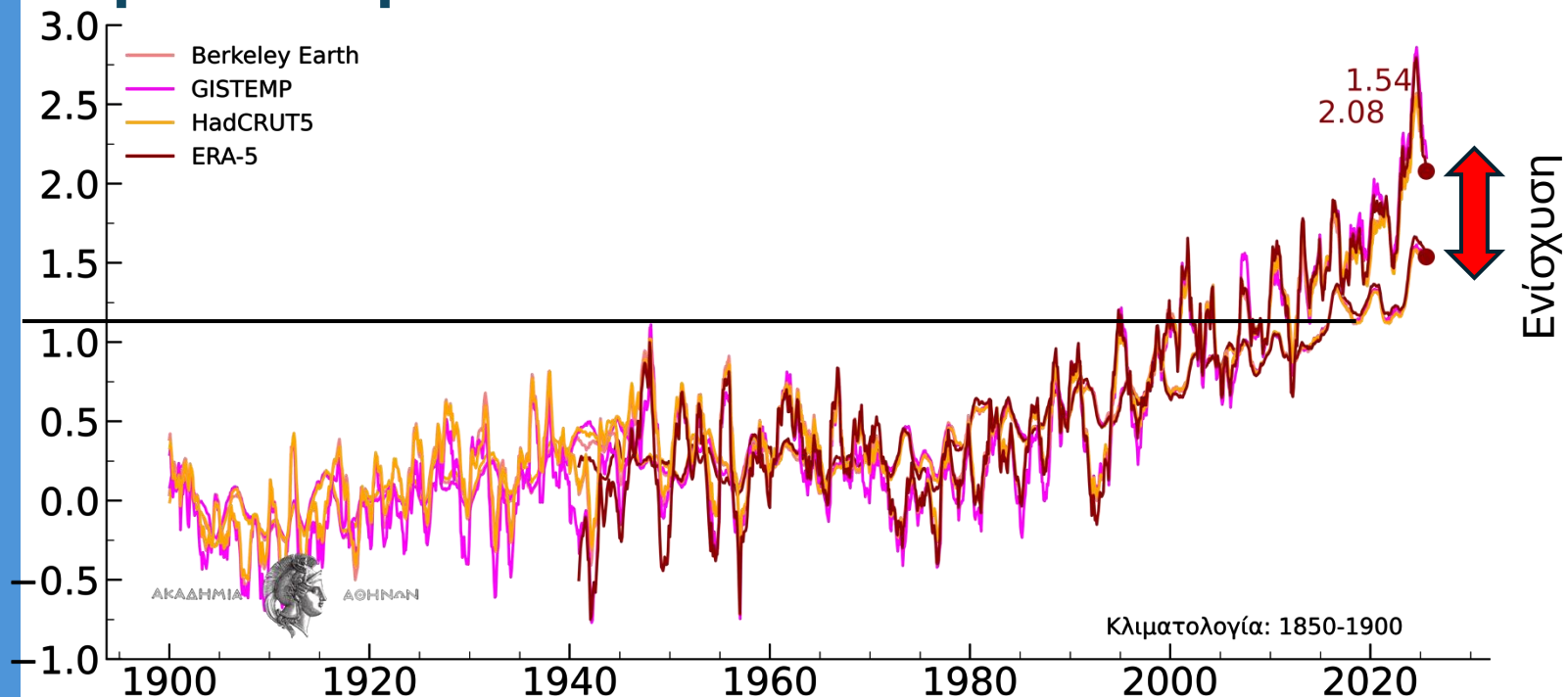
Xarray.polyfit()



Η Γη θερμαίνεται... Η Μεσόγειος ακόμη περισσότερο...



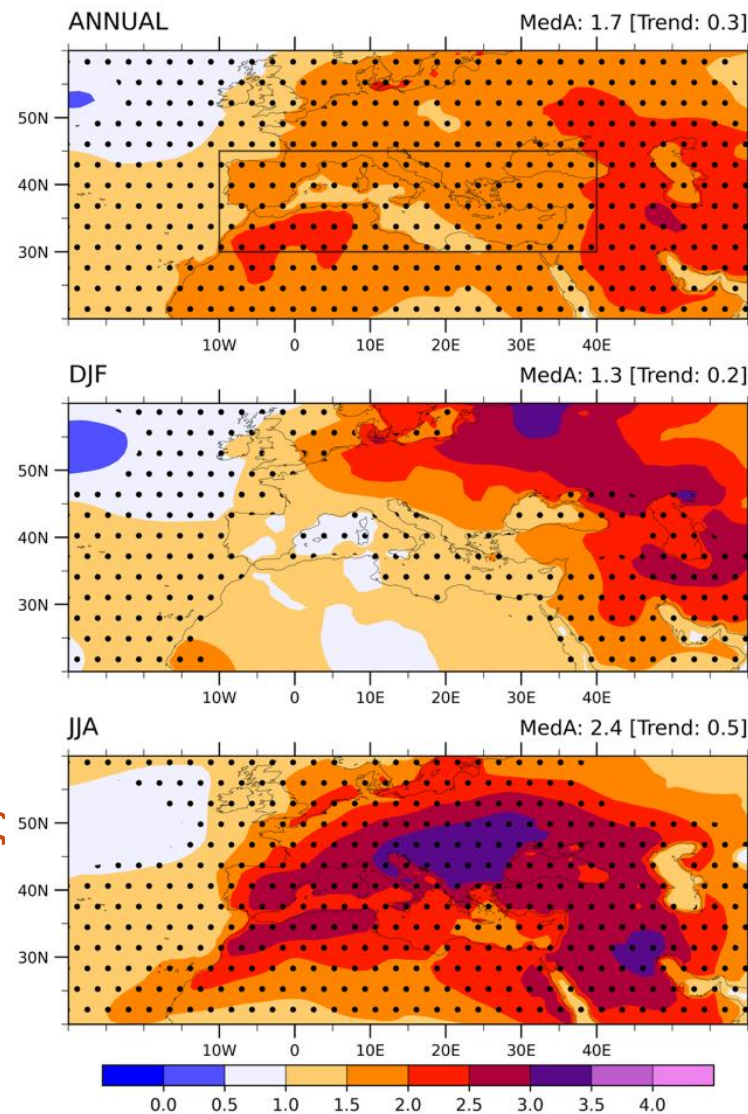
12 μήνες κυλιόμενη μέση τιμή

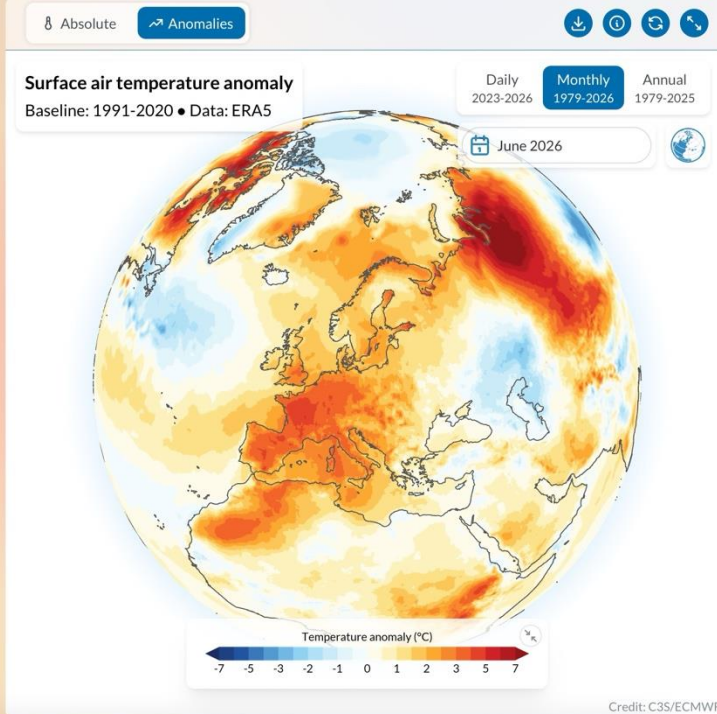
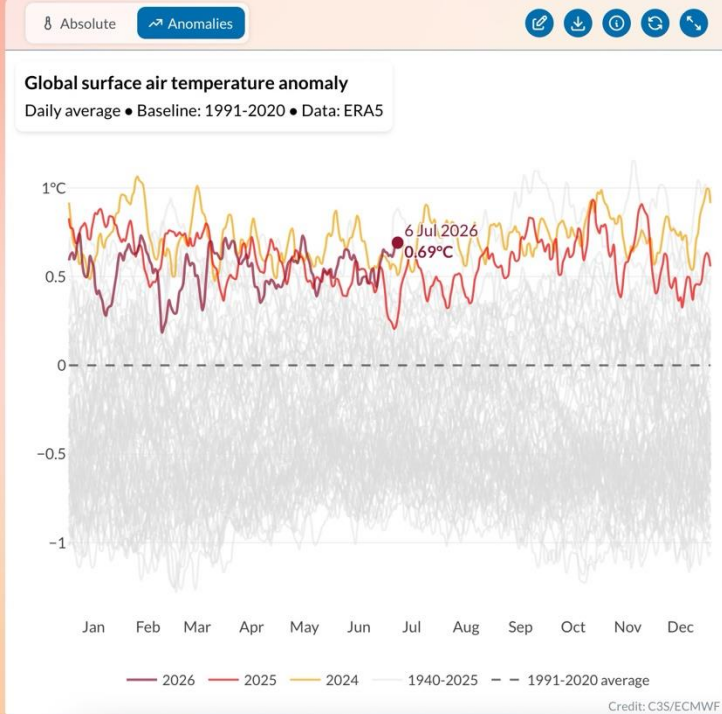


Το 2024 επιβεβαιώθηκε από την C3S ως η θερμότερη χρονιά που έχει καταγραφεί παγκοσμίως. Η Μεσόγειος έφτασε σχεδόν τους +3 °C και στη συνέχεια υποχώρησε, παραμένοντας όμως αρκετά πάνω από τους 1,5 °C.

Ισχυρότερη τάση θέρμανσης το καλοκαίρι (Cos et al., 2022).

Berkeley Earth Amplification (1970-2024)





The Climate Pulse June 2026

<https://pulse.climate.copernicus.eu/>

ClimateHub
<https://climatehub.gr/>

ClimateHub ClimateHub Portal Αρχική Εταίροι Νέα Κλιματικό Λεξικό Επικοινωνία

Κόμβος πληροφόρησης για την
Ενέργεια και την Κλιματική αλλαγή
στην Ελλάδα

Με την υποστήριξη του C3S Copernicus Climate
Change Service National Collaboration Programme
C3S-NCP

Επισκεφτείτε την πλατφόρμα

απόκλιση της επιφανειακής θερμοκρασίας
για την περίοδο 18-30 Ιουνίου 2026

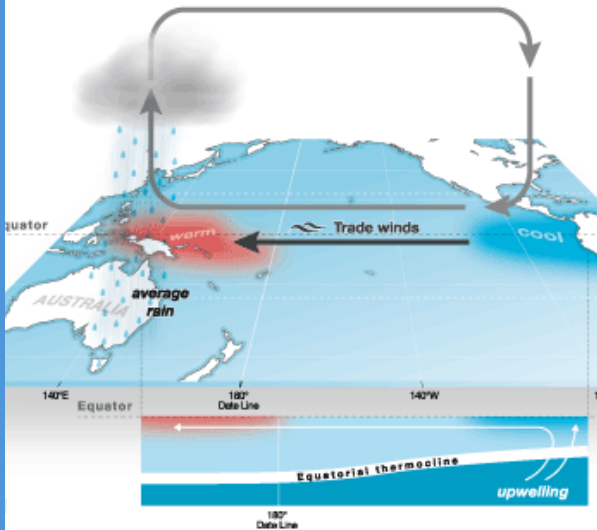


temperatures break 2024 reco
Daily sea surface temperature for 60°S-60°N

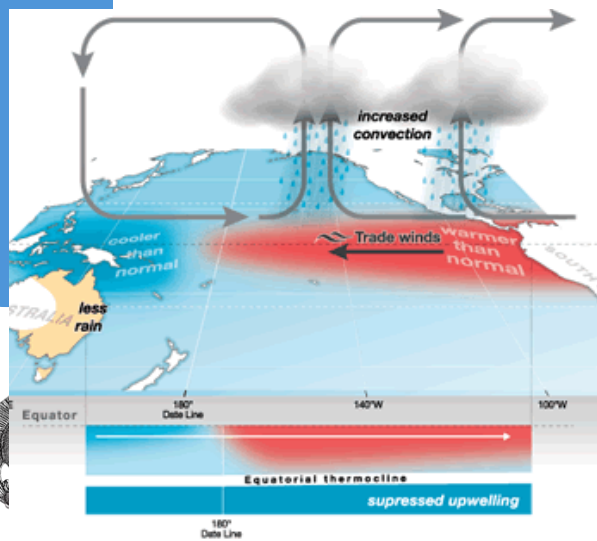


ΕΛ Νίνιο – Νότια κύμανση

Ουδέτερη Φάση



Θετική Φάση



HOME > ΕΙΔΗΣΕΙΣ > Περιβάλλον

Περιβάλλον

Οι επιστήμονες φοβούνται πλέον ένα «Super ΕΛ Νίνιο»

Αν επιβεβαιωθούν οι προβλέψεις, θα πρόκειται για ένα από τα λίγα «Super ΕΛ Νίνιο» που έχουν παρατηρηθεί από τα τέλη του 19ου αιώνα



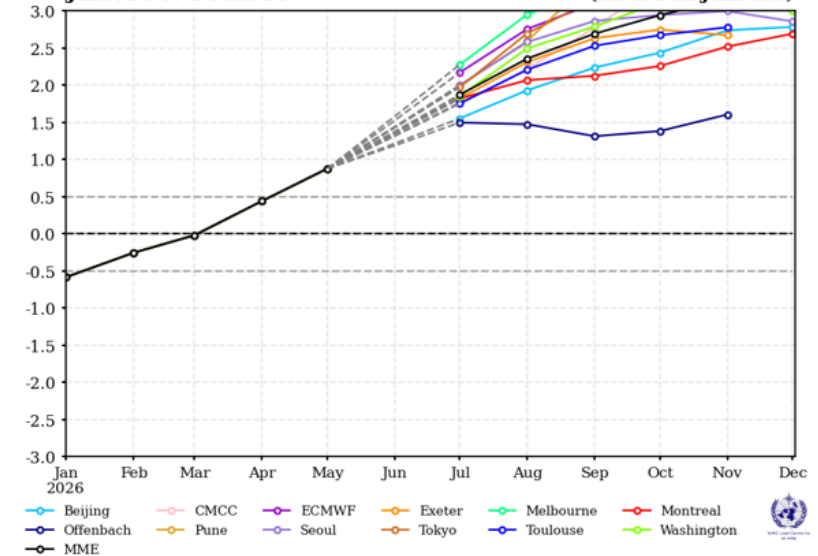
The LiFO team

14.6.2026 | 14:34



Πρόβλεψη για τους επόμενους 6 μήνες

Forecast of Nino3.4
Jul2026 to Dec2026



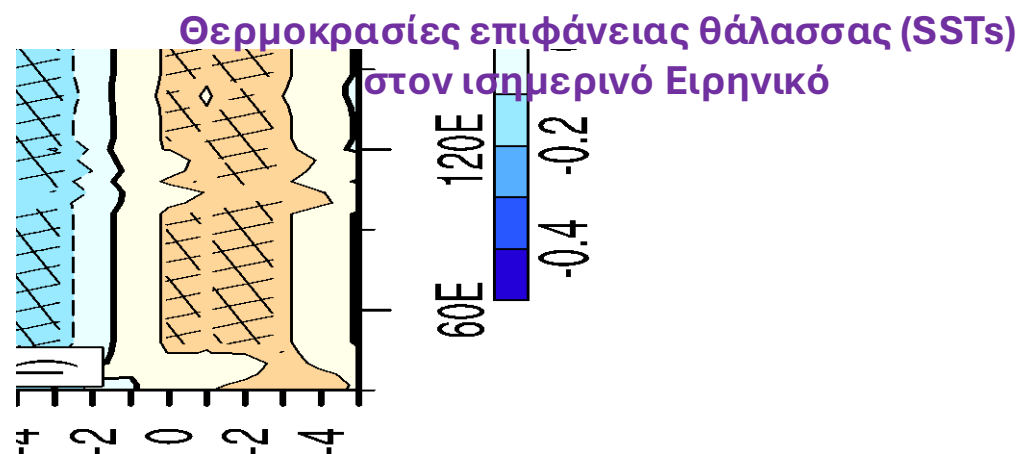
Το **ΕΛ Νίνιο** είναι ένα κλιματικό φαινόμενο που περιγράφει την ασυνήθιστη θέρμανση των επιφανειακών υδάτων στον ανατολικό ισημερινό Ειρηνικό Ωκεανό.

Οι αληγείς άνεμοι και η ατμόσφαιρα επηρεάζονται επίσης από το ΕΛ Νίνιο.

Επίδραση του 11-ετους ηλιακού κύκλου στο Ελ Νίνιο?

Παρατηρήσεις

Η παγκόσμια θερμοκρασία και οι SSTs στον Ειρηνικό υστερούν κατά περίπου δύο χρόνια σε σχέση με τον ηλιακό κύκλο.



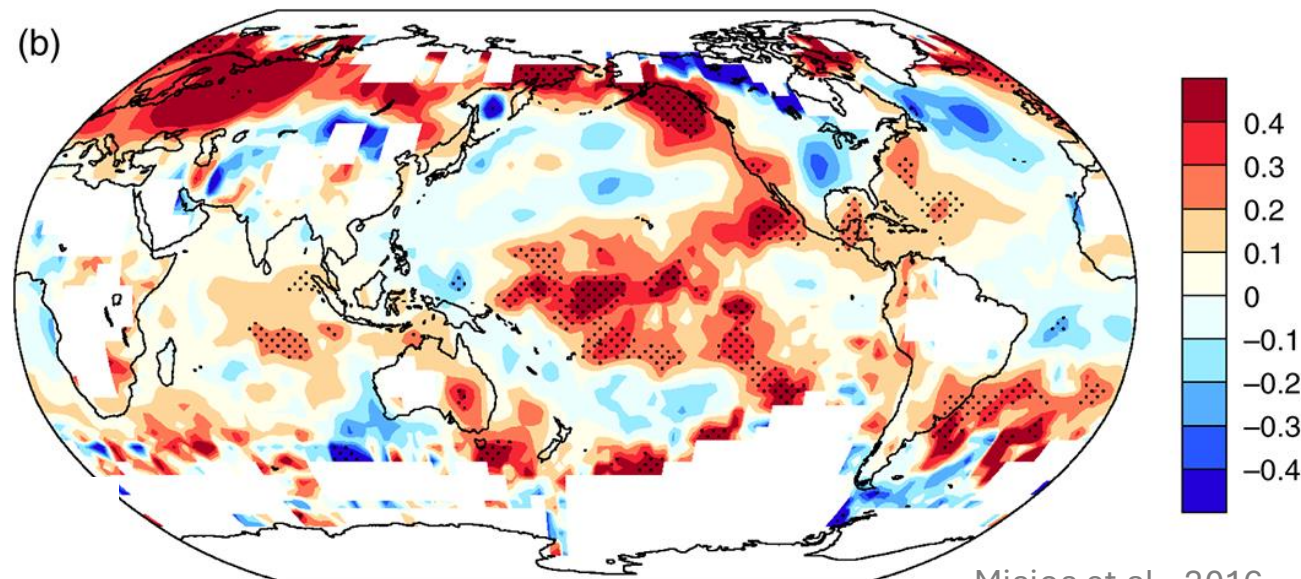
Ινδικός

Ειρηνικός

Misios et al., 2019

HadCRUT4 (lag +2)

(b)

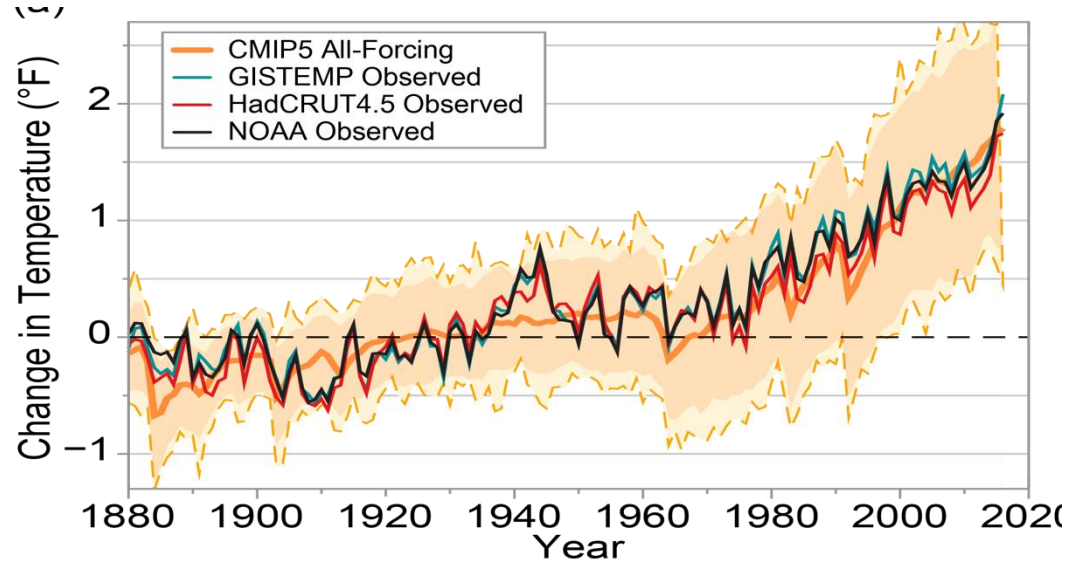


Misios et al., 2016

Αρκτική ενίσχυση και
θερμότερος Ειρηνικός



Παίζει ο Ήλιος σημαντικό ρόλο στην τάση θέρμανσης;



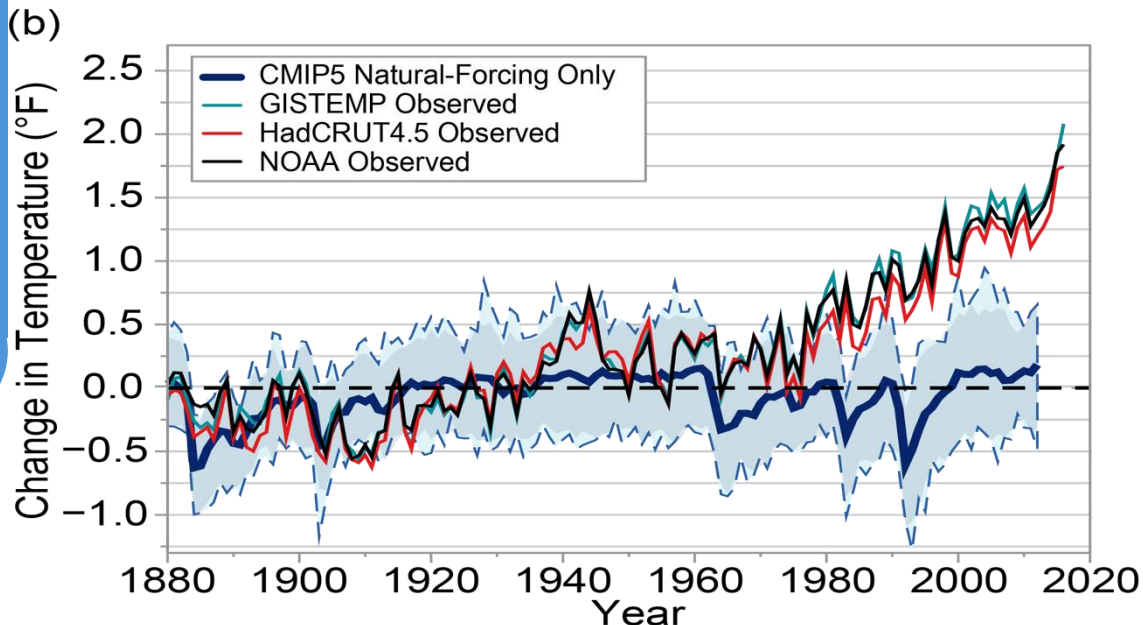
Διαφορετικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι η μεταβλητότητα της ηλιακής δραστηριότητας δεν μπορεί να εξηγήσει τις παρατηρούμενες τάσεις θέρμανσης.

Οι συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου (GHG) μπορούν.

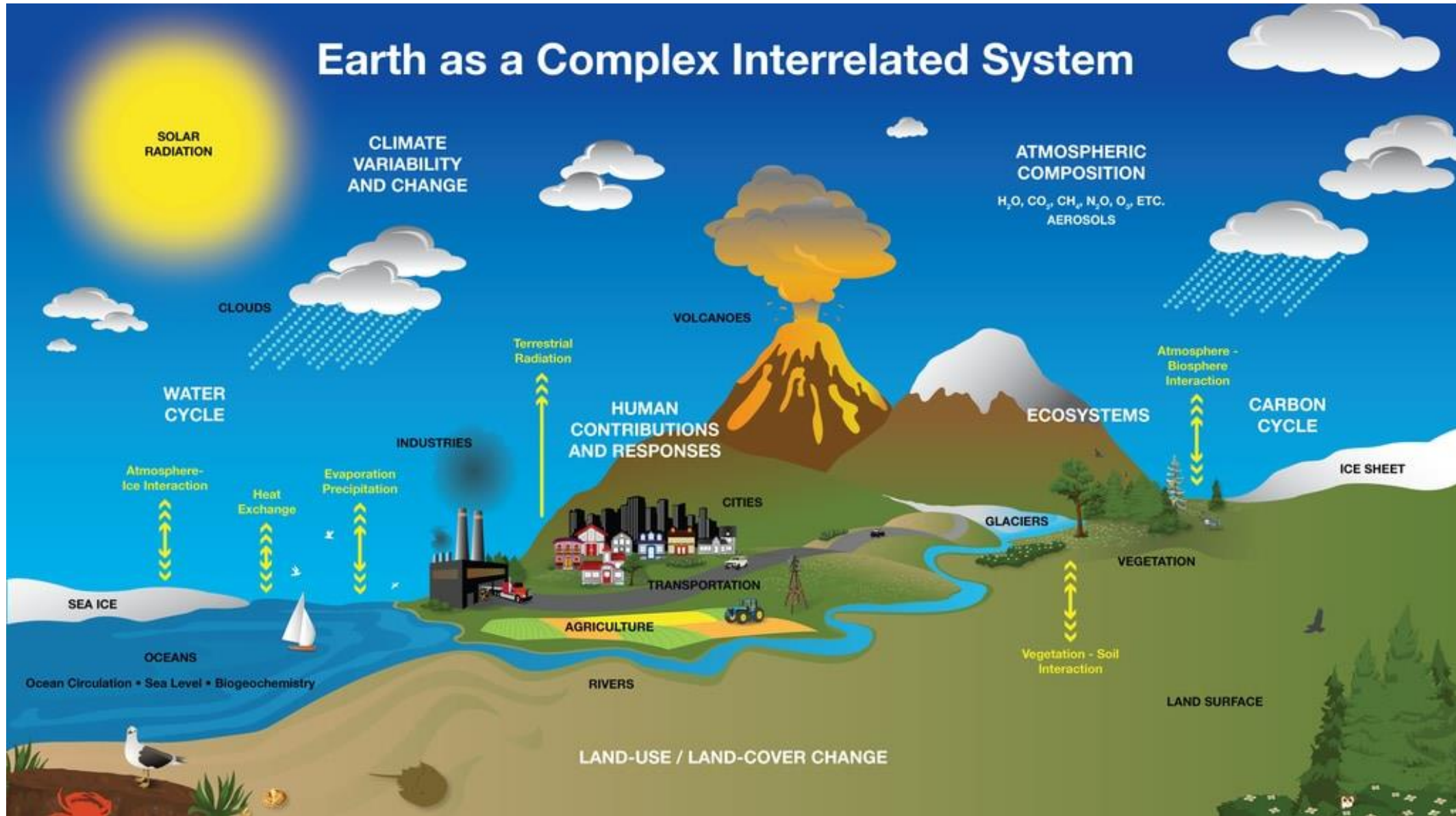
Η ευαισθησία της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας είναι:

$0,05 \text{ K (W m}^{-2}\text{)}^{-1} (0,03-0,09 \text{ K})$

(Misios et al., 2016· Amdur et al., 2021)

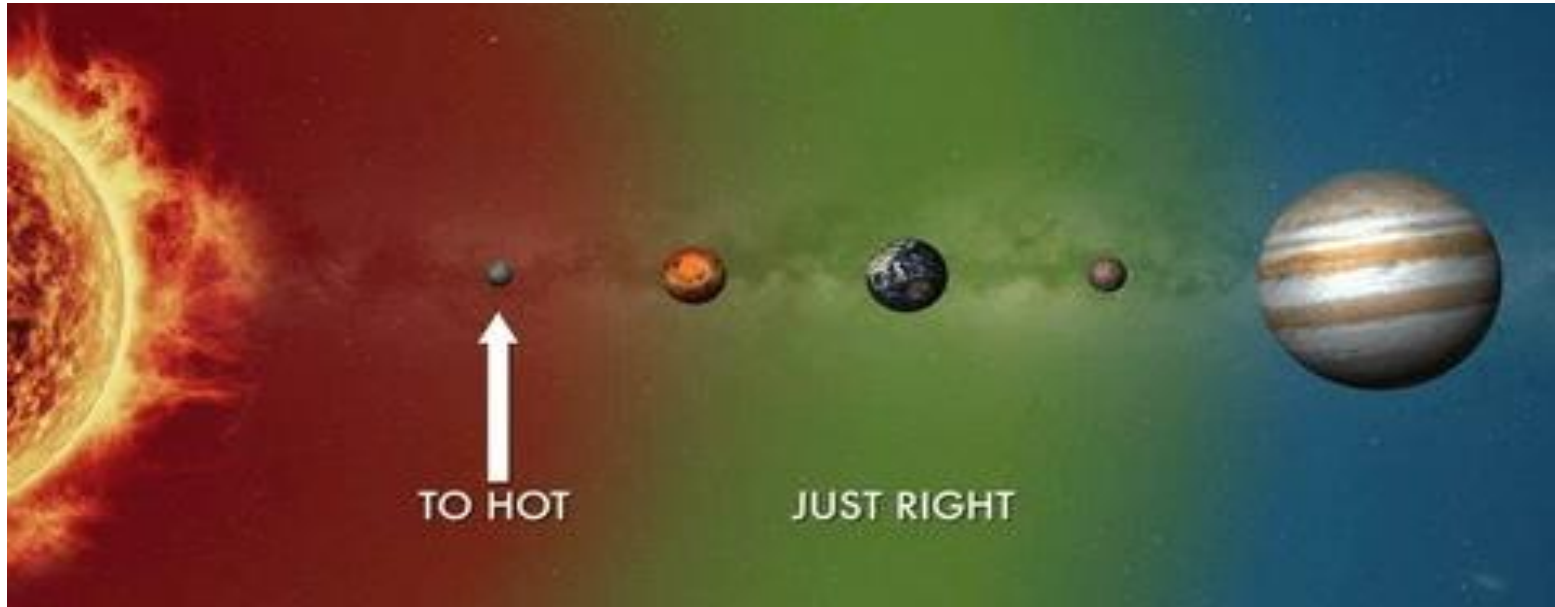


Το Γήινο περιβάλλον



Το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η μέση θερμοκρασία της Γής

Ζώνη βιοδεικτικότητας/διαβίωσης= Υγρό νερό



Ο ήλιος εκπέμπει περί τα 1361 W/m^2

Χωρίς ατμόσφαιρα η Γη θα είχε μέση θερμοκρασία -18 C . Έχει όμως **$+14 \text{ C}$ μέση τιμή**.
Πως εξηγείται?

Η διαφορά των $\sim 32\text{C}$ εξηγείται από το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

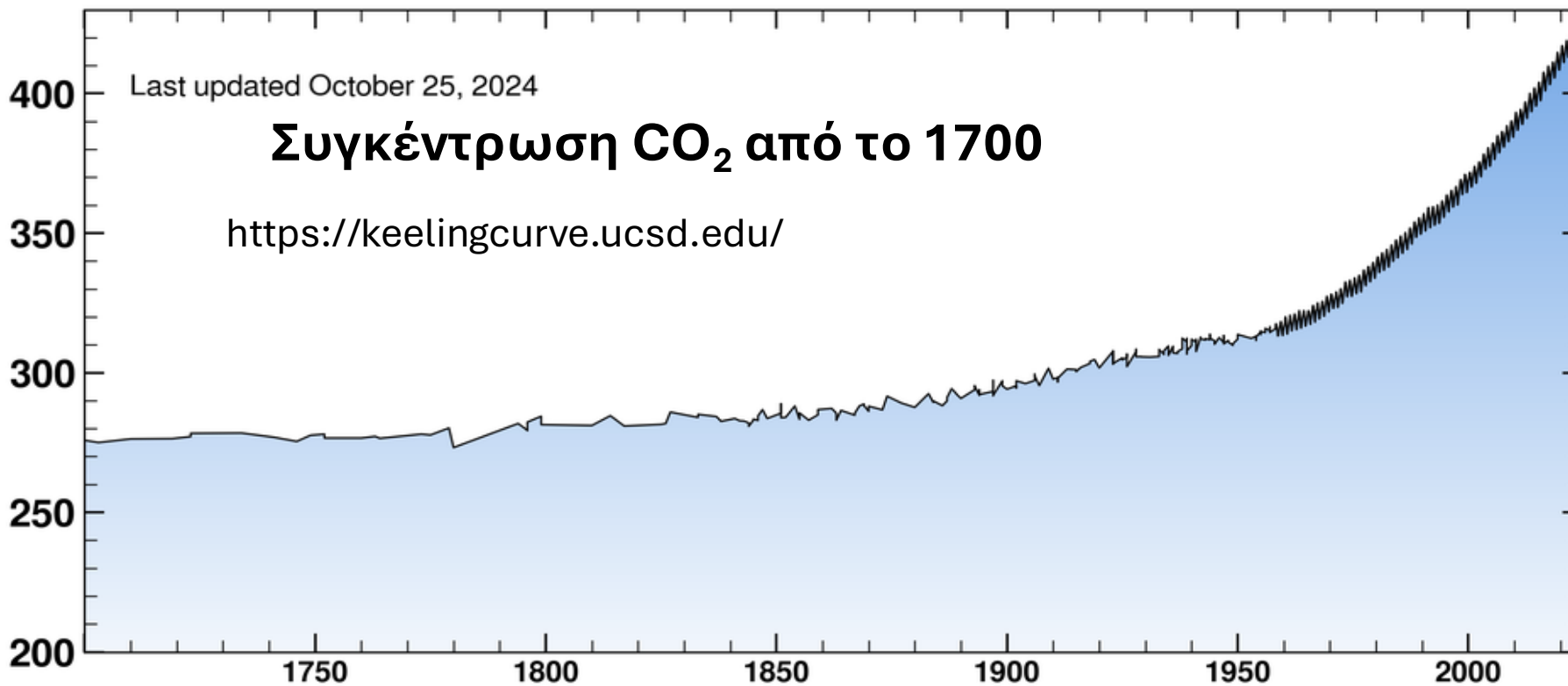


Μετρήσεις CO₂ στην ατμόσφαιρα

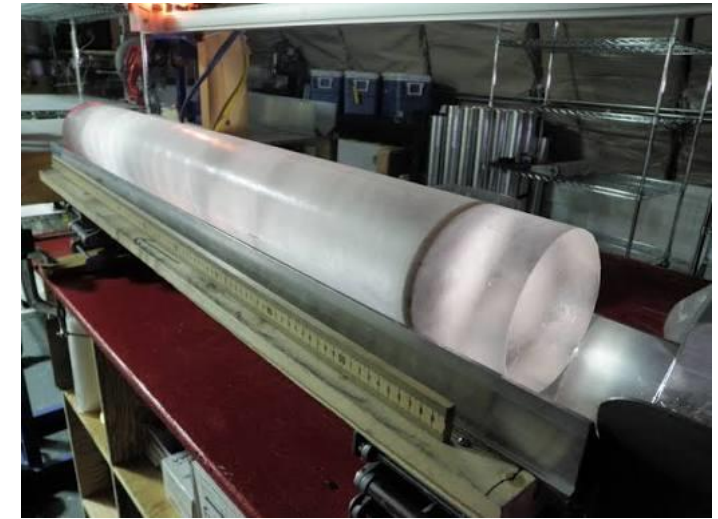
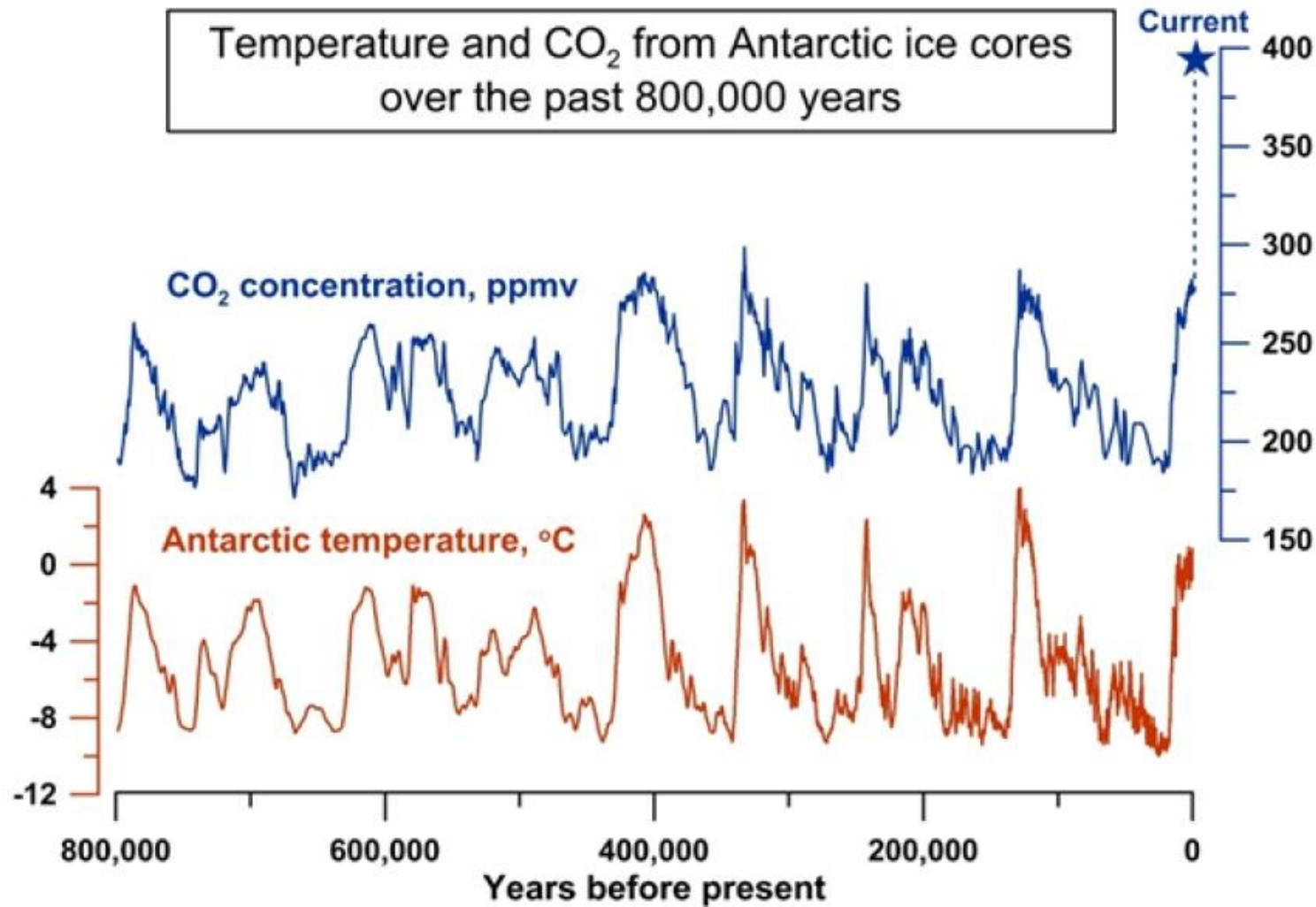
Το **1945** η ατμόσφαιρα είχε
310.3 ppm
διοξειδίου του άνθρακα

Το **1980** η ατμόσφαιρα είχε
339 ppm
διοξειδίου του άνθρακα

Το **2026** η ατμόσφαιρα έχει
429. ppm
διοξειδίου του άνθρακα



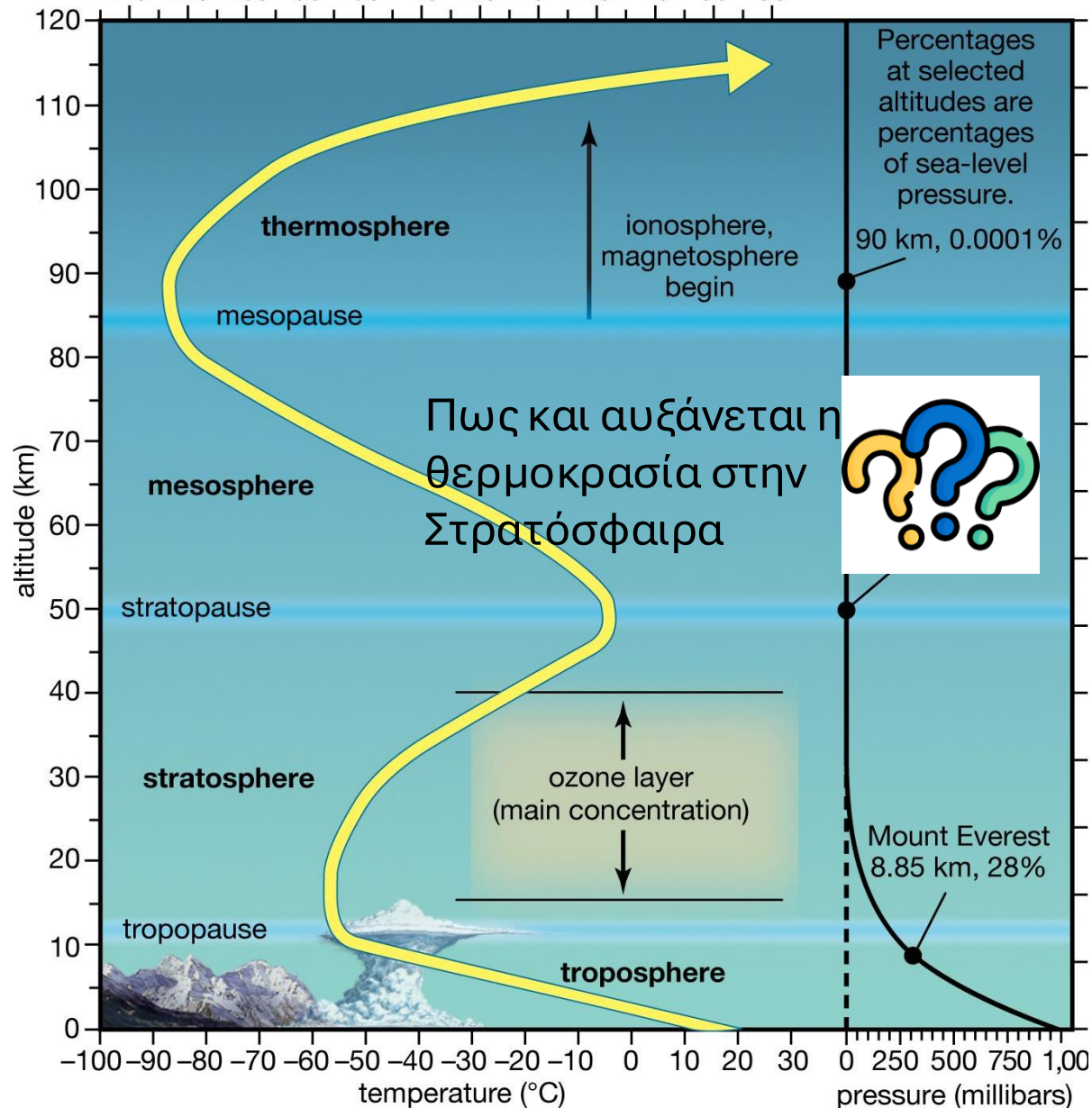
Temperature and CO₂ from Antarctic ice cores
over the past 800,000 years



Πριν από 16 εκ. χρόνια η ατμόσφαιρα είχε περί τα
420 ppm CO₂



Τα στρώματα της ατμόσφαιρας



Τροπόσφαιρα: Το στρώμα του καιρού

Στρατόσφαιρα: Το στρώμα του όζοντος

Μεσόσφαιρα: Το ψυχρότερο στρώμα

Θερμόσφαιρα: Θερμό άλλο όχι καυτό!

Η σύσταση της ατμόσφαιρας

Constituent	Molecular Weight [g / mol]	Content (fraction of molecules)
Nitrogen (N ₂)	28.016	0.7808
Oxygen (O ₂)	32.00	0.2095
Argon (Ar)	39.94	0.0093
Water vapour (H ₂ O)	18.02	0 - 0.04
Carbon Dioxide (CO ₂)	44.01	325 ppm
Neon (Ne)	20.18	18 ppm
Helium (He)	4.00	5 ppm
Krypton (Kr)	83.7	1 ppm
Hydrogen (H ₂)	2.02	0.5 ppm
Ozone (O ₃)	48.00	0 - 12 ppm



Η στρατόσφαιρα

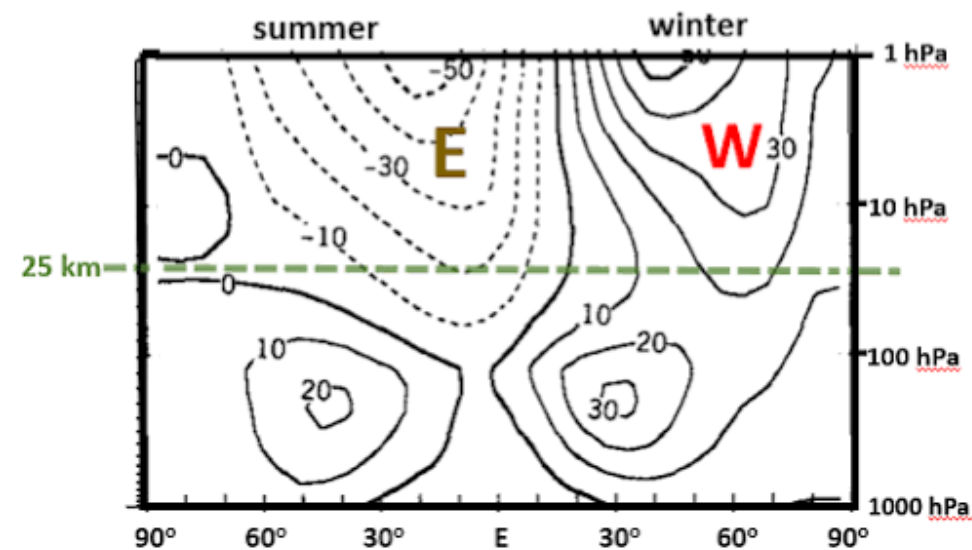
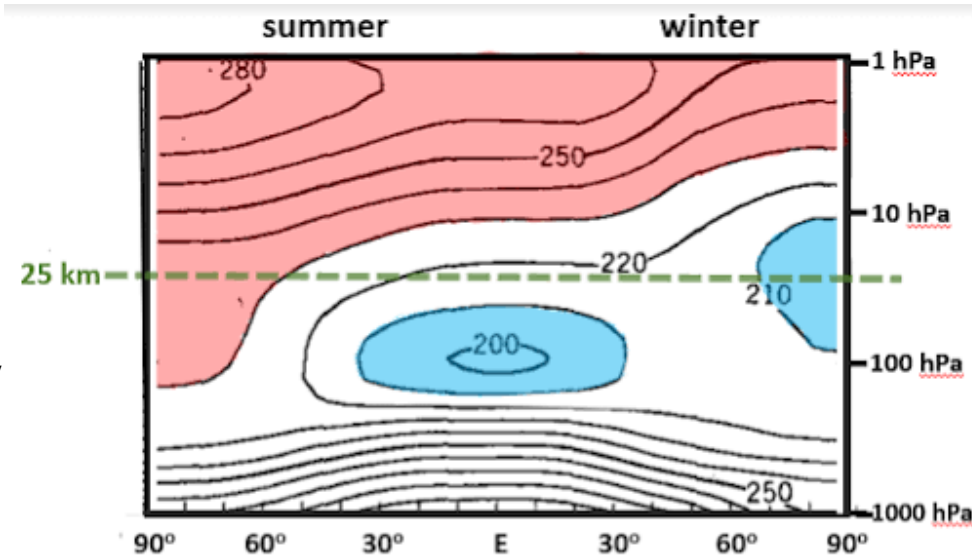
Περιοχές στη Στρατόσφαιρα

- τροπικές περιοχές: περιοχή $20^{\circ}\text{N} - 20^{\circ}\text{S}$, ανοδική μεταφορά αέρα, σχηματισμός όζοντος
- Πολικός στρόβιλος: ισχυροί δυτικοί άνεμοι σχηματίζονται στην περιοχή του τερματιστή της πολικής νύχτας, δημιουργώντας τον πολικό νυχτερινό ρευματικό άξονα (jet) που διαχωρίζει τις πολικές αέριες μάζες από αυτές των μέσων γεωγραφικών πλατών
- κατώτερη στρατόσφαιρα: περιοχή ανάμειξης τροποσφαιρικού και στρατοσφαιρικού αέρα, περίπου μεταξύ του τροποπαύσατος και της δυναμικής θερμοκρασίας 380K

Η αλλαγή στη βαθμίδα θερμοκρασίας μεταξύ του χειμερινού και θερινού ημισφαιρίου συνεπάγεται ότι οι άνεμοι είναι:

δυτικοί τον χειμώνα (Πολικός Στρόβιλος)
ανατολικοί το καλοκαίρι.

Αντιστρέφονται **την άνοιξη** κατά την **τελική θέρμανση**
(πολύ αργότερα στο **Νότιο** απ' ό,τι στο **Βόρειο Ημισφαίριο**)



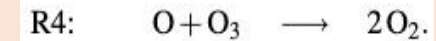
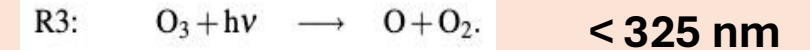
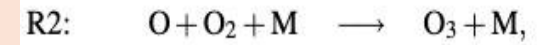
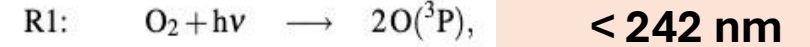
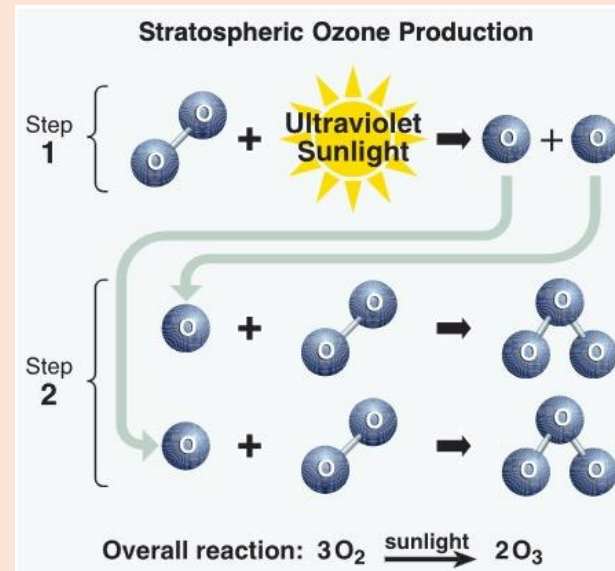
Εντός του Πολικού Στροβίλου
ο αέρας ψύχεται διαβατικά μέσω ακτινοβολίας:
καθαρή καθοδική κίνηση εντός της δίνης.



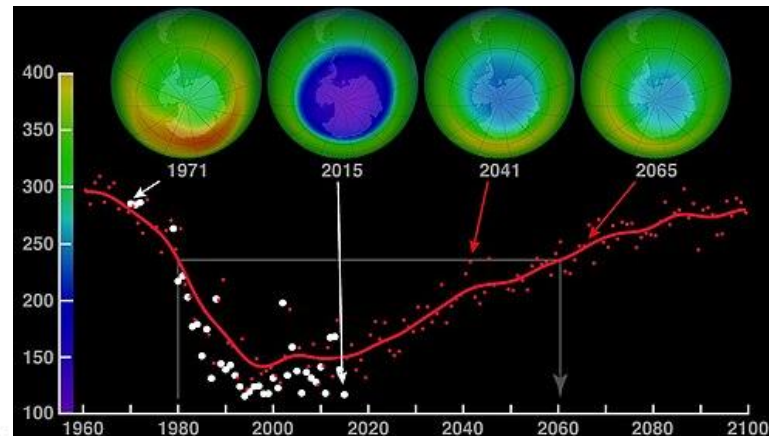
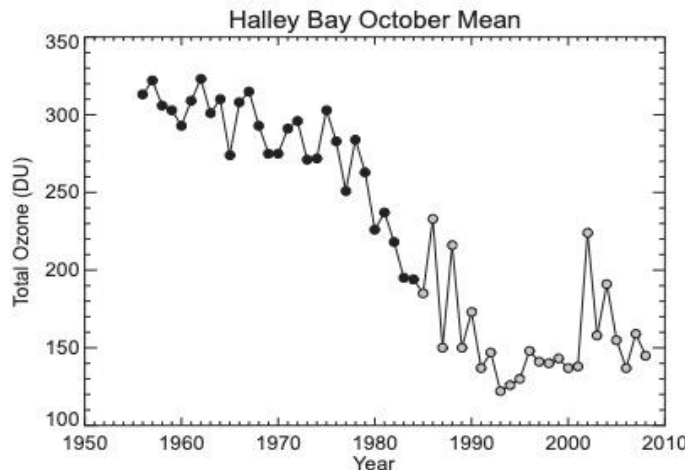
Το όζον στην στρατόσφαιρα

- Ανακαλύφθηκε 1839
- Το σημαντικό μόριο της στρατόσφαιρας

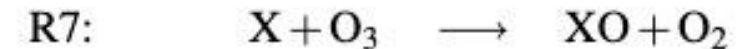
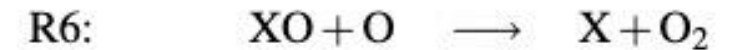
Chapman theory of ozone



Ozone hole and recovery



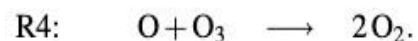
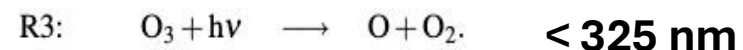
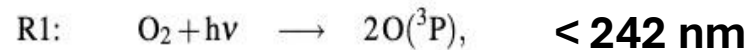
Catalytic destruction



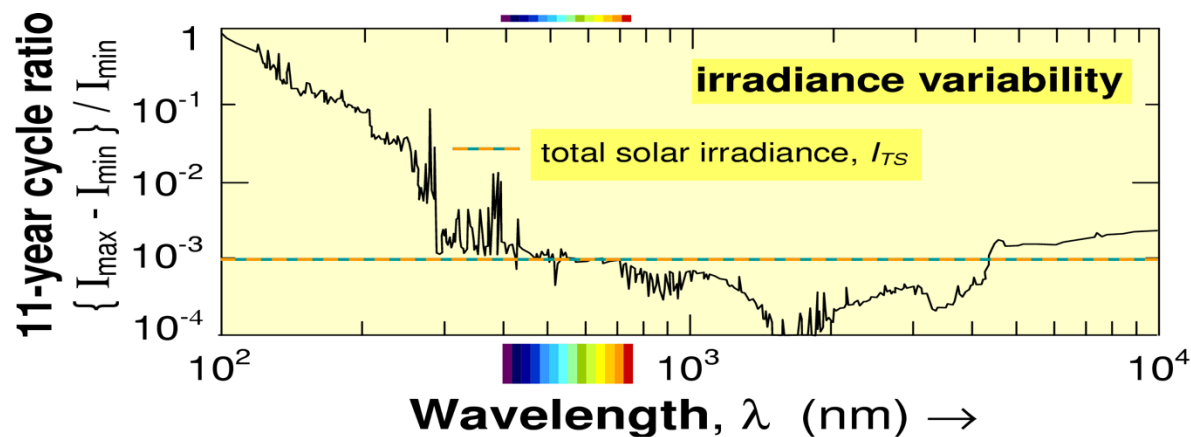
$\text{X} = \text{H}, \text{NO}, \text{Cl}$

Ερώτηση: Πως μεταβάλει ο ηλιακός κύκλος το Όζον ?

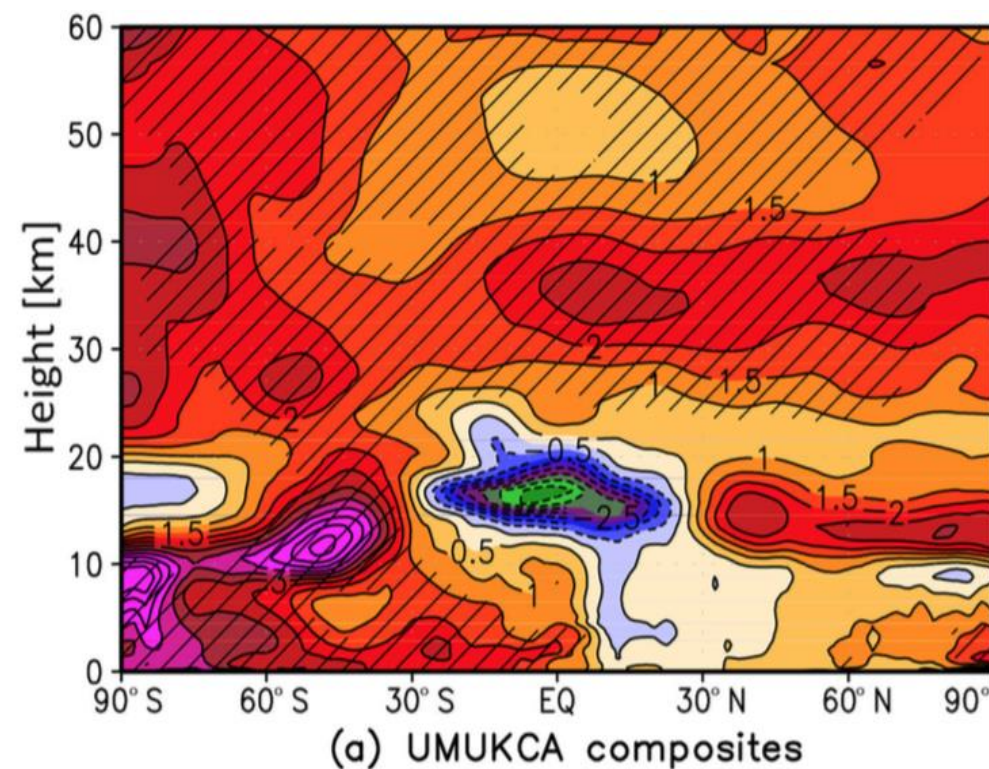
Στοιχείο 1 Θεωρία Chapman



Στοιχείο 2 Μεταβολή φασματικής ροής ακτινοβολίας



Μεταβολή όζοντος Μοντέλο



Επιπλέον στρατοσφαιρικό όζον στο
ηλιακό μέγιστο



Πώς τα SPE και τα MEE καταστρέφουν το Στρατοσφαιρικό Όζον

Ηλιακά Πρωτονιακά Γεγονότα (SPEs)

ενεργητικά πρωτόνια από τον Ήλιο

Ηλεκτρόνια Μέσης Ενέργειας (MEEs)

που καταβυθίζονται από τη μαγνητόσφαιρα

Ιονίζουν και διασπών το N_2 και το O_2 στη μεσόσφαιρα / άνω στρατόσφαιρα

παράγοντας περιττό άζωτο: $NO_x = NO + NO_2$

Καθοδική μεταφορά κατά τον χειμώνα

εγκλωβισμένο μέσα στην πολικό στρόβιλο

Καταλυτικός κύκλος καταστροφής όζοντος



καθαρό αποτέλεσμα: $O_3 + O \rightarrow 2 O_2$

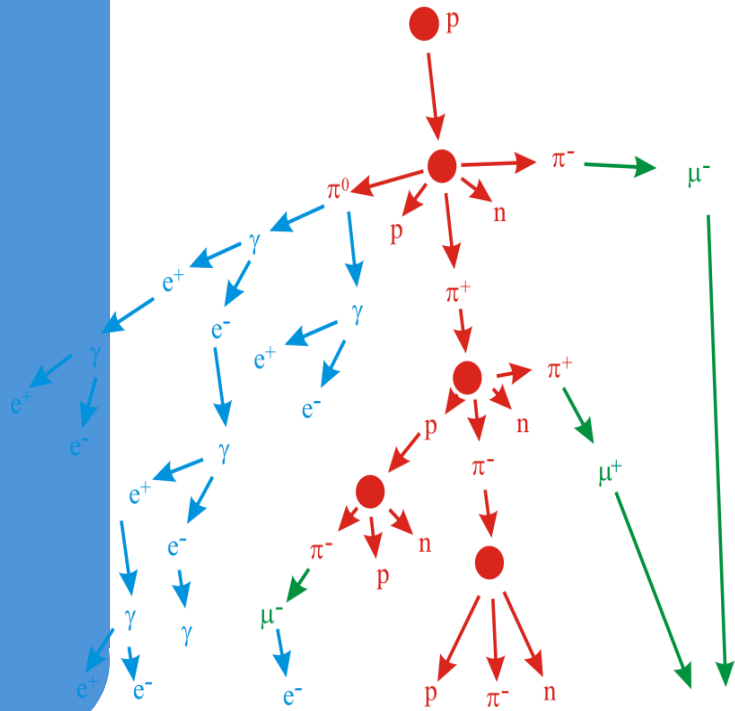
Καθαρή απώλεια στρατοσφαιρικού όζοντος

πιο έντονη τον πολικό χειμώνα / πρώιμη άνοιξη

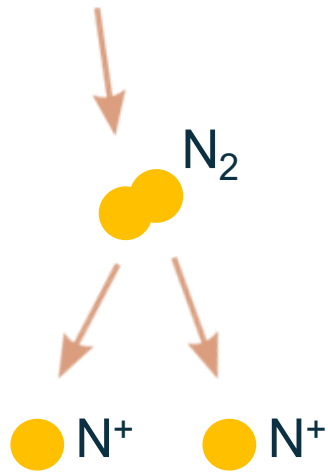


Πως οι ΓΚΑ καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον

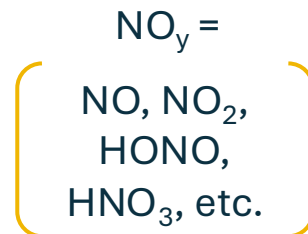
Cosmic ray
protons induce
particle showers



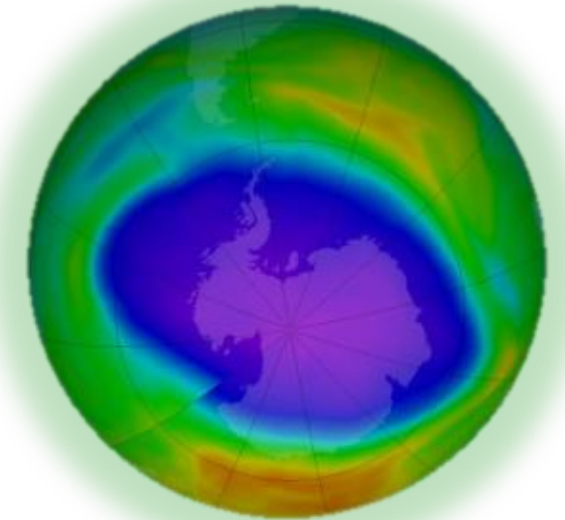
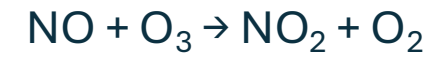
Increased rate
of ion pair
production



More nitrogen
oxide
compounds
produced



Catalytic
ozone loss



Μηχανισμοί επίδρασης ΓΚΑ στο κλίμα

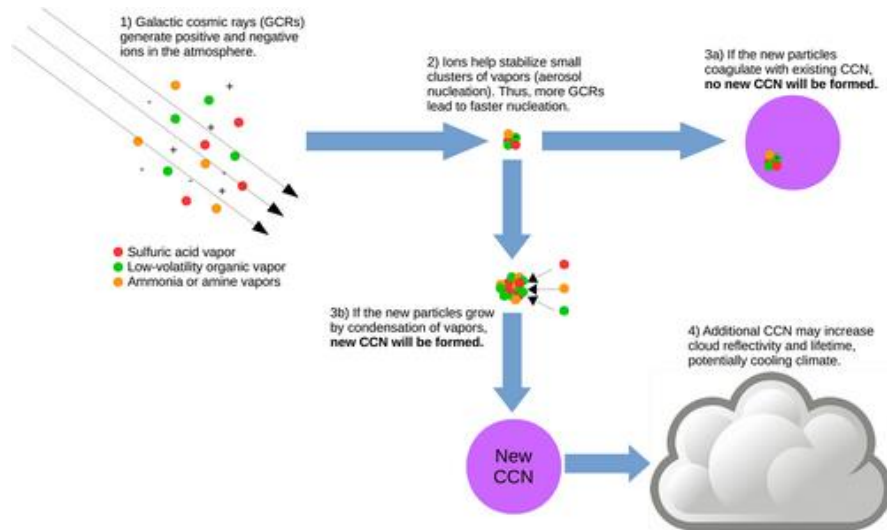
Έχουν προταθεί 2 κύριοι μηχανισμοί

A) Σχηματισμός πυρήνων συμπύκνωσης νεφών

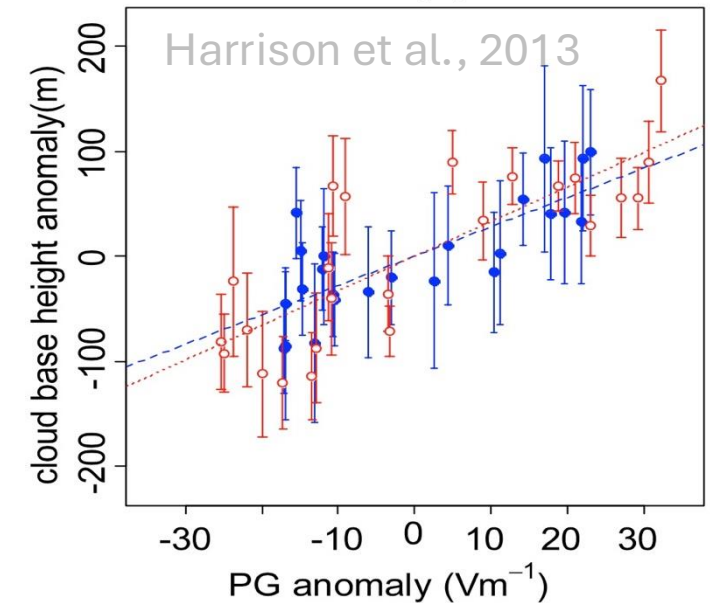
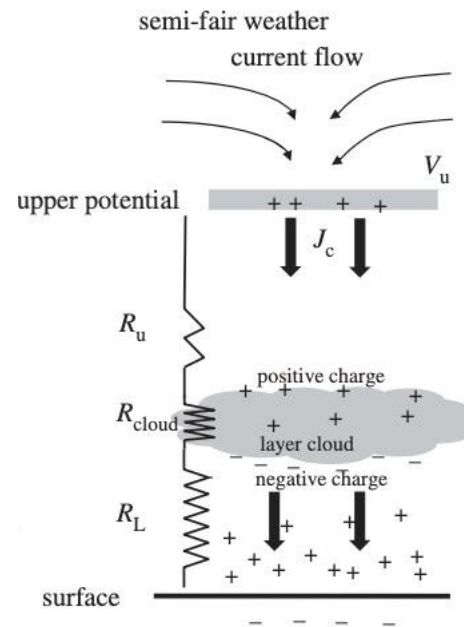
B) Αλλαγή στο ηλεκτρικό πεδίο γύρω από νέφη

Και οι 2 μηχανισμοί επιδρούν στα νέφη, άρα στην ανακλαστικότητα

Σχηματισμός πυρήνων συμπύκνωσης



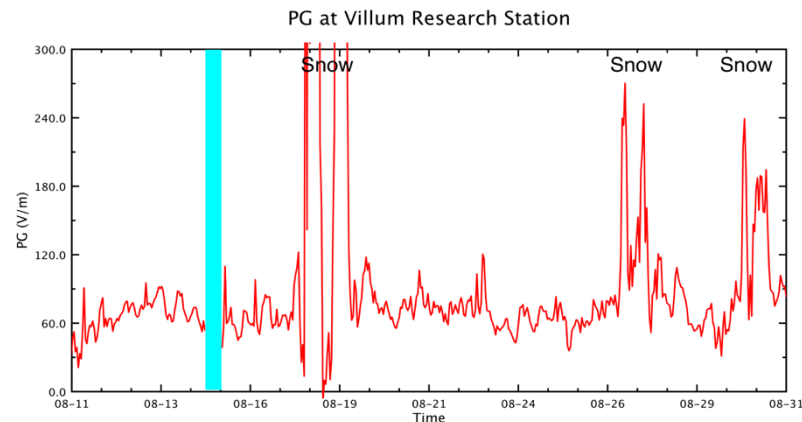
Αλλαγή στο ηλεκτρικό πεδίο



**Cosmics Leaving
Outdoor Droplets (CLOUD)**

Ενίσχυση του ηλεκτρικού πεδίου αλλάζει τη
μικροφυσική και πυκνώνει τα χαμηλά σύννεφα

Μετρήσεις ατμοσφαιρικού ηλεκτρισμού στην Γροιλανδία



Σύνοψη

- ✓ Ο 11 ηλιακός κύκλος φαίνεται να θερμαίνει τον Ειρηνικό Ωκεανό.
- ✓ Η ηλιακή δραστηριότητα δεν μπορεί να εξηγήσει τις παρατηρούμενες τάσεις θέρμανσής τα τελευταία 70 χρόνια.
- ✓ Πριν από 16 εκ. χρόνια η ατμόσφαιρα είχε περί τα 420 ppm CO₂
- ✓ Οι ηλιακές και κοσμικές ακτινοβολίες επιδρούν στην στρατόσφαιρα μέσω του όζοντος. Μηχανισμοί δημιουργίας και καταλυτικής καταστροφής.
- ✓ Ο 11-ετης ηλιακός κύκλος δημιουργεί όζον.
- ✓ Τα ηλεκτρόνια, ηλιακά πρωτόνια και οι ΓΚΑ καταστρέφουν όζον.



Θεματολογία

- Εισαγωγή στο κλίμα και στην ατμόσφαιρα, μηχανισμοί
- **Συνταγές μοντελοποίησης των μηχανισμών**
- Επιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας
- Επιδράσεις των ηλιακών πρωτονίων
- Επιδράσεις των κοσμικών ακτίνων
- Cosmic Watch detector

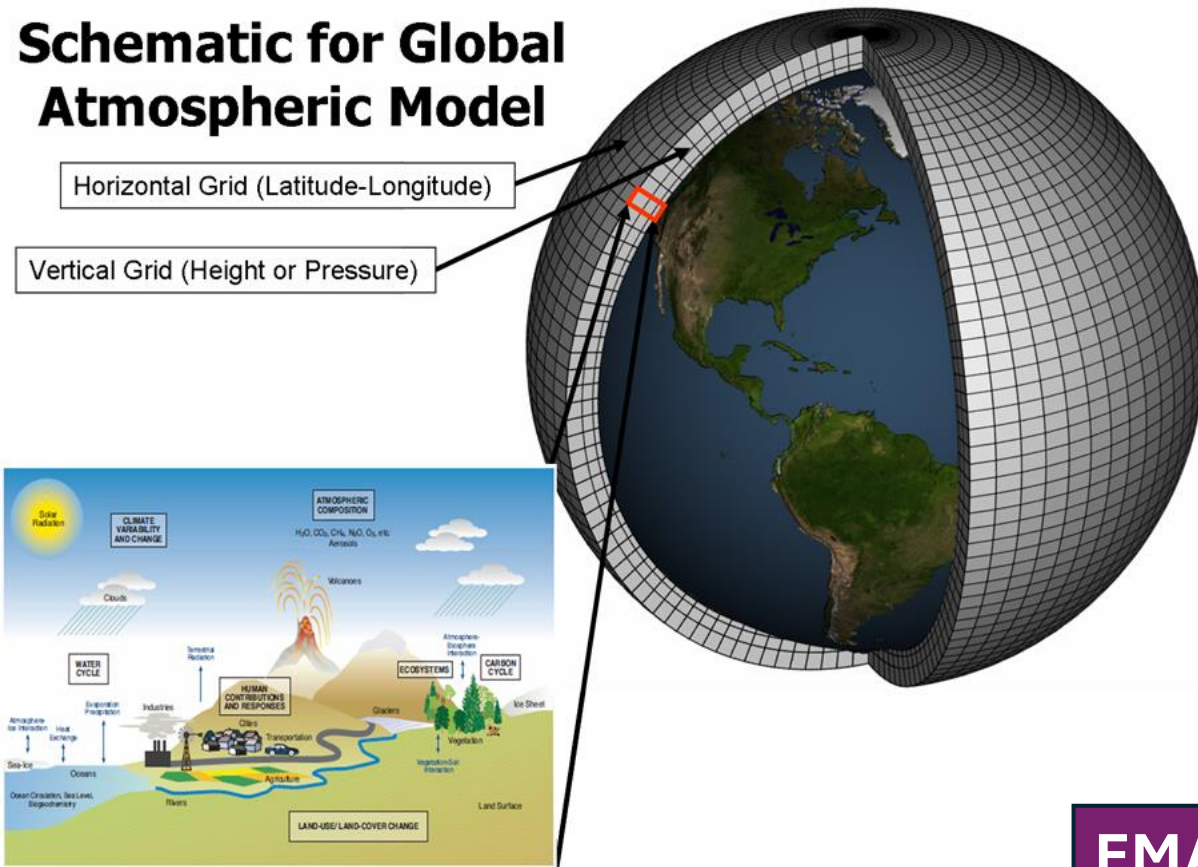


Τι είναι ένα κλιματικό μοντέλο

Ένα κλιματικό μοντέλο είναι μια αριθμητική αναπαράσταση του κλιματικού συστήματος της Γης, βασισμένη σε νόμους της φυσικής.

- Επιλύει αριθμητικά τις εξισώσεις διατήρησης μάζας, ορμής, ενέργειας και υγρασίας σε τρισδιάστατο πλέγμα (grid).
- Περιλαμβάνει παραμετροποιήσεις για διεργασίες μικρότερης κλίμακας, όπως νέφωση, ακτινοβολία και τύρβη.
- Τα Global Climate Models (GCMs) συζευγνύουν ατμόσφαιρα, ωκεανό, ξηρά και πάγο· τα Earth System Models (ESMs) προσθέτουν και βιογεωχημικούς κύκλους.
- Η χωρική ανάλυση (resolution) καθορίζει τη λεπτομέρεια της προσομοίωσης, με αντίστοιχο υπολογιστικό κόστος.

Schematic for Global Atmospheric Model



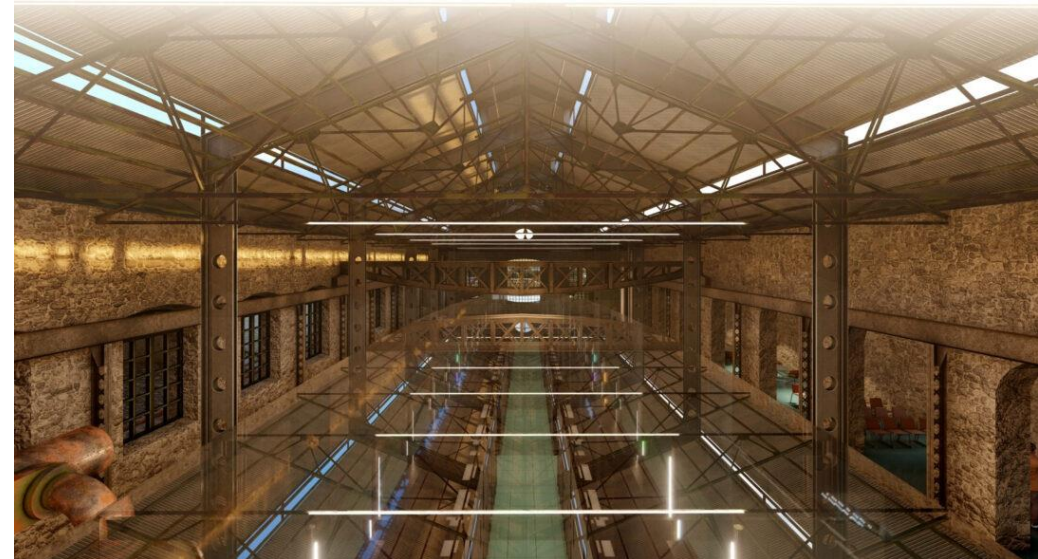
EMAC/Messy: Modular Earth Submodel System
EC-EARTH4 : A European community Earth System Model



Εθνικός Υπερυπολογιστής «ΔΑΙΔΑΛΟΣ»



Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου



Daedalus HPC 89 PetaFlops

Aris HPC: 535 TeraFlops

168X

NVIDIA Grace Hopper



Forcings:

- Greenhouse gases
- Manmade aerosols
- Volcanic eruptions
- Solar variability

Atmosphere
(CAM)

Chemistry
(CAM-CHEM)

High-Top Atm
(WACCM)

Land
(CLM)

Biogeochemistry
(Carbon-Nitrogen Cycle)

Coupler
(CPL)

Sea Ice
(CICE)

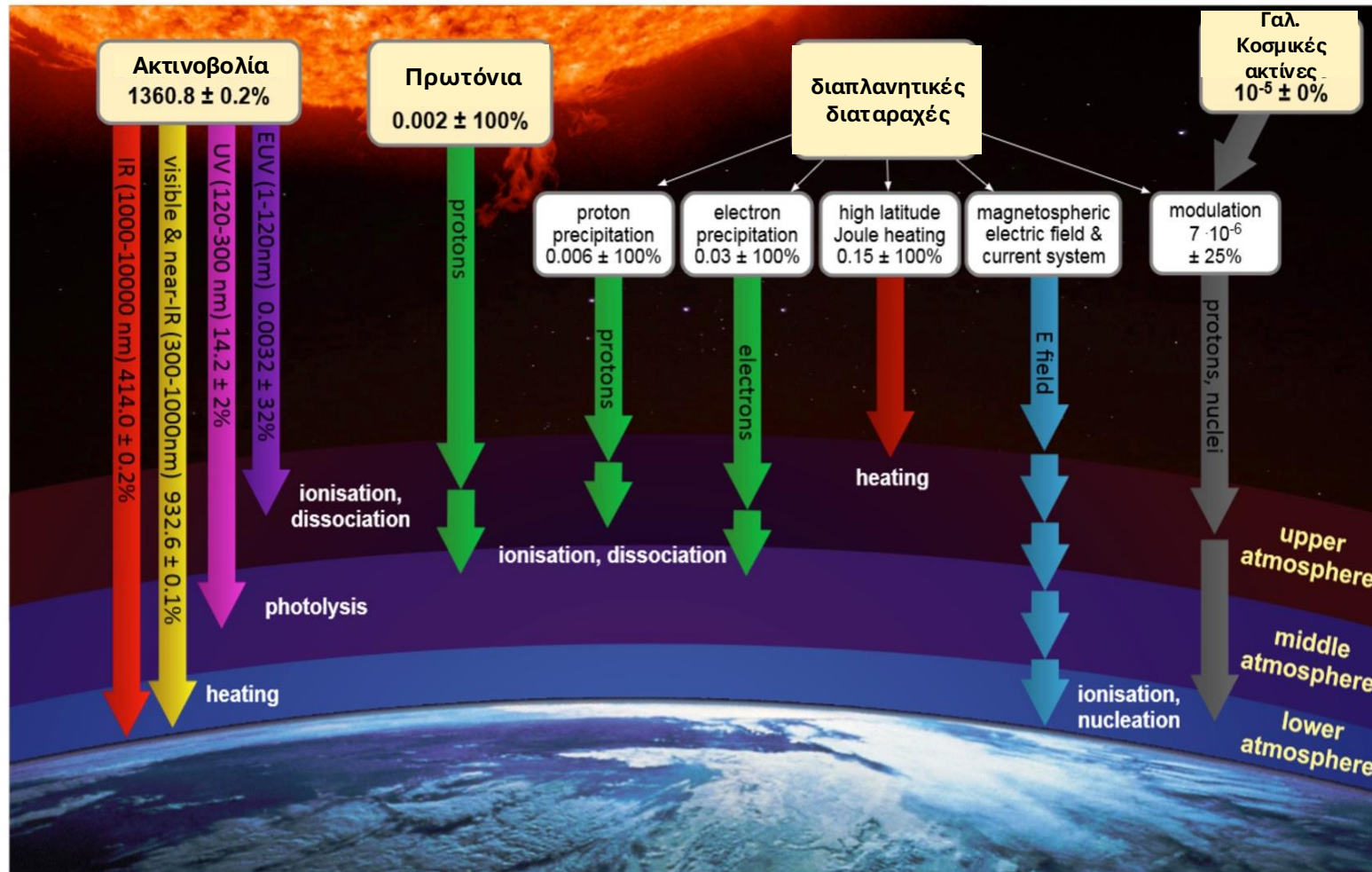
Ocean
(POP)

Biogeochemistry
(Marine Ecosystem)

Land Ice
(CISM)



Τι μας στέλνει ο Ήλιος;



From “Earth's climate response to a changing Sun” book

Ακτινοβολία

- ολική μεταβολή
- Υπεριώδες

Σωματίδια

- Πρωτόνια

Γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες

Η απορρόφηση γίνεται σε διαφορετικά ύψη



Επίδραση καθ' ύψος

Ακτινοβολία

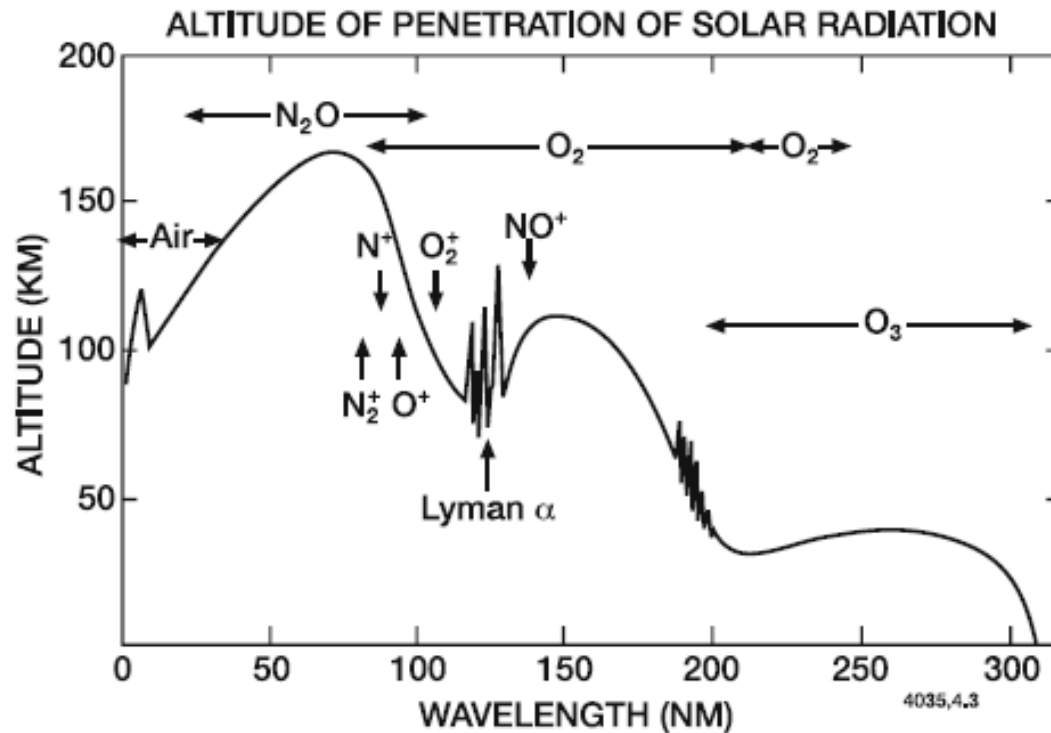
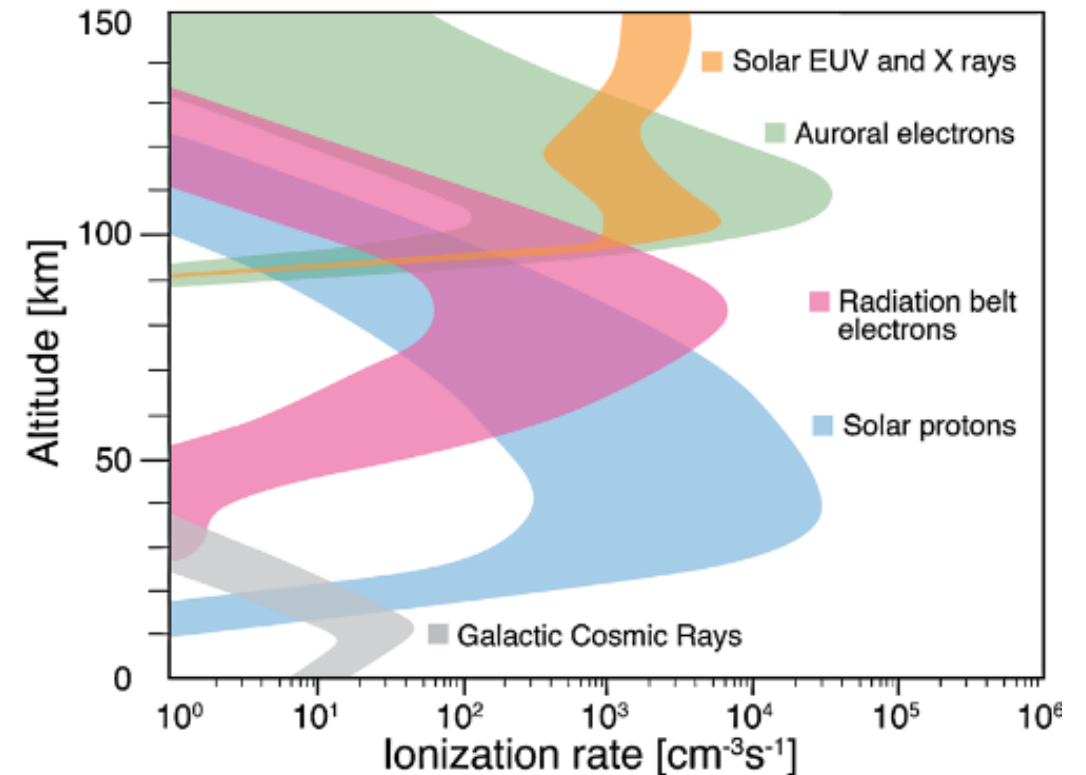


Figure 4.3. Depth of penetration of solar radiation as a function of wavelength. Altitudes correspond to an attenuation of $1/e$. The principle absorbers and ionization limits are indicated.

Σωματίδια



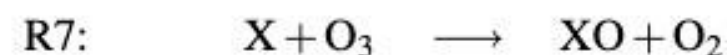
Η μέγιστη επίδραση των ΓΚΑ είναι στα 10 Κμ.
Η μέγιστη επίδραση των SPE είναι στα 30-50 Κμ



Ερώτηση:

Οι ΓΚΑ και τα SPE καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον μέσω του ίδιου μηχανισμού.

Catalytic destruction



Πως μπορούμε να τα ξεχωρίσουμε?

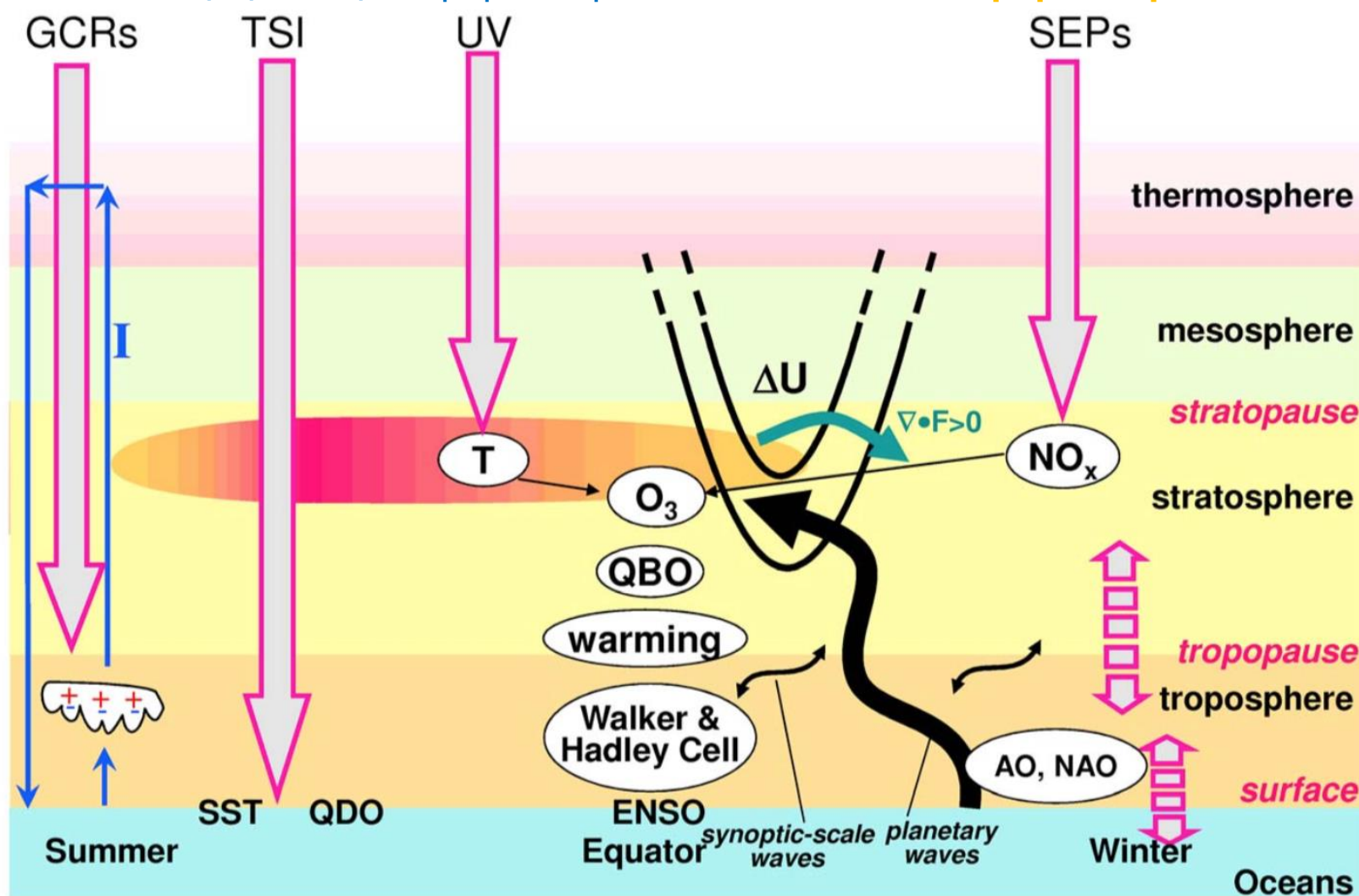
Επιδρούν σε διαφορετικά ύψη
Είναι σημαντικά σε διαφορετικές εποχές



Η Ηλιακή επίδραση και μηχανισμοί

Πάρα πολύ Μικρή Μικρή
αβέβαιο αβεβαιότητα αβεβαιότητα

Μεγάλη
αβεβαιότητα



GCRs: Γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες
TSI: Ηλιακή ακτινοβολία
UV: Υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία
SEP: Σωματίδια από τον ήλιο



Συνταγές μοντελοποίησης των μηχανισμών

Ηλιακή Ακτινοβολία

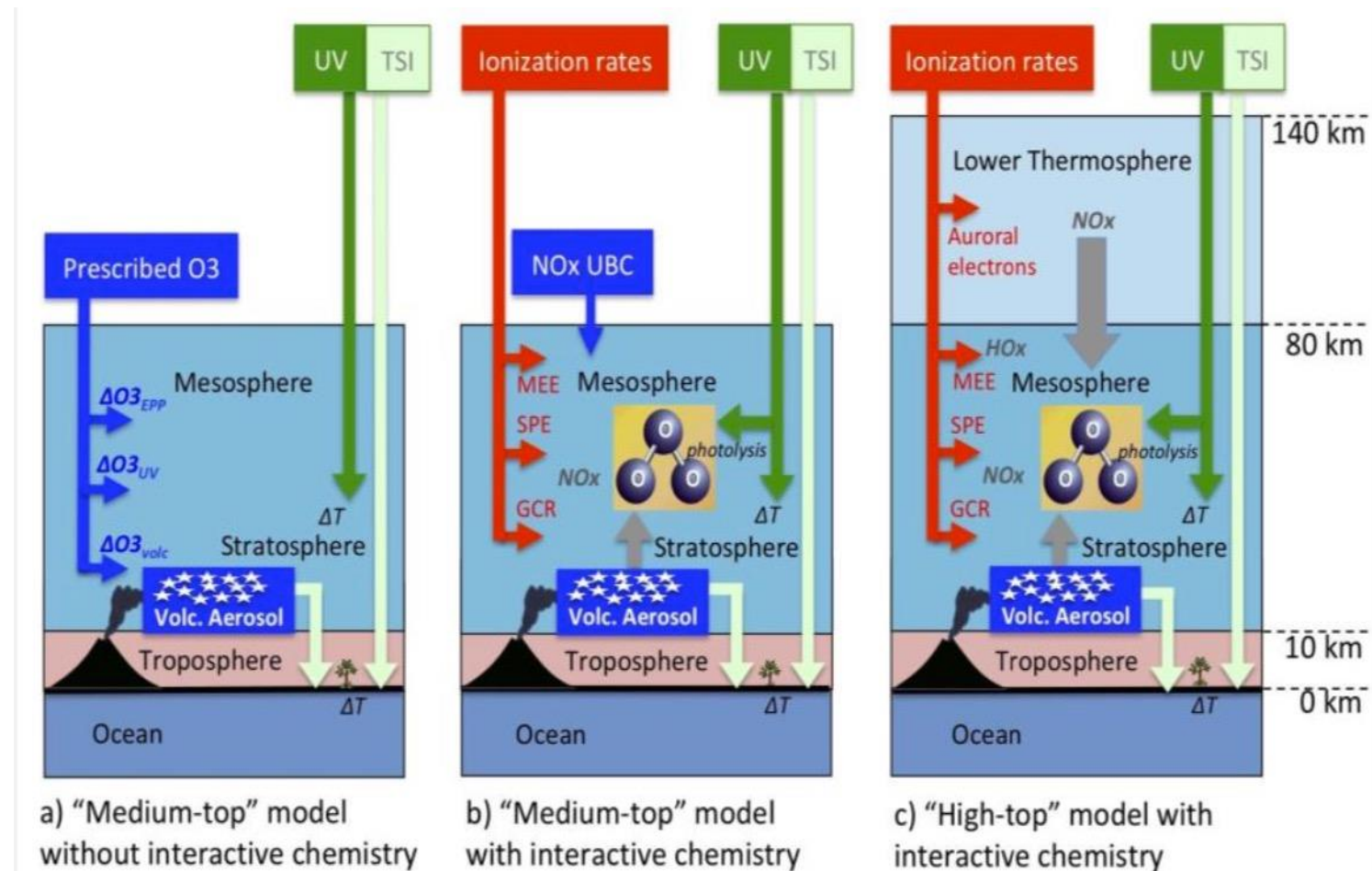
- Ολική
- Φασματική

Όζον

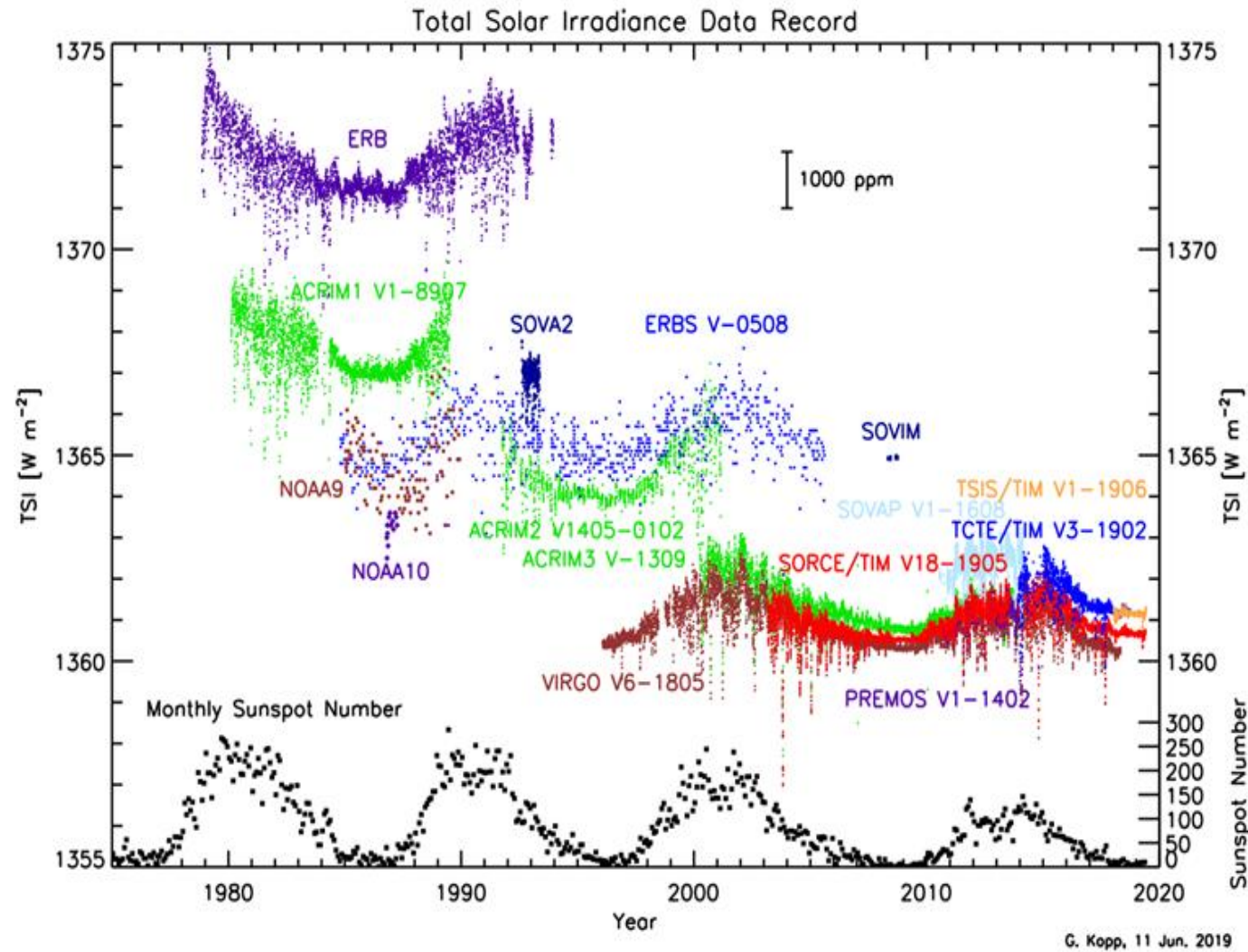
- Προκαθορισμένο
- Υπολογισμένο

Ionization rates (Ανάλογα με το ύψος)

- GCRs
- SPE
- MEE
- Auroral Electrons



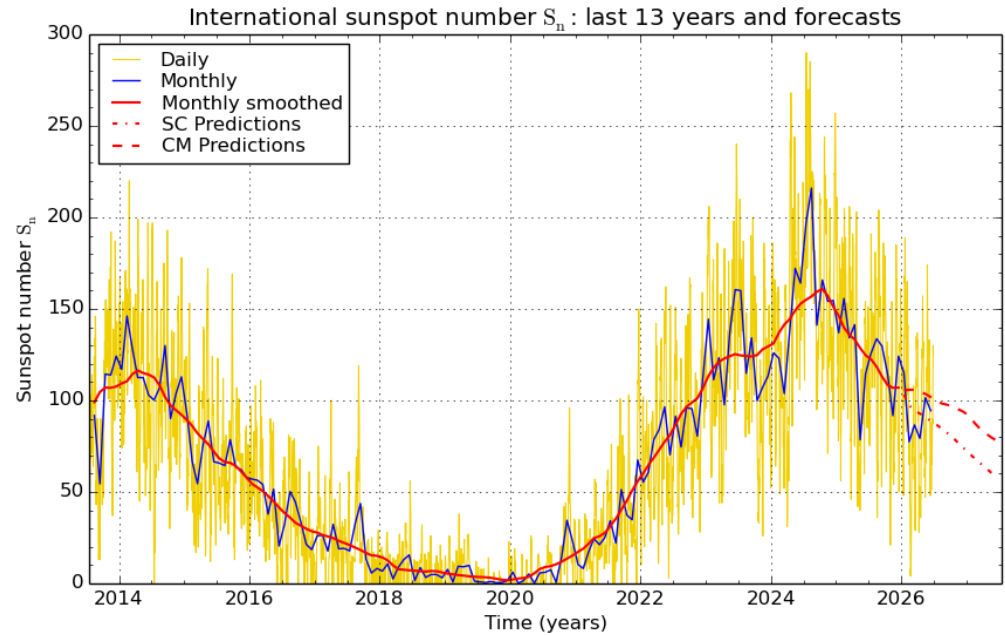
Η ηλιακή σταθέρα



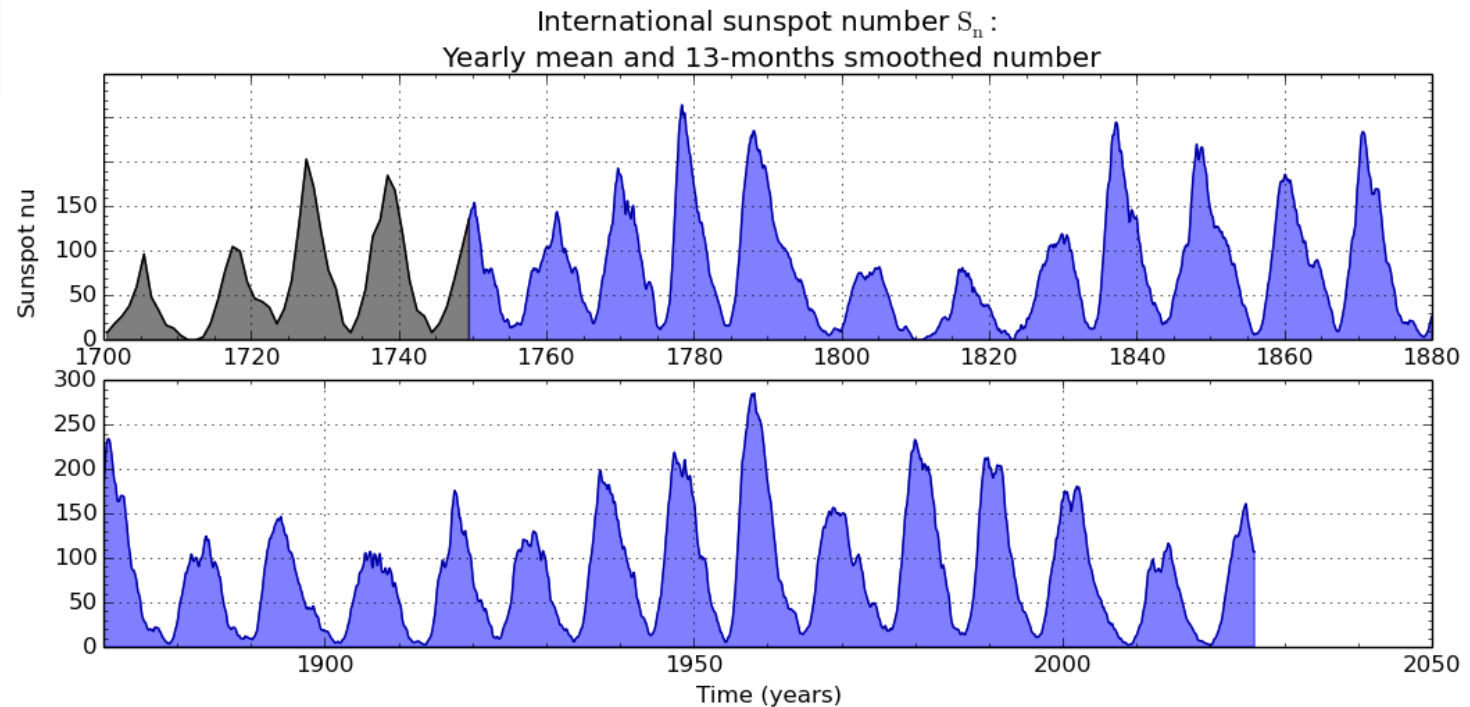
Το όργανο TSIS-1 μέτρησε
 $1361.6 \pm 0.3 \text{ Wm}^{-2}$



Ο ηλιακός κύκλος 25



Ο ηλιακός κύκλος 25 φαίνεται να είναι τυπικός.
Ο ηλιακός κύκλος 24 ήταν αδυναμος.

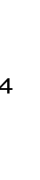
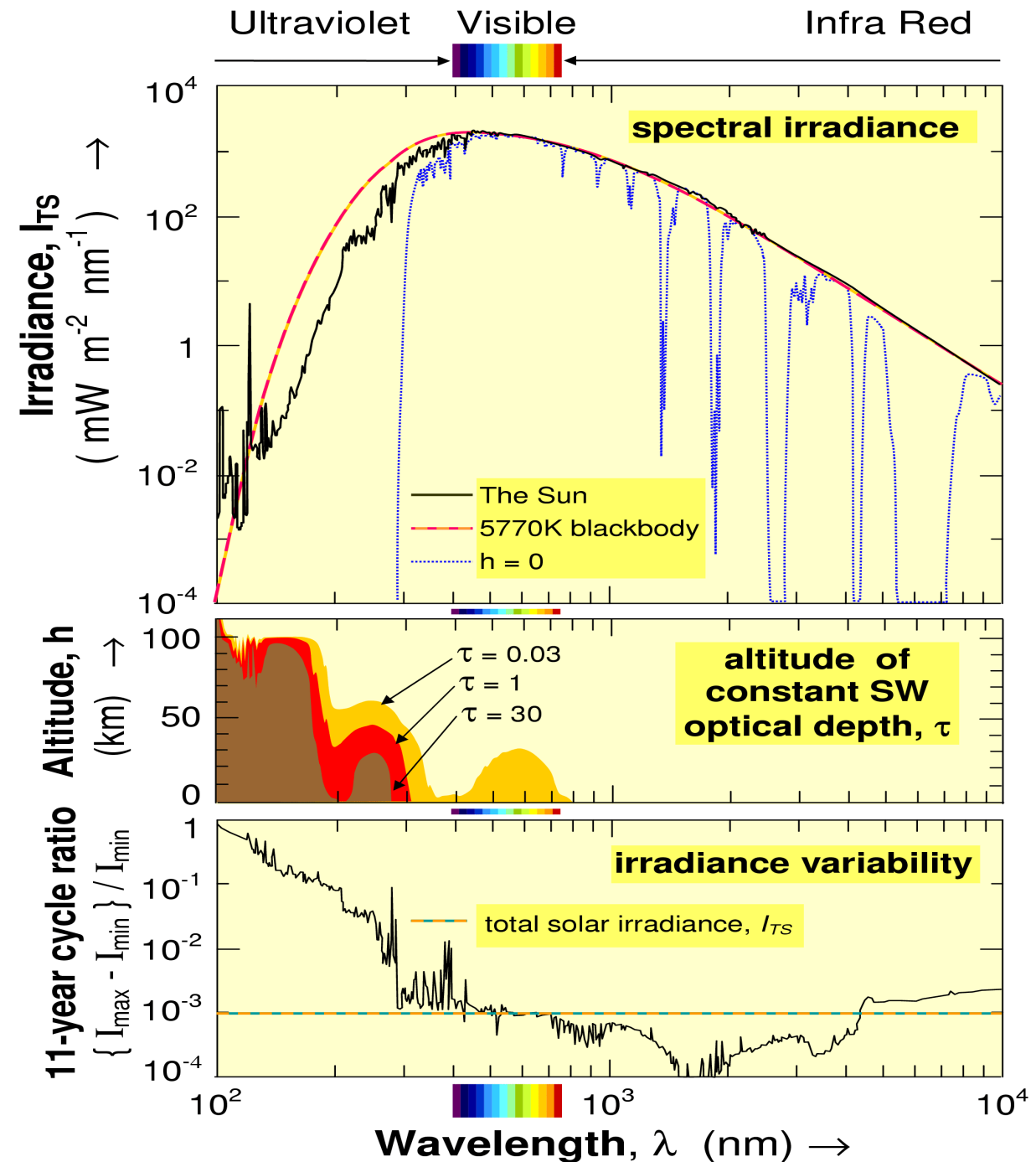
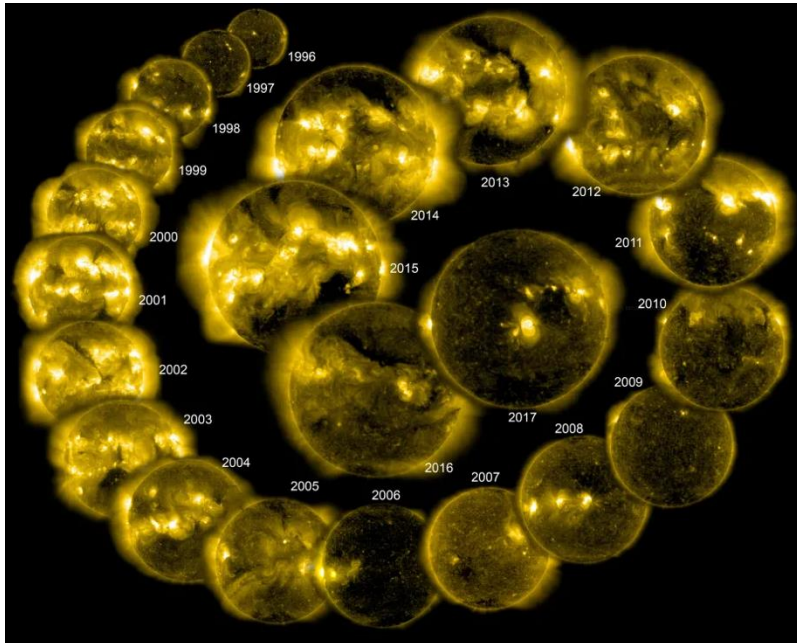


Ηλιακή ακτινοβολία

Ακτινοβολία

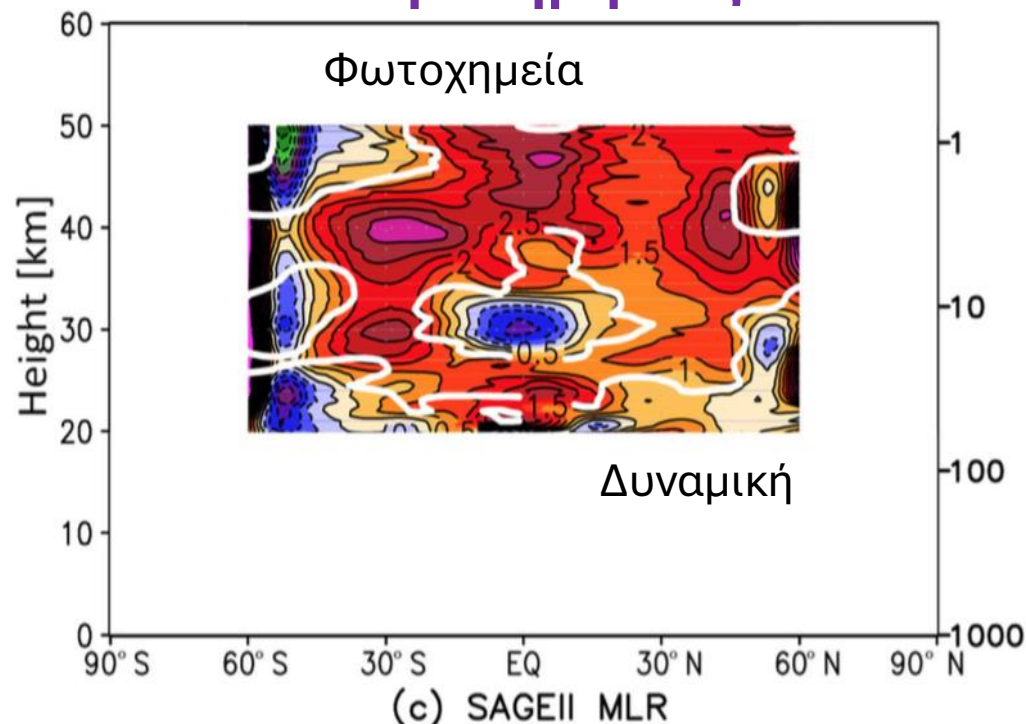
- 0.1 % ολική μεταβολή
- 8% στο Υπεριώδες

Έκλυση περισσότερης ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια του μεγίστου των ηλιακών κηλίδων (Solar Max)

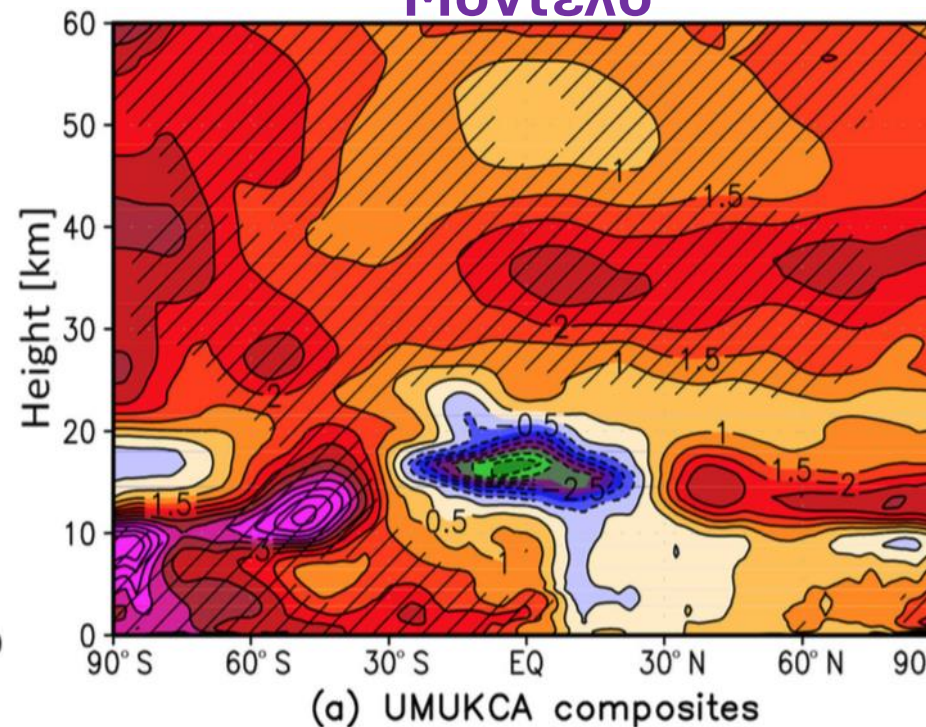


Επίδραση 11-ετους κύκλου στο οζόν

Παρατηρήσεις

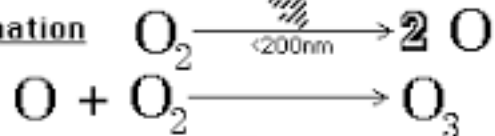


Μοντέλο

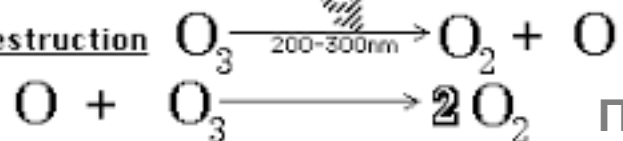


Bednarz et al., 2018

1. Solar formation



2. Solar destruction



Πηγή: NASA

Η απόκριση του όζοντος εξαρτάται καθοριστικά από τη μεταβλητότητα της SSI (φασματικής ηλιακής ακτινοβολίας)

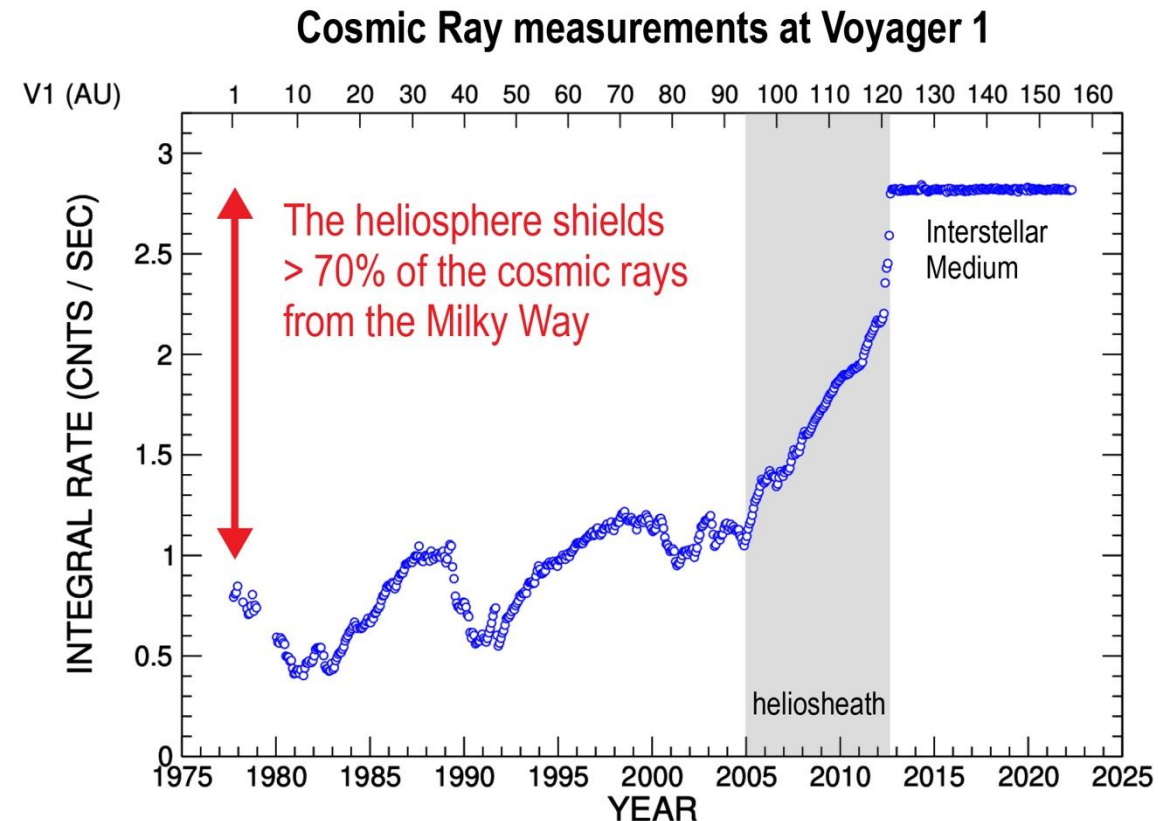


Πώς να εισαγάγετε τις Γαλαξιακές Κοσμικές Ακτίνες;

Βήμα 1

- Μετρήστε το πρωτογενές διαστρικό φάσμα των GCR (π.χ. Voyager 1 και Voyager 2, Stone et al., 2019)
- Κάντε υπομονή — χρειάστηκαν μόνο 50 χρόνια
- Χρειάζεστε τους κατάλληλους ανθρώπους!

Η Ηλιόσφαιρα Θωρακίζει τις Κοσμικές Ακτίνες (από 70MeV έως 5GeV)



Πώς να εισαγάγετε τις Γαλαξιακές Κοσμικές Ακτίνες;

Βήμα 2

Εφαρμόστε διορθώσεις για την Ηλιακή Δραστηριότητα και τη γεωμαγνητική δυναμικότητα αποκοπής (cutoff rigidity).

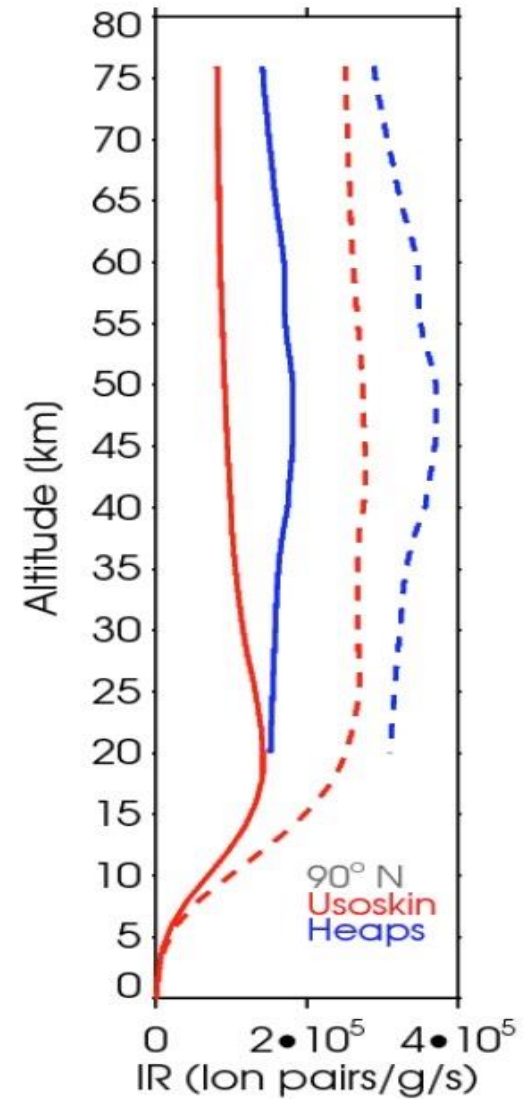
Η Ηλιακή Δραστηριότητα αναφέρεται στο ηλιοσφαιρικό δυναμικό διαμόρφωσης (modulation potential).

Αντιπροσωπεύει τη μέση απώλεια ενέργειας μιας κοσμικής ακτίνας (GCR) καθώς διέρχεται μέσα από το ηλιακό μαγνητικό πεδίο.

Η τιμή αποκοπής (cutoff) δηλώνει την ελάχιστη ενέργεια που θα χρειαζόταν ένα ενεργειακό σωματίδιο για να εισέλθει στην ατμόσφαιρα της Γης χωρίς να εκτραπεί από το μαγνητικό πεδίο της Γης.

$RC = 1.9 \cdot M \cos^4(\lambda G)$, όπου M είναι η διπολική ροπή του γεωμαγνητικού πεδίου

CRII
FLUKA
(Usoskin
et al)



Calisto et al., 2012



Πώς να εισαγάγετε τις Γαλαξιακές Κοσμικές Ακτίνες;

Βήμα 3

Αποφασίστε πως ο αυξημένος ιονισμός επιδρά στην Ατμόσφαιρα.

Στρατόσφαιρα

NO_x



Οζον



Θερμοκρασία



Κυκλοφορία

Τροπόσφαιρα

Σχηματισμός
αερολυμάτων

Ηλεκτρικό
Δυναμικό

Δεν υπάρχει
αξιόπιστη
παραμετροποίηση



Σύνοψη

- ✓ Χρησιμοποιούμε κλιματικά μοντέλα για να μελετήσουμε επιδράσεις. Δεν υπάρχουν παραμετροποιήσεις για όλους του μηχανισμούς.
- ✓ Για να προσομοιώσουμε επιδράσεις ακτινοβολίας χρειαζόμαστε α) φασματική πληροφορία και β) όζον.
- ✓ Η ηλιακή φασματική ροή ακτινοβολίας μεταβάλλεται με τον ΗΚ. Όσο μικρότερο το μήκος κύματος τόσο μεγαλύτερη η μεταβολή.
- ✓ Για να προσομοιώσουμε επιδράσεις των ΓΚΑ και ηλιακών πρωτονίων χρειαζόμαστε πληροφορία για τα ΝΟχ.
- ✓ Ειδικά για τις ΓΚΑ χρειαζόμαστε α) ξεχωριστό μοντέλο για τον ιονισμό της ατμόσφαιρας β) παραμετροποίηση των επιδράσεων του ιονισμού στη ατμόσφαιρα



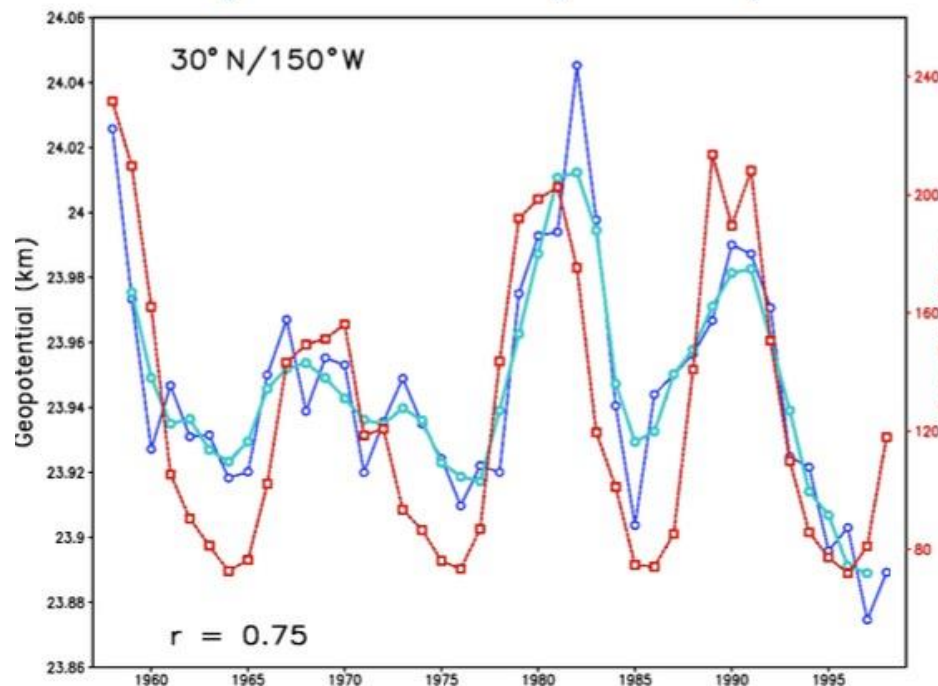
Θεματολογία

- Εισαγωγή στο κλίμα και στην ατμόσφαιρα, μηχανισμοί
- Τσελεμεντές μοντελοποίησης των μηχανισμών
- **Επιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας**
- Επιδράσεις των ηλιακών πρωτονίων
- Επιδράσεις των κοσμικών ακτίνων
- Cosmic Watch detector



Θερμοκρασία στην στρατόσφαιρα

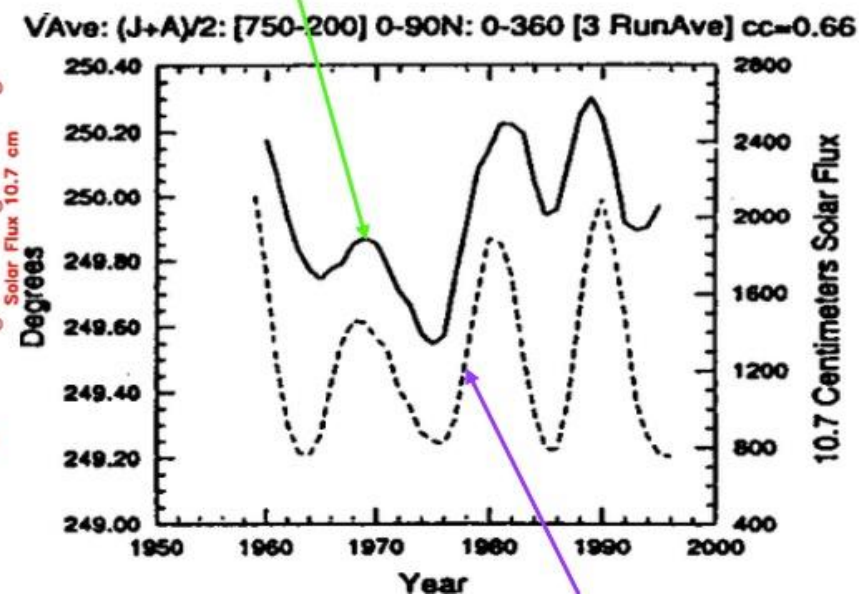
30 hPa geopotential height:
measure of temperature
(annual mean, Hawaii)



Labitzke and van Loon (2000)

Upper tropospheric temperatures
(July&August)

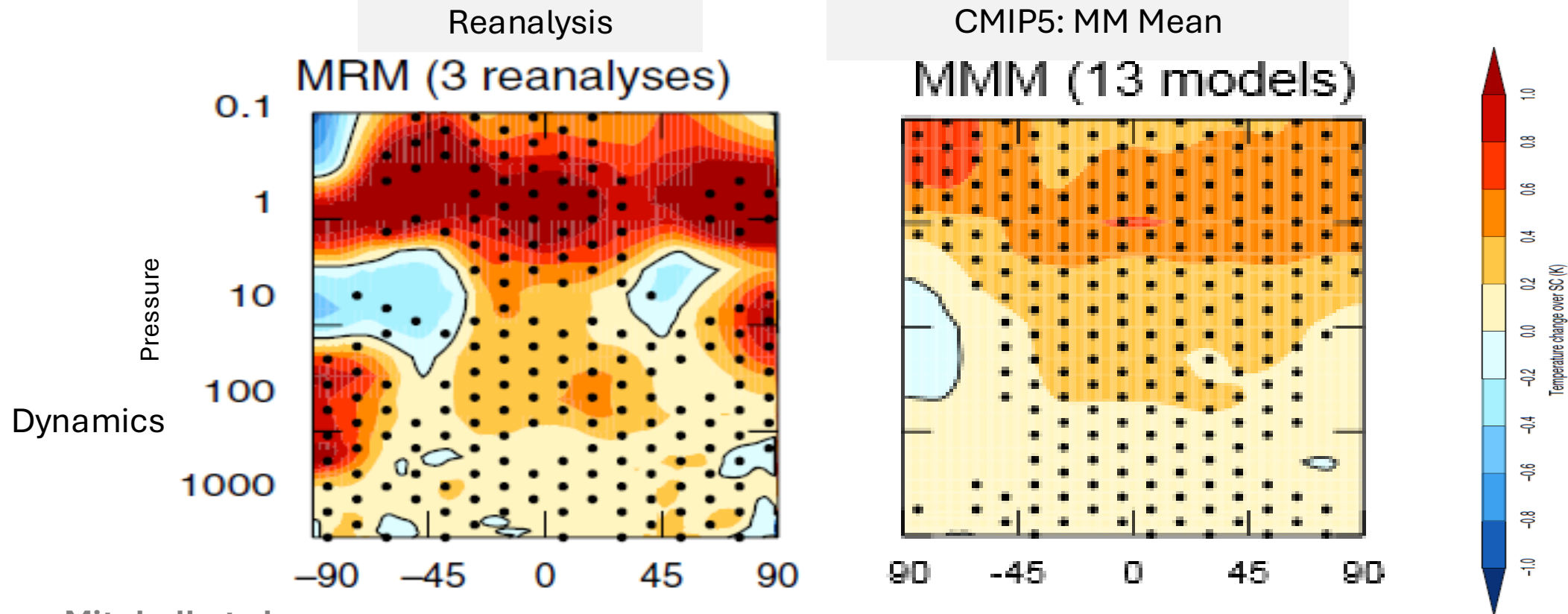
750-200hPa thickness,
3-year running average



van Loon and Shea (2000)

Σημαντικές ενδείξεις από παρατηρήσεις ότι η στρατόσφαιρα θερμαίνεται στο Ηλιακό μέγιστο

Θερμοκρασία στην στρατόσφαιρα



Mitchell et al.

Η ανώτερη στρατόσφαιρα θερμαίνεται κατά 0.8-1.6
Μικρότερη θέρμανση στην χαμηλότερη στρατόσφαιρα.

Η θέρμανση της ανώτερης στρατόσφαιρας εξηγείται 50% από
ακτινοβολία 50% από αύξηση του όζοντος.



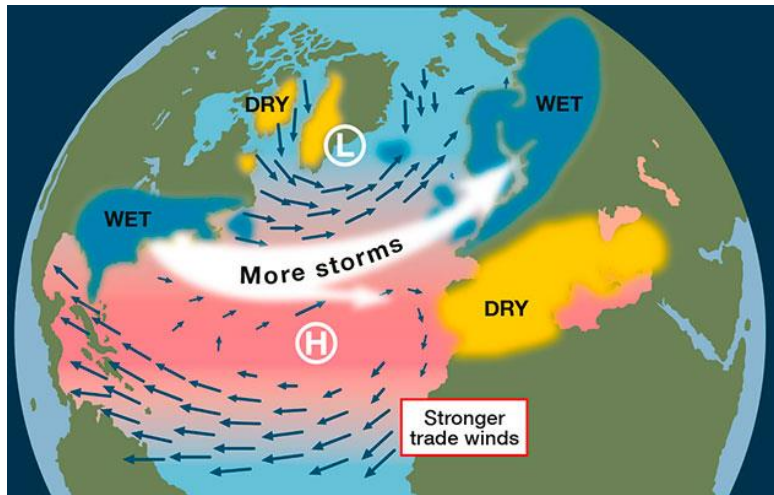
Η Ταλάντωση του Βόρειου Ατλαντικού

Η Ταλάντωση του Βόρειου Ατλαντικού (NAO) είναι ένα από τα πιο σημαντικά πρότυπα ατμοσφαιρικής μεταβλητότητας στο Βόρειο Ημισφαίριο.

Περιγράφει τις διακυμάνσεις στη διαφορά της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ της **Χαμηλής Πίεσης της Ισλανδίας** και της **Υψηλής Πίεσης των Αζορών**.

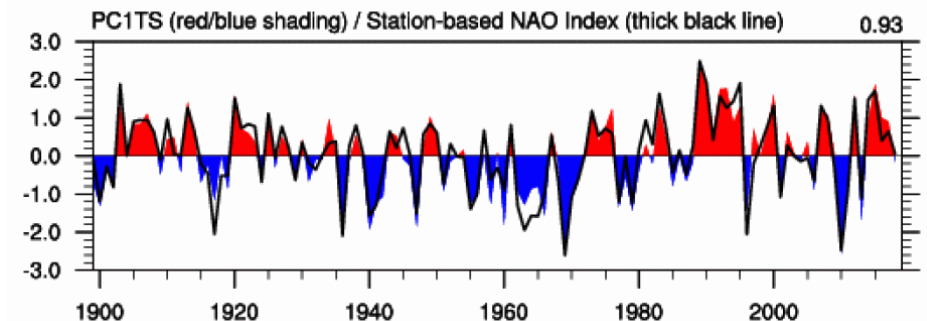
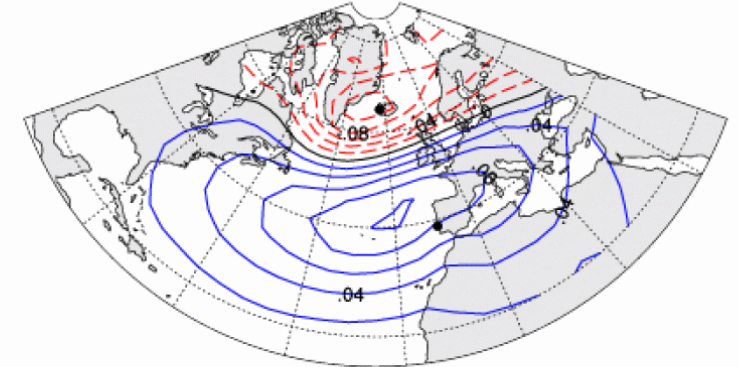
Η NAO είναι σημαντική για το ευρωπαϊκό κλίμα, τις βροχοπτώσεις, την ενέργεια, την εποχιακή προβλεψιμότητα...

NAO: 1η κύρια συνιστώσα (EOF) πίεσης στάθμης θάλασσας



Πηγή: Maggie Nelson

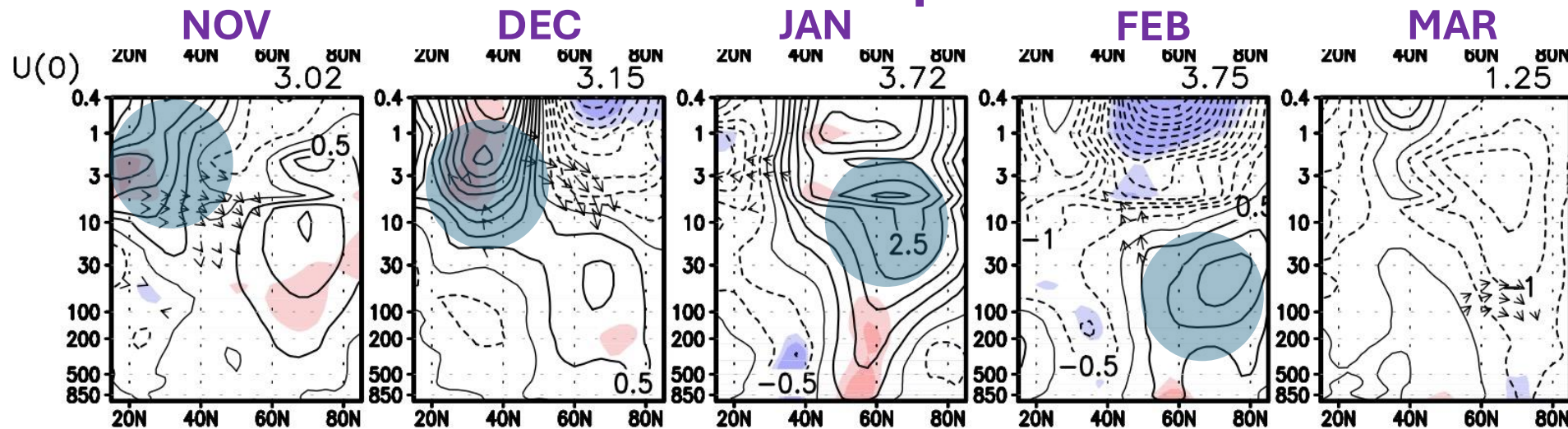
Var. = 42.6% EOF1 SLP DJFM 1899-2018



Πηγή: Climate Data Guide

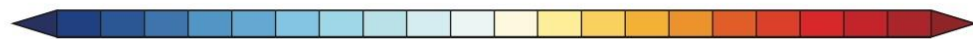
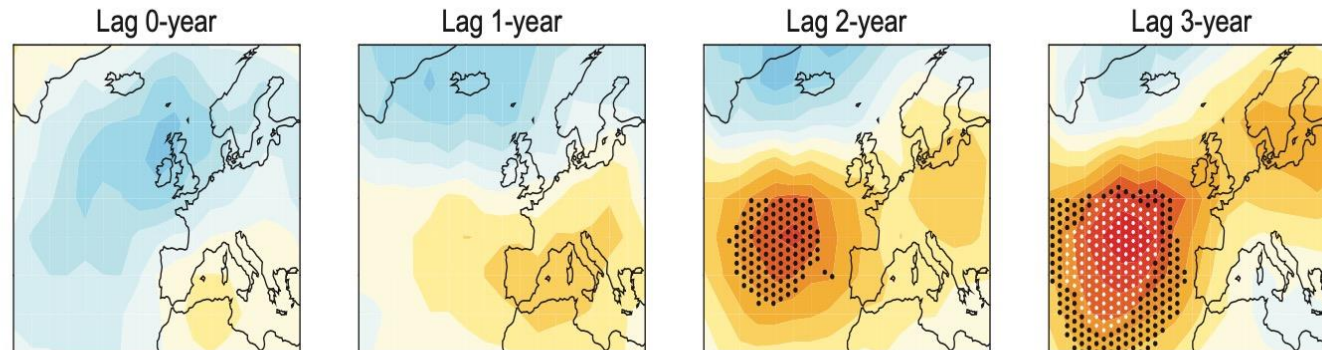
Επίδραση 11-ετους κύκλου στο NAO

SC modulation of stratospheric winds



Kuroda et al. 2022

SC modulation of NAO



HadSLP2 hPa 1870-2010 sol_high

Gray et al., 2016

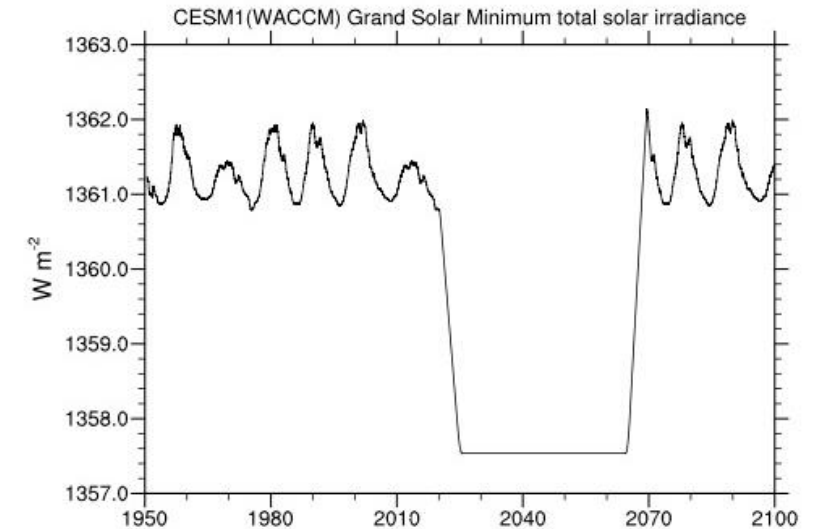
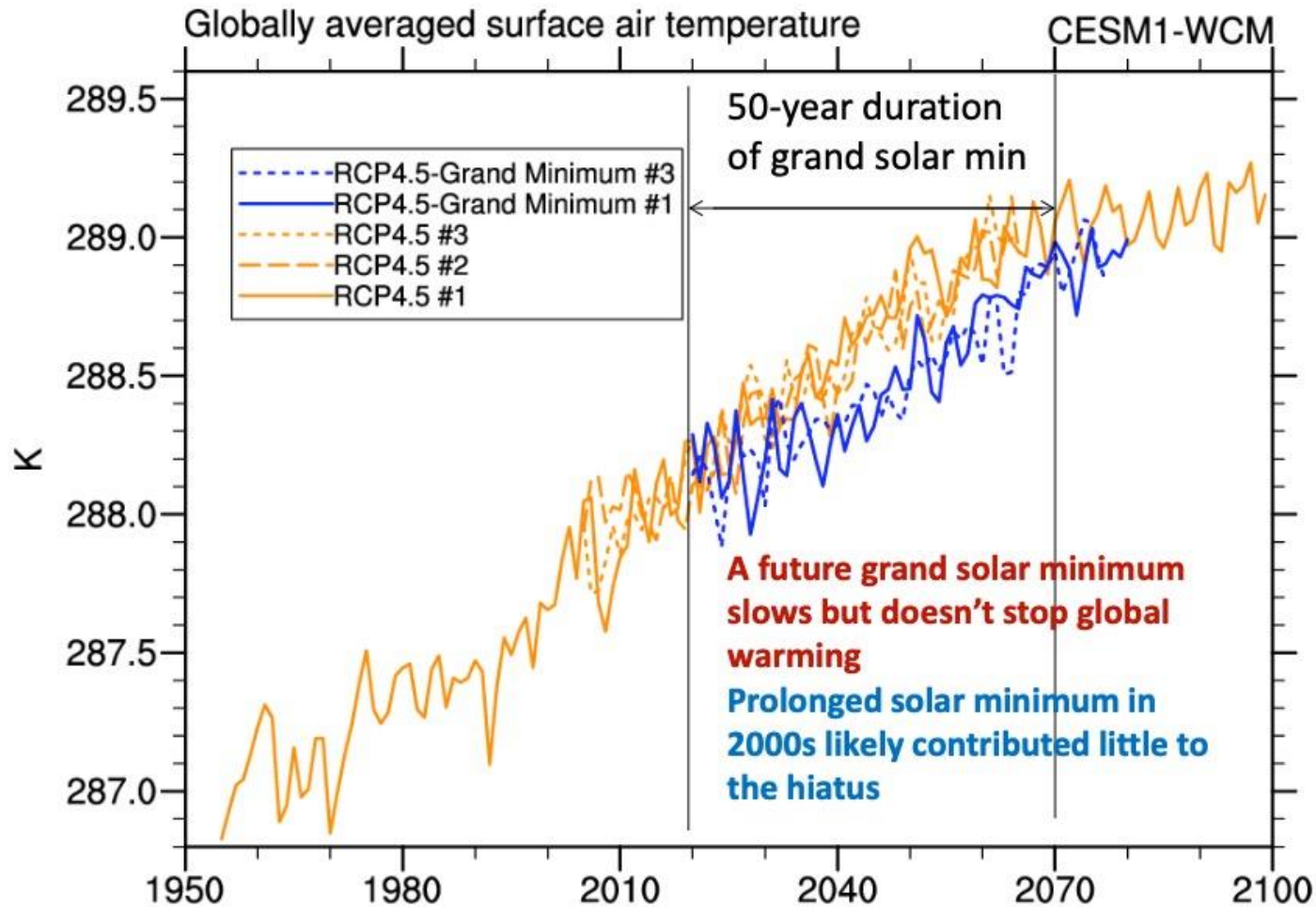
PNJ modulation

NAO tends positive

Warming over Europe



Επίδραση ενός μελλοντικού ηλιακού ελάχιστου



Ένα μελλοντικό ηλιακό ελάχιστο δεν μπορεί να σταματήσει την παγκόσμια Θέρμανση. Τοπικά στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη μπορεί να την περιορίσει



Θεματολογία

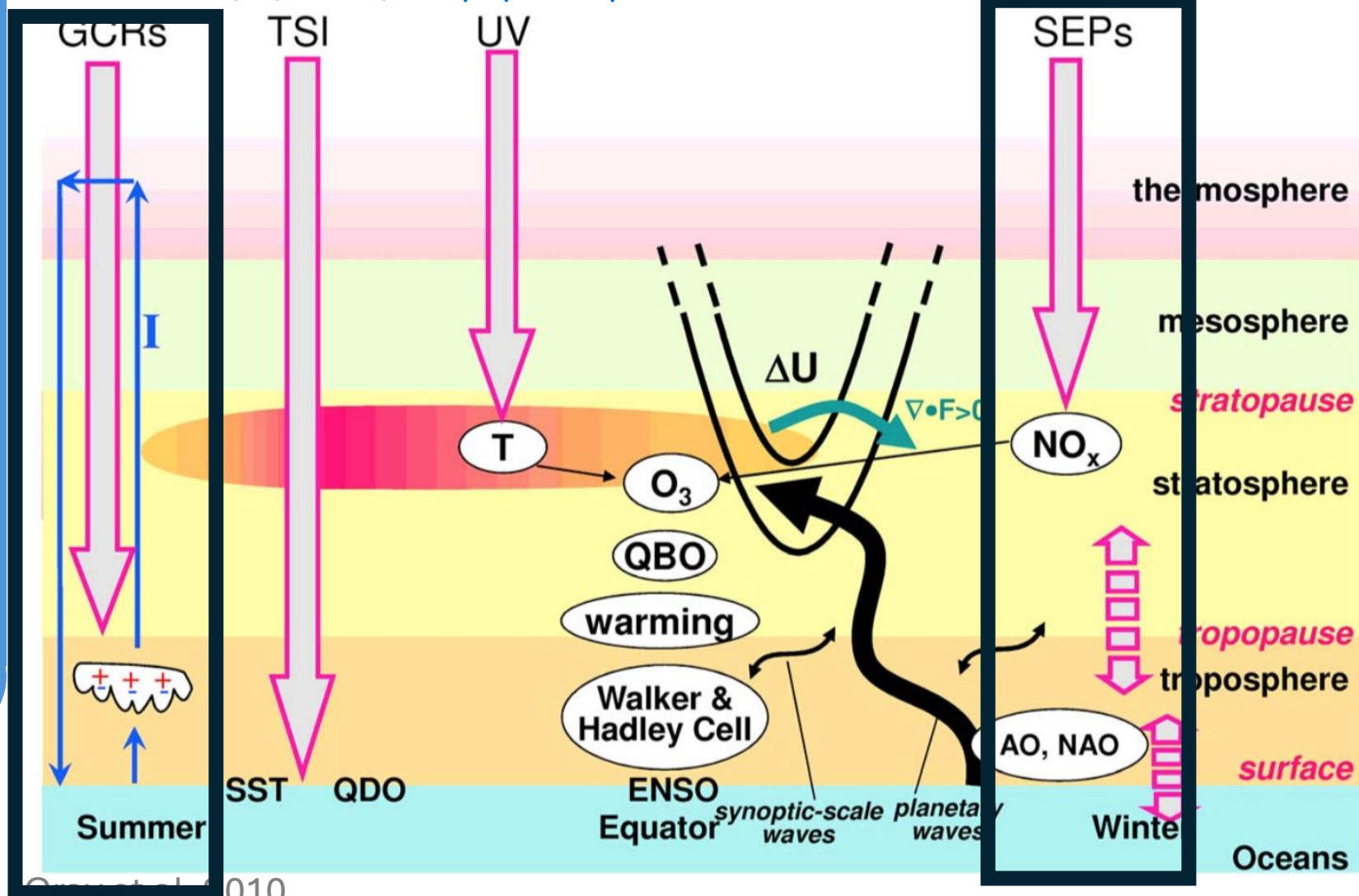
- Εισαγωγή στο κλίμα και στην ατμόσφαιρα, μηχανισμοί
- Τσελεμεντές μοντελοποίησης των μηχανισμών
- Επιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας
- **Επιδράσεις των ηλιακών πρωτονίων**
- **Επιδράσεις των κοσμικών ακτίνων**
- Cosmic Watch detector



Η Ηλιακή επίδραση και μηχανισμοί

Πάρα πολύ Μικρή Μικρή
αβέβαιο αβεβαιότητα αβεβαιότητα

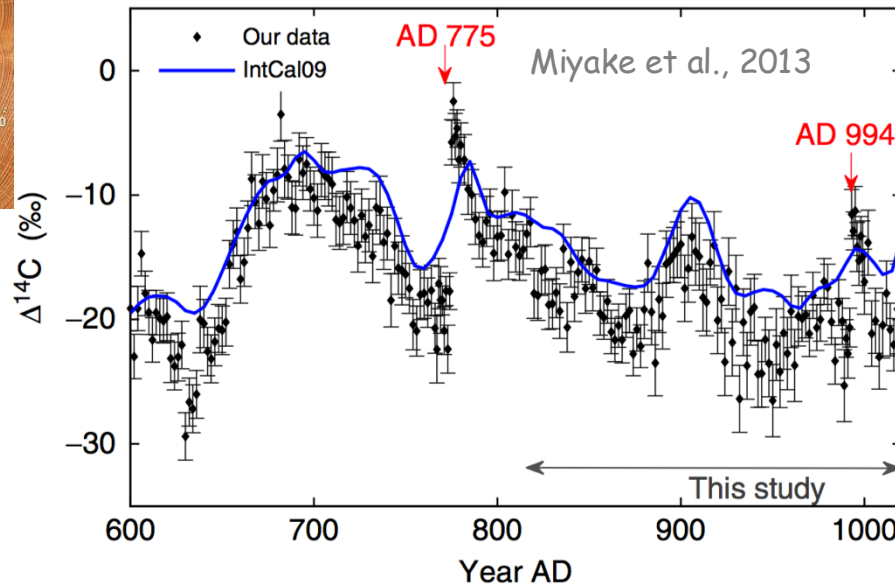
Μεγάλη
αβεβαιότητα



GCRs: Γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες
TSI: Ηλιακή ακτινοβολία
UV: Υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία
SEP: Σωματίδια από τον ήλιο



Ηλιακά πρωτόνια και γεγονότα Miyake



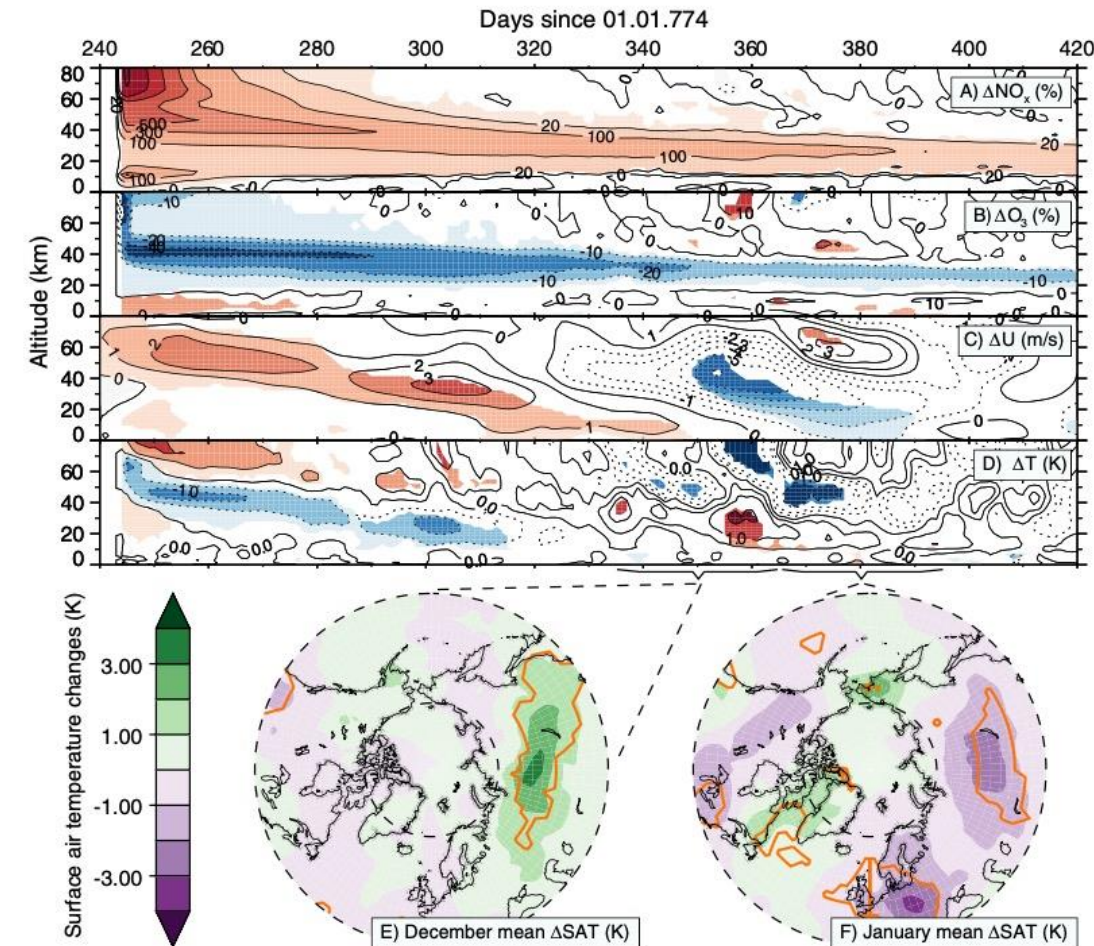
Πολλά γεγονότα: **12,350 BCE**, 7176 BCE, 5410 BCE, 5259 BCE, 663 BCE, **774-775 CE** and 993-994 CE

- ✓ Δεν γνωρίζουμε τι συχνότητα
- ✓ Δεν γνωρίζουμε το ανω όριο ενέργειας

Το κλιματικό αποτύπωμα:

- Ισχυρό στην στρατόσφαιρα.
- Ανάλογα με την εποχή, σημαντικό και στην επιφάνεια

Αποτελέσματα μοντέλου



Sukhodolov et al. 2017



Climate Impacts of Earth's Exposure to the Interstellar Medium

The Heliosphere

Our Home

Local Interstellar Medium

Heliopause ~120 au

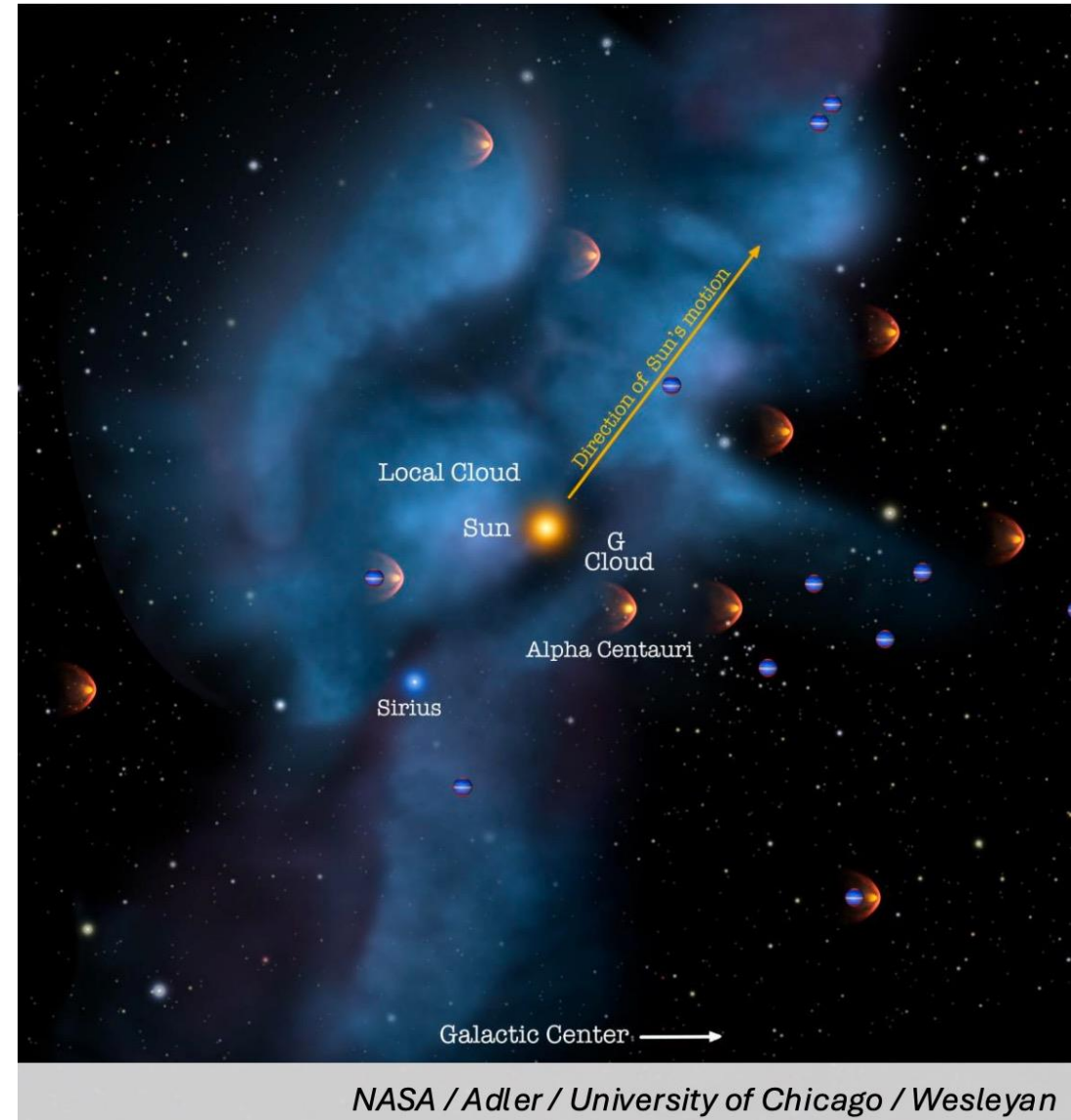
Ο Ήλιος ταξιδεύει στον Γαλαξία

Δεν παραμένει σταθερό για εκατομμύρια χρόνια!

- Εκρήξεις υπερκαινοφανών αστερών
- Πυκνά διαστρικά νέφη

Διέσχισε πυκνά νέφη (3000 cm^{-3}) στο πρόσφατο παρελθόν

- Πριν από 2 εκατ. χρόνια (Local Lynx of Cold Clouds, Opher et al. 2024, Nature Astr)
- Πριν από 7 εκατ. χρόνια (Edge of the Local Bubble, Opher et al., 2024, ApJ)



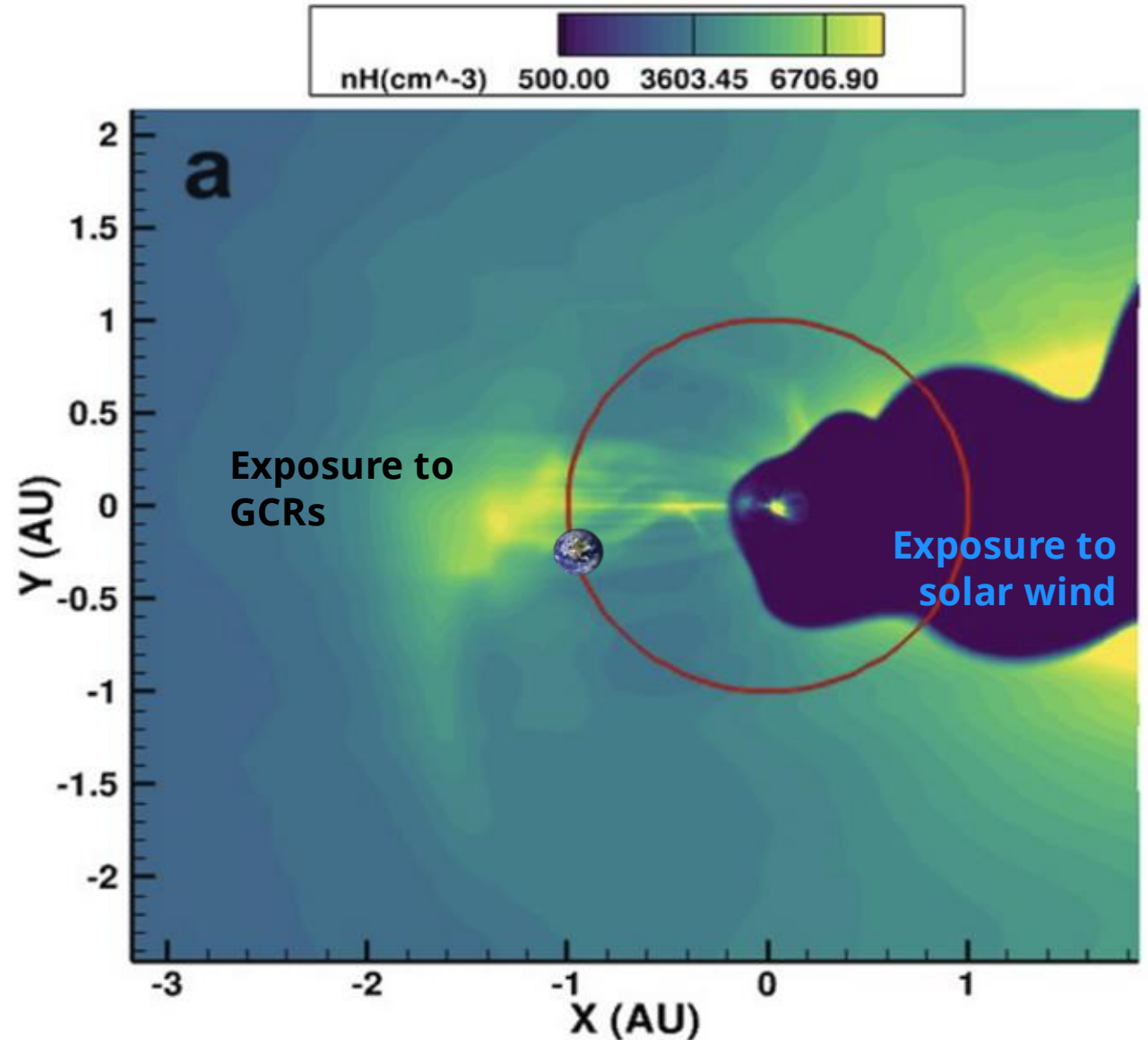
The Earth's climate in a cold cloud

Υπάρχουν ενδείξεις ότι το ηλιακό σύστημα πέρασε από ένα κρύο νέφος πριν 3 εκ. χρόνια.

Ο ηλιακός άνεμος και η ηλιόσφαιρα μάλλον **συμπιέστηκε** εσωτερικά της ακτίνας της Γης

Οι επιδράσεις συμβαίνουν λόγω

- ΓΚΑ
- Αυξημένου υδρογόνου
- Κοσμικής σκόνης



Interstellar galactic cosmic ray (GCR) spectrum

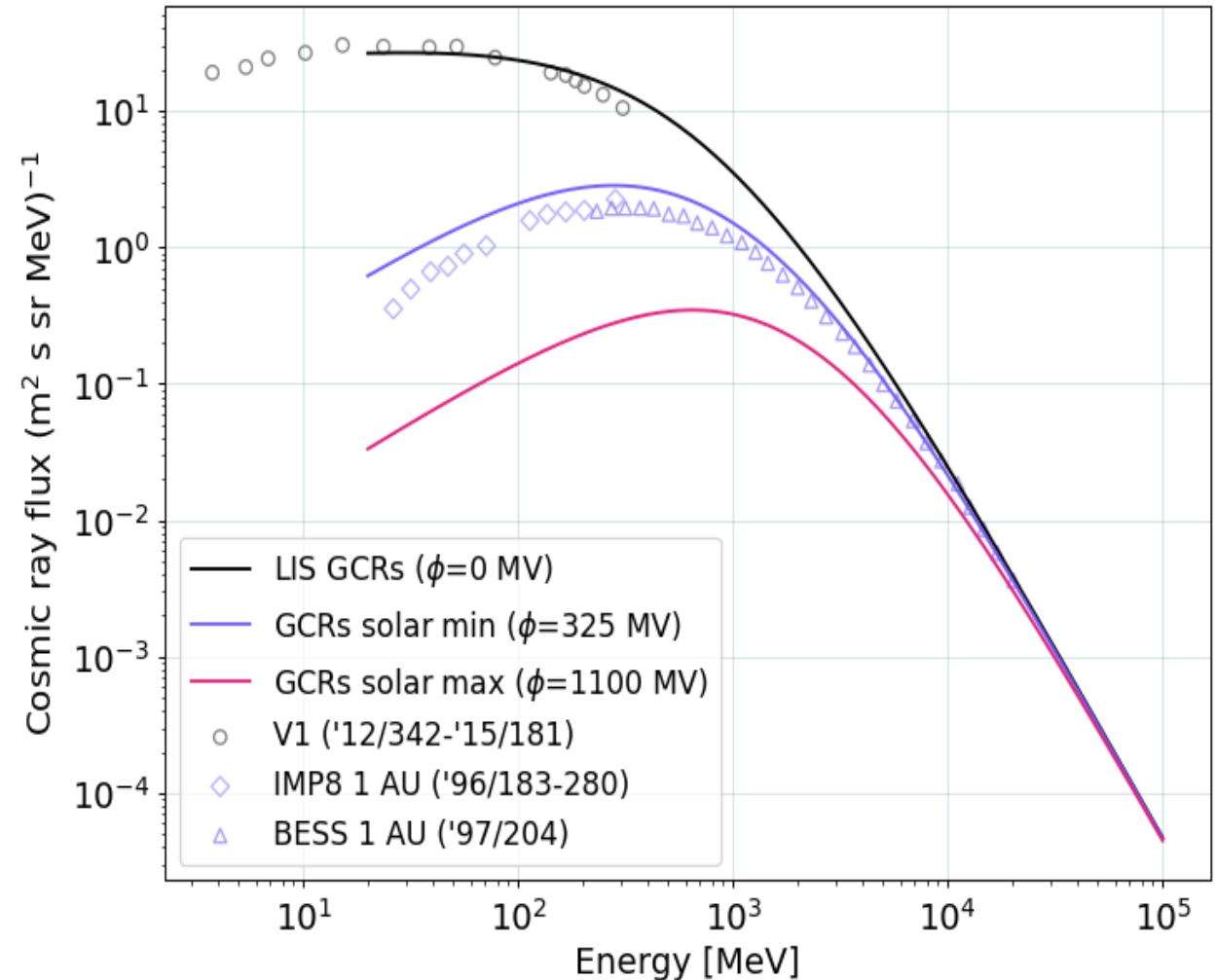
Interstellar GCR spectrum fit to Voyager 1 observations outside the heliosphere
(*Vos & Potgieter 2015*)

Heliospheric modulation reduces the flux of GCRs at Earth
(*Caballero-Lopez & Moraal 2004*)

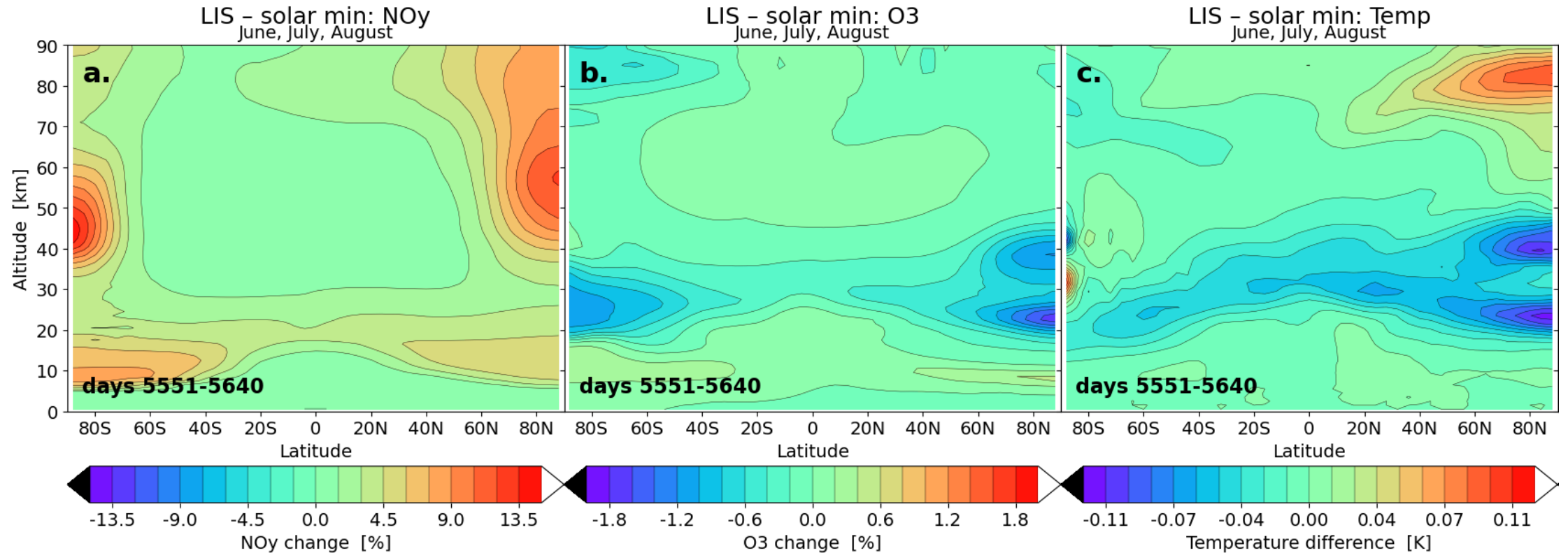
CRII FLUKA
(Usoskin et al)

Ιονισμός

Κλιματικό
μοντέλο



Ατμοσφαιρικές επιδράσεις : interstellar GCRs vs solar minimum GCRs



Nica et al., JGR 2025

5-15% increase in
nitrogen oxides in poles

Max 1-2% depletion of
polar stratospheric ozone

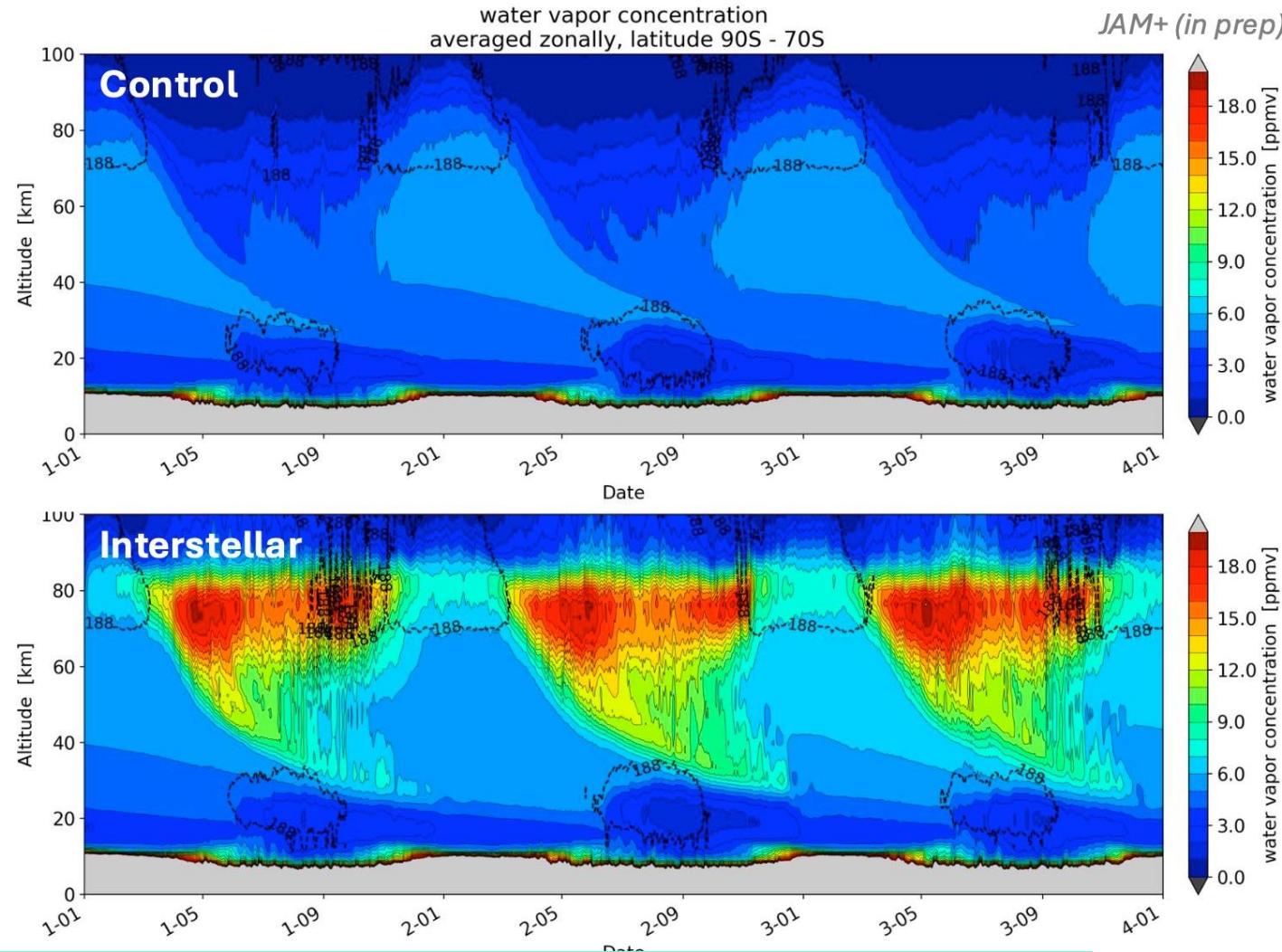
Max 0.1K decrease in polar
stratospheric temperatures

Ατμοσφαιρικές επιδράσεις : Αυξημένο υδρογόνο

Κανονικά, ξηρός αέρας
κατεβαίνει μέσα στον πολικό
στρατοσφαιρικό στρόβιλο.

Με τόσο πολύ νερό, τώρα
κατεβαίνει υγρός αέρας

Το H_2O αυξάνεται ακόμη και
κάτω από τα 30 km



Η διάσχιση ενός κρύου νέφους προκαλεί σημαντική
ύγρανση της μεσόσφαιρας και στρατόσφαιρας

Σύνοψη

- ✓ Χρησιμοποιούμε κλιματικά μοντέλα για να μελετήσουμε επιδράσεις. Δεν υπάρχουν παραμετροποιήσεις για όλους του μηχανισμούς.
- ✓ Οι ηλιακές και κοσμικές ακτινοβολίες επιδρούν στην στρατόσφαιρα μέσω του όζοντος. Η ηλιακή ακτινοβολία και μέσω απευθείας απορροφησης. Μηχανισμοί δημιουργίας και καταλυτικής καταστροφής.
- ✓ Ο 11-ετης ηλιακός κύκλος δημιουργεί όζον.
- ✓ Τα ηλεκτρόνια, ηλιακά πρωτόνια και οι ΓΚΑ καταστρέφουν όζον.
- ✓ Τα πρωτόνια και ΓΚΑ επιδρούν σε διαφορετικό υψός.
- ✓ Επιδράσεις στο κλίμα ακόμη και 3 εκ. χρόνια πριν.



Σχετικά προγράμματα

COURSE: Cross-scale cOUpling pRocesses in the Solar-tErrestrial system—SCOSTEP's new program for 2026–2030



WG1: Solar and geomagnetic forcing datasets

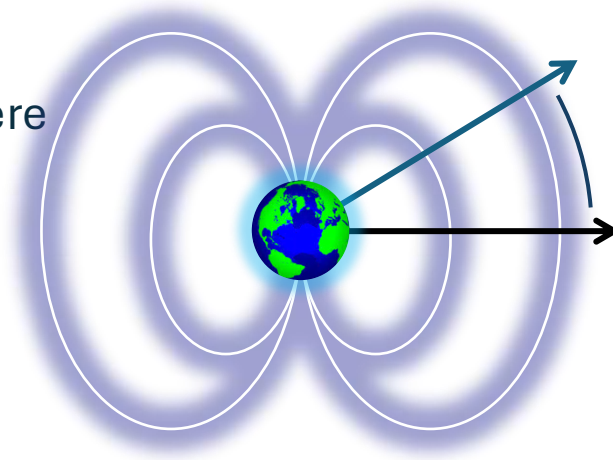
WG2: Solar influence on climate (solar signals, possible mechanisms and processes) and near-term prediction

WG3: Statistical analysis and methodological aspects

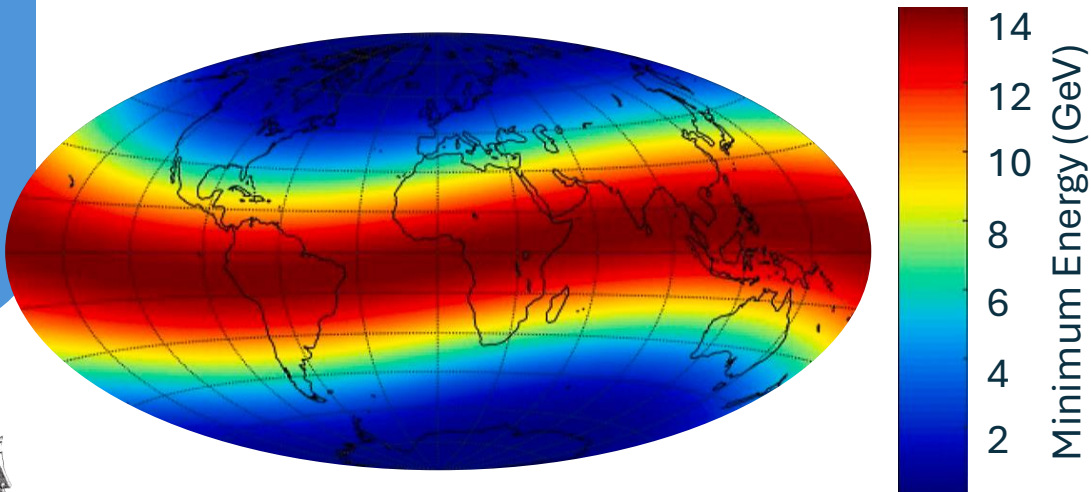


Cosmic rays in the geomagnetic field

Cosmic rays' entry into the atmosphere depends on geomagnetic latitude.



Cosmic rays must have much higher energies to reach Earth's surface at the equator than at the poles.



Comedi et al. 2020

Εργασία

However, evidence in the geologic record suggests that the Gauss-Matuyama geomagnetic pole reversal occurred approximately 2.58 Mya

So, it is possible for the Gauss-Matuyama or a similar pole reversal to have coincided with Interstellar Medium GCR exposure

Συζητήστε τι περιμένουμε σε περίπτωση αναστροφής

Discovery of GCRs



1906: CTR Wilson postulates that a powerful extraterrestrial penetrating radiation exists.

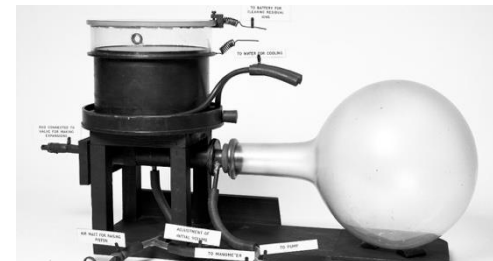
1909: Theodor Wulf measures ionizing radiation on an electroscope at the Eiffel tower (300 m).

1912: Victor Hess conducted ballon flights up to 5000 m.

1914: Werner Kolhörster reached 9,300 meters. Ionization levels nine times higher than those at ground level (Höhenstrahlung)

1925: Robert Milikan gives the “cosmic ray” naming

Cloud chamber



Electrometer



Discovery of GCRs

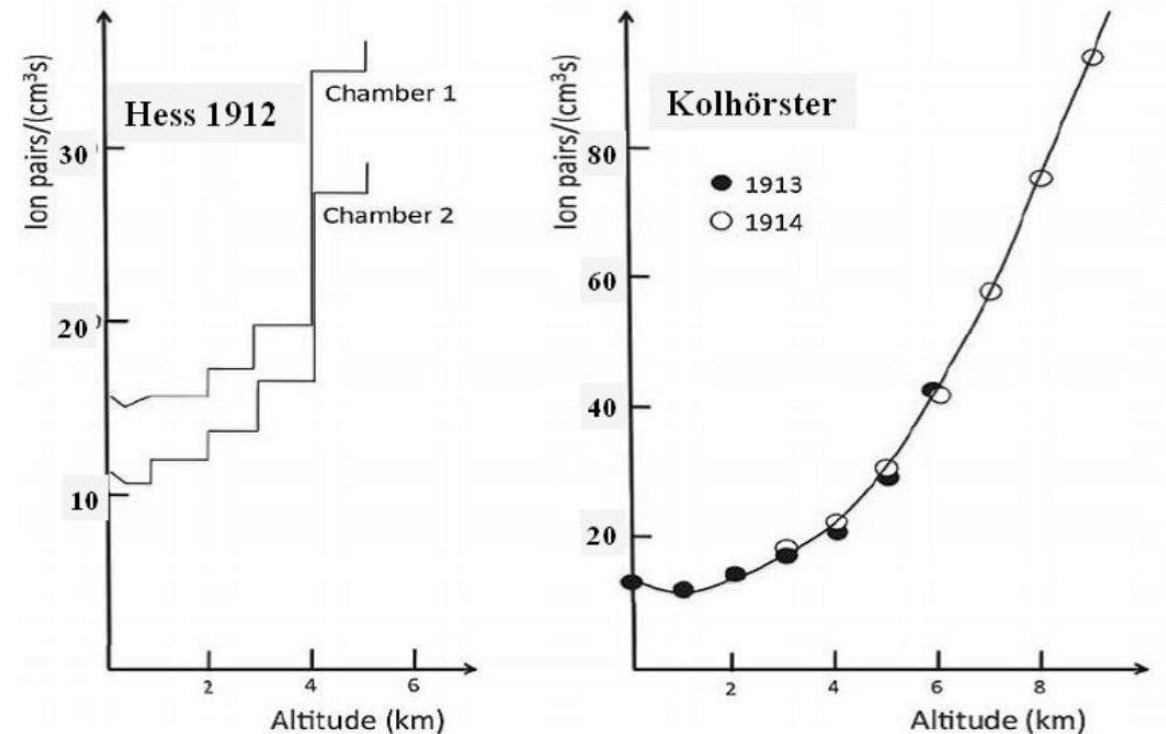
ionization rate (ion pairs per second per cubic centimetre) increases.

What is missing ?

Why ionization rate increases below 1 km?

At ground level about 2 ion pairs/(cm³s) are produced by cosmic rays.

Decisive, but later debated results of Hess and Kolhörster



About 2 I, i.e. 2 ion pairs/(cm³s) only are caused by secondary cosmic rays at sea level

Kiraly et al., 2013



Detecting Cosmic Rays: Overview of Techniques

Techniques

1. Direct Detection

Instruments on balloons or satellites measure primary cosmic rays above the atmosphere (before they shower).

2. Ground Arrays

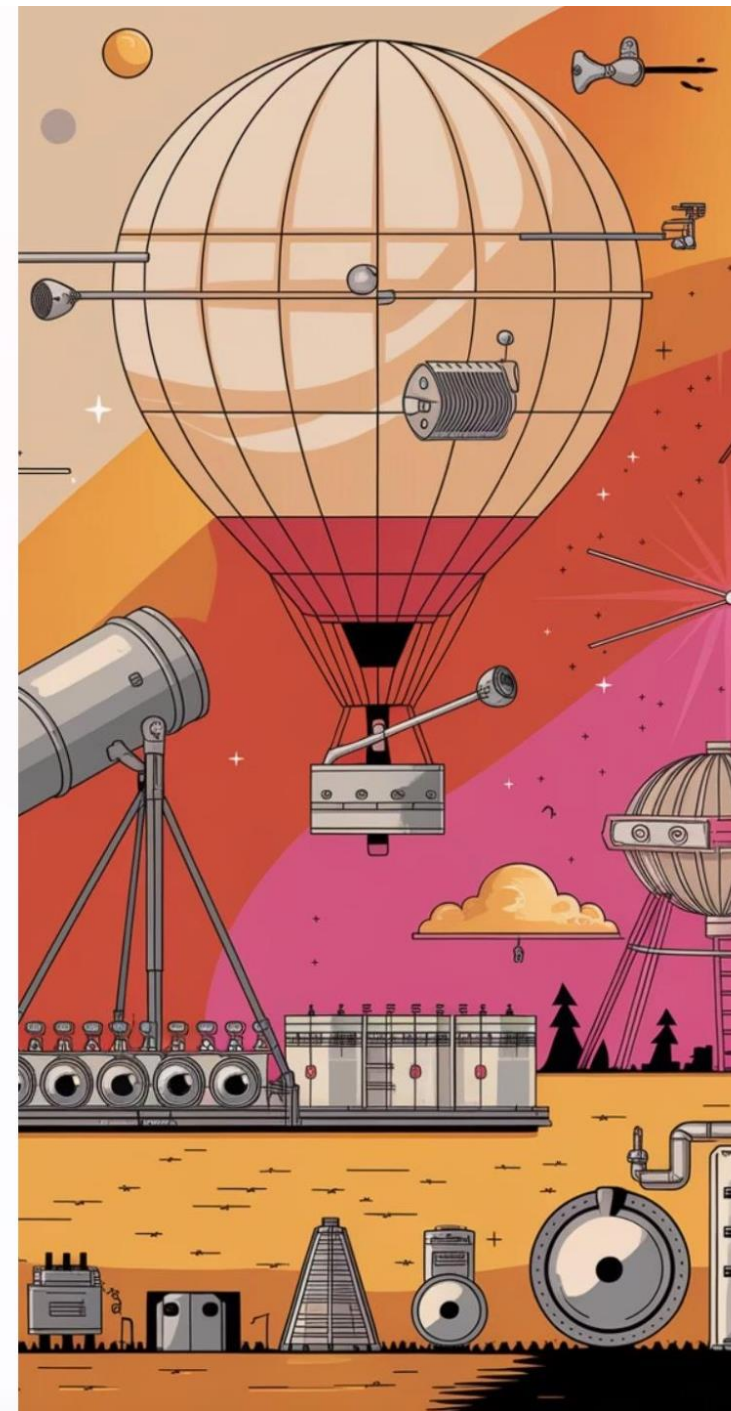
Networks of detectors spread over large areas catch secondary particles from air showers.

3. Atmospheric Detection

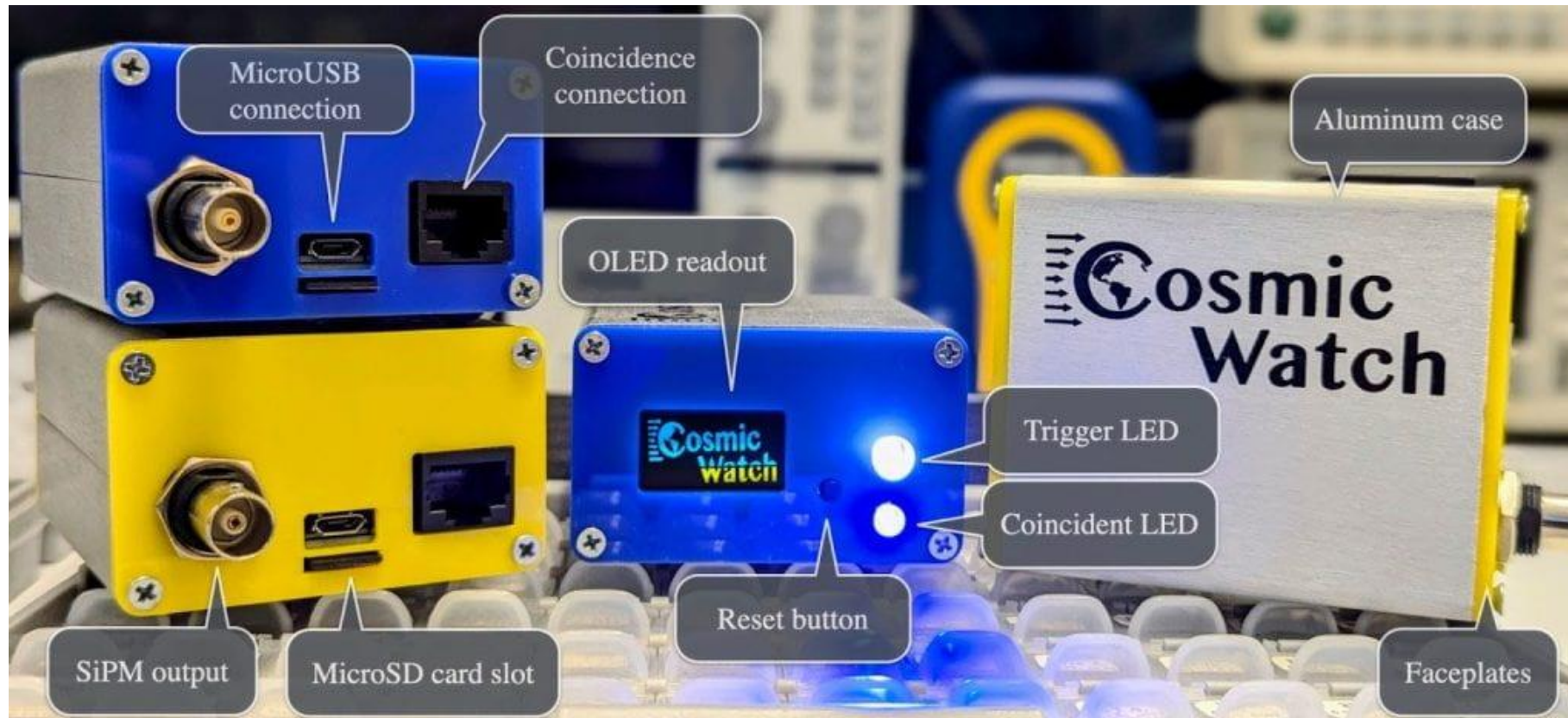
Fluorescence telescopes capture UV light from air showers; radio antennas listen for radio pulses.

4. Underground Detectors

Deep facilities catch penetrating muons or neutrinos from cosmic ray interactions.



Cosmic Watch detector

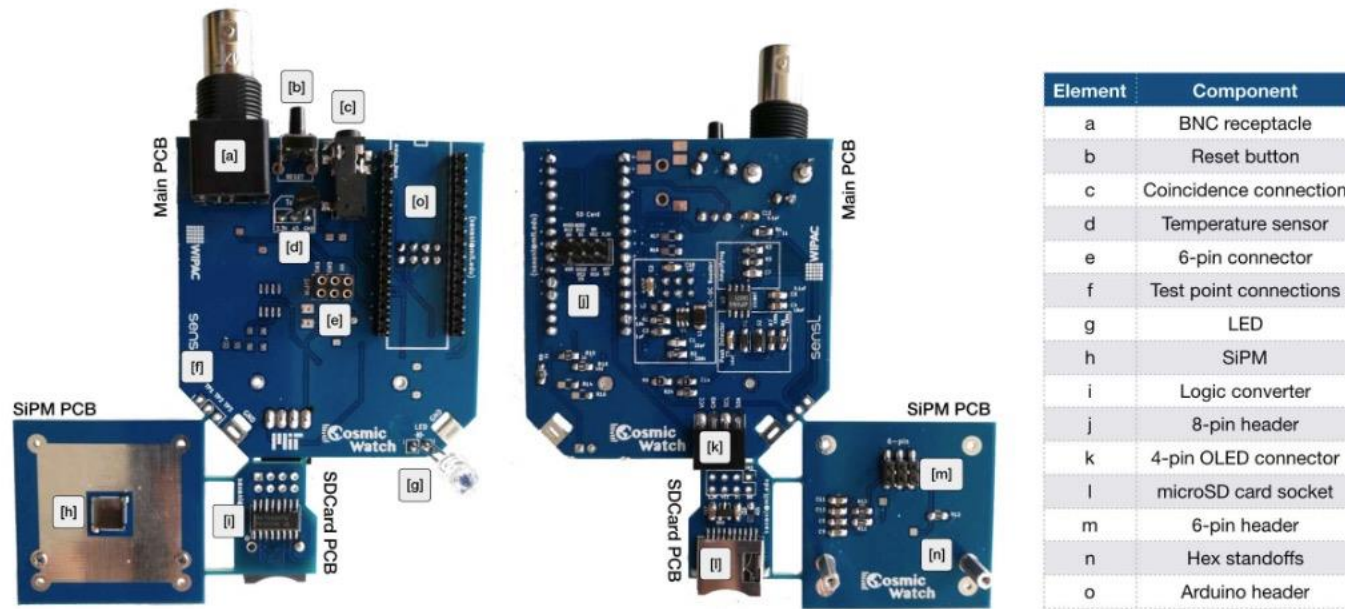


CosmicWatch can be used to activities:

- radioactivity, measurements of beta and gamma radiation;
- cosmic rays, measurements of the properties associated with cosmic-ray muons;
- building and designing particle detectors.



The Cosmic Watch detector



- $5 \times 5 \times 1 \text{ cm}^3$ plastic scintillator
- silicon photomultiplier (SiPM)
- micro-controller (Arduino Nano)
- Led for detection

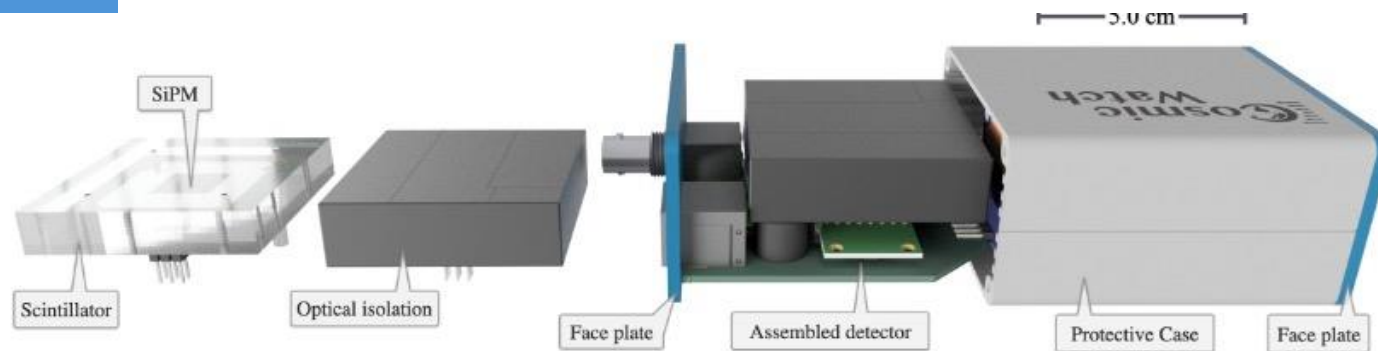
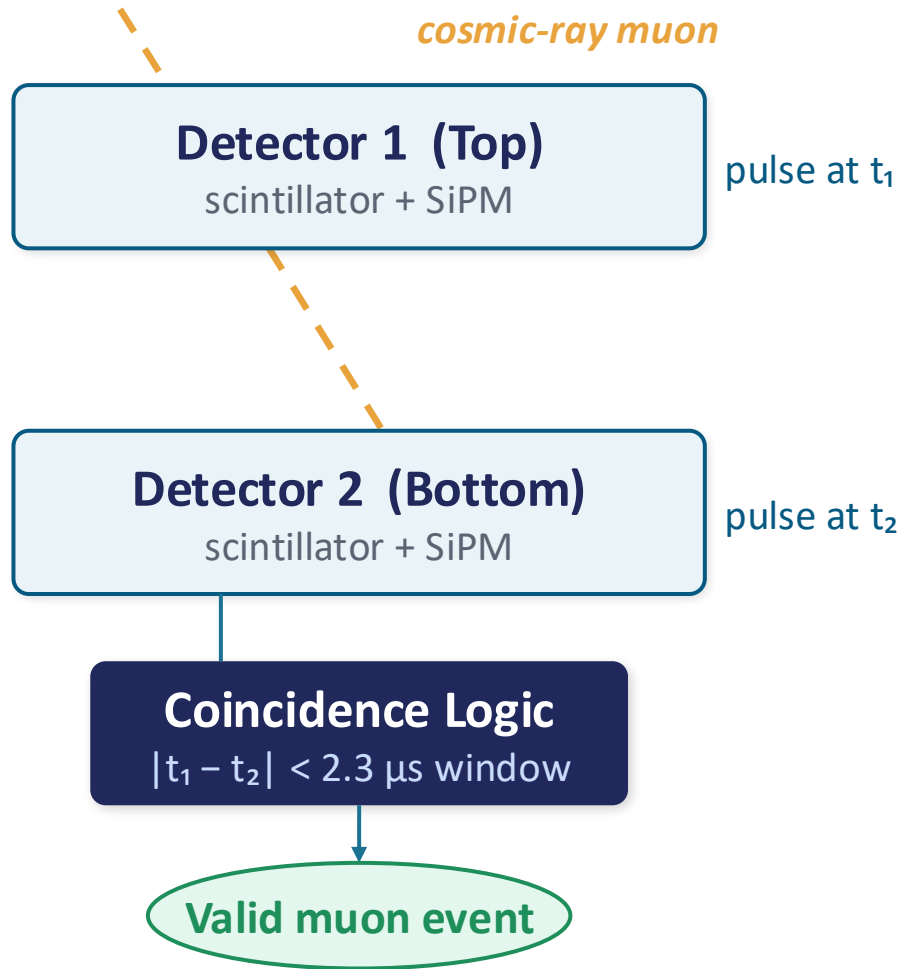


Figure 4.3: The components of the Desktop Muon Detector.

<https://github.com/spenceraxani/CosmicWatch-Desktop-Muon-Detector-v3X>

The Coincidence Method

How CosmicWatch tells a real cosmic-ray muon from random detector noise



- A single SiPM produces occasional random pulses (“dark counts”) that mimic a real hit.
- Stack two detectors a few cm apart, linked by a coincidence cable (master + coincidence mode).
- A real muon crosses both detectors almost instantaneously — the two pulses arrive within nanoseconds.
- After a trigger, the firmware opens a $\approx 2.3 \mu\text{s}$ window and checks for a matching pulse.
- Only matched pairs are logged as muon events — uncorrelated noise is filtered out.

Software Coincidence Method

- Each unit timestamps its own pulses independently — no cable links the two detectors.
- A script compares both logs and flags pairs within the $> 2.3 \mu\text{s}$ window as muons.
- Unmatched “singles” are discarded as noise



Exercises

Go to https://github.com/smisios/gramos_course

1) Repeat historical observation using radiosonde measurements

use the cosmicwatch_data_ballon.csv

2) Location Detectives

use CW_data_example files.

3) Take your own measurements

Free to choose locations. Use salt. Use cw_getdata.py

4) The Fixators: fix the #2 detector

