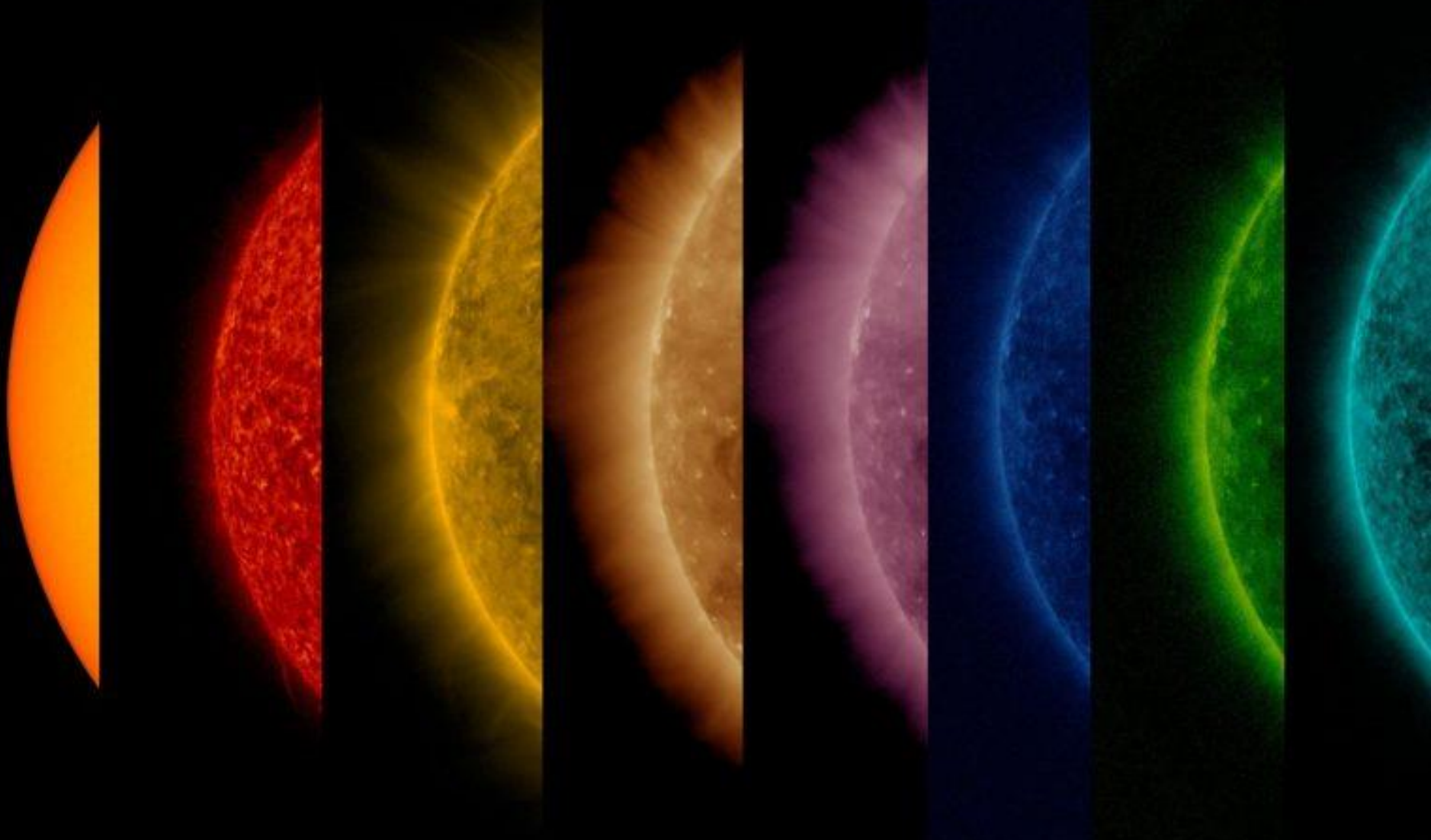


aktywność słoneczna w wysokich energiach



SDO/HMI Quick-Look SDO/AIA 304 2 SDO/AIA 171 2 SDO/AIA 193 SDO/AIA 211 SDO/AIA 335 SDO/AIA 94 SDO/AIA 131

Słońce w wysokich energiach – bardzo duża dynamika (czas, przestrzeń, strumień, temperatura)

SDO/AIA– 94 20120307_015903
SDO/AIA– 335 20120307_015905
SDO/AIA– 193 20120307_015858

prom. wysokoenergetyczne – czyli?

widmo fal elektromagnetycznych

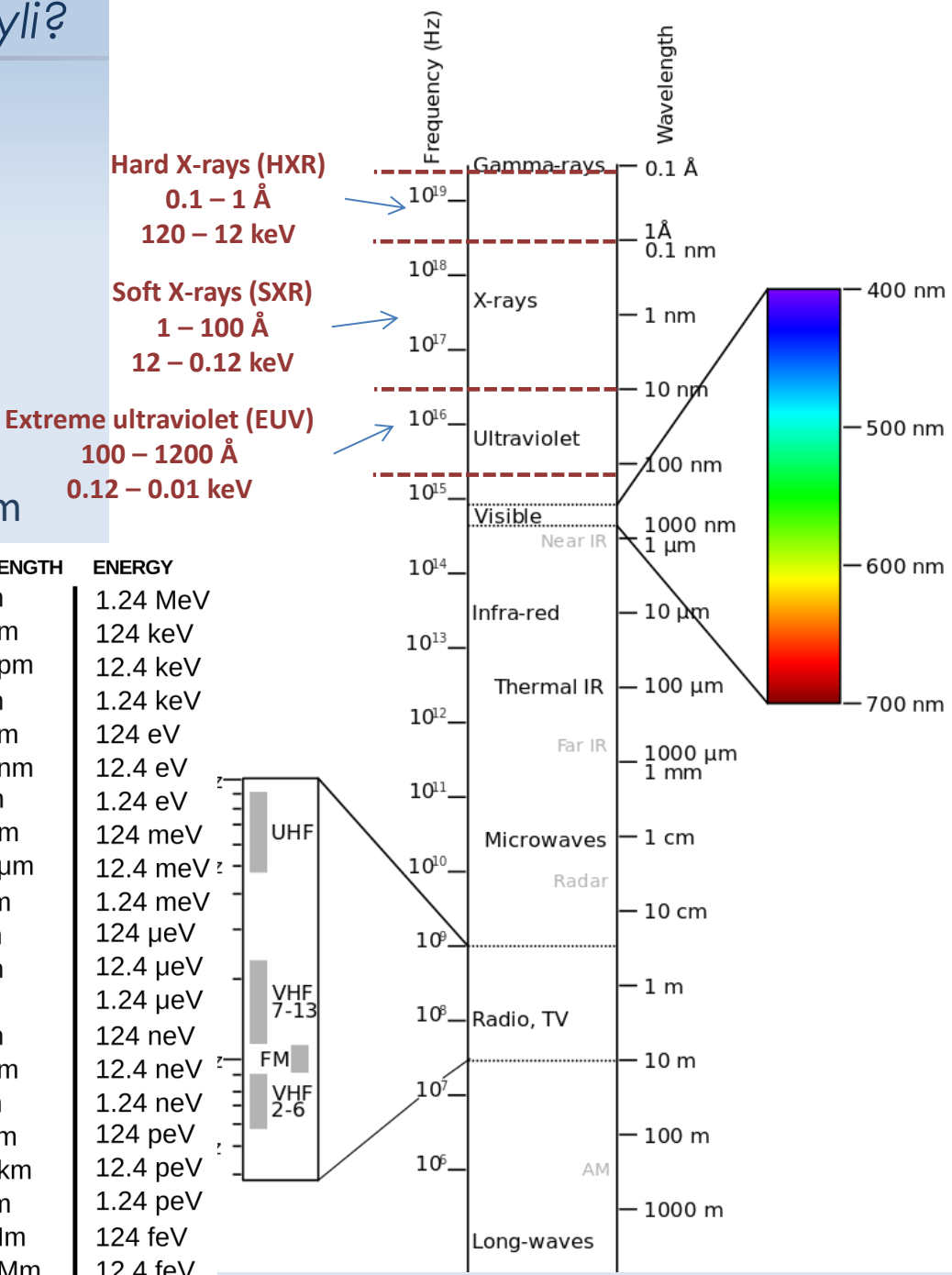
- podział na zakresy: fale radiowe, mikrofae, podczerwień (IR), światło (promieniowanie widzialne, Vis), ultrafiolet (UV), promieniowanie rentgenowskie (X) i promieniowanie gamma (γ)
- podział fizyczny czy umowny? mechanizm emisji?
- EUV i fale krótsze to promieniowanie jonizujące

$$\lambda \nu = c$$

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$E[\text{keV}] \cdot \lambda [\text{\AA}] = 12.4$$

CLASS	FREQUENCY	WAVELENGTH	ENERGY
γ	300 EHz	1 pm	1.24 MeV
HX	30 EHz	10 pm	124 keV
SX	3 EHz	100 pm	12.4 keV
EUV	300 PHz	1 nm	1.24 keV
NUV	30 PHz	10 nm	124 eV
NIR	3 PHz	100 nm	12.4 eV
MIR	300 THz	1 μm	1.24 eV
FIR	30 THz	10 μm	124 meV
EHF	3 THz	100 μm	12.4 meV
SHF	300 GHz	1 mm	1.24 meV
UHF	30 GHz	1 cm	124 μeV
VHF	3 GHz	1 dm	12.4 μeV
HF	300 MHz	1 m	1.24 μeV
MF	30 MHz	10 m	124 neV
LF	3 MHz	100 m	12.4 neV
VLF	300 kHz	1 km	1.24 neV
VF/ULF	30 kHz	10 km	124 peV
SLF	3 kHz	100 km	12.4 peV
ELF	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
	30 Hz	10 Mm	124 feV
	3 Hz	100 Mm	12.4 feV



jakie zjawiska „świecą”?

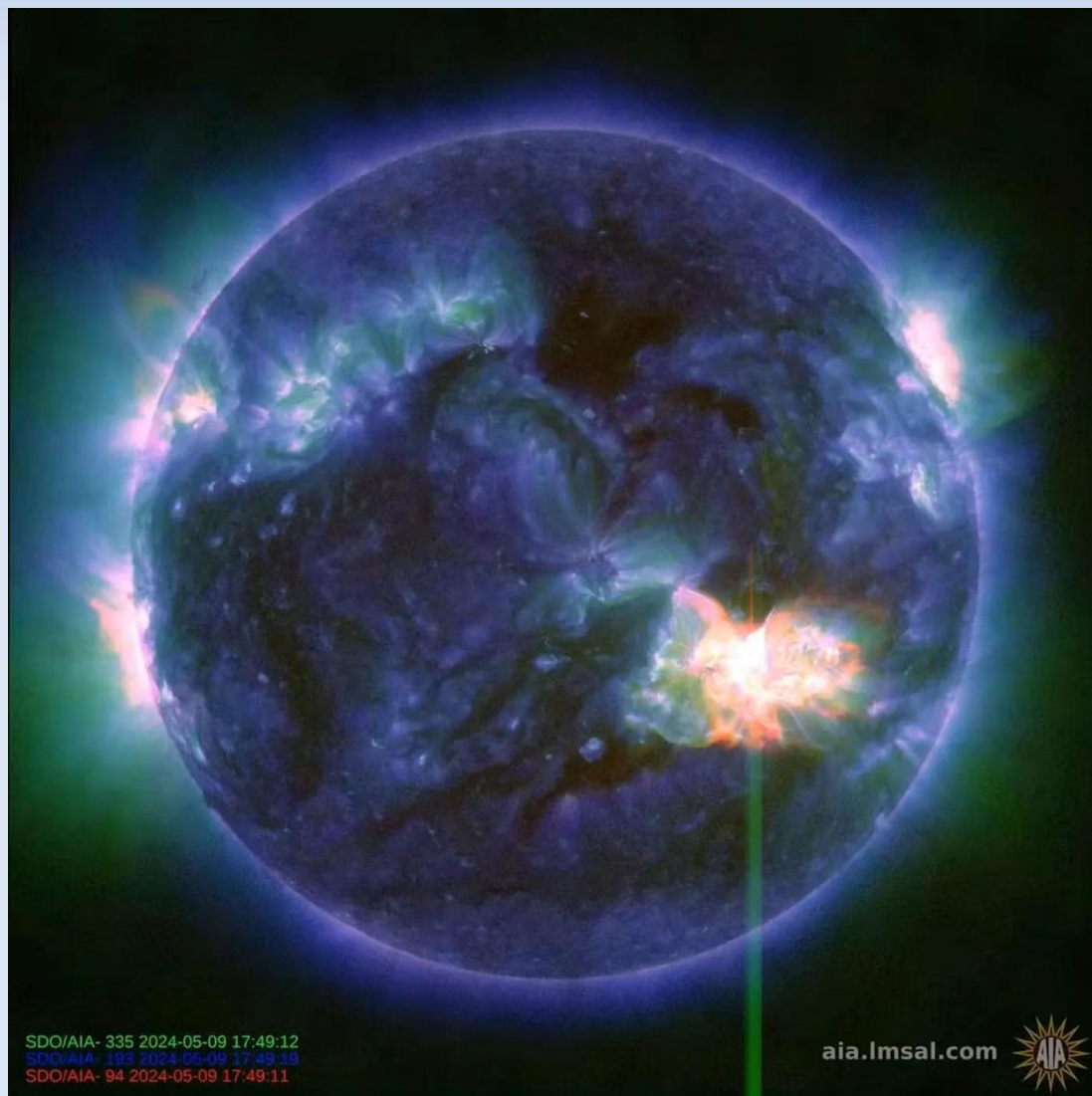
- **rozbłyski** (zwykłe, mikrorozbłyski)
- inne zjawiska związane z przebudową pola magnetycznego (np. zatrzymane/udane erupcje)
- obszary aktywne (zamknięte pętle koronalne), jasne punkty
- korona jako całość

Sumarycznie – zjawiska należące do grupy zjawisk związanych magnetyczną aktywnością Słońca, czerpiące energię z pola magnetycznego.

Część z nich jest geoefektywna, kształtuje stan pogody kosmicznej.

Im wyższe energie promieniowania, tym źródła są bardziej zlokalizowane i mniej liczne

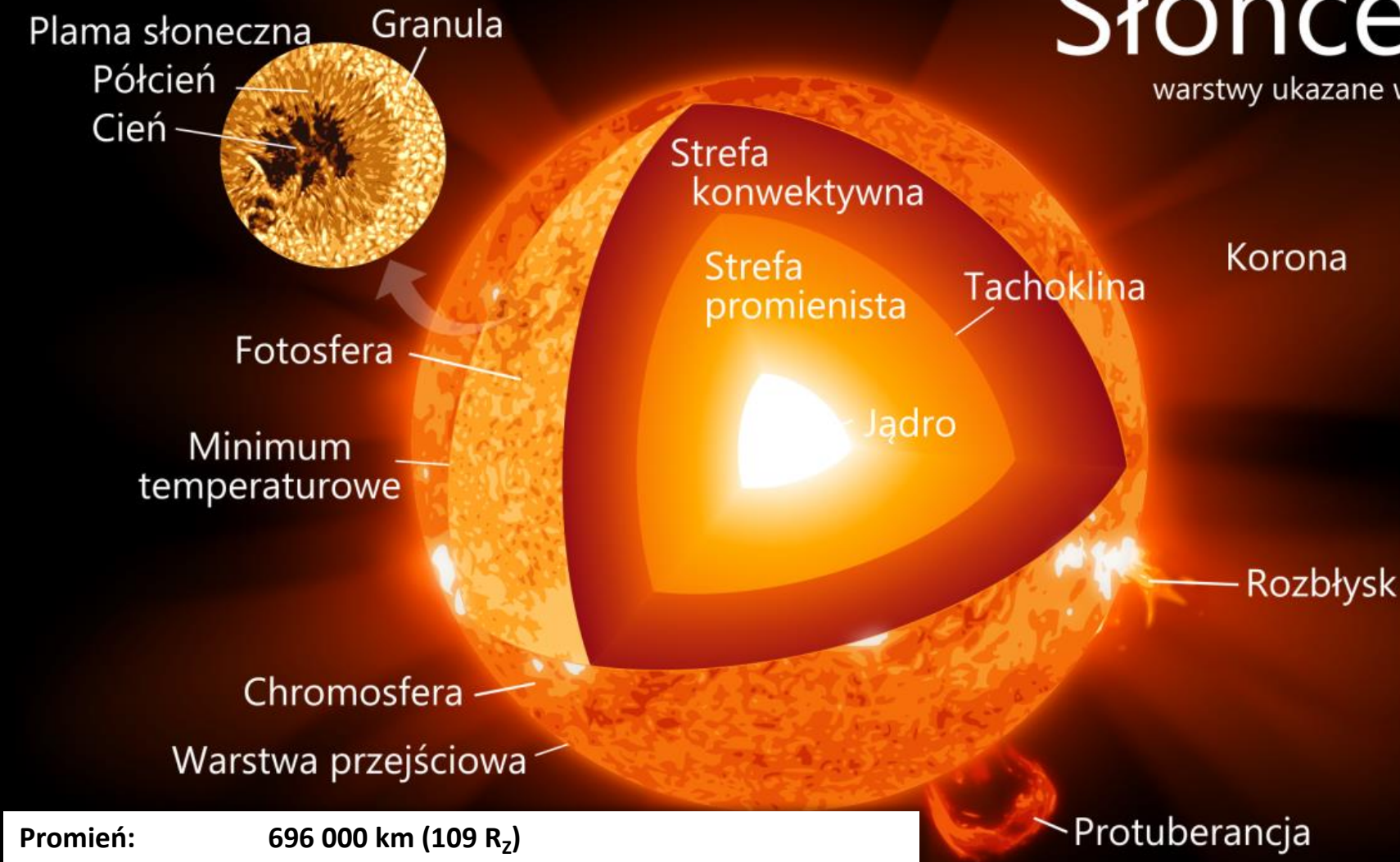
Źródło tej aktywności to?



źródło aktywności Słońca

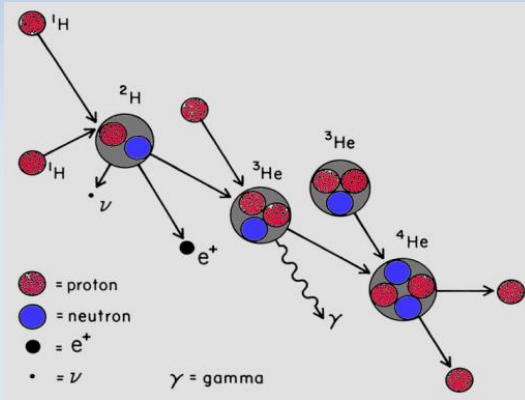
Słońce

warstwy ukazane w skali



Promień:	696 000 km (109 R _Z)
Masa:	2x10 ³⁰ kg (300 000 M _Z)
Temperatura:	15 MK (jądro) – 5800 K (fotosfera) – 1MK (korona)
Moc:	3.8x10 ²⁶ W
Skład chemiczny:	70% wodór, 28% hel, 2% inne („metale”)
Okres obrotu:	27 dni (równik) – 31 dni (okolice biegunów)
Wiek:	4.6 mld lat

typ widmowy
G2V



Jądro

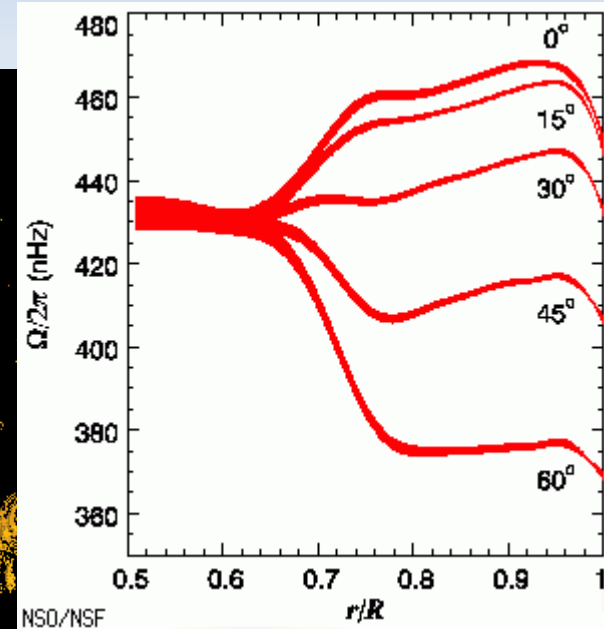
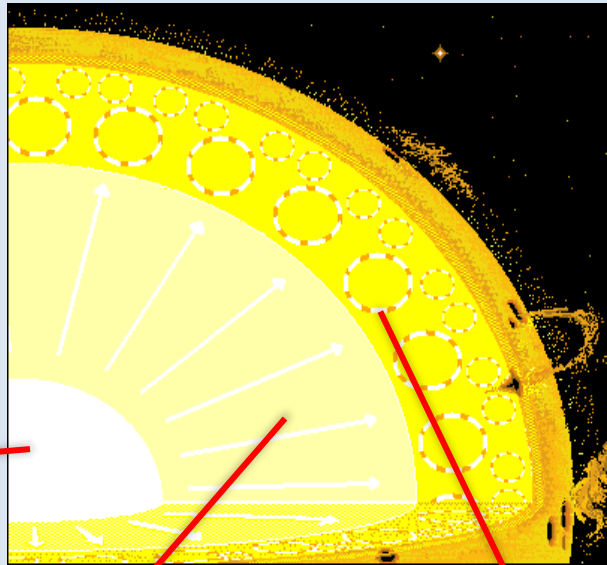
614 mln ton wodoru zamienia się w 610 ton helu w każdej sekundzie.

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

Strefa promienista

Ciągłe rozpraszanie, pochłanianie i emisja – coraz mniejsze energie kwantów.

Bardzo powolna wędrówka: 200 000 lat zamiast 2.7 sekundy



Tachoklina i strefa konwekcyjna

W odległości około $0.7 R$ od środka transport promienisty przestaje być wystarczająco efektywny. Pojawia się konwekcja.

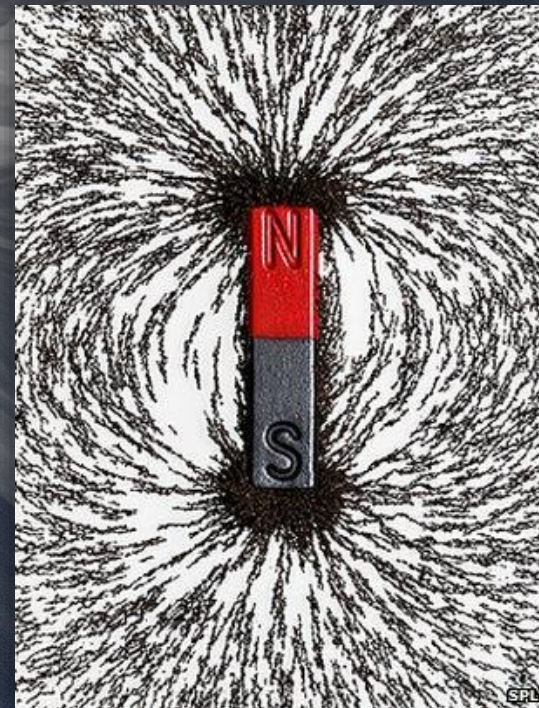
Wraz z pionowymi ruchami plazmy unoszone jest pole magnetyczne.

Konwekcja widoczna na „powierzchni” jako granulacja.

źródło aktywności Słońca

Księżyc
a za nim
Słońce

korona słoneczna
plazma z polem
magnetycznym

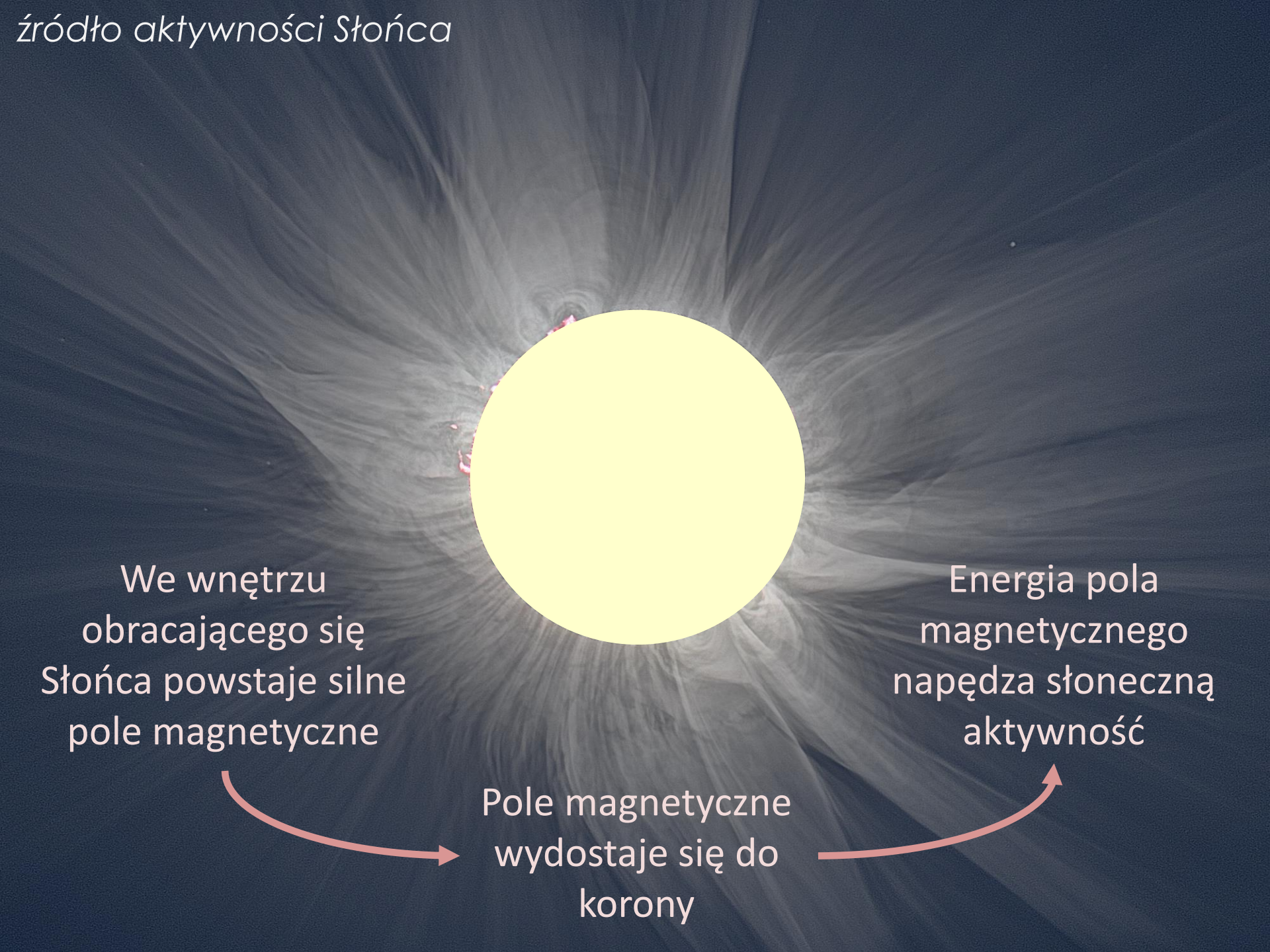


źródło aktywności Słońca

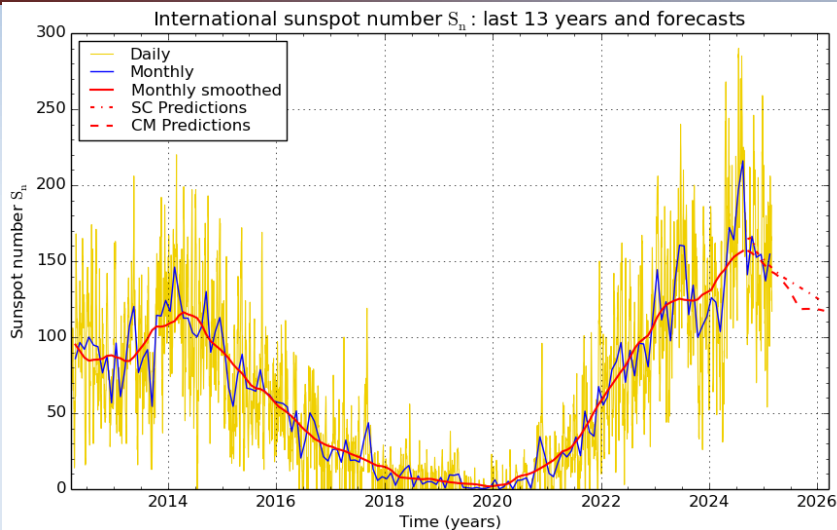
We wnętrzu
obracającego się
Słońca powstaje silne
pole magnetyczne

Pole magnetyczne
wydostaje się do
korony

Energia pola
magnetycznego
napędza słoneczną
aktywność



źródło aktywności Słońca



- Rotacja różnicowa wzmacnia pole magnetyczne.
- Konwekcja wynosi wzmocnione pole do „powierzchni”.
- W efekcie nad Słońcem lokalnie pojawiają się łuki silnego pola magnetycznego stanowiące podstawę obszarów aktywnych.
- Wzmocnione pole magnetyczne jest źródłem energii dla tzw. zjawisk aktywnych.
- Pole to po pewnym czasie ulega osłabieniu przez ruchy południkowe pod fotosferą i następuje powrót do stanu początkowego.
- Wzmacnianie i dysypacja pola magnetycznego zachodzi cyklicznie z okresem ok. 11 lat (**cykl aktywności słonecznej**).

THE TOPOLOGY OF THE SUN'S MAGNETIC FIELD AND THE 22-YEAR CYCLE

H. W. BABCOCK

Mount Wilson and Palomar Observatories

Carnegie Institution of Washington, California Institute of Technology

Received October 20, 1960

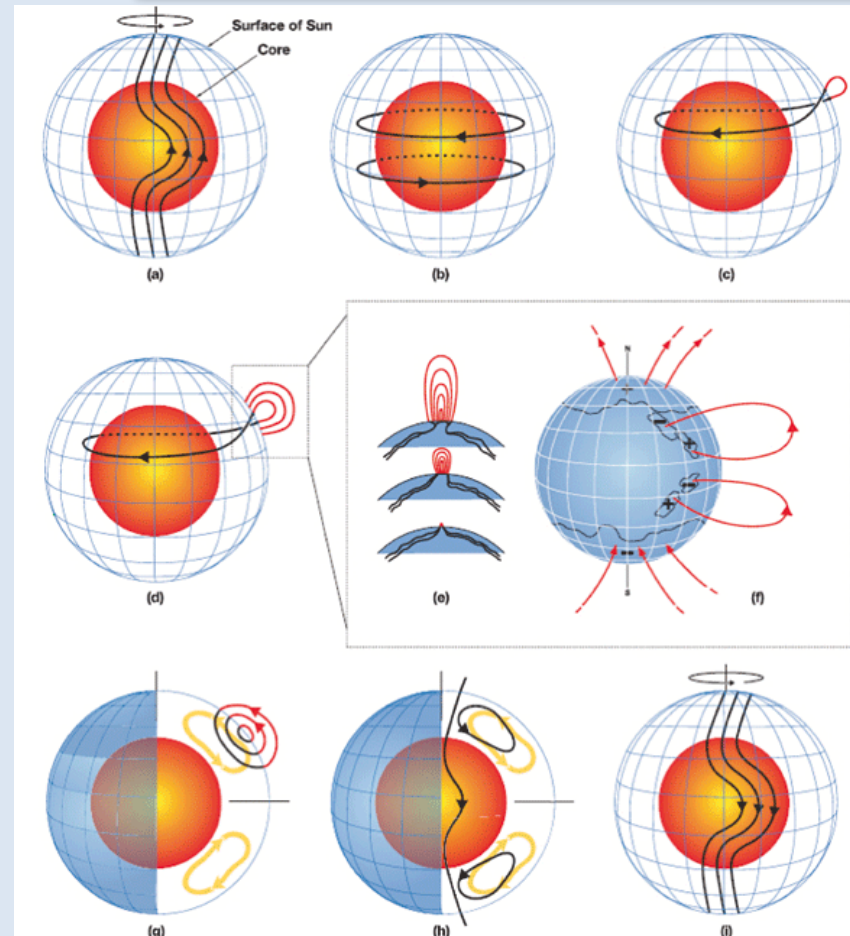
ABSTRACT

Shallow submerged lines of force of an initial axisymmetric dipolar field of 8×10^{21} maxwells are drawn out in longitude by the differential rotation (after the suggestion of Cowline) to produce a spiral wrapping of five turns in approaches 45, with a marked increase in field intensity in low latitudes by magnetic buoyancy to produce activity. The field intensity according to the derived diagram of the sunspot cycle is shown. Sufficient flux expand toward the equator

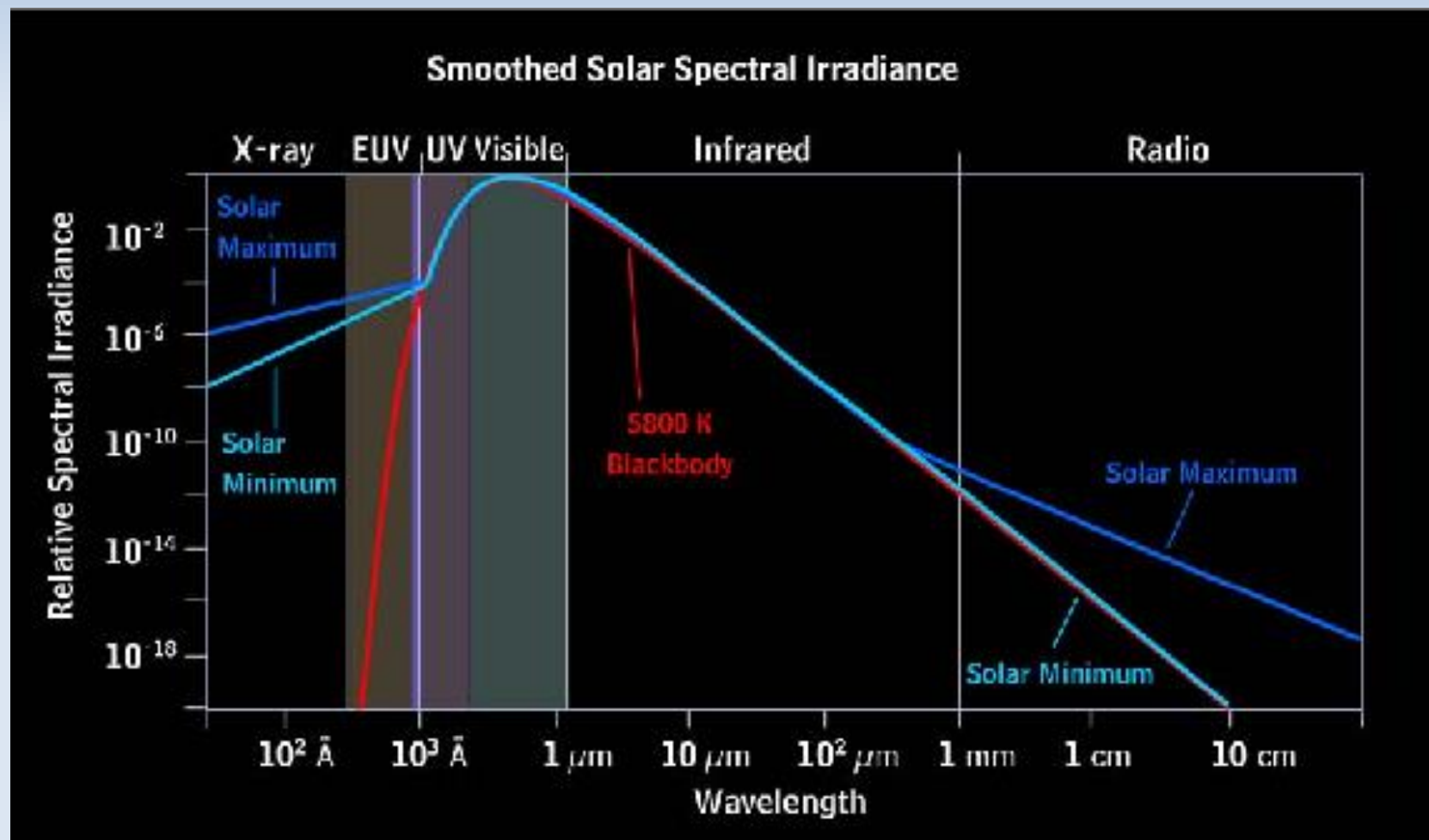
Babcock 1961, ApJ 133, 572

Durney 1997, ApJ 486, 1065

Nandy, D. i in. 2011, Nature 471, 80



gdzie najlepiej widoczna jest aktywność Słońca?

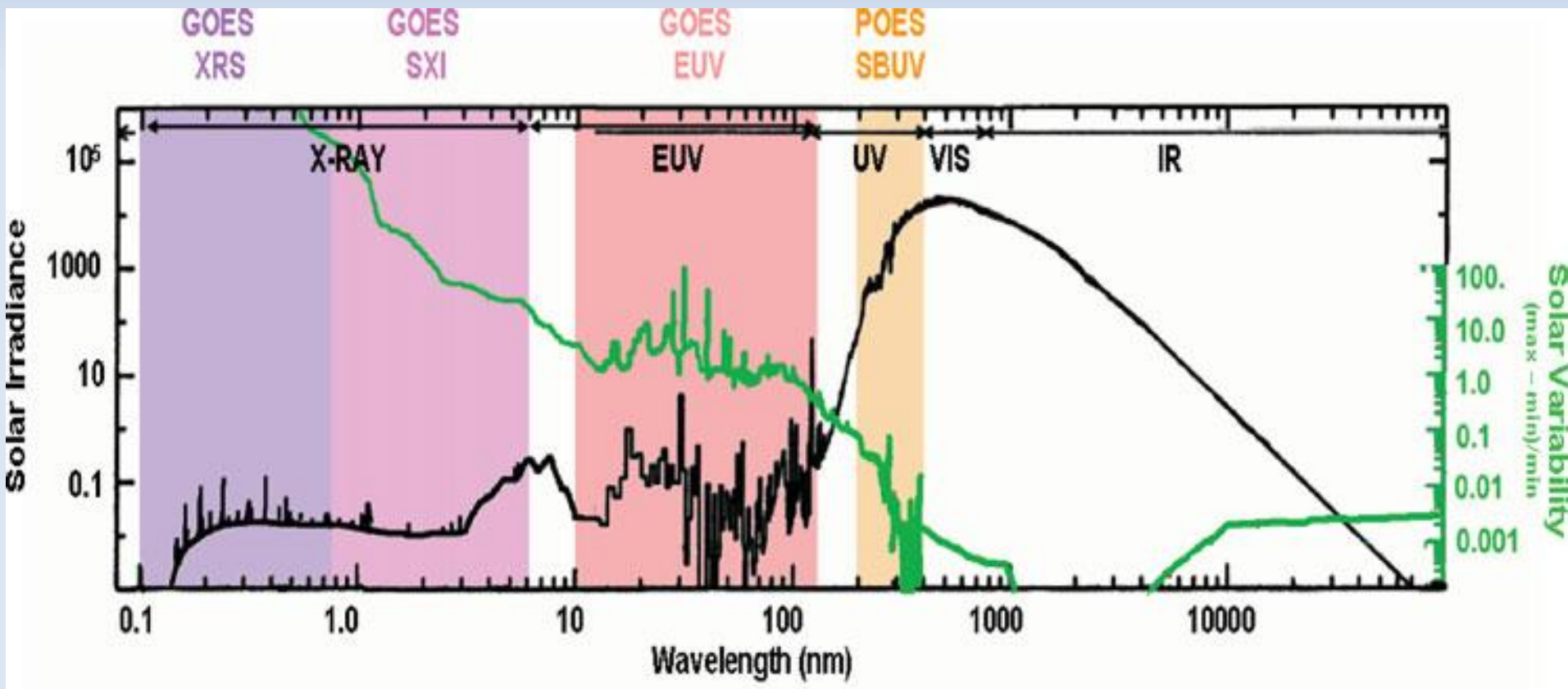


Słońce to gwiazda aktywna magnetycznie.

Aktywność ta widoczna jest w postaci dodatkowej emisji ponad emisję CDC $T=5800\text{K}$

Widmo emisji Słońca zmienia się z cyklem 11-letnim aktywności.

gdzie najlepiej widoczna jest aktywność Słońca?



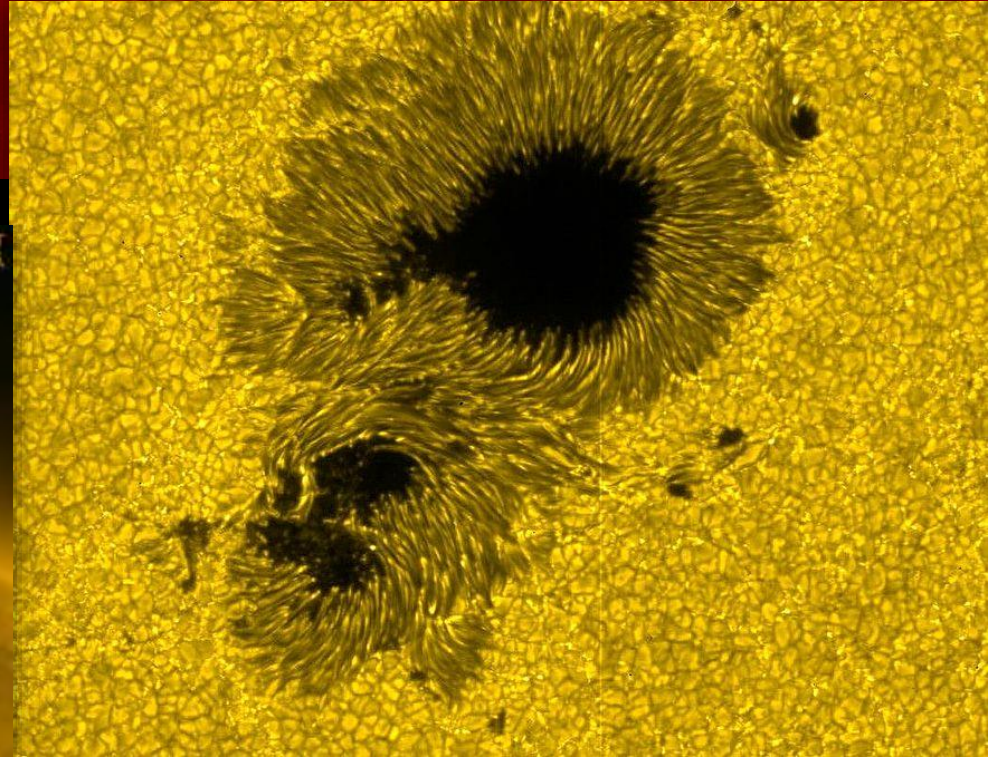
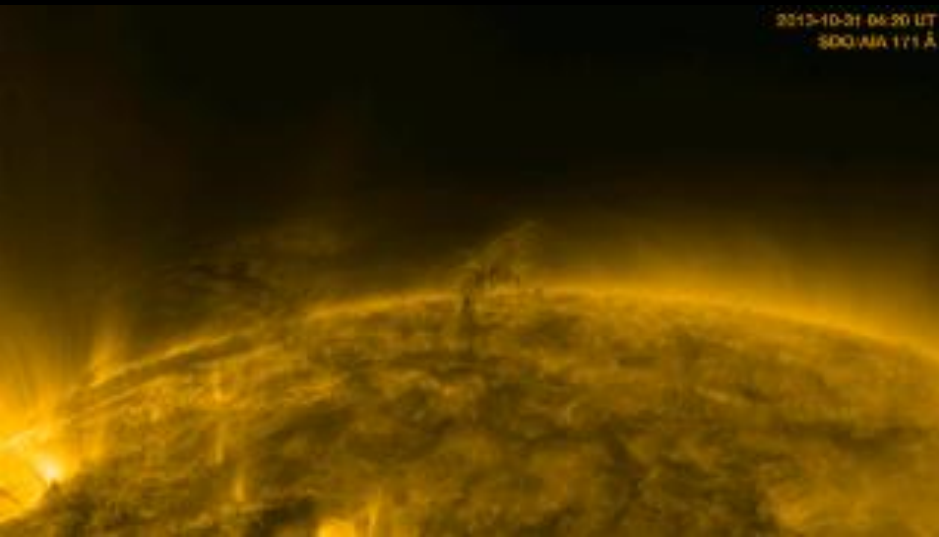
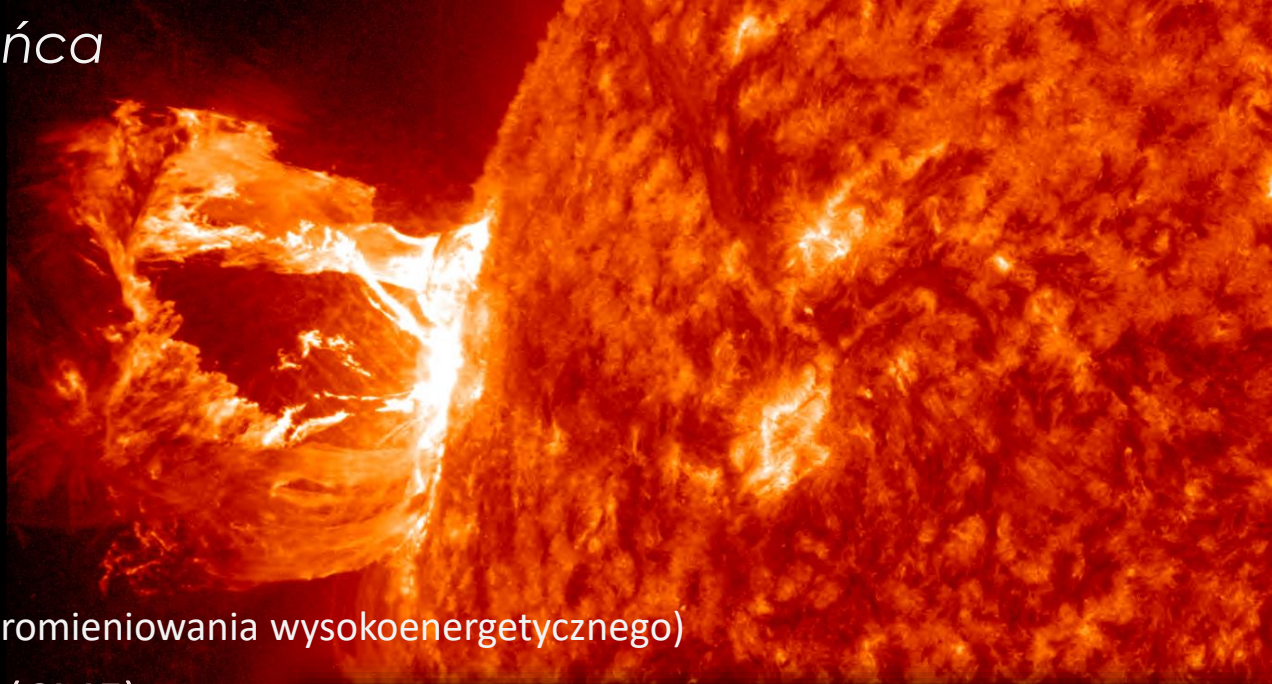
Słońce to gwiazda aktywna magnetycznie.

Aktywność ta widoczna jest w postaci dodatkowej emisji ponad emisję CDC $T=5800\text{K}$

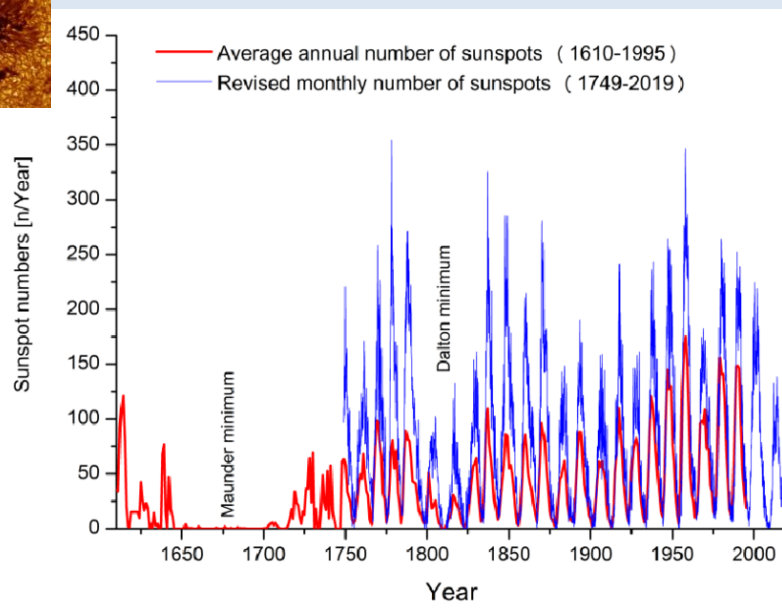
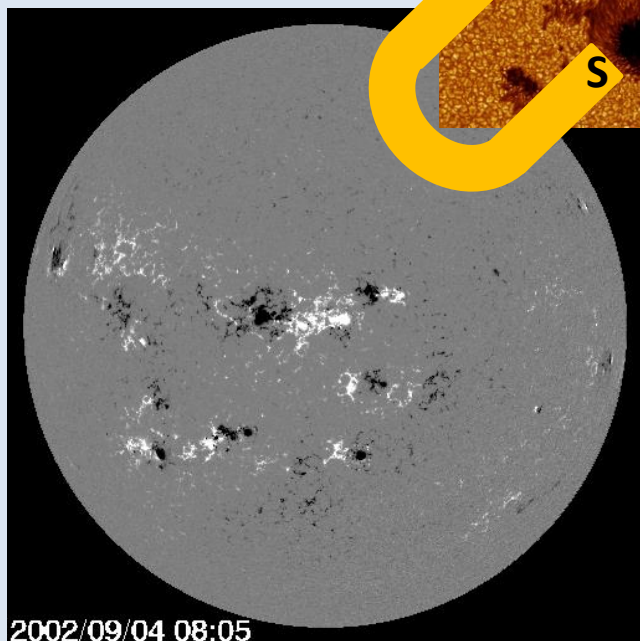
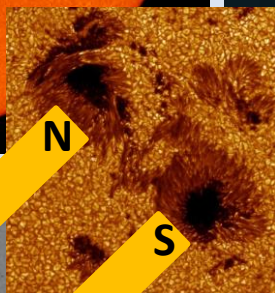
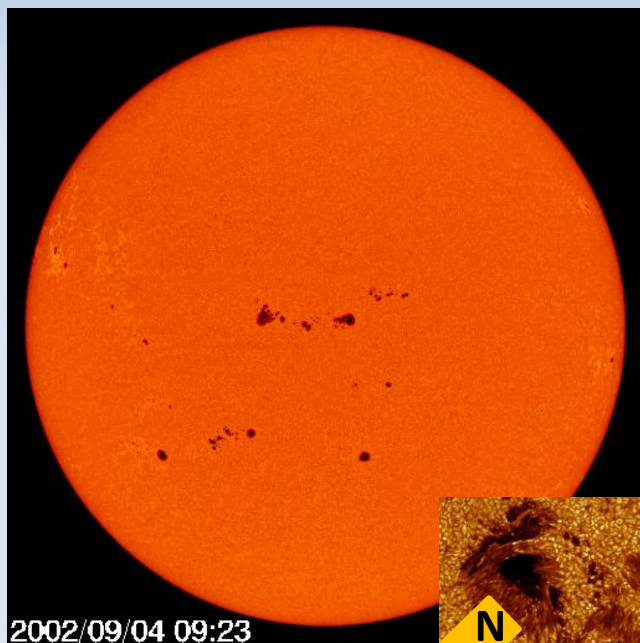
Największą zmienność Słońce przejawia w promieniowaniu wysokoenergetycznym (zielona linia na wykresie)
W tym zakresie promieniowania obserwacje zjawisk aktywnych dają najwięcej informacji

przejawy aktywności Słońca

- gorąca korona
- wiatr słoneczny
- plamy
- protuberancje
- **rozbłyski**
(źródło najintensywniejszego promieniowania wysokoenergetycznego)
- koronalne wyrzuty masy (CME)
- erupcje
- wysokoenergetyczne cząstki (SEP)



gdzie tworzą się rozbłyski słoneczne?



Plamy słoneczne, grupy plam

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

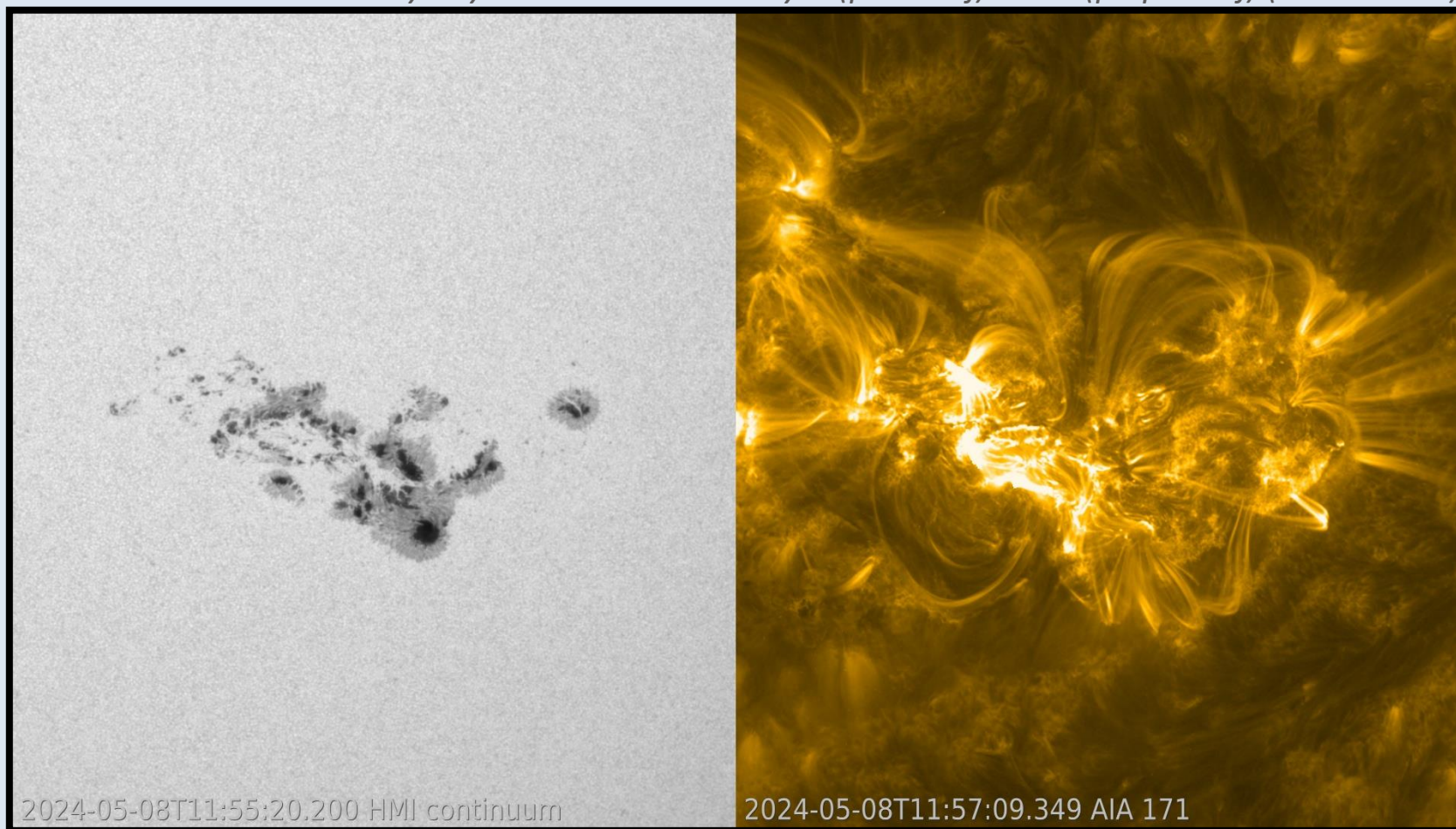
Pole magnetyczne:
do kilku tys. G

gdzie tworzą się rozbłyski słoneczne?

W atmosferze Słońca ponad grupami plam znajdują się **obszary aktywne** – przejściowo istniejące w atmosferze Słońca obszary charakteryzujące się silnym polem magnetycznym o złożonej konfiguracji. Ich wygląd zależy od zakresu obserwowanych fal elektromagnetycznych (przyczyna: duży rozrzut temperatur).

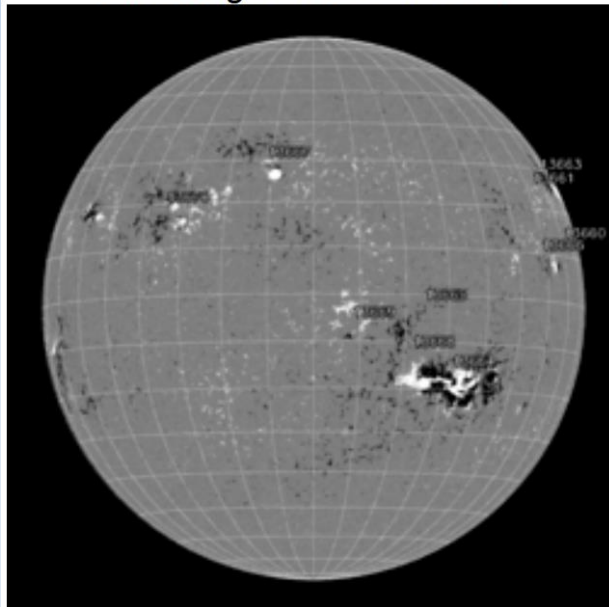
Pojawiają się w tu różnego rodzaju zjawiska dynamiczne takie jak rozbłyski czy CME, które czerpią energię z pola mag.

Obszar aktywny w zakresie widzialnym (po lewej) i EUV (po prawej) (dane z SDO)

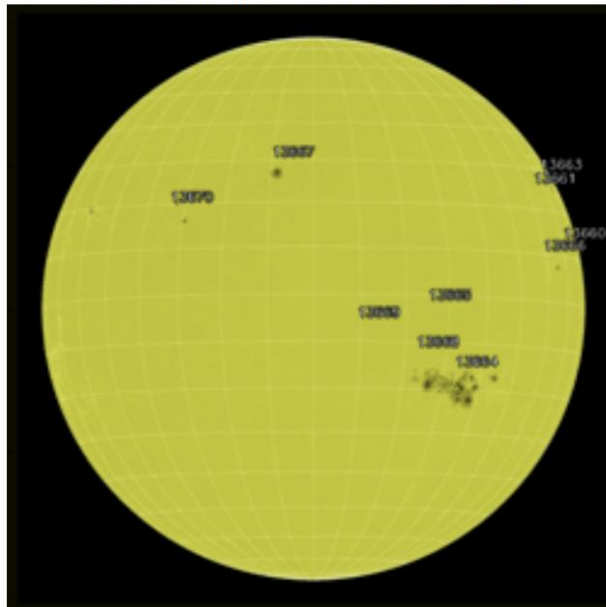


gdzie tworzą się rozbłyски słoneczne?

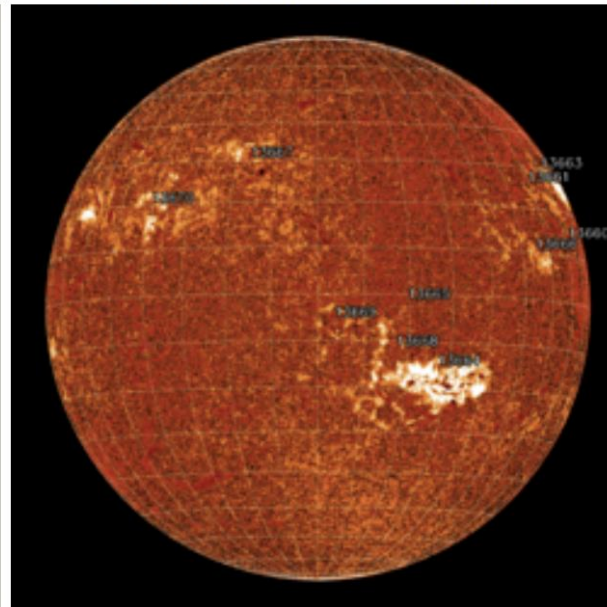
HMI Mag 20240509 21:58



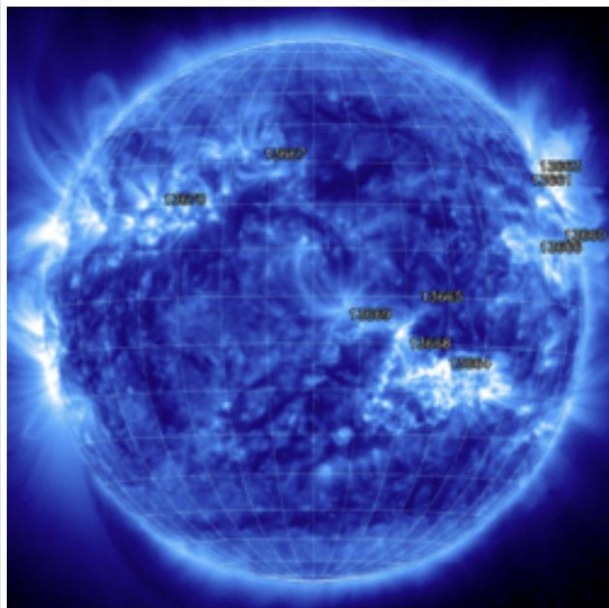
HMI 6173Å 20240509 22:46



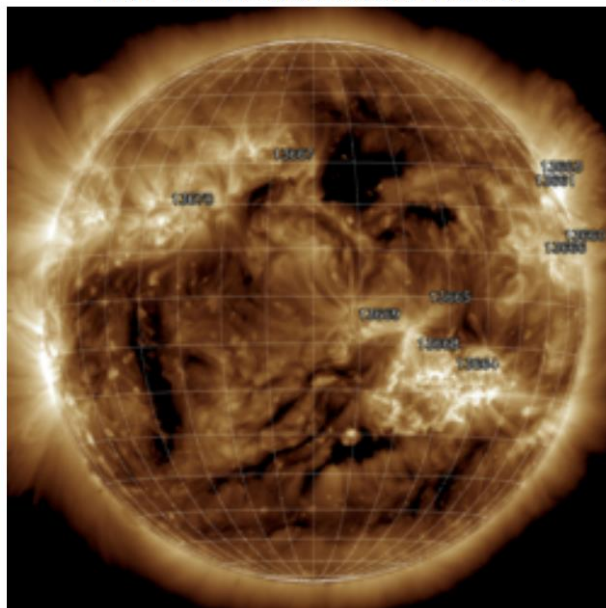
GHN H α 20240509 13:43



SWAP 174Å 20240509 19:49



AIA 193Å 20240509 23:25



XRT 20240509 06:03

