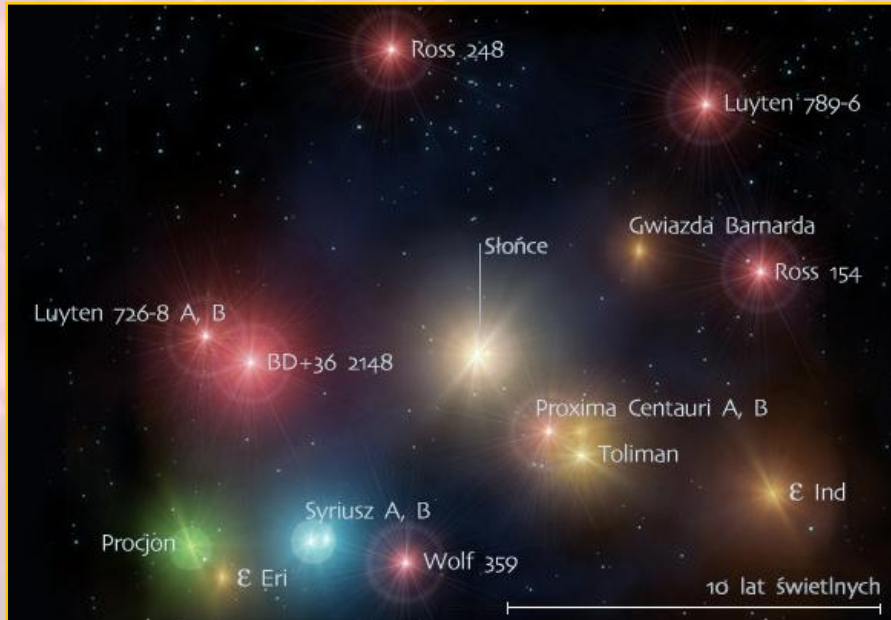
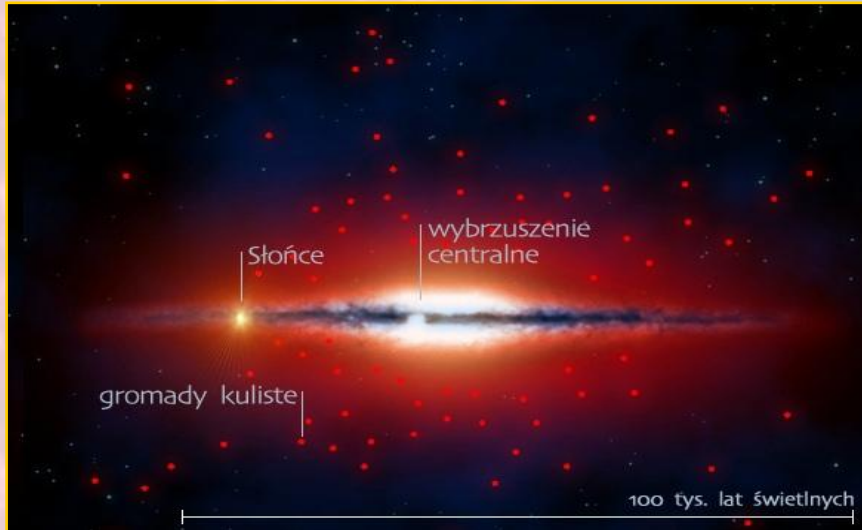


Słońce a sprawa ziemskiego klimatu



Słońce - gwiazda



Promień

696 000 km (109 promieni ziemskich)

Okres obrotu

27 dni (równik) do 31 dni (okolice biegunów)

Temperatura powierzchni

5 800 K (średnia)

Masa

$2 \cdot 10^{30}$ kg (300 000 razy więcej od masy Ziemi)

Skład chemiczny

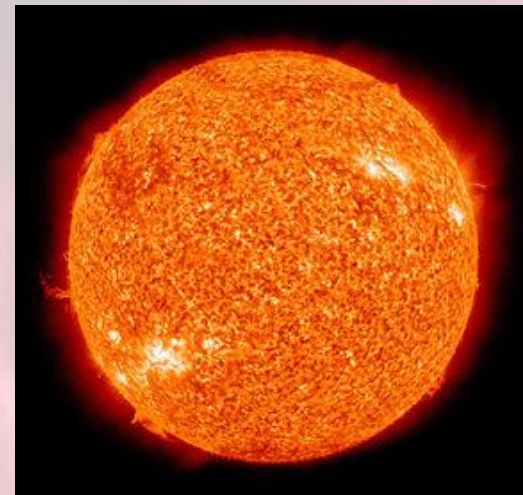
70% wodór, 28% hel, 2% inne

Temperatura w centrum

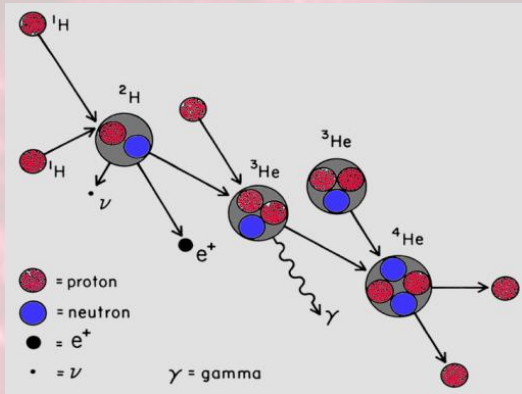
15 milionów K

Wiek

5 miliardów lat



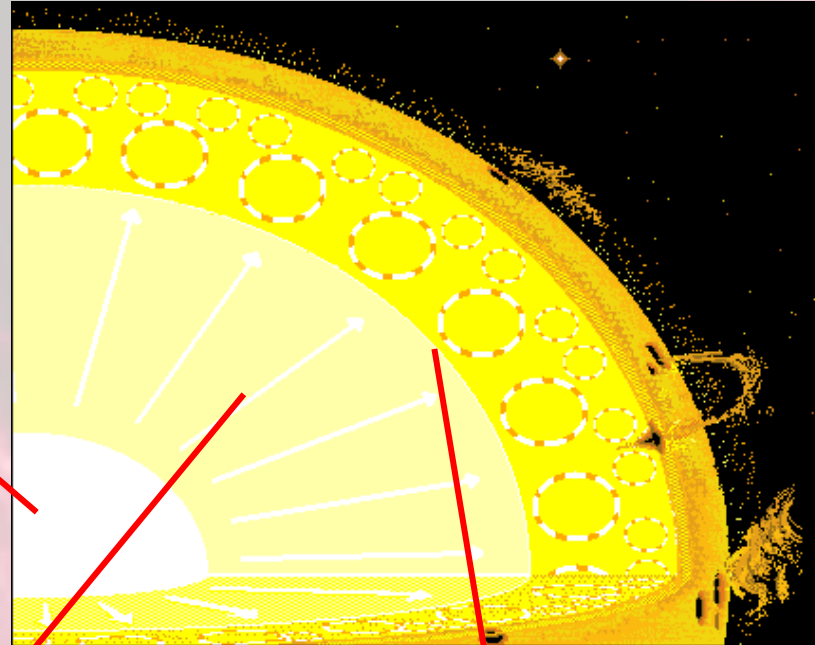
Słońce – elektrownia termojądrowa



600 mln ton wodoru zamienia się w hel w każdej sekundzie

4 mln ton jest przekształcane w energię: $3.6 \cdot 10^{26}$ W

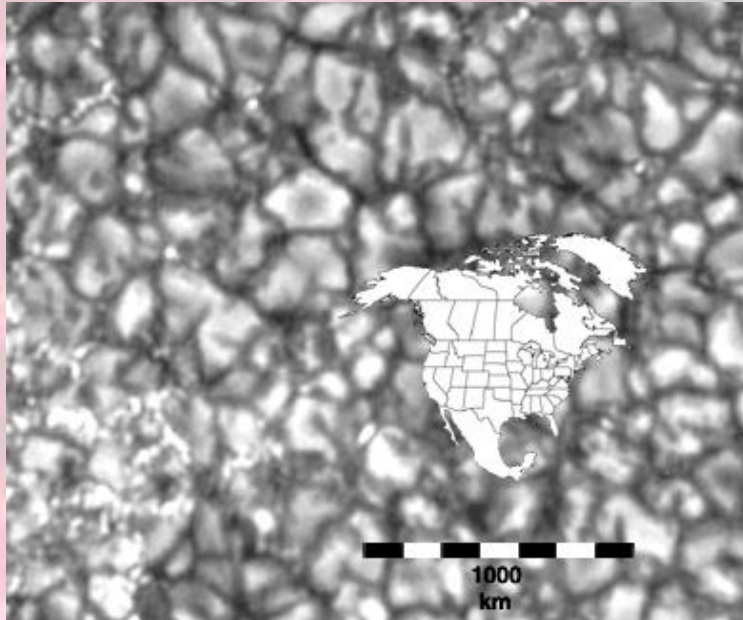
Ciągłe rozpraszanie, pochłanianie i emisja kwantów



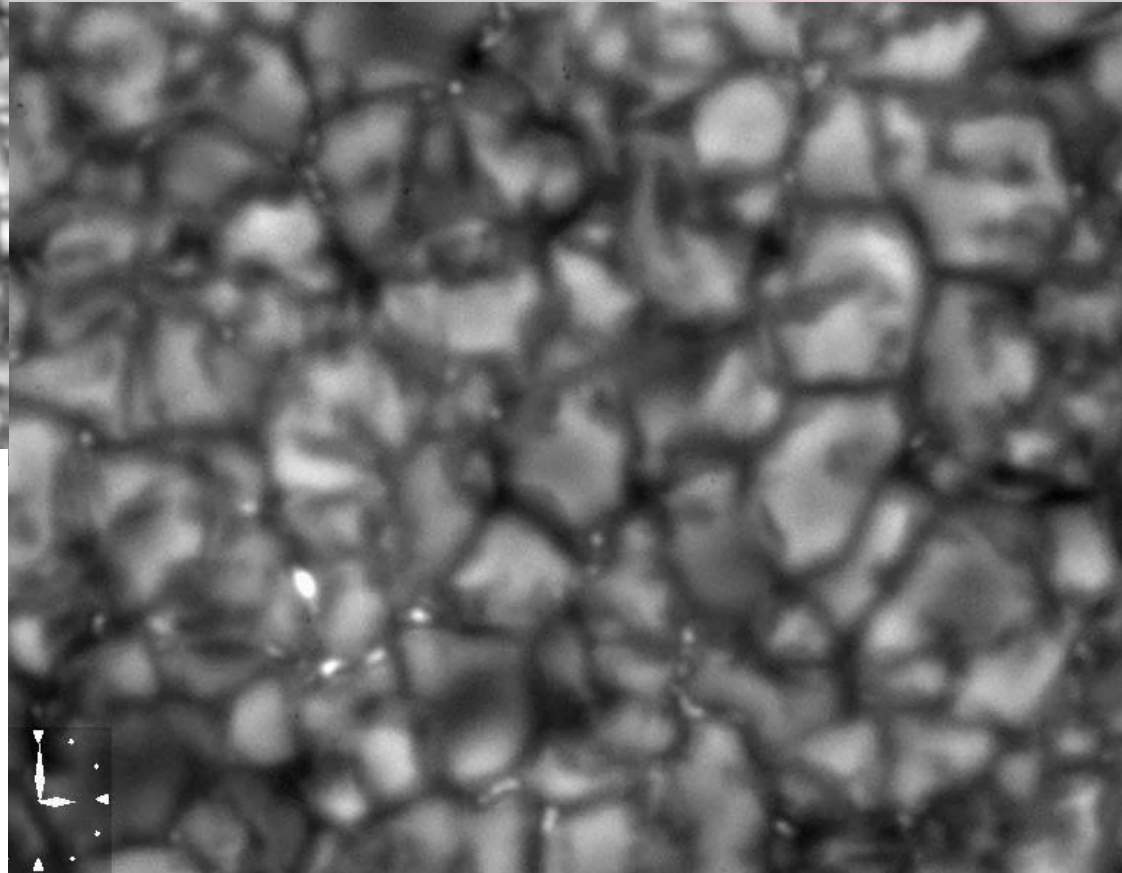
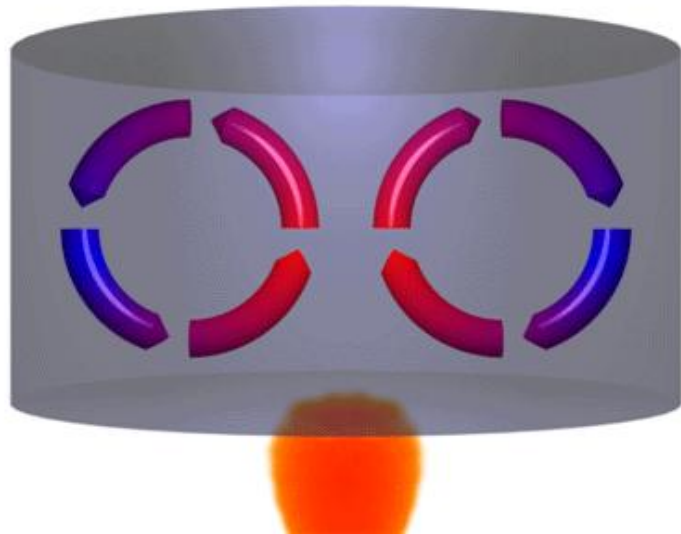
W odległości około 0.7 R od środka transport promienisty przestaje być wystarczająco efektywny

Pojawia się konwekcja

Słońce - atmosfera

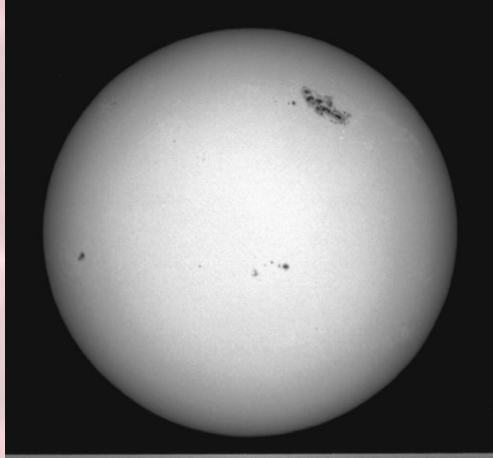


Komórki konwekcyjne na powierzchni Słońca – granulacja



HINODE/SOT

Słońce - atmosfera



FOTOSFERA

„powierzchnia” Słońca
temperatura około 5800 K
widoczna granulacja i plamy

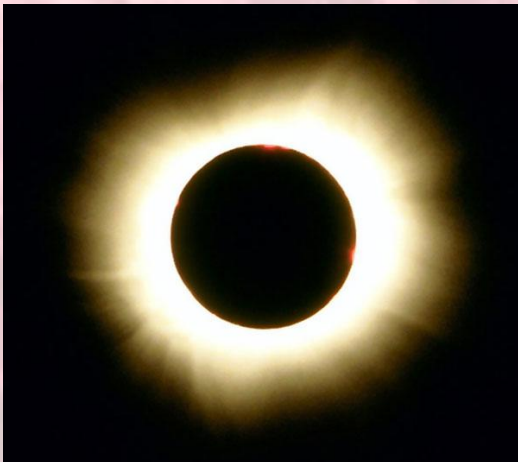
CHROMOSFERA

łac. *chroma* – barwa
widoczna podczas zaćmień jako czerwona otoczka
niewielka grubość rzędu kilku tysięcy kilometrów

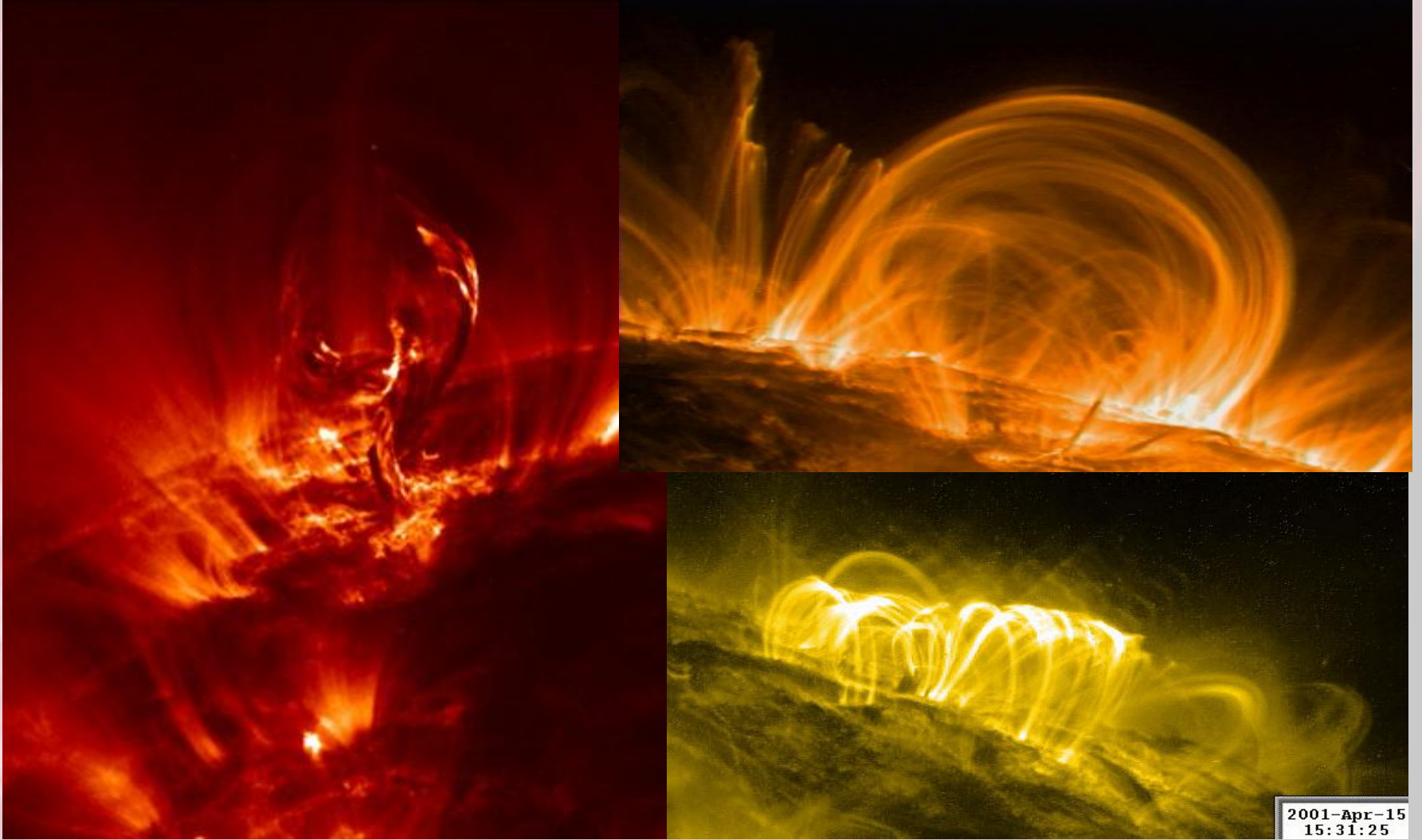


KORONA

powyżej 1 mln K
w świetle białym widoczna podczas zaćmień lub przy użyciu
koronografu
w zakresie UV i X jest najjaśniejszą warstwą atmosfery Słońca

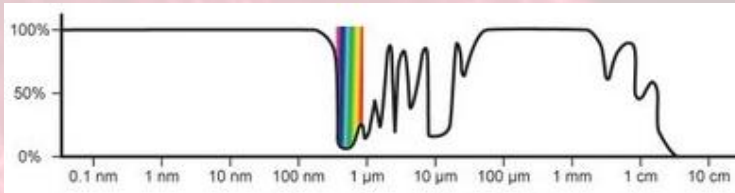


Pole magnetyczne w koronie

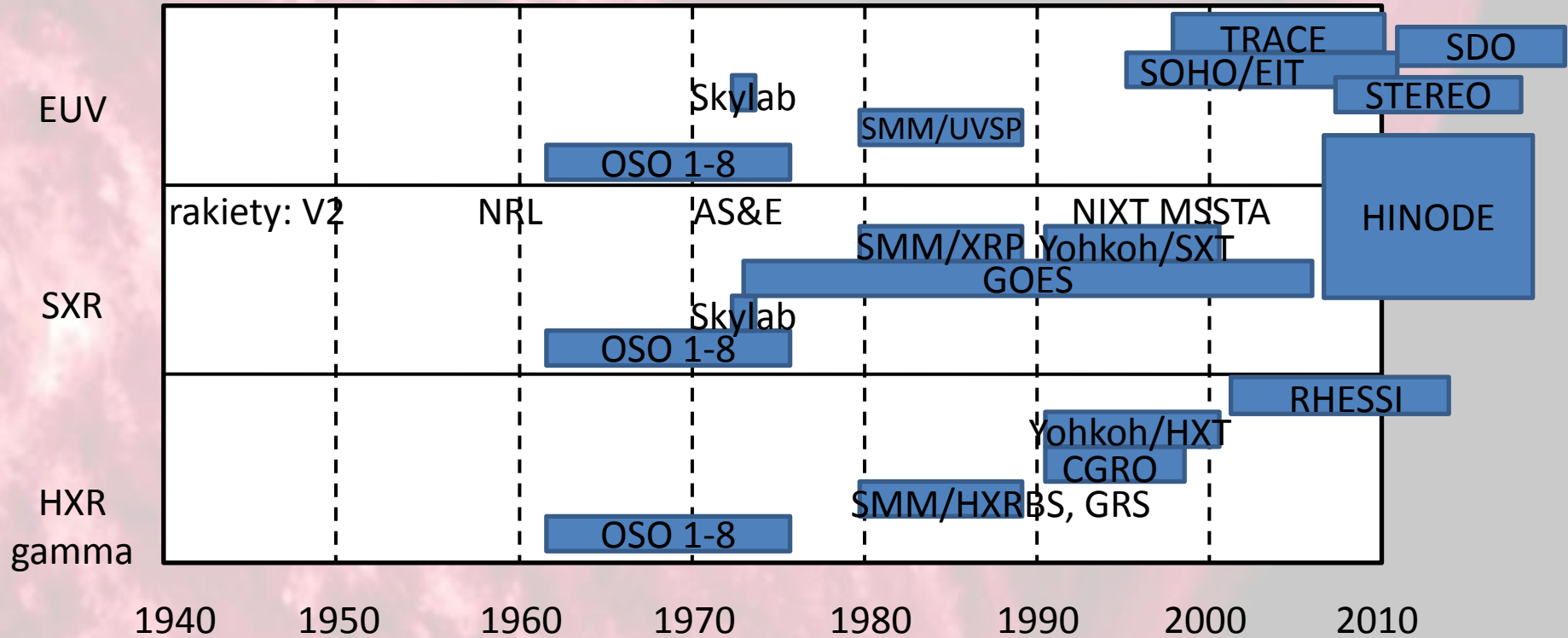
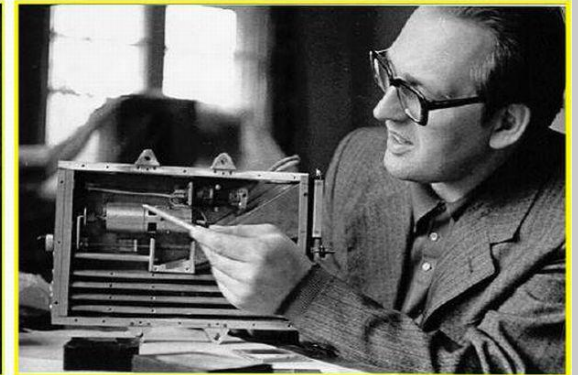
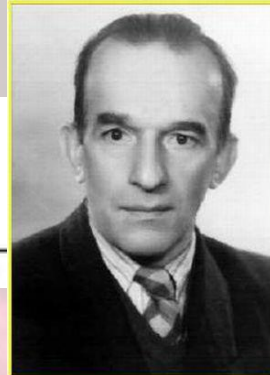


Korona jest gorąca (>1 MK) najlepiej widoczna w zakresach UV i X – potrzebne obserwacje można wykonać tylko spoza atmosfery ziemskiej

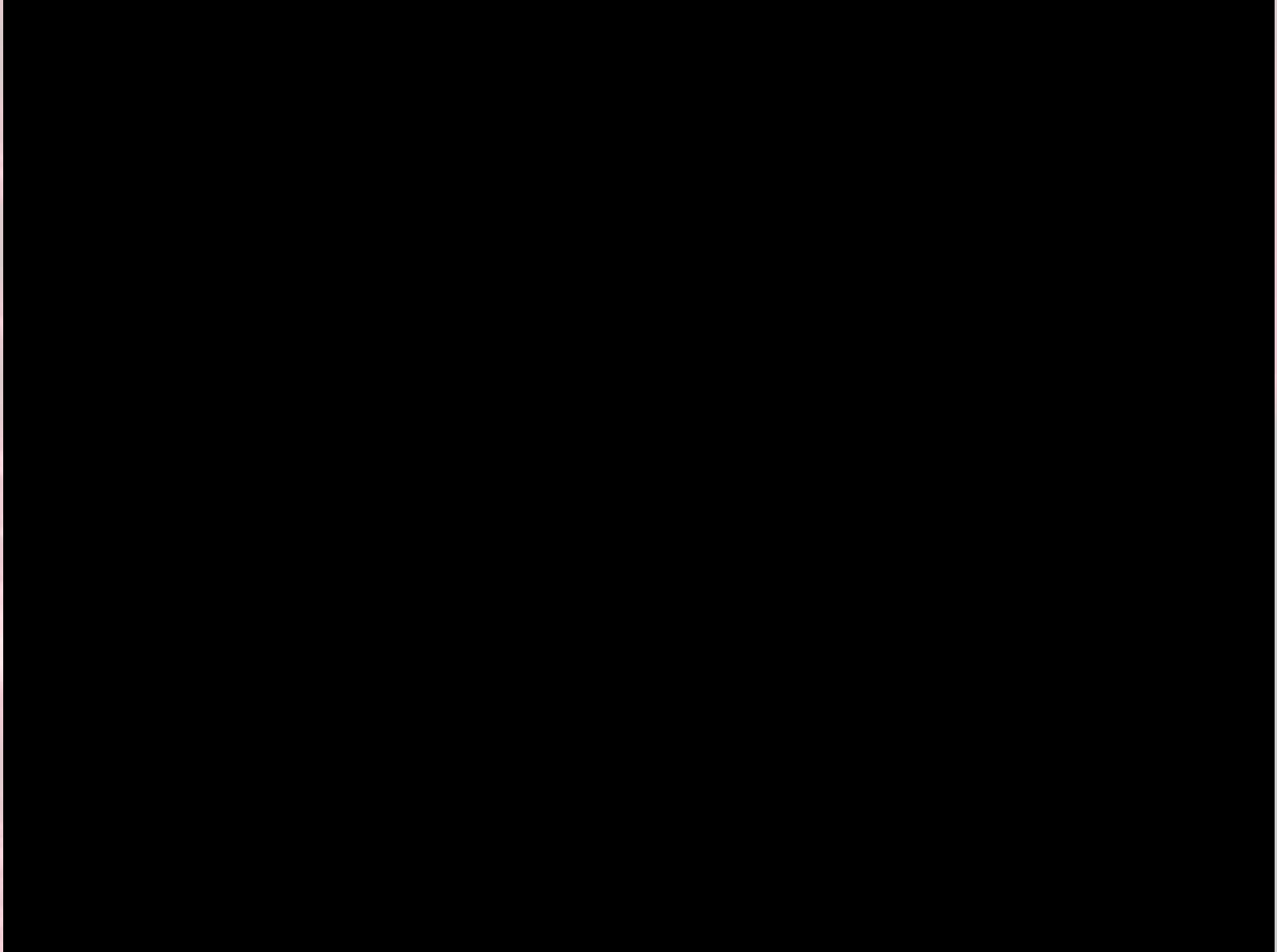
Obserwacje satelitarne



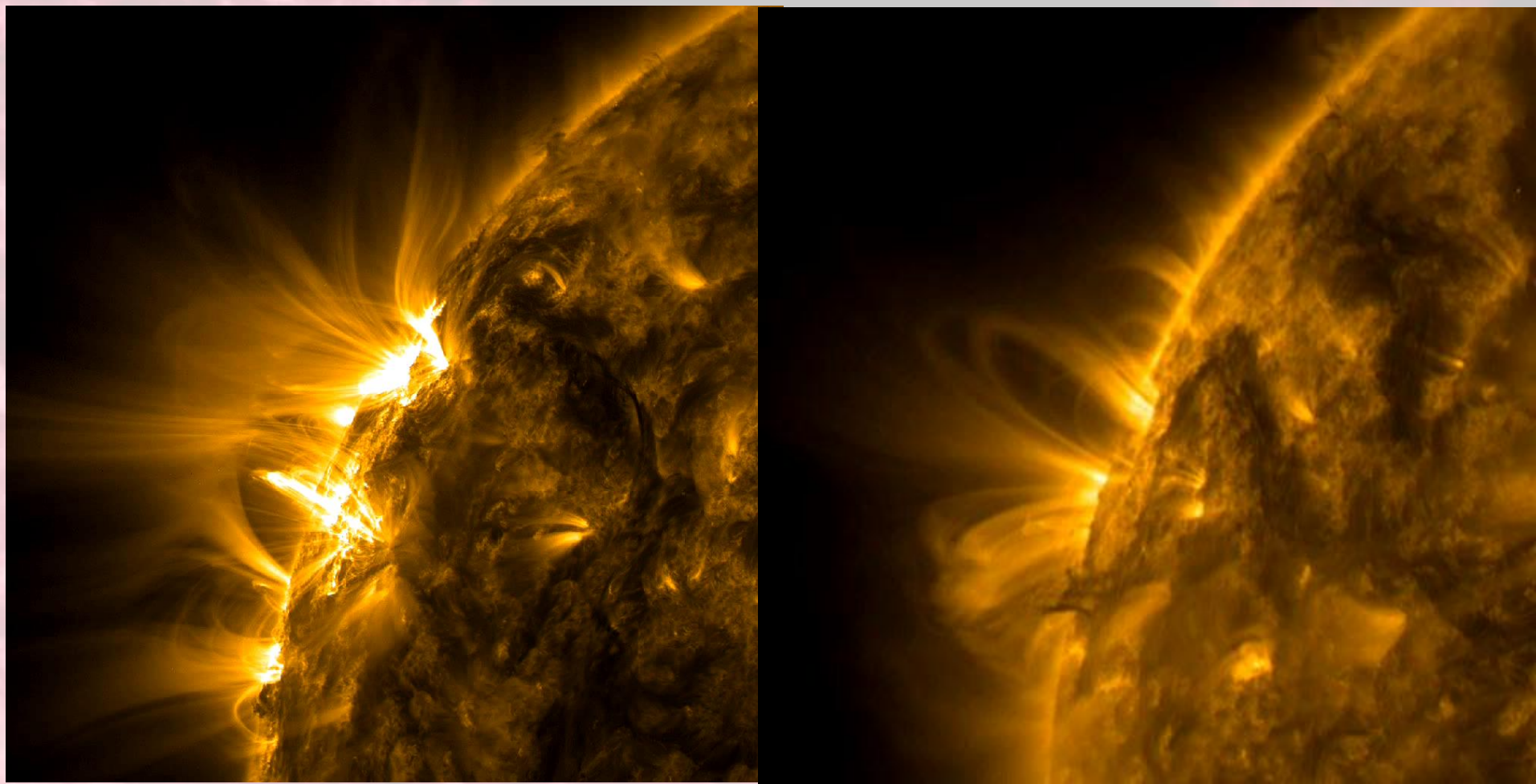
HXR SXR EUV



Solar Dynamics Observatory (11.02.2010 r.)



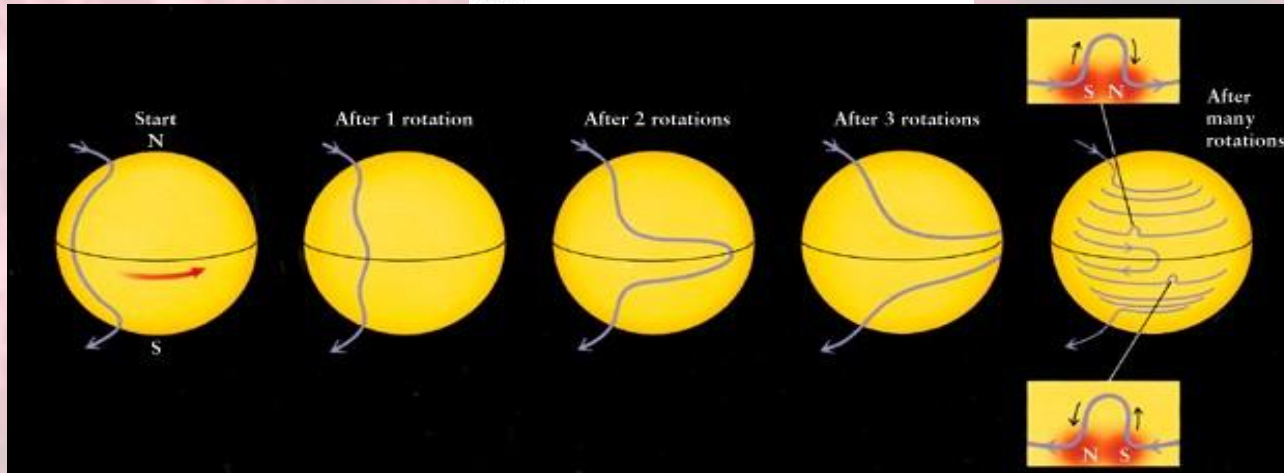
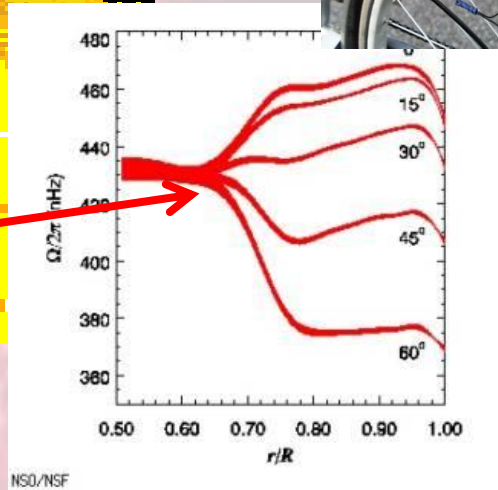
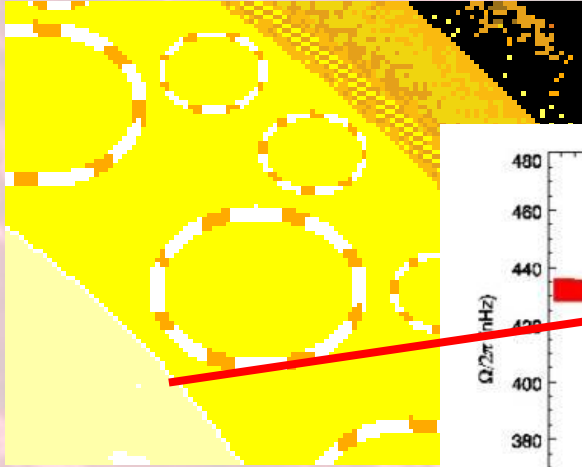
Pole magnetyczne w koronie



SDO

Skąd pochodzi słoneczne pole magnetyczne?

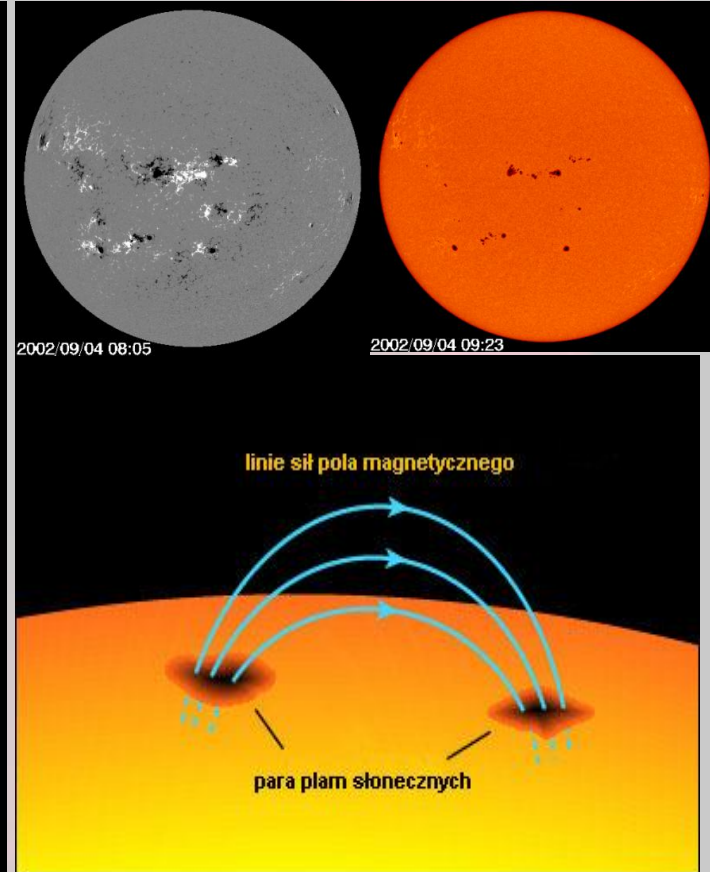
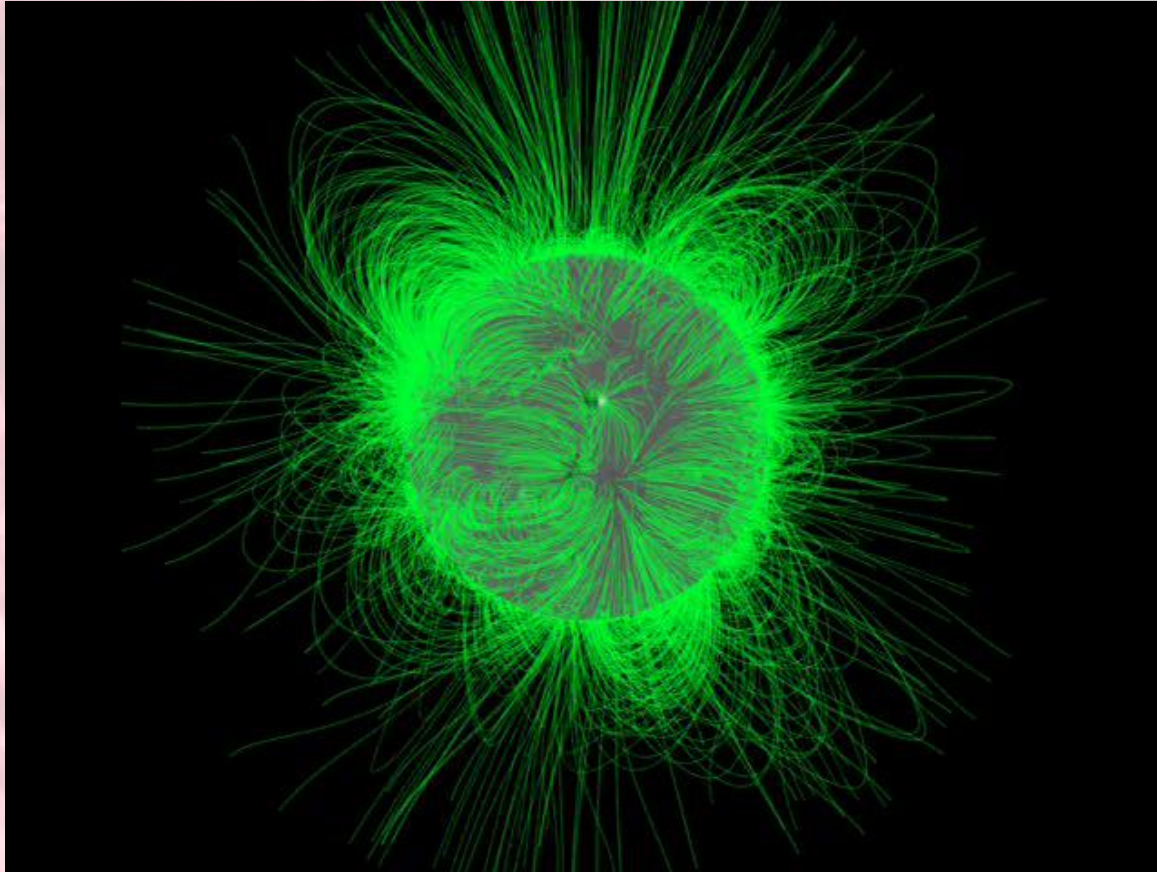
Dynamo słoneczne



**Rotacja różnicowa Słońca
wzmacnia pole
magnetyczne wewnątrz,
a komórki konwekcyjne
wynoszą na powierzchnię**

**W miejscach wypływu
pola magnetycznego
obserwowane są plamy.**

Pole magnetyczne w koronie



Plazma koronalna może poruszać się tylko wzdłuż linii sił pola magnetycznego – dzięki temu jesteśmy w stanie śledzić jego układ

Plamy słoneczne

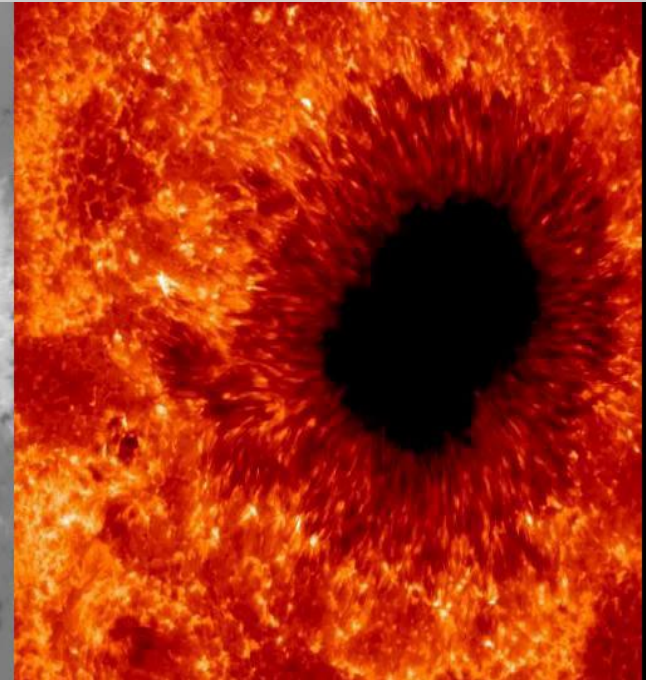
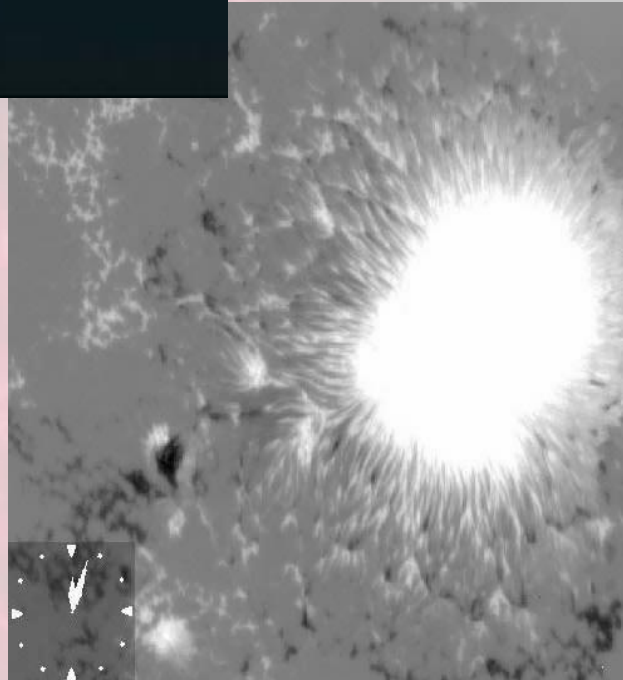
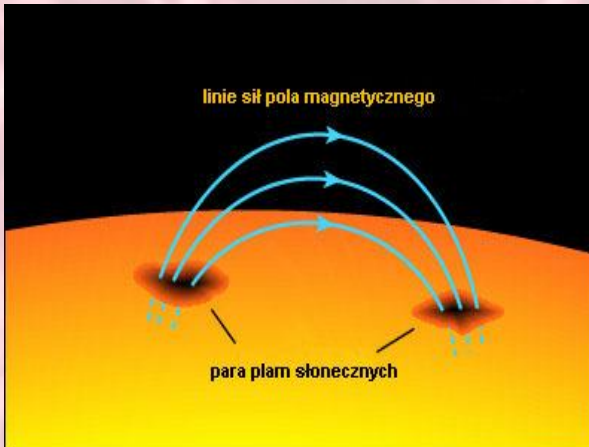


Typowe rozmiary plamy: średnica od 4 000 km do 30 000 km (czasem nawet 60 000 km)

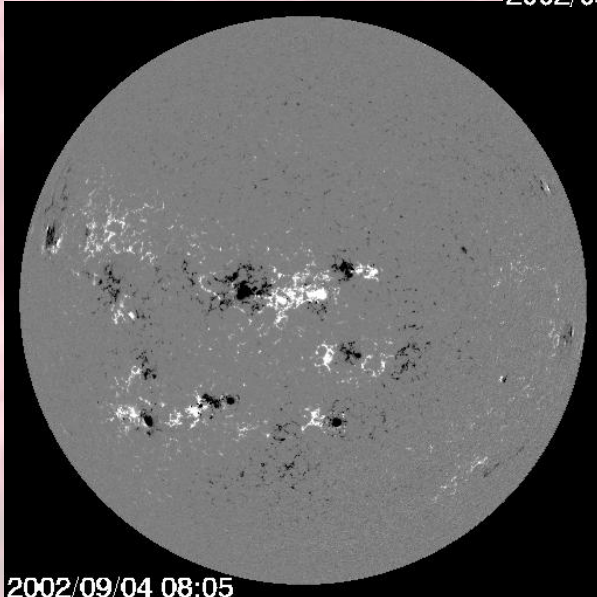
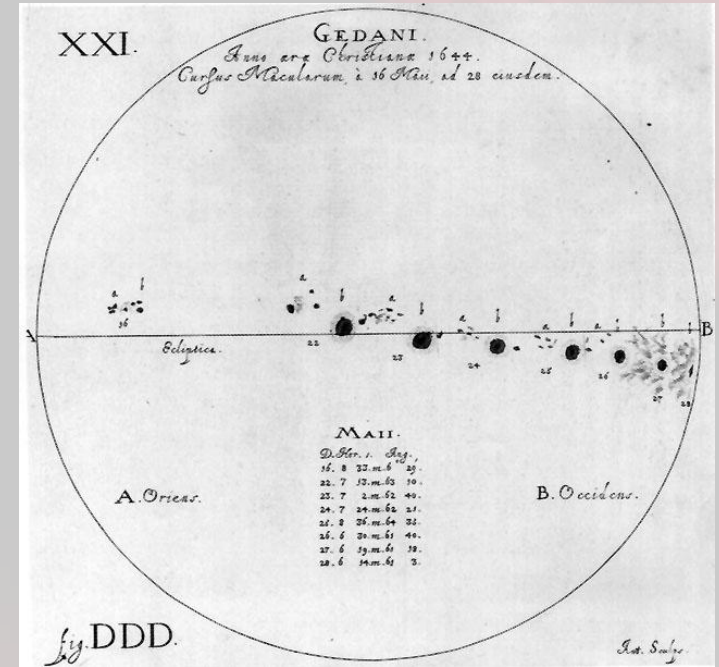
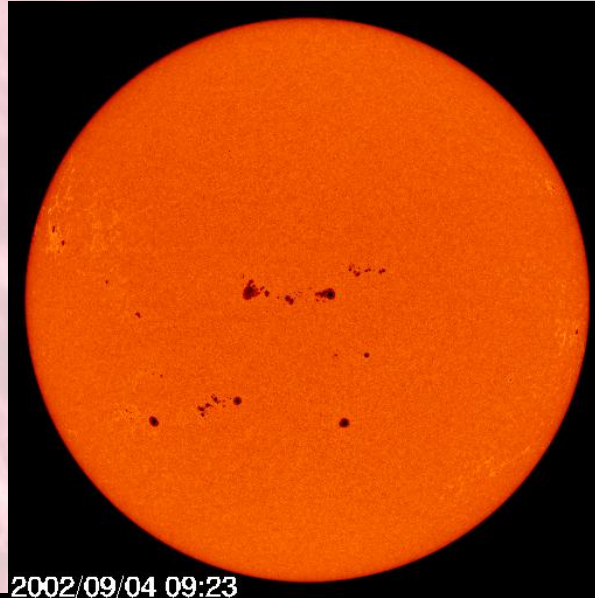
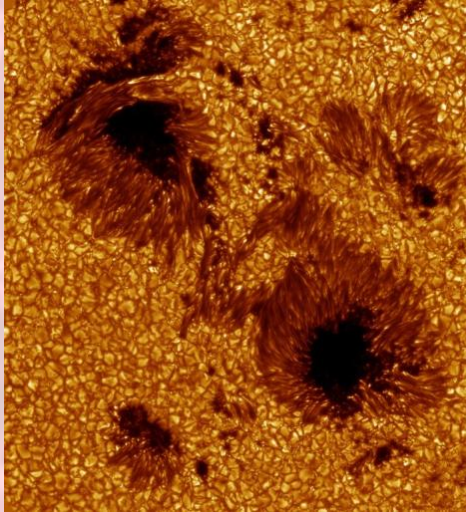
Temperatura: o 1000-1500 K niższa od temperatury powierzchni Słońca (5778 K)

Typowy czas życia: od kilku dni do kilku miesięcy

Pole magnetyczne: od 250 Gs do 5000 Gs



Plamy słoneczne



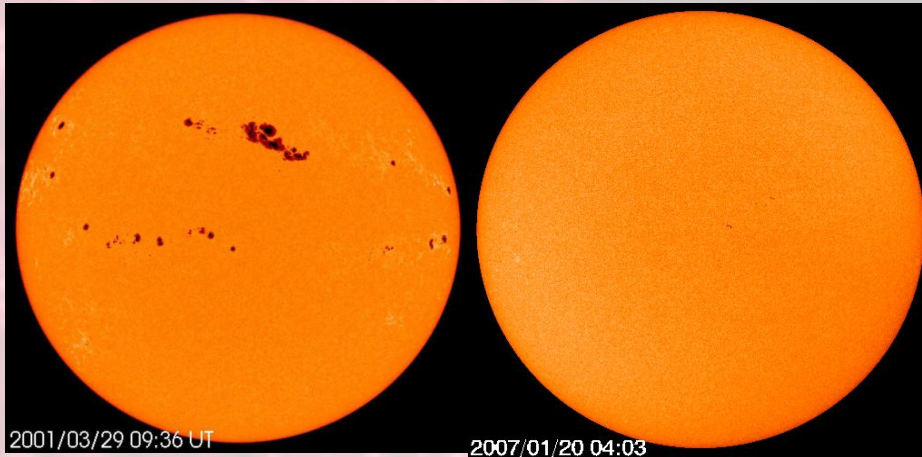
Obserwowane przez starożytnych Chińczyków (Gan De 364 p.n.e.)

Kilka obserwacji plam wykonanych ok. 1000 – 1200 r. (John z Worcester) – okres wyjątkowo silnej aktywności Słońca

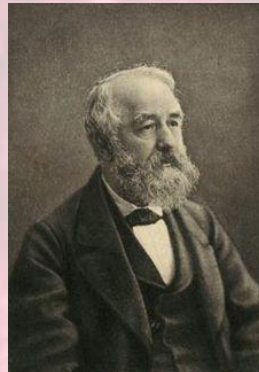
ok. 1610 pierwsze obserwacje za pomocą lunety (Thomas Harriot, Johannes i David Fabricius, Galileusz)

Systematyczne obserwacje pokazały cykliczność pojawiania się plam

Cykl aktywności



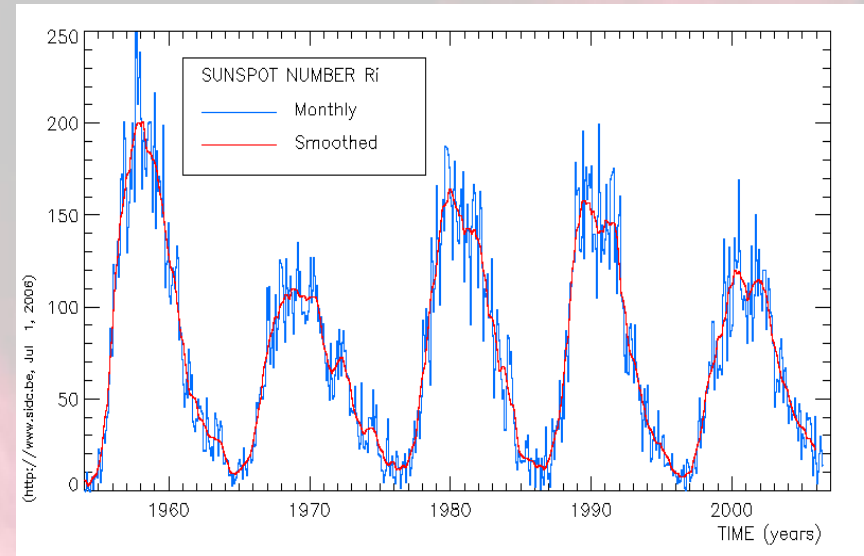
Samuel Heinrich Schwabe (1789-1875) – odkrywa cykliczność pojawiania się plam słonecznych



Rudolf Wolf (1816-1893) proponuje metodę liczenia plam słonecznych

Aktywne Słońce to Słońce zaplamione

Zaplamienie zmienia się w ciągu około 11 lat



Liczba Wolfa:

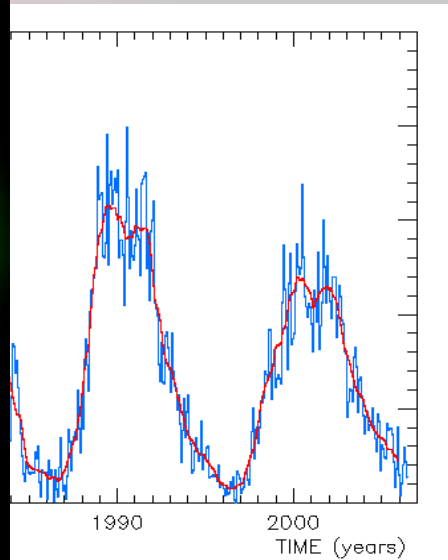
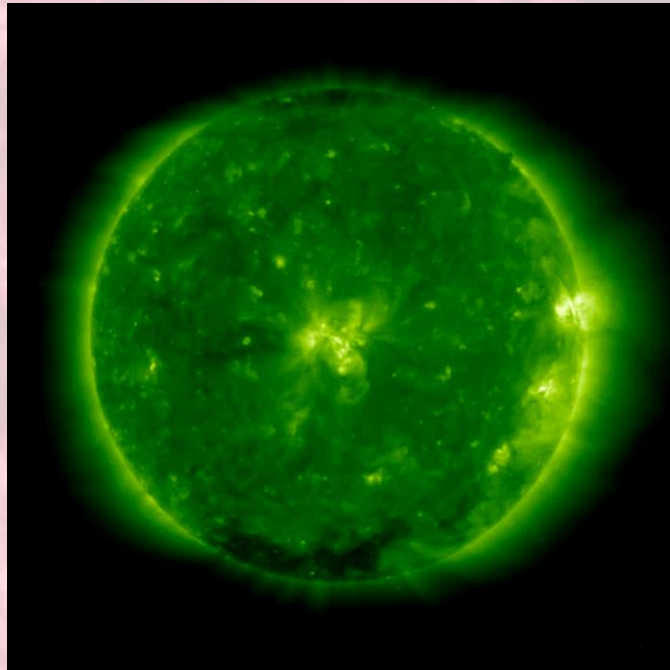
$$R=k(10g+p)$$

g – liczba grup plam

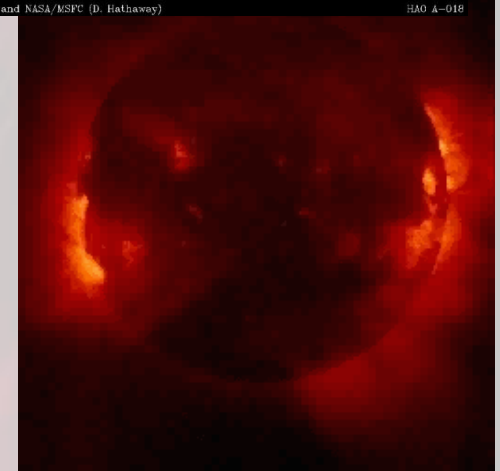
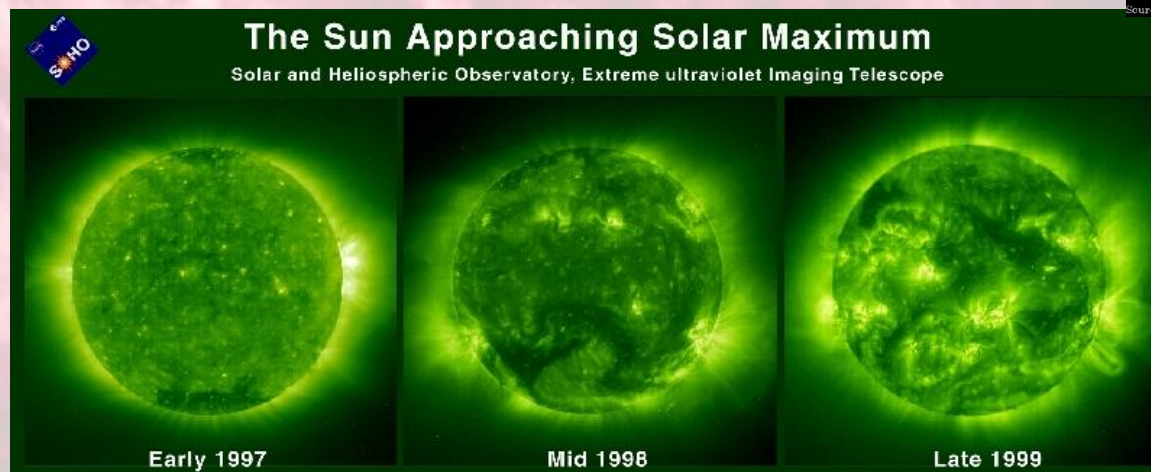
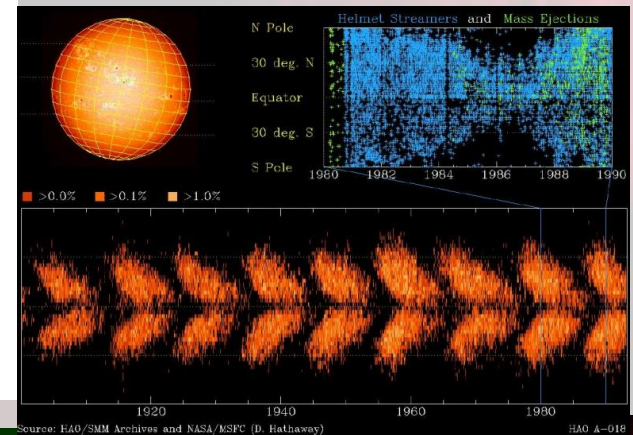
p – liczba plam

k – współczynnik obserwatora

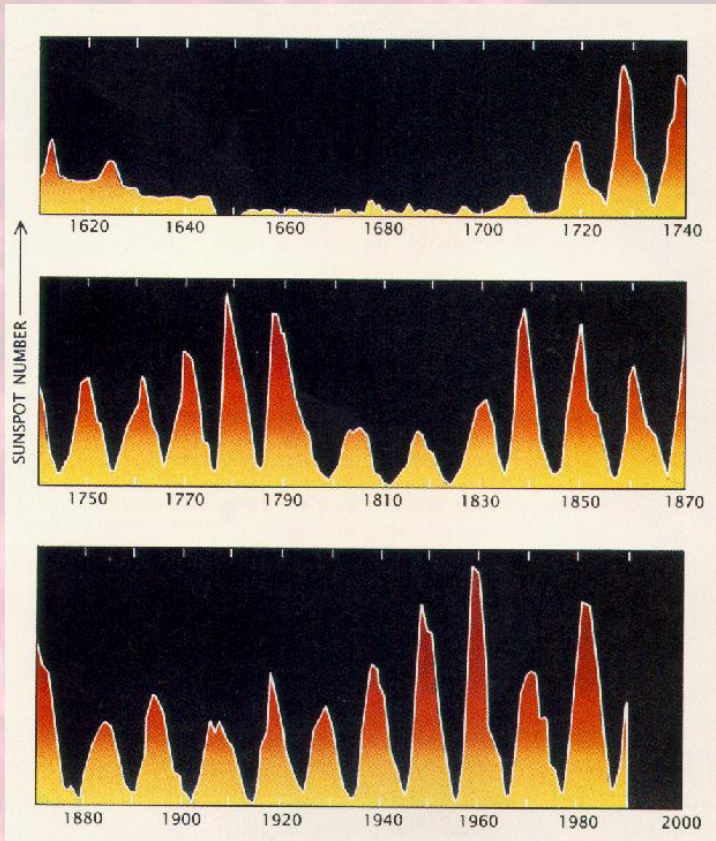
Cykl aktywności



W cyklu 11-to letnim zmienia się liczba obszarów aktywnych widocznych w zakresach UV i X.



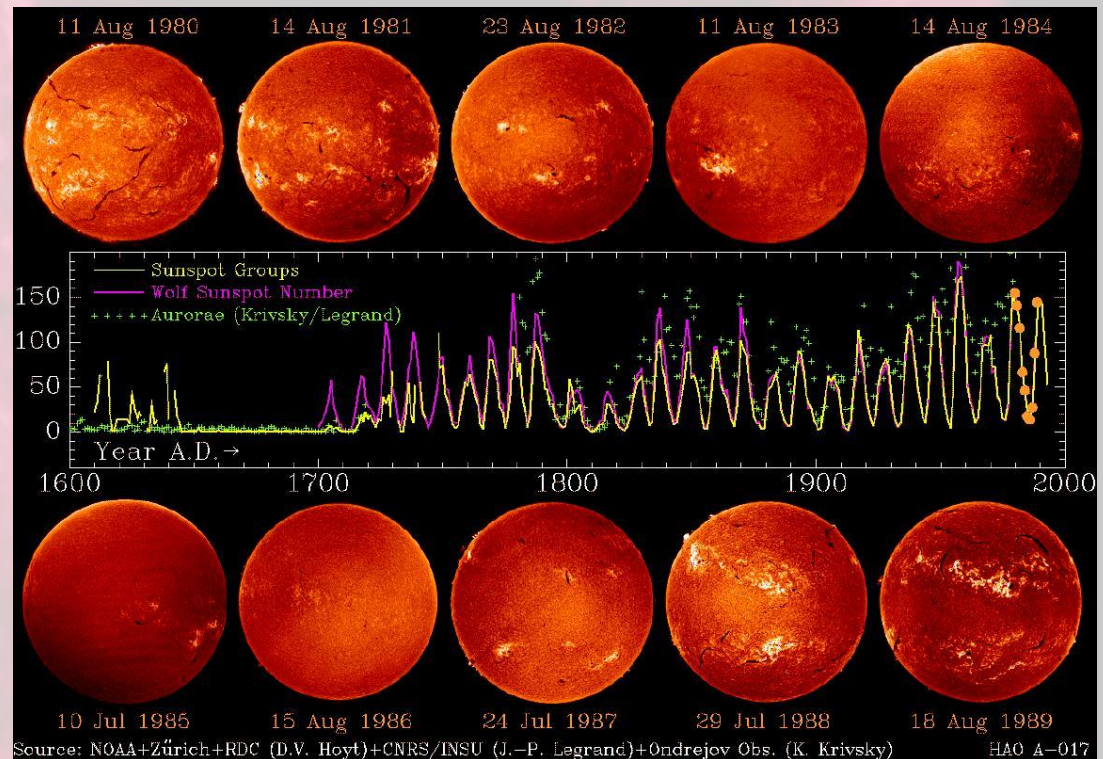
Cykl aktywności



Zmiany aktywności wpływają na zmiany w heliosferze

Każde maksimum cyklu jest inne

Były w przeszłości długie okresy gdy na Słońcu nie obserwowano plam



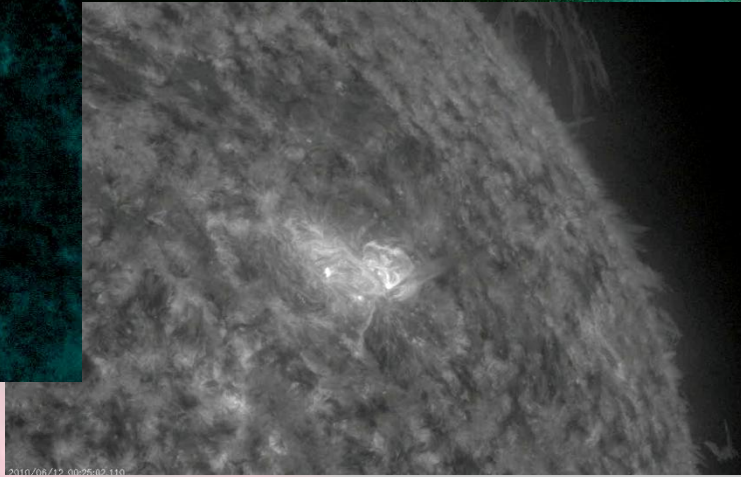
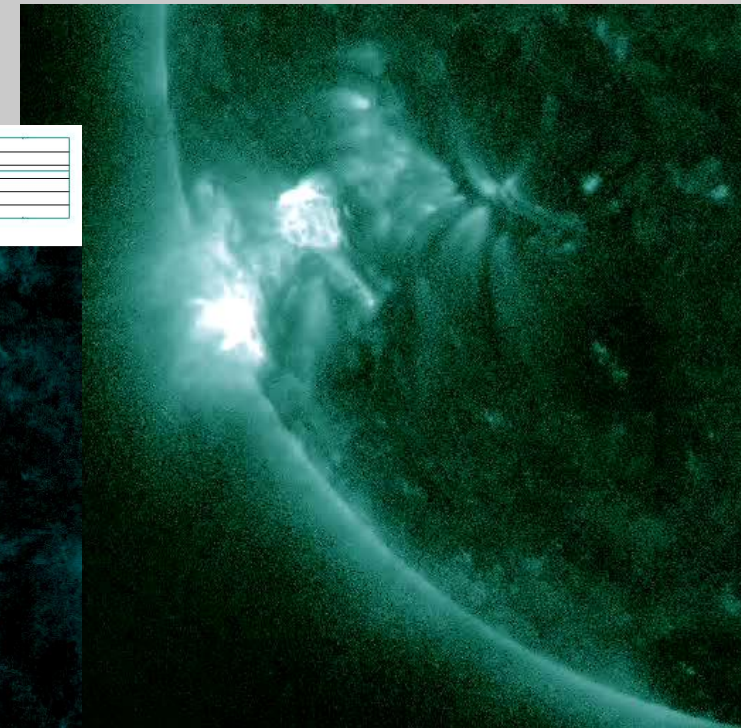
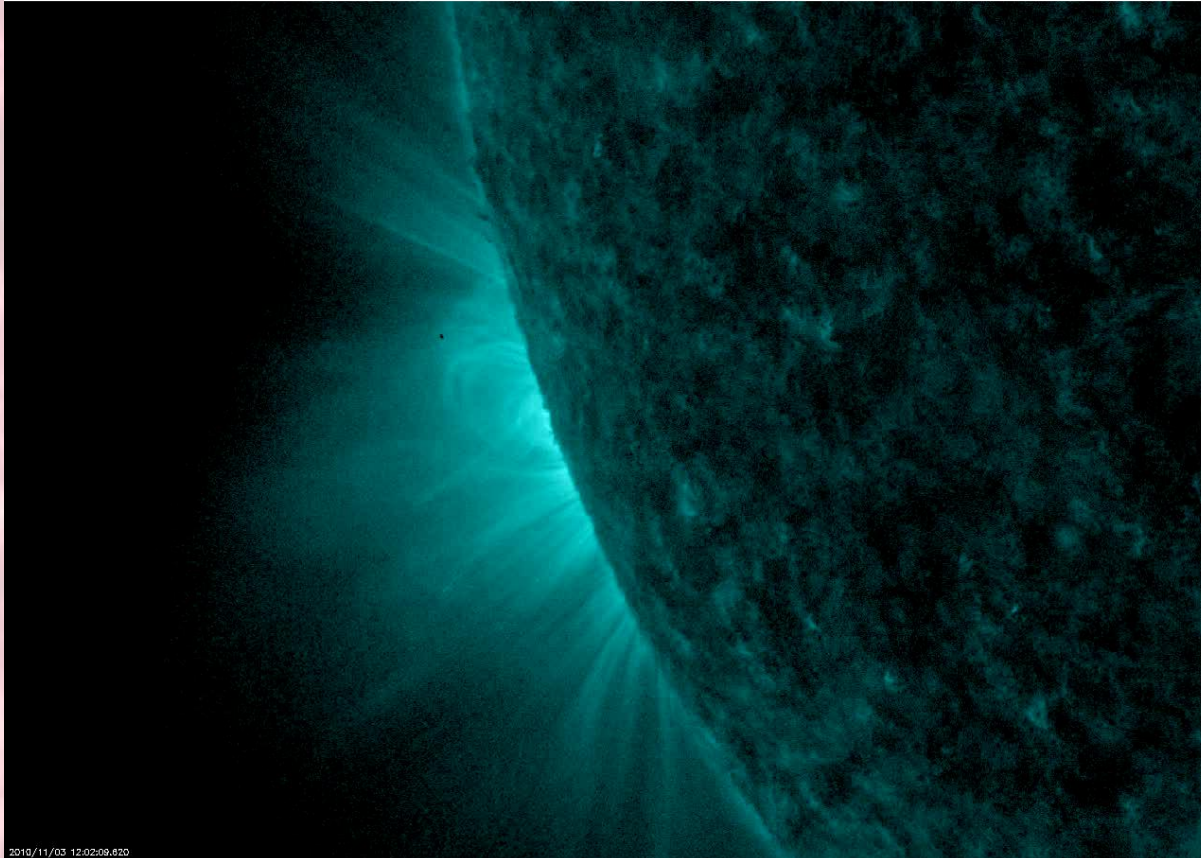
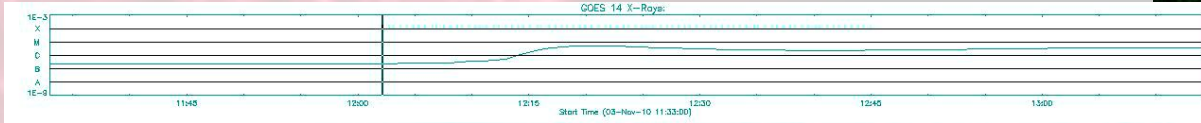
Source: NOAA+Zürich+RDC (D.V. Hoyt)+CNRS/INSU (J.-P. Legrand)+Ondrejov Obs. (K. Krivsky) HAO A-017

Heliosfera



Rozbłyski, CME, erupcje protuberancji, proporce koronalne, dziury koronalne itd.

Rozbłyski



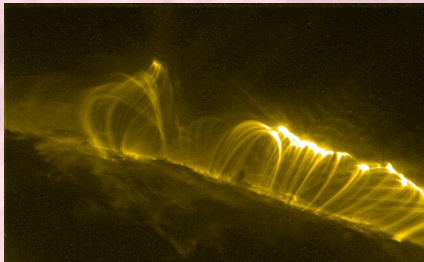
Rozbłyski



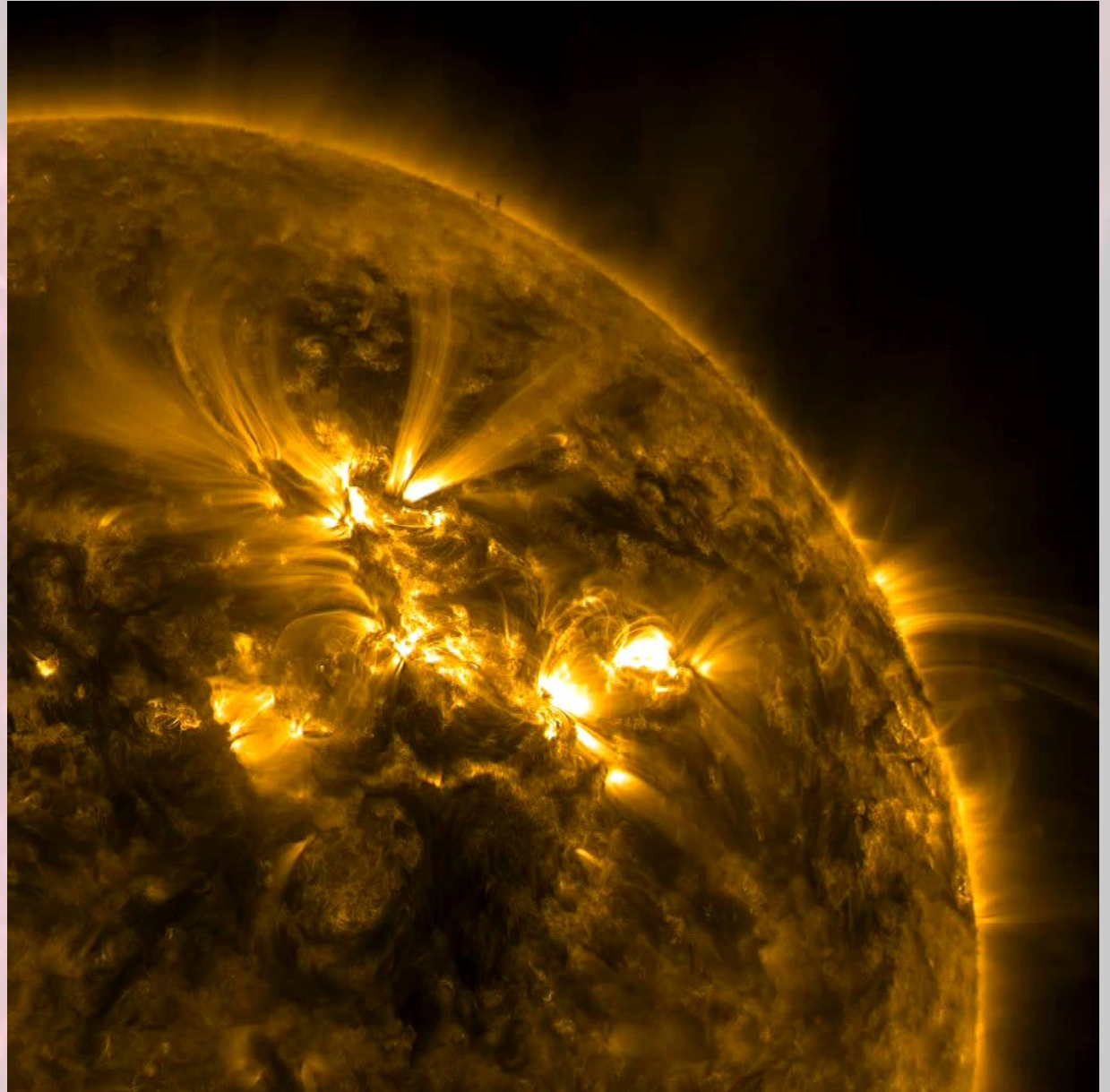
$5 \times 10^{15} \text{ J}$



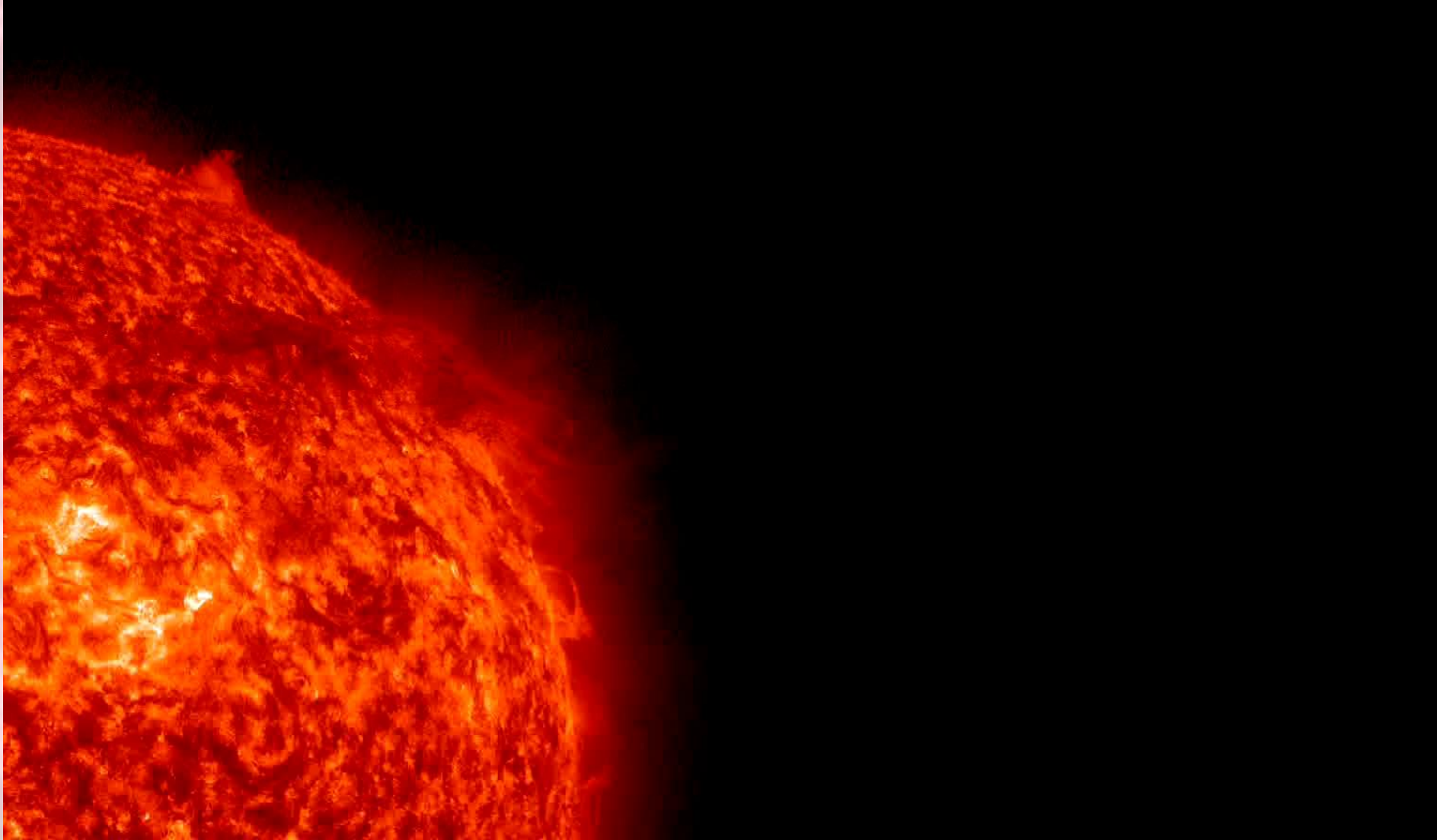
10^{18} J



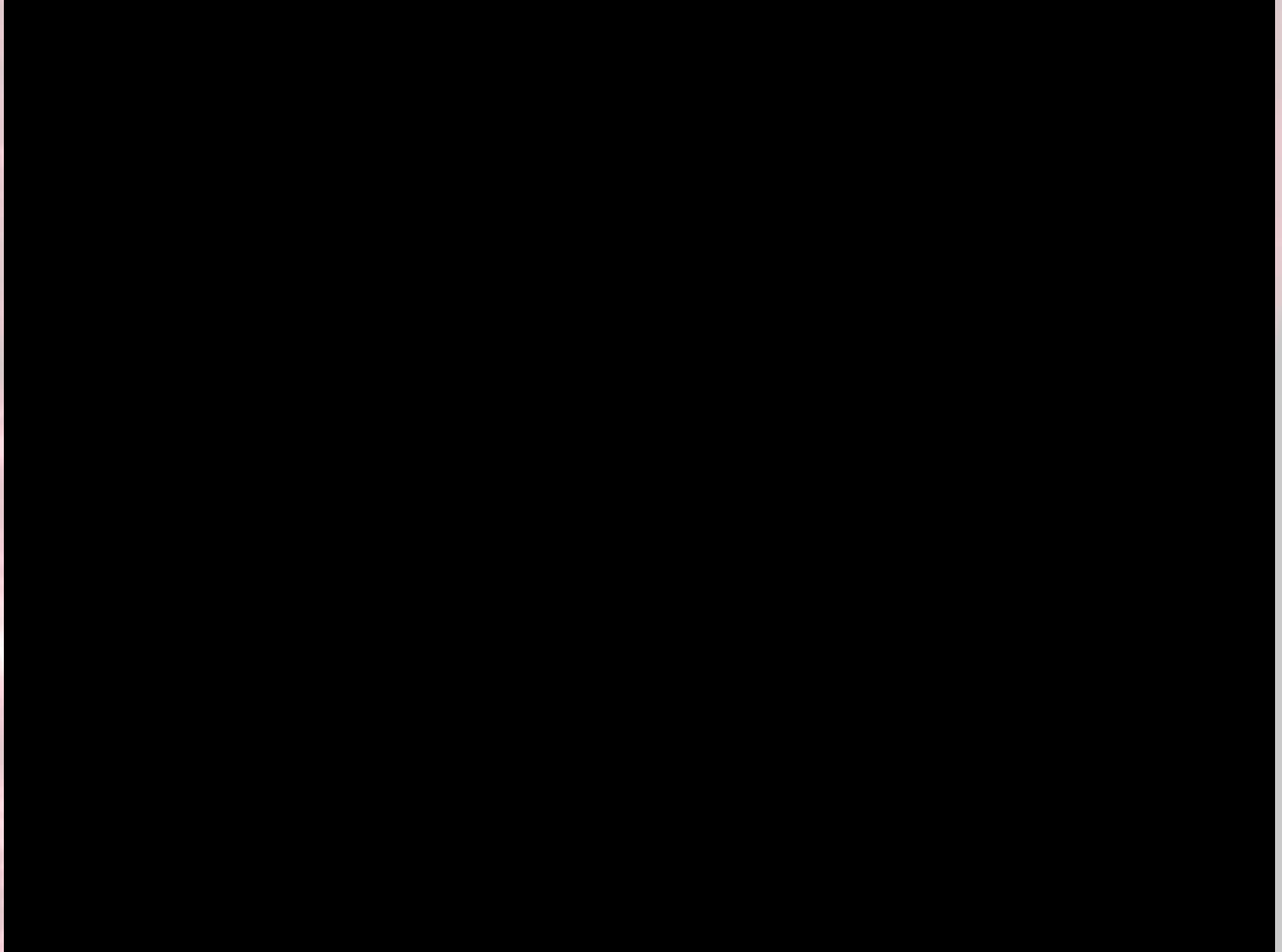
10^{26} J



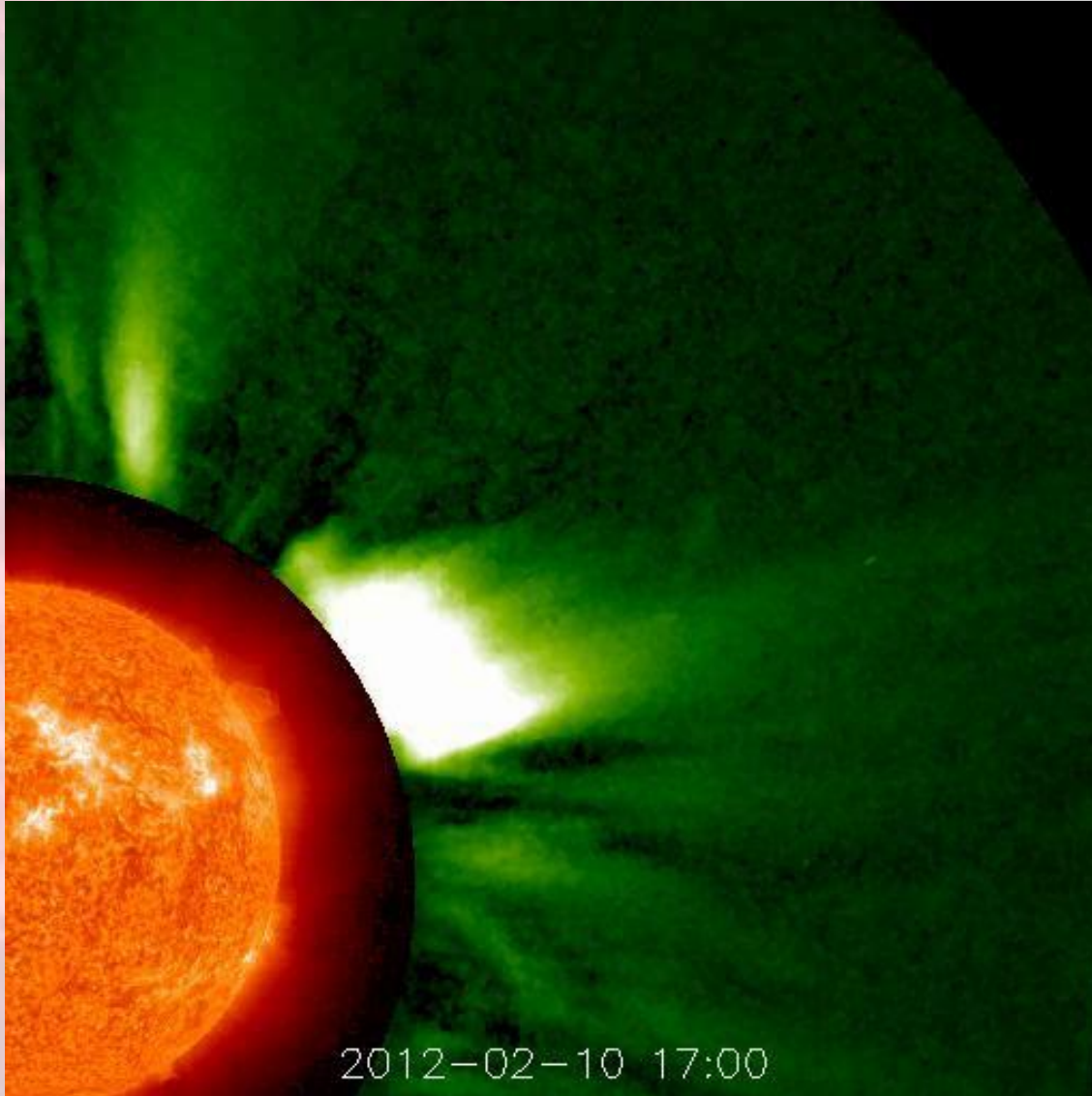
Erupcje protuberancji



Erupcije protuberancji



Coronal Mass Ejection (CME)

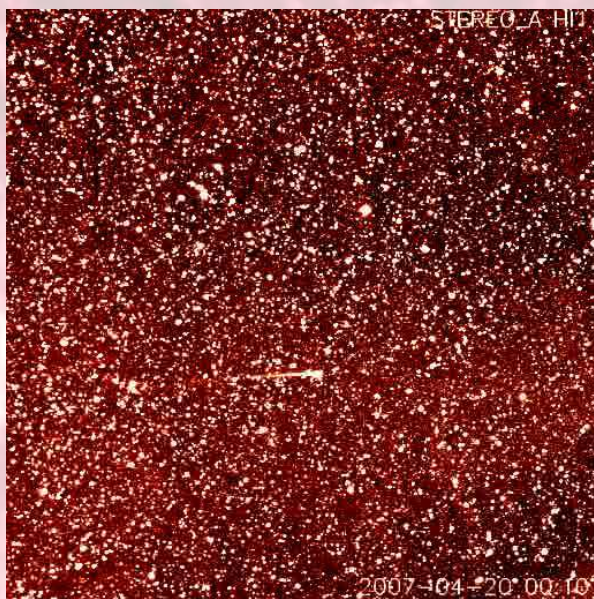
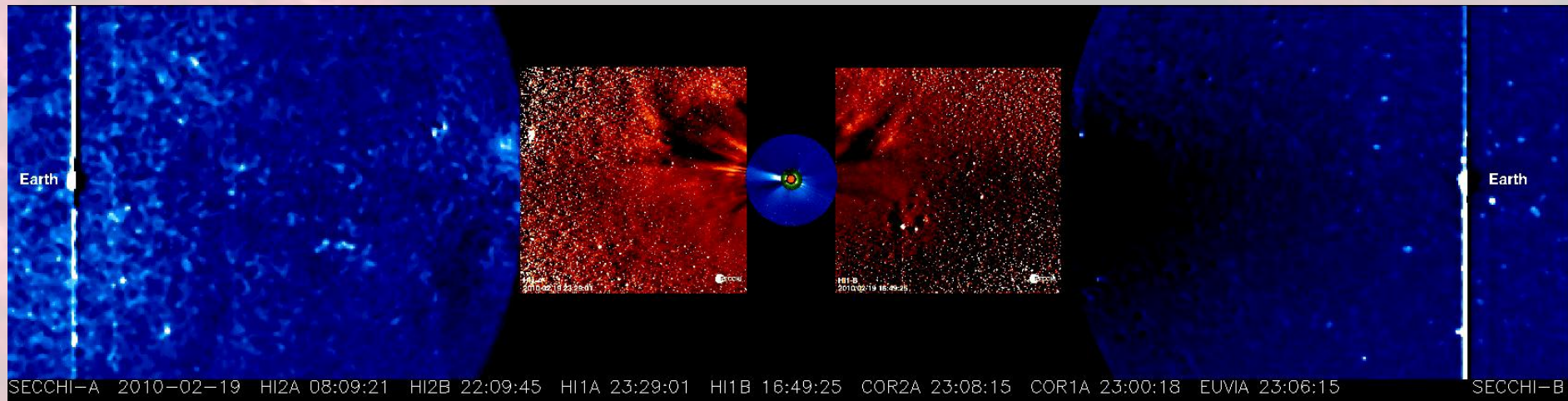


-olbrzymia struktura pola magnetycznego i plazmy wyrzucona ze Słońca

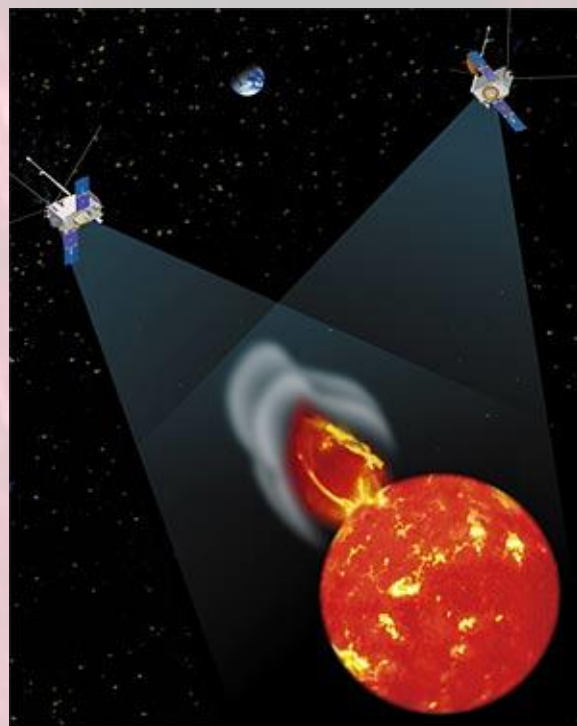
-poruszają się z prędkościami dochodzącymi do 3000 km/s

-docierają do granic Układu Słonecznego

CME - Ziemia

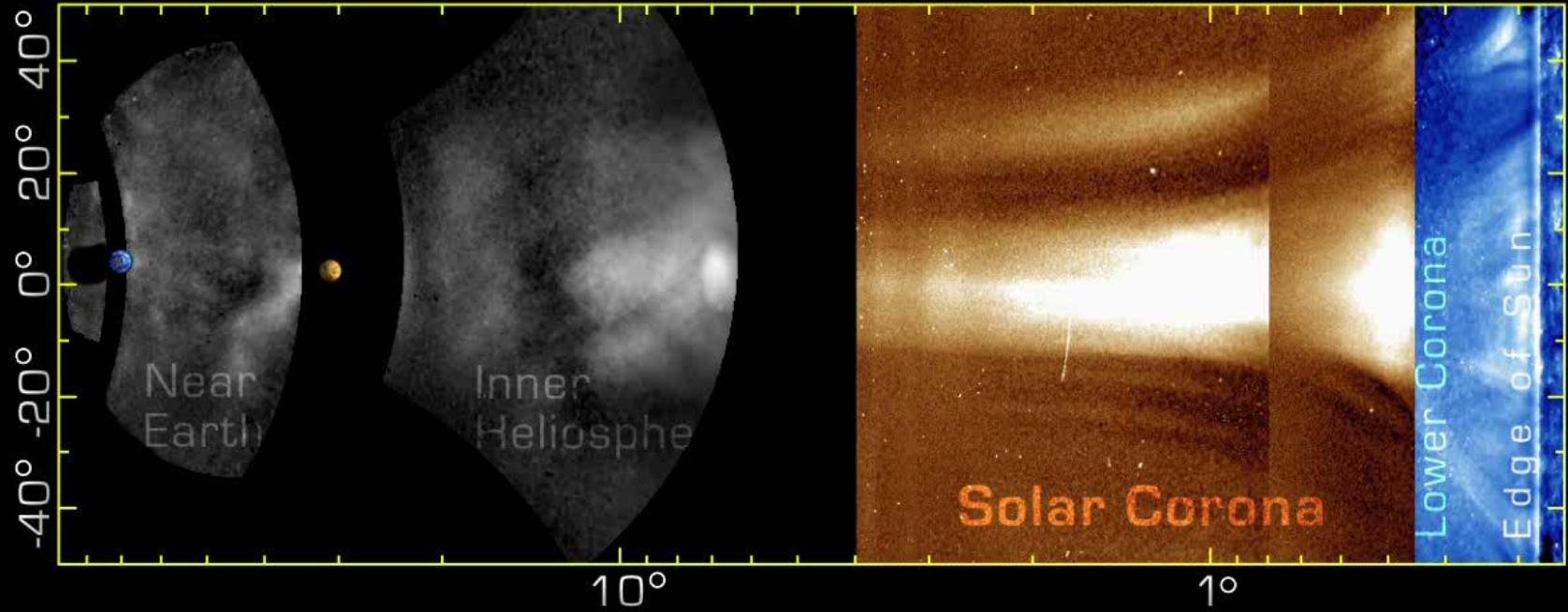


CME, dziury koronalne zasilają heliosferę



STEREO – misja dwóch satelitów obserwujących Słońce z dwóch różnych miejsc

CME - Ziemia



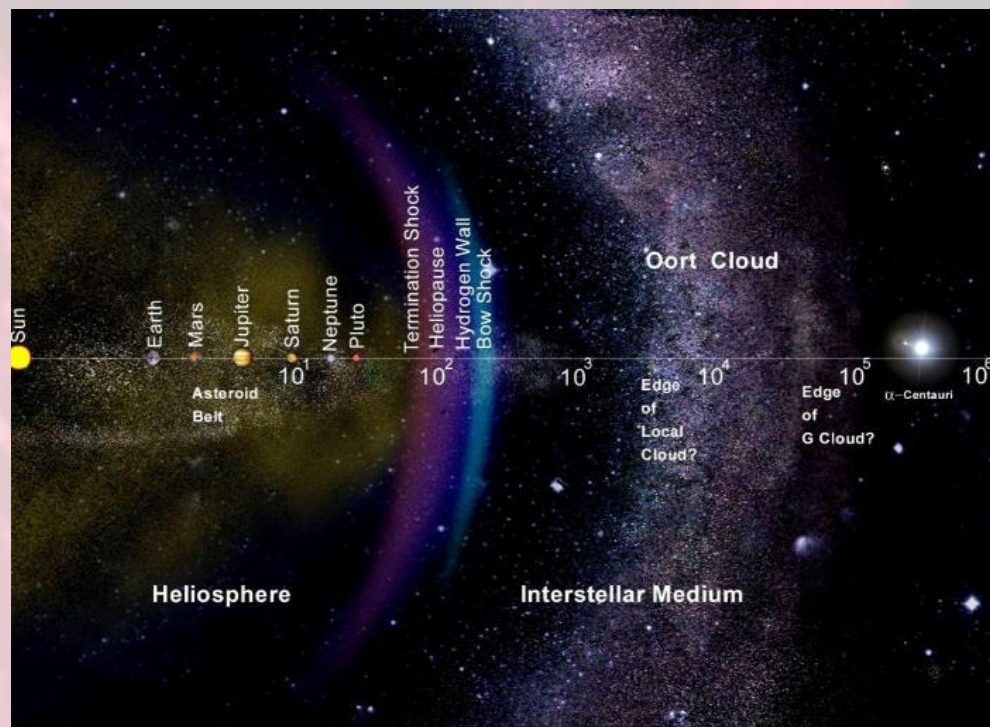
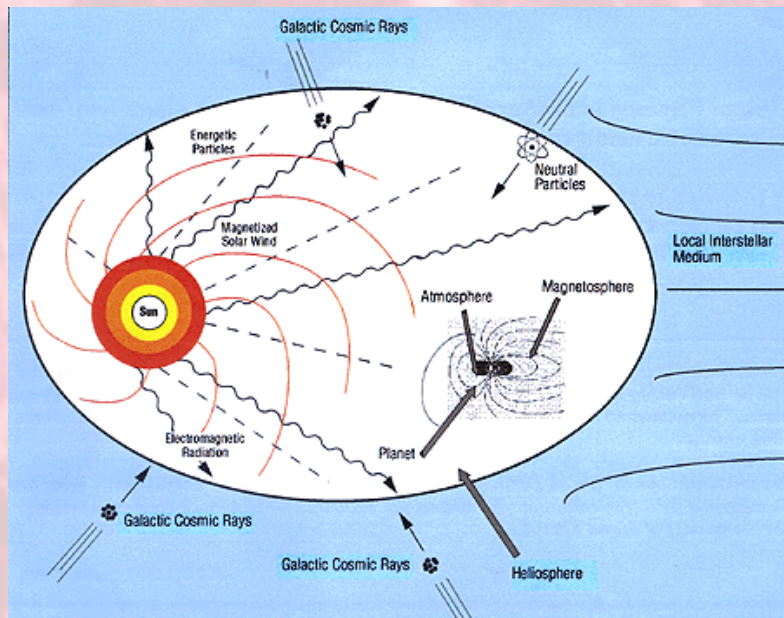
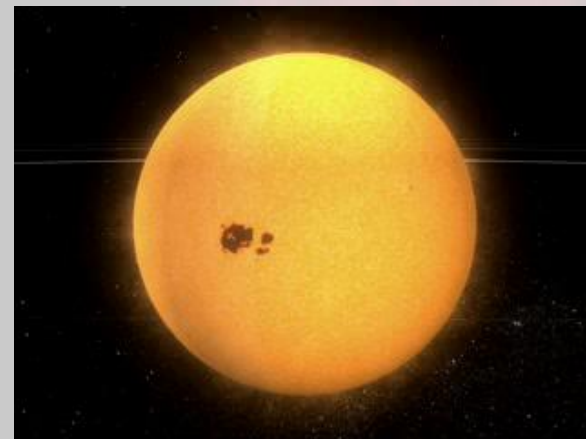
STEREO-A: 12/11/08 12:47:00 AM

Heliosfera

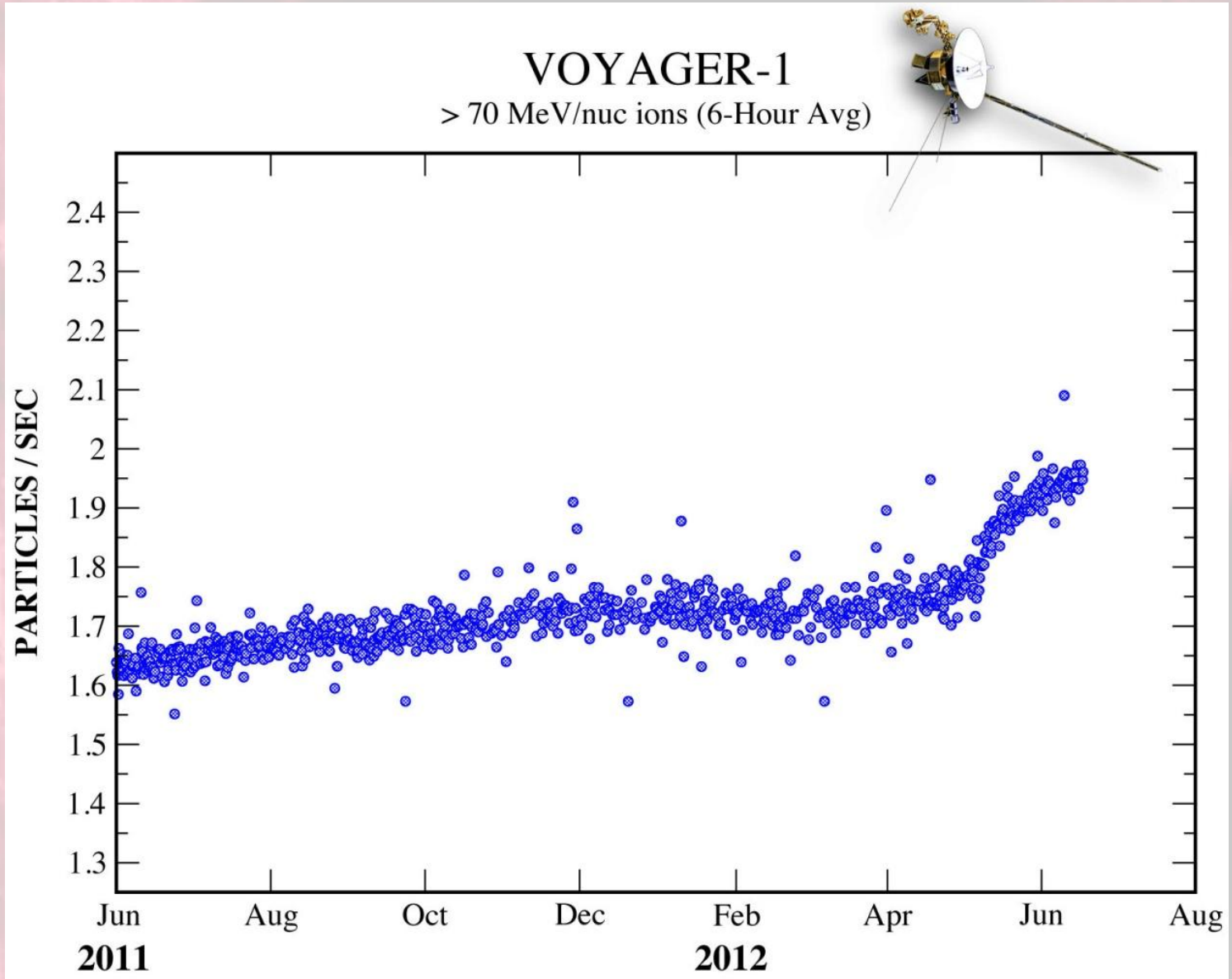
W maksimum wiatr słoneczny jest „silniejszy” niż w minimum.

Heliosfera utrudnia promieniowaniu kosmicznemu dostęp do wewnętrznych obszarów Układu Słonecznego.

Działanie heliosfery jest oczywiście słabsze w minimum niż maksimum, dlatego w minimum więcej promieniowania kosmicznego dociera do Ziemi.

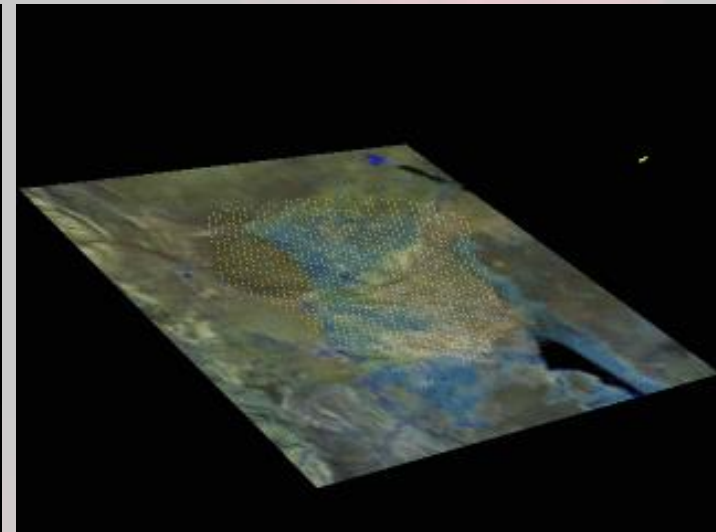
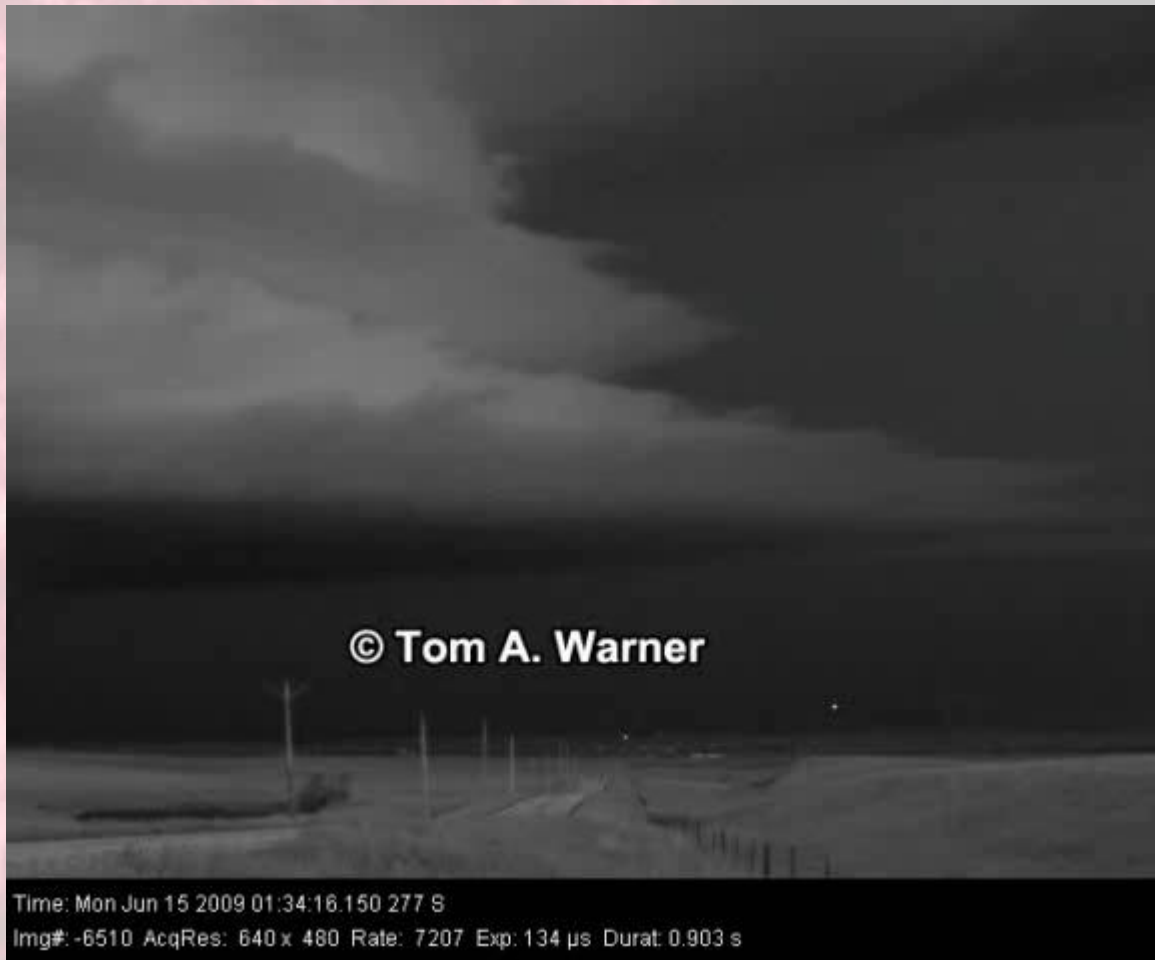


Heliopauza



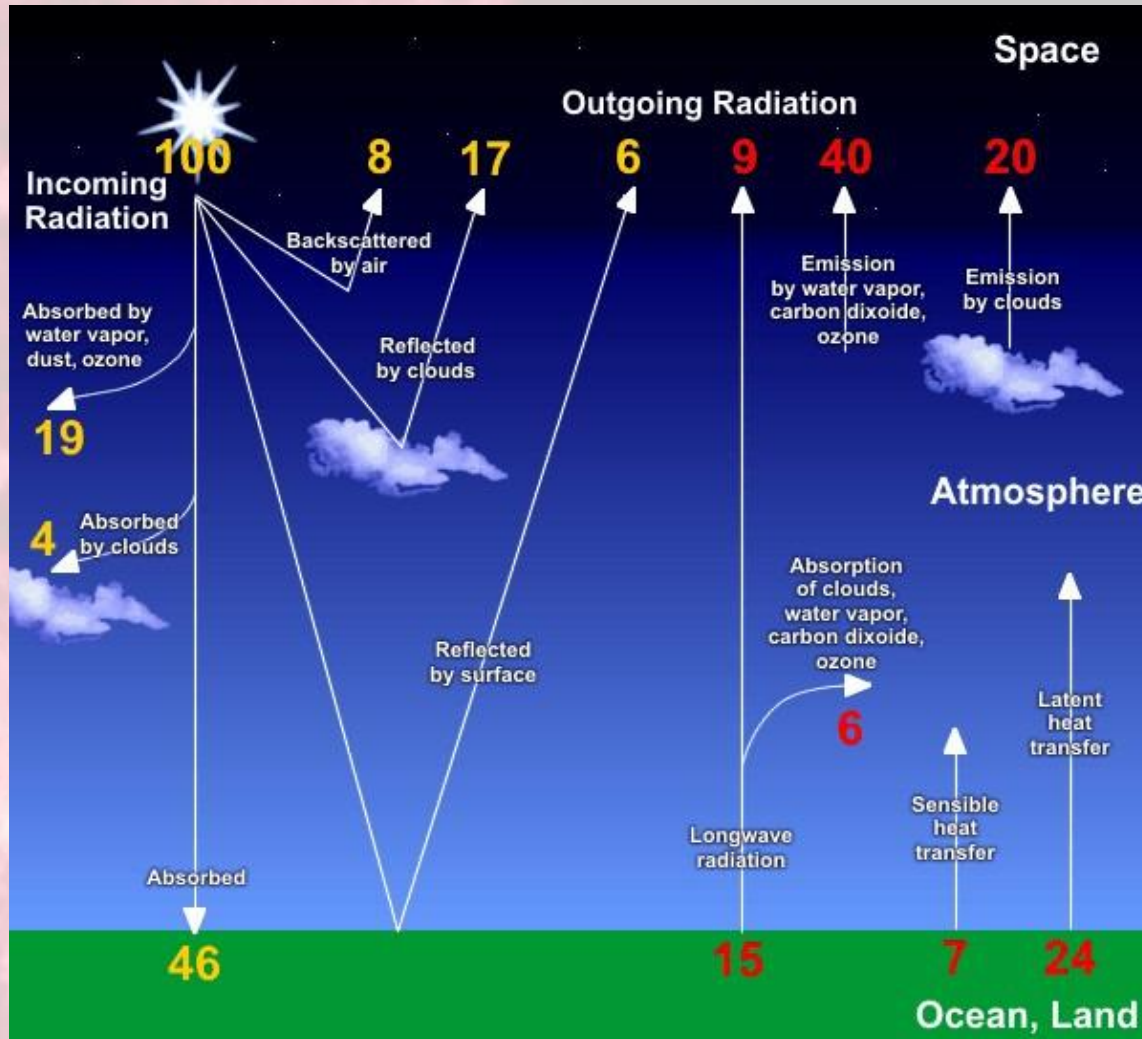
Promieniowanie kosmiczne – atmosfera ziemska

Docierające do atmosfery promienie kosmiczne powodują jej jonizację na wysokości kilku km. Powstałe jony, naładowane elektrycznie aerozole stają się jądrami kondensacji chmur.



Promieniowanie kosmiczne może inicjować wyładowania atmosferyczne

Bilans energetyczny



Chmury absorbują i rozpraszają około 20% promieniowania słonecznego

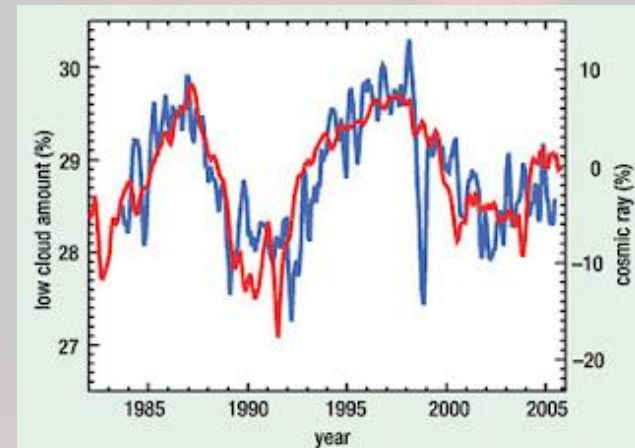
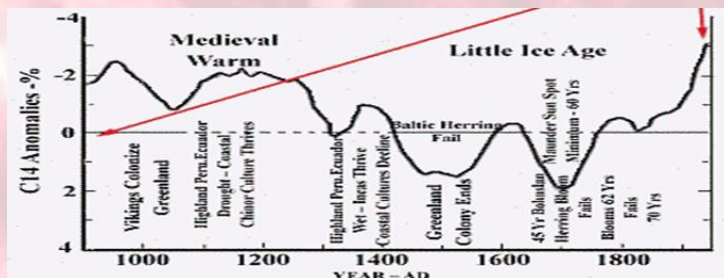
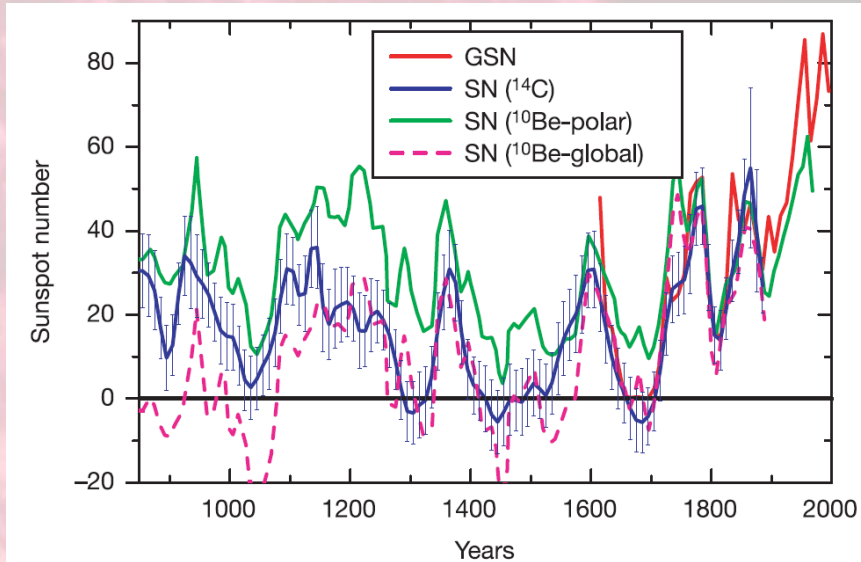


Figure 2. Global variation in cloud amount for clouds below 3.2 kilometers above sea level (blue line) compared to the anomaly in cosmic ray counts at Climax, Colorado (red line).⁵

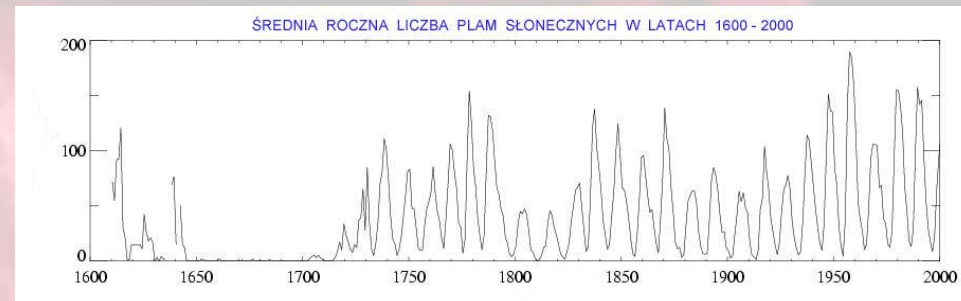
Istnieje bardzo wyraźny związek między stopniem zachmurzenia globalnego a średnimi temperaturami

Dowody z przeszłości



Istnieją wyraźne związki między dłuższymi okresami ochłodzenia lub ocieplenia a aktywnością słoneczną

Dawną aktywność szacujemy z pośrednich wskaźników takich jak zawartość izotopu ^{10}Be w lodolodach Grenlandii i Antarktydy

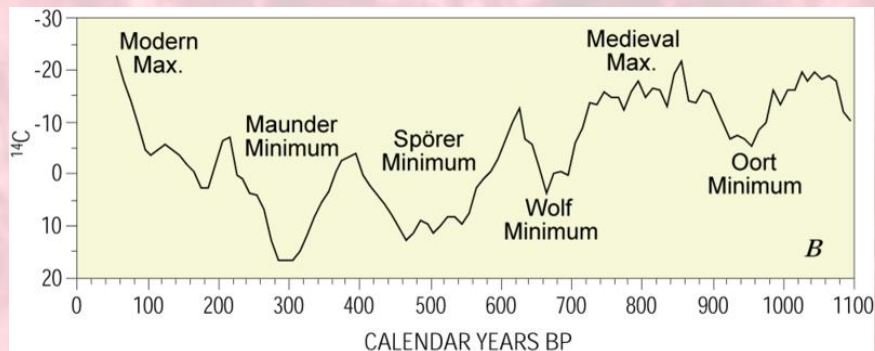


Najbardziej znany okres ochłodzenia to tzw. minimum Maundera

Minimum Maundera

W drugiej połowie XVII wieku liczba Wolfa był niska i nie występowała 11-letnia zmienność.

Minimum to zbiega się w czasie z wystąpieniem w Europie tzw. Małej Epoki Lodowcowej.



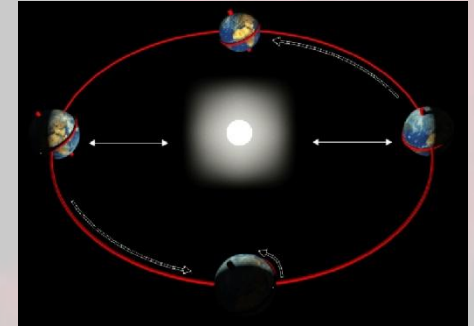
Zamarzający Bałtyk – regularne „połączenie” ze Szwecją

Hetman Czarniecki „rzuca się przez morze” (cieśninę Allsund)

400 lat wcześniej Grenlandia była zieloną wyspą i została zasiedlona

Inne czynniki kosmiczne wpływające na klimat

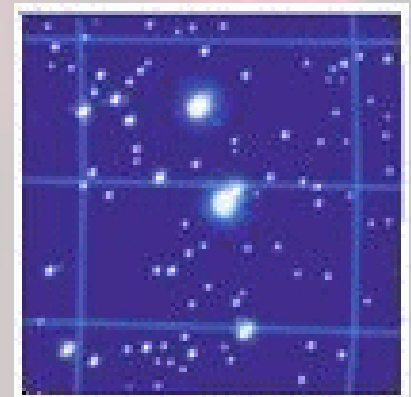
zmiany w ruchu obiegowym i obrotowym Ziemi



obecność Księżyca



błyski gamma, supernowe, ewolucja Słońca



Ziemia nie może być traktowana jako układ izolowany, którego losy określa się na podstawie badań warstwy o grubości kilku kilometrów...