

Διαστημικό Περιβάλλον



Space Environment

Space Environment

Lecture 3



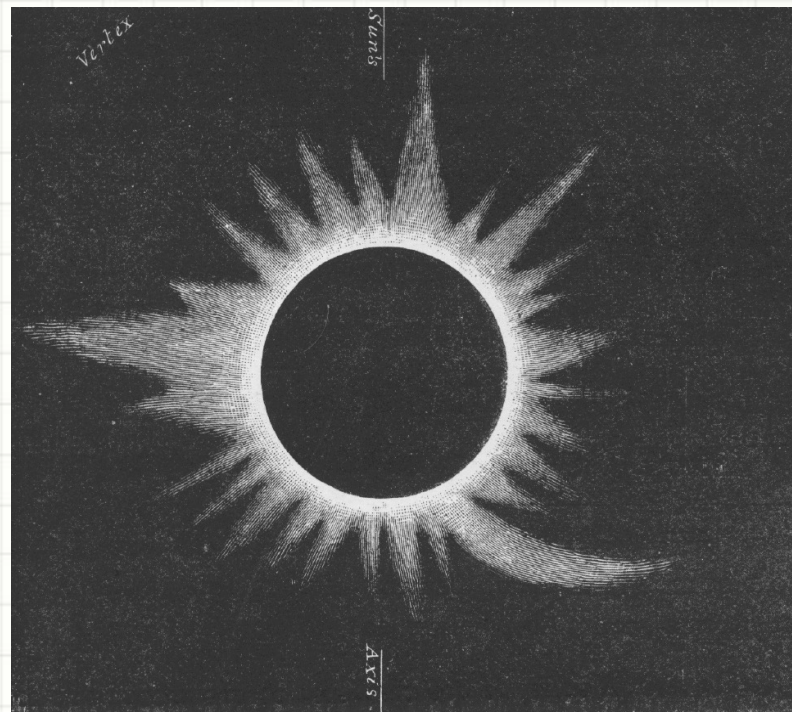
Ο Ήλιος

- Αναξαγόρας (~450 π.Χ.): ο Ήλιος δεν είναι το άρμα του Απόλλωνα αλλά ένα «διάπυρος λίθος» που το μέγεθός του είναι μεγαλύτερο από την Πελοπόννησο. Για τη «βλασφημία» του αυτή καταδικάστηκε σε θάνατο και φυλακίστηκε. Σώθηκε χάρη στον Περικλή, αλλά αναγκάστηκε να εγκαταλείψει την Αθήνα.
- Αριστοτέλης (~330 π.Χ.): ο Ήλιος είναι μια σφαίρα καθαρής φωτιάς.



Ο Ήλιος

Το ηλιακό στέμμα αναφέρθηκε για πρώτη φορά από τον βυζαντινό ιστορικό Λέοντα Διάκονο, ο οποίος το παρατήρησε από την Κωνσταντινούπολη κατά τη διάρκεια ηλιακής έκλειψης στις 22 Δεκεμβρίου 968



Ο Ήλιος

Το πρώτο σχέδιο ηλιακής κηλίδας από τον John του Worcester, στις 8 Δεκεμβρίου 1128: "...from morning to evening, appeared something like two black circles within the disk of the Sun, the one in the upper part being bigger, the other in the lower part smaller..."



ΗΛΙΟΣ

Πυρηνική ενέργεια (από σύντηξη Η), που καταλήγει στην επιφάνεια του Ήλιου μετά από εκατομμύρια χρόνια.

ΗΛΙΟΣ

Ωστόσο: Ο Ήλιος δεν έχει στερεά ή υγρή επιφάνεια όπως είναι πχ η επιφάνεια της Γης, αν και η διαφορά πυκνότητας μεταξύ φωτόσφαιρας και χρωμόσφαιρας δεν είναι μικρή (2 τάξεις μεγέθους, 0.1 kg/m^3 προς 0.001 kg/m^3).

Για σύγκριση στη Γη είναι 3 τάξεις μεγέθους ($2,500 \text{ kg/m}^3$ προς 1 kg/m^3).

Όπως βλέπουμε η φωτόσφαιρα είναι αραιότερη από την ατμόσφαιρα της Γης.

ΗΛΙΟΣ

Η φαινόμενη επιφάνεια - η φωτόσφαιρα - είναι μια περιοχή πεπερασμένου πάχους που ορίζεται ως η επιφάνεια πάνω από την οποία η πιθανότητα ενός φωτονίου να απορροφηθεί είναι μικρότερη απ' ό,τι κάτω από αυτήν.

ΗΛΙΟΣ

Πυρηνική ενέργεια (από σύντηξη Η), που καταλήγει στην επιφάνεια του Ήλιου μετά από εκατομμύρια χρόνια.

Γιατί;

ΗΛΙΟΣ

Πυρηνική ενέργεια (από σύντηξη Η), που καταλήγει στην επιφάνεια του Ήλιου μετά από εκατομμύρια χρόνια.

Γιατί;

«μετ' εμποδίων» (συχνότερες σκεδάσεις με την ύλη - η πυκνή ύλη εμποδίζει το φως να αναδυθεί στην επιφάνεια του Ήλιου)

ΗΛΙΟΣ

Πυρηνική ενέργεια (από σύντηξη H), που καταλήγει στην επιφάνεια του Ήλιου μετά από εκατομμύρια χρόνια.

Γιατί;

«μετ' εμποδίων» (συχνότερες σκεδάσεις με την ύλη - η πυκνή ύλη εμποδίζει το φως να αναδυθεί στην επιφάνεια του Ήλιου)

Γήινο ανάλογο;

ΗΛΙΟΣ

Πυρηνική ενέργεια (από σύντηξη H), που καταλήγει στην επιφάνεια του Ήλιου μετά από εκατομμύρια χρόνια.

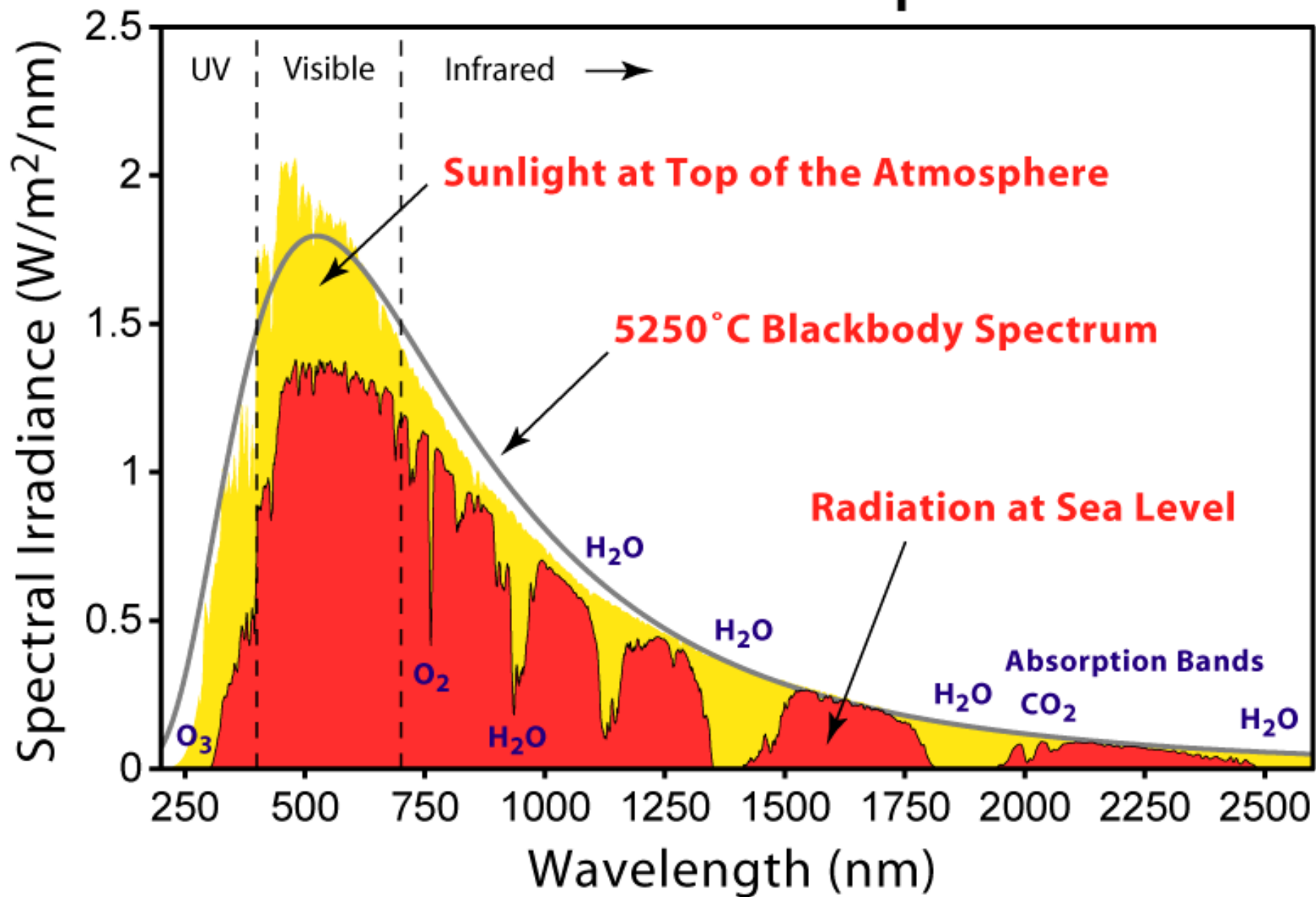
Γιατί;

«μετ' εμποδίων» (συχνότερες σκεδάσεις με την ύλη - η πυκνή ύλη εμποδίζει το φως να αναδυθεί στην επιφάνεια του Ήλιου)

Γήινο ανάλογο; (παρεμπόδισης φωτονίων)

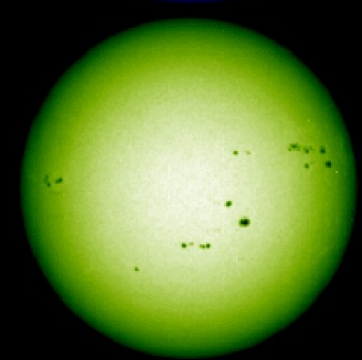
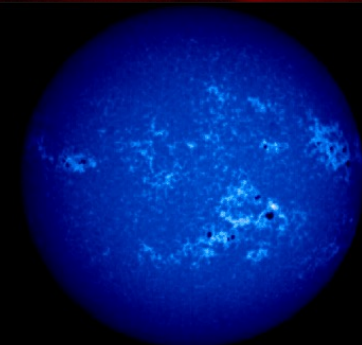
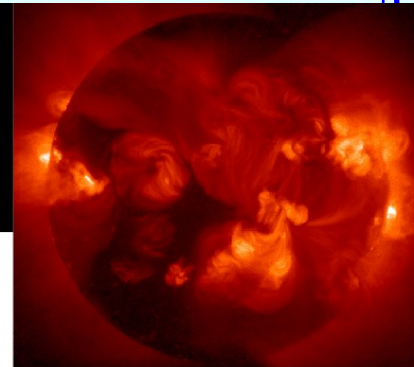
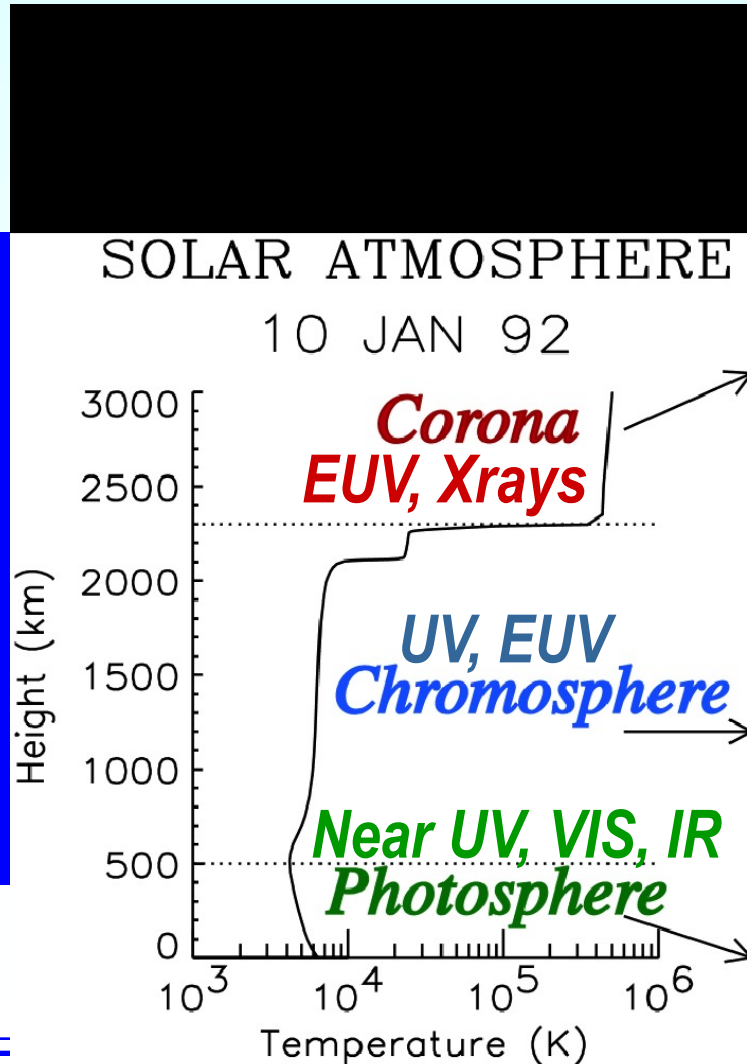
Οι σκιές

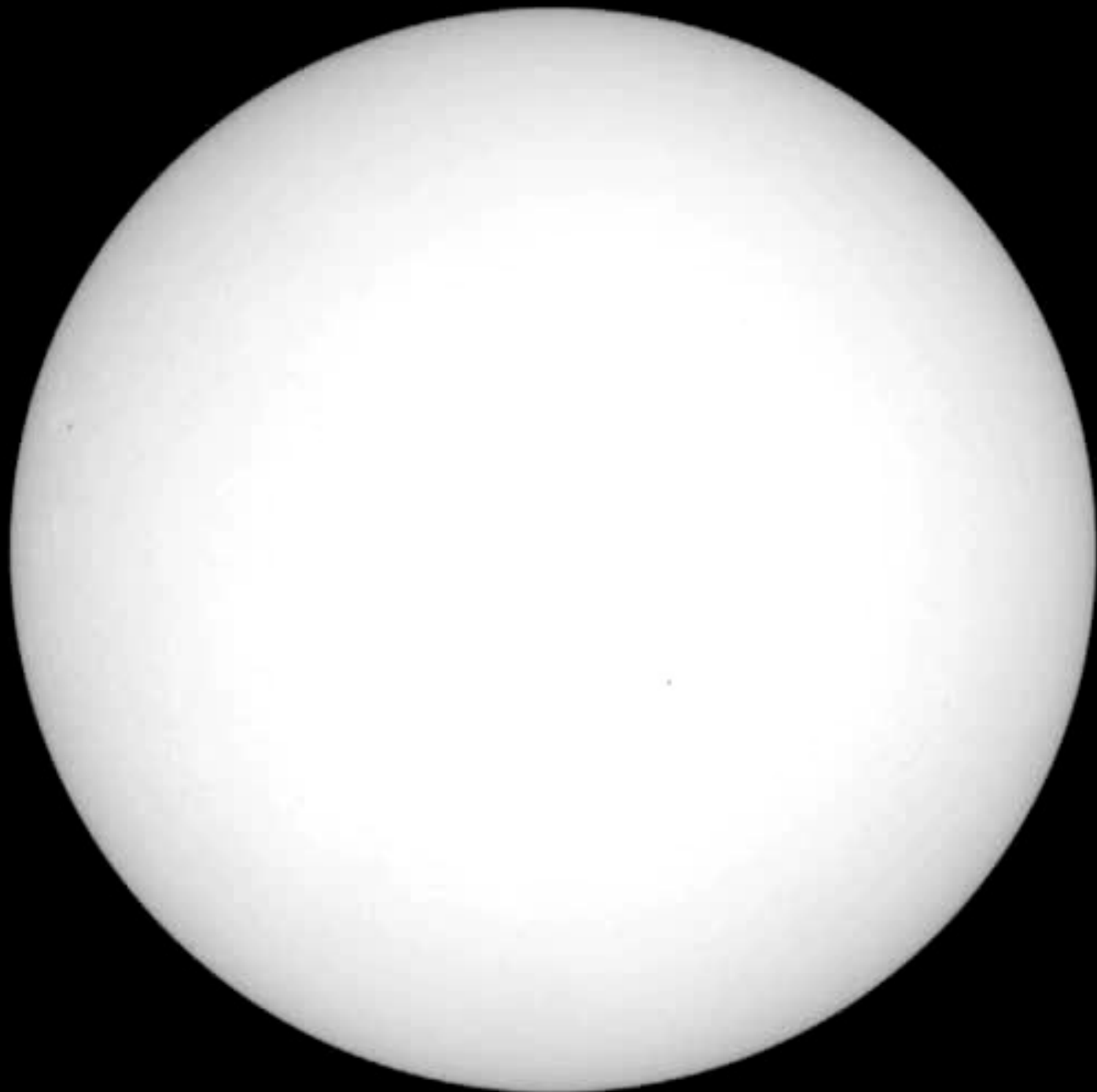
Solar Radiation Spectrum



Τα πολλά πρόσωπα του Ήλιου

The Sun looks drastically different depending on the source of the data (wavelength, type of instrument, and date)





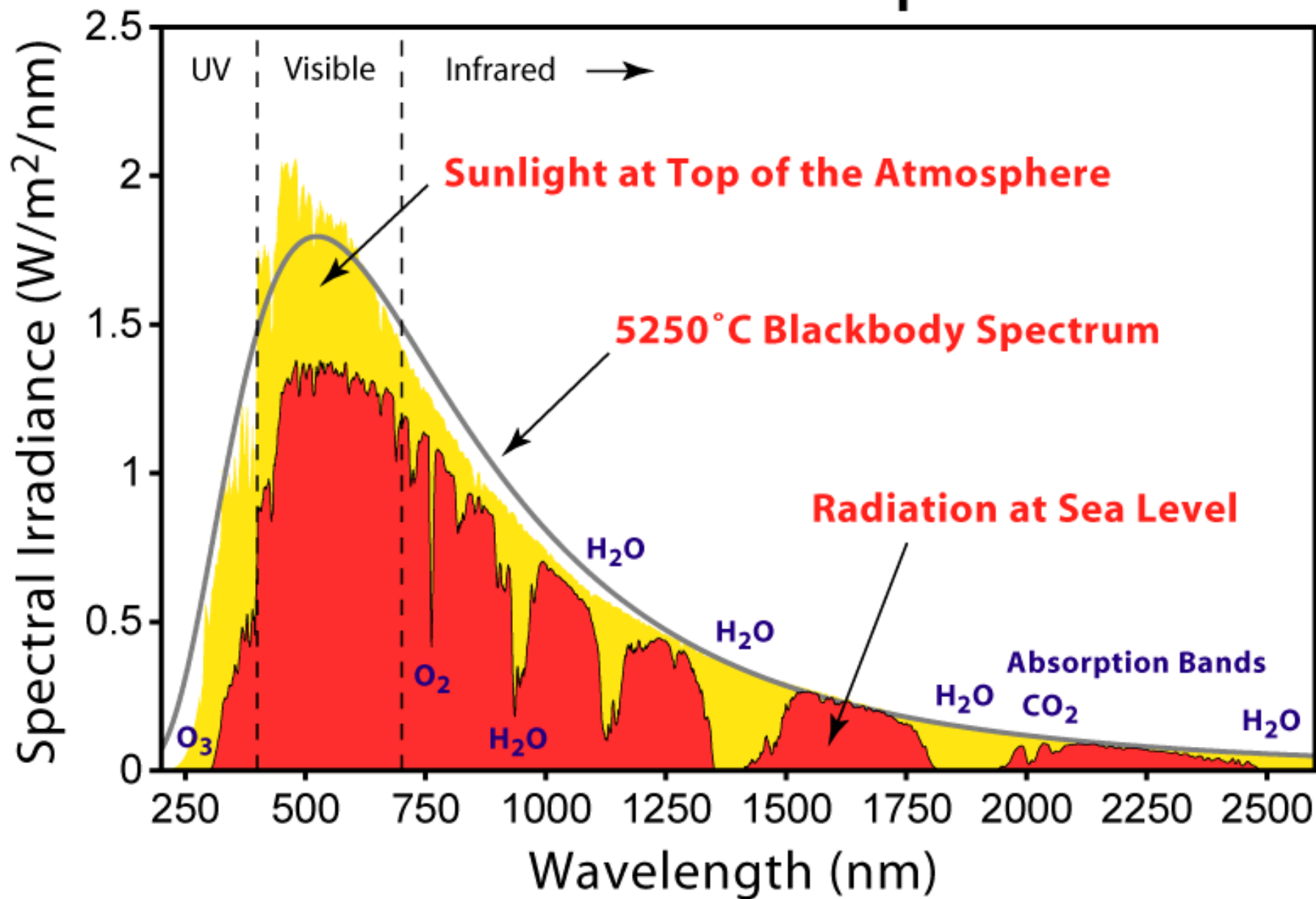
Γιατί έχει πολλά πρόσωπα ο Ήλιος;

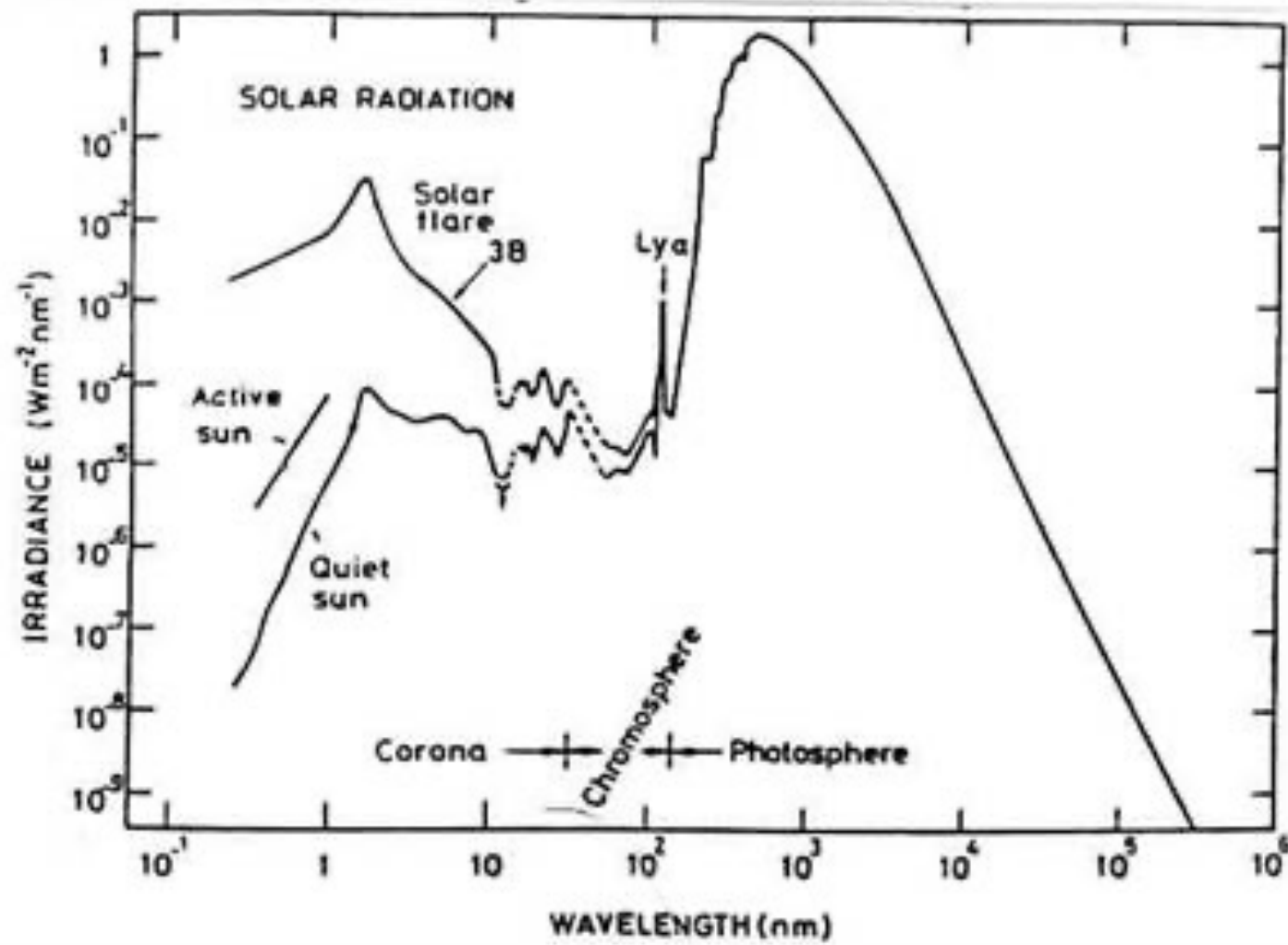
Μέση θερμοκρασία της φωτόσφαιρας: 5800 K

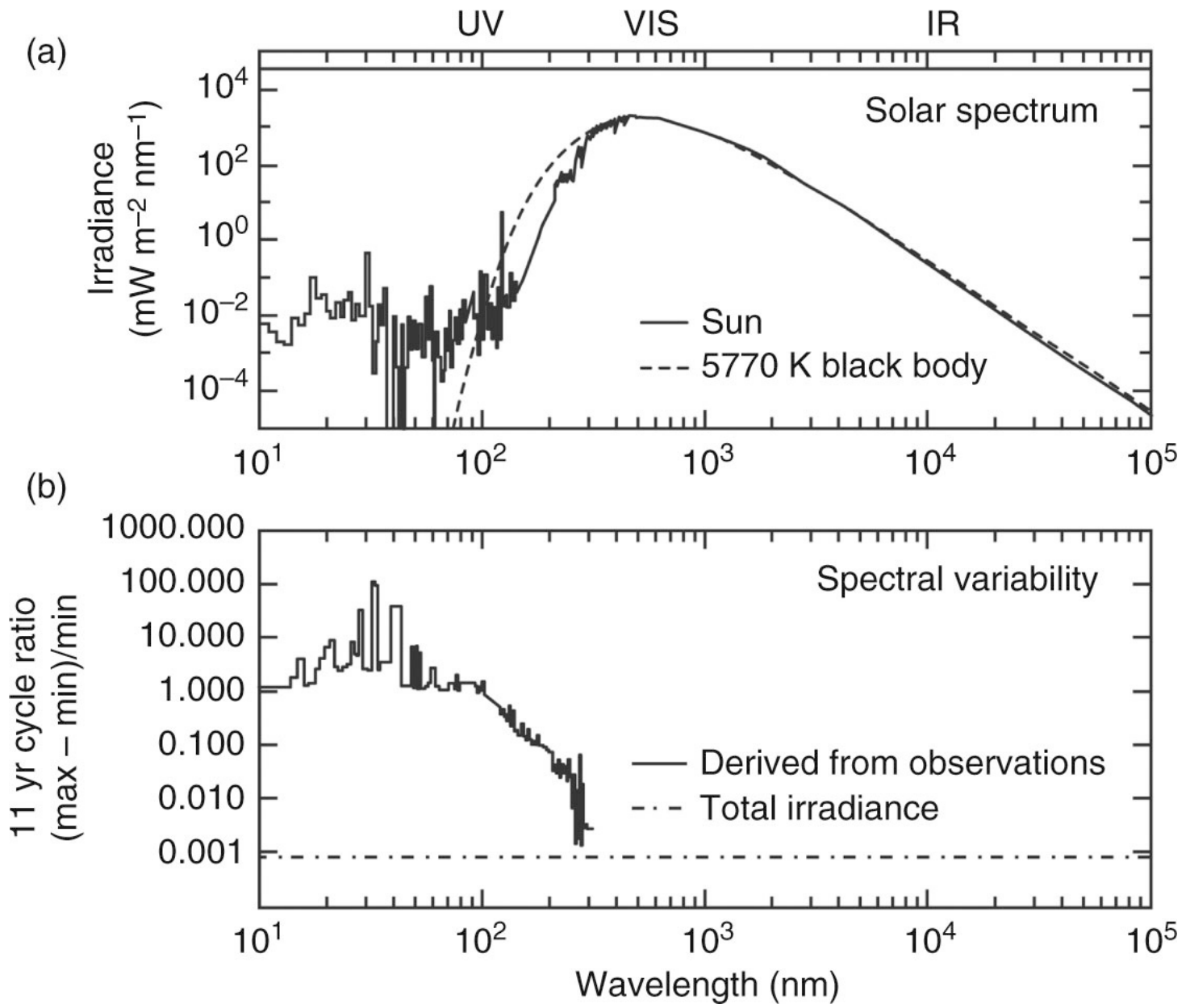
Θερμοκρασία του ηλιακού στέμματος: 2 MK!

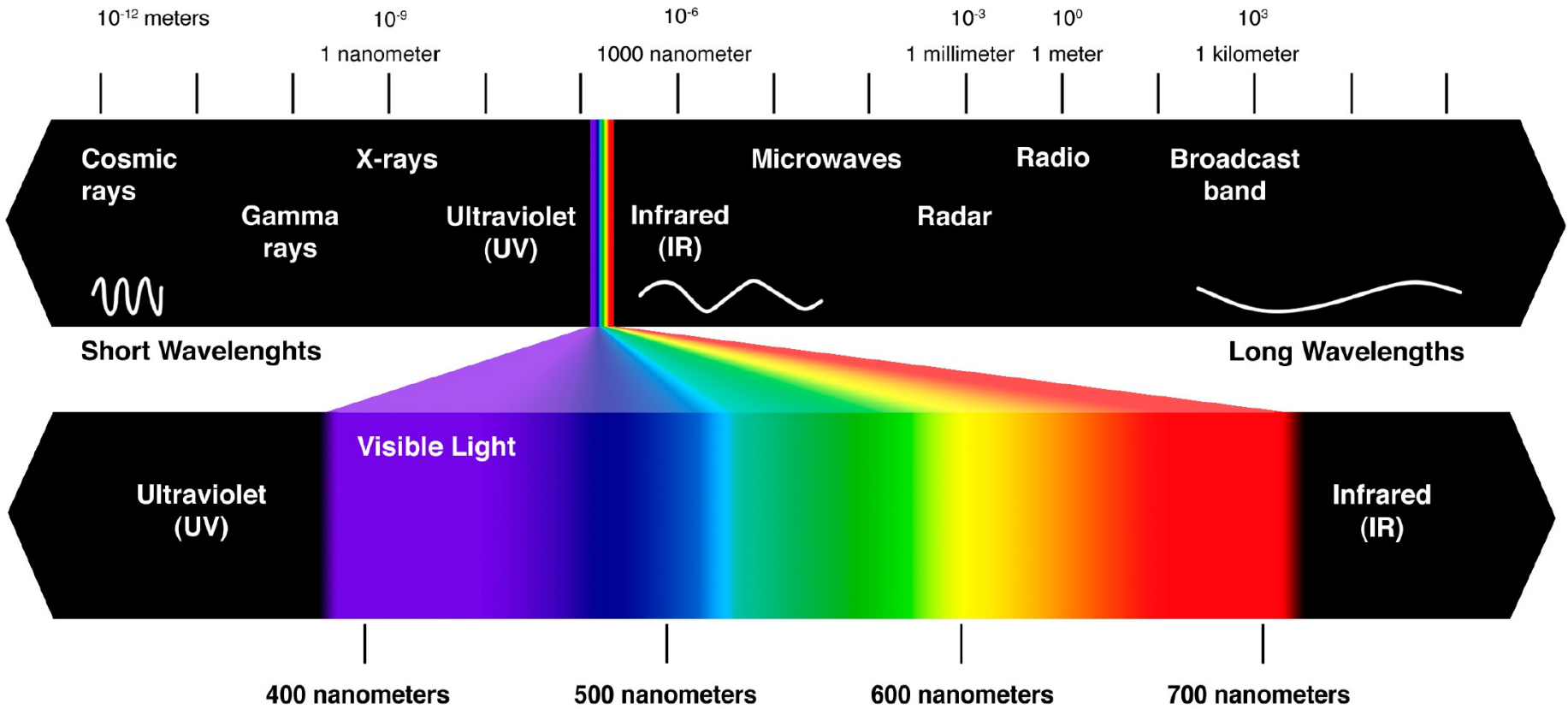
Όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία, τόσο πιο ογκώδη άτομα χάνουν πολλά ηλεκτρόνια και εκπέμπουν ακτινοβολία σε χαρακτηριστικά μήκη κύματος, που μας επιτρέπουν να «βλέπουμε» λεπτομέρειες του Ήλιου σε διαφορετικά μήκη κύματος (και σε διαφορετικά ύψη)

Solar Radiation Spectrum



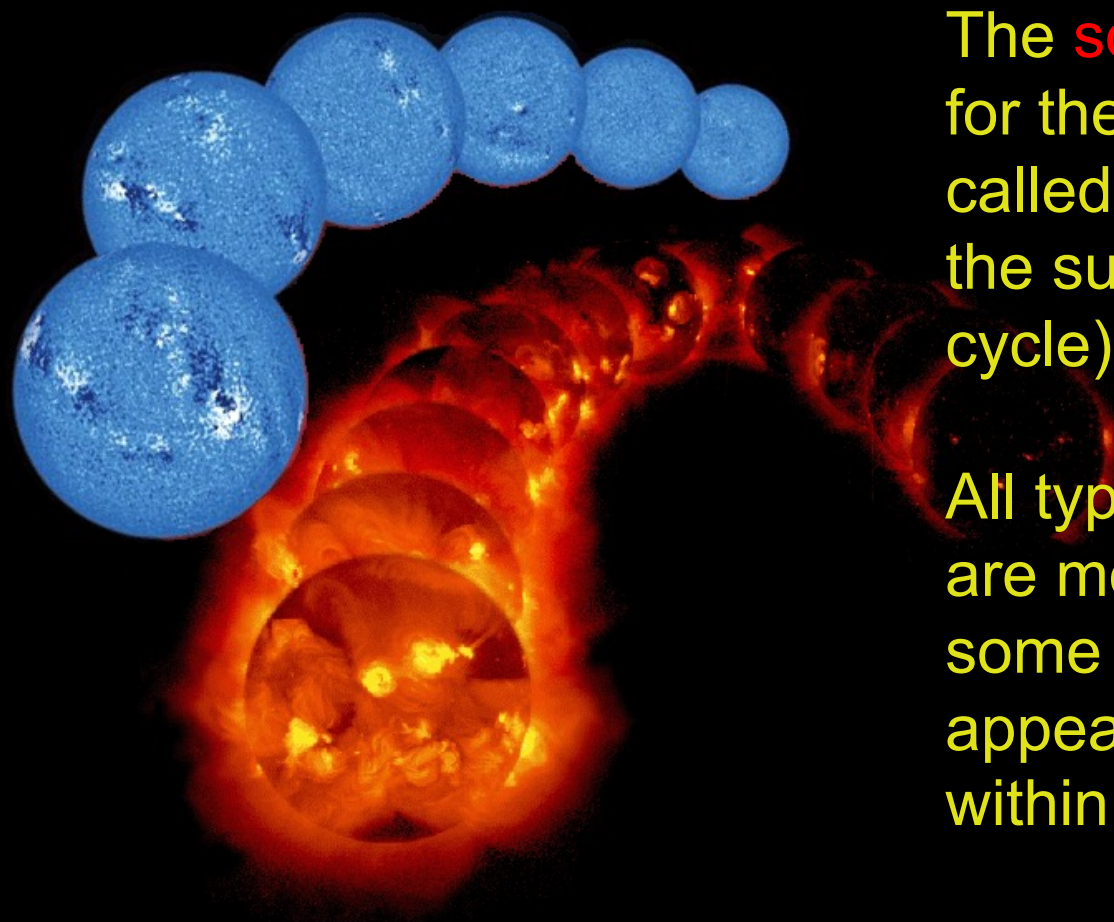






ΗΛΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ

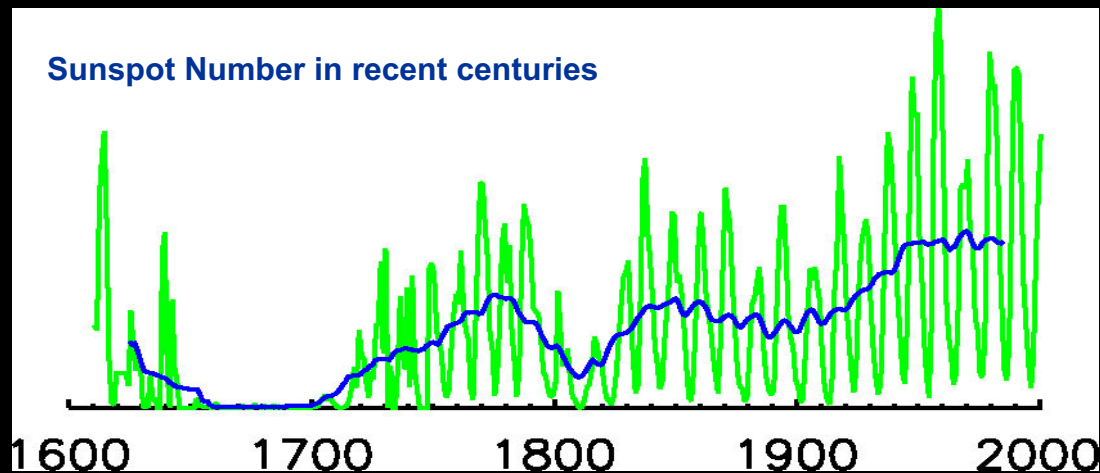
Η μεταβλητότητα της ροής UV και ακτίνων X οφείλεται στη **μαγνητική** μεταβλητότητα, που «διαμορφώνει» την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε αυτά τα μήκη κύματος

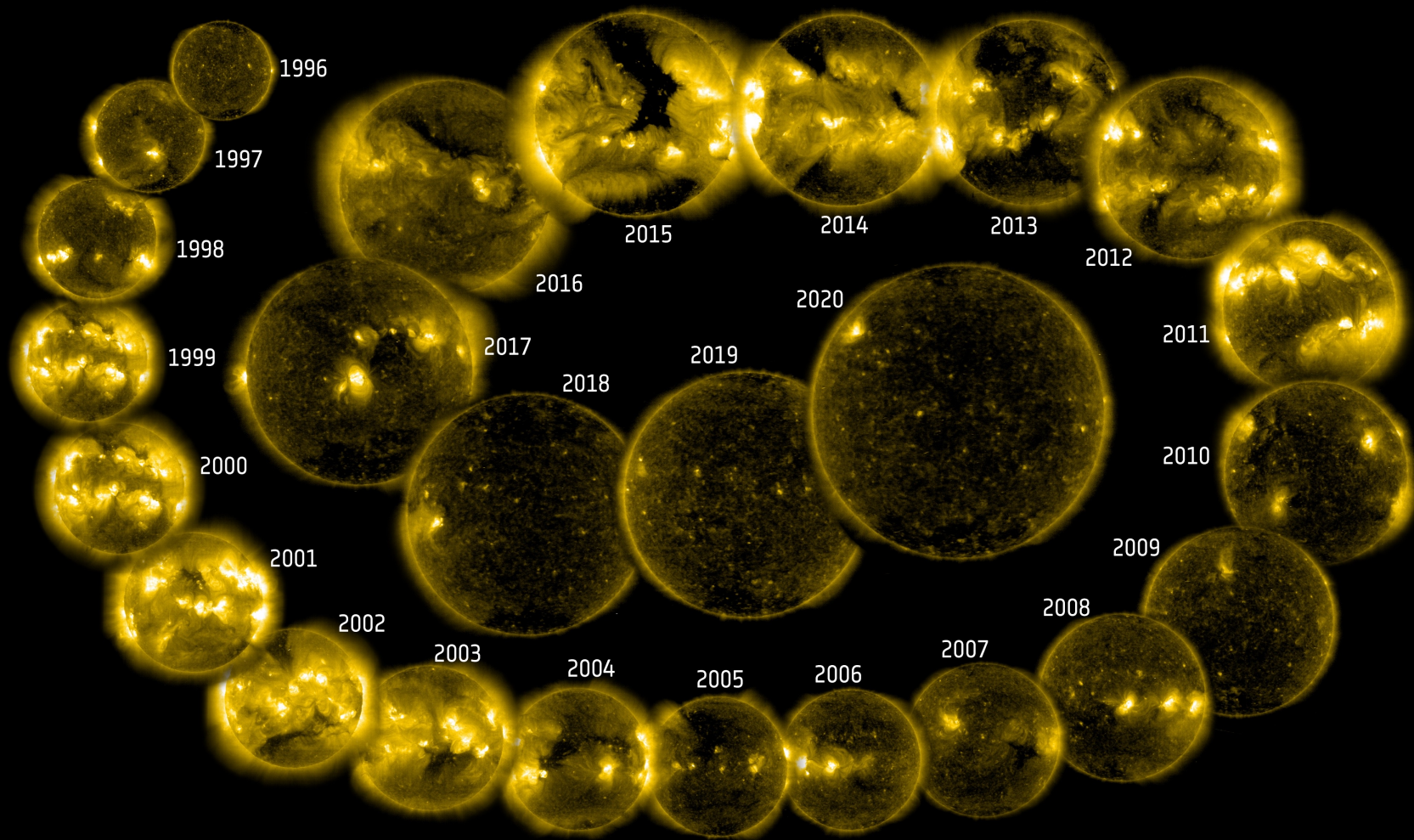


The **solar dynamo** is responsible for the 11-year **solar cycle** (also called the 22-year solar cycle, the sunspot cycle, magnetic cycle).

All types of solar energy output are modulated by this cycle. In some respects, the Sun can appear dramatically different within minutes.

Sunspot Number in recent centuries





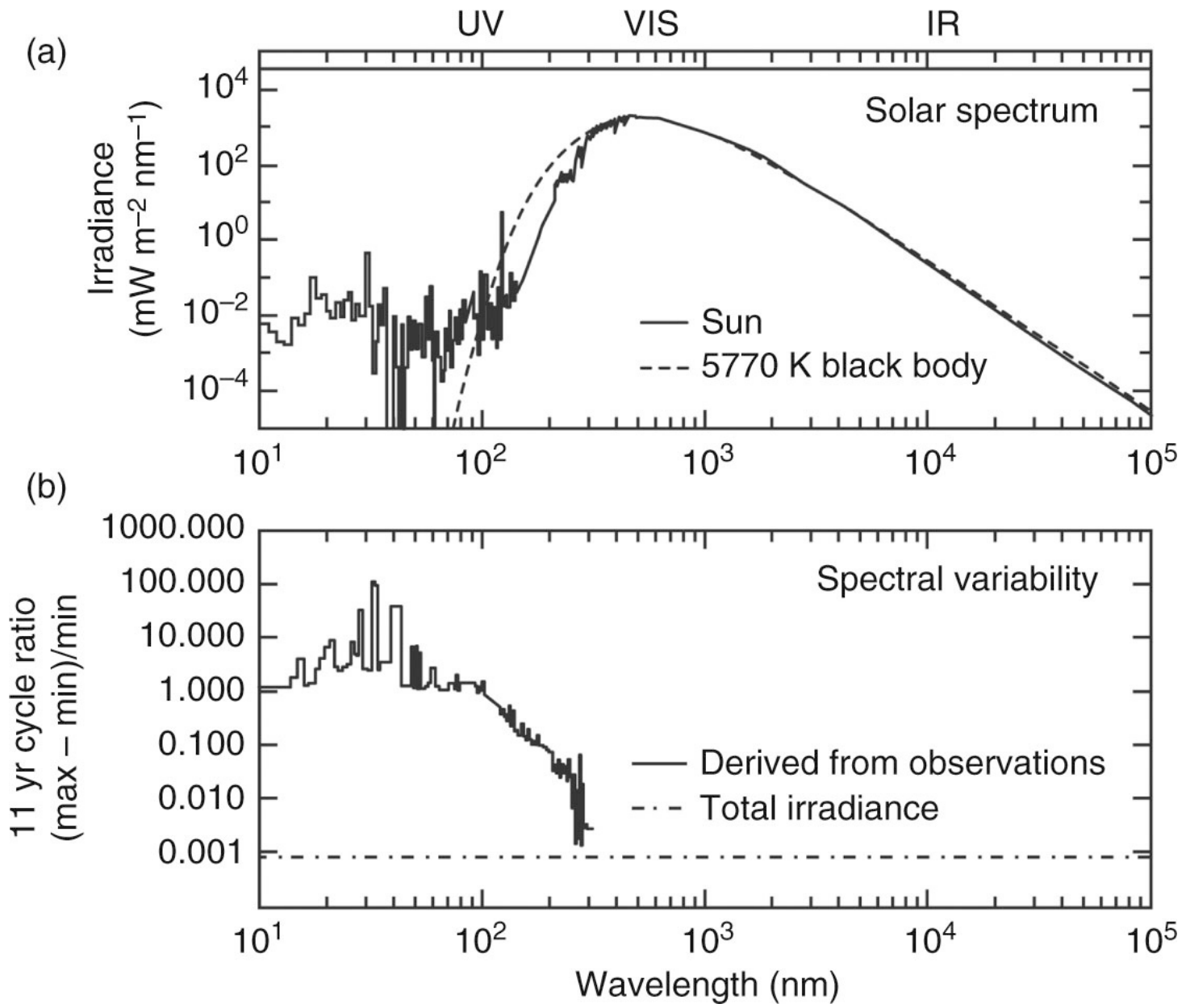
ΗΛΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ

Η περιοχή του ορατού μέρους του ηλιακού φάσματος (που συνεισφέρει το μεγαλύτερο μέρος ενέργειας που προσπίπτει στη Γη) παρουσιάζει (ευτυχώς) τη μικρότερη μεταβλητότητα (<0,1%).

ΗΛΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ

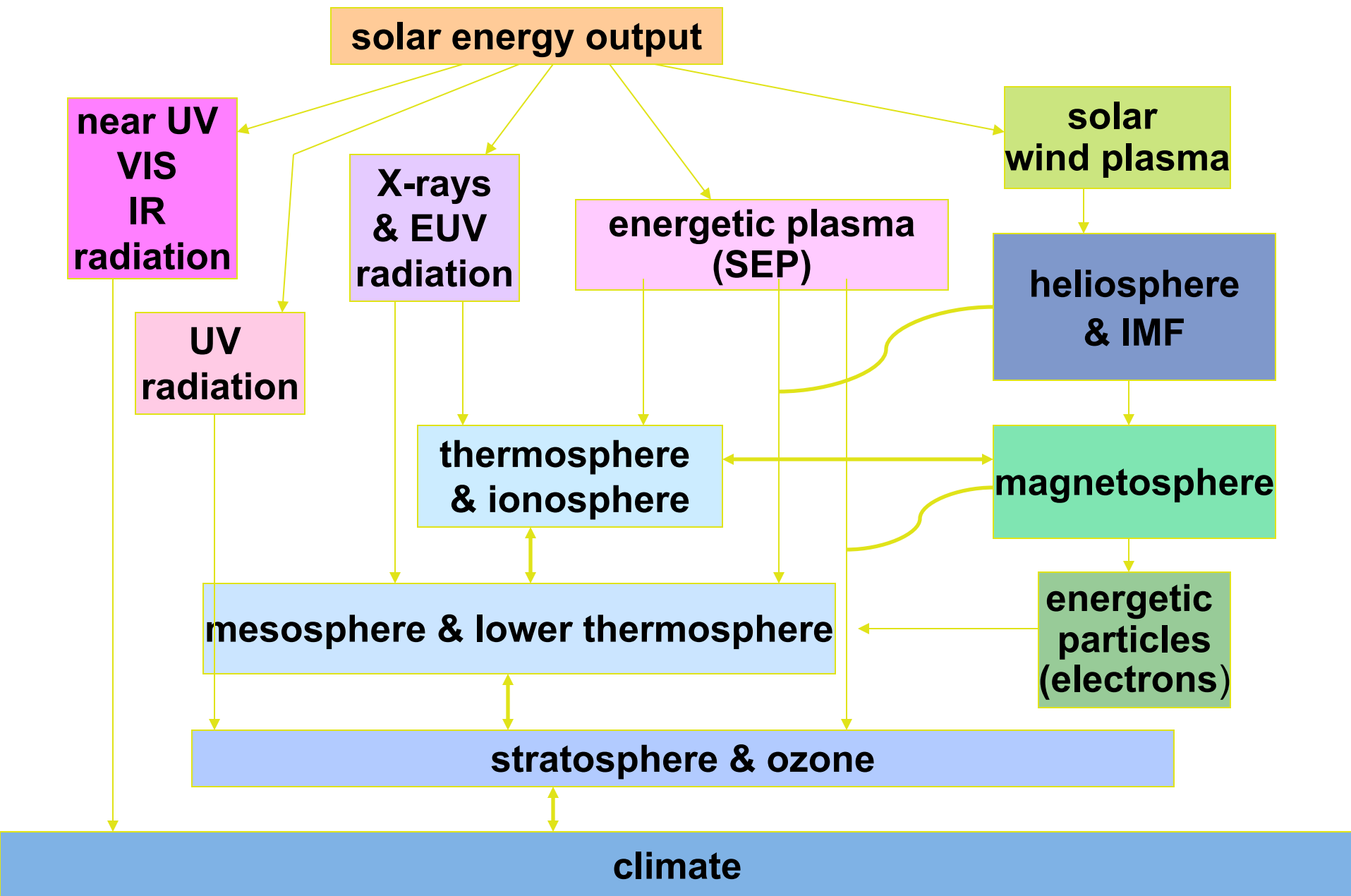
Η περιοχή του ορατού μέρους του ηλιακού φάσματος (που συνεισφέρει το μεγαλύτερο μέρος ενέργειας που προσπίπτει στη Γη) παρουσιάζει (ευτυχώς) τη μικρότερη μεταβλητότητα (0,1%).

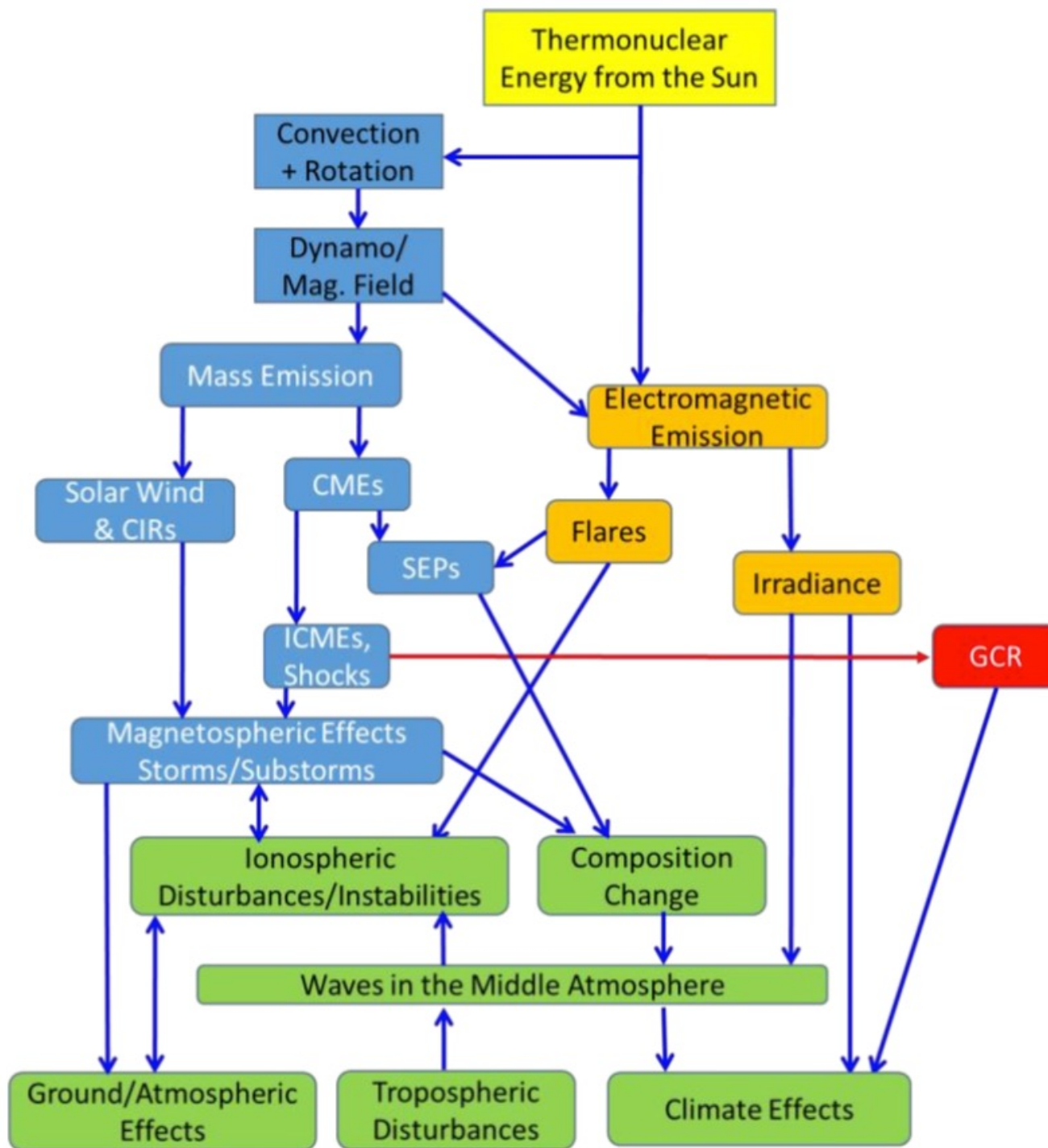
Ωστόσο στο υπεριώδες και στις ακτίνες Χ, η ροή ακτινοβολίας μπορεί να μεταβληθεί κατά αρκετές τάξεις μεγέθους κατά τη διάρκεια εκλάμψεων.



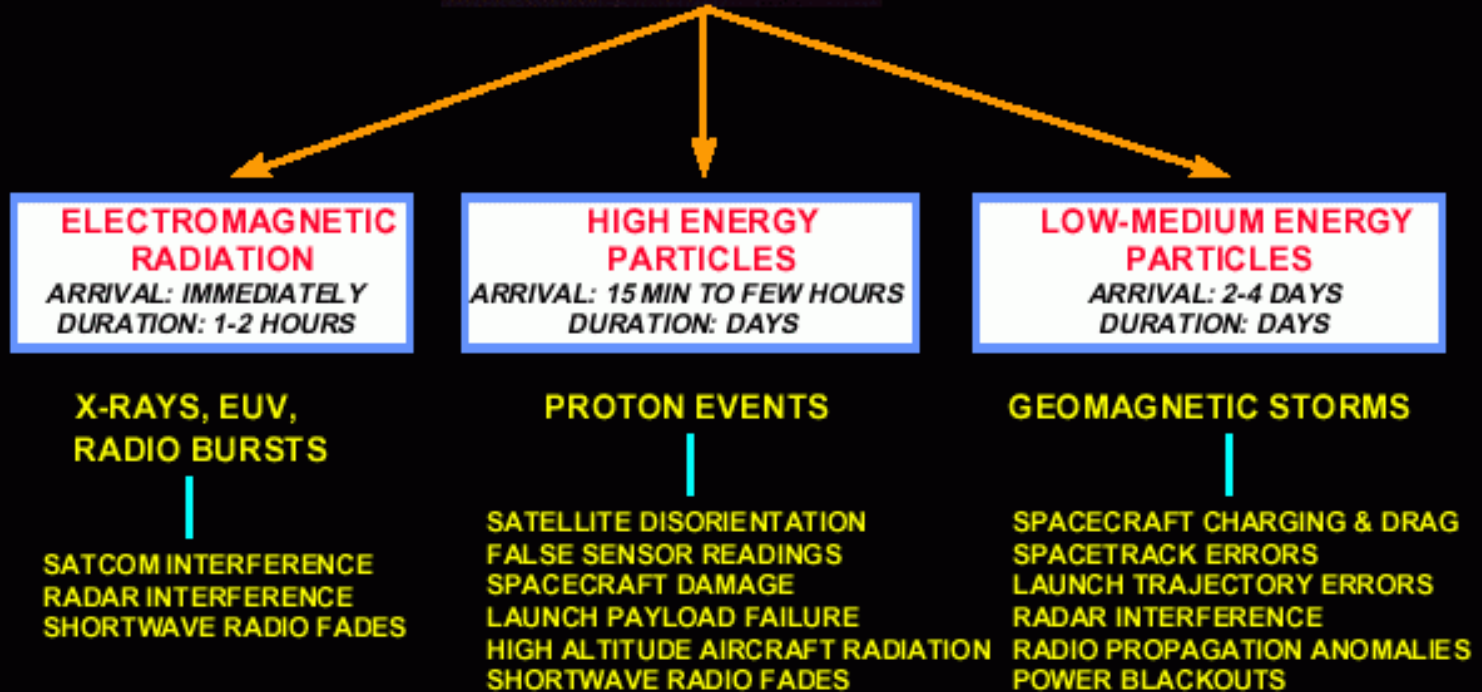
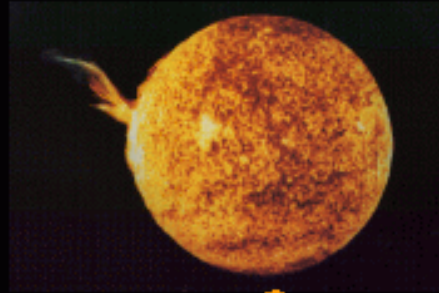
ΗΛΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ

Αν και η ροή ακτινοβολίας σε UV, EUV και X αποτελεί ελάχιστο μέρος της **συνολικής** ηλιακής ακτινοβολίας, η επίδραση στην ανώτερη ατμόσφαιρα της Γης είναι πολύ σημαντική.





Effects of the Dynamic Sun



Source:

Flares

CMEs/Flares

CMEs/Coronal Holes

Το ηλιακό στέμμα

Solar Corona

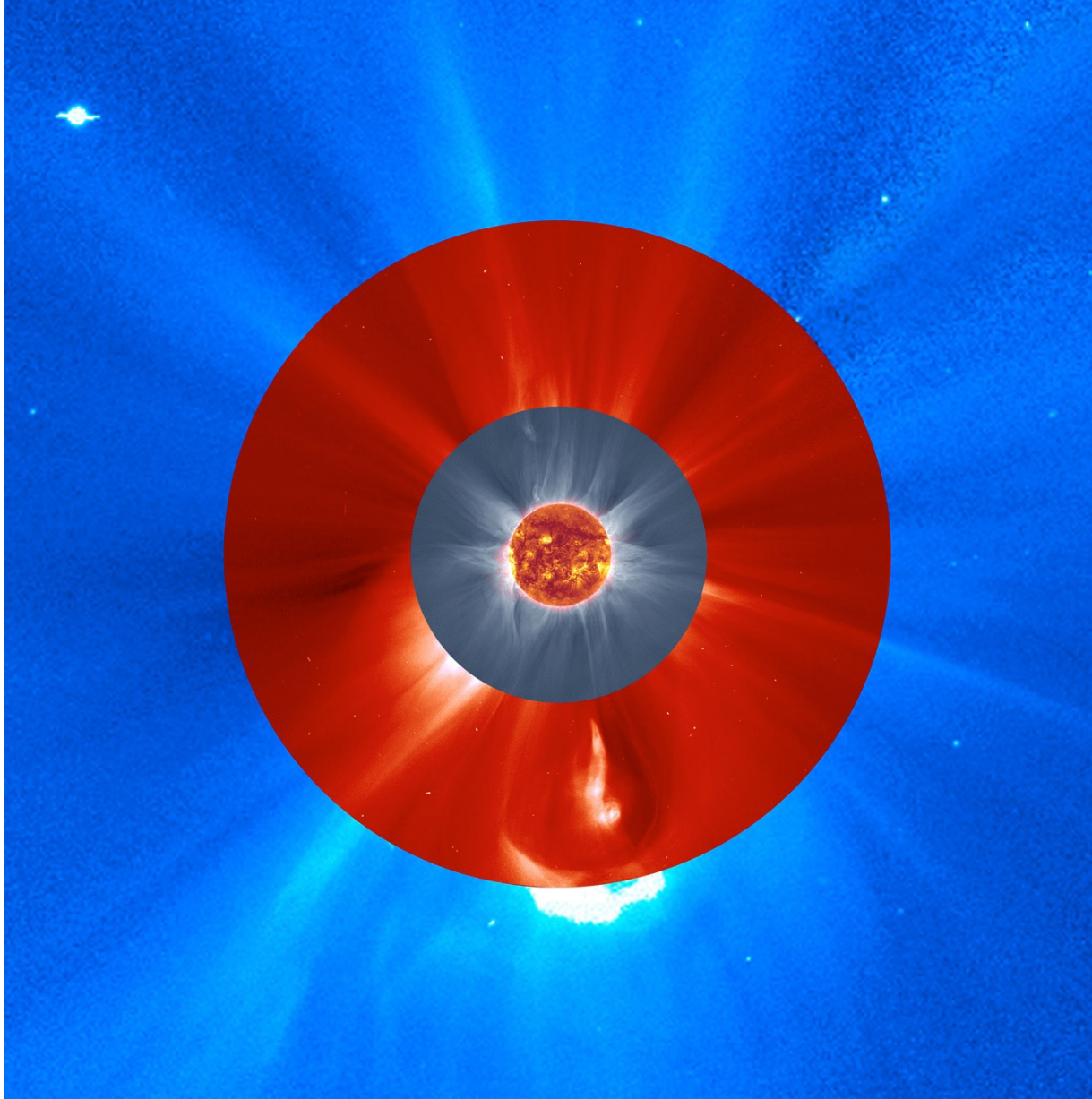
Corona



Corona



**Το ηλιακό στέμμα
ή
Η ηλιακή κορώνη
(Solar Corona)**



4-33 solar radii with LASCO-C3 instrument in white light, SOHO, ESA/NASA

2-6 solar radii with LASCO-C2 instrument in white light, SOHO, ESA/NASA

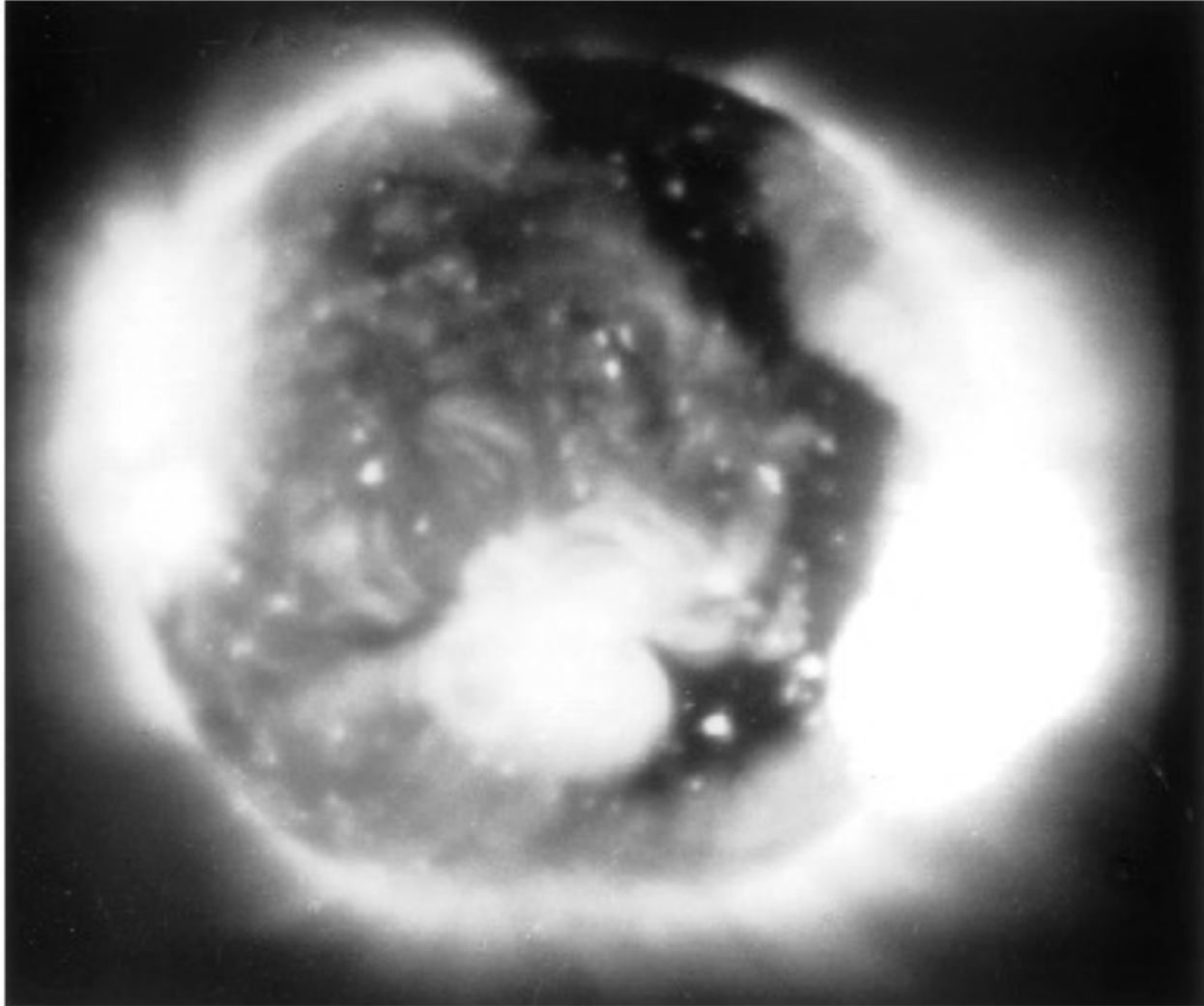
1-3 solar radii with ground-based images from: Cape Lopez, Port Gentil, Gabon (K. Gazeas)

Pokwero, Uganda (P. Horálek, J. Sládeček, M. Druckmüller)

Solar disk in extreme ultraviolet light (30.4 nm), SDO/AIA, NASA

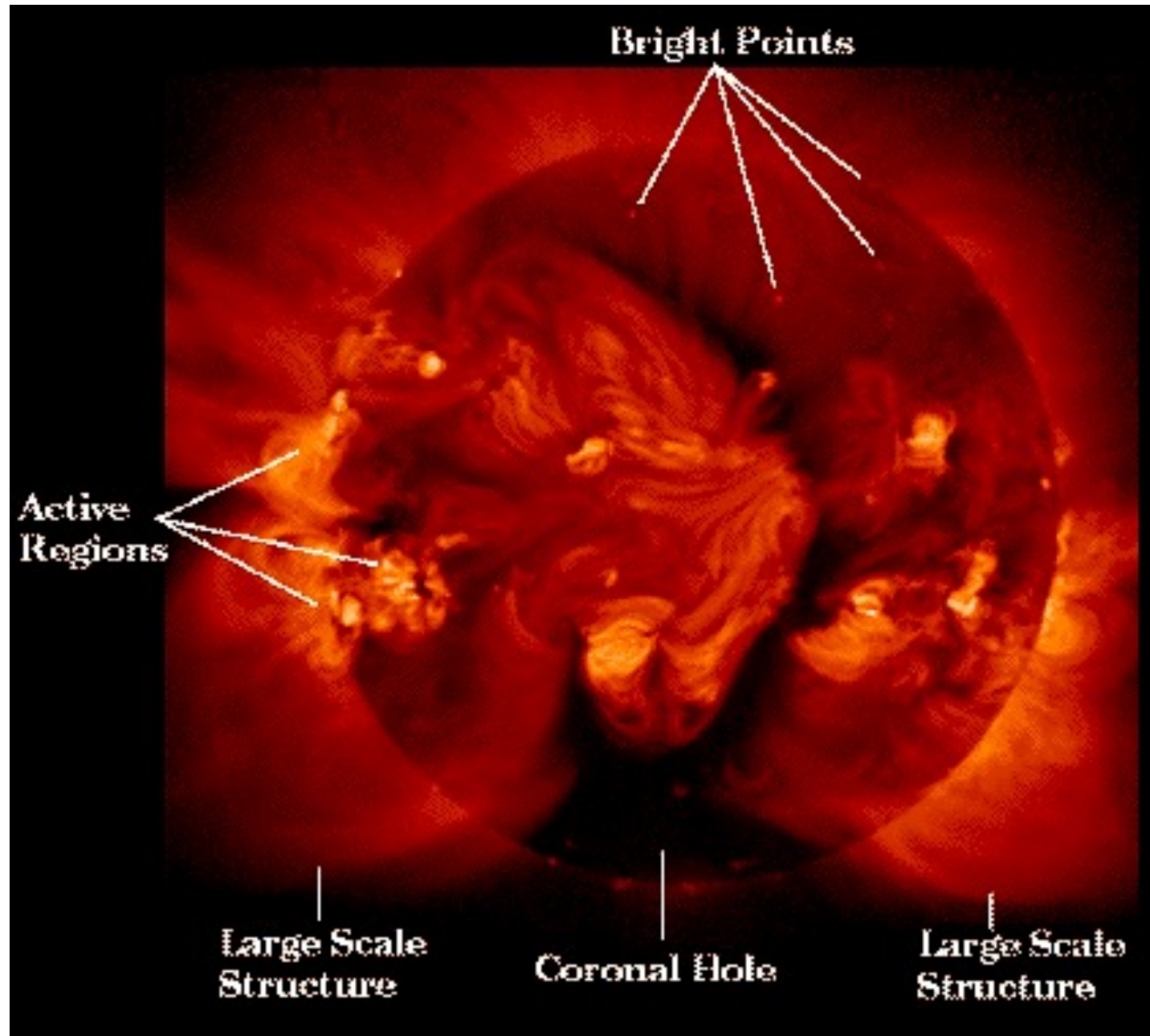
Solar disk in extreme ultraviolet light (17.4 nm), PROBA2/SWAP, ESA/ROB

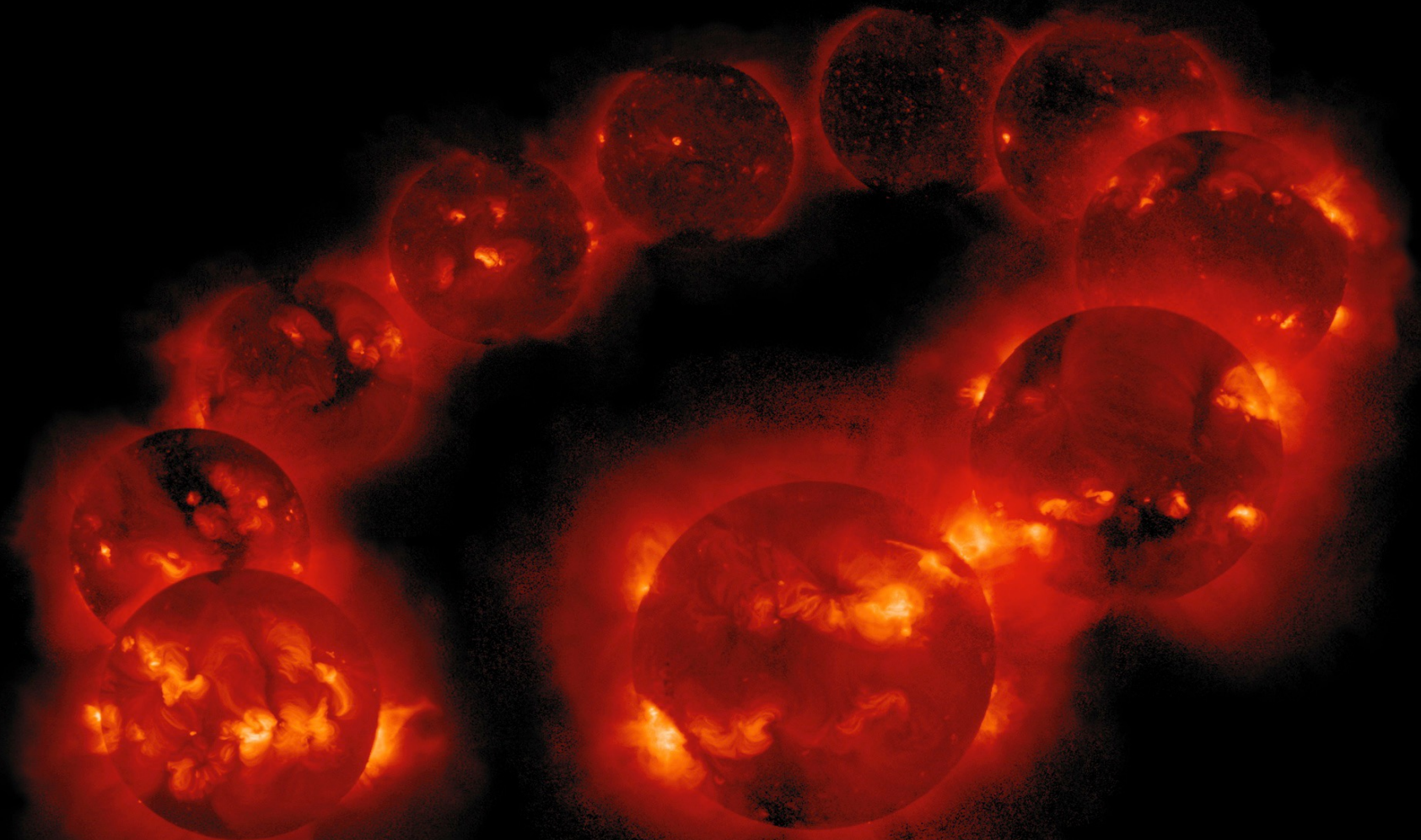
Skylab X-ray telescope 1973-1979



**Solar-A
Yohkoh
1991-
2005(5
arcsec)**

**A dynamic
magnetic
world**





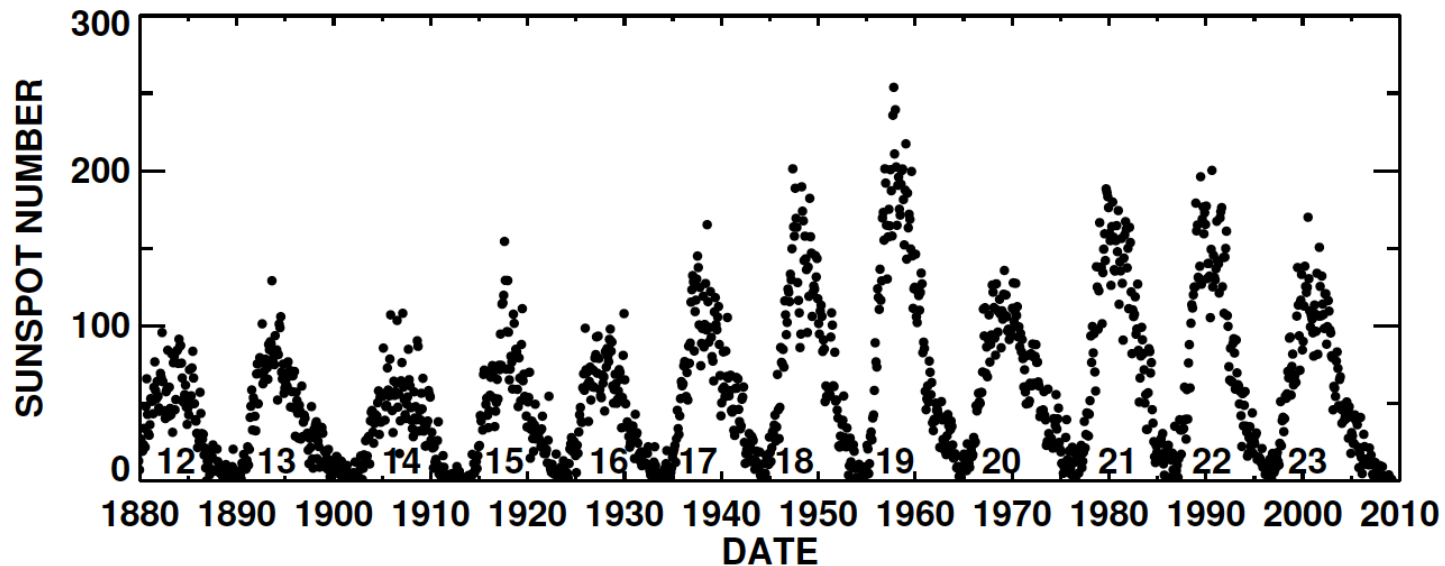
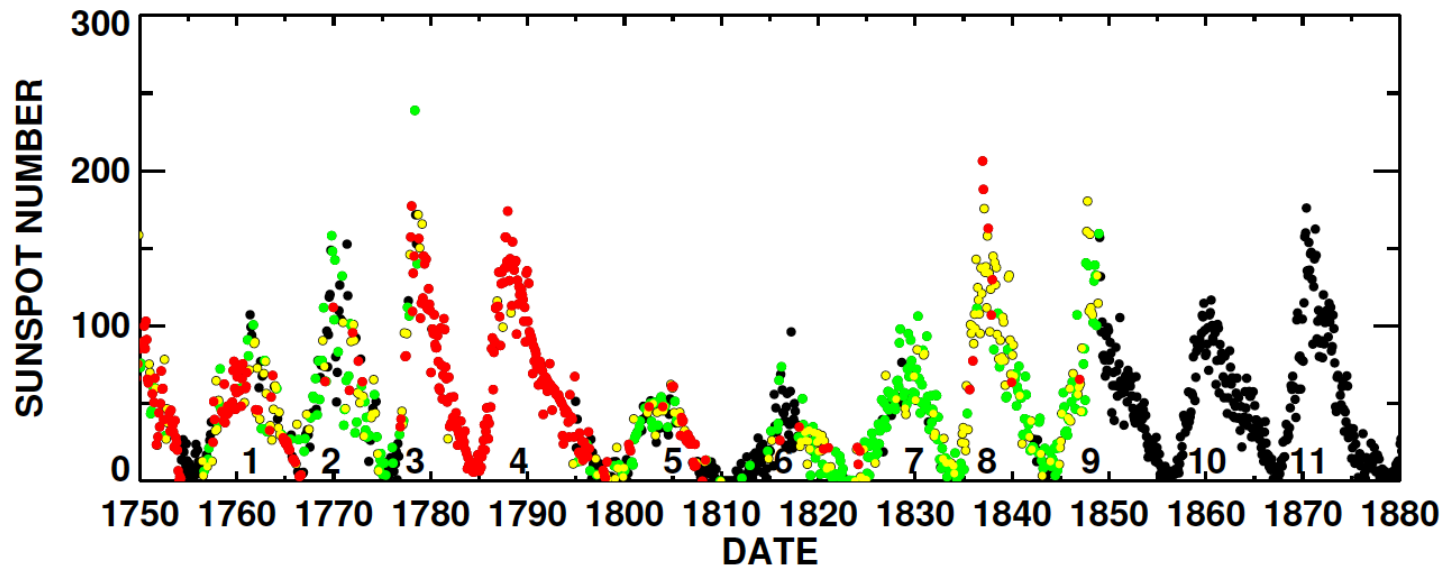
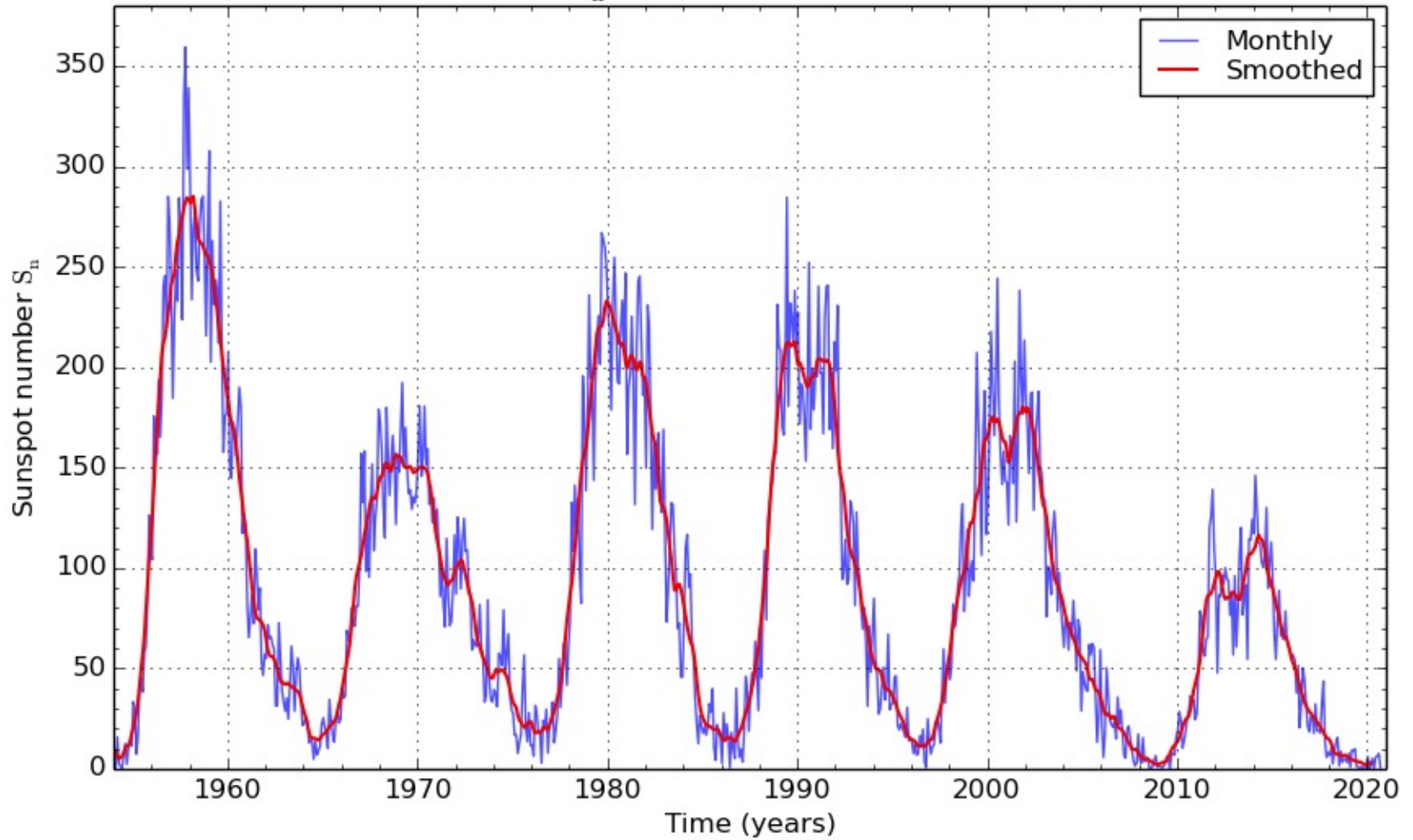
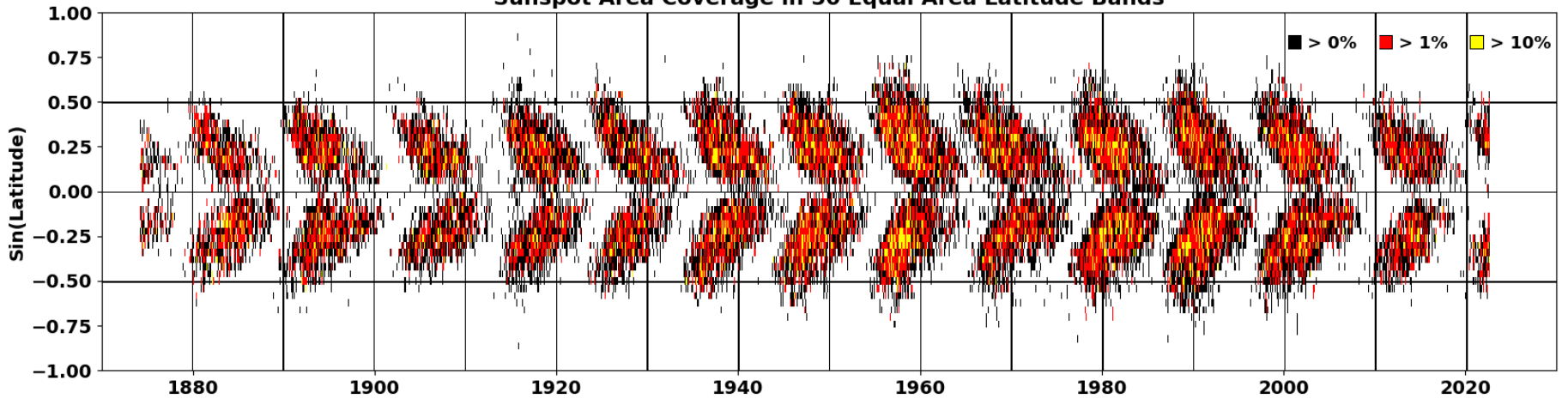


Figure 2: Monthly averages of the daily International Sunspot Number. This illustrates the solar cycle and shows that it varies in amplitude, shape, and length. Months with observations from every day are

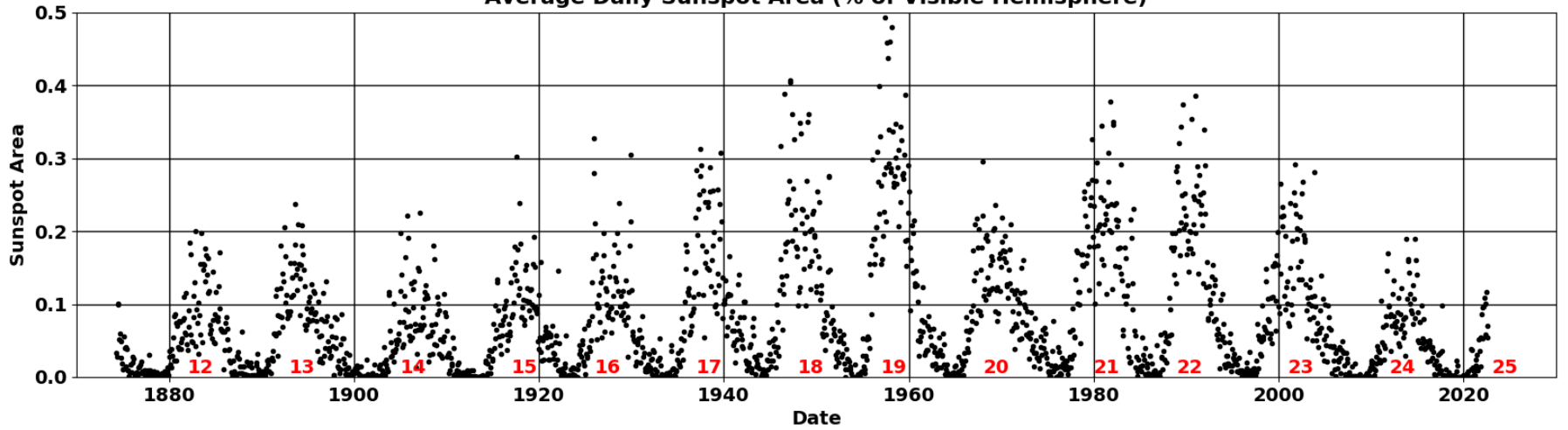
International sunspot number S_n : monthly mean and 13-month smoothed number



Sunspot Area Coverage in 50 Equal Area Latitude Bands



Average Daily Sunspot Area (% of Visible Hemisphere)



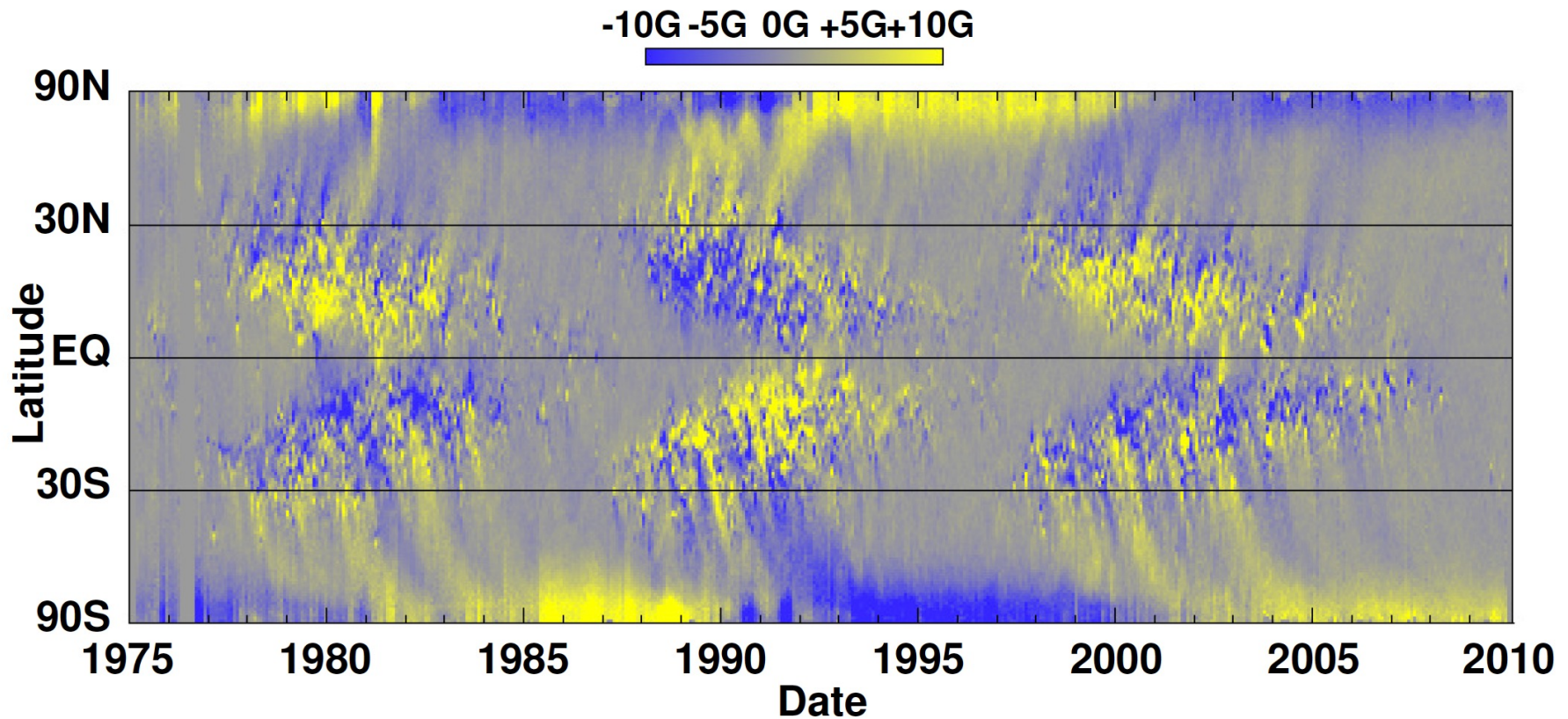


Figure 14: A Magnetic Butterfly Diagram constructed from the longitudinally averaged radial magnetic field obtained from instruments on Kitt Peak and SOHO. This illustrates Hale's Polarity Laws, Joy's Law, polar field reversals, and the transport of higher latitude magnetic field elements toward the poles.

Corona: Physical Properties

Corona has much **higher temperature** than chromosphere or photosphere: $10^6 \text{ K} - 2 \times 10^6 \text{ K}$

Densities are **lower** than those of chromosphere or photosphere: $n = 10^{13} - 3 \times 10^{14} \text{ m}^{-3}$, out to 2 solar radii from Sun's centre.

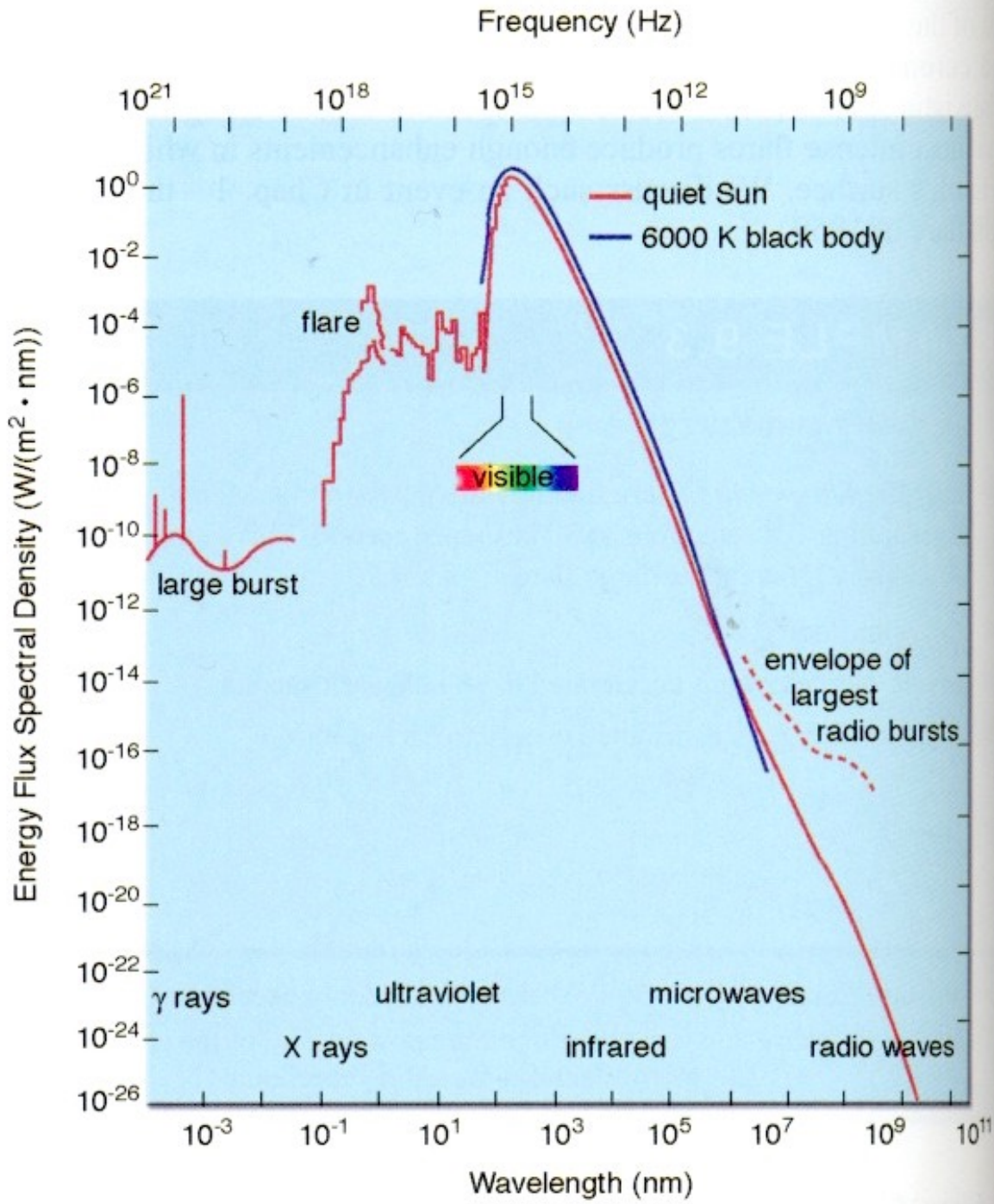
Pervaded by a magnetic field, strength $\sim 1\text{mT}$, mostly in form of loop structures.

Corona: Physical Properties

Temperature, density, and magnetic field strength **much enhanced over sunspot regions** (“active regions”)

Reduced density and temperature and open magnetic fields at poles, particularly at solar minimum: **coronal holes**.

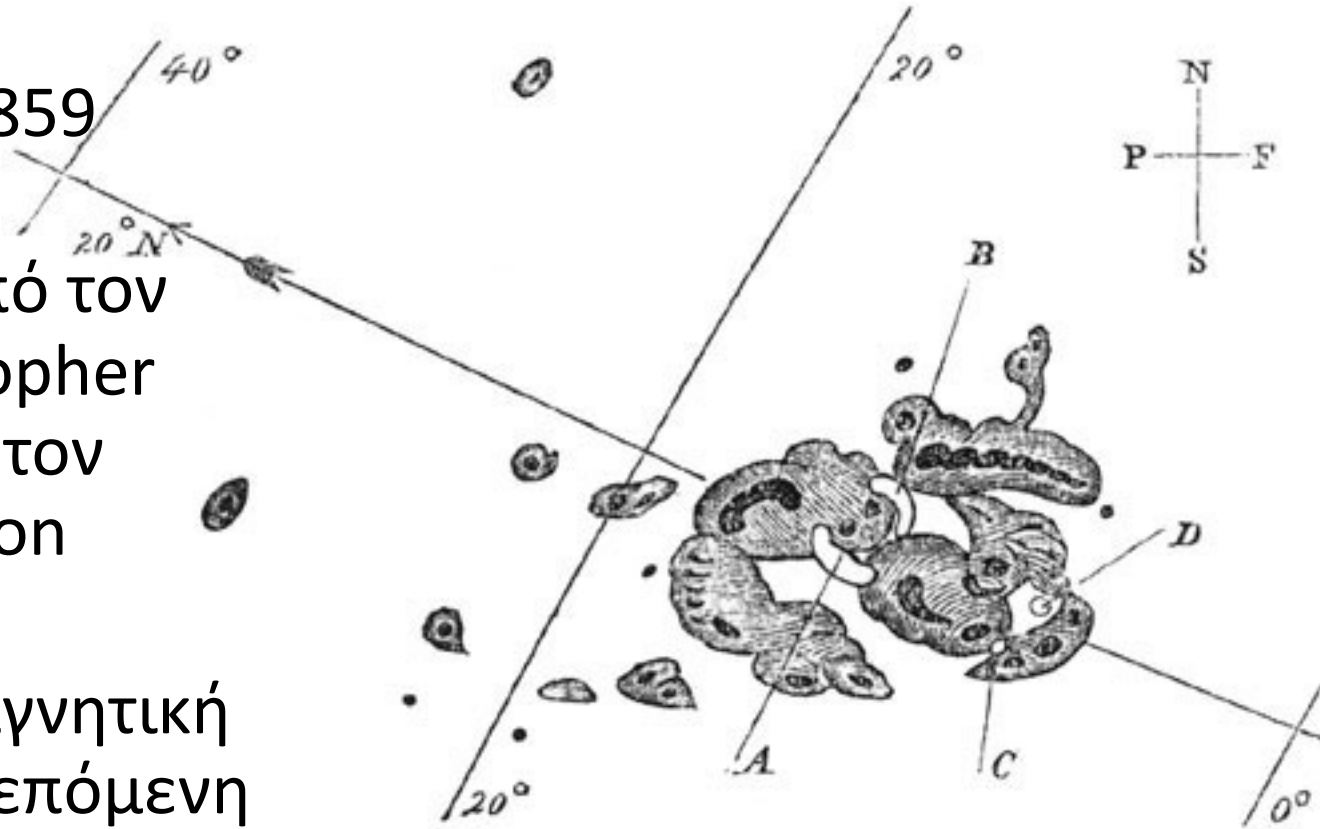
Undergoes an **11-year activity cycle** like photosphere and chromosphere: brighter and more irregular at solar maximum.



The mother of all flares

1 Σεπτεμβρίου 1859

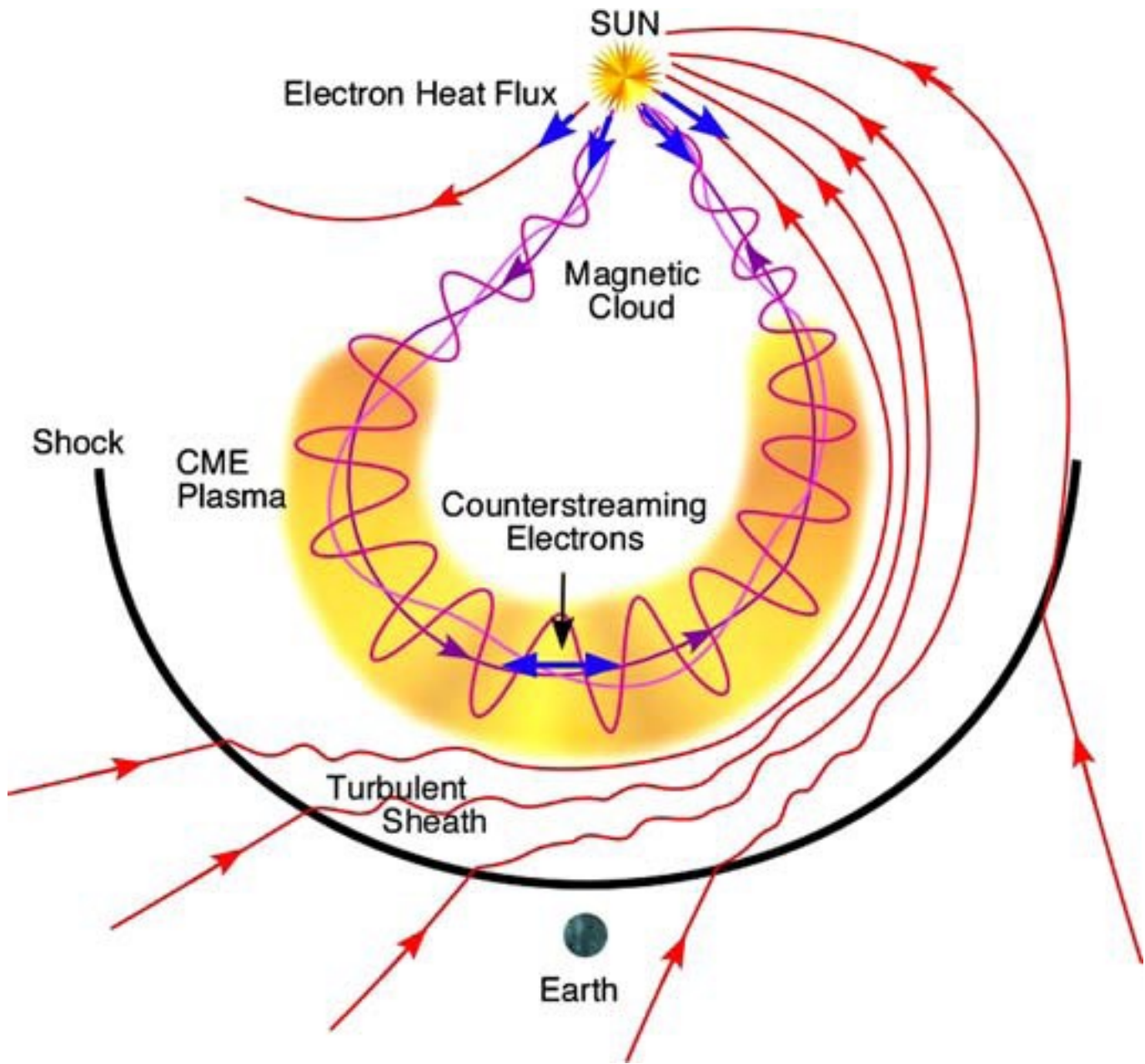
- Παράλληλα από τον Richard Christopher Carrington και τον Richard Hodgson
- Ισχυρότατη μαγνητική καταιγίδα την επόμενη μέρα



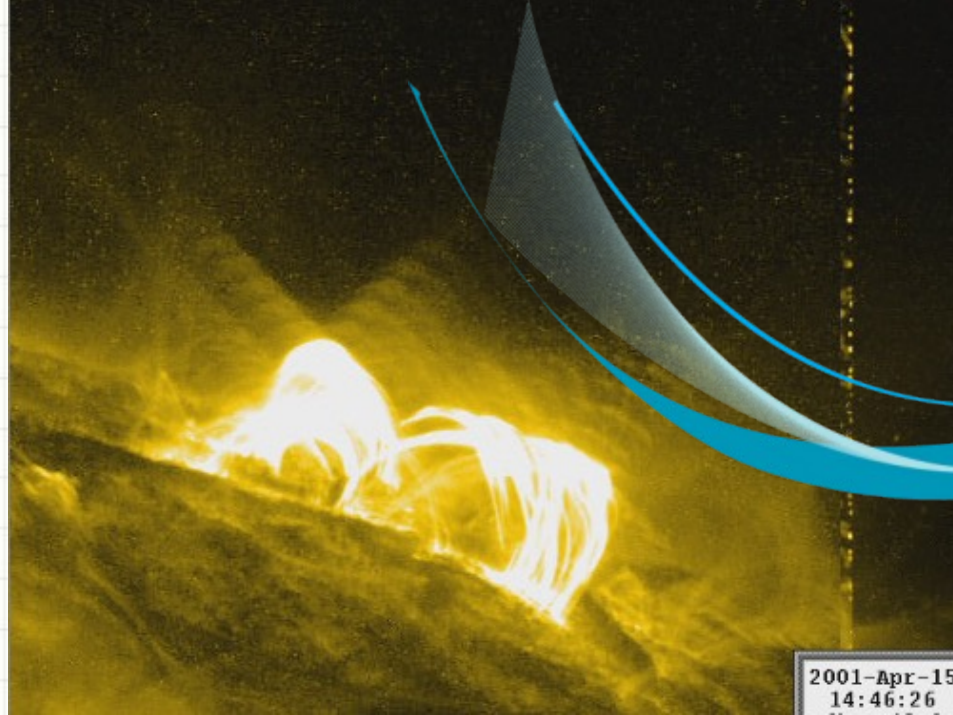
Drawing by Carrington

**Εκλάμψεις
και
στεμματικές εκτινάξεις μάζας**

**Οι δύο συνιστώσες
των ηλιακών “εκρήξεων”
(solar eruptions)**

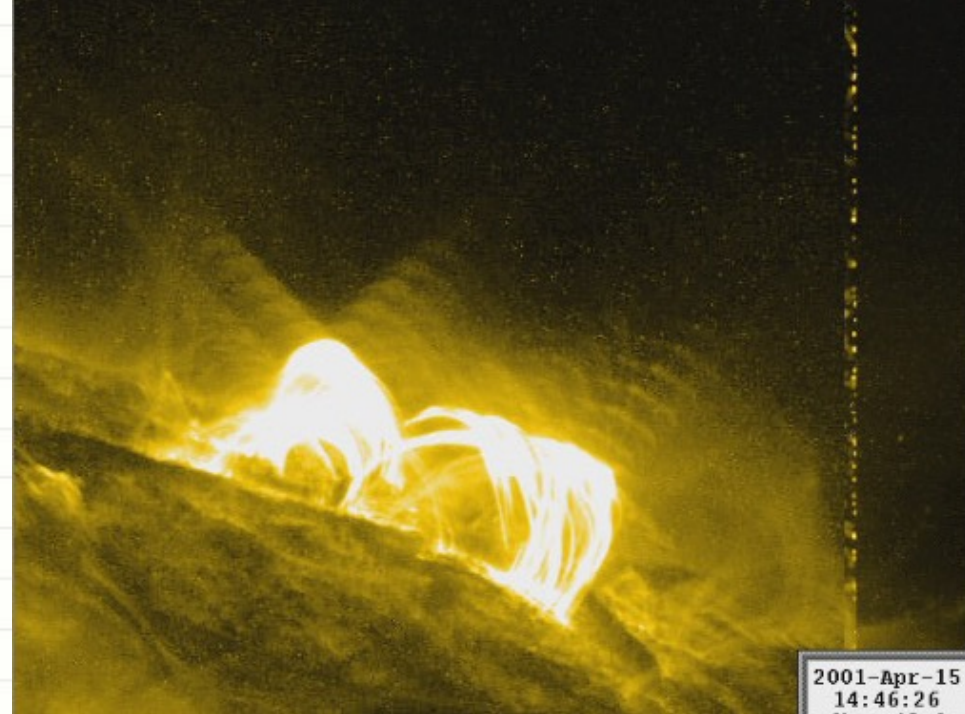


Ηλιακή έκλαμψη



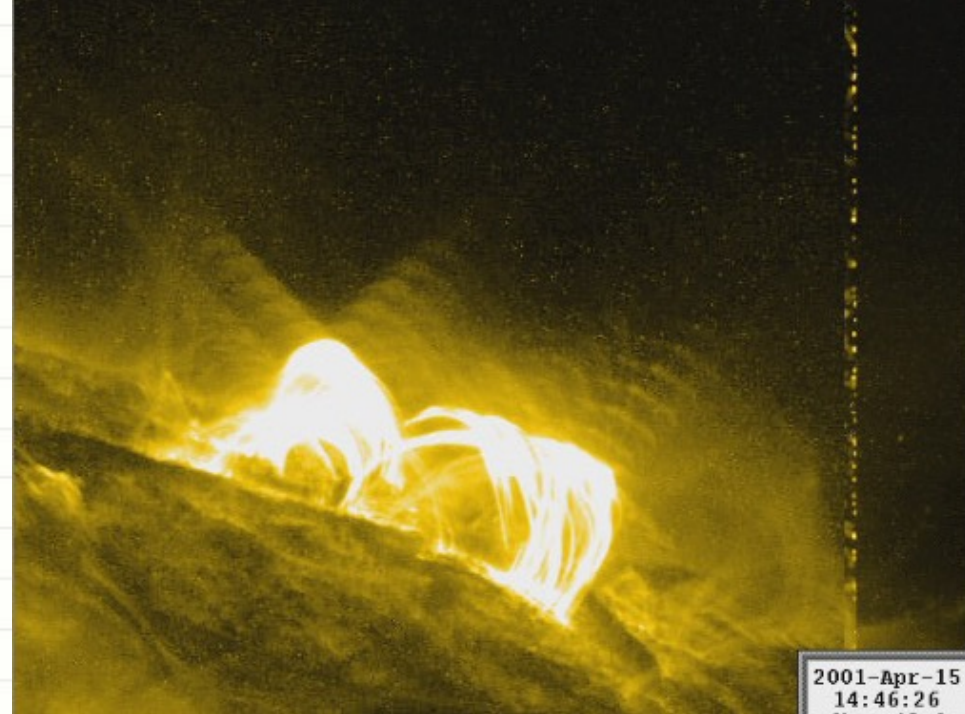
Αιφνίδια, ταχεία και έντονη
αύξηση της λαμπρότητας (έντασης)
ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
σε πολλά διαφορετικά μήκη κύματος
(μεγάλο δυναμικό εύρος)

Ηλιακή έκλαμψη



καθώς και
αιφνίδια, ταχεία και έντονη
έκλυση σωματιδίων πολύ
μεγάλης ενέργειας

Ηλιακή έκλαμψη



Αυτό σημαίνει:

**Ισχυρή και απότομη έκλυση
ενέργειας** στην ατμόσφαιρα του
Ήλιου: $10^{22} - 10^{25}$ Joules

Ετήσια παγκόσμια κατανάλωση
ενέργειας: 10^{25} Joules



WAVE 1

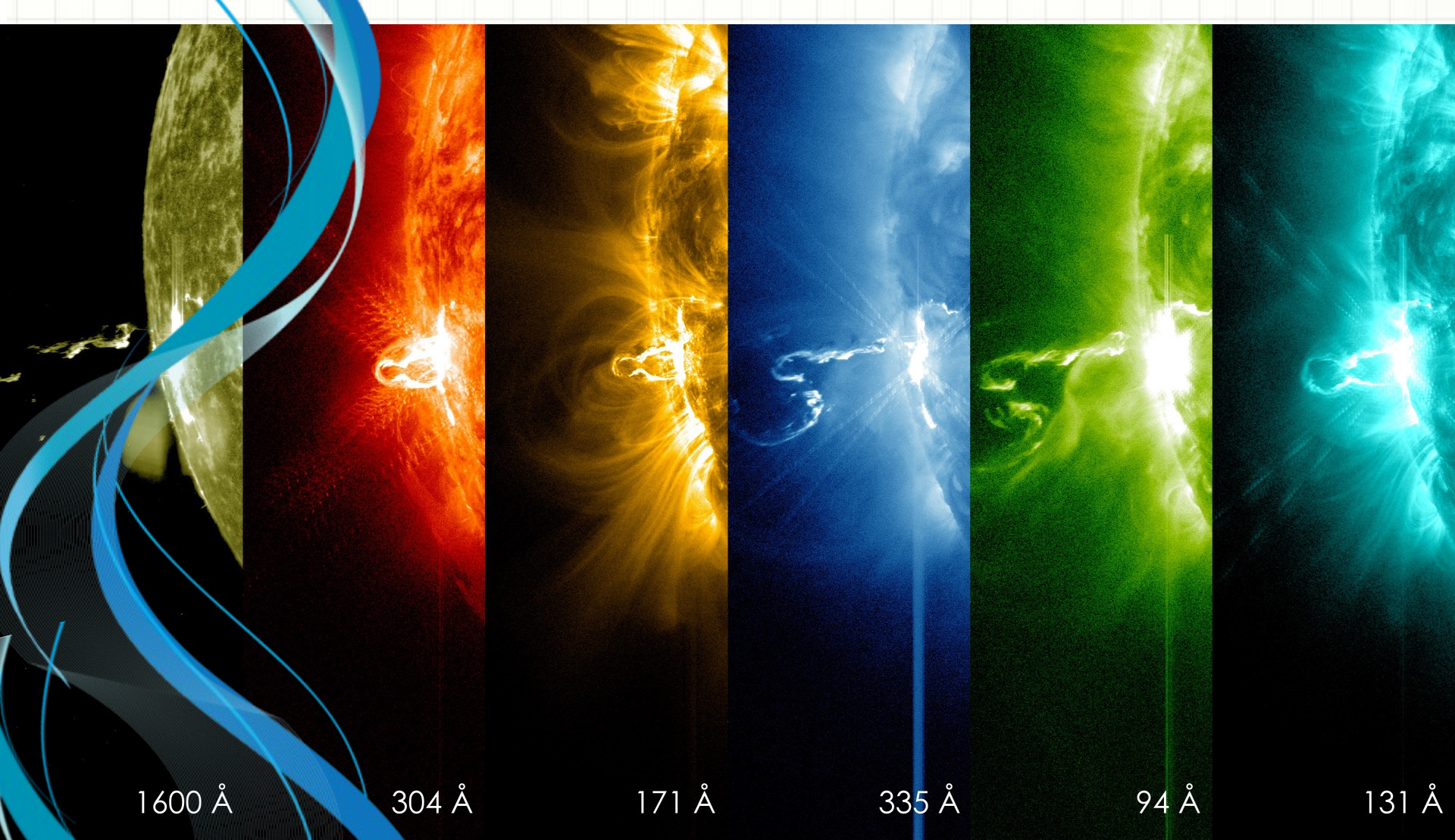


Wavelength

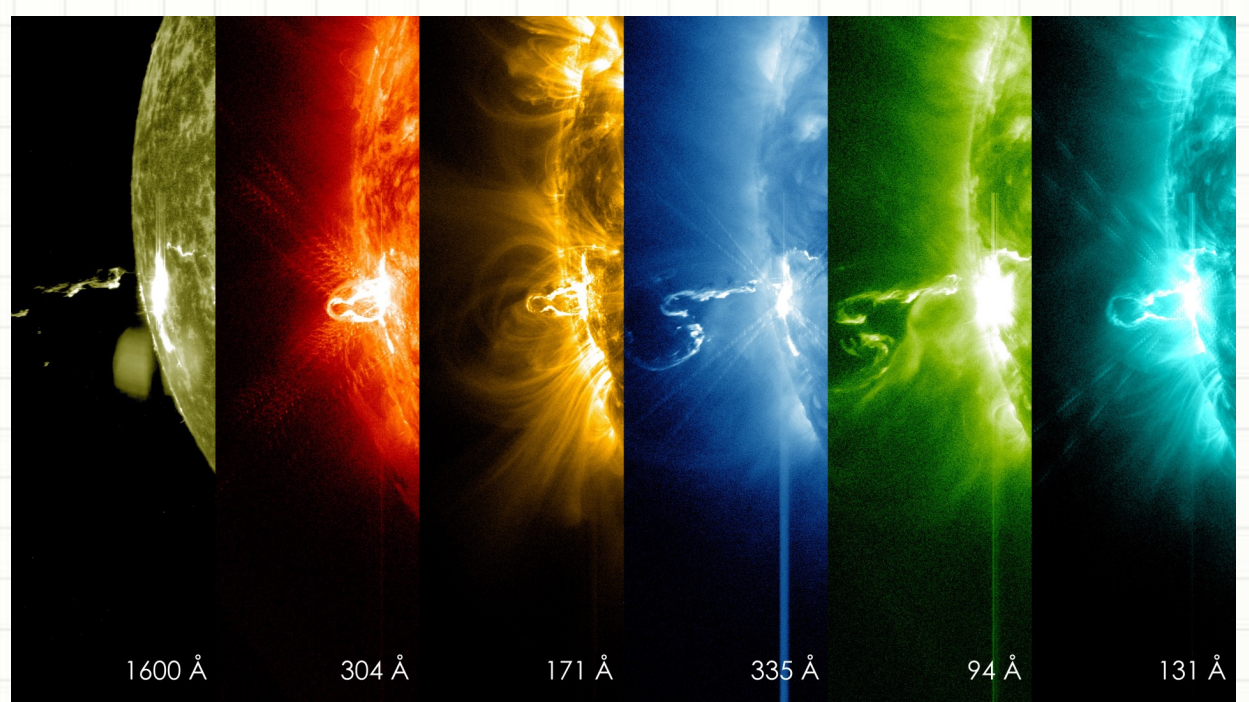
WAVE 2



Amplitude



Flare at various wavelengths



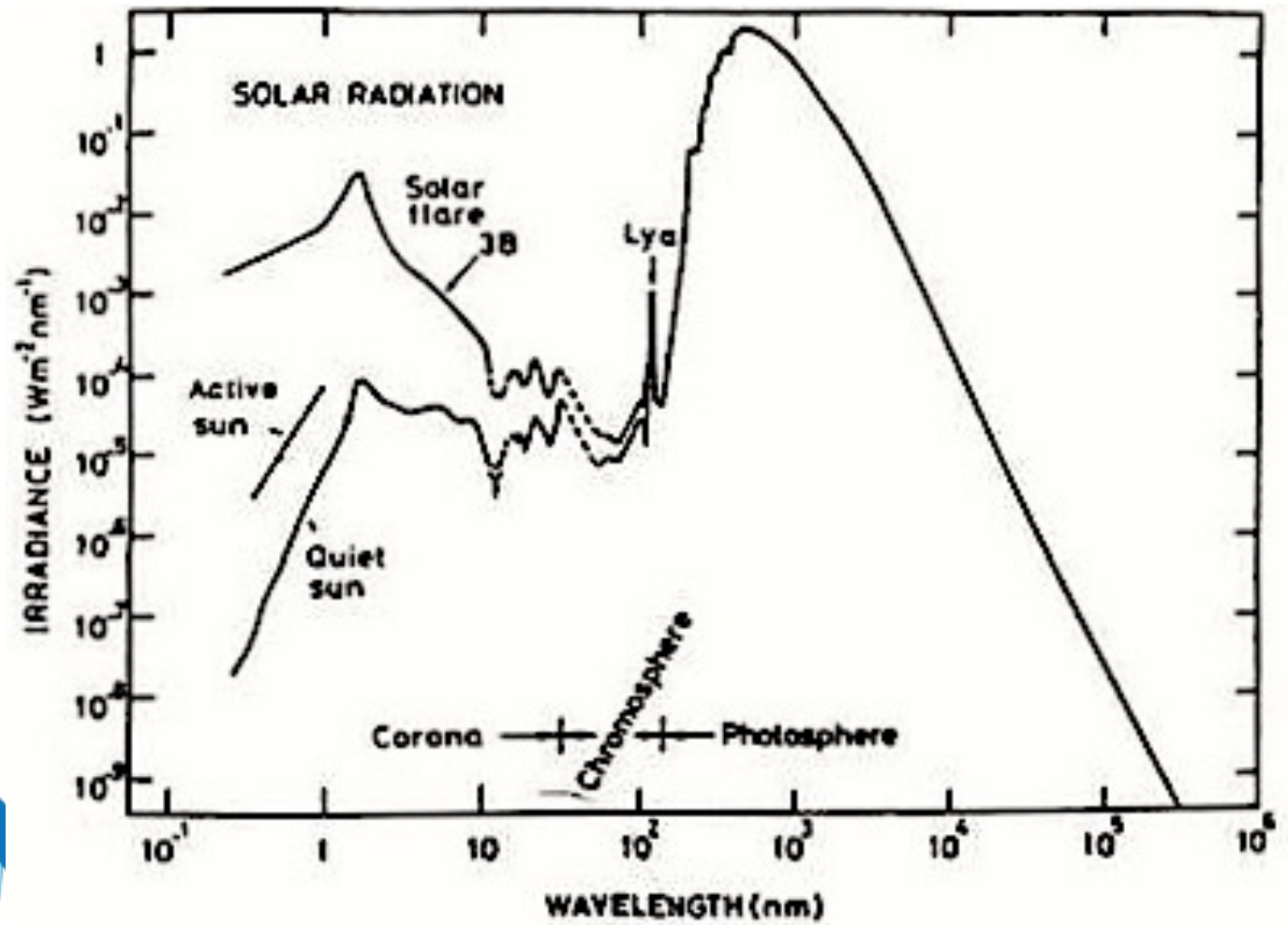
Αυξημένη λαμπρότητα σε:

Μαλακές ακτίνες X – πάντα

Σκληρές ακτίνες X – σχεδόν πάντα

Ακτίνες γάμμα – σπάνια

Ραδιοκύματα – σπάνια ως πολύ σπάνια



Ταξινόμηση εκλάμψεων

Ροή ακτινοβολίας μαλακών ακτίνων X (0.1-0.8 nm) στη γεωστατική τροχιά (GOES):

$$A1 = 10^{-8} \text{ W m}^{-2}$$

$$B1 = 10^{-7} \text{ W m}^{-2}$$

$$C1 = 10^{-6} \text{ W m}^{-2}$$

$$M1 = 10^{-5} \text{ W m}^{-2}$$

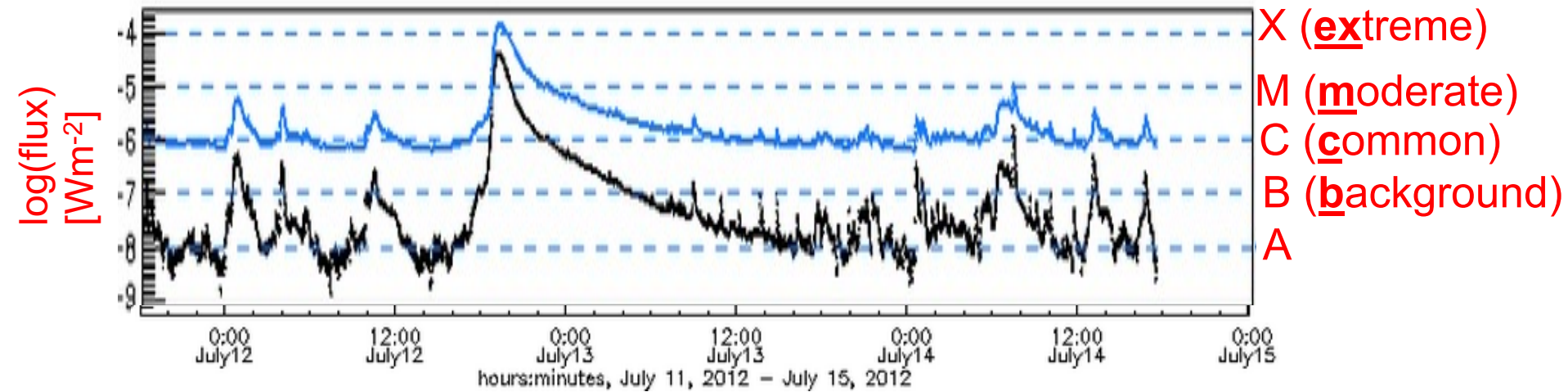
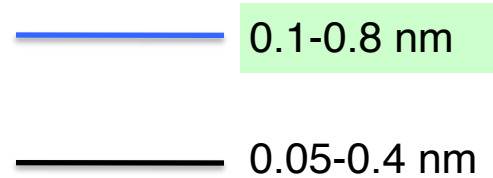
$$X1 = 10^{-4} \text{ W m}^{-2}$$

$$Z1 = 10^{-3} \text{ W m}^{-2}$$

Για σύγκριση, η ολική ροή είναι
 1.366 W m^{-2}

Solar Flare Class

12 July 2012: X1.4 class
flare



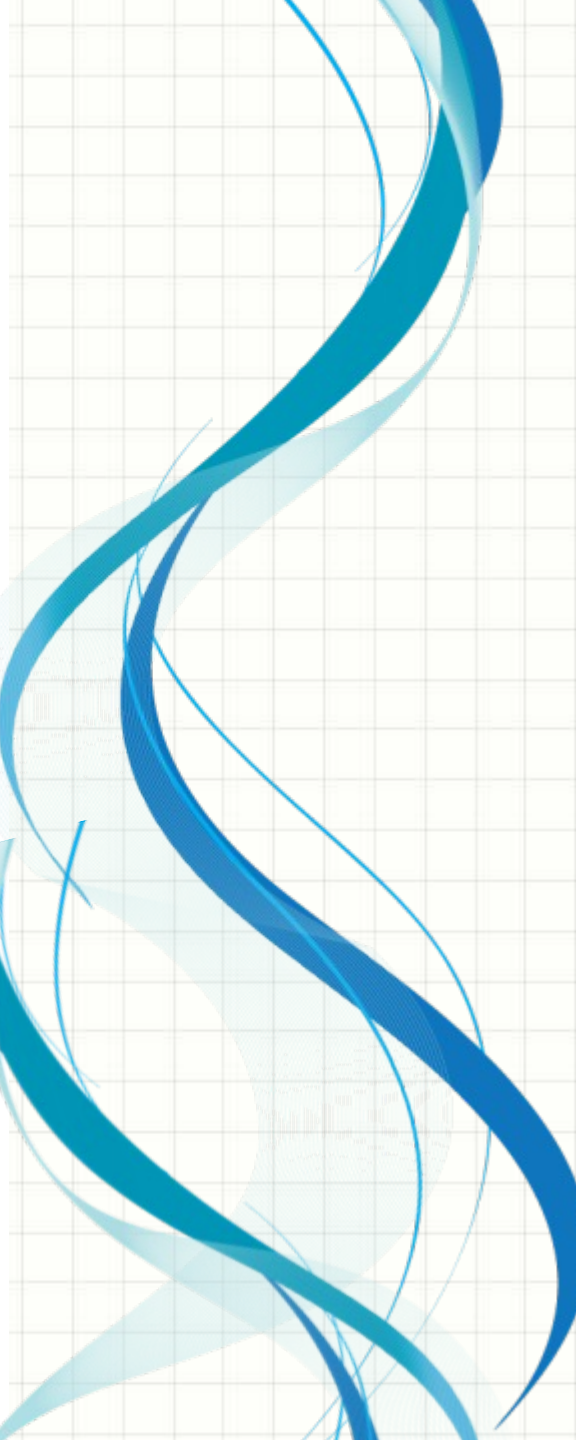
X1.4 class: $\text{flux}(0.1-0.8\text{nm}) = 1.4 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$


$$B_5 = 5 \times 10^{-7} \text{ W m}^{-2}$$


$$B_5 = 5 \times 10^{-7} \text{ W m}^{-2}$$

$$M_8 = 8 \times 10^{-5} \text{ W m}^{-2}$$

$$X_7 = 7 \times 10^{-4} \text{ W m}^{-2}$$


$$B5 = 5 \times 10^{-7} \text{ W m}^{-2}$$

$$M8 = 8 \times 10^{-5} \text{ W m}^{-2}$$

$$X7 = 7 \times 10^{-4} \text{ W m}^{-2}$$

Big daddy:

4 Nov 2003, 19:29-20:06 X17.4

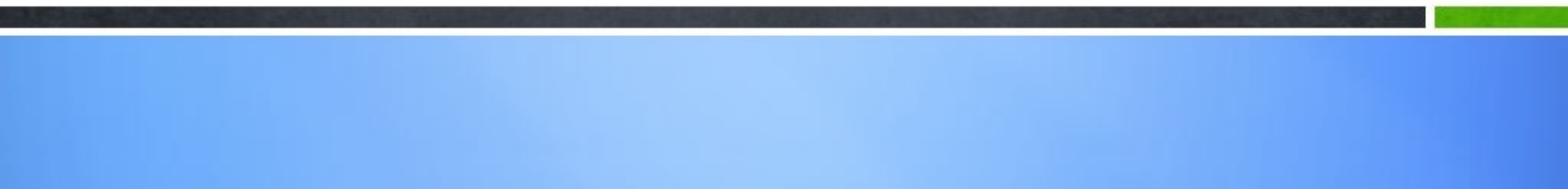
Διαδοχικές εκτιμήσεις:

X28+, X37, X45 ή X40

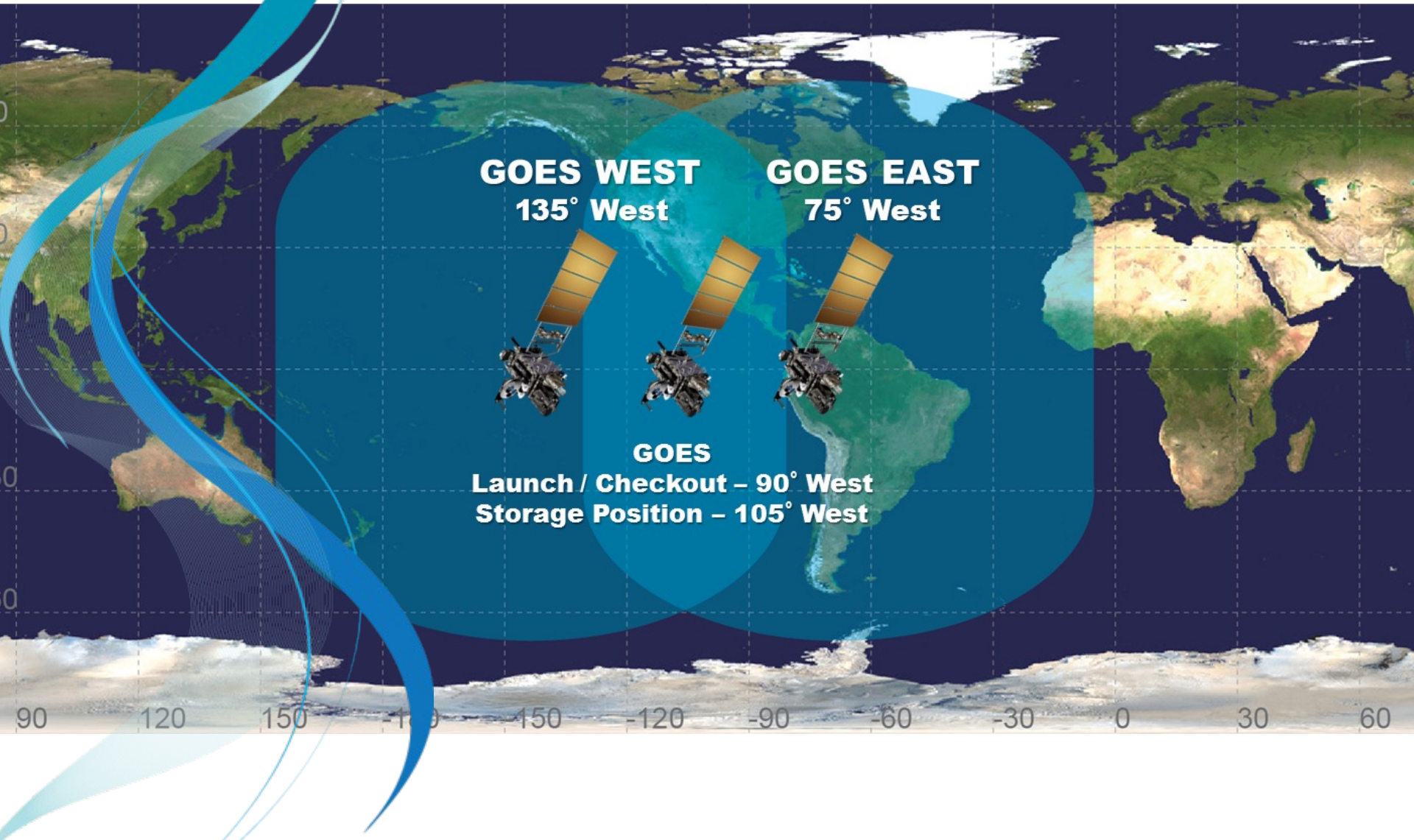
Έκλαμψη του 1859: ίσως X40



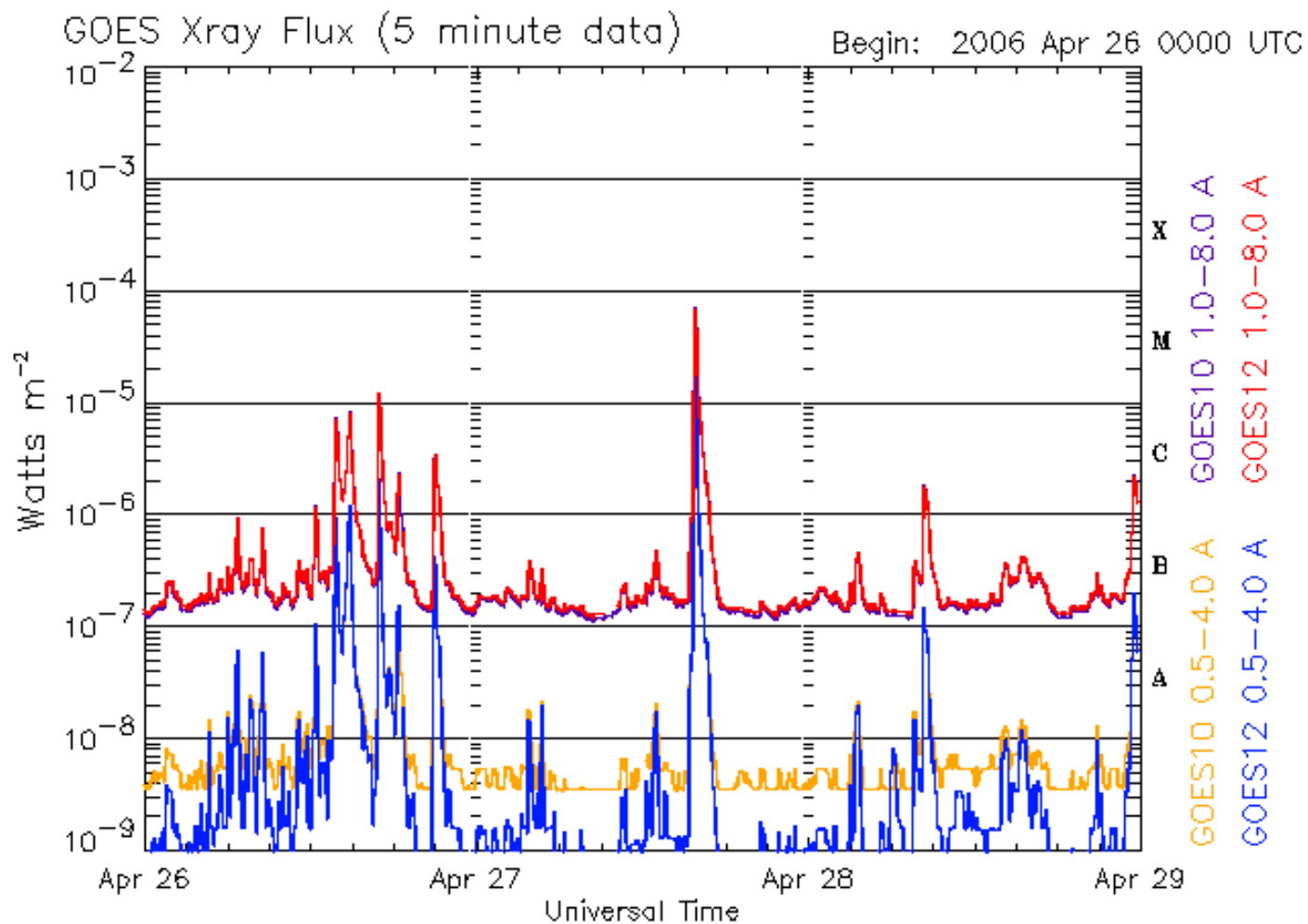
Από πού προέρχονται οι μετρήσεις
(και γιατί)



GOES



Soft X-Ray Light Curves from GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites)

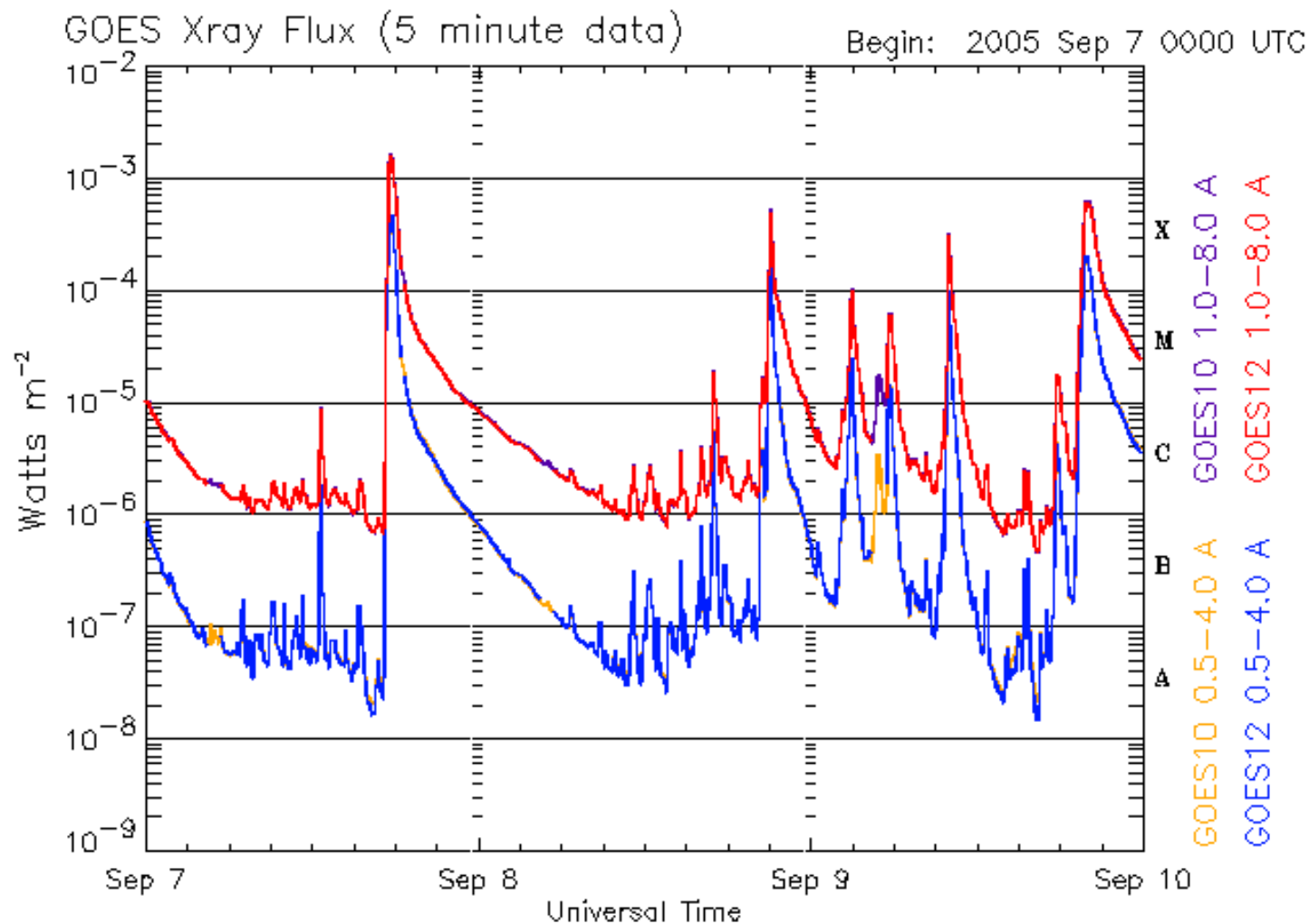


Updated 2006 Apr 28 23:56:05 UTC

NOAA/SEC Boulder, CO USA

M7 Flare

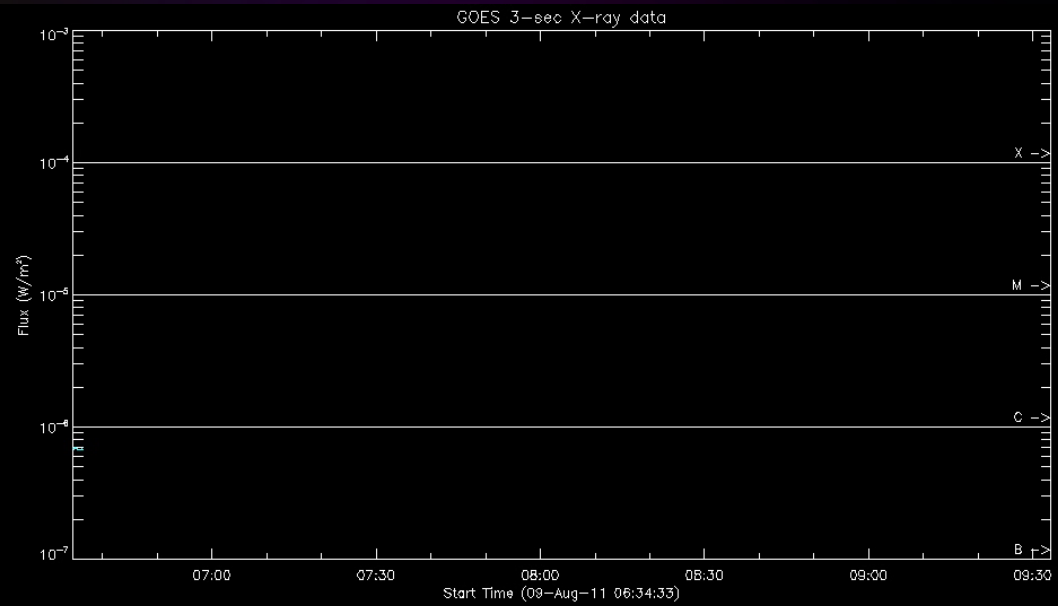
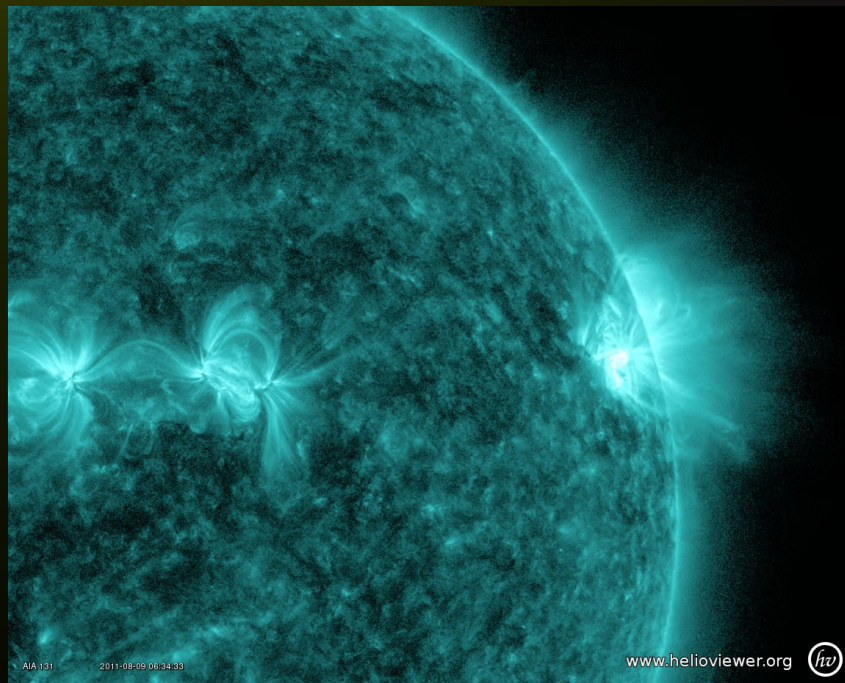
Soft X-Ray Light Curves from GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites)



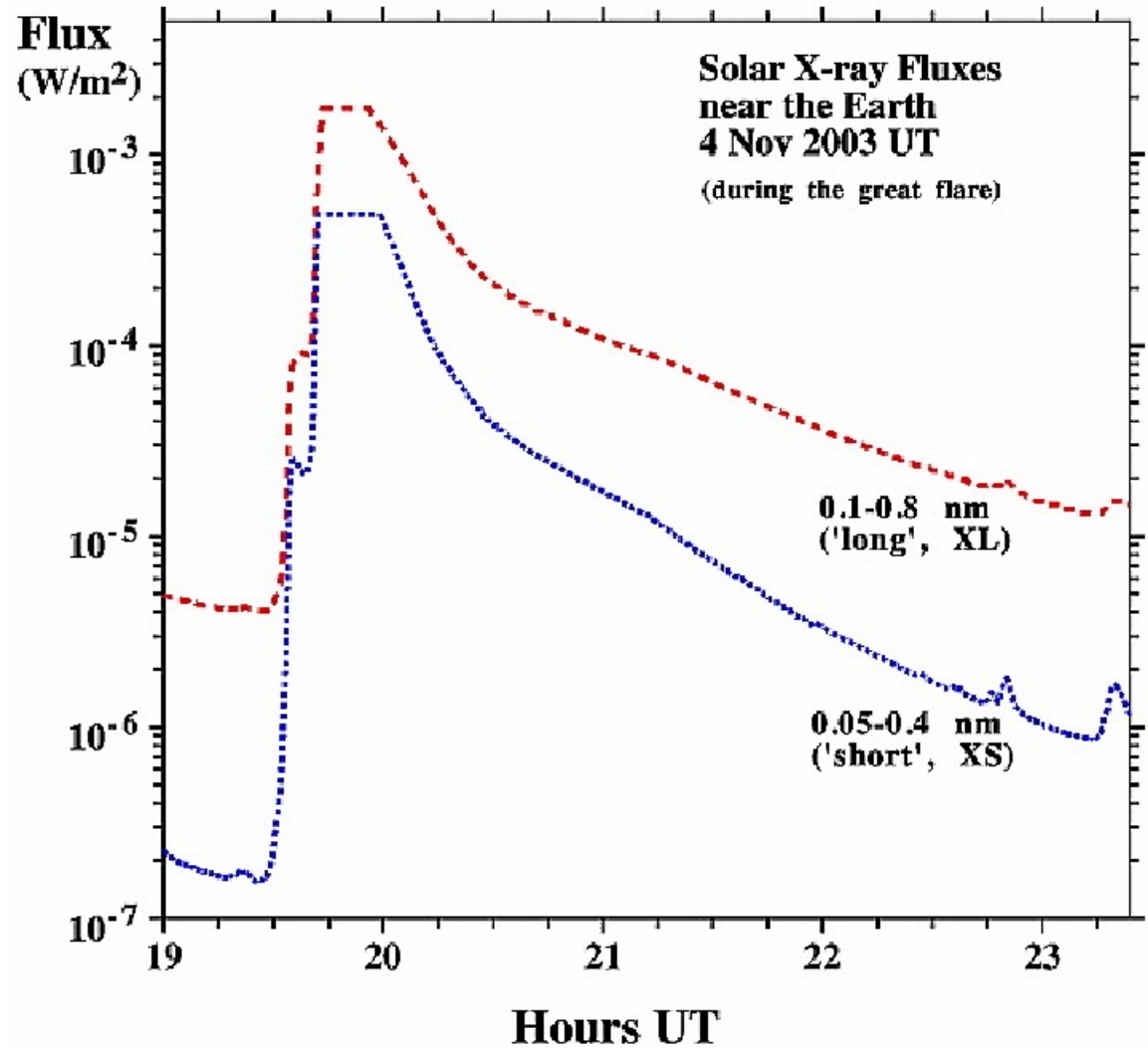
Updated 2005 Sep 9 23:56:04 UTC

NOAA/SEC Boulder, CO USA

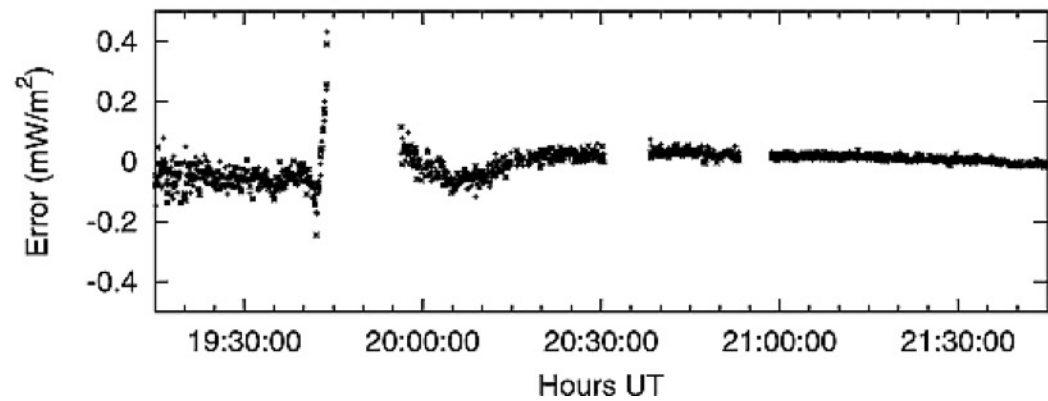
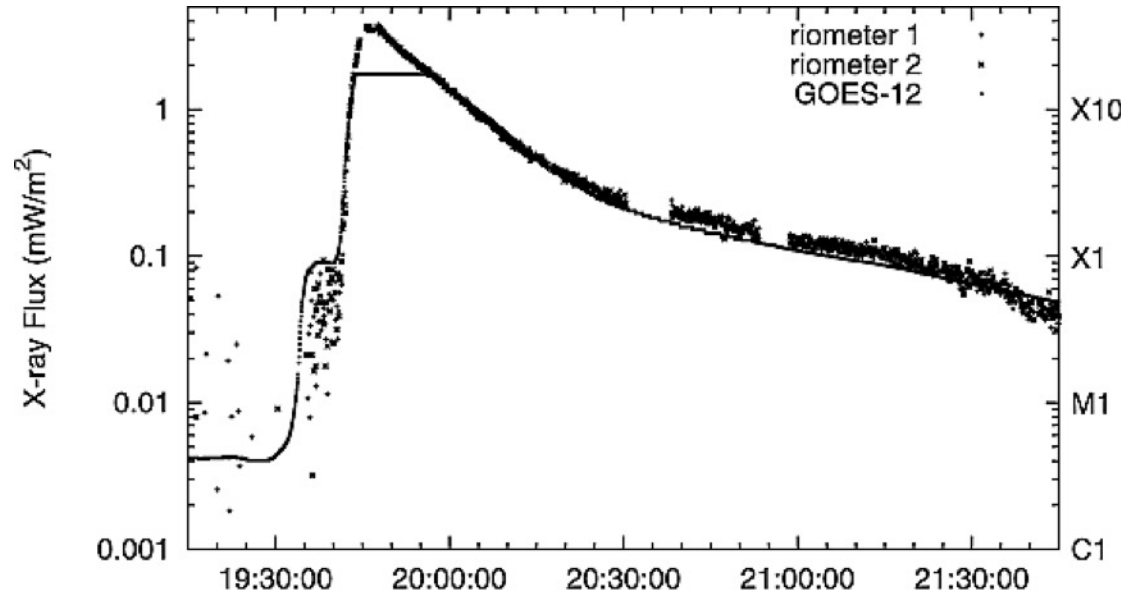
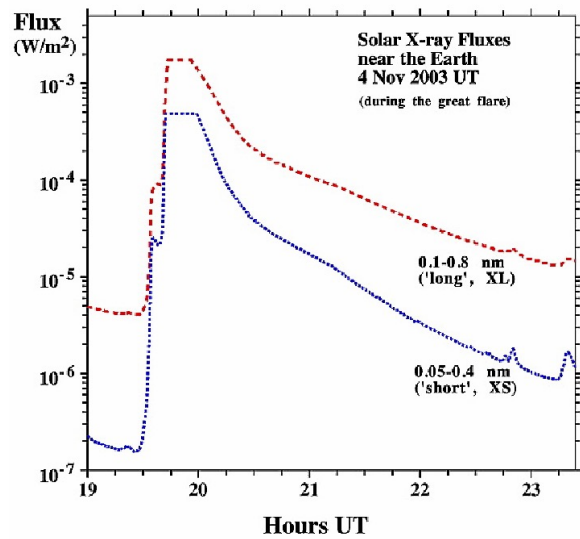
X17 Flare



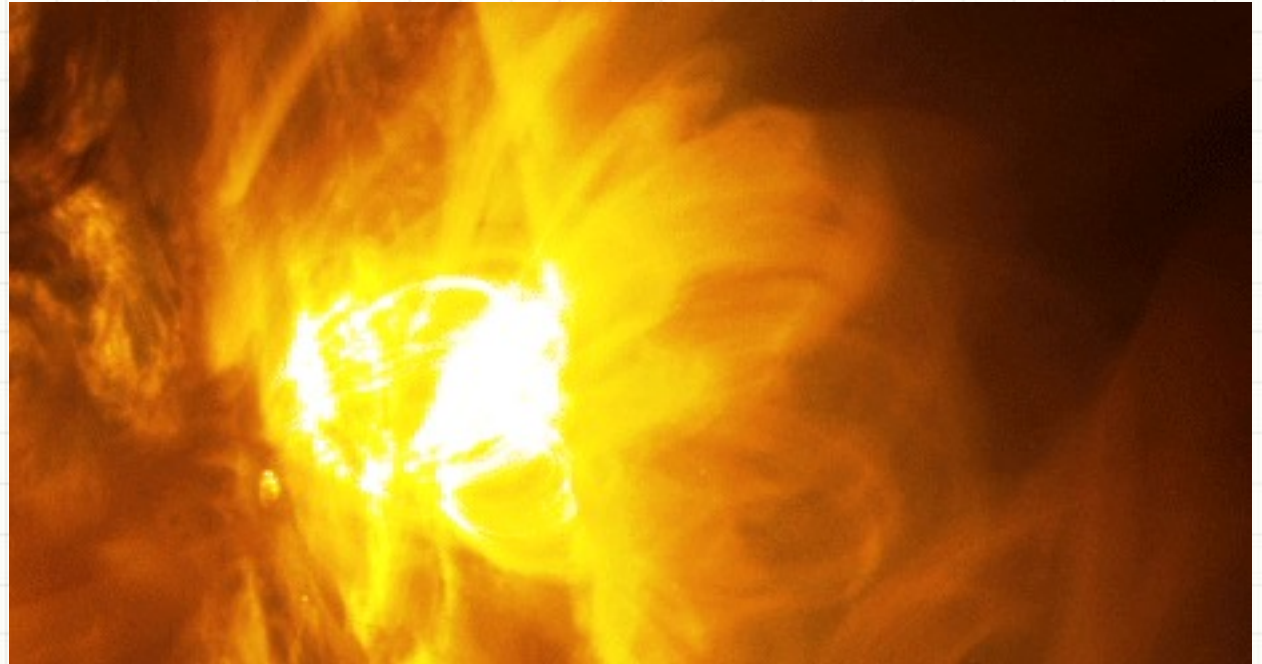
4 Nov 2003: X17.4 Flare

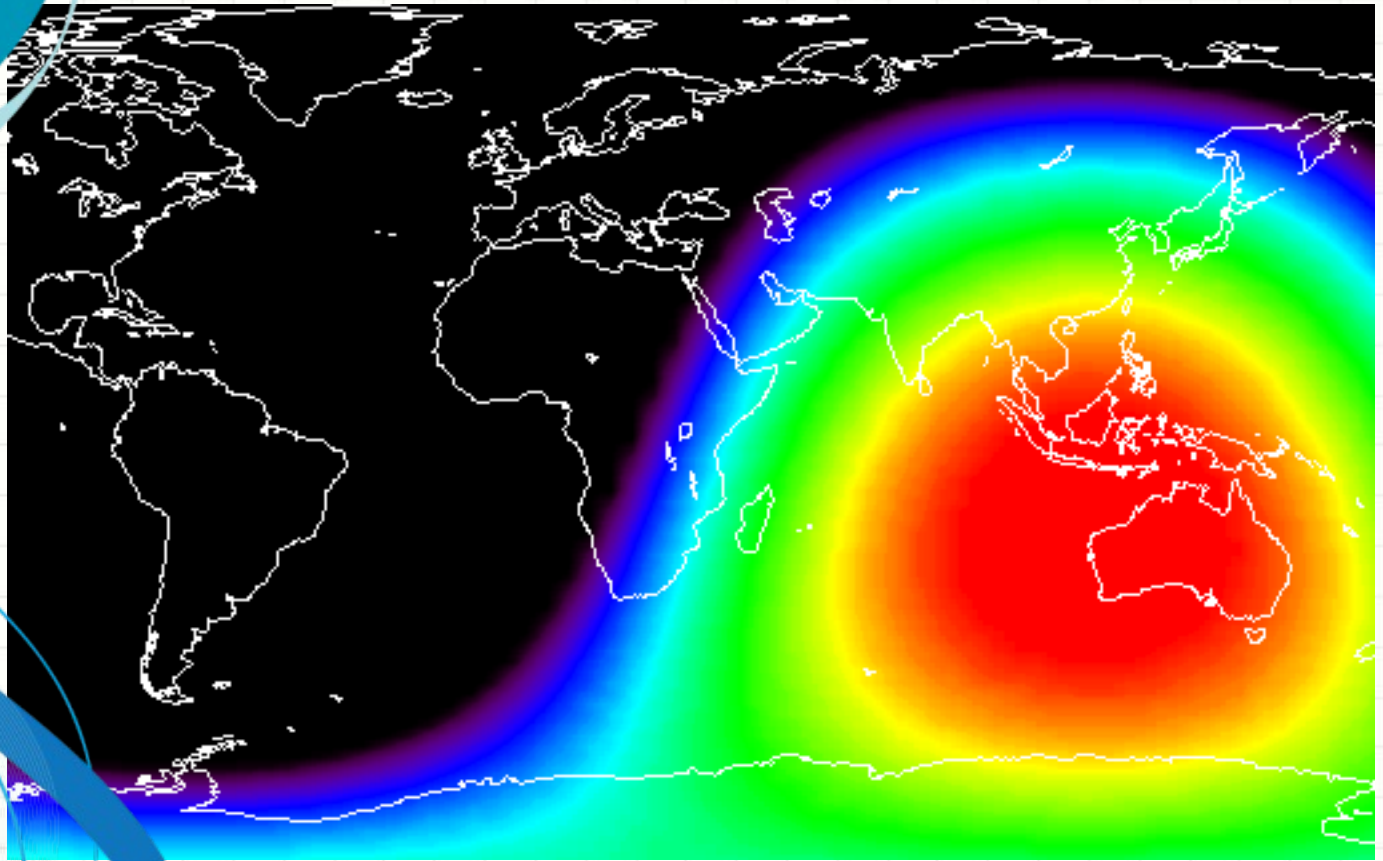



X40 !!



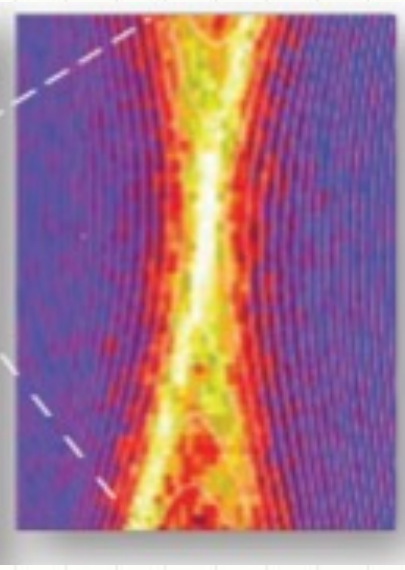
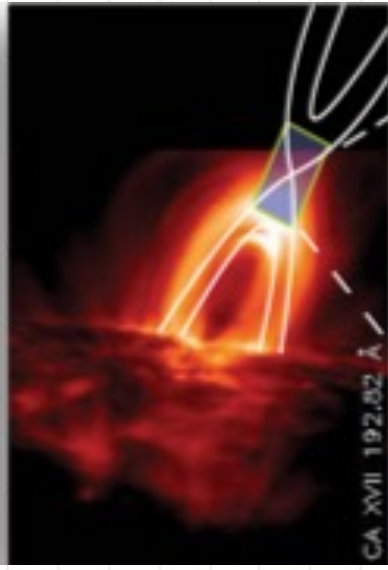
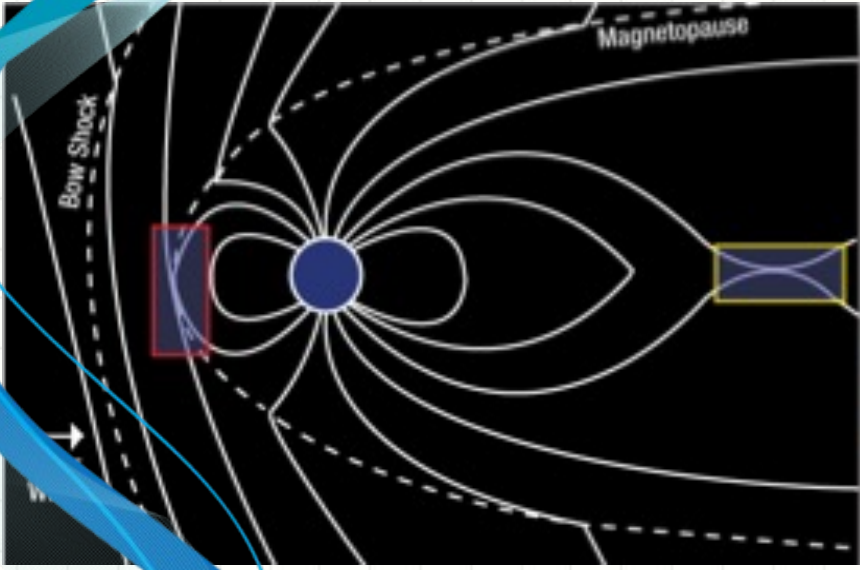
SDO

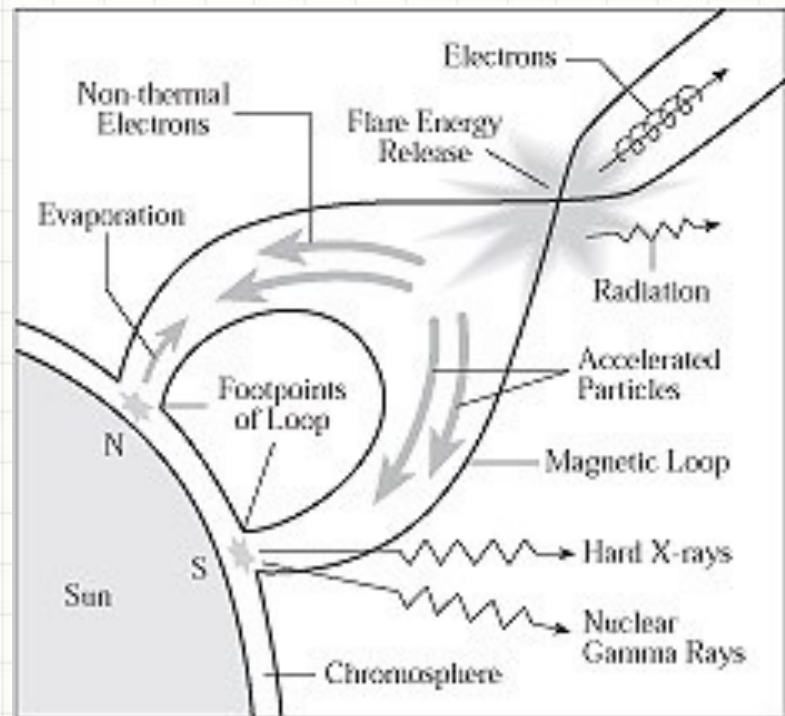
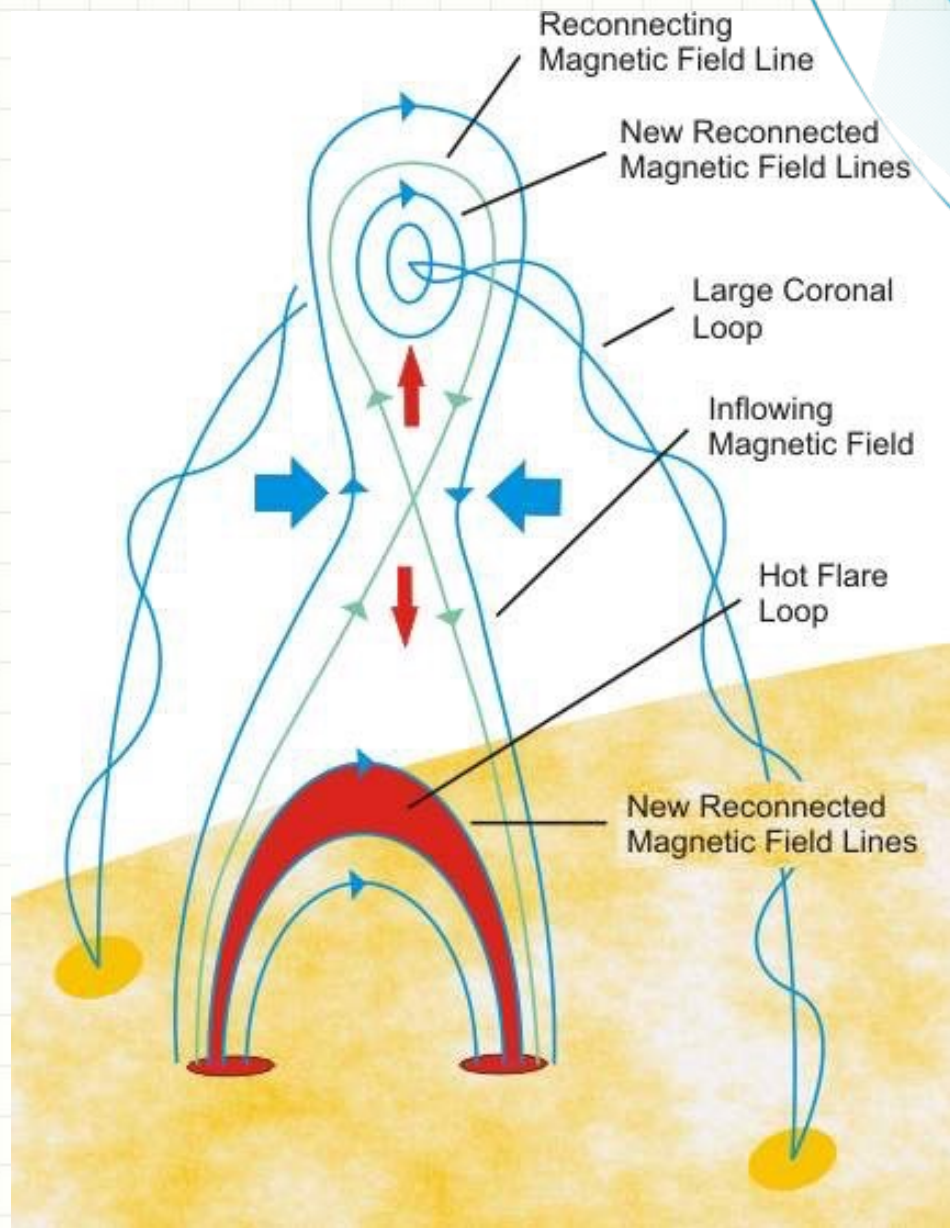






Flare: rapid energy release triggered by an instability in the magnetic configuration. Results in acceleration of non-thermal particles and heating of chromospheric/coronal plasma, emitting radiation in almost all wavelengths





Στεμματικές εκτινάξεις μάζας

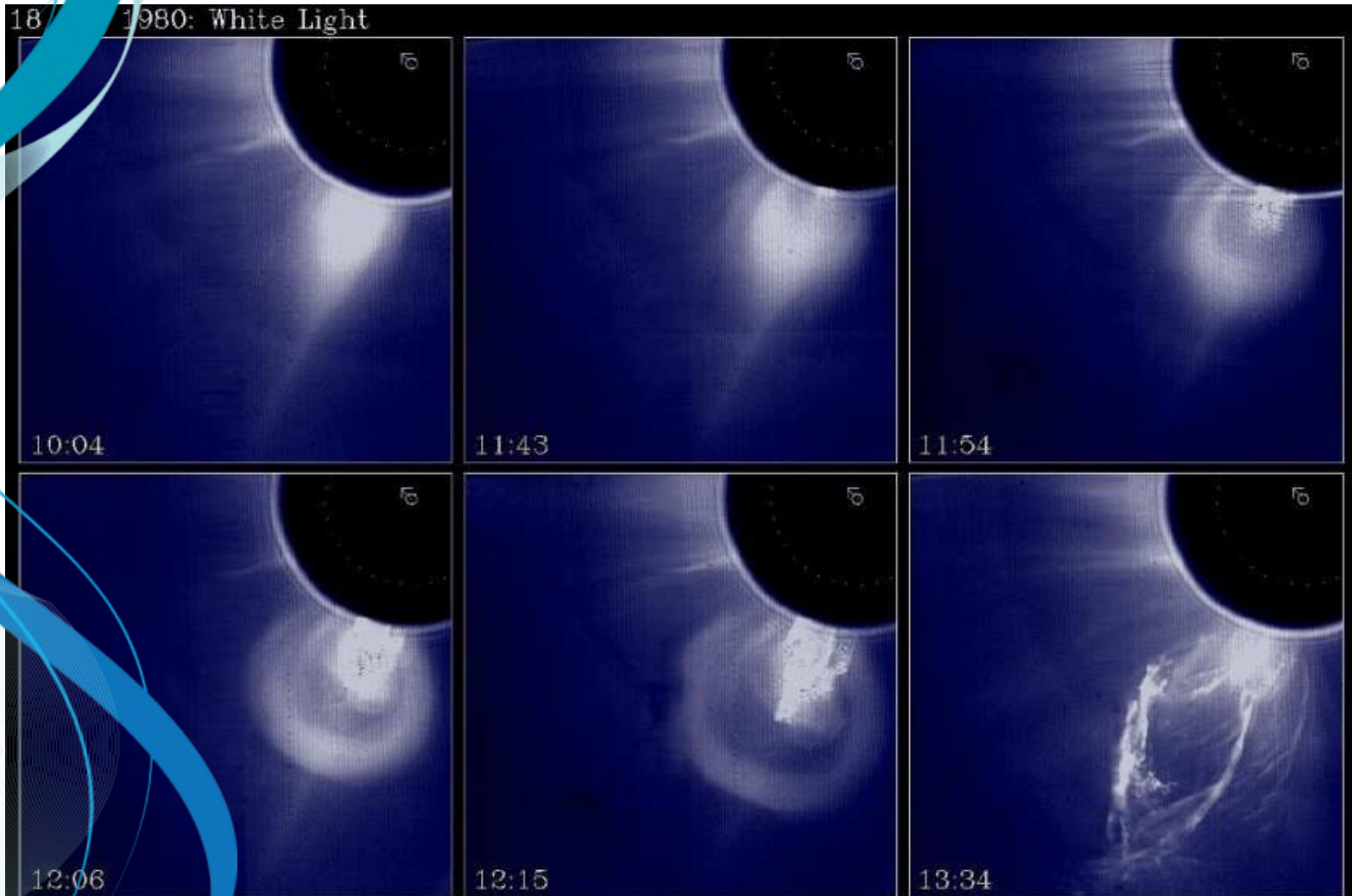
CMEs

Coronal Mass Ejections

Blowing in the wind – Bob Dylan

<https://www.youtube.com/watch?v=G58XWF6B3AA>

Coronal Mass Ejection



Source: High Altitude Observatory/Solar Maximum Mission Archives

HAO A-013

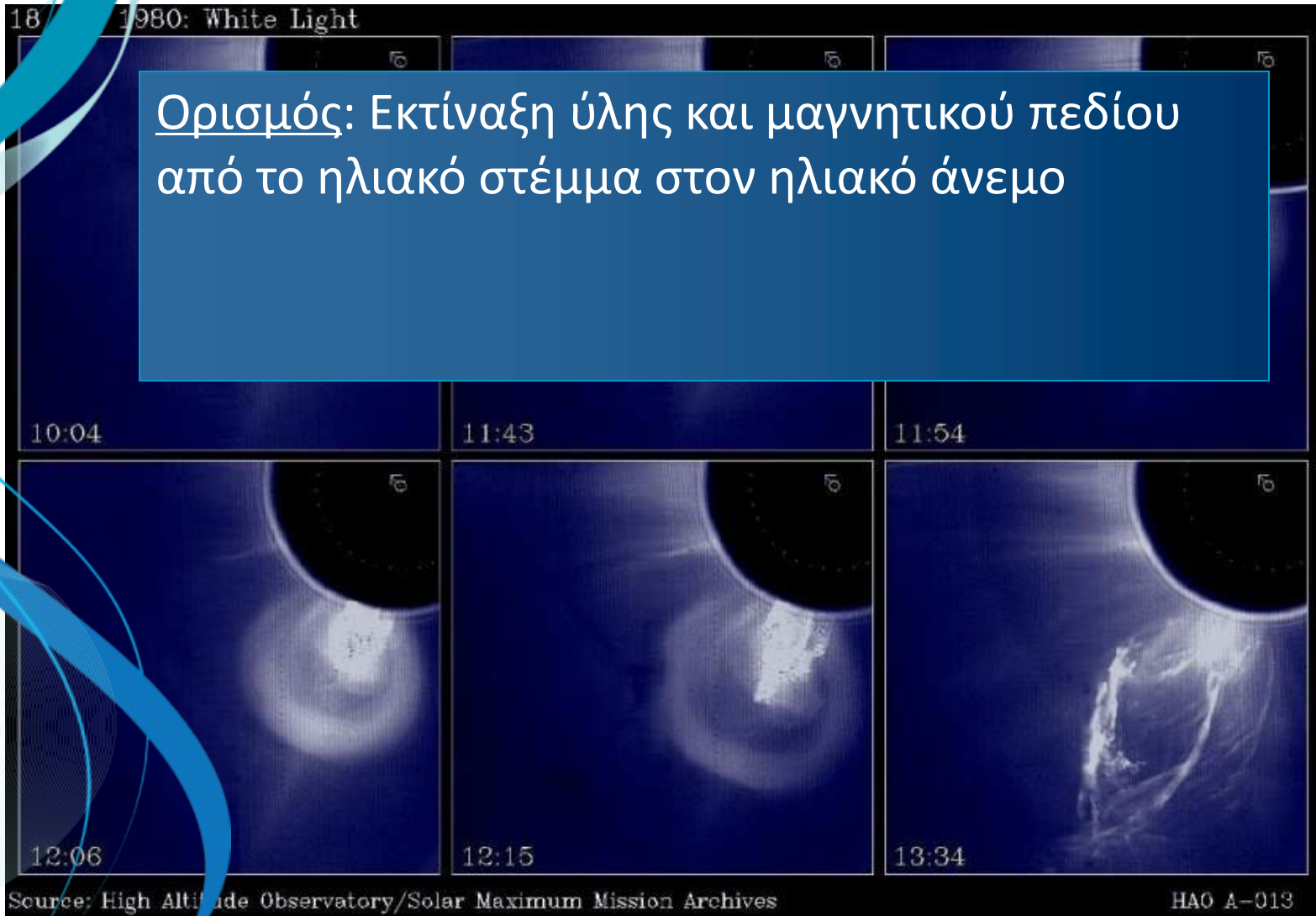
Coronal Mass Ejection

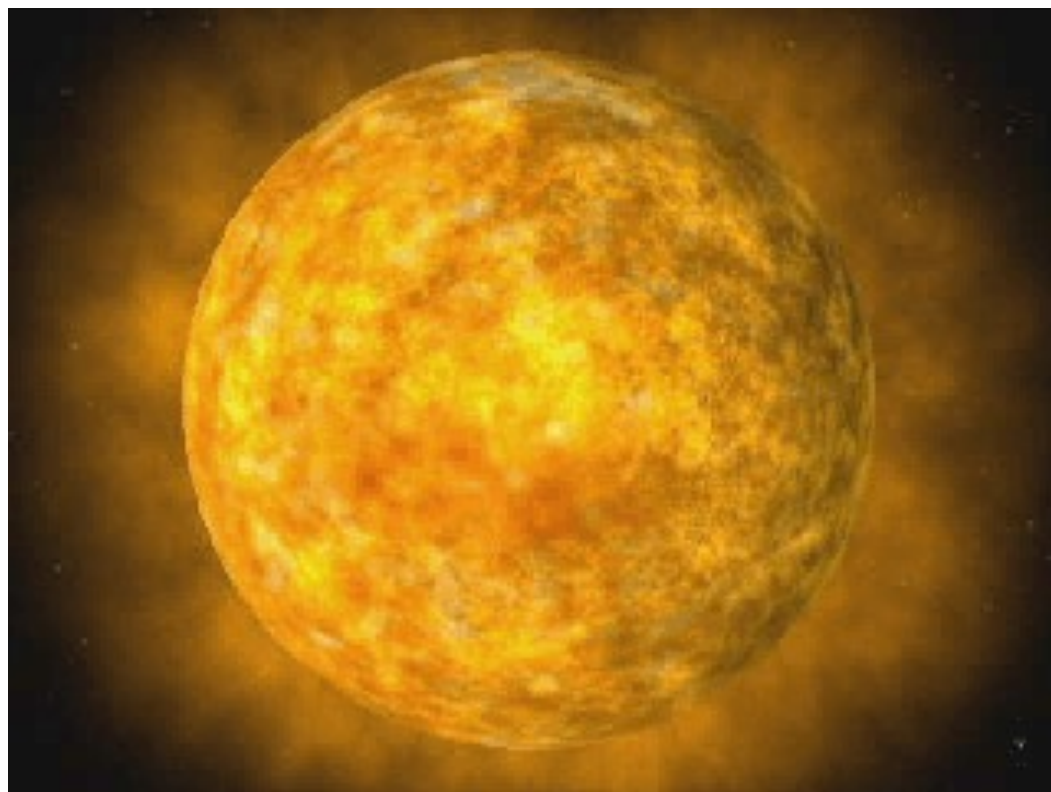
Ορισμός: Ένας νέος, διακριτός, λαμπρός σχηματισμός που εμφανίζεται στο οπτικό πεδίο ενός στεμματογράφου και απομακρύνεται από τον Ήλιο σε χρονικό διάστημα λεπτών έως ωρών



Coronal Mass Ejection

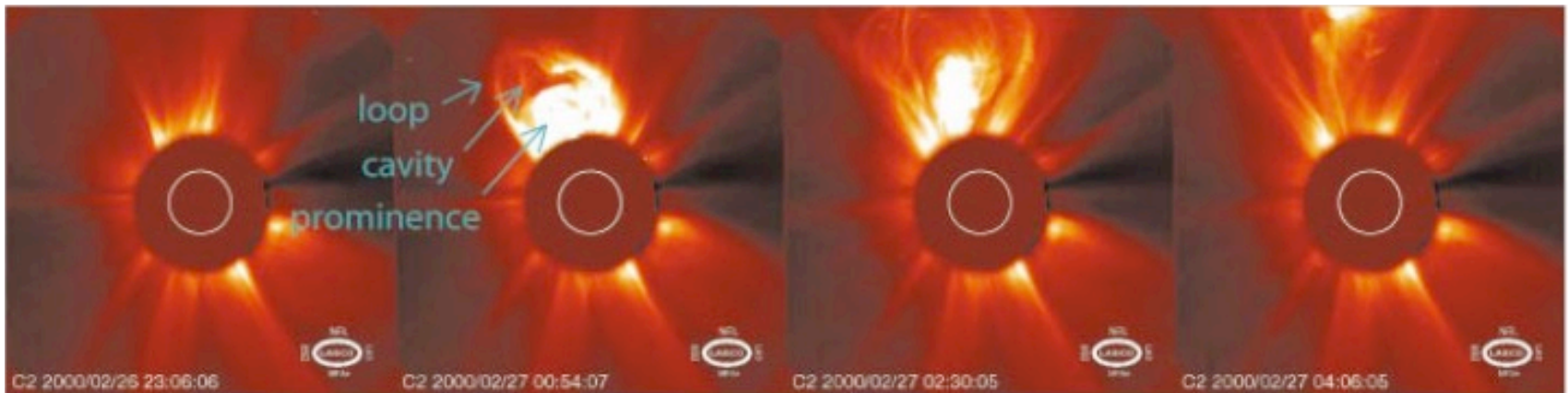
Ορισμός: Εκτίναξη ύλης και μαγνητικού πεδίου από το ηλιακό στέμμα στον ηλιακό άνεμο



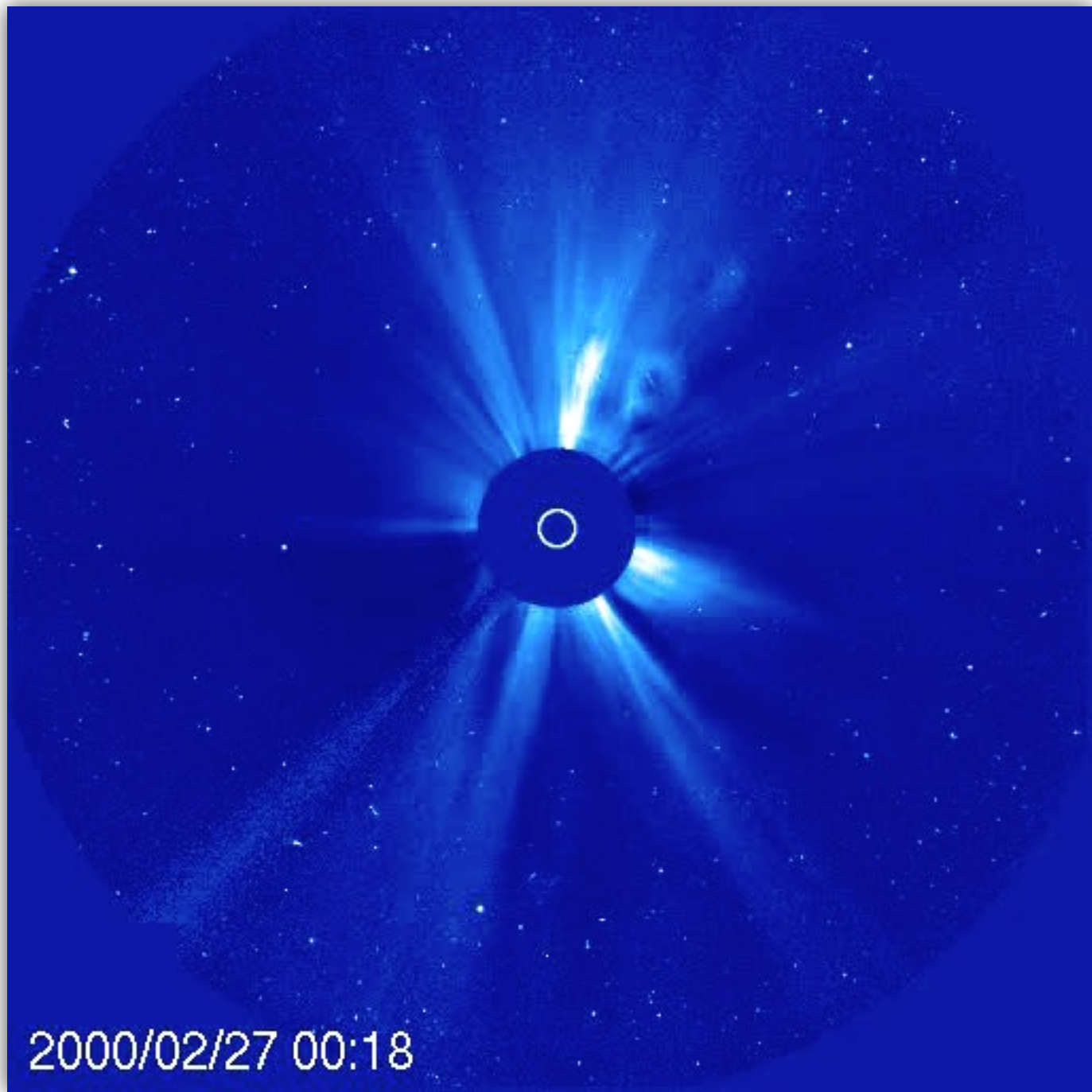


Morphology of Coronal Mass Ejections

Three-part structure:

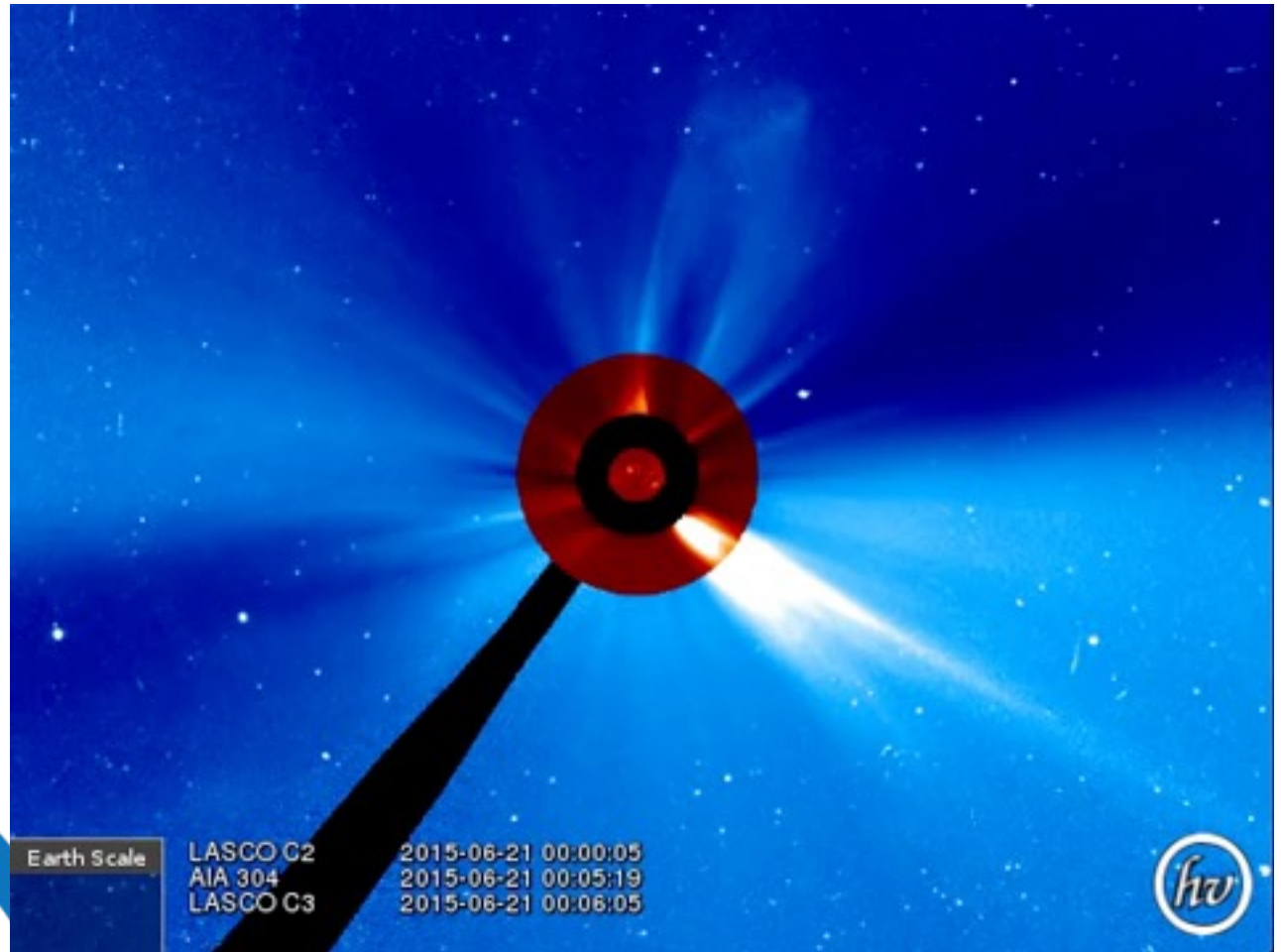


- Bright outer rim
- Dark cavity behind rim
- Bright inner core of erupted prominence material



2000/02/27 00:18

Halo CME



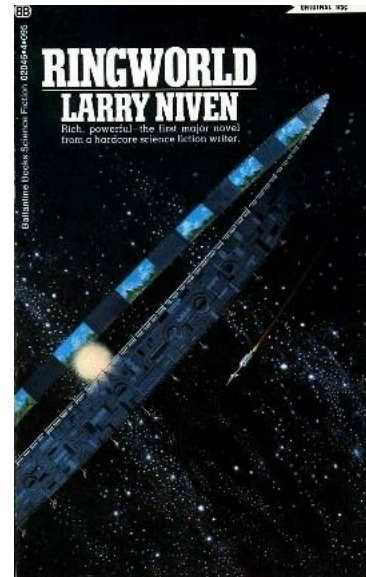
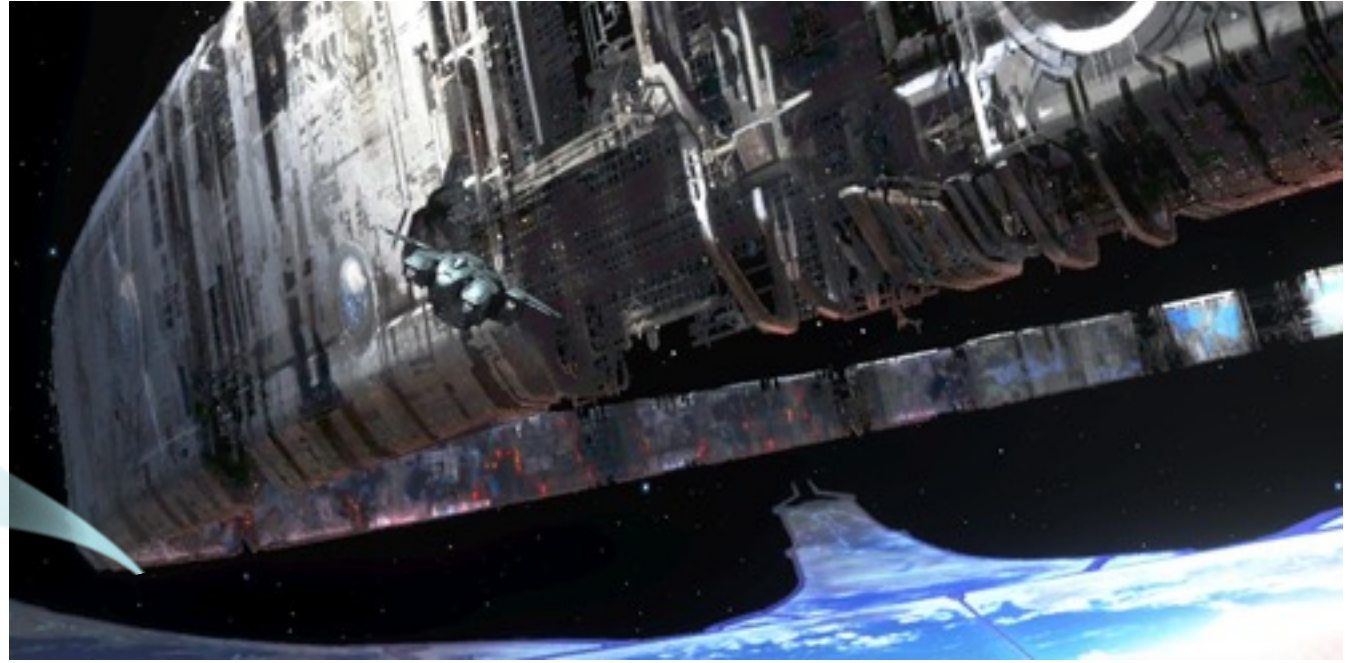
Halo

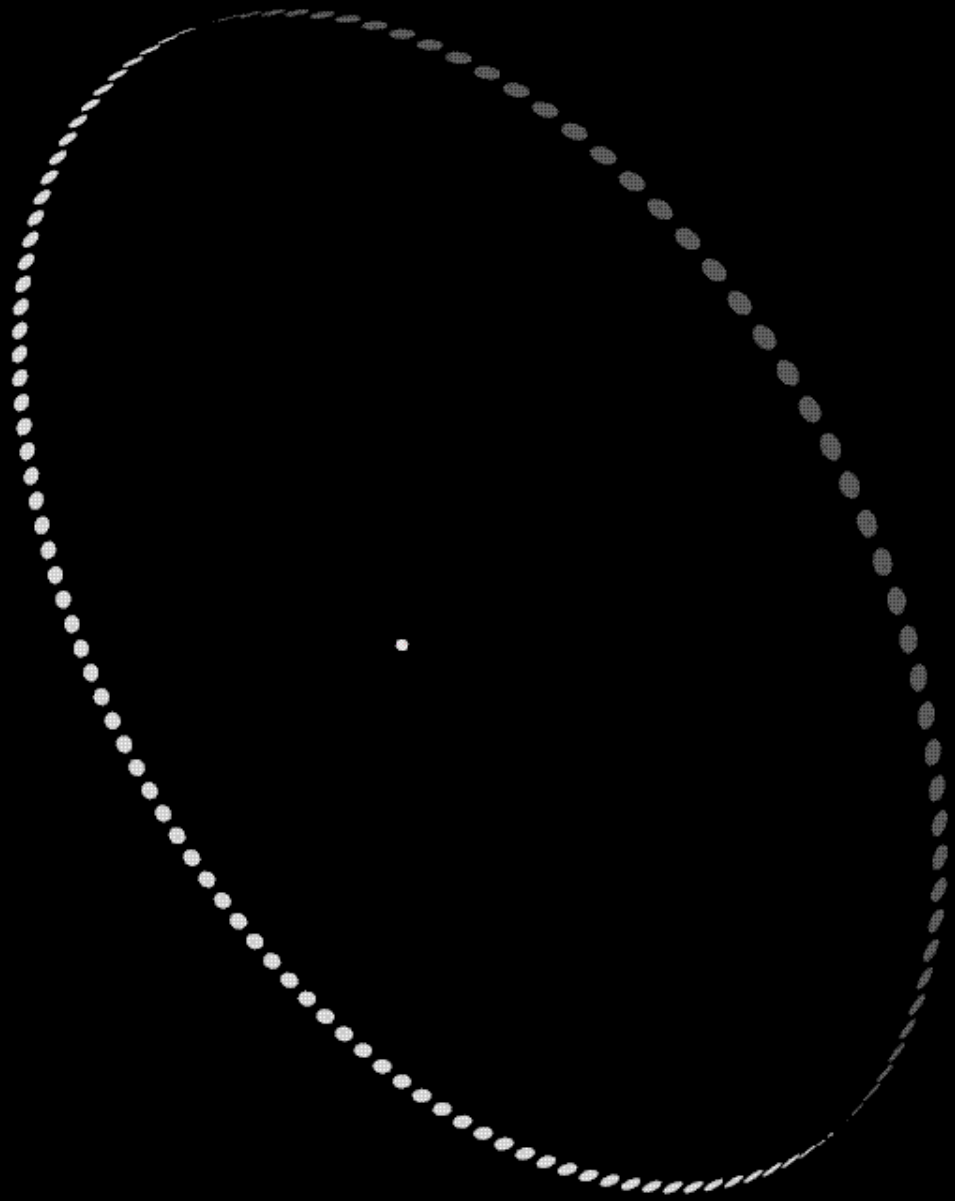


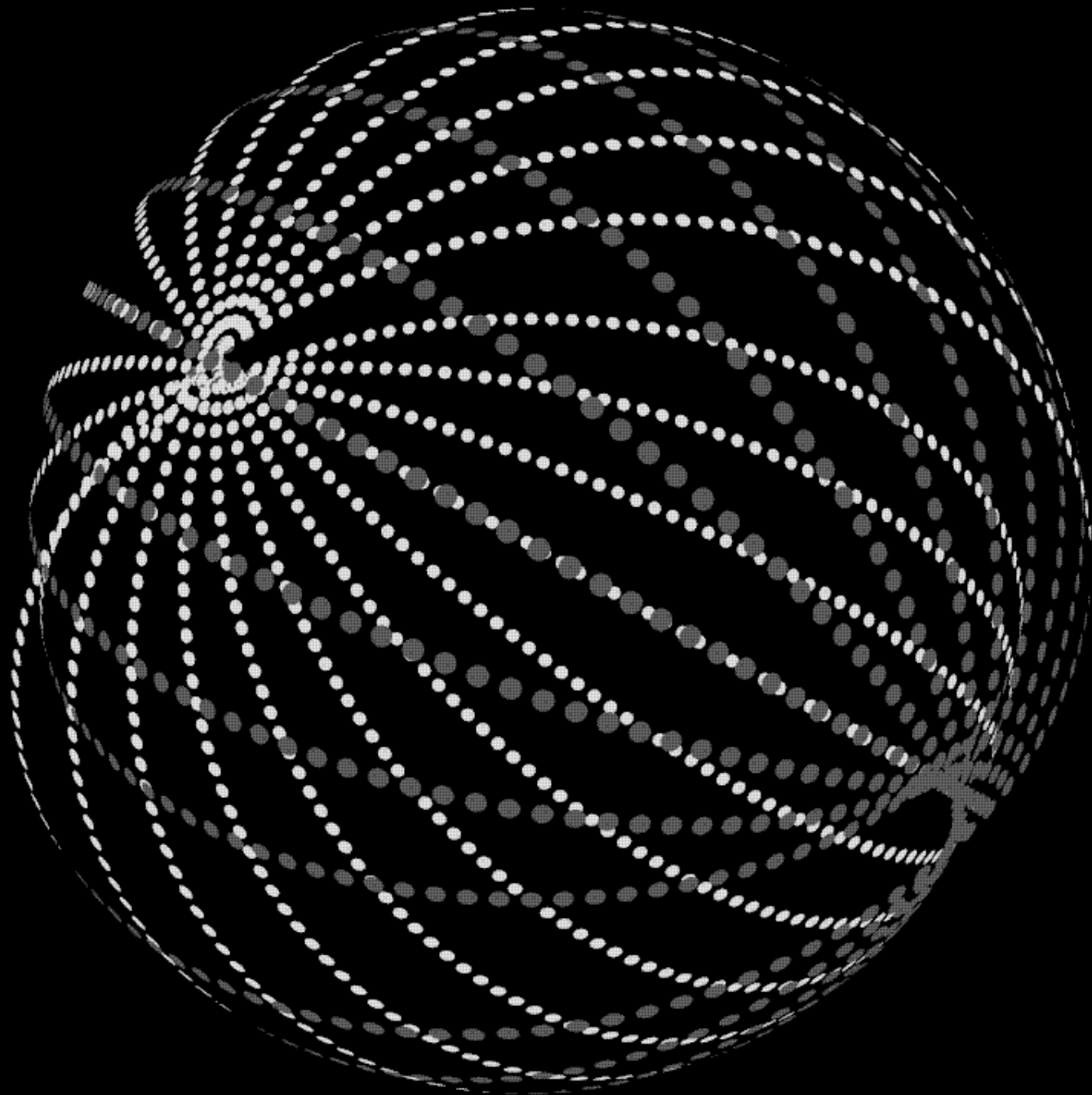
Halo



Halo





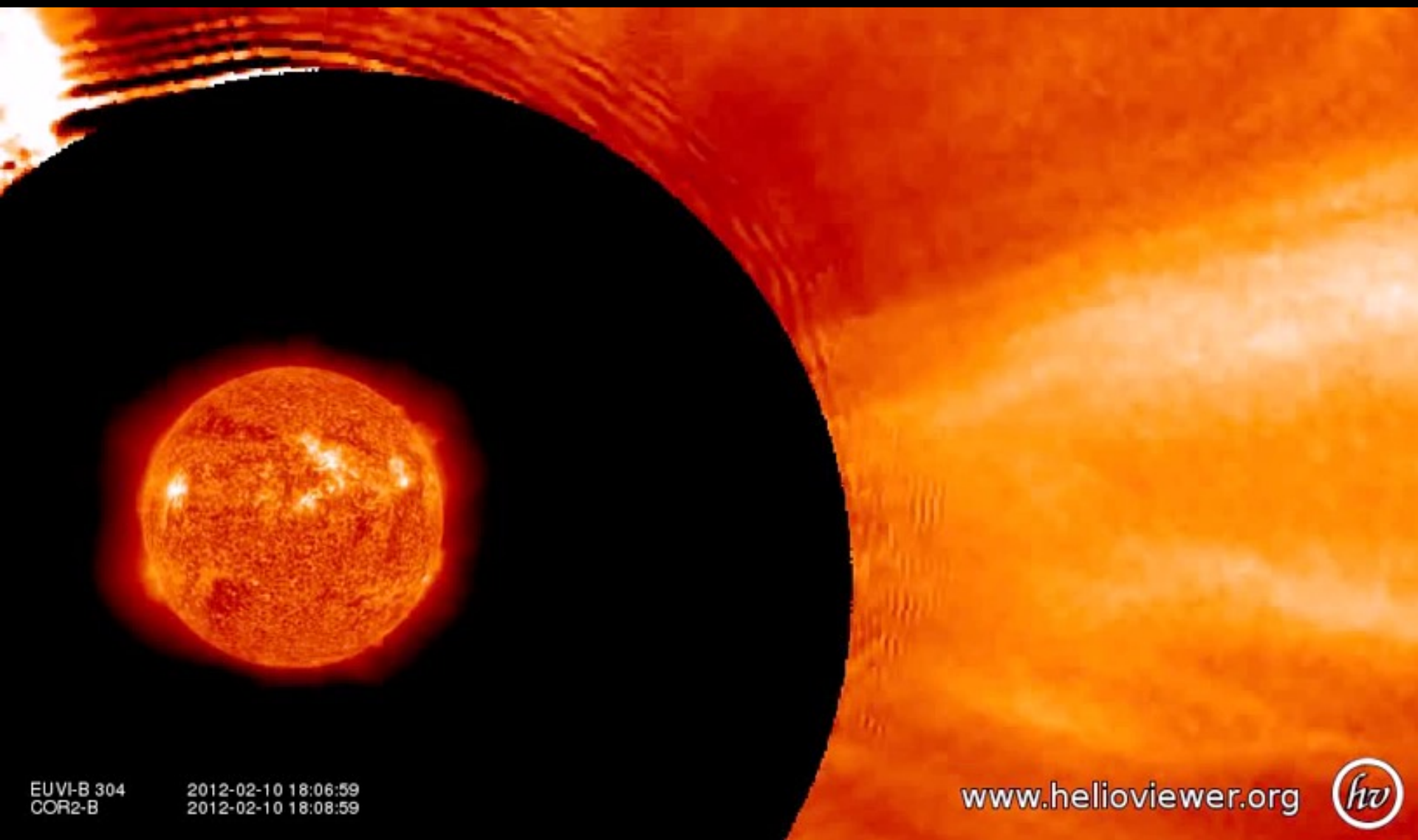


CME / flare

The most energetic CMEs occur in close association with powerful flares.

Nevertheless large-scale CMEs do occur in the absence of major flares even though these tend to be slower and less energetic.

<https://www.youtube.com/watch?v=TWjtYSRIOUI&list=PLF14609877EF3419B>



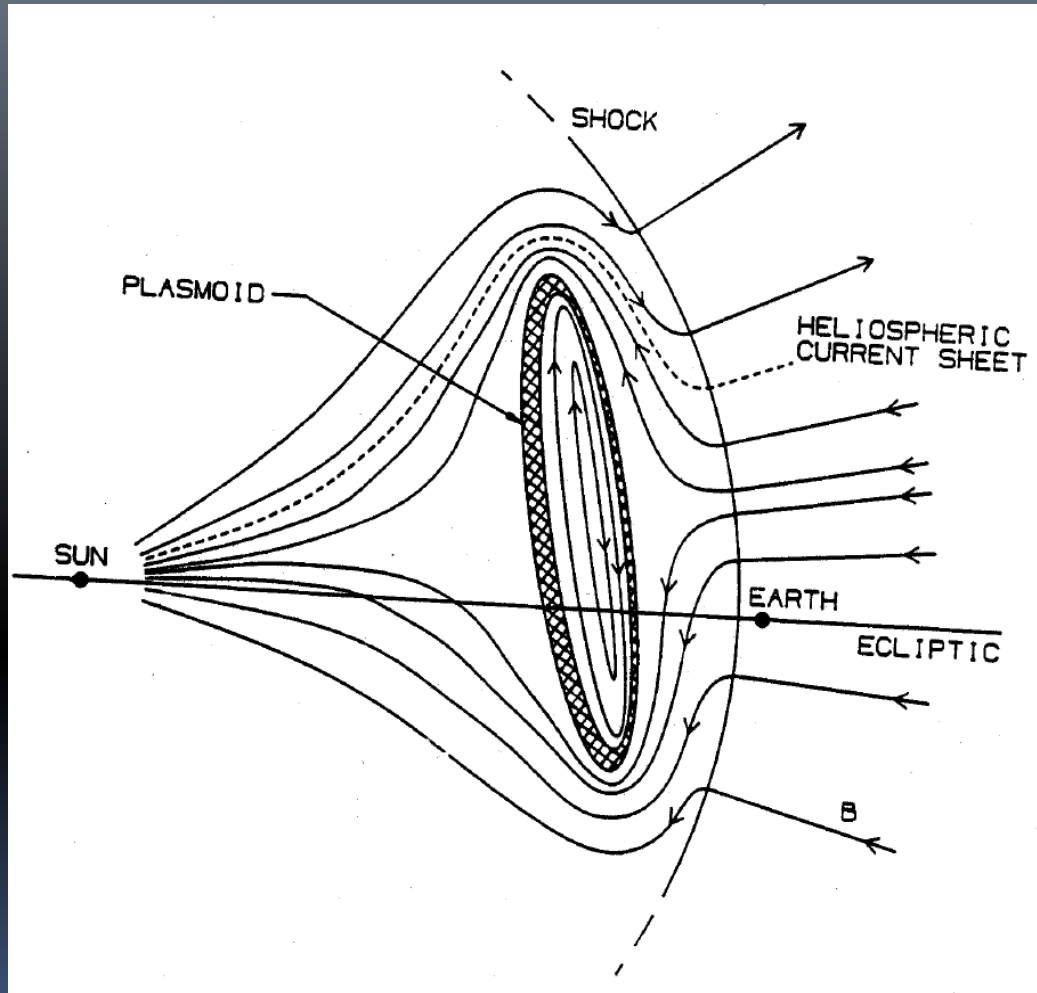
EUVI-B 304 2012-02-10 18:06:59
COR2-B 2012-02-10 18:08:59

www.helioviewer.org



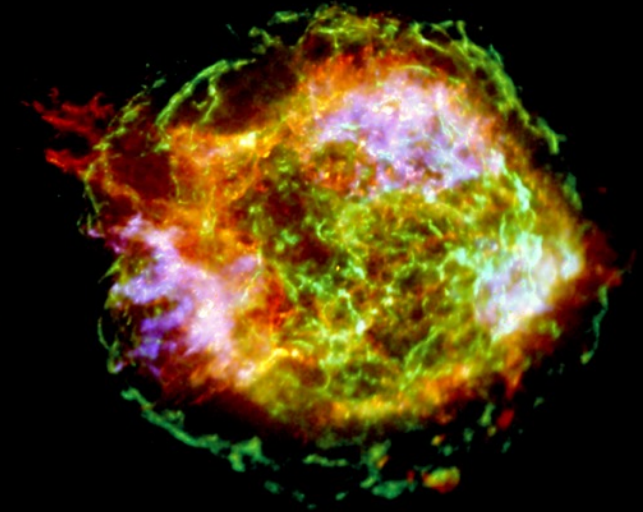
Decades of the Sun, as seen by SOHO

Fast Coronal Mass Ejections Drive Shock Waves



Gosling, 1993

Supernovae Cassiopeia A



Chandra Observations: The bright outer ring (green) ten light years in diameter marks the location of a shock wave generated by the supernova explosion. The colors represent different ranges of X-rays.

CME Properties

- Mass: $\sim 10^{12-14}$ kg
- Speed: few hundred - 3000km/s

..or

- Mass: ~ 1 million Nimitz-class aircraft carriers
- Speed: 1.5 - 10 million km/hour



Earth



- Arrives to Earth in 1-4 days