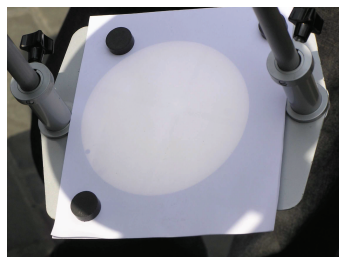


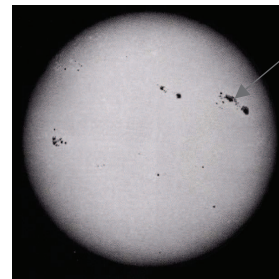
Słońce – obserwacje amatorskie tarczy

Nigdy nie patrz na Słońce przez teleskop – grozi to utratą wzroku!

Sposób obserwacji tarczy słonecznej



Tarcza Słońca



Widoczna tarcza Słońca to fotosfera – warstwa o grubości około 500km, z której promieniowanie opuszcza Słońce, jest to warstwa częściowo przezroczysta.

Na tarczy Słońca można zobaczyć plamy – obszary ciemniejsze niż średnia jasność tarczy. Plamy na Słońcu zobaczył za pomocą lunety Galileusz 400 lat temu (Międzynarodowy Rok Astronomii)

3

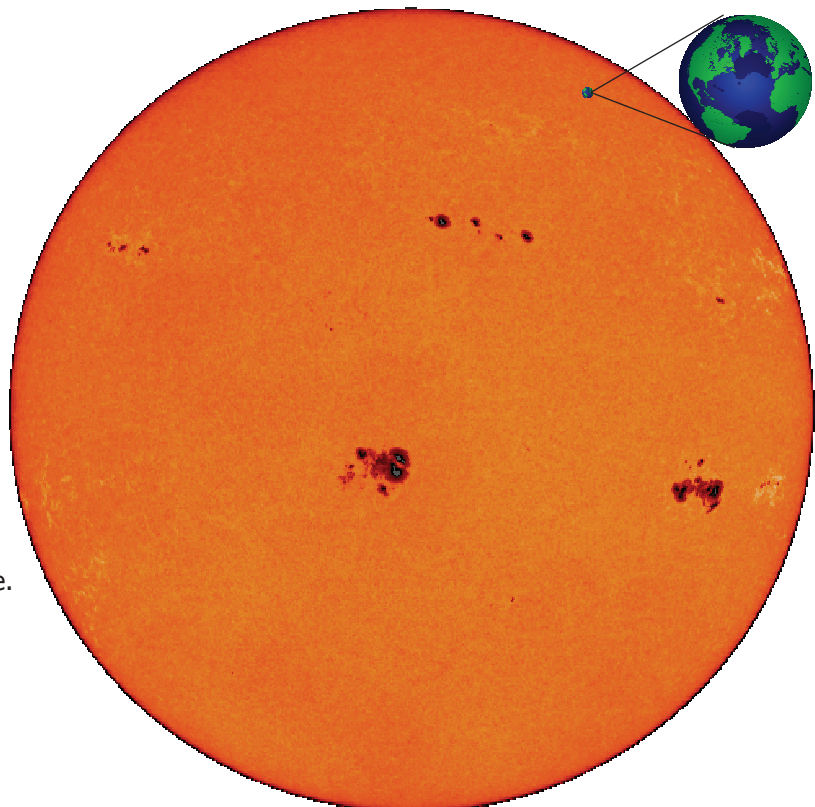
Słońce

$$\bullet M_{\odot} \approx 333\,000 M_{\oplus}$$

$$\bullet R_{\odot} \approx 109 R_{\oplus}$$

Masa Słońca całkowicie determinuje masę Układu Słonecznego. Barycentrum leży praktycznie w środku Słońca.

W tej skali widać jak duże jest Słońce. Zwróć uwagę na rozmiary plam w stosunku do rozmiarów Ziemi



4

Słońce

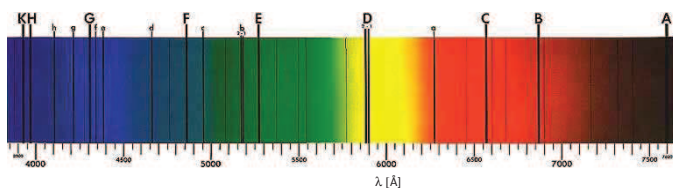
- Masa: $1.989 \cdot 10^{30}$ kg ($\sim 2 \cdot 10^{30}$ kg) $M_{\odot} \approx 333\,000 M_{\oplus}$
- Średnica: 1 392 000 km (~ 1.4 mln km) $R_{\odot} \approx 109 R_{\oplus}$
- Ciężenie na powierzchni 273.95 m/s² (27.9 g)
- Średnica kątowna: $\approx 32'$
- Okres obrotu na równiku : 25.38 dnia
- Nachylenie równika do ekliptyki 7.5°
- $m_{\text{obs}} = -26^{\text{mag}}$
- $M_{\text{abs}} = 4.96^{\text{mag}}$
- Typ widmowy: G2
- Natężenie światła: $3.02 \cdot 10^{27}$ cd
- Moc promieniowania: $3.82 \cdot 10^{26}$ W
- Temperatura powierzchni: 5810 K,
- Temperatura efektywna $T_{\text{eff}} = 5780$ K
- Stała słoneczna poza atmosferą: 1360 W·m⁻²

5

Słońce

Typ widmowy: G2

Skład chemiczny fotosfery:



Widmo Słońca w zakresie optycznym.
Ciemne linie to linie absorpcyjne – linie Fraunhofera

wodór	73.46 %
hel	24.85 %
tlen	0.77 %
węgiel	0.29 %
żelazo	0.16 %
neon	0.12 %
azot	0.09 %
krzem	0.07 %
magnez	0.05 %
siarka	0.04 %

Rotacja Słońca

Nachylenie równika Słońca do ekliptyki 7.5°

Okres obrotu na równiku : 25.38 dnia

Słońce nie jest bryłą sztywną, lecz kulą złożoną z plazmy – gazu zjonizowanego.

Ruchy konwekcyjne wewnątrz Słońca w połączeniu z jego rotacją dają efekty związane z siłą Coriolisa.

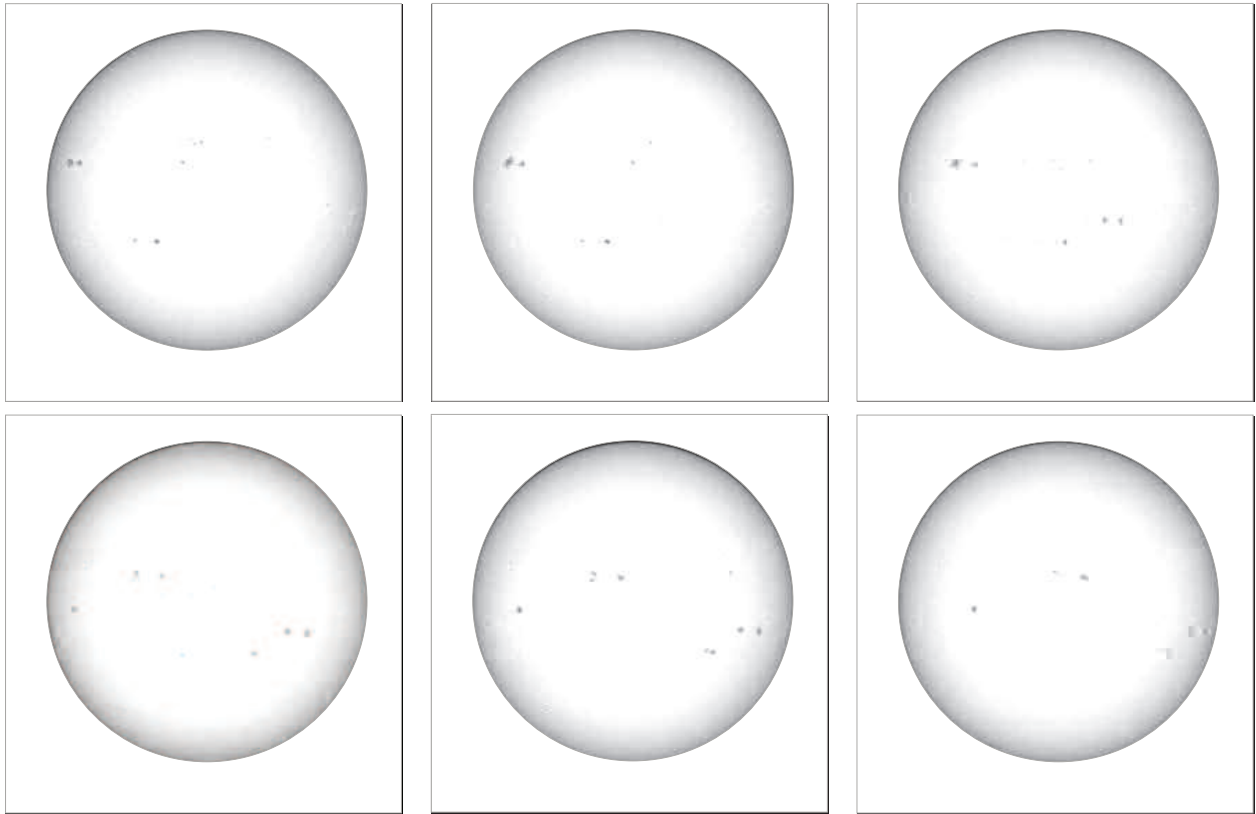
Słońce rotuje więc różnicowo, to znaczy prędkość kątowna na różnych szerokościach heliograficznych jest różna.

$$\omega = (14^{\circ}, 18 - 2^{\circ}, 7 \sin^2 \phi) / \text{dobę} \quad \text{gdzie } \phi \text{ jest szerokością heliograficzną}$$

na szerokości heliograficznej $\phi = 60^{\circ}$: $T = 29.6^{\text{d}}$ · W pobliżu bieguna $T \approx 31^{\text{d}}$

6

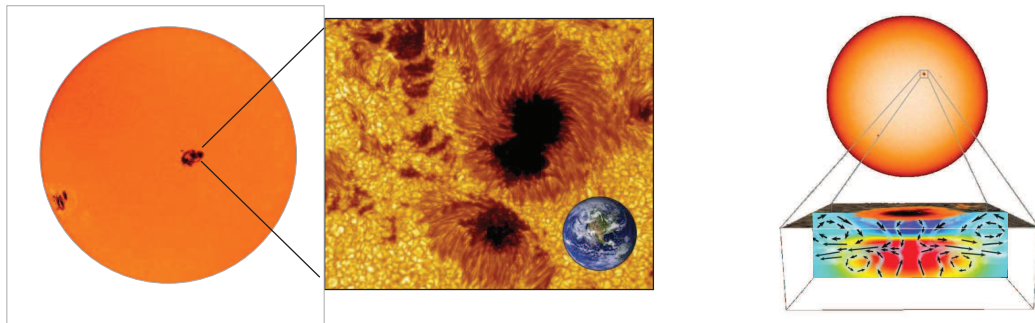
Rotacja Słońca



Zdjęcia tarczy Słońca wykonane w kolejnych dniach w momencie górowania.

7

Słońce – plamy i granule



Plama słoneczna – widoczny ciemniejszy obszar na powierzchni Słońca (fotosfera), którego cechami są temperatura niższa niż temperatura otoczenia i silne pole magnetyczne (kilka tysięcy Gs, 5000 x pole ziemskie). Mimo swej jasności kontrast z otoczeniem o wyższej temperaturze powoduje, że plamy słoneczne mają kolor czarny. Średnica największych plam dochodzi do 30 000 km.

Temperatura powierzchni: 5810K. Temperatura powierzchni plamy ~ 4500K

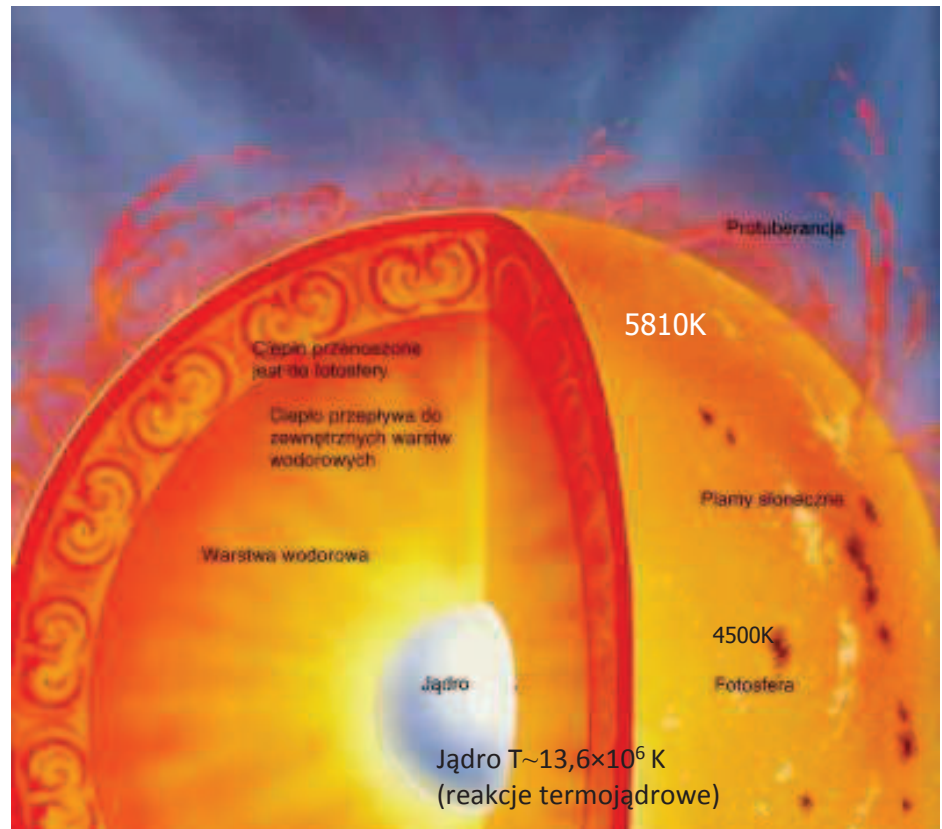
Czarny środek nazywamy cieniem, otoczkę, w której widoczny jest ruch plazmy wzdłuż linii pola magnetycznego nazywamy półcieniem. Plamy zwykle występują parami. Pole magnetyczne w obszarze plam słonecznych jest bardziej intensywne niż średnie pole fotosferyczne.

Na zdjęciu widać charakterystyczną cechę fotosfery - ziarnistość jej struktury, czyli granulacja. Czas życia pojedynczej granuli trwa ok. 10 minut. Granulacja następuje dlatego, że materia wynoszona z gorętszej warstwy konwekcyjnej bardzo szybko traci energię na rzecz promieniowania.

8

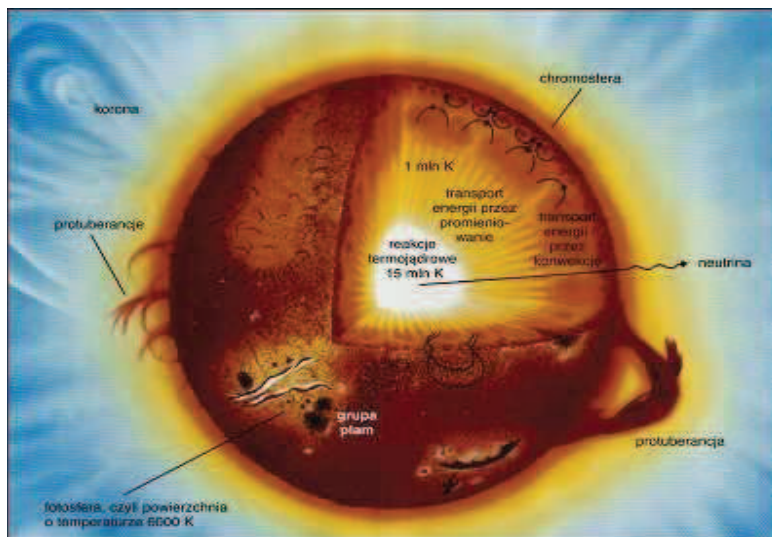
Budowa wewnętrzna Słońca

- Jądro (reakcje termojądrowe)
- Strefa promienistego transportu energii
- Strefa konwektywna
- Fotosfera (powierzchnia widoczna okiem)
- Chromosfera (protuberancje)
- Korona Słoneczna (widoczna podczas zaćmienia)

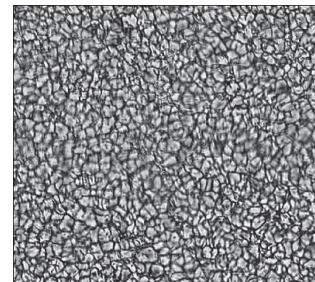


9

Słońce

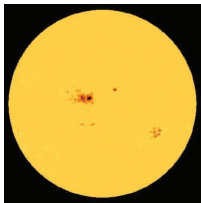
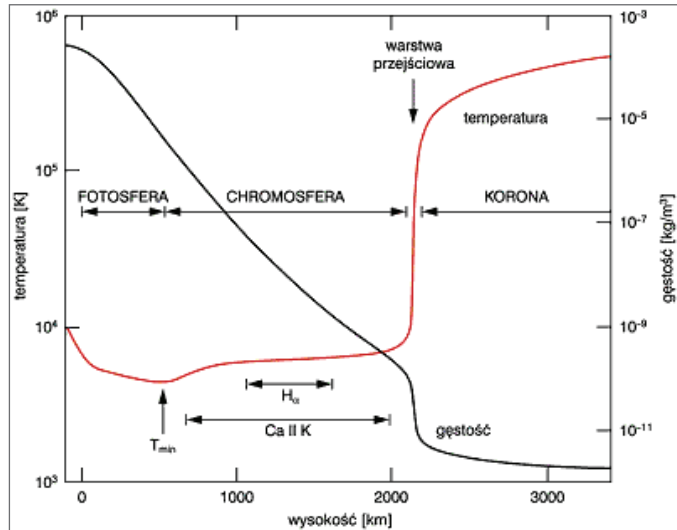
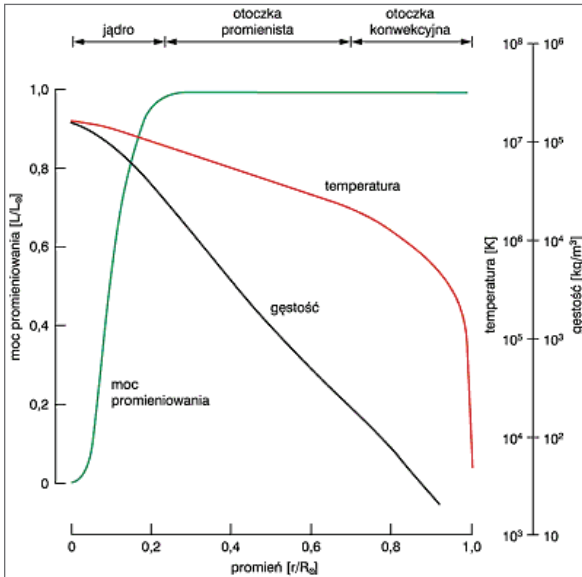


CATANIA ASTROPHYSICAL OBSERVATORY
1998 DEC 22 U.T. 10:21:40 PHOTOSPHERE
Group:00 Spot:01 Wolf number:101

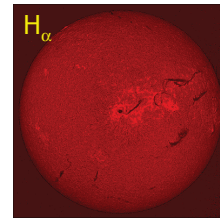
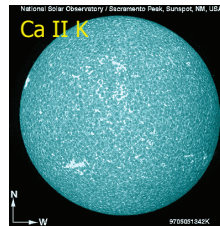


10

Słońce



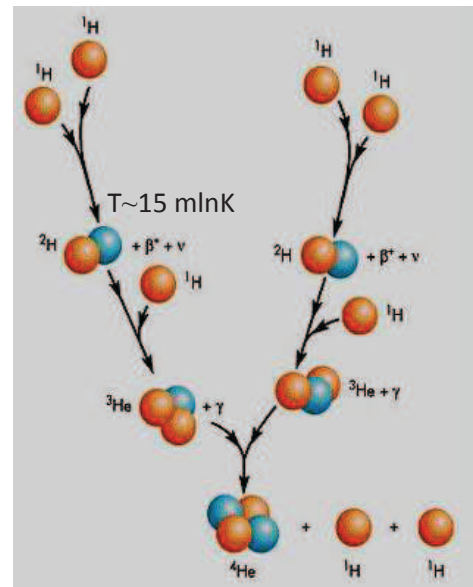
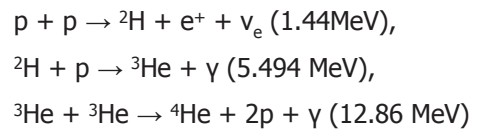
Słońce w świetle żółtym



Zdjęcia Słońca wykonane z użyciem filtra przepuszczającego światło dla długości fali odpowiadającej linii H α wodoru i linii K zjonizowanego wapnia (Ca II K)

Źródło energii Słonecznej

- We wnętrzu Słońca gęstości osiąga $1.5 \cdot 10^5 \text{ kg/m}^3$ (150 razy więcej niż gęstości wody na Ziemi) a temperatura jest bliska 14 mln K.
- Wysoka temperatura i gęstość umożliwiają zachodzenie reakcji jądrowych.
- W ich wyniku 4 jądra wodoru łączą się tworząc atom helu.
- Różnica mas przed i po reakcji zgodnie z wzorem $E=mc^2$ uwalniana jest jako wysoko energetyczne promieniowanie gamma (19.8MeV na reakcję)
- Promieniowanie to jest wielokrotnie pochłaniane i reemitowane w czasie drogi ku powierzchni Słońca



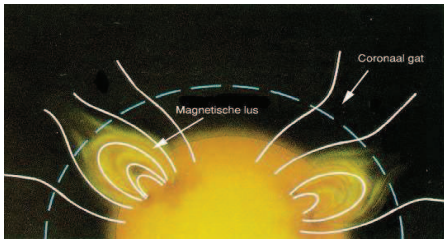
Moc promieniowania Słońca $L_{\odot} = 3.82 \cdot 10^{26} \text{ W}$

gdyby Słońce składało się z węgla i tlenu w stosunku stechiometrycznym ($c_s = 3.4 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$) to wystarczyłoby go na 1410 lat

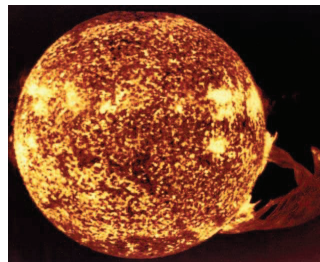
Słońce traci $L_{\odot} / c^2 = 4.24 \cdot 10^9 \text{ kg/s}$, $\Leftrightarrow 2 \cdot 10^{-21} M_{\odot}/s \Leftrightarrow 6.3 \cdot 10^{-14} M_{\odot}/\text{rok}$

Chromosfera

Cienka warstwa ponad fotosferą. Prawie przezroczysta. Temperatura wzrasta od 4300K do 25 000 K. W tej warstwie zachodzą wybuchy: protuberancje, pochodnie - kompleksu zjawisk zwanym obszarem aktywnym.



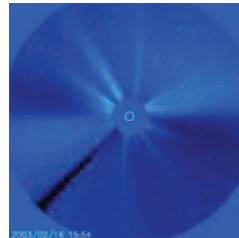
Flara (Pochodnia)



Protuberancja

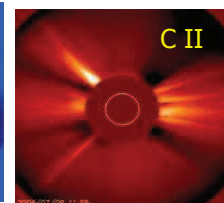
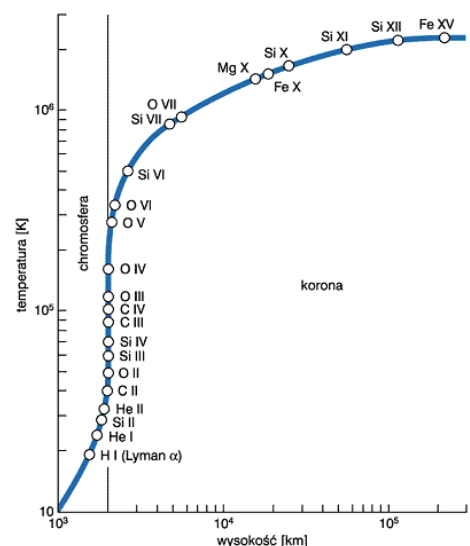
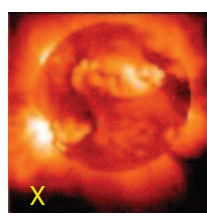
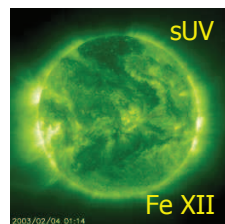
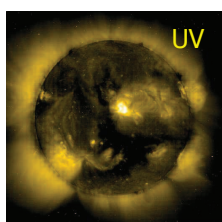
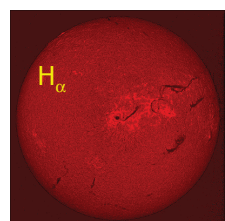
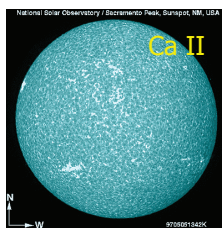
Korona

Bardzo rzadki i gorący gaz otaczający Słońce do odległości kilku milionów km. Temperatura korony sięga 2 mln K. Widoczna podczas zaćmień i za pomocą koronografu



13

Słońce



Obraz Słońca w różnych obszarach widma e-m
(Obraz Słońca w różnych warstwach zewnętrznych)

Korona słoneczna w różnych filtrach

14

Pole magnetyczne Słońca

Cały kompleks procesów fizycznych zaangażowanych w generację pól magnetycznych na Słońcu nazywamy dynamem słonecznym. Dynamo słoneczne jest ulokowane w obszarze o grubości około 20 000 km, u podstawy warstwy konwektywnej, 180 000 km pod fotosferą.

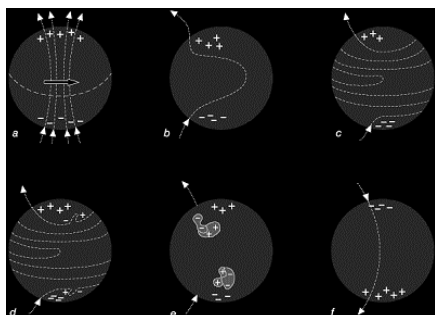
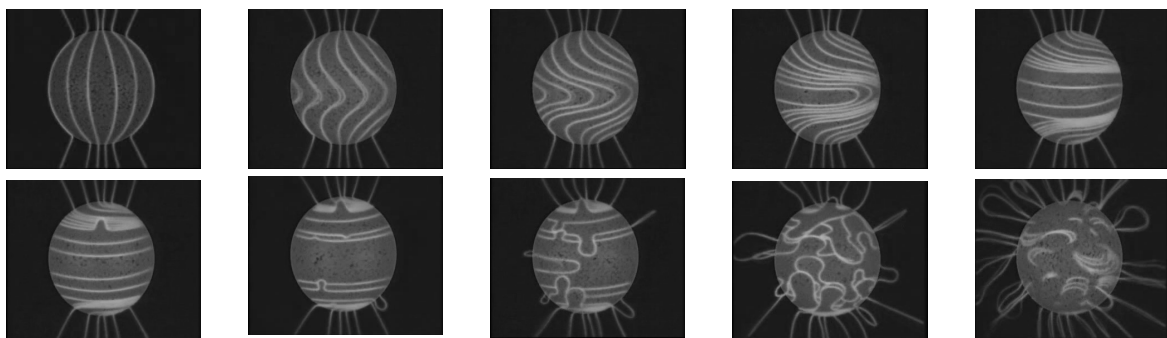
Plazma słoneczna jest bardzo dobrym przewodnikiem prądu, jej przewodnictwo jest większe niż przewodnictwo miedzi! W takim ośrodku zachodzi zjawisko wmrózenia pola magnetycznego. Mechanizm tego zjawiska jest niezwykle prosty: każdy ruch pola względem plazmy (lub plazmy względem pola) jest ruchem świetnego przewodnika w polu magnetycznym. Generowane w tym procesie jest takie nowe pole magnetyczne, że niweluje wszelkie skutki ruchów względnych plazmy i pierwotnego pola magnetycznego. Jeżeli więc plazma jest stosunkowo gęsta a pole względnie słabe, to każde przemieszczenie plazmy będzie generowało takie pole magnetyczne, by pociągnąć za sobą pole pierwotne, a więc by "wlec" za plazmą pole magnetyczne tak jak kawałek lodu ciągnie za sobą wmrózony w niego sznurek. Gdy natomiast pole magnetyczne jest względnie silne a plazma rzadka, to ruchy pola magnetycznego powodują przemieszczanie plazmy.

Rotacja różnicowa Słońca musi powodować ewolucję pola od pola dipolowego (jak pole Ziemi) do pola toroidalnego.

Wygenerowane toroidalne pole magnetyczne (czyli pole o liniach sił niemal równoległych do równoleżników słonecznych) stopniowo wypływa ku powierzchni Słońca, wywołując we wszystkich warstwach plazmy, od warstwy konwektywnej po koronę słoneczną ogromne bogactwo zjawisk określanych zbiorczą nazwą aktywności słonecznej.

15

Aktywność magnetyczna Słońca



Ewolucja pola magnetycznego Słońca w cyklu.

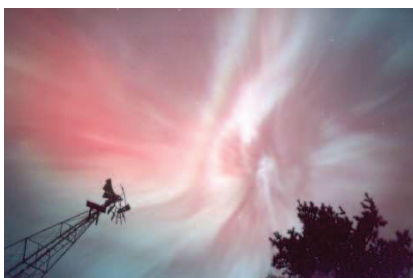
Zmiany pola magnetycznego Słońca zachodzą w cyklach 11 lat.

Zespół zjawisk spowodowanych zmianami pola magnetycznego nazywamy aktywnością słoneczną

16

Aktywność słoneczna

- Zjawiska związane ze zmianami aktywności słonecznej spowodowane są zmianami pola magnetycznego Słońca w cyklach 11 lat.
- Przejawy aktywności:
 - plamy,
 - protuberancje,
 - rozbłyski, (prom. Korpuskularne i radiowe)
 - zmiany w wyglądzie korony
 - koronalne wyrzuty masy
 - i inne
- Wzmożona aktywność Słońca ma wpływ na pole magnetyczne Ziemi



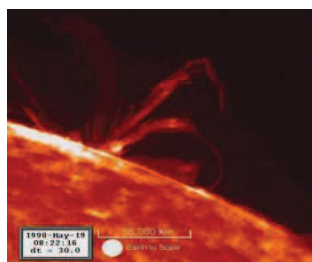
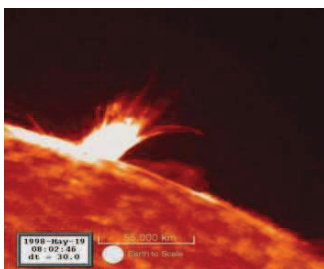
Zorza polarna



Awaria sieci elektrycznej spowodowana burzą magnetyczną

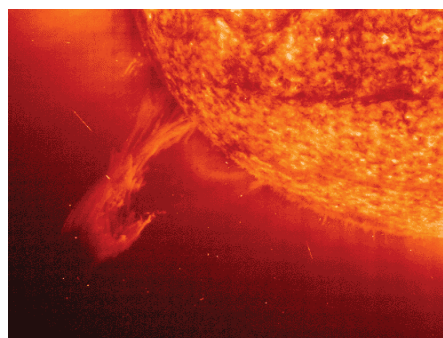
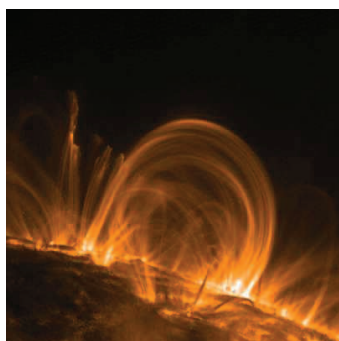
17

Aktywność magnetyczna Słońca



Flary mają rozmiary do 100 tys km.
Flara uwalnia energię 10^{22} - 10^{25} J
(dla porównania bomba 1 megatonowa uwalnia tylko 10^{16} J)

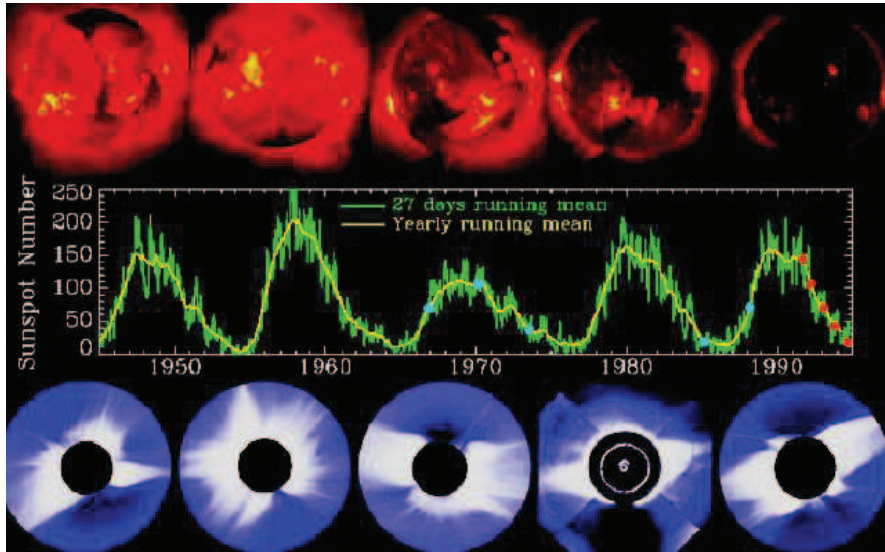
Ewolucja flary (pochodni)



Protuberancje

18

Zmiany aktywności Słonecznej



Rejony
aktywne

Liczba plam

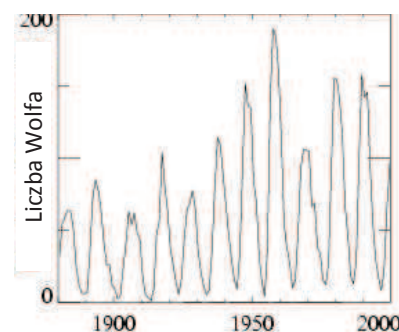
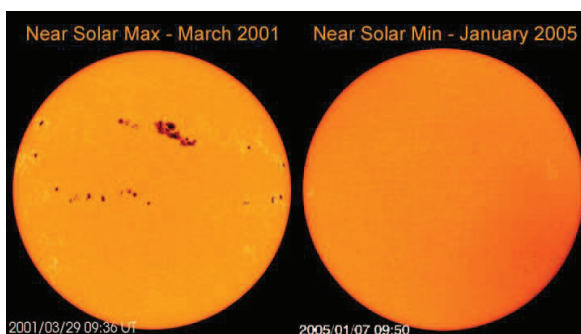
Korona

Obserwowana ilość plam na powierzchni Słońca zmienia się w czasie. Stare plamy rozpadają się, a nowe formują. Czas życia plamy to okres od kilku dni do kilku miesięcy. Dotychczasowe obserwacje wskazują, że ilość plam zmienia się cyklicznie z okresem ~ 11 lat. Okresy maksimum aktywności (dziesiątki plam) przeplatane są z okresami minimum, kiedy plamy nie występują. Z liczbą plam skorelowane są inne zjawiska na Słońcu wiązane w pojęcie aktywności słonecznej.

19

Cykliczne zmiany aktywności Słonecznej

Liczba Wolfa $W = 10g+p$ (g-grupy, p-plamy)



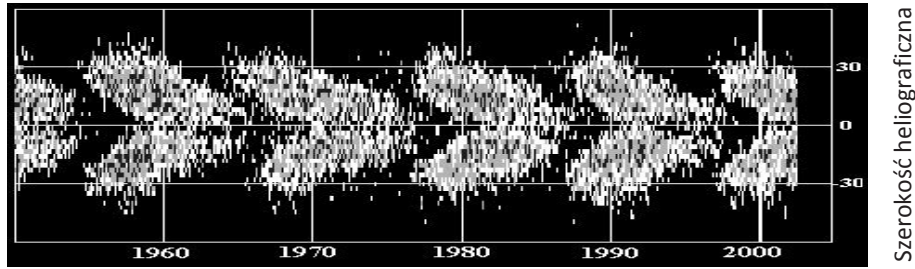
Liczba Wolfa jest miarą aktywności Słońca, łatwą do pomiaru nawet w warunkach amatorskich.

Czasami zamiast liczby Wolfa podaje się tylko p (liczbę plam) a czasami oba pojęcia używane są zamiennie. Należy uważnie czytać opisy.

Oczywiście liczba Wolfa wykazuje periodyczność zgodną ze zmianami pola magnetycznego Słońca w cyklach 11 lat. Okres największej aktywności w czasie cyklu nosi nazwę Słonecznego Maksimum, a okres najniższej aktywności to Słoneczne Minimum.

20

Cykliczne zmiany aktywności Słonecznej



Wykres motylkowy pozycji plam

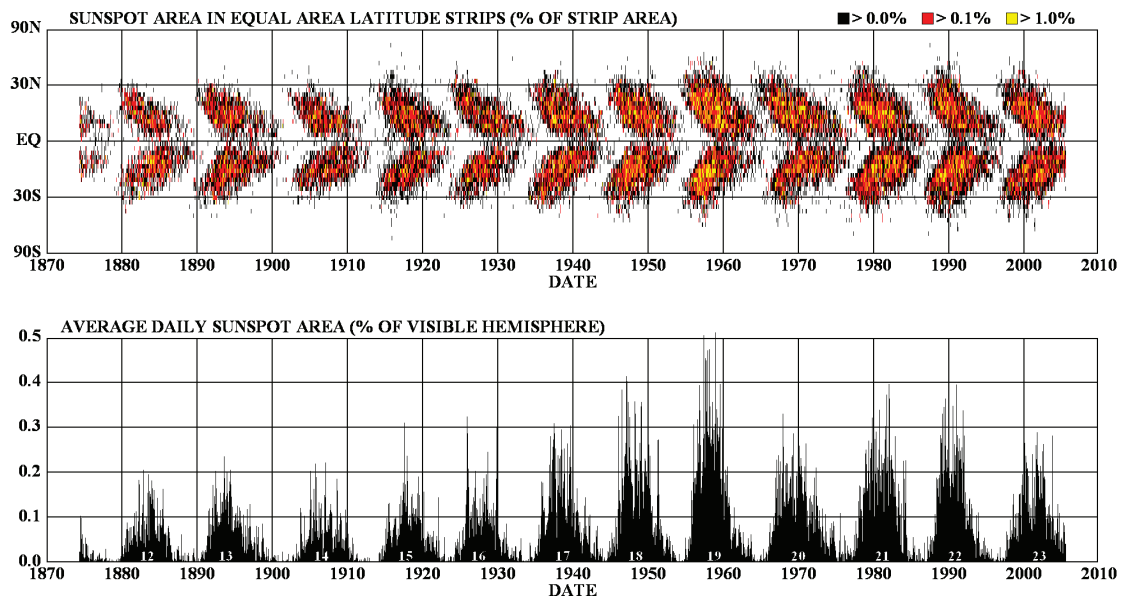
Wykres obrazujący szerokość heliograficzną pojawiającej się plamy w funkcji czasu. Jedna kropka to jedna plama. (*Czas życia plamy może dochodzić do kilku tygodni a jej kształt i pozycja mogą się zmieniać*).

Innymi słowy wykres motylkowy, to wykres przedstawiający liczebność plam na różnych szerokościach heliograficznych w miarę progresji cyklu.

Na początku cyklu, zaczynającego się w latach małej liczby plam, plamy słoneczne obserwowane są zawsze na dużych szerokościach heliograficznych, od 30° do 45° i średnia szerokość zmniejsza się w kolejnych latach cyklu osiągając okolice równoleżnika 10° podczas maksimum słonecznego i równika pod koniec cyklu. W tym okresie pojawiają się plamy nowego cyklu na dużych szerokościach heliograficznych.

21

DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS



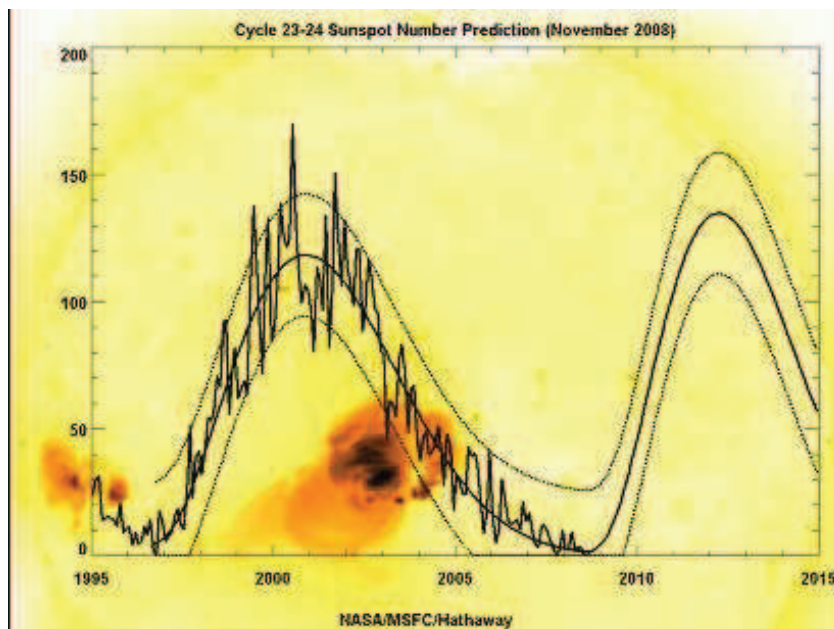
<http://science.msfc.nasa.gov/ssl/pad/solar/images/bfly.gif>

NASA/NSSTC/HATHAWAY 2005/10

22

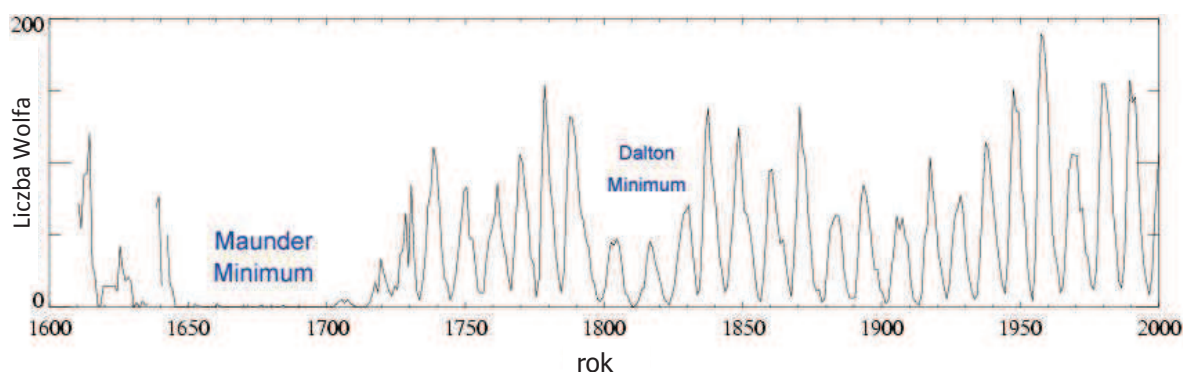
Aktualny cykl słoneczny

W 2008 r cykl słoneczny znajdował się w pobliżu minimum czyli początku kolejnego 24. cyklu słonecznego, którego maksimum jest przewidywane na 2011 - 2012 rok. W informacji podanej w dniu 1 kwietnia 2009 roku, obecny przedział czasu, w którym na Słońcu nie obserwowano plam jest bardzo długi, ostatni porównywalny z obecnym był w roku 1913. Przewiduje się, że następne maksimum aktywności słonecznej przypadnie w 2012 lub 2013 roku.



23

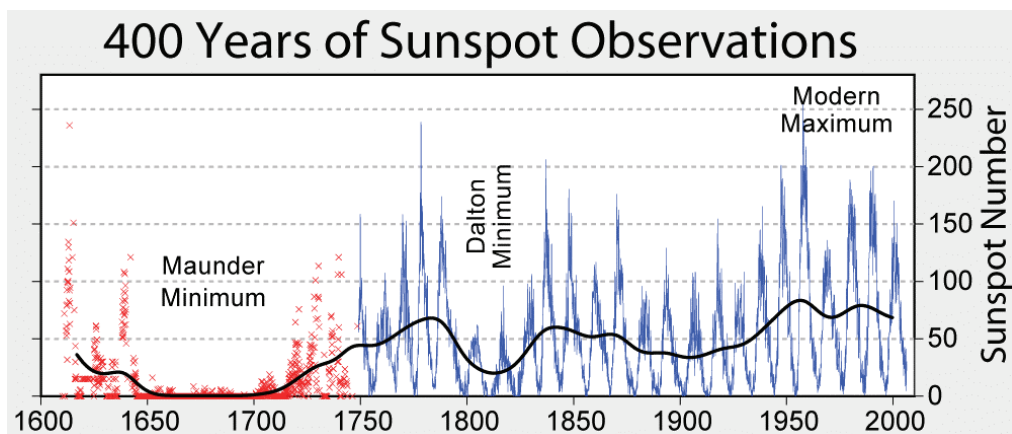
Długoczasowe zmiany aktywności słonecznej



Minimum Maundera – okres trwający od 1645 do 1717 roku, kiedy plamy słoneczne były obserwowane niezwykle rzadko. W czasie kilkudziesięciu lat minimum zaobserwowano ok. 50 plam słonecznych, podczas gdy współcześnie podczas tak długiego okresu czasu obserwuje się ok. 40 000-50 000 tych zjawisk.

Minimum Maundera zbiegło się w czasie ze środkowym i najchłodniejszym okresem tzw. małej epoki lodowej. Ponieważ okresy zwiększonej liczby plam na Słońcu są równoczesne z nieznacznym zwiększeniem wartości stałej słonecznej, klimatolodzy zastanawiają się wciąż nad związkami zakresu tych zmian ze zmianami klimatu na Ziemi.

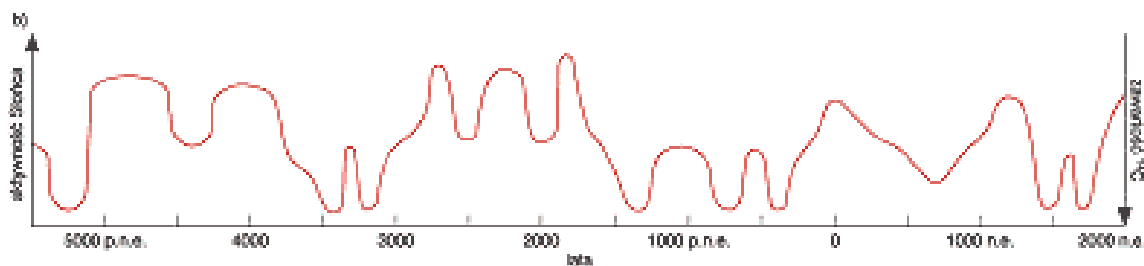
24



Minimum Maundera – (1645 – 1717), okres kiedy plamy słoneczne były obserwowane niezwykle rzadko. Minimum Daltona (1790 – 1830) to okres mniejszej liczby plam słonecznych na początku XIX wieku.

Aktualnie jesteśmy w okresie maksimum długoczasowego – rola dużej aktywności Słońca w ocieplaniu się klimatu jest niejasna.

Długoczasowe zmiany aktywności słonecznej

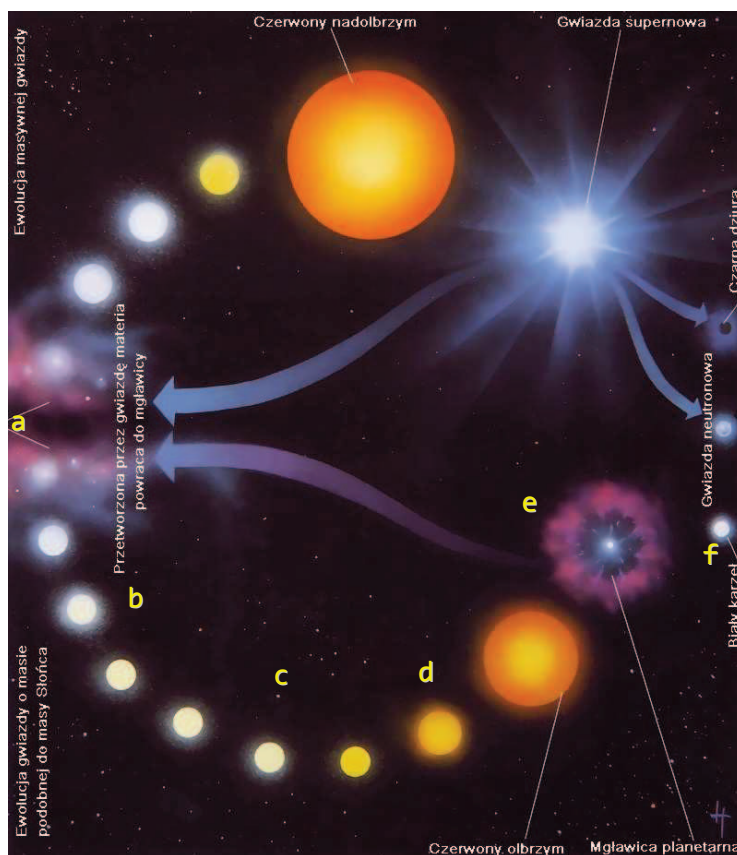


Zmiany uśrednionej aktywności słonecznej w czasie trwania cywilizacji ludzkiej

Istnienie minimum aktywności słonecznej przed Minimum Maundera to przypuszczenie wynikające z wyników pomiarów obfitości izotopu ^{14}C w słojach drzew. Okresy te nazwano minimum Spörrera (1420–1570) oraz Wolfa (przełom XIII i XIV wieku), zaś z wyników badań radiowęglowych wynikałoby, iż w ciągu ostatnich 8 tys. lat było 18 takich minimum.

Ewolucja Słońca

- Kondensacja obłoku gazowego
- Zapalenie się wodoru
- Stabilne spalanie wodoru (10 mld lat)
- Wyczerpanie się paliwa
- Odrzucenie atmosfery
- Degeneracja i stygnięcie jądra



27

Ewolucja Słońca

Przypuszcza się, że Słońce powstało około 4,6 miliarda lat temu. Po trwającym kilkadziesiąt milionów lat okresie kurczenia się obłoku międzygwiazdowego, Słońce znalazło się na ciągu głównym, to znaczy rozpoczęła się synteza helu z wodoru ("spalanie wodoru"). Przez 4,6 miliarda lat Słońce zwiększyło swój promień od 8 do 12%, oraz jasność o ok. 27%. Zawartość wodoru w jądrze młodego Słońca wynosiła ok. 73%, obecnie już tylko 40%.

Gdy zapasy wodoru wyczerpią się, co nastąpi za mniej więcej kolejne 5 mld lat, Słońce zmieni się w czerwonego olbrzyma i pochłonie kilka najbliższych planet. Po około miliardzie lat odrzuci zewnętrzne warstwy i będzie zapadało pod własnym ciężarem przeistaczając się w białego karła. Przez następne wiele miliardów lat będzie stygło, aż stanie się czarnym karłem (wszechświat jest jeszcze za młody, by istniały takie obiekty).

28