

Ηλιακές κηλίδες..., και όμως
επηρεάζουν το κλίμα της Γης

Maunder Minimum-Little Ice Age



Στράτος Θεοδοσίου

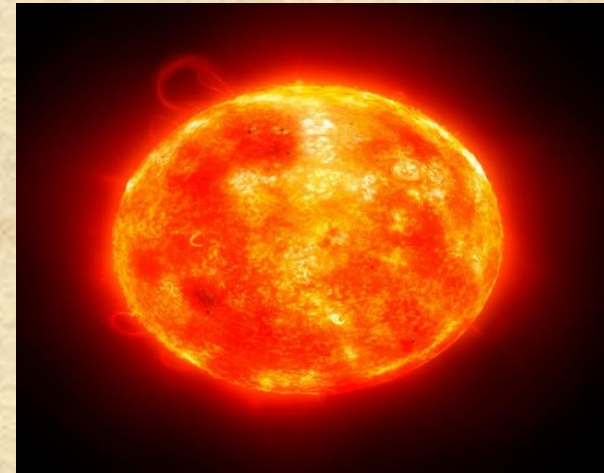
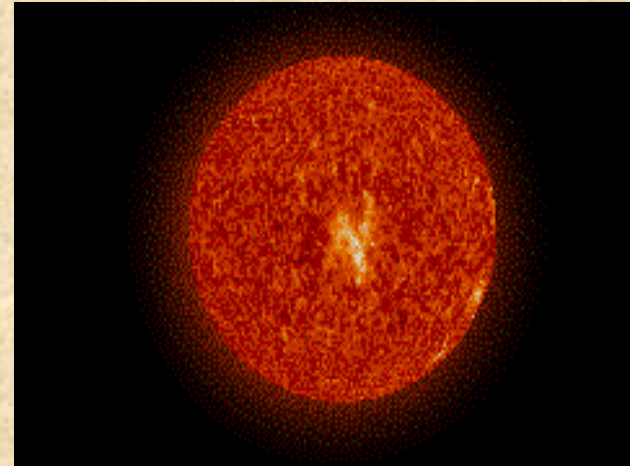
Αστροφυσικός, Πρόεδρος της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών

Μέλος του Σώματος Ομοτίμων Καθηγητών

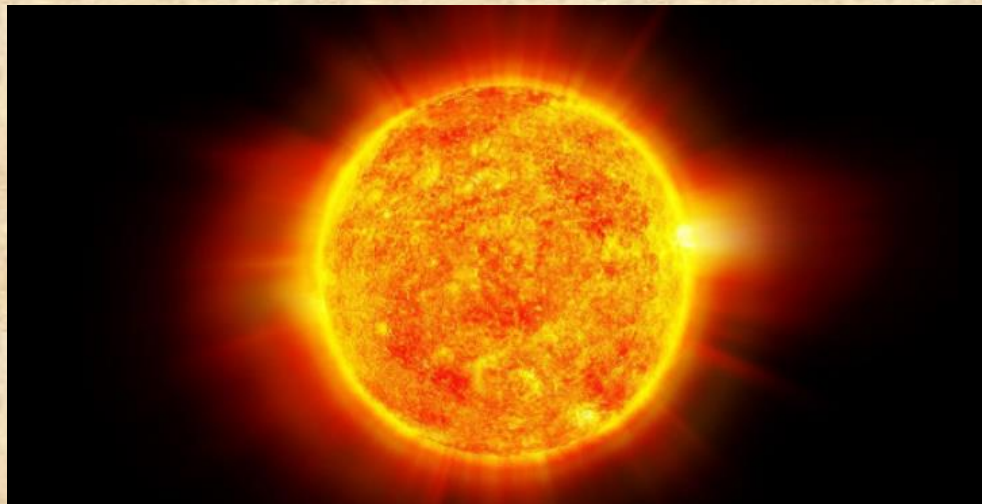
του Πανεπιστημίου Αθηνών

Ήλιος και ηλιακή δραστηριότητα

Ο Ήλιος παρουσιάζει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον, αφ' ενός μεν επειδή, ως αστέρας, η μελέτη του μας βοηθάει στη μελέτη των άλλων αστεριών, αφ' ετέρου δε, επειδή ως «πατέρας» του ηλιακού μας συστήματος κατέχει δεσπόζουσα θέση σε αυτό και η δραστηριότητά του συνδέεται έμμεσα ή άμεσα με ένα πλήθος γήινων φαινομένων, που κυριολεκτικά αφορούν την ύπαρξη, τη ζωή και την εξέλιξη του ζωικού και φυτικού βασιλείου πάνω στη Γη.



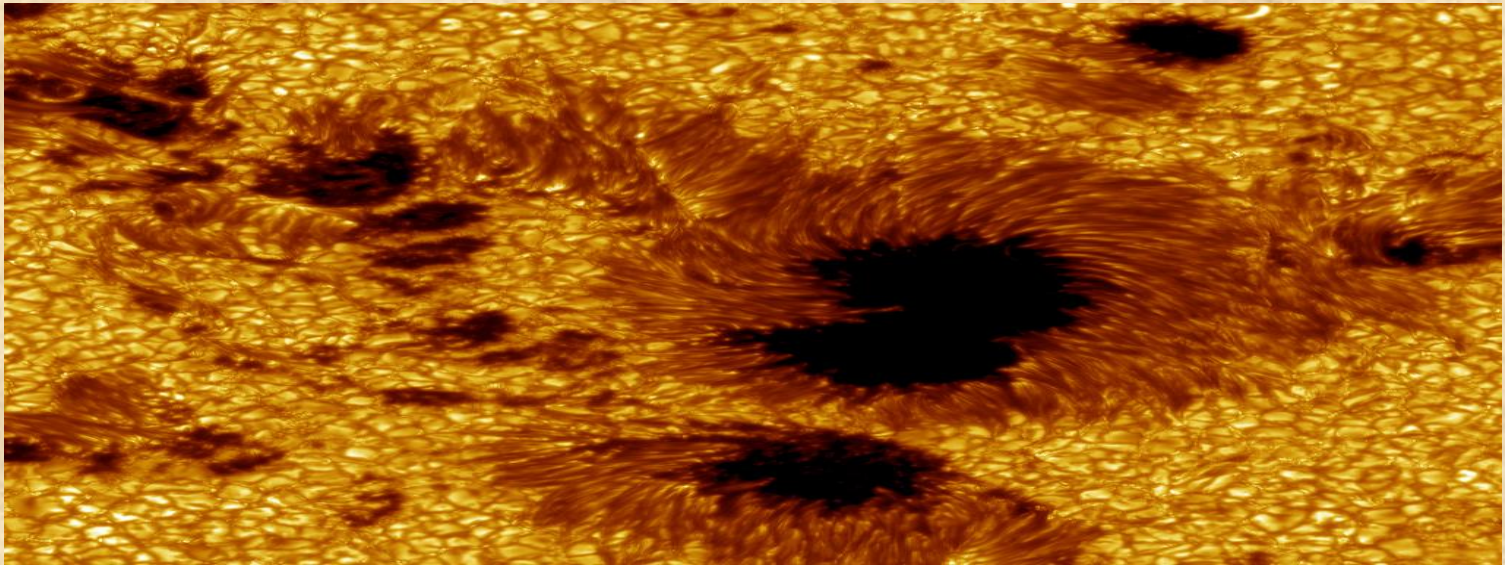
- Η δραστηριότητα του Ήλιου επηρεάζει και συσχετίζεται με πάρα πολλά φαινόμενα που διαδραματίζονται πάνω στη Γη.
- Με αυτήν την έννοια ο ρόλος του Ήλιου είναι ζωτικότατος, αφού ο φωτοδότης και ζωοδότης αυτός αστέρας είναι η πρωταρχική πηγή ενέργειας για τη διατήρηση της ζωής στον μικρό πλανήτη μας.



Δραστηριότητα της ηλιακής φωτόσφαιρας

- 1. Πυρσοί (faculae) = λαμπροί φωτοσφαιρικοί κόκκοι.
- 2. Πόροι (pores)= η εξέλιξη των πυρσών.
- 3. Οι πόροι, με τη σειρά τους, εξελίσσονται σε ευρύτερους σκοτεινούς σχηματισμούς που ονομάζονται κηλίδες (sun spots).
- Τις ηλιακές κηλίδες τις είχε εντοπίσει στον ηλιακό δίσκο τόσο ο Θεόφραστος (300 π.Χ.) όσο και ο Κινέζος αστρονόμος Kan Te την ίδια περίπου εποχή. Στα Χρονικά της Σινίκης από το 28 π.Χ. έως το 1638 μ.Χ. οι Κινέζοι αστρονόμοι είχαν καταγράψει 112 εκρήξεις κηλίδων.

Οι **ηλιακές κηλίδες** είναι παροδικά φαινόμενα που εμφανίζονται στην επιφάνεια του **Ηλίου**, τη λεγόμενη **φωτόσφαιρα**, της οποίας και θεωρούνται οι πιο εντυπωσιακοί και ενδιαφέροντες σχηματισμοί της. Είναι ορατές ως σκοτεινές μικρές ή μεγαλύτερες σχεδόν κυκλικές επιφάνειες-κηλίδες, σε σχέση με τις γειτονικές περιοχές της φωτόσφαιρας, που περιβάλλονται από λιγότερο σκοτεινές στεφάνες ινώδους υφής.

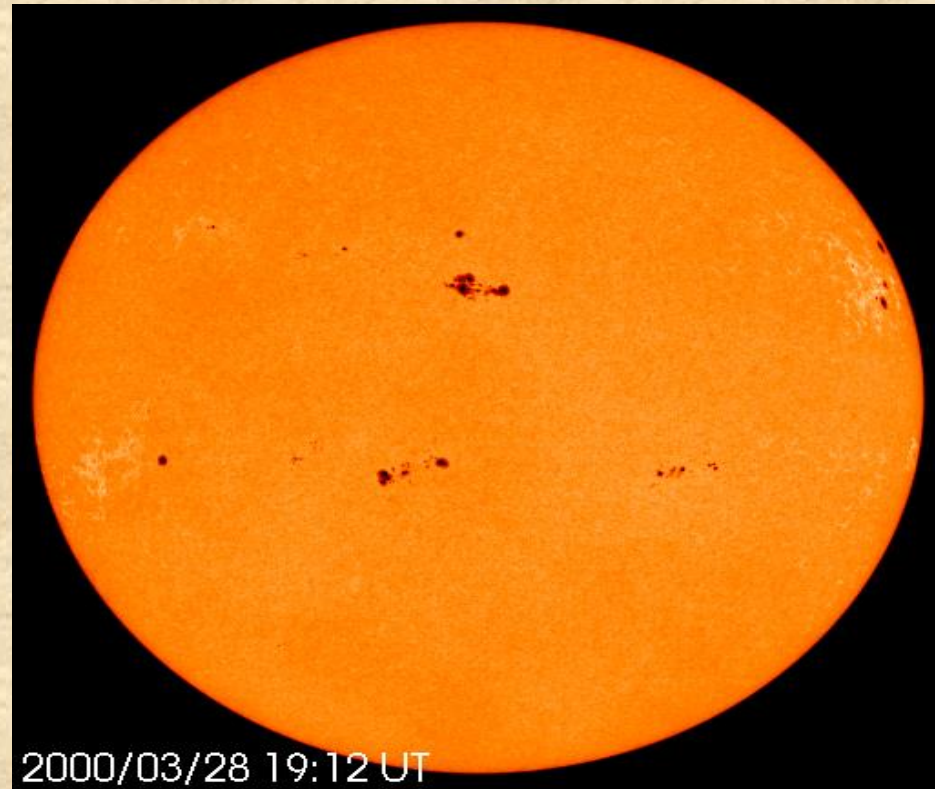


Ομάδα ηλιακών κηλίδων παρατηρηθείσα στις 15/11/1970.

Ο σχηματισμός αυτός είχε εύρος 90.0000 Km.

Γαλιλαίος

■ Το 1610 παρατηρώντας την κίνηση μιας ομάδας κηλίδων πάνω στην ηλιακή φωτόσφαιρα σημείωσε ότι διένυαν **ολόκληρη τη διάμετρο του Ήλιου εντός δύο (2) εβδομάδων**. Σήμερα βεβαίως γνωρίζουμε ότι το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην περιστροφή του Ήλιου γύρω από τον άξονά του.



Ζωή κηλίδας: Υπολογίζεται ότι από την αρχή της βαθμιαίας ανάπτυξης και ομοίως της βαθμιαίας ελάττωσης μέχρι της τελείας εξαφάνισης, η ζωή της κυμαίνεται εν γένει από λίγες ημέρες μέχρι και 11 ημέρες, ανάλογα του μεγέθους της.

■ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΗΛΙΑΚΩΝ ΚΗΛΙΔΩΝ

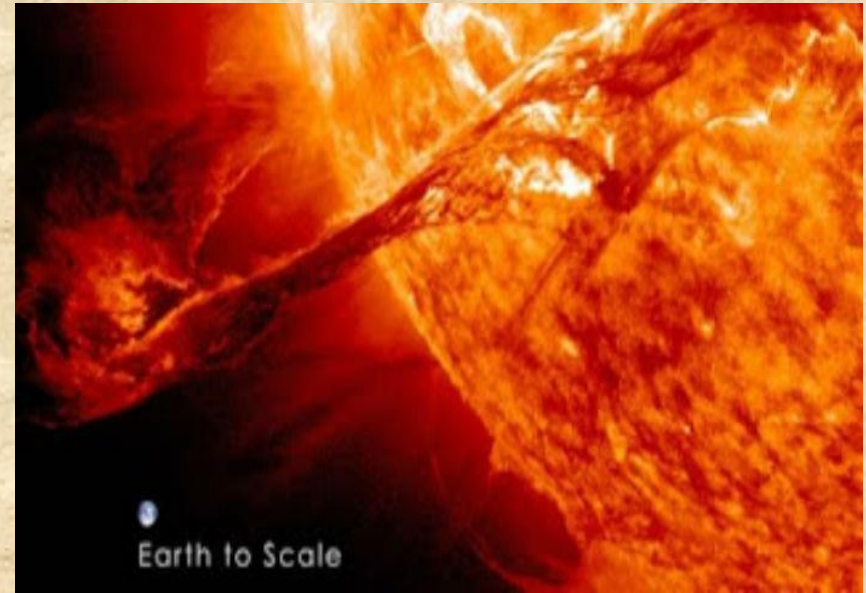
Προκαλούνται από μαγνητική δραστηριότητα, η οποία παρεμποδίζει τα ρεύματα μεταφοράς θερμότητας από το ηλιακό εσωτερικό, δημιουργώντας έτσι περιοχές με μειωμένη επιφανειακή θερμοκρασία. Παρότι μία ηλιακή κηλίδα έχει θερμοκρασία ως και 5000 K, η αντίθεση με το περιβάλλον υλικό **των 5800 K** την καθιστά εύκολα ορατή ως σκοτεινή κηλίδα, καθώς η ένταση ακτινοβολίας που εκπέμπει ένα θερμό σώμα είναι ανάλογη της θερμοκρασίας του υψωμένης στην τέταρτη δύναμη ($F = \sigma T^4$).

Μελετούνται με το Zeeman effect, δηλαδή την επίδραση του Μαγνητισμού σε φαινόμενα ακτινοβολίας.

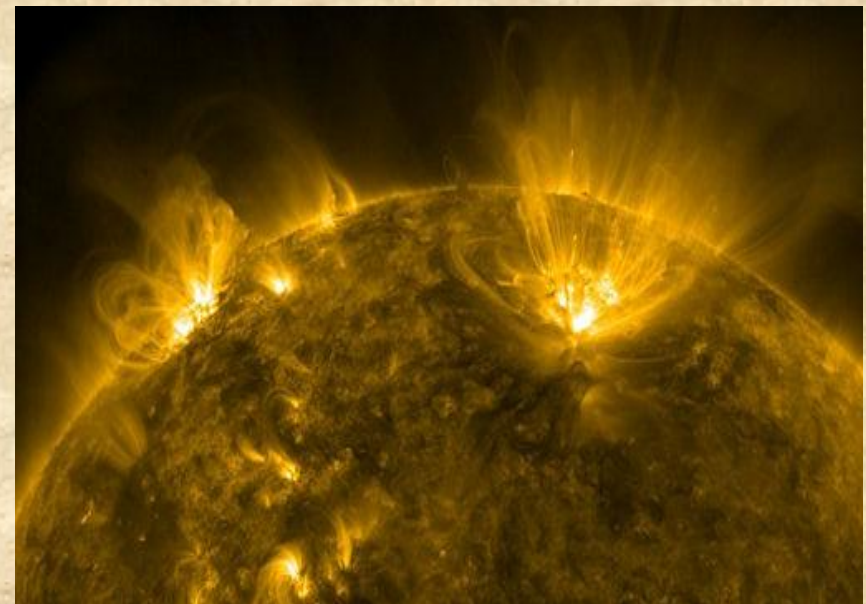
Αν μία ηλιακή κηλίδα μπορούσε να παρατηρηθεί απομονωμένη από την περιβάλλουσα φωτόσφαιρα, θα ήταν πολύ φωτεινότερη.

Μία ηλιακή κηλίδα διαστέλλεται και συστέλλεται καθώς εξελίσσεται στην ηλιακή επιφάνεια. Μπορεί να φθάσει σε διάμετρο 90.000 km ή **εξαπλάσια της Γης**, πράγμα που καθιστά τις μεγαλύτερες κηλίδες ορατές ακόμα και με γυμνό μάτι κατά την ανατολή ή τη δύση του Ηλίου.

Οι ηλιακές κηλίδες, ως εκδήλωση έντονης μαγνητικής δραστηριότητας, συνοδεύονται με δευτερογενή φαινόμενα, όπως είναι οι **στεμματικοί βρόχοι εκλάμψεων (flare loops)**.



Οι περισσότερες ηλιακές **εκλάμψεις (flares)** και οι στεμματικές εκτοξεύσεις μάζας γεννώνται σε **μαγνητικώς ενεργές περιοχές** γύρω από ορατές ομάδες κηλίδων.



Εκλάμψεις και προωθήσεις ηλιακών κηλίδων

Ενδεκαετής κύκλος και αριθμός Wolf

- Η περιοδική διακύμανση του αριθμού των ηλιακών κηλίδων ανακαλύφθηκε από τον Γερμανό αστρονόμο **Χάινριχ Σβάμπτε (Heinrich Schwabe, 1789-1875)**, από 1826 το 1843: Παρατήρησε ότι ο ρυθμός των κηλίδων αυξομειωνόταν εντός περιόδου 10,4 ετών, πράγμα που οδήγησε τον **Γιόχαν Ρούντολφ Βολφ (Johann Rudolf Wolf, 1816-1893)** στη διεξαγωγή συστηματικών παρατηρήσεων από το **1848** (ενδεκαετής κύκλος = 11,1 έτη).
- Ο **Γιόχαν Ρούντολφ Βολφ** ήταν **Ελβετός αστρονόμος και μαθηματικός**. Θεωρείται πρωτοπόρος της **Αστρονομίας** στη χώρα του και διετέλεσε από το **1864 έως 1893** **Διευθυντής του Ομοσπονδιακού Παρατηρητηρίου στη Ζυρίχη**, του οποίου και ήταν ο ιδρυτής.

Αριθμός Wolf, R (The Wolf number, 1848)

- Ο λεγόμενος αριθμός Wolf, R, είναι ένα μέτρο της δραστηριότητας των ηλιακών κηλίδων και των ομάδων τους.
- $R = K (10g + f)$,
- όπου K = μία σταθερά που εξαρτάται από το τηλεσκόπιο και το όργανο που χρησιμοποιείται.
- g = ο αριθμός των ομάδων κηλίδων, και
- f = ο αριθμός των κηλίδων.

Σημειώνω ότι την περασμένη δεκαετία, είχε προταθεί μια σχέση ανάμεσα στον κύκλο των ηλιακών κηλίδων και στη μέση παλιρροϊκή βαρυτική δύναμη που ασκούν οι πλανήτες στην ηλιακή φωτόσφαιρα



- Ο Βολφ μελέτησε επίσης τα ιστορικά αρχεία σε μια προσπάθεια να δημιουργήσει μία βάση δεδομένων για τις περιοδικές διακυμάνσεις του παρελθόντος. Η βάση του εκτεινόταν μόνο έως το 1700, παρότι οι τεχνικές για προσεκτικές ηλιακές παρατηρήσεις υπήρχαν ήδη από το 1610.

- ΕΡΩΤΗΜΑ δικό σας: Μα, γιατί μας τα λες όλα αυτά;

Επειδή, όπως θα δείτε έχουν άμεση σχέση με το περιβάλλον, το κλίμα στη Γη και τη γήινη ζωή.

Προβληματιζόμενος πάνω σε αυτό, ο Γερμανός αστρονόμος **Gustav Spörer** (1822-1895) ανακάλυψε μία εποχή διάρκειας 150 ετών από το 1420 έως το 1570 **κατά την οποία εμφανιζόταν μικρός αριθμός από κηλίδες (Spörer Minimum)**, ίσως κάτι αντίστοιχο εμπόδισε τον Βολφ να επεκτείνει το αρχείο του.

Τούτο είχε σαν αποτέλεσμα την αλλαγή του κλίματος στη Δυτική Ευρώπη.



Gustav Spörer

The Hunters in the Snow, 1565



του Φλαμανδού ζωγράφου Pieter Bruegel the Elder (1525-1569)

Ο Άγγλος αστρονόμος Έντουαρντ Γουόλτερ Μώντερ (Edward Walter Maunder, 1851-1928), μελέτησε συστηματικά τις ηλιακές κηλίδες και τον μαγνητικό ηλιακό κύκλο, με αποτέλεσμα την ανακάλυψη μιας περιόδου **χωρίς** κηλίδες μεταξύ 1645 και 1715.



Μελέτησε ενδελεχώς την ερευνητική δουλειά του Gustav Spörer, ο οποίος είχε αναγνωρίσει μια περίοδο από το 1420 μέχρι 1570, όταν ήταν ελάχιστες οι ηλιακές κηλίδες (**Spörer Minimum**). Ο Maunder ερεύνησε στα παλαιά αρχεία του Αστεροσκοπείου του Γκρήνουιτς προκειμένου να καθορίσει εάν υπήρχαν και άλλες τέτοιες περιόδους. **Αυτή η μελέτη του τον οδήγησε στην ανακάλυψη, το 1893, της περιόδου που είναι σήμερα γνωστή ως «Ελάχιστο του Μώντερ» (Maunder Minimum).**

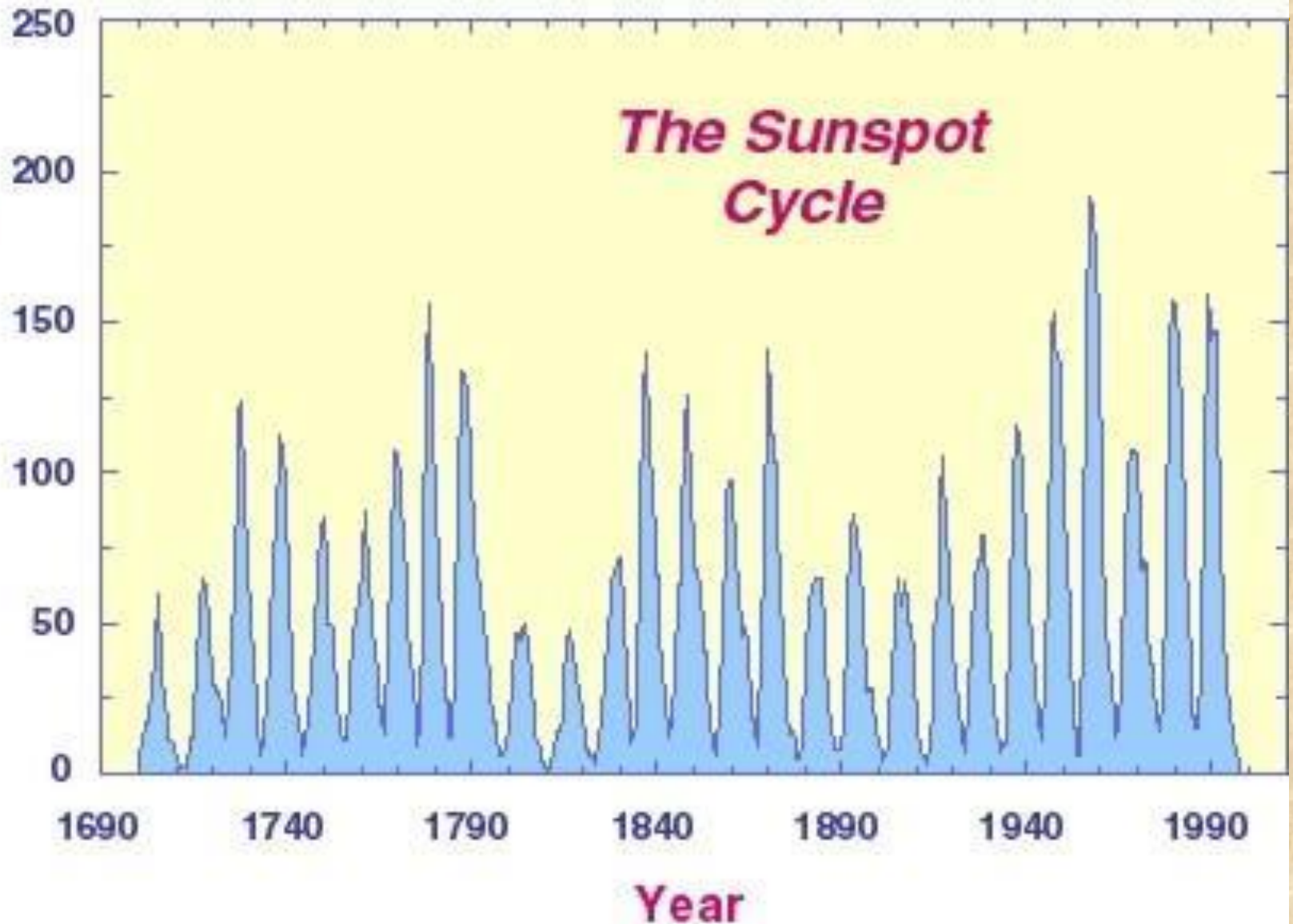
Την παραπάνω χρονική περίοδο υπήρξε ταυτόχρονη απουσία, εκτός από κηλίδες, και βόρειου σέλαος.

«Ελάχιστο του Μώντερ» - Maunder Minimum

Ο Άγγλος αστρονόμος Edward Walter Maunder (1851-1928), γύρω στο 1890, υπέδειξε ότι τη χρονική περίοδο μεταξύ των ετών 1645 και 1715, οι θερμοκρασίες στην Δυτική Ευρώπη (ή μάλλον στο βόρειο ημισφαίριο) ήταν πολύ χαμηλές εξ αιτίας μικρής ηλιακής δραστηριότητας.

Επίσης, το 1904 ανακάλυψε τη σχέση του 11ετούς κύκλου με τη δραστηριότητα των εκλάμψεων και τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων διαφόρων ηλιογραφικών πλακών

Number of Sunspots



Ελάχιστο ηλιακών κηλίδων από το 1690 έως το 1715 και πάλι από το 1800 έως 1830.



Reverend Robert Walker with skating at Duddingston Loch, δεκαετία του 1790, του Βρετανού ζωγράφου, Sir Henry Raeburn (1756-1823).

«Ο Αιδεσιμότατος Ρόμπερτ Γουόκερ με πατινάζ, στο Duddingston Loch».

Το Duddingston Loch είναι μια λίμνη που βρίσκεται στο Holyrood Park , στο Εδιμβούργο, Σκωτία.



Winter skating on the main canal of Pompenburg, Rotterdam in 1825, του Ολλανδού ζωγράφου Bartholomeus Johannes van Hove (1790-1880).

Annie Russell Maunder

Στην έρευνά του, ο Maunder φωτογράφησε και μέτρησε τις ηλιακές κηλίδες και πρόσεξε ότι το γεωγραφικό πλάτος όπου γίνονται οι ηλιακές κηλίδες διαφέρει αρκετά στη διάρκεια ενός κύκλου 11 χρόνια.

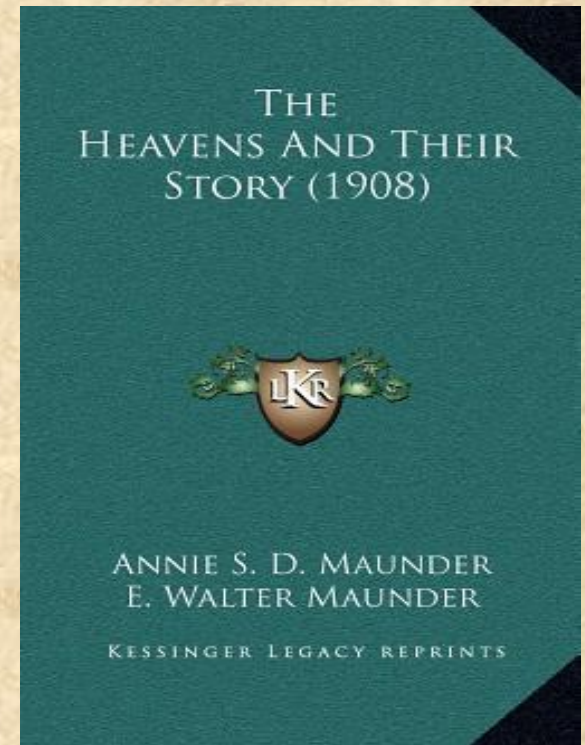
Μετά το 1891 τον βοήθησε στην έρευνά του στο Βασιλικό Αστεροσκοπείο του Γκρήνουιτς η δεύτερη σύζυγός του, η [Annie Russell Maunder \(1868-1947\)](#), μαθηματικός και αστρονόμος από το Πανεπιστήμιο του Κέιμπριτζ.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΕΤΑΛΟΥΔΑΣ

Το 1904, ο Edward Walter Maunder και η **Annie Russell Maunder** χαρτογράφησαν την **κατά πλάτος μετακίνηση των ηλιακών κηλίδων**, που για πρώτη φορά είχε διαπιστωθεί από τον R.C. Carrington, το 1860, κατά τη διάρκεια ενός ηλιακού κύκλου.

Ο «χάρτης» τους καλείται συχνά **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΕΤΑΛΟΥΔΑΣ**, από τα σχήματα με μορφή πτερύγων που απεικονίζονται σε αυτόν. Κάθε ηλιακός κύκλος αρχίζει με την εμφάνιση μικρών κηλίδων στα μέσα πλάτη της επιφάνειας του Ήλιου. Οι κηλίδες που ακολουθούν, καθώς προχωρεί ο ηλιακός κύκλος, τείνουν να πλησιάσουν όλο και πιο πολύ τον ισημερινό του Ήλιου, φθάνοντας στην ελάχιστη από αυτόν απόσταση, καθώς η δραστηριότητα του ηλιακού κύκλου μεγιστοποιείται και αρχίζει να μειώνεται..



Έγραψαν και ένα βιβλίο, το 1908, με τίτλο: «Οι Ουρανοί και η Ιστορία τους».

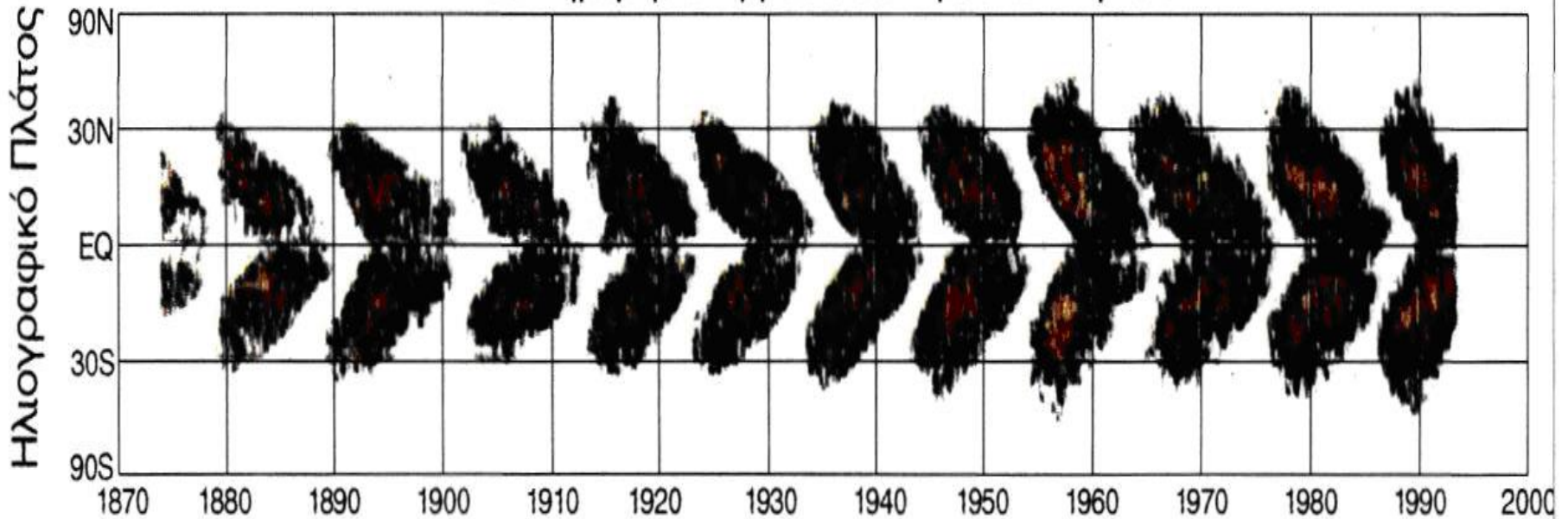
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΕΤΑΛΟΥΔΑΣ

Ο ρυθμός εμφάνισης των ηλιακών κηλίδων ακολουθεί τον 11ετή ηλιακό κύκλο ή κύκλο των κηλίδων (sunspot cycle). Αυτές έχουν χρόνο ζωής μικρότερο των 11 ημερών και στην αρχή του κύκλου οι κηλίδες σχηματίζονται σε μεγάλα ηλιογραφικά πλάτη (40°), δηλαδή αρκετά μακριά από τον ηλιακό ισημερινό.

Καθώς ο ηλιακός κύκλος εξελίσσεται οι νέες κηλίδες σχηματίζονται όλο και πιο κοντά στον ισημερινό, ενώ στο τέλος του ηλιακού κύκλου τον έχουν σχεδόν προσεγγίσει (5°). Το φαινόμενο αυτό, γνωστό ως **νόμος του Spörer** παρίσταται σε ένα σχήμα που είναι γνωστό ως «**Διάγραμμα Πεταλούδας**».

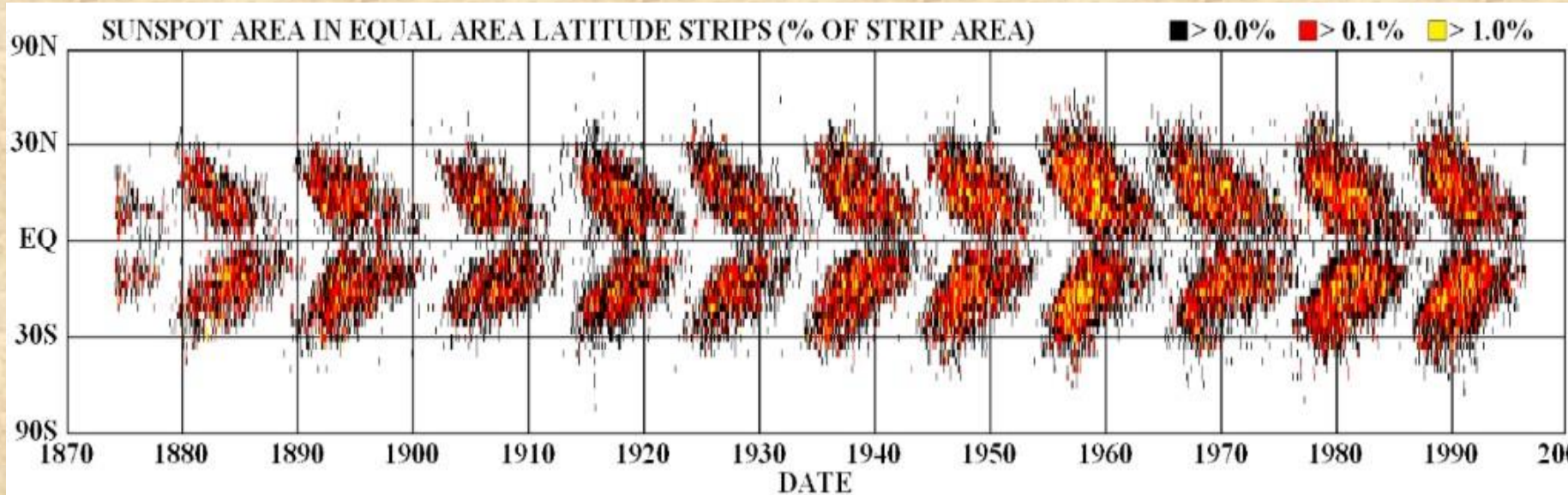
ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΕΤΑΛΟΥΔΑΣ

Μέσο ημερήσιο εμβαδό των ηλιακών κηλίδων



Το Διάγραμμα Maunder ή Διάγραμμα Πεταλούδας

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα οι κηλίδες εμφανίζονται σε ηλιογραφικά πλάτη περίπου $\pm 30^\circ$, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζεται η κατανομή τους σε χρονικά διαστήματα ενδεκαετών κύκλων από το 1870 έως το 1990.



Η θεωρία που ερμηνεύει το διάγραμμα της πεταλούδας είναι αυτή του Babcock. Το μοντέλο του Babcock εξηγεί ότι τα μαγνητικά πεδία προκαλούν τη συμπεριφορά που περιγράφεται από τον νόμο του Spörer, καθώς και άλλα φαινόμενα που σχετίζονται με την περιστροφή του Ήλιου.

Υπάρχουν στοιχεία ότι ο Ήλιος είχε παρόμοιες περιόδους αδράνειας στο πιο μακρινό παρελθόν.

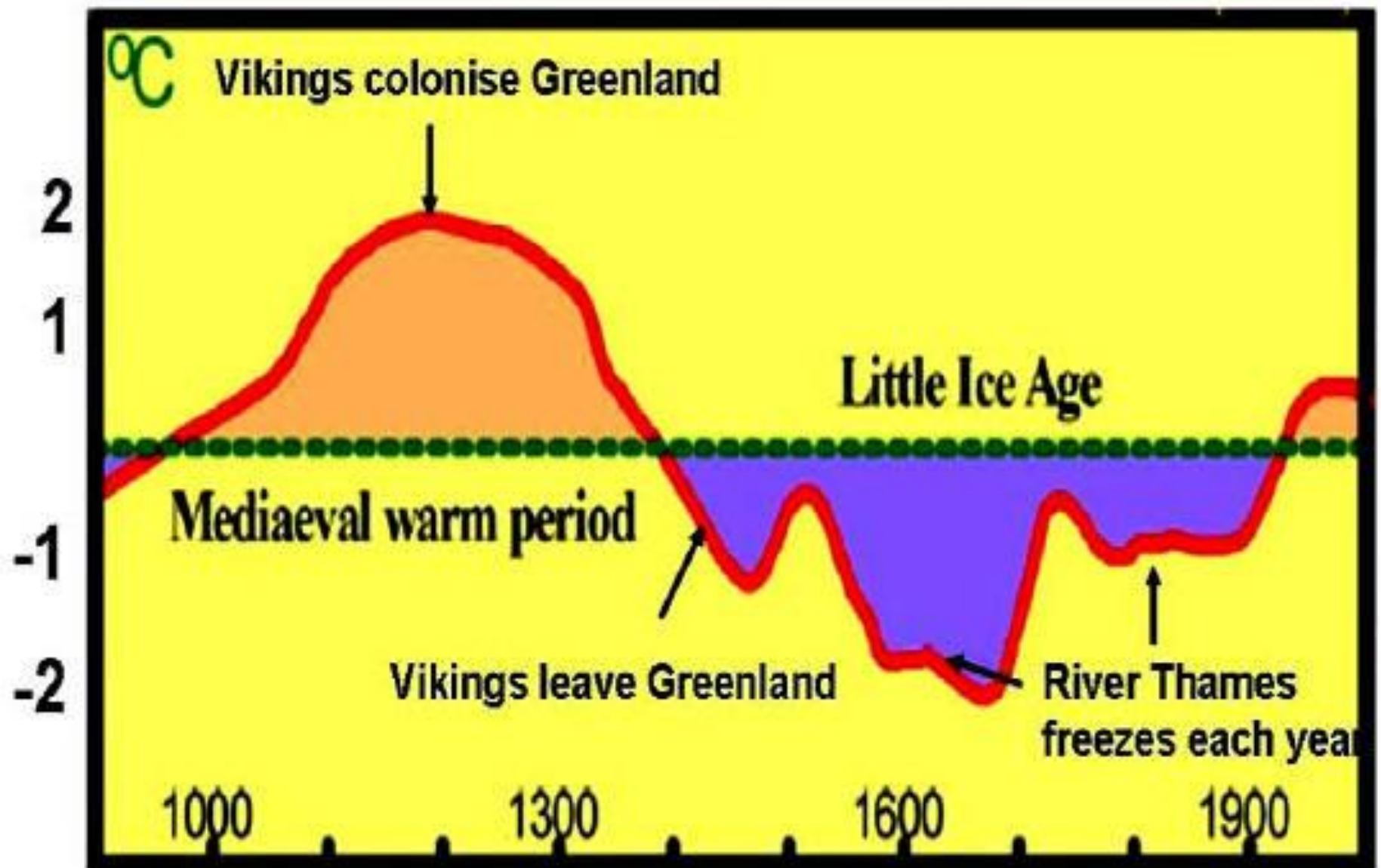
Η σύνδεση μεταξύ της ηλιακής δραστηριότητας και του γήινου κλίματος είναι ένας τομέας συνεχούς έρευνας.

«Είχε δίκιο ο Maunder;» Μα, φυσικά...

Οι παρατεταμένες περίοδοι μειωμένης ηλιακής δραστηριότητας σχετίζονται με πτώση της μέσης θερμοκρασίας στη Γη, όπως συνέβη κατά το ασυνήθιστα ψυχρό διάστημα από το 1645 έως το 1715, γνωστό ως «Ελάχιστο του Μώντερ».

Η πτώση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στη Δ. Ευρώπη είχε ως συνέπεια την αύξηση των χιονοπτώσεων και την κάλυψη ευρέων περιοχών από πάγους ώστε η χρονική εκείνη περίοδος να ονομαστεί: **Little Ice Age**.

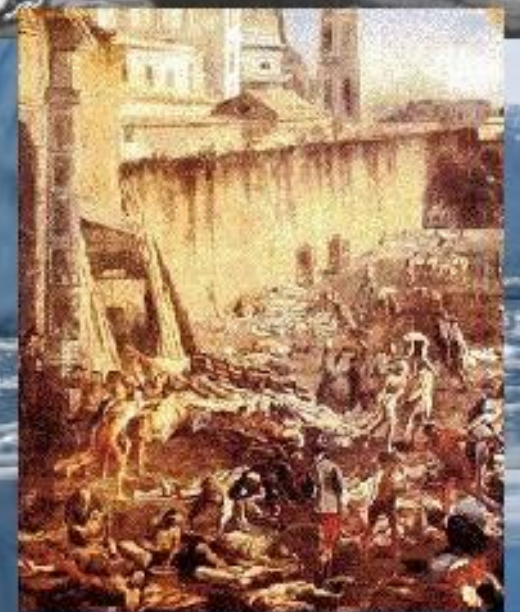
Κι αν νομίζετε ότι αυτό ήταν κάτι απλό, δεν μένει παρά να δούμε τις συνέπειες του.



Medieval warm period? Yes. This drawing of a graph in the IPCC's 1990 report shows it clearly.

The Little Ice Age

- Began with a long period of rain that lasted 5 years which drowned most of the previously prosperous crop lands.
- 1.5 million people die due starvation and disease because of these extensive rains.
- Some mothers even killed or abandoned their children so they would have enough food for themselves.
- Bubonic Plague soon took over the population because many people would hide from the rain and the cold in small, overcrowded houses that were teeming with flea infested rats which spread the Black Death
- Over 25 million people (1/3 of the population) died because of the bubonic Plague



Little Ice Age...*Big Chill*

The effects of the little ice age on human populations were drastic.

- Iceland lost half its population.
- Norse colonies in Greenland vanished.
- One fifth to one third of Estonia and Finland's people were lost.

In North America rivers froze and impeded George Washington's Continental Army in 1777-1778 and hundreds died of hypothermia.



The Little Ice Age effected the entire world population and changed the course of world history.

LITTLE ICE AGE

ΤΑ ΕΡΓΑ ΤΟΥ Aert van der Neer

Ο Ολλανδός ζωγράφος **Aert van der Neer** (1603-1677), που έζησε την παραπάνω περίοδο, ένας από τους εκπροσώπους της Χρυσής Ολλανδικής Εποχής στη ζωγραφική, ειδικεύτηκε σε μικρά χειμερινά τοπία, συχνά με απεικόνιση ενός καναλιού, μιας λίμνης ή ενός ποταμού.

ΤΑ ΠΑΝΤΑ ΣΤΑ ΕΡΓΑ ΤΟΥ ΕΙΝΑΙ ΠΑΓΩΜΕΝΑ.

Έργα του Aert van der Neer



Χειμερινό τοπίο με παγοδρόμους



- Χειμερινό τοπίο με μορφές



Winter Landscape- Χειμερινό τοπίο

River in Winter

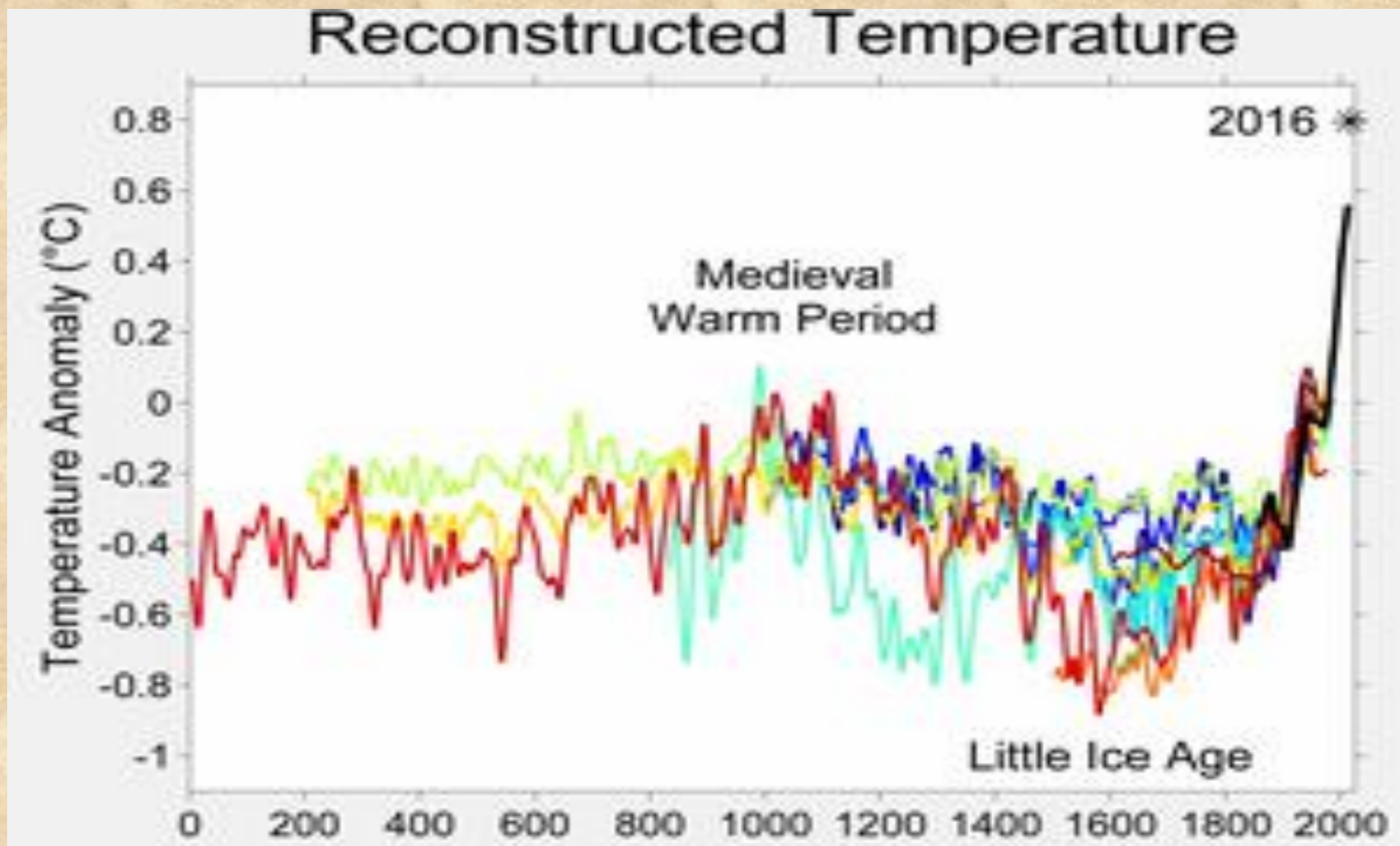


Abraham Danielsz Hondius (1631-1691)



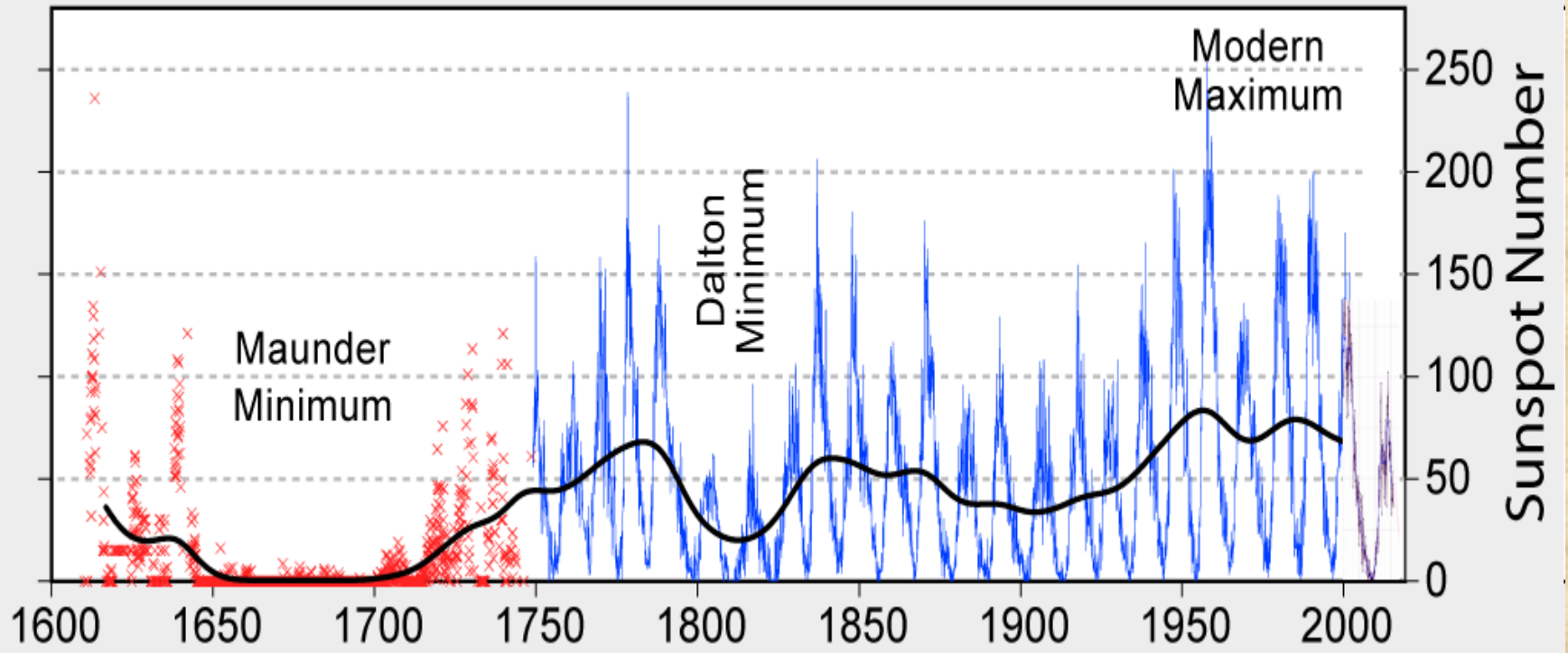
The Frozen Thames, 1677, **Ο κατεψυγμένος Τάμεσης, το 1677**
του επίσης Ολλανδού ζωγράφου **Abraham Danielsz Hondius** (1631-1691)

Άρα οι ελάχιστες ηλιακές κηλίδες εκείνη την περίοδο πραγματικά και δημιούργησαν μια μικρή παγετώδη περίοδο στην Ευρώπη, με καταστροφικά αποτελέσματα.

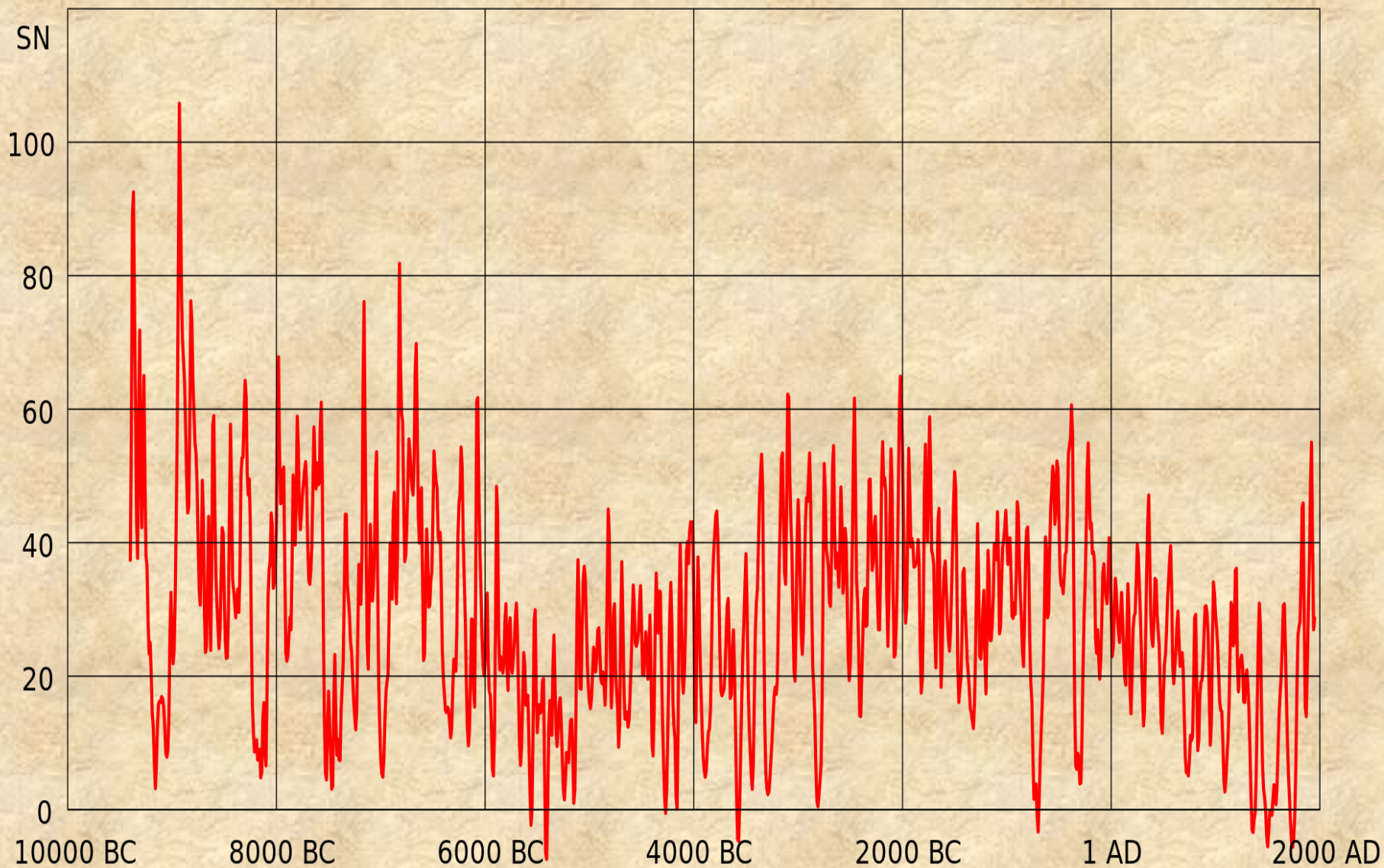


Οφειλόταν, εκτός των άλλων, σε χαμηλή ηλιακή δραστηριότητα, [στη μετάπτωση και κλόνηση του άξονα της Γης](#) και έτσι σε μεταβολές στην τροχιά της Γης κ.ά.

400 Years of Sunspot Observations



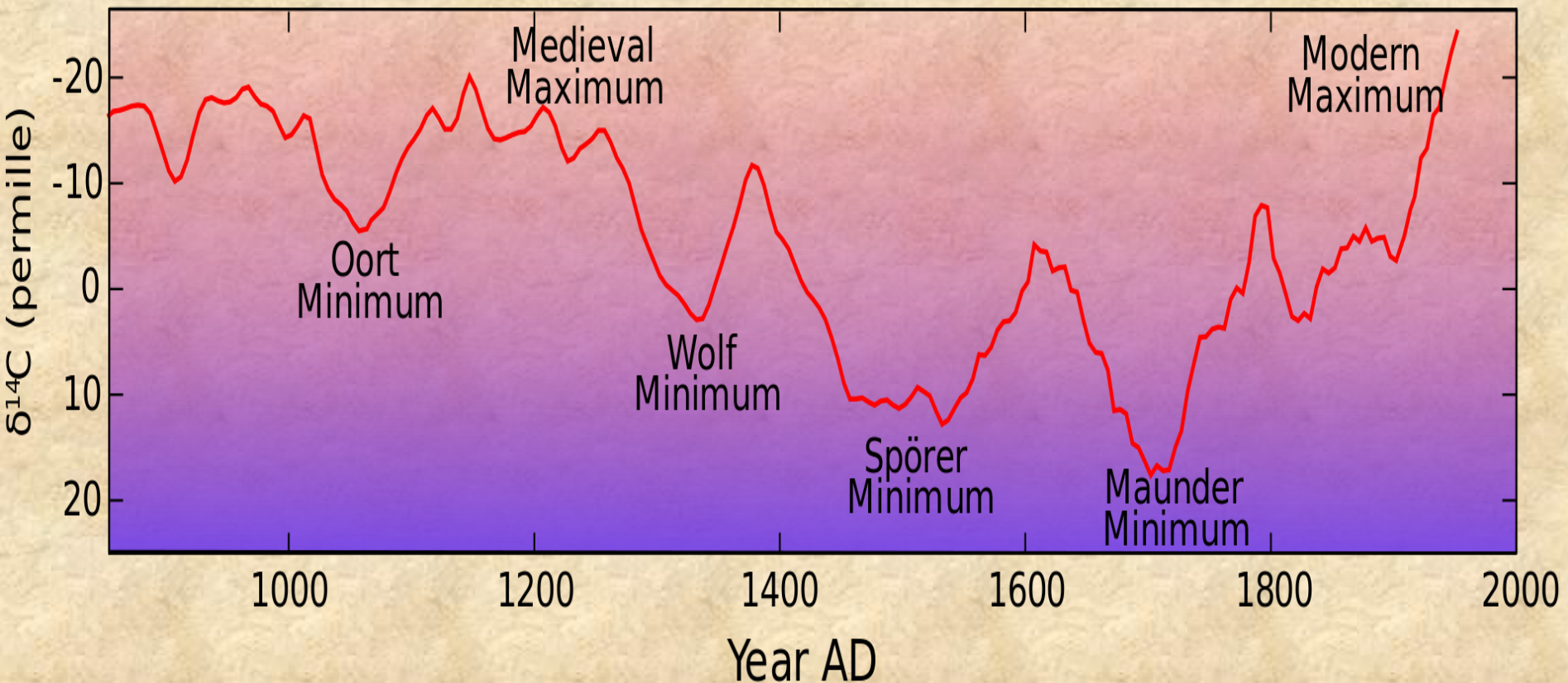
Δυστυχώς, παρά τη σπουδαία έρευνα πάνω στην ηλιακή δραστηριότητα, η πραγματική αιτία δημιουργίας των ηλιακών κηλίδων παραμένει ακόμα εν πολλοίς άγνωστη.



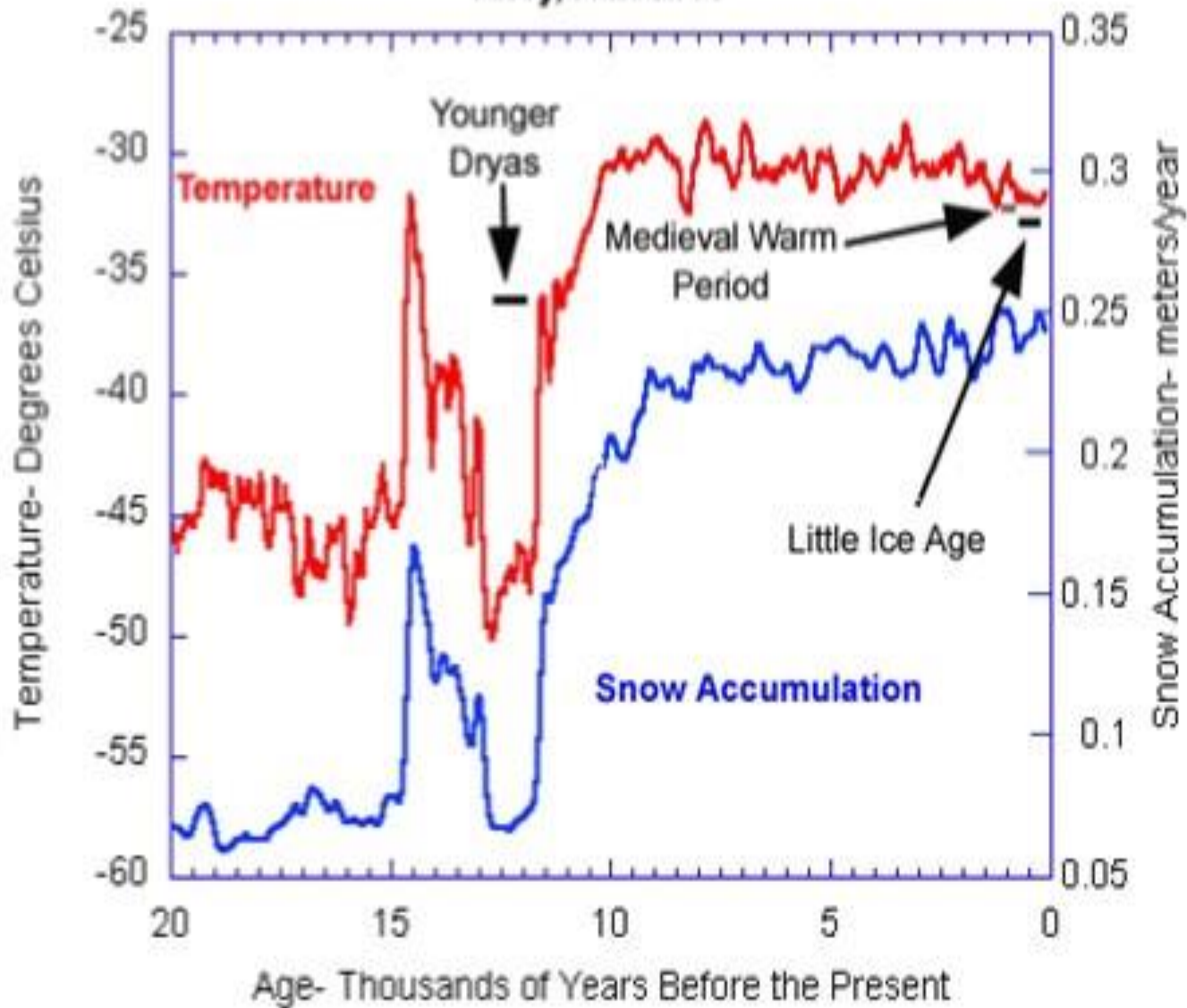
Η μεταβολή του αριθμού των ηλιακών κηλίδων τα τελευταία 11.000 χρόνια. Σε αυτό το θέμα πρέπει να ενημερωθούν ιστορικοί, ανθρωπολόγοι, αρχαιολόγοι....

ΗΛΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Solar Activity Events in ^{14}C



GISP2 Ice Core Temperature and Accumulation Data
Alley, R.B. 2000



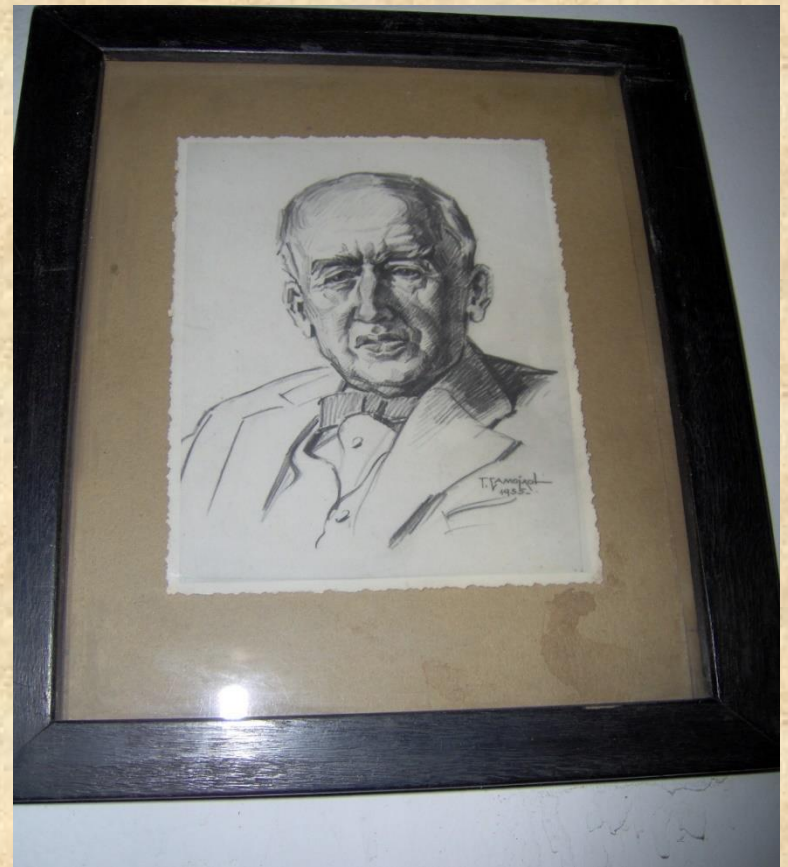


Η ηλιακή δραστηριότητα επηρεάζει, όπως είδαμε, το γήινο κλίμα. Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι μπορούμε να μελετήσουμε την εξέλιξη της ηλιακής δραστηριότητας μέσω των επάλληλων σκοτεινών δακτυλίων που παρουσιάζονται στις τομές των δένδρων. Κάθε χρόνο τα δένδρα δημιουργούν και ένα τέτοιο σκοτεινό δακτύλιο, το πλάτος του οποίου είναι ανάλογο της έντασης της ηλιακής δραστηριότητας. Έτσι οι πιο φαρδείς κύκλοι αντιστοιχούν στα μέγιστα της ηλιακής δράσης (Φωτογραφία του ομιλητή από τον κήπο στο Θεραπευτήριο Σωτηρί).

Δεν τελειώσαμε...

Μάλλον μόλις αρχίσαμε...

Την επόμενη φορά θα μιλήσουμε αναλυτικά για **ICE AGES** του σπουδαίου Σέρβου μαθηματικού, αστρονόμου, κλιματολόγου, γεωφυσικού, πολιτικού μηχανικού και εκλαϊκευτή των Θετικών Επιστημών στη Σερβία, καθηγητή και διευθυντή του Αστεροσκοπείου του Βελιγραδίου **prof. Milutin Milanković (Милутин Миланковић, 1879-1958)**.



**Προσωπογραφία του στο
Αστεροσκοπείο Βελιγραδίου.
(φωτογραφία του ομιλητή)**

**Σας ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας.
Εύχομαι σε όλους σας υγεία, τύχη και οικογενειακή ευτυχία
Στράτος Θεοδοσίου**