

Naša zvezda - Sunce

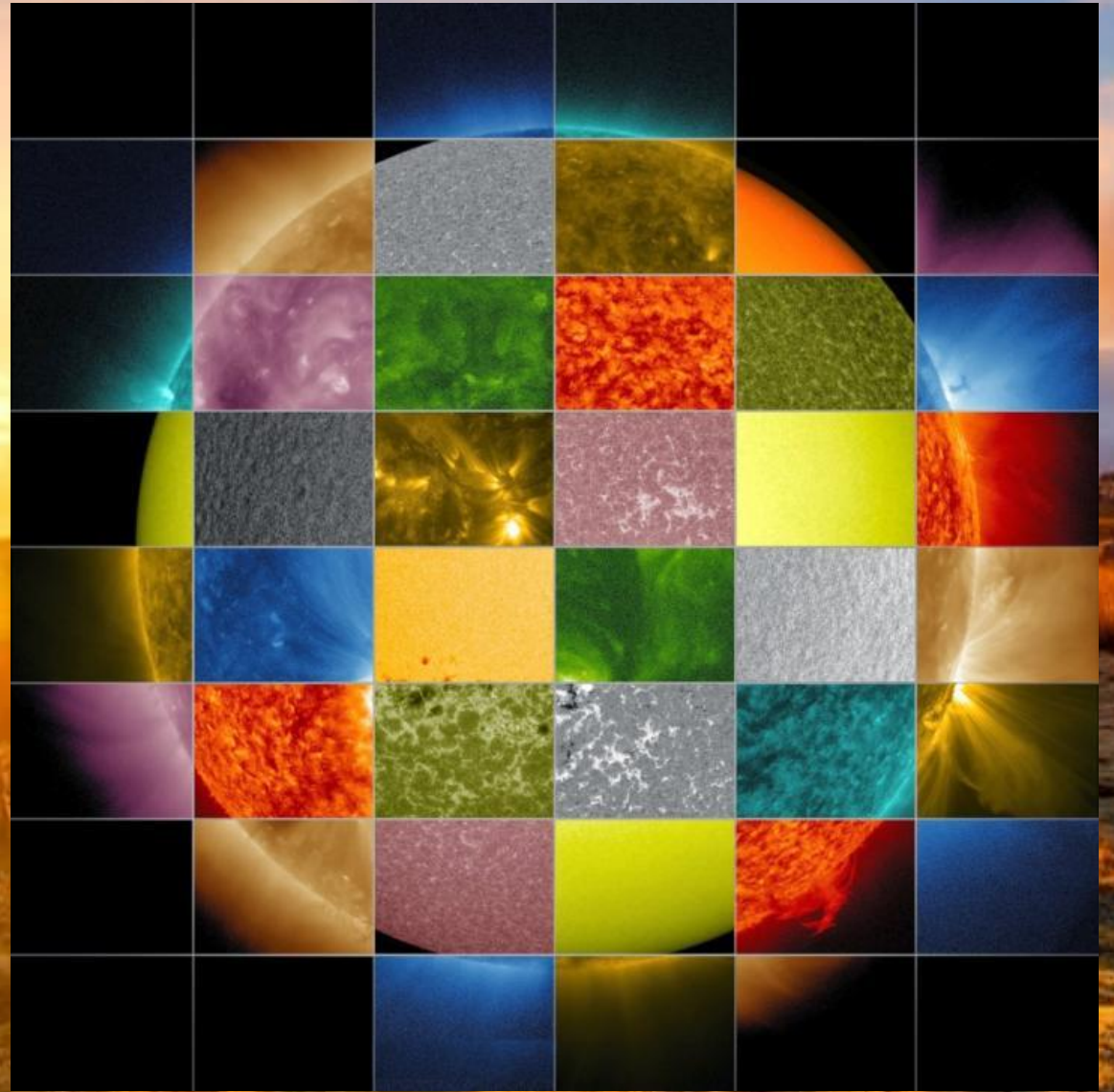
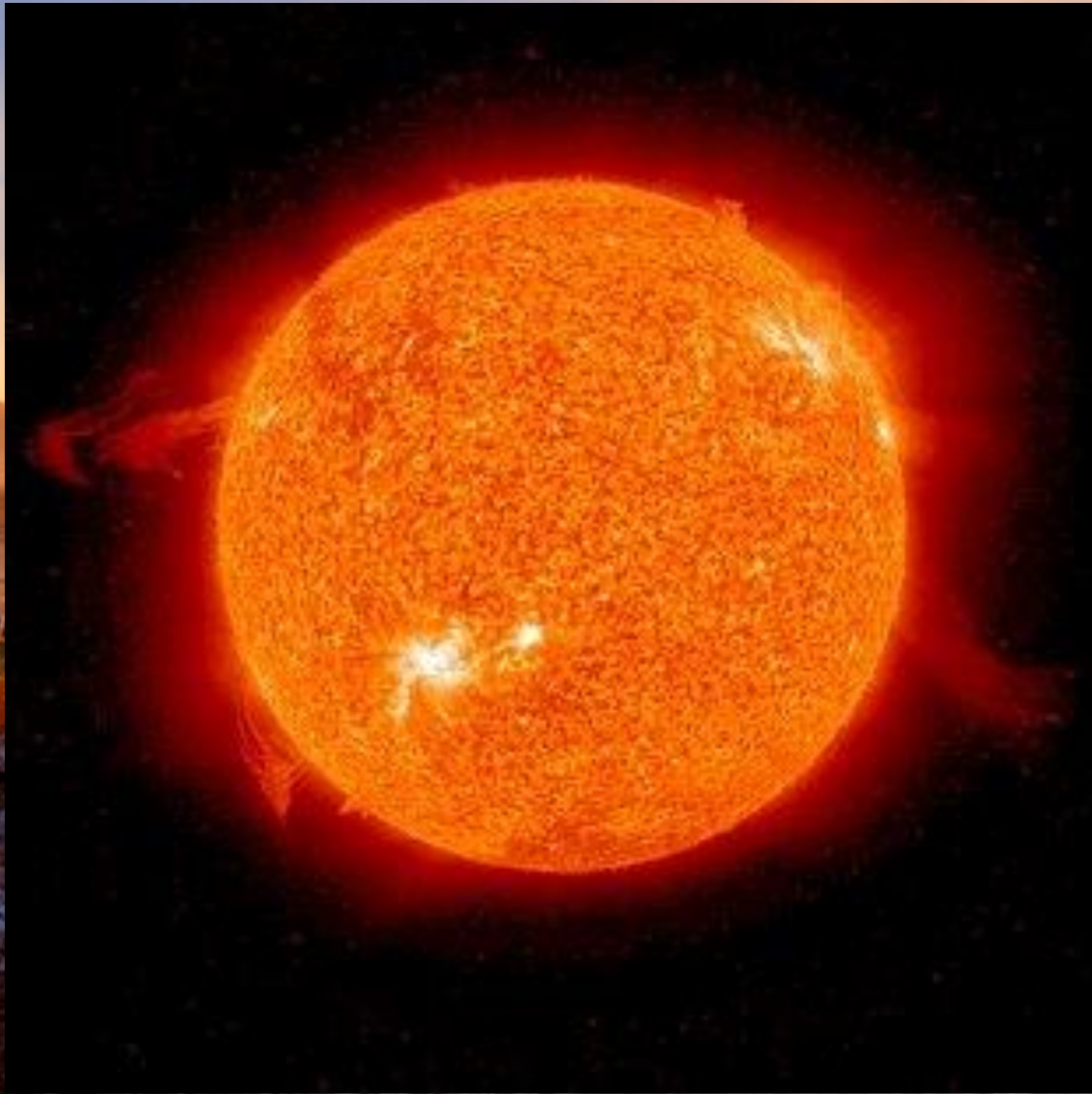
dr Milan Milošević

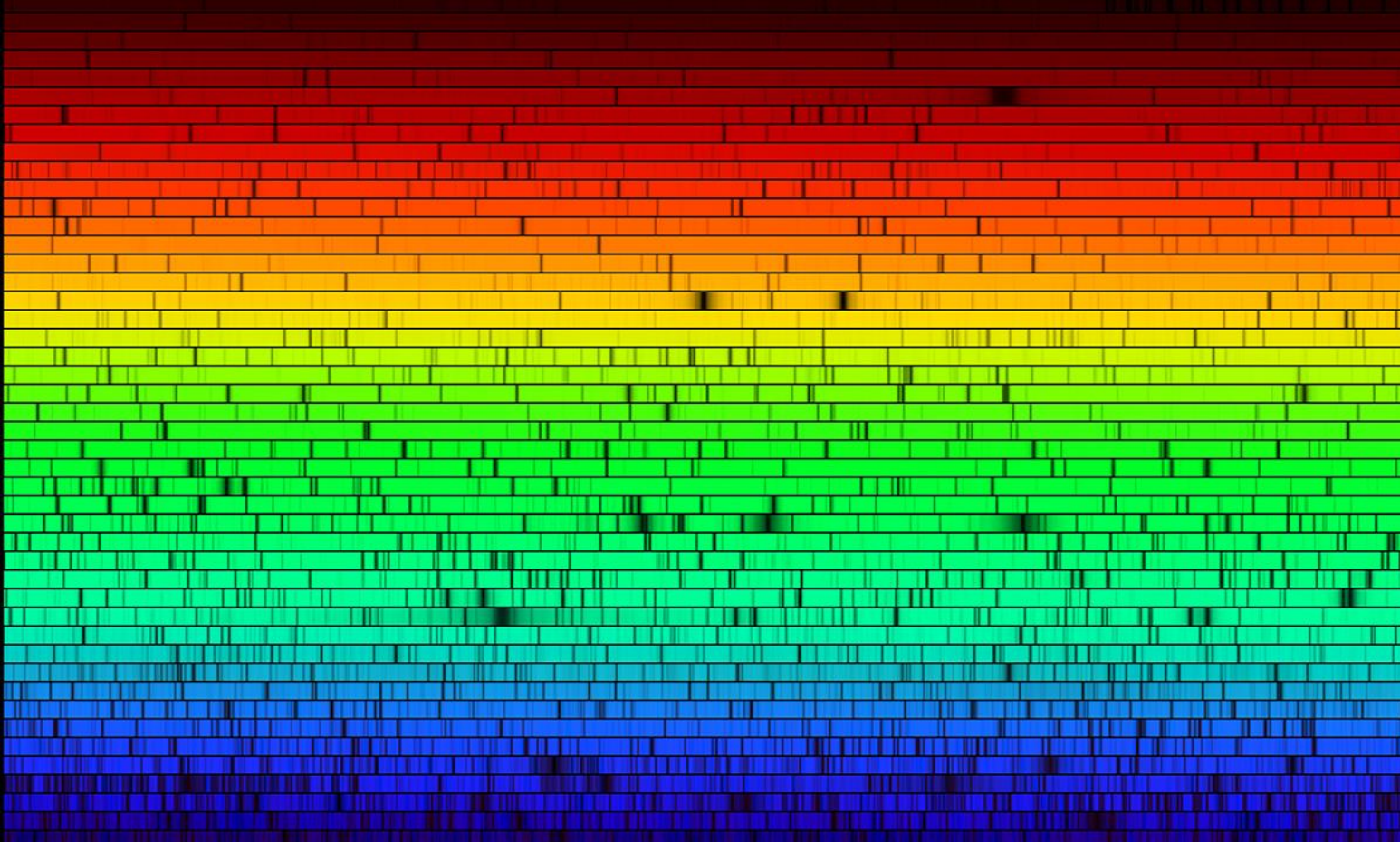
Departman za fiziku, Prirodno-matematički fakultet u Nišu

**„Najbliži svemiru – park tamnog neba Vidojevica“
Prokuplje, 6. decembar 2023.**

Deo aktivnosti AD Alfa u 2022/23. godini realizuju se u okviru projekta „Kako dohvatiti zvezde“, uz podršku Centra za promociju nauke



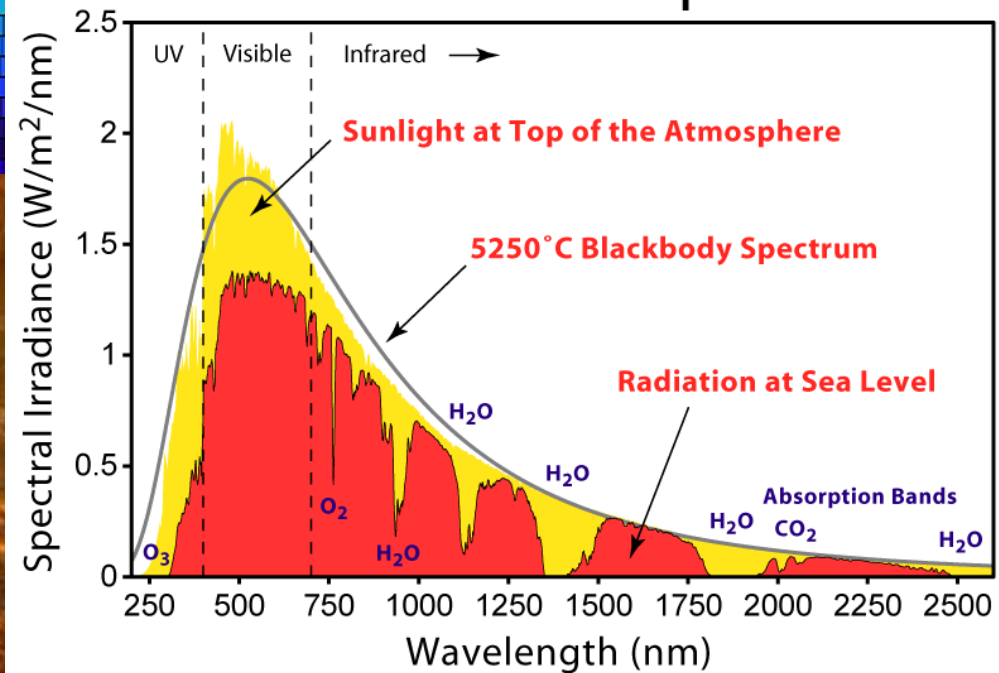




N.A.Sharp, NOAO/NSO/Kitt Peak FTS/AURA/NSF



Solar Radiation Spectrum



Gde je Sunce?

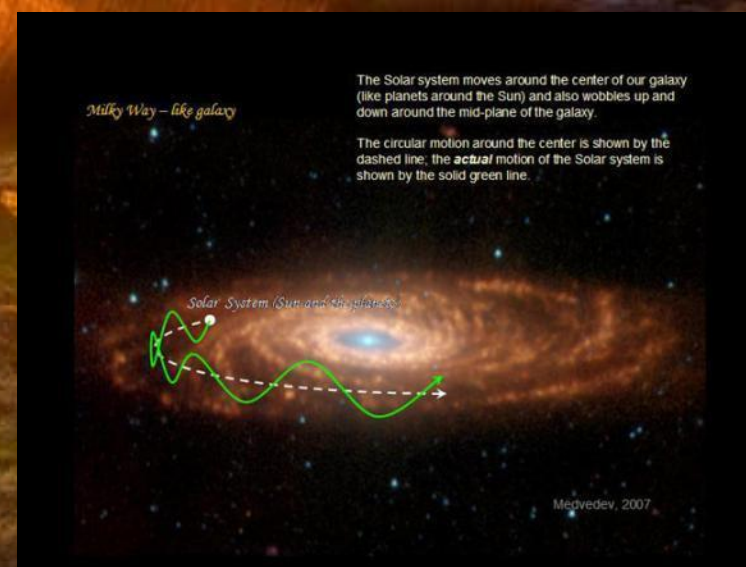
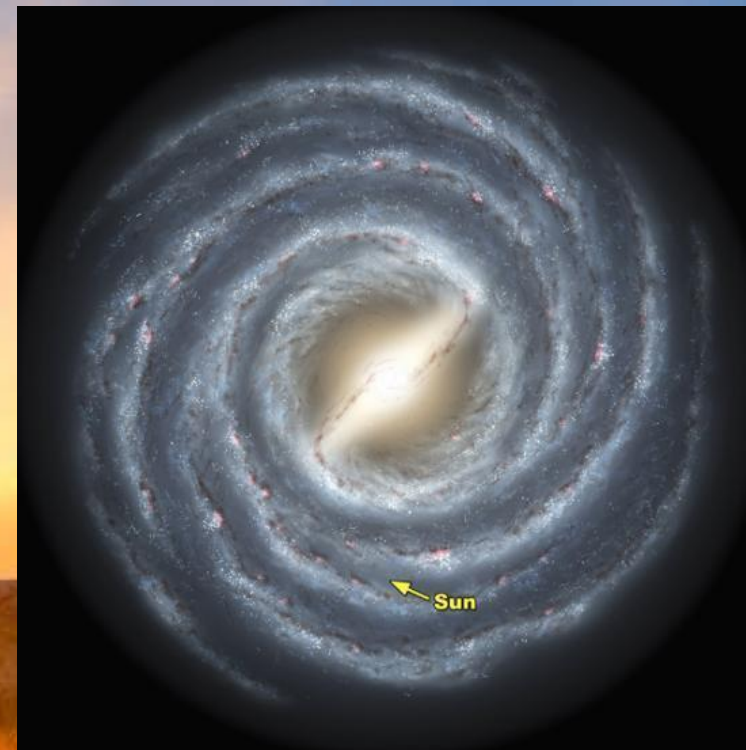


Hubble Ultra Deep Field



Mlečni put

- Galaktička ravan
- Orionov krak
- 8-10 kpc od centra (28.000 sg)
- 230 miliona godina oko galaksije
- Galaksija – 100.000 sg
- Na pravom mestu 😊

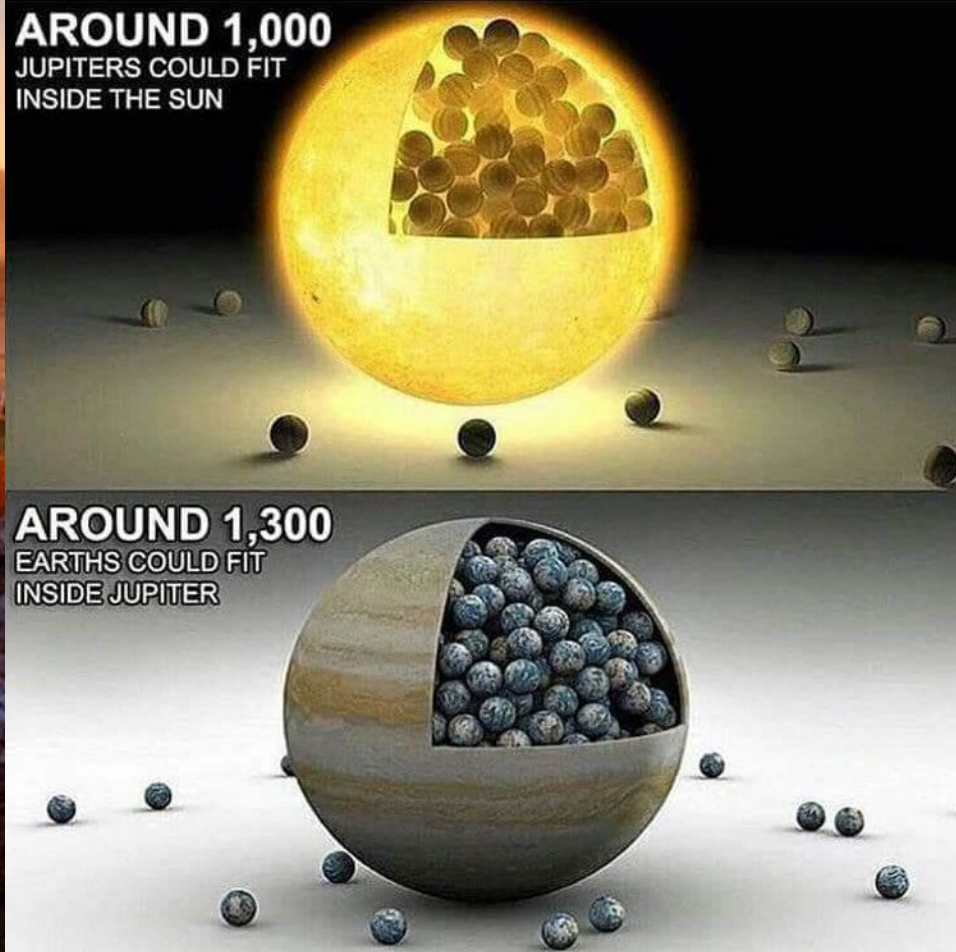


Sunce – naša zvezda

- poluprečnik 696.000 km
 - 109 puta veći od Zemlje
- zapremina 1,3 miliona puta veća od Zemljine
- masa $1,99 \cdot 10^{30}$ kg
 - 333.000 puta više nego masa Zemlje
- sve planete zajedno – 750 deo mase Sunca
- 99,87% ukupne mase Sunčevog sistema
- masa se godišnje smanji za $1,5 \cdot 10^{17}$ kg



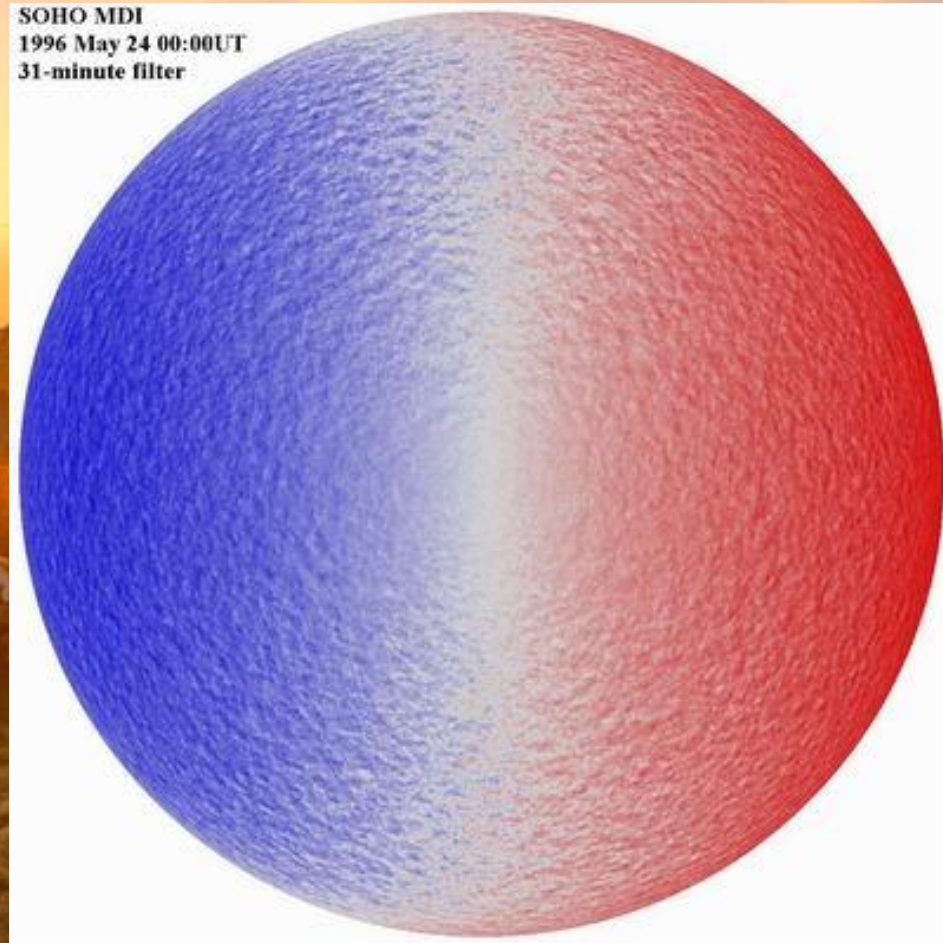
A koliko je to...?



Još malo podataka ☺

- Period 27 dana – zvezda koja sporo rotira
- Osa nagnuta za $7,2^\circ$ u odnosu na normalu na ravan ekliptike
- 25 dana ekvator - 2 km/s;
 - polovi 29 dana - 0,9 km/s
- diferencijalna (zonska) rotacija dokaz da nije kruto telo

SOHO MDI
1996 May 24 00:00UT
31-minute filter



I još.... 😞😞

- Usijano telo, zrači sopstvenu energiju
- Svake sekunde $3,86 \cdot 10^{26}$ J
- Samo dvomilijarditi deo stiže na Zemlju
- Elektromagnetno zračenje
 - najviše vidljiva svetlost (400 do 800 nm)

I još.... ☹️☹️☹️

- Zračenje dolazi sa površinskog sloja
 - dublji slojevi neprozračni
- Unutrašnjost – teorijski modeli
 - Standardni model – R. Sears (1964)
 - Za zvezde starosti oko $4,7 \cdot 10^9$ god
 - temperatura $15 \cdot 10^6$ K, pritisak $3,4 \cdot 10^{16}$ N/m² – u jezgru

Standardni model

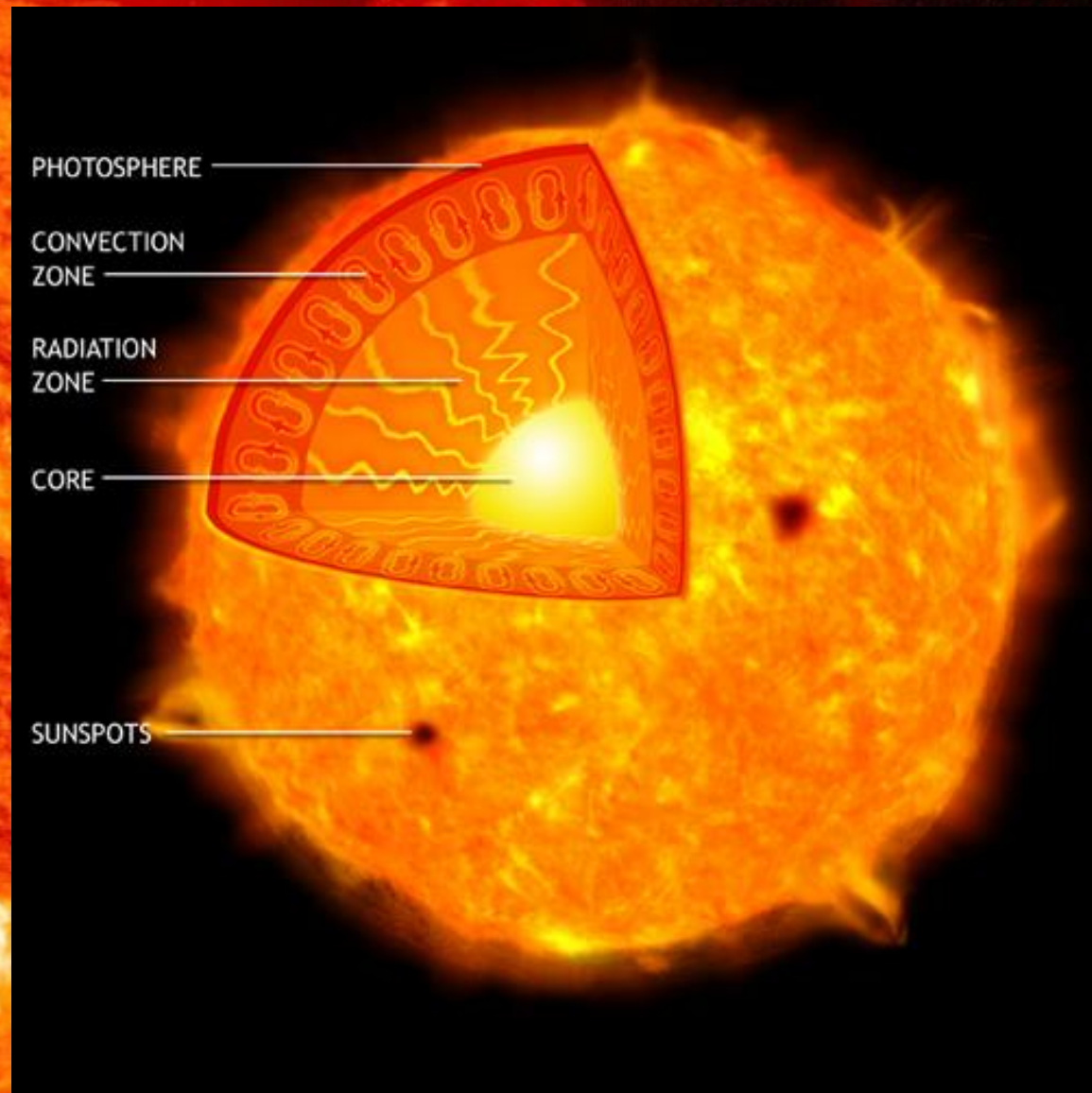
- Sferno-simetrično, zanemaruju rotacija i magnetno polje
- U stanju toplotne ravnoteže
- Promene hemijskog sastava – nuklearne reakcije
- Mešanje supstanci – samo konvektivna zona
- Pra-sunce – homogenog hemijskog sastava, evoluiralo bez promene mase tokom 4,7 milijardi godina



UNUTRAŠNOST SUNCA

Unutrašnjost Sunca

- Jezgro (25%)
- Radijaciona zona (45%)
- Konvektivna zona (30%)

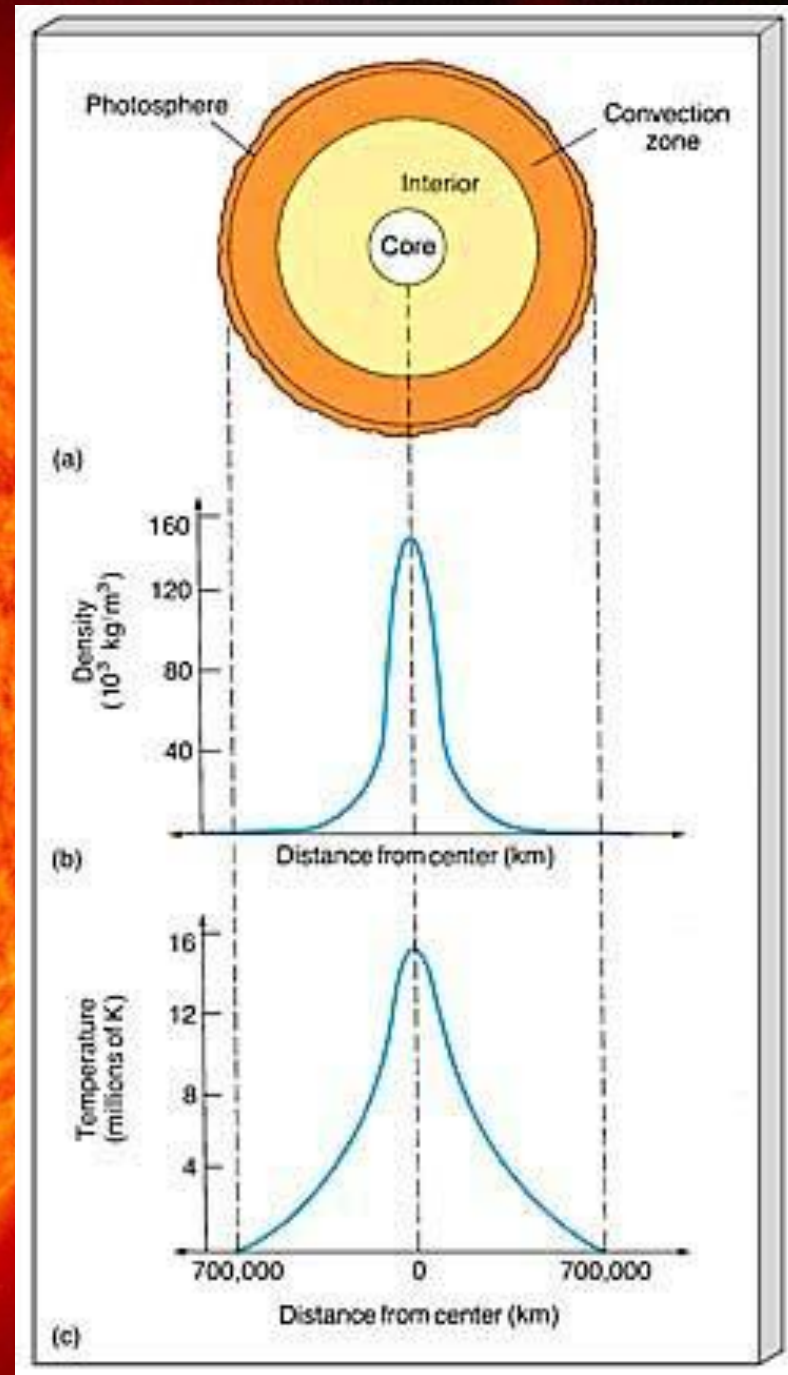


Prenos energije



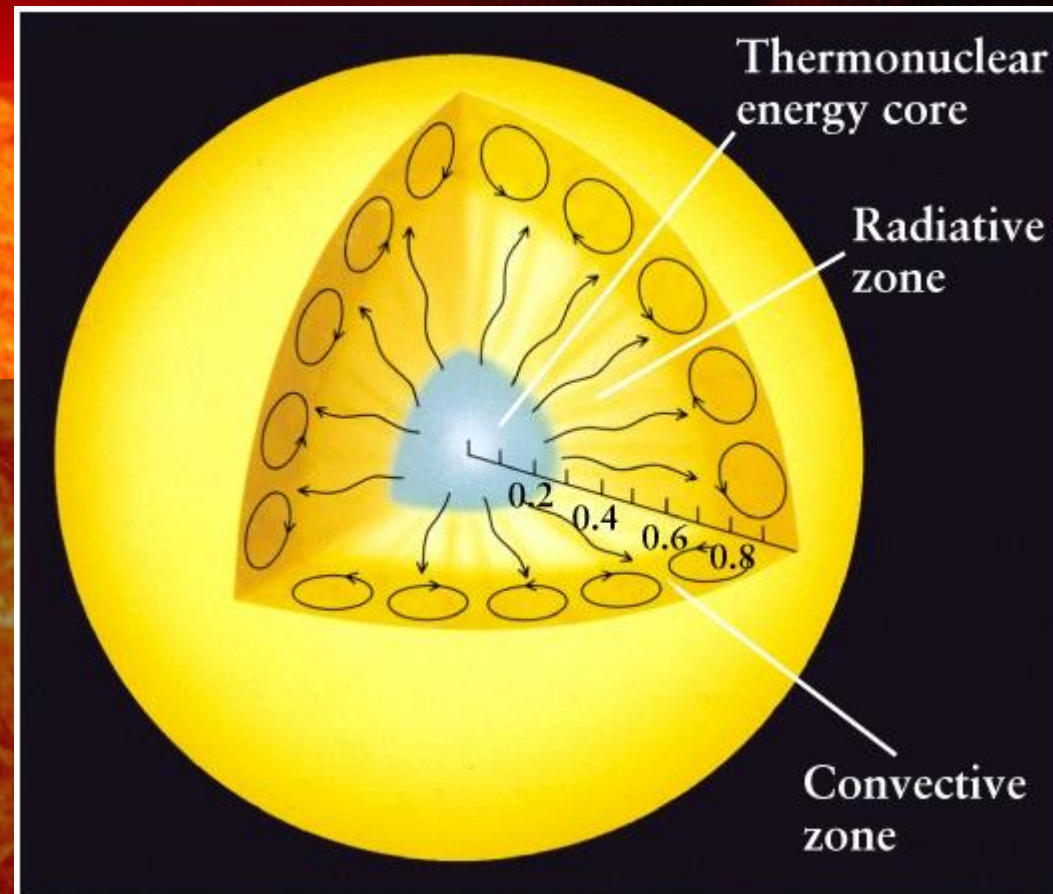
Gustina i temperatura

- Prosečna gustina 1408 kg/m^3
 - 4 puta manje od gustine Zemlje
 - 1,4 puta veće od vode
- Sastav – usijan gas
 - vodonik 73,4% (92% broja atoma)
 - helijum 25% (7,8% broja atoma)
 - ostali (O, C, Fe, N, Ne) 1%
- Na slici – zavisnost temperature i gustine od dubine
 - *temperatura* – u početku naglo opada , kasnije sve sporije
 - *gustina*
 - $1,5 \cdot 10^5 \text{ kg/m}^3$ u jezgru
 - 1.000 kg/m^3 na 350.000 km
 - $2 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ fotosfera (10.000X manje od gustine vazduha)
 - 10^{-23} kg/m^3 korona (gustina najboljeg vakuuma)



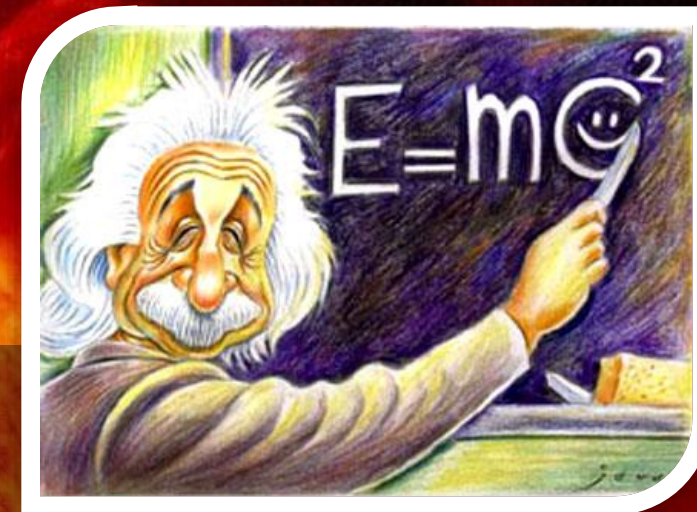
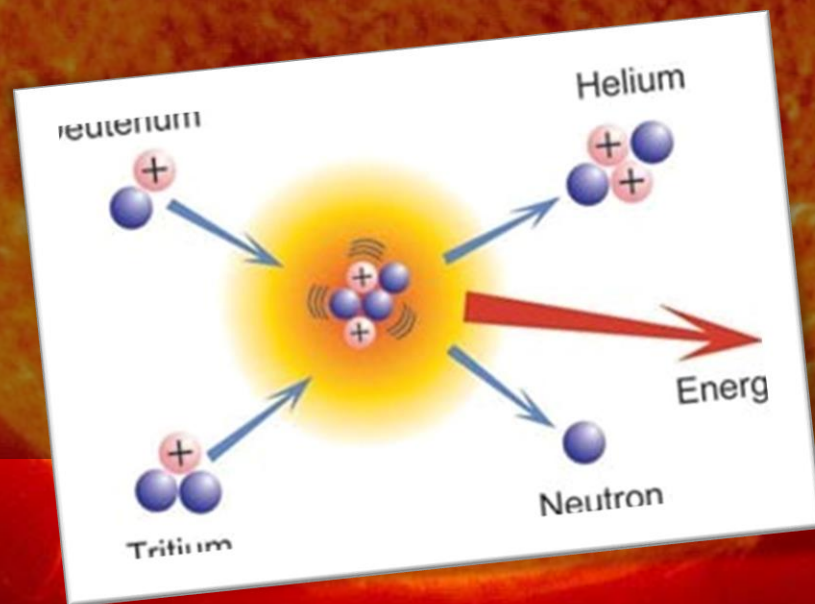
Jezgro Sunca

- 1,6% zapremine Sunca,
 - 0,25 poluprečnika
- Centar - 15 milijardi stepeni
- Gustina 150.000 kg/m³
 - 20 gušće od gvožđa
- Pritisak 35.000 Mbar
 - Ogroman pritisak, ali... - potpuno jonizovana gasna plazma
- Donja granica konvektivne zone
 - 1.000 puta manja gustina

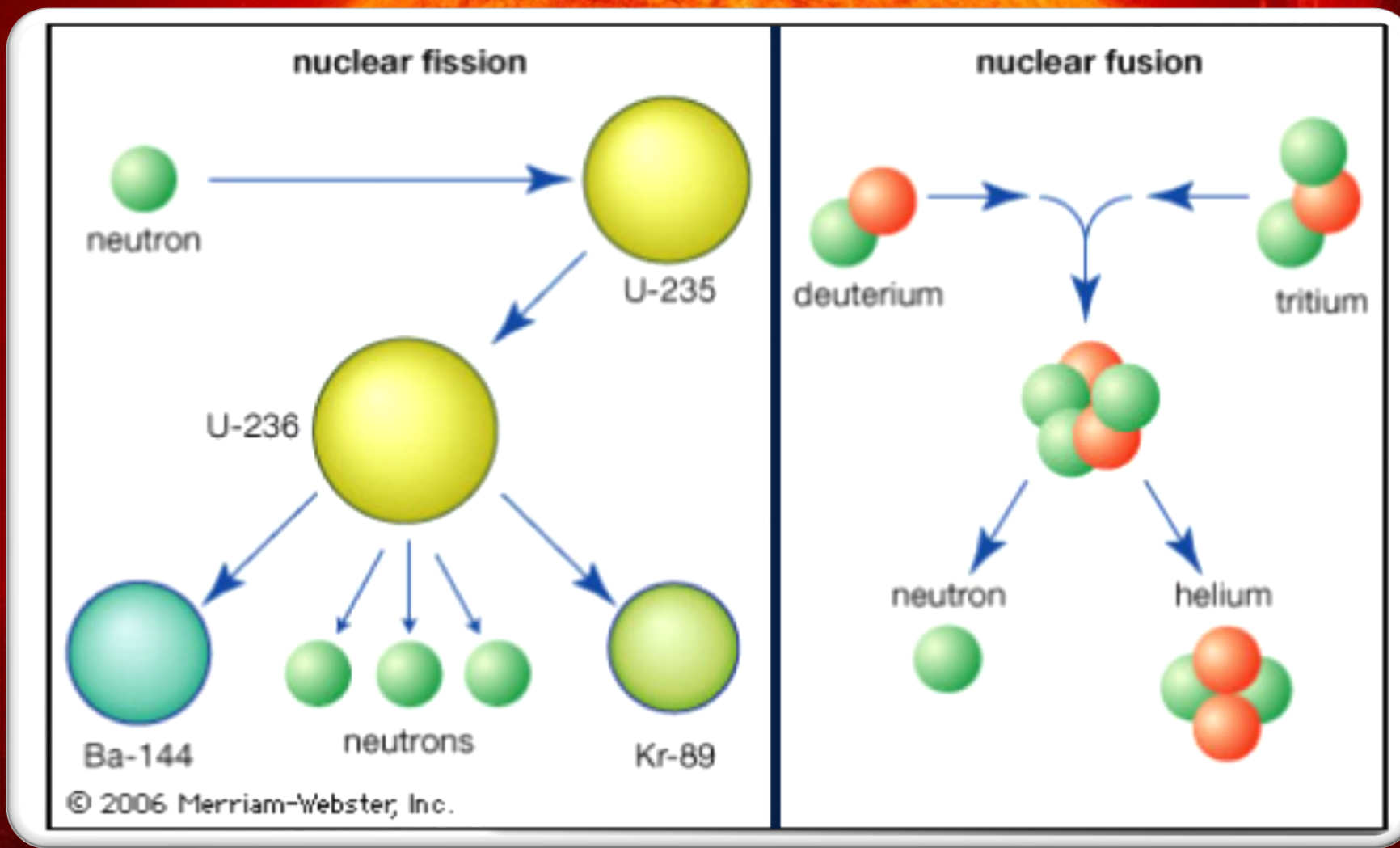


Kako sija Sunce?

- Vatra? Ne ☹️
 - Energija Sunca: $2 \cdot 10^{26} \frac{J}{kg \cdot s}$
- Hemijska reakcija? Ne ☹️
- Fuzija! DA! 😊



Nuklearna fuzija vs fisija

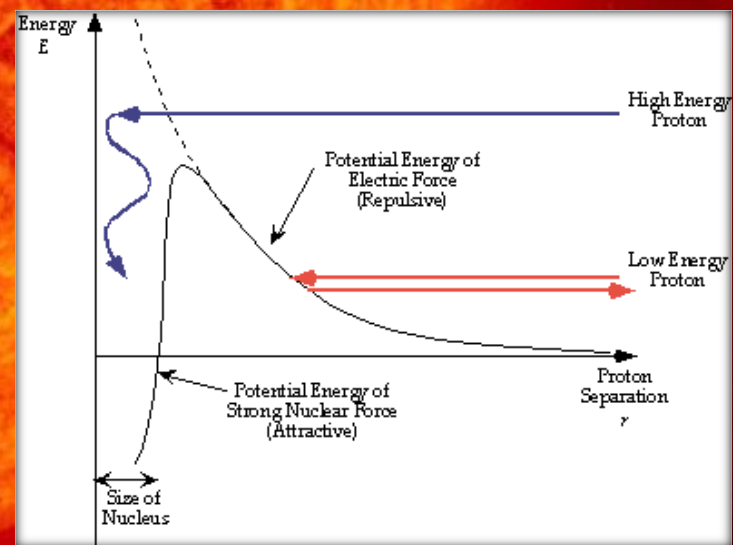
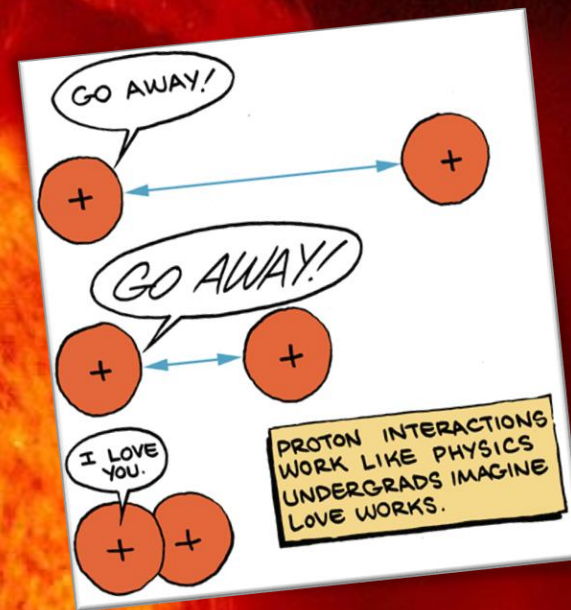
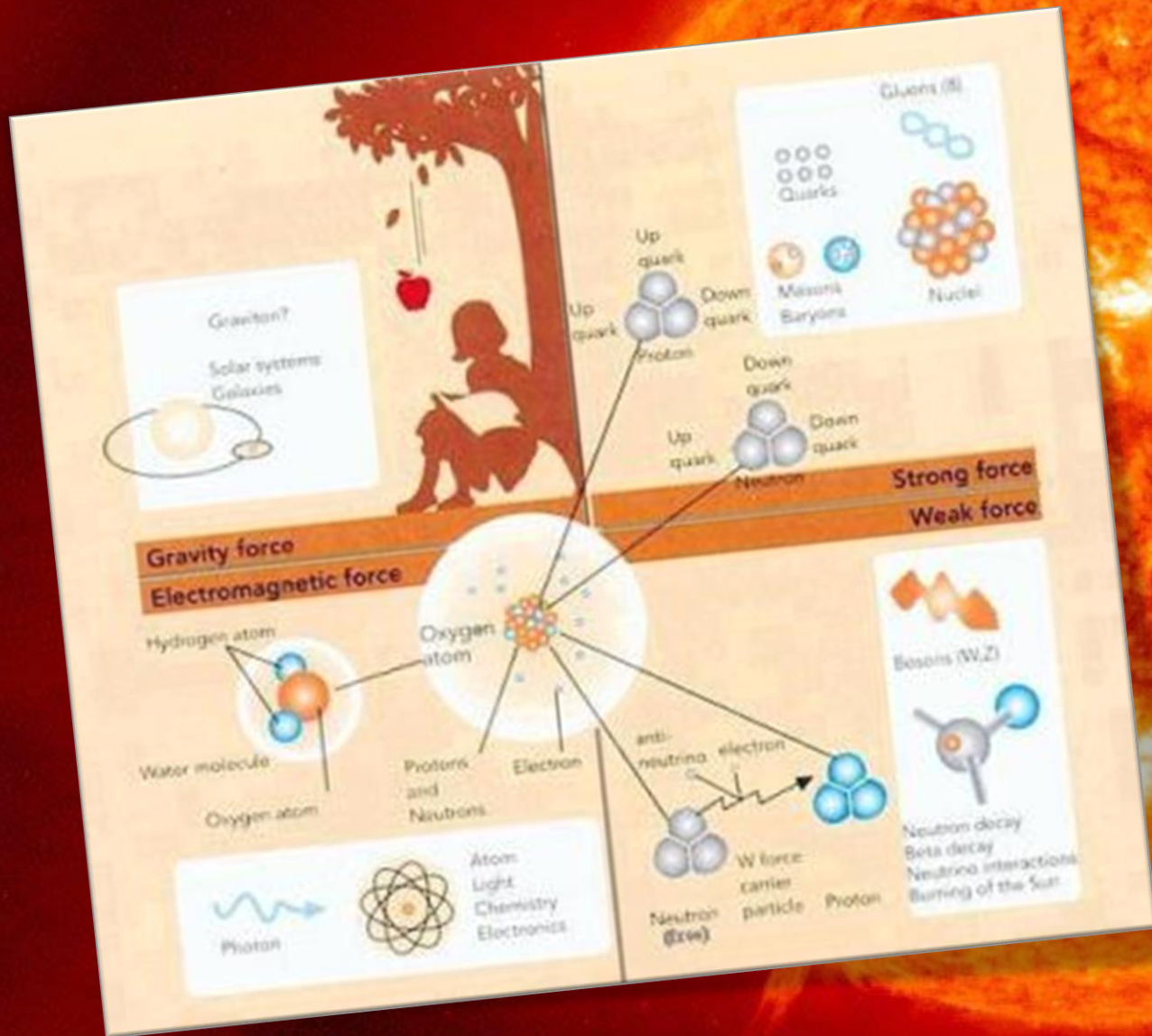


Nuklearna fuzija



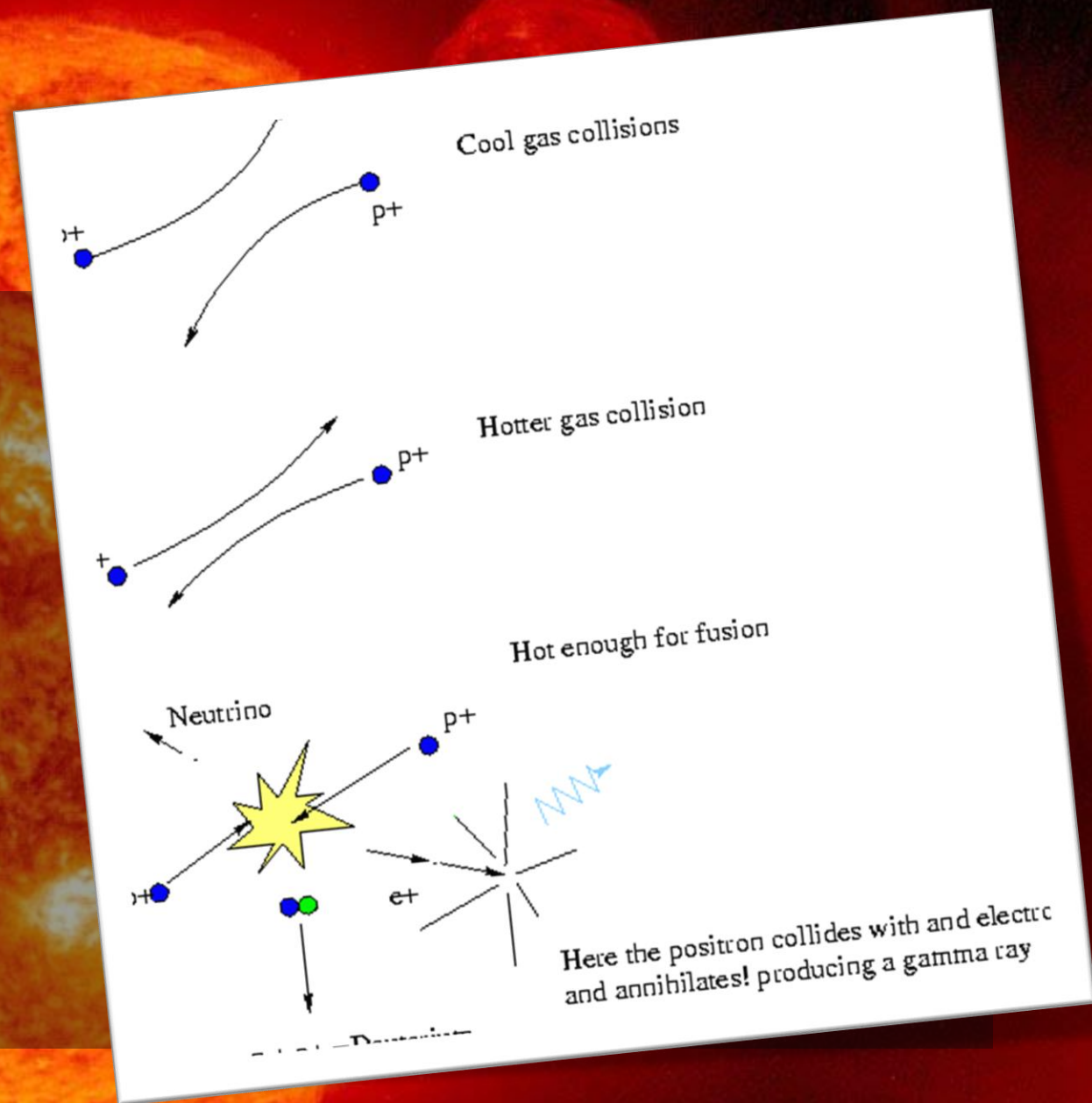
- Spajanje lakih jezgara i dobijanje jezgra veće mase
- Jezgro 1 + jezgro 2 \rightarrow jezgro 3 + energija
- Tokom fuzione reakcija **ukupna masa se smanjuje** – masa jezgra 3 manja je od zbira masa jezgra 1 i jezgra 2
- Ekvivalencija mase i energije: $E = mc^2$
 - 1 kg \rightarrow 9×10^{16} J
- Zakon održanja mase i energije

Fundamentalne interakcije

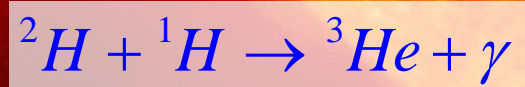
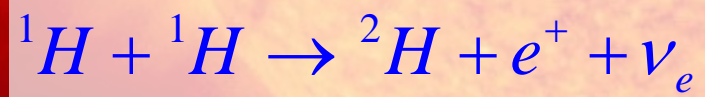
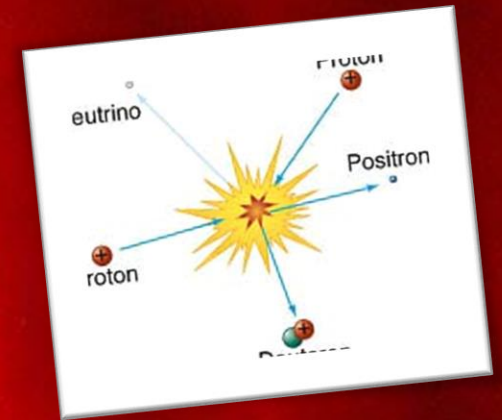
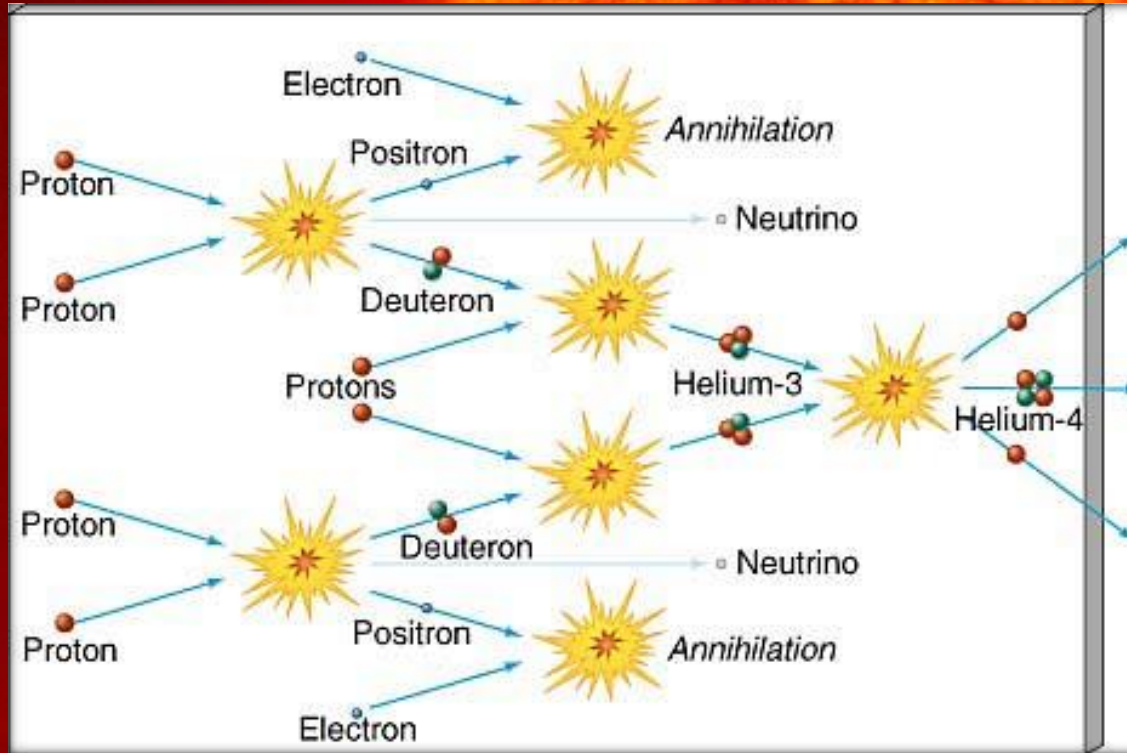




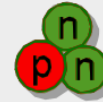
Nuklearna fuzija

- Velika brzina
- Jaka nuklearna sila
- Rastojanje: 10^{-15} m
- Brzina: nekoliko 100 km/s
- Temperatura: 10^7 K



Proton-protonski ciklus



1	H^+		proton
1			
2	H^+		deuteron
1			
3	H^+		triton
1			

Koliko energije?

- Precizni eksperimenti na Zemlji
 - određene mase svih čestica u p-p ciklusu
- 4 protona - $6,6943 \cdot 10^{-27} \text{kg}$
- Jezgro helijuma - $6,6466 \cdot 10^{-27} \text{kg}$
- Defekt mase - $0,048 \cdot 10^{-27} \text{kg} \Rightarrow 4,3 \cdot 10^{-12} \text{J}$ (26,7 MeV)
- 1 kg vodonika $\Rightarrow 6,4 \cdot 10^{13} \text{ J}$ (više nego dovoljno)
- Svake sekunde 700 miliona tona vodonika fuzijom prelazi u 695 miliona tona helijuma, a od 5 miliona tona nastaje energija
- **1 sekunda = 500000 godina potrošnje na Zemlji!**

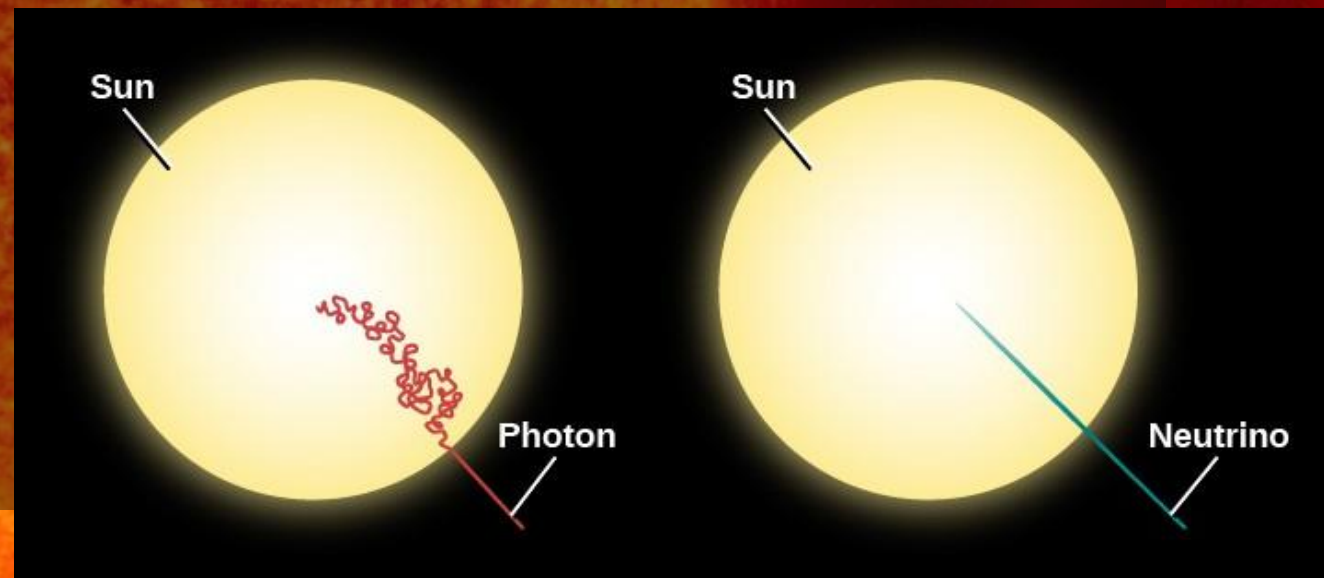
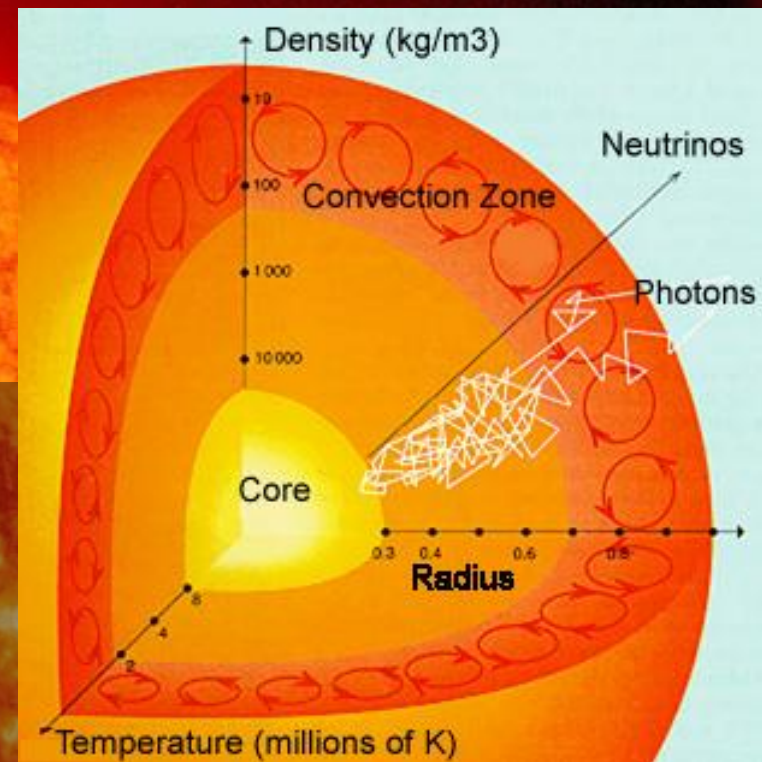
Radijaciona zona

- Prenos energije – zračenjem
- 0,25 – 0,85 radijusa Sunca
- Temperatura postepeno opada
 - Početak – 7 miliona stepeni
 - 15.000 kg/m³ (2 puta *Fe*)
 - 350.000km – gustina vode
- Nema fuzionih reakcija!



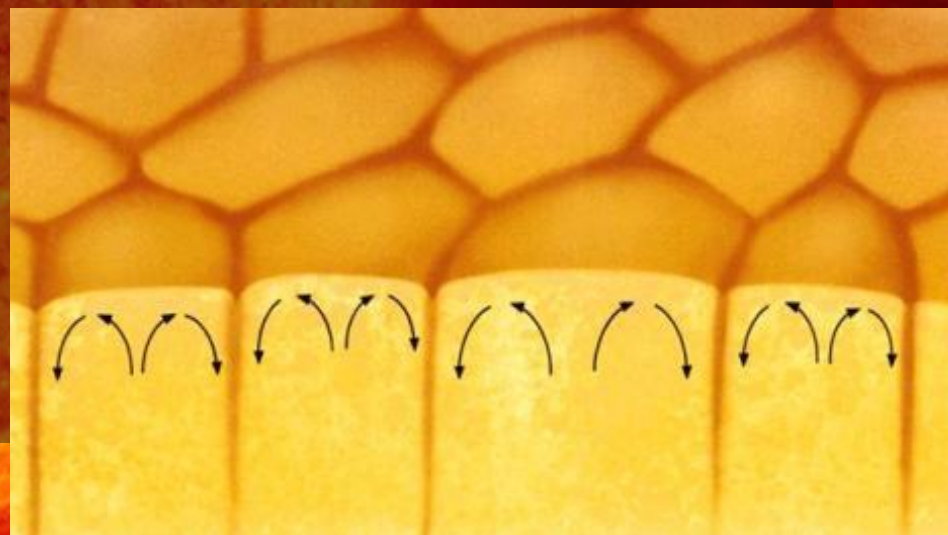
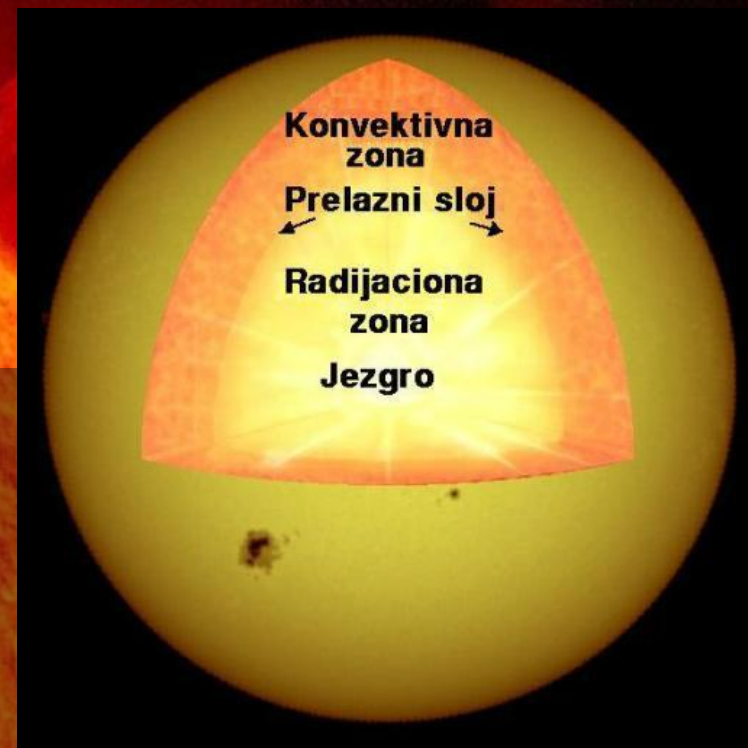
Radijaciona zona

- Fotoni
 - višestruko rasejavanje
- Talasna dužina:
 - od gama i X zračenja ka vidljivom
- Primarni fotoni
 - milion godina!
- Gornja granica
 - temperatura je dovoljno niska, javljaju neutralni atomi (He, H)
- ***Neproзраčna ! ! !***



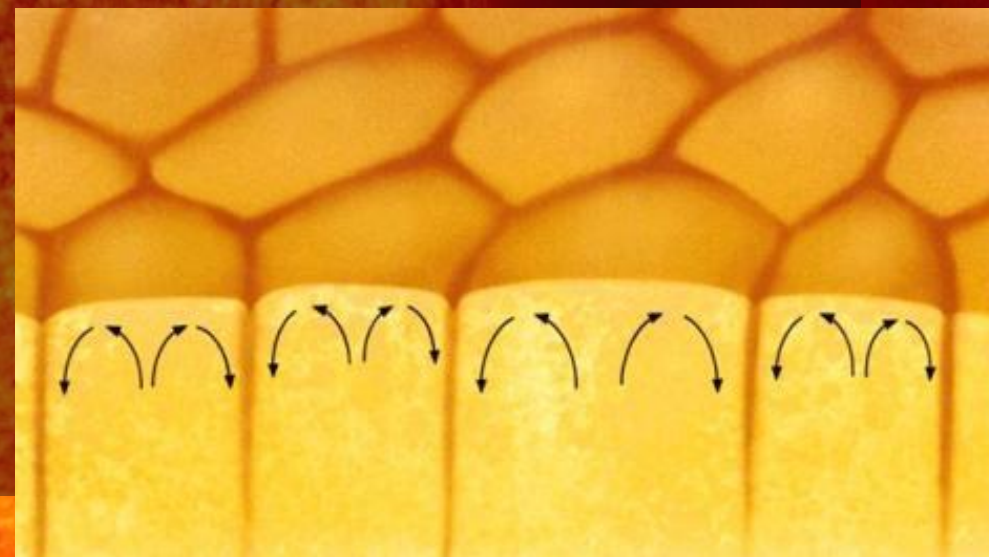
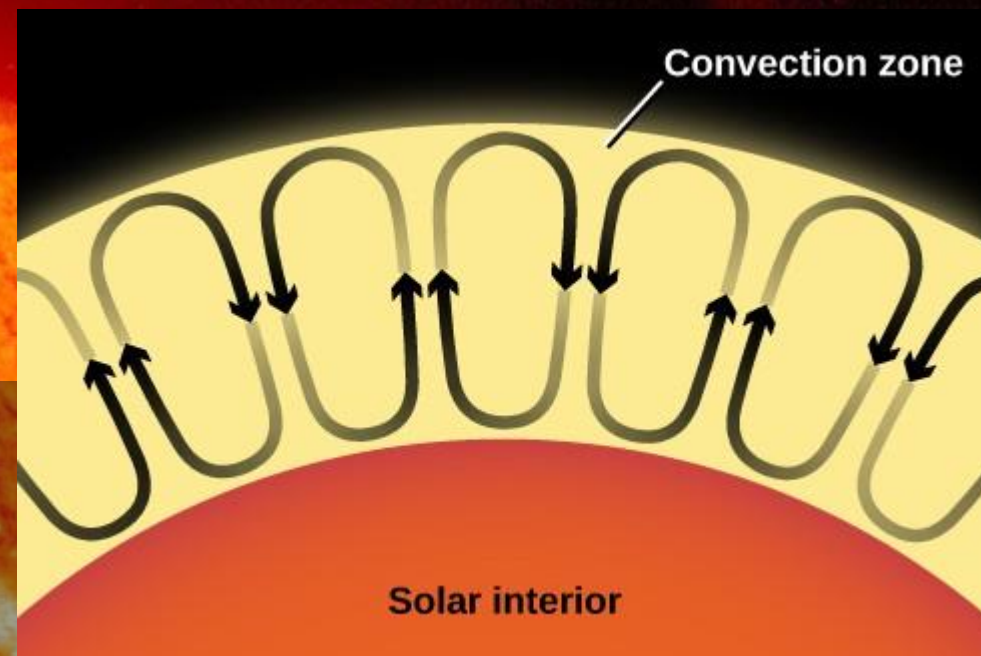
Konvektivna zona

- Debljina – $150-200 \cdot 10^3$ km
- Početak, 500000 km od centra:
 - 2 miliona stepeni
 - 150 kg/m^3 (6 puta ređe od vode)
- Kretanje velikih masa supstance
 - *toplije* (lakše) - podižu ka površini
 - *hladnije* (teže) – spuštaju u dubinu

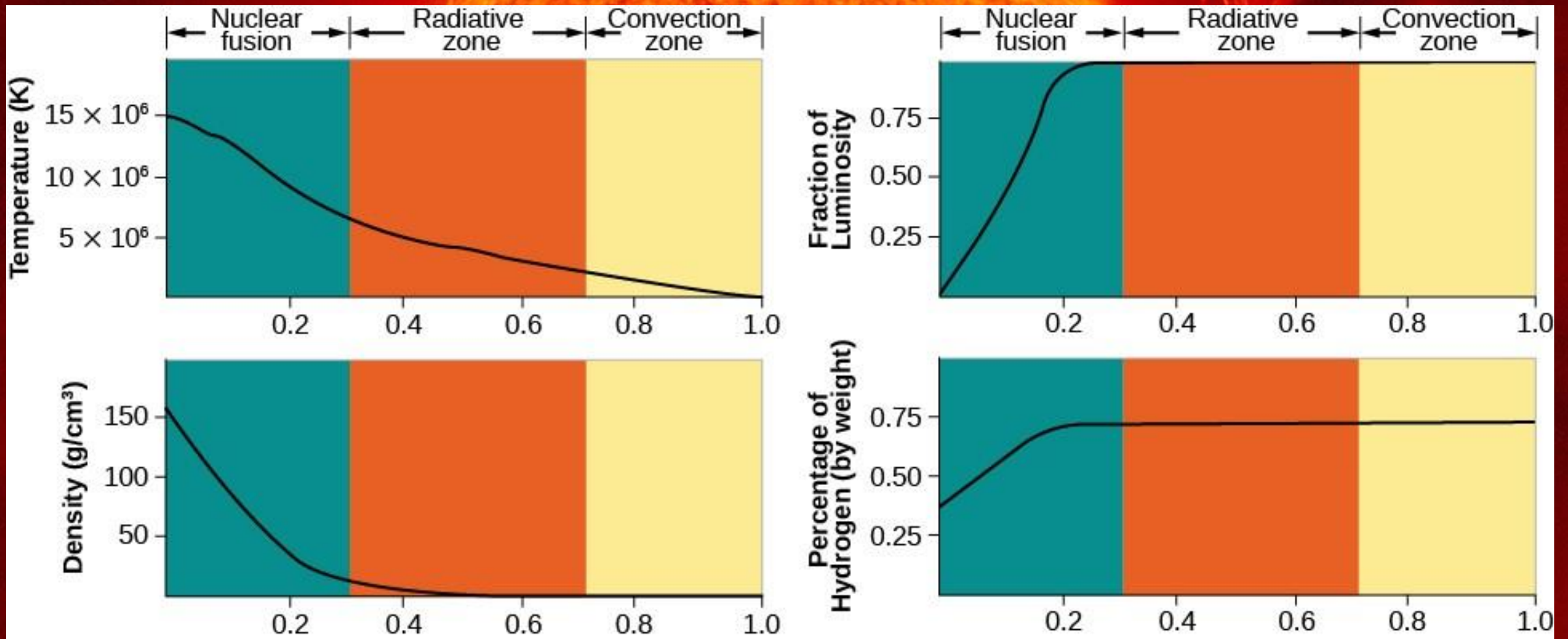


Konvektivna zona

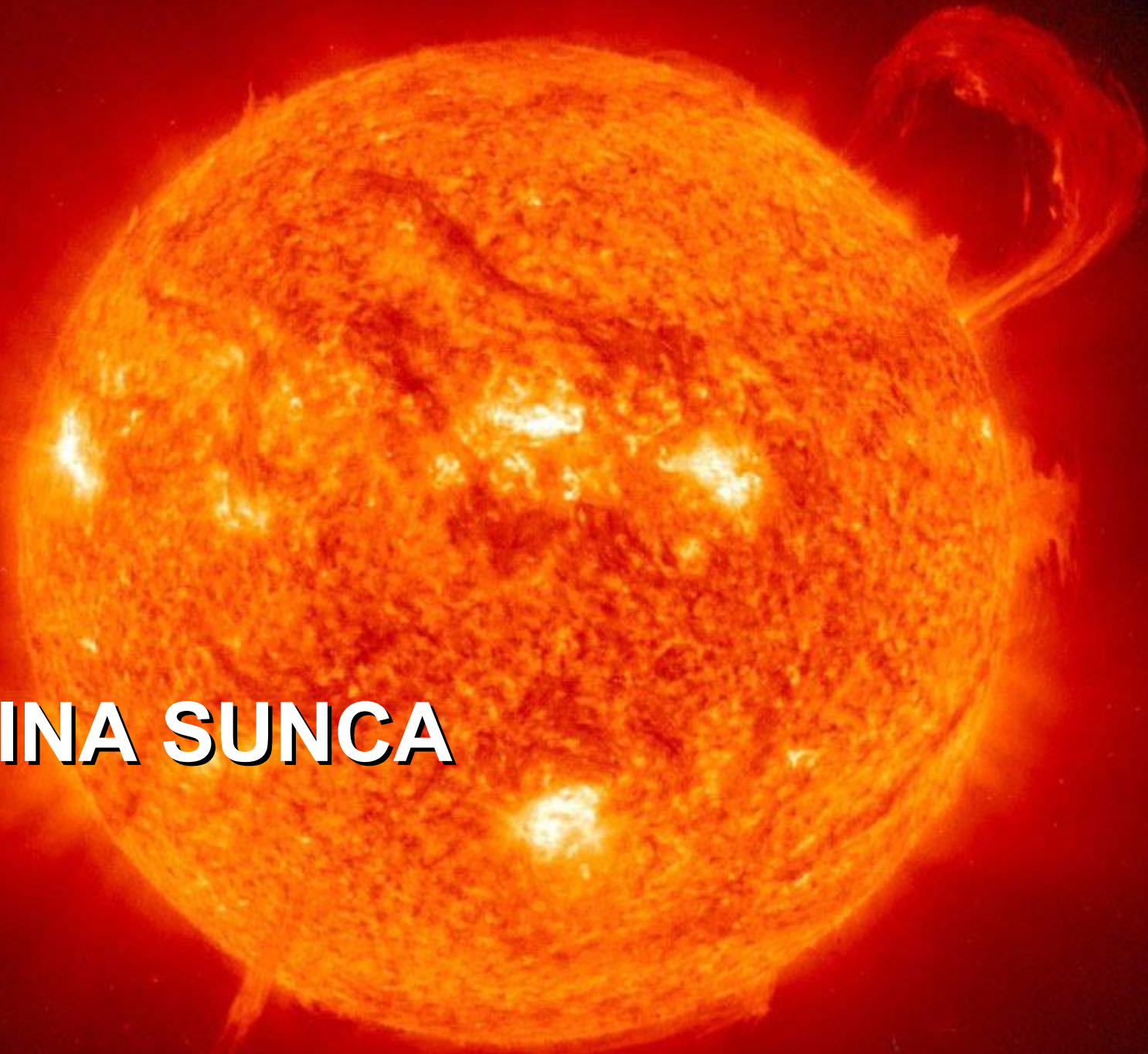
- Posledica Arhimedovog zakona
 - Zagreva i širi – ide gore
 - Hladi, postaje gušći – ide dole
- Promena temperature:
 - Spora – izjednačavanje, kraj
 - Brza – ostaje topliji, gubi energiju zračenjem
- Brzina:
 - 2-3 km/s na površini, 20 m/s u unutrašnjosti



Unutrašnjost Sunca



POVRŠINA SUNCA



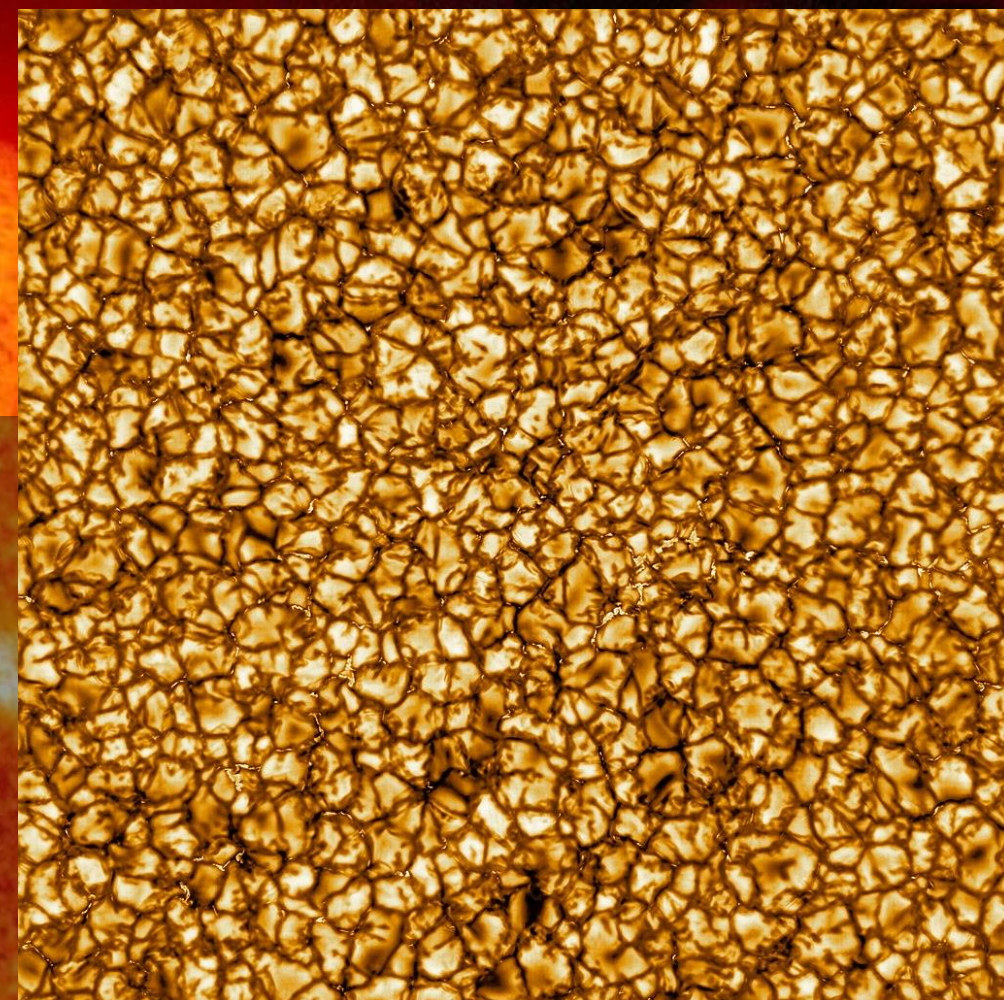
Fotosfera

- Sjajan disk koji vidimo sa Zemlje
- 350 – 400 km iznad konvektivne zone
- Gustina – prepolovi na svakih 130 km
 - Srednja: $(1 - 3) 10^{-4} \text{ kg/m}^3$
 - najgušći omotač, mnogo ređa od atmosfere Zemlje (\sim gustini na 60 km)
- Temperatura: 9.000 – 4.500 K
 - Jednostavni molekuli (CO, H₂, CH, CN,...)
- Nije glatka i homogena – Dž. Šort (1784. godine)
 - “kao tanjir pirinčane supe”

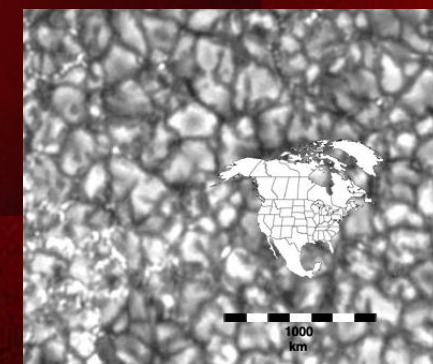


Fotosfera - Granule

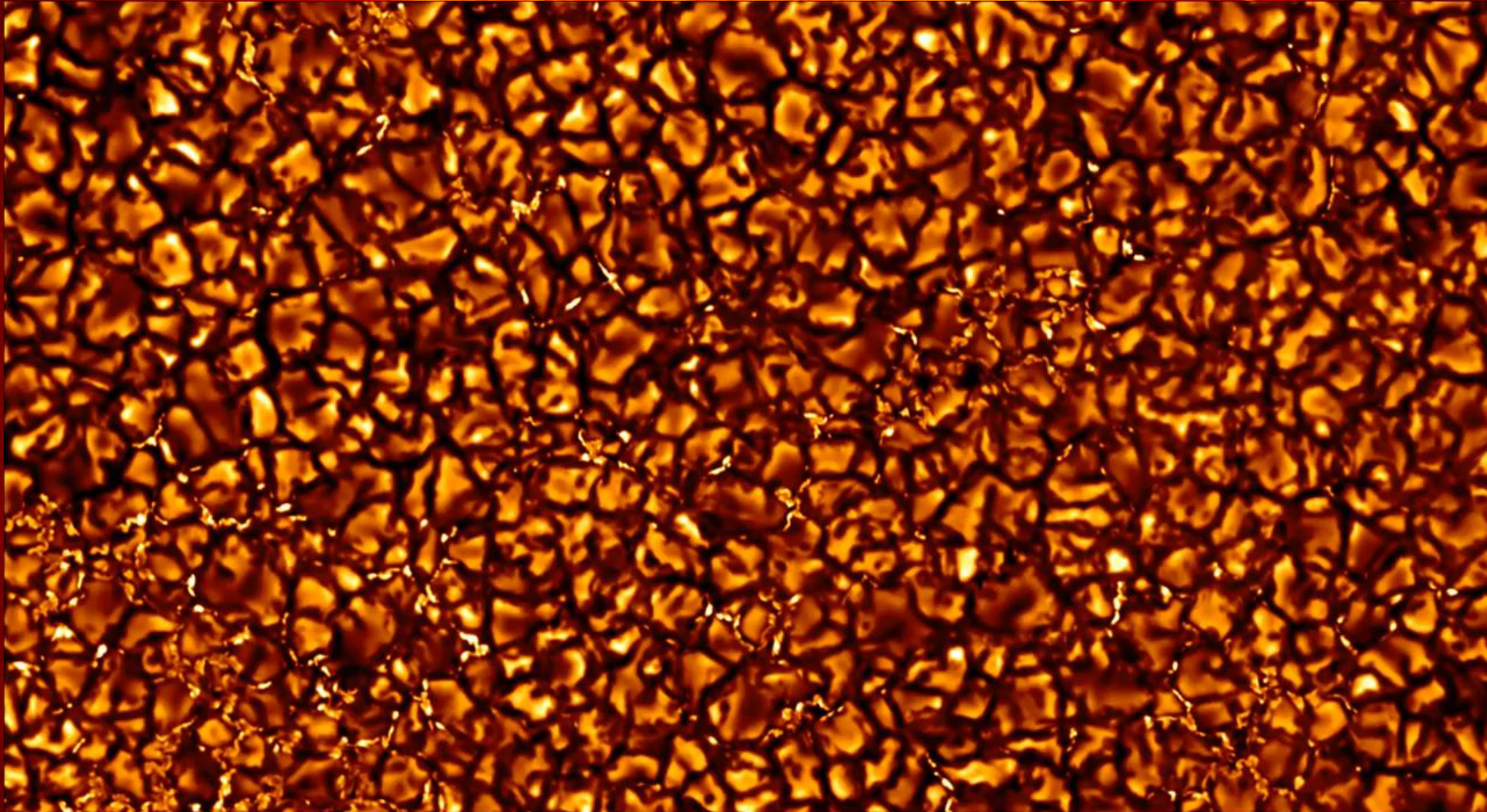
- Mlazevi gasa
- 100 – 130 K viša temperatura
- 10 – 30% veći sjaj
- Tamna područja
 - 35-40% manjeg sjaja, 350-400 K hladnije
- Dimenzije
 - 150 – 2500 km, tamna područja 1000 km
- Oko 4 miliona u svakom trenutku
- Žive 5 – 15 minuta, brzina (0,3 – 1) km/s



Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST); NSO/AURA/NSF

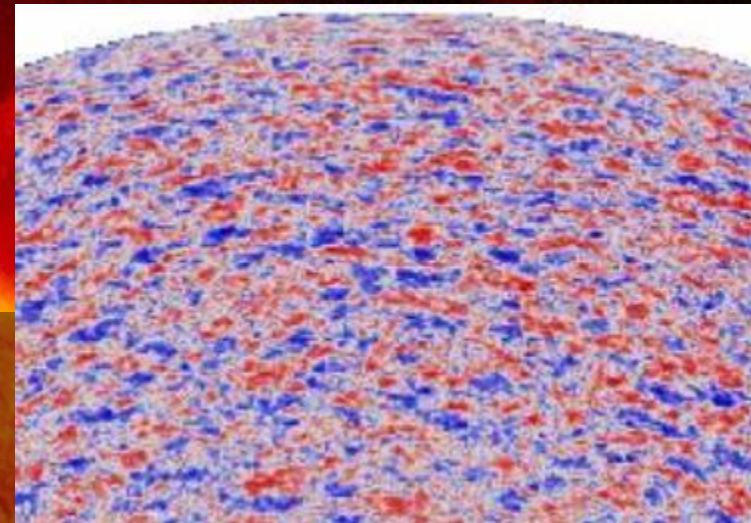


Fotosfera - Granule

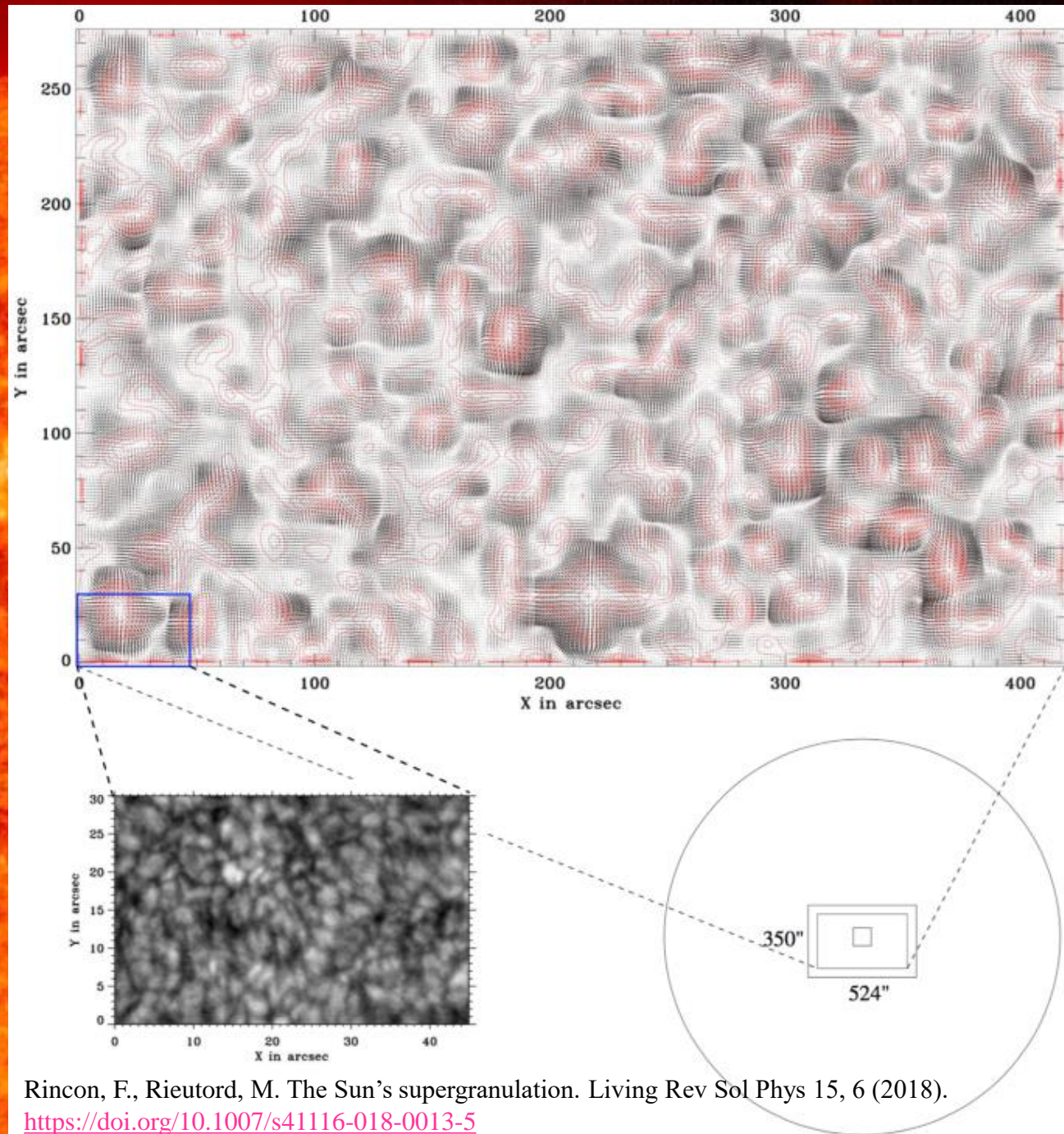
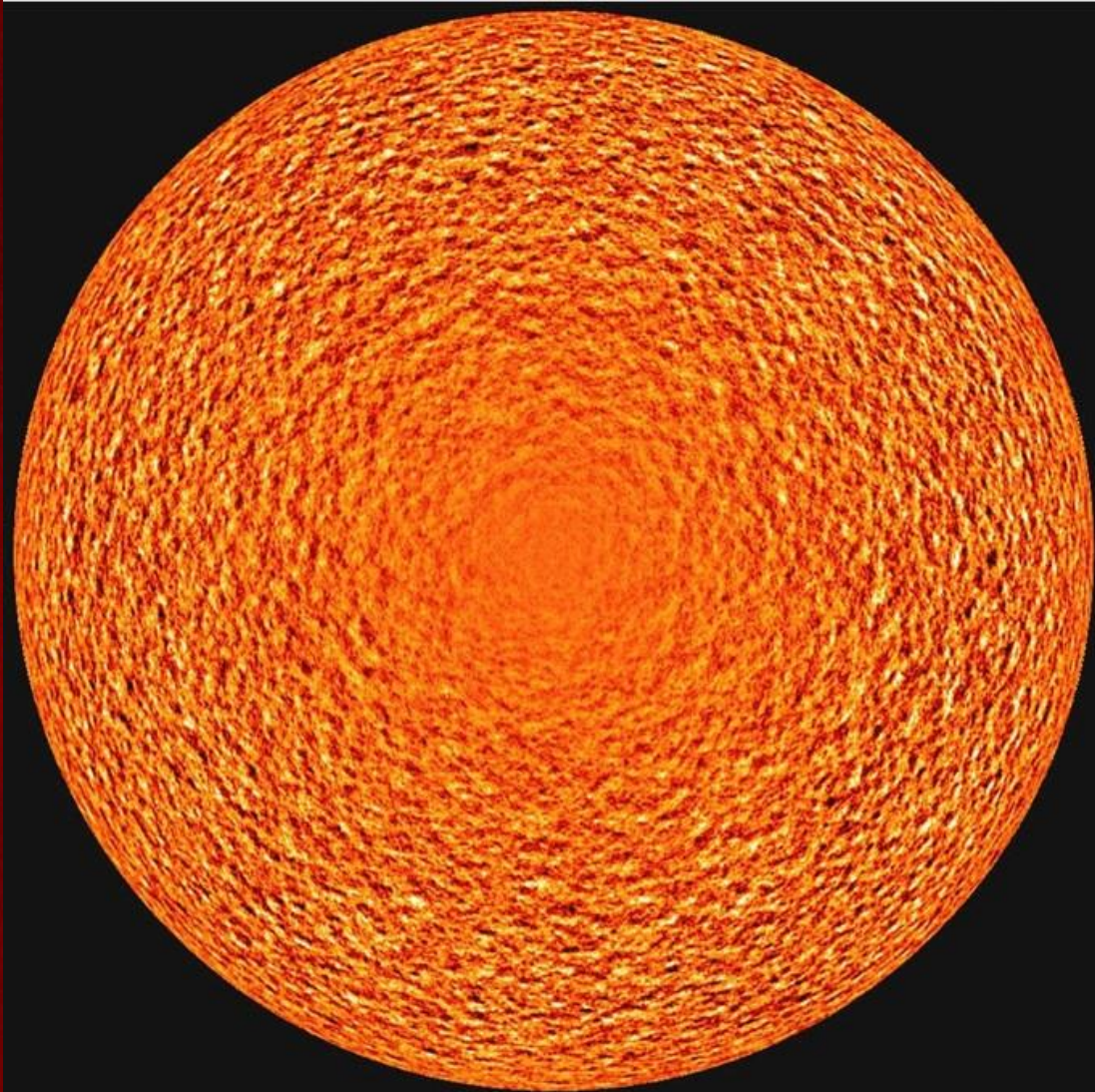


Supergranule

- Konvekcija i u oblastima mnogo većim od granula :
 - *Mezogranule* – 5.000 do 10.000 km (?)
 - *Supergranule* – 20.000+ km
- Oblik poligonalnih ćelija, traju po nekoliko desetina sati (oko 24 h)
- Većih dimenzija, intenzivnija konvekcija
- Otkrio A.B. Hart (1950)
 - doplerov efekat, horizontalno kretanje na fotosferi, brzina 300-500 m/s
- Gas iz centra teče ka periferiji
- prekrivaju celu površinu Sunca, u svakom trenutku oko 2.000
- Pomeraju magnetno polje
 - Magnetne linije sabijaju na periferiji, pojačanje polja
 - Materija kreće po magnetnim linijama
 - Razdvaja supergranule i sprečava mešanje materije



Supergranule



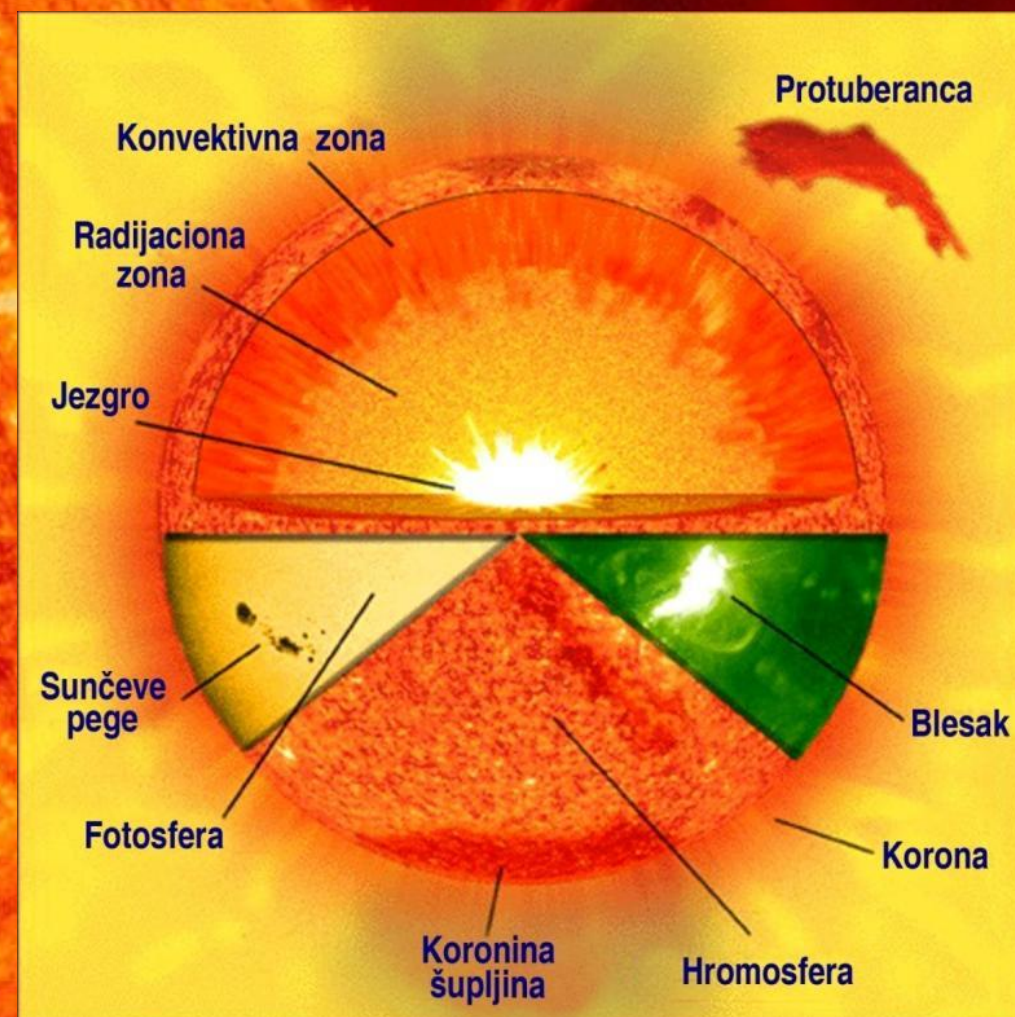
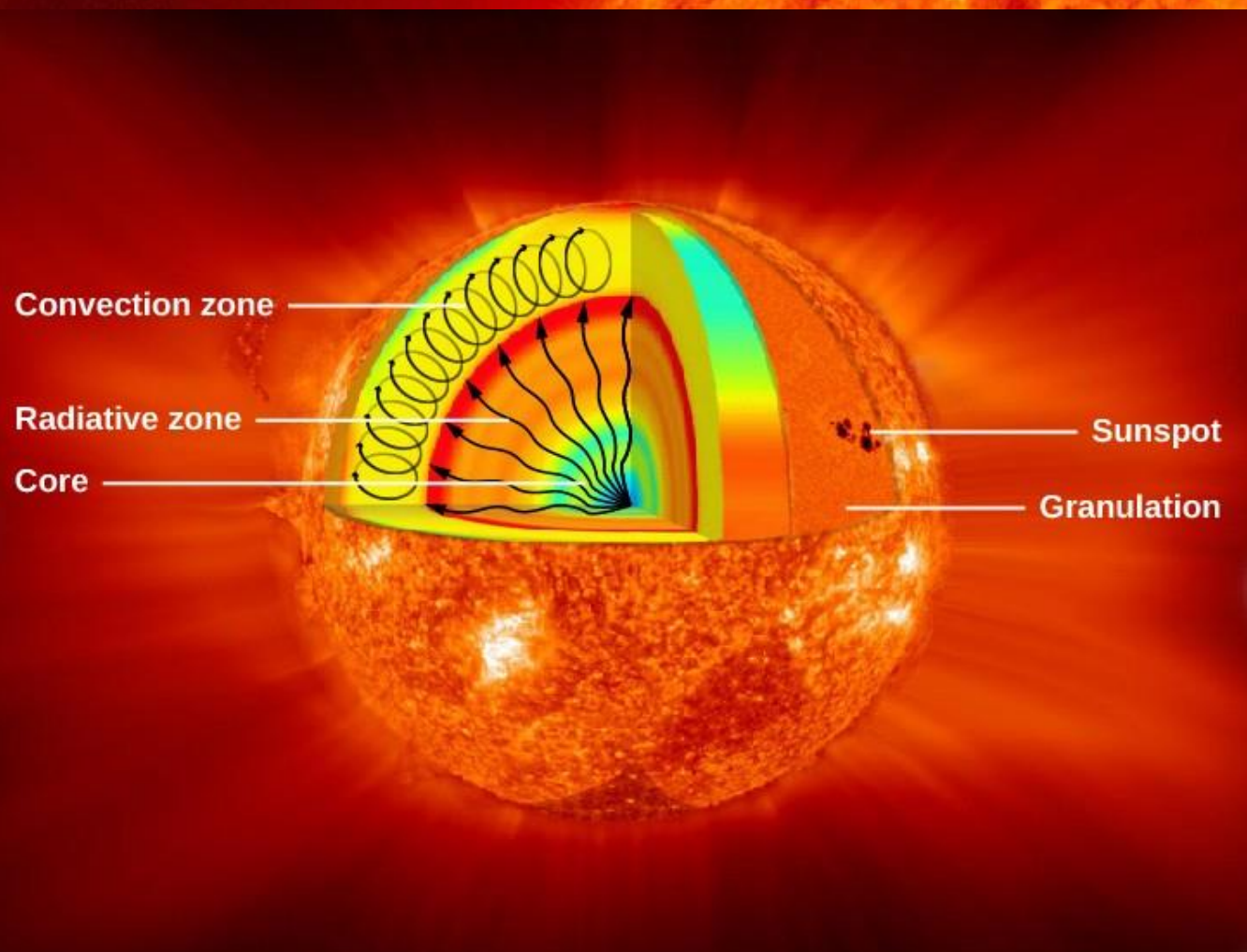
Rincon, F., Rieutord, M. The Sun's supergranulation. *Living Rev Sol Phys* 15, 6 (2018).

<https://doi.org/10.1007/s41116-018-0013-5>



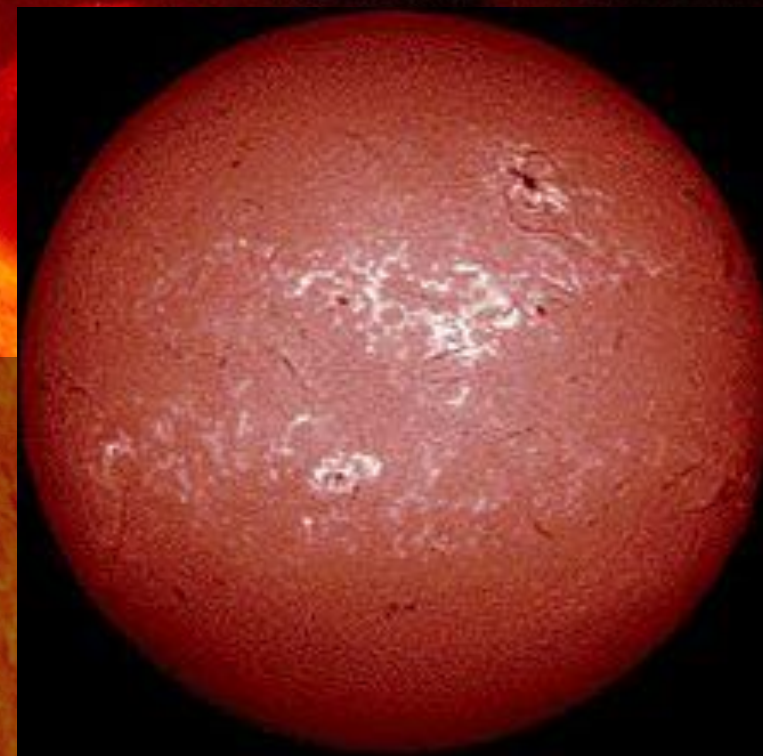
ATMOSFERA SUNCA

Sunce



Hromosfera

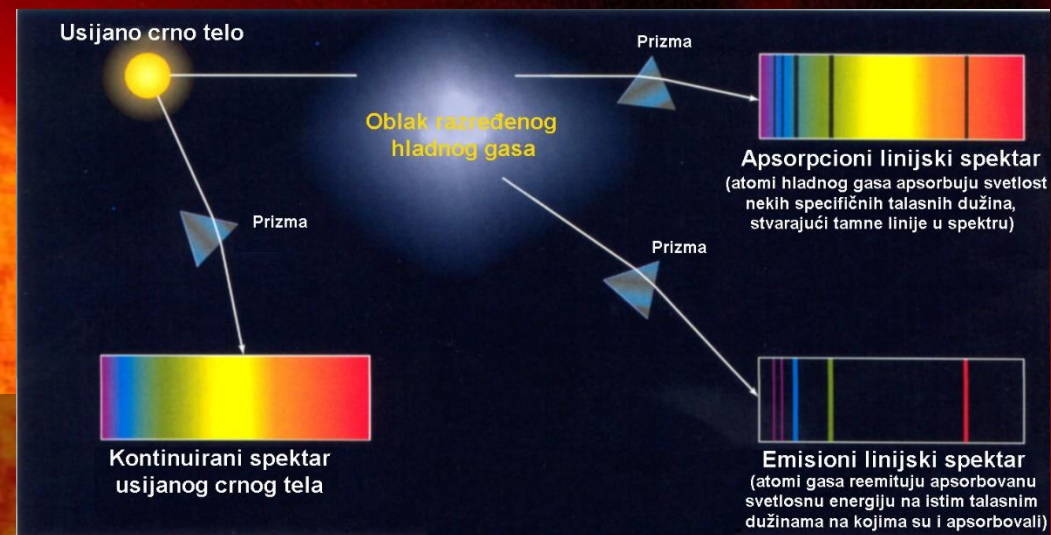
- Iznad fotosfere
- Crvene boje, emisija vodonikove H_{α} linije
- Naziv – zbog intenzivne boje
- Dž. Lojker (1869. godine), Č. Jang (1870)
- Nehomogena
 - Niža (do 1.500 km)
 - Srednja (1.500 – 4.000 km)
 - Gornja (4.000 – 10.000 km)
- Najniža temperatura u nižoj hromosferi, 4.400 K
 - Počinje da raste, na 2.000 km dostiže 25.000 K



Sunce kroz H_{α} filter (NASA)

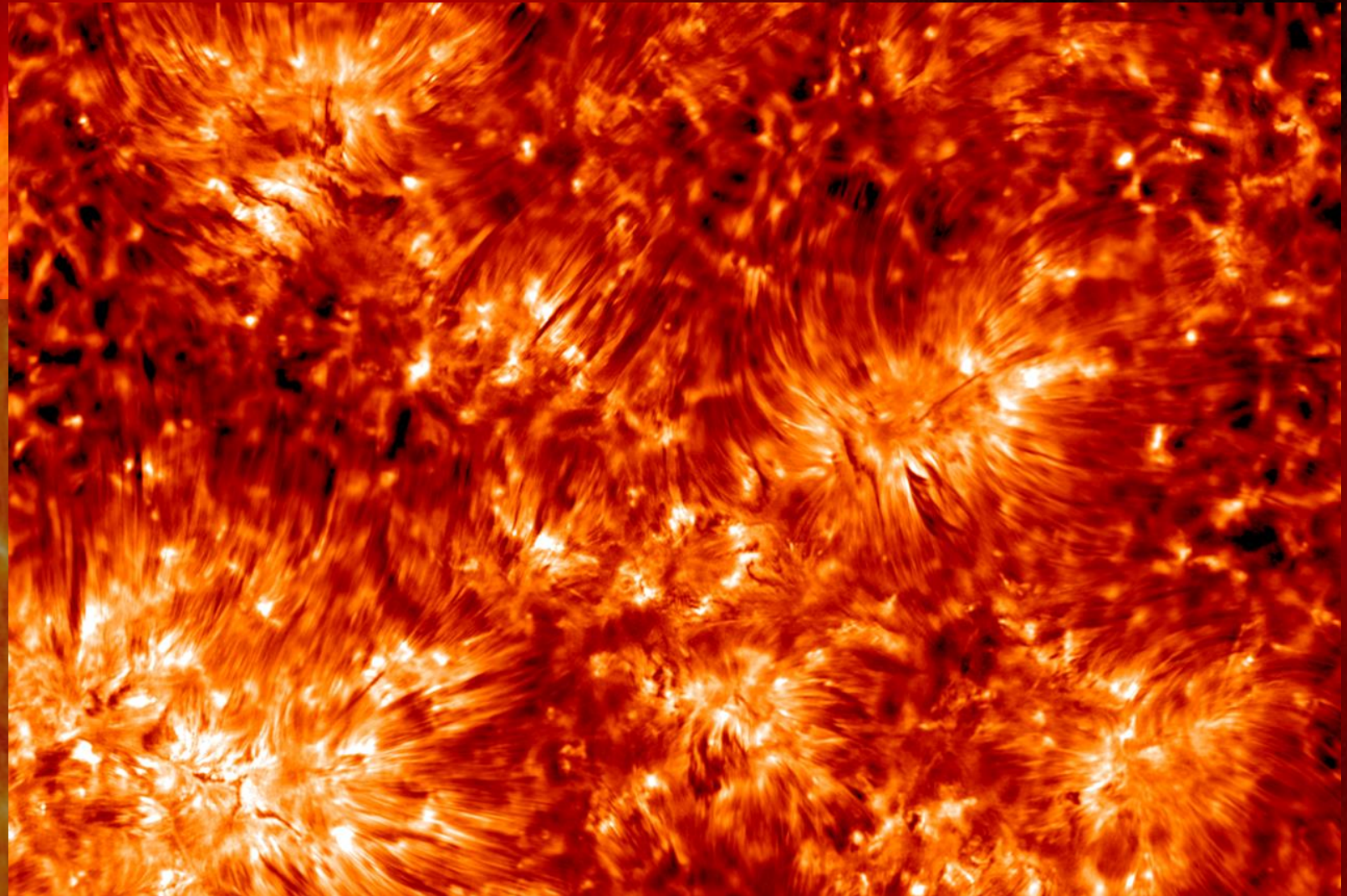
Hromosfera

- Menja se spektar, javljaju se apsorpcione linije
- Opada koncentracija čestica
 - Na 1.000 km – 10^{-19} m^{-3} vodonikovih atoma
 - Na 10.000 km – 10^{-15} m^{-3}
- Jonizacija
 - 2.000 – 3.000 km – uglavnom neutralan
 - Iznad 6.000 km – jonizovan
 - Gornja hromosfera – jako jonizovana (25.000 – 300.000 K)
- Intenzivna, turbulentna kretanja
 - Na 500 km – 5 km/s, 5.000 km – 20 km/s



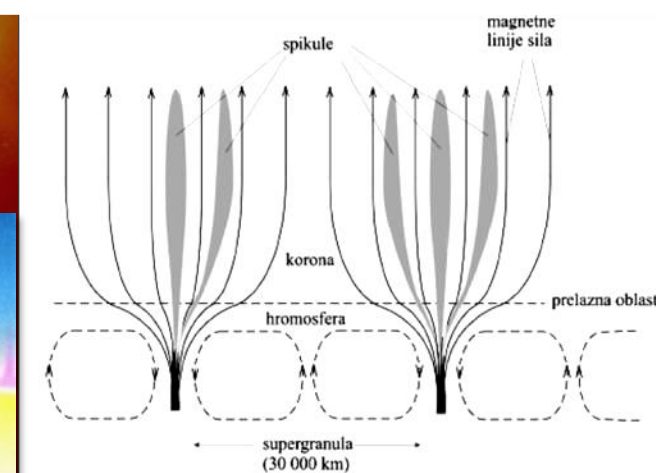
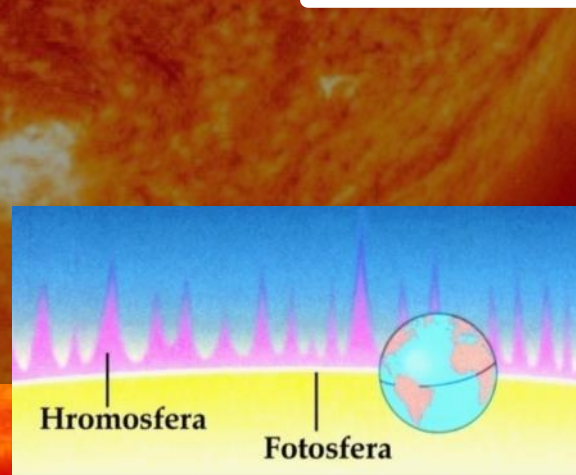
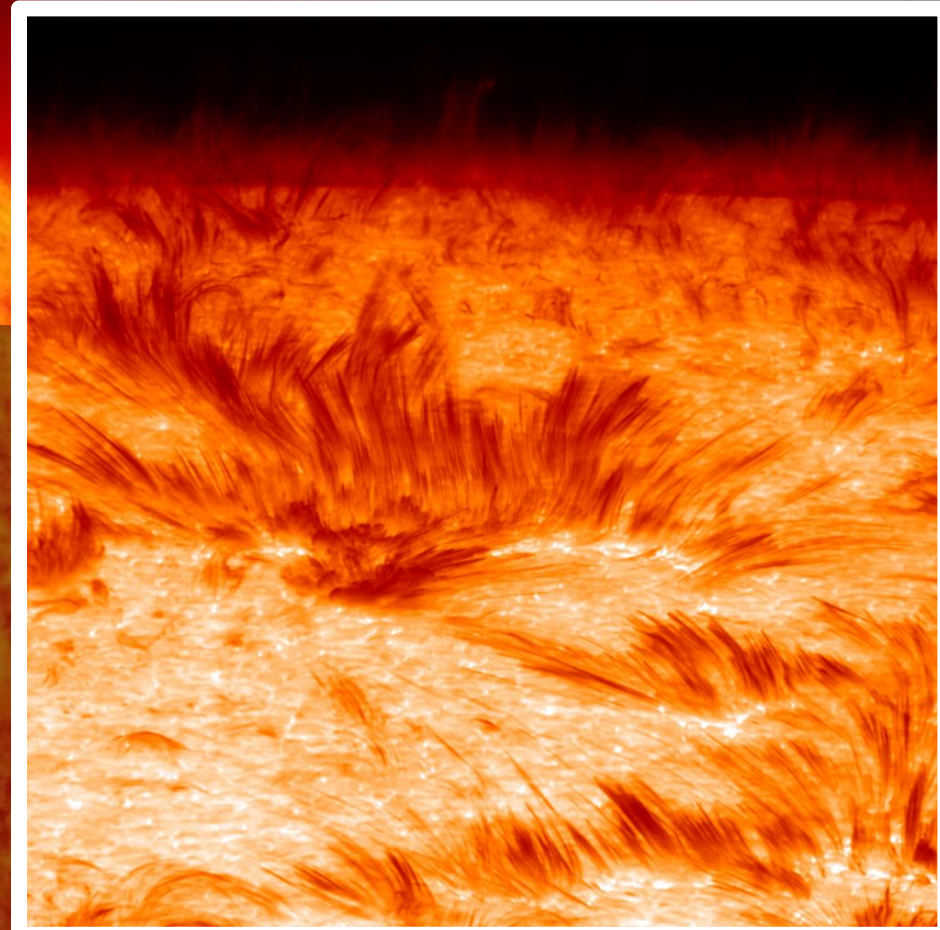
Hromosfera

- Swedish Solar Telescope
- 25. maj 2017
- Oblast niske magnetne aktivnosti
- Tamne oblasti – „mreža“
tzv. inverzna granulacija
- Sjajne oblasti – spikule
 - Dimenzije oko 75 km

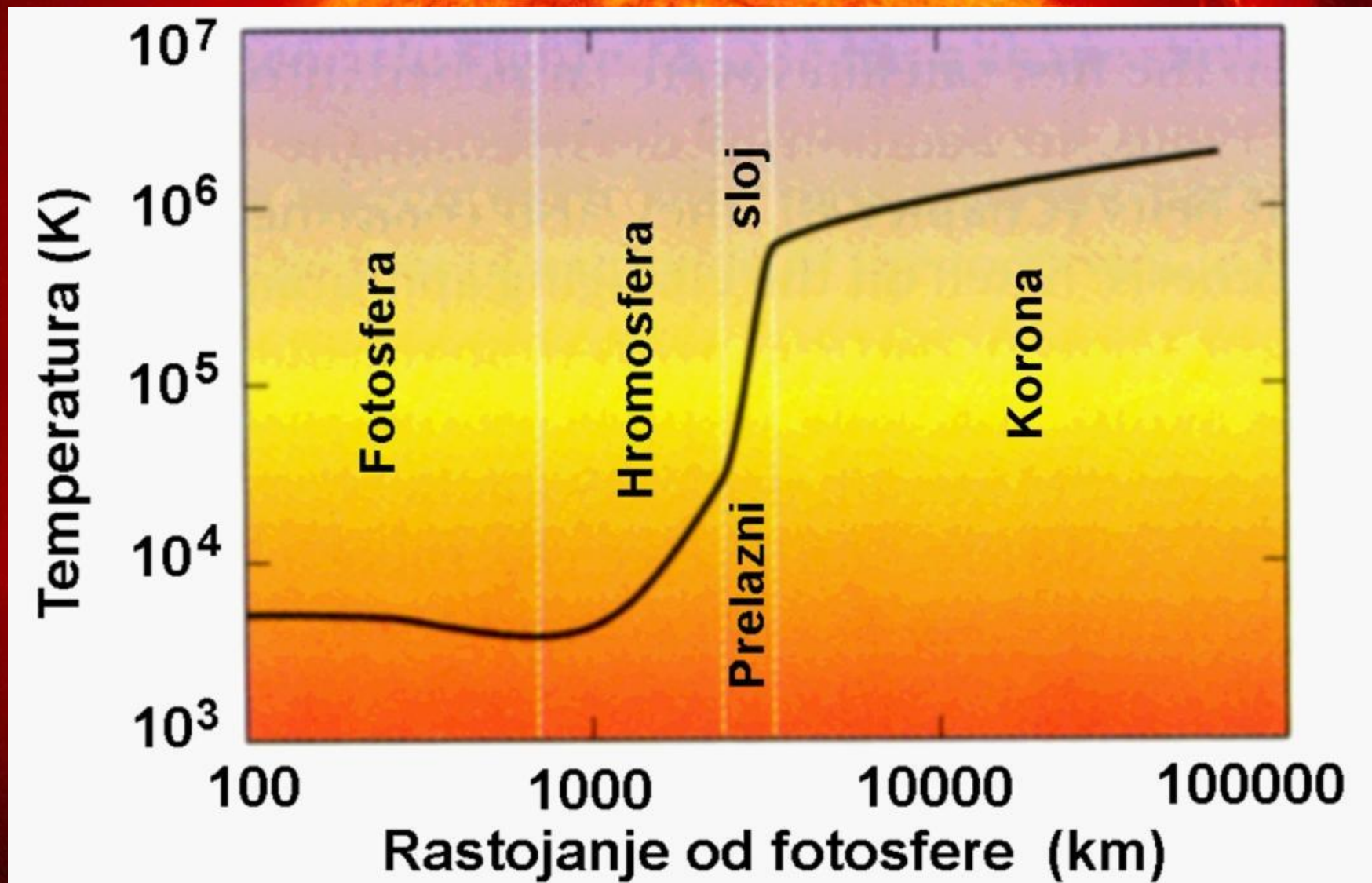


Hromosfera

- Supergranule “ograđene” gustim linijama magnetnog polja
- Obod supergranula – **spikule**
 - Prate linije magnetnog polja
 - Male erupcije, oko 15.000 K; oko 15 minuta
 - Brzina oko 100 km/s
 - Na visinama 3.000 – 4.000 km
 - I do 7.000 – 12.000 km
 - Otkrivene 1877 (Angelo Secchi)
- Hromosferske baklje (fakule)
 - Sjajne površine, 200 – 300 dana



Prelazni sloj



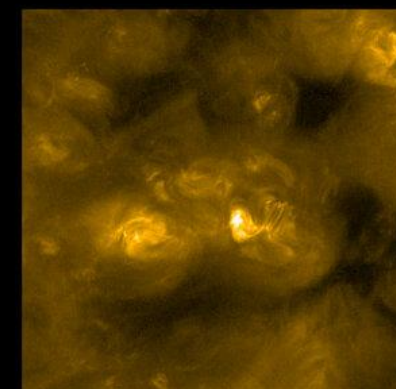
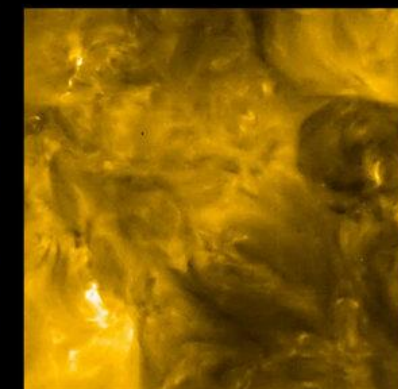
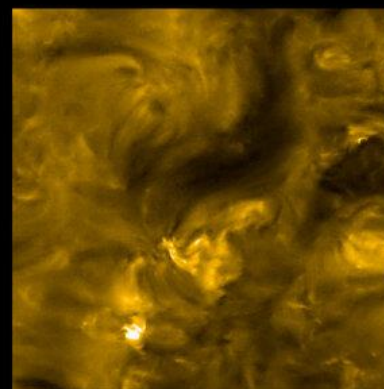
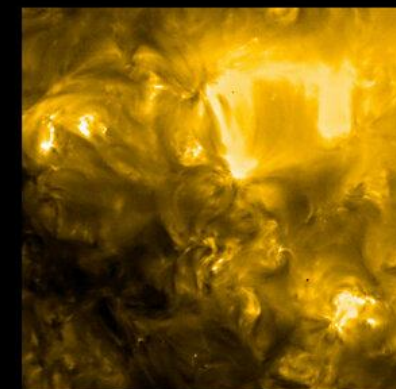
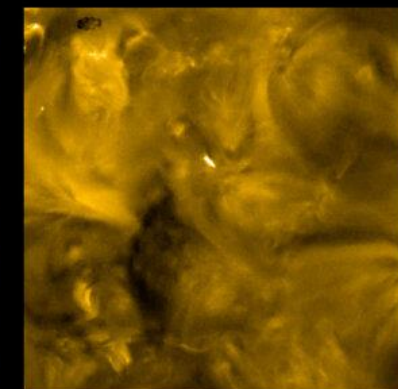
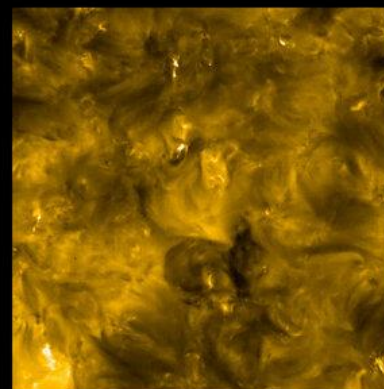
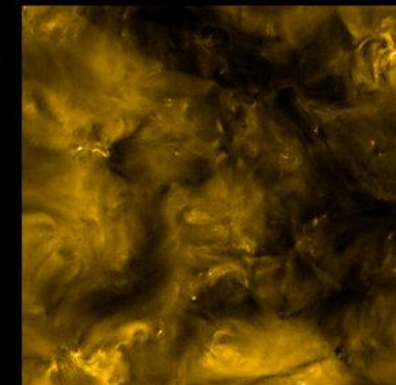
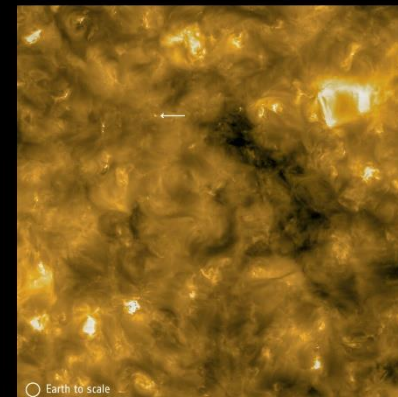
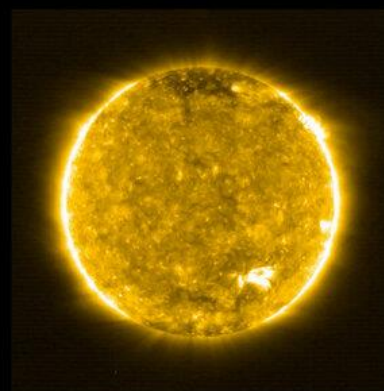
Korona

- Najtopliji i najređi sloj
- Najprostraniji, bleđa od hromosfere
- Veličina i oblik zavise od aktivnosti
 - Minimum – sabijena iznad polova
- Nekoliko radijusa Sunca
 - Prelazi u međuplanetarni prostor
- Stanje gasa - visoke temperature (i do nekoliko miliona stepeni) i jako male gustine
- Čudan spektar – *koronijum*?
 - Fe^{13+} - zelena linija
 - 9, 10 i 13 puta jonizovano *Fe*, 11 i 12 puta *Ca*, 11-15 puta *Ni*
- Različite forme aktivnosti
 - Bleskovi, zraci, lukovi, perjanice, kondenzacije, šupljine, erupcije...



Solar Orbiter

- ESA / NASA, lansiran februara 2020
- Prve fotografije – jul 2020
- 77 miliona km od Sunca
- Standardna naučna misija – novembar 2021
- Solarne „logorske vatre“
- Manji „rođaci“ solarnih baklji
 - Milion do milijardu puta manje





AKTIVNOST SUNCA

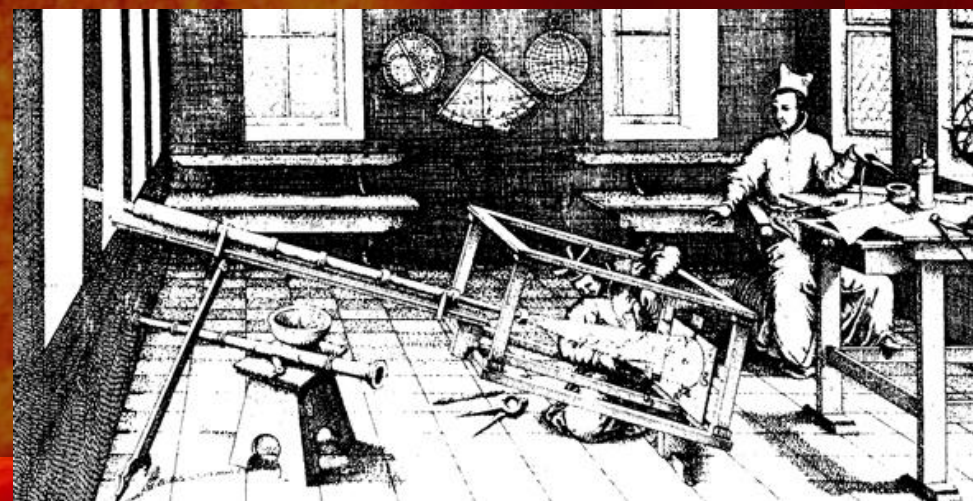
Aktivnost Sunca



- **Mirno Sunce** - potpuno predvidljiva zvezda koja iz dana u dan sija na isti način.
- **Aktivno Sunce** - sporadično, nepredvidljivo zračenje. Aktivnosti imaju mali doprinos ukupnom sjaju, ali i te relativno male promene imaju direktan uticaj na Zemlju

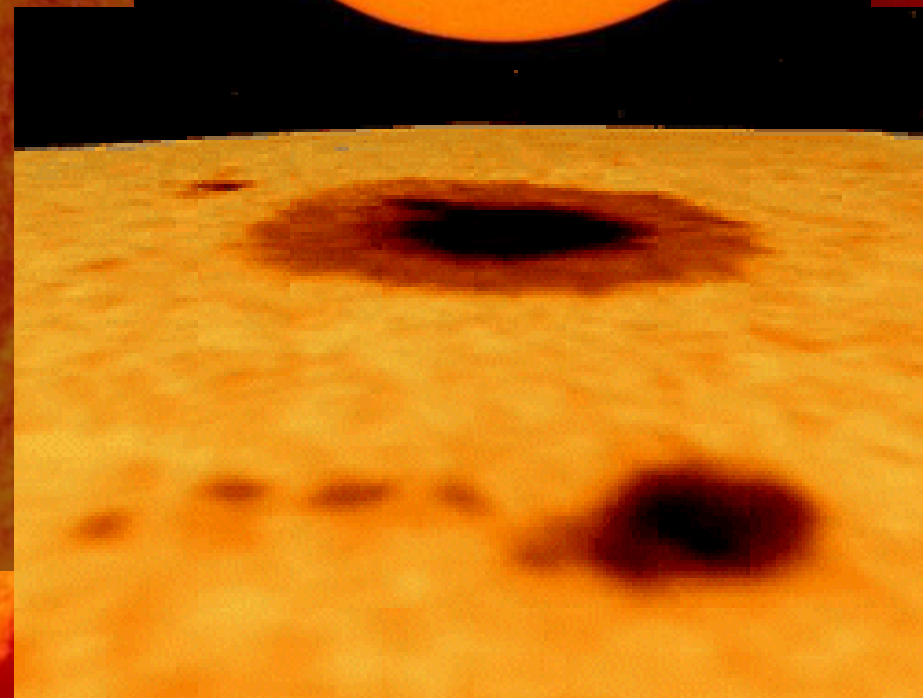
Sunčeve pege

- Jedan od najznačajnijih oblika aktivnosti
- Tamna područja na disku
- Nekad golim okom (40.000+ km)
- Prvi podaci – 320 g.p.n.e, Teofrast
- Prva posmatranja:
 - 1607-1611: Fabricijus, Kepler, Galilej



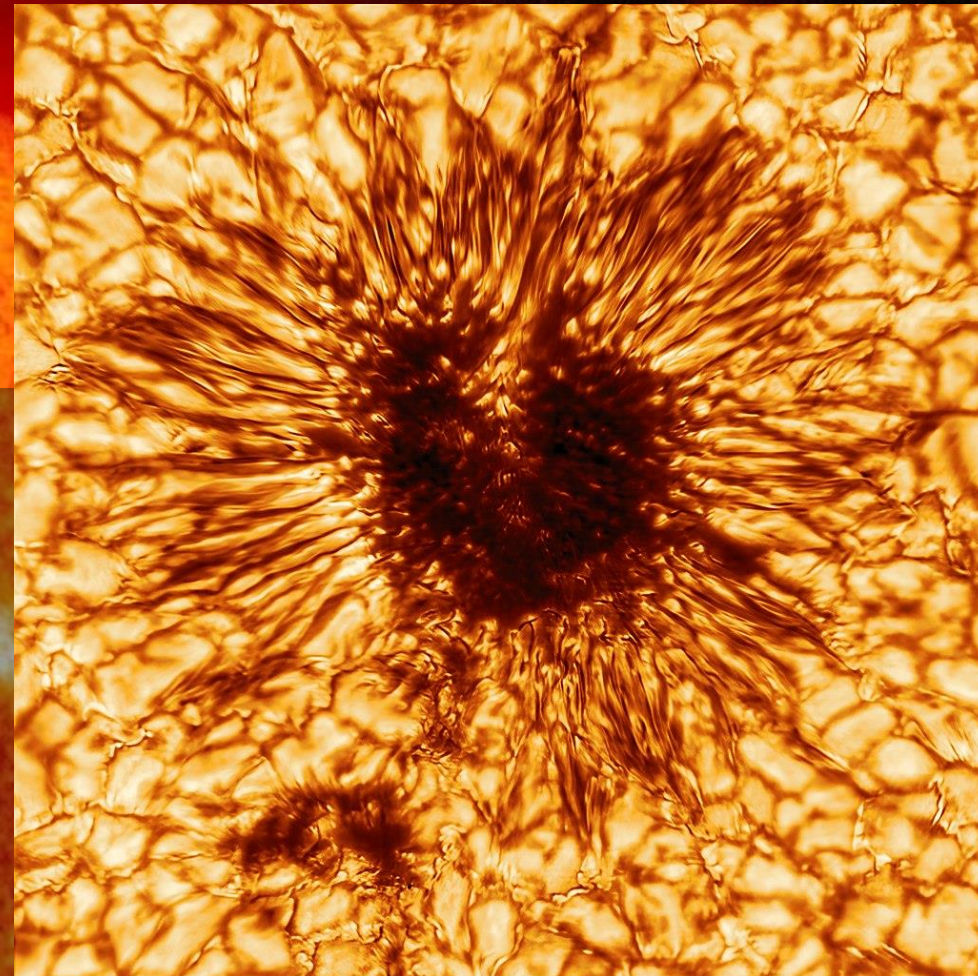
Sunčeve pege

- Tamna pora koja se kasnije razvija
- Na 5 - 52 stepena širine, najčešće 8 – 30
- Prečnik 1.000 – 100.000 km (grupe pega)
- Manje pege 1-2 dana, razvijene 10-20 dana
- Senka (umbra) i polusenka (penumbra)
 - Prosek: 17.500 km – senka, 37.000 km polusenka



Sunčeve pege

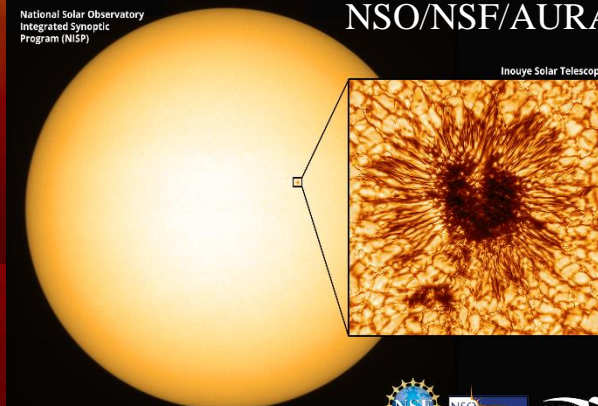
- Sjaj:
 - Senka 20-30%, polusenka 75-80%
 - 5.000 puta veći od sjaja Meseца!
- Temperatura
 - 25-30% niža, 4.200K
- Oko pege
 - *fotosferske fakule (bajlje)*, 10% veći sjaj od proseka
 - Grupe granula, 4.000-6.000 km, lanci 5-10 hiljada x 50 hiljada km
 - Velike – nekoliko sati ili dana pre i posle pege



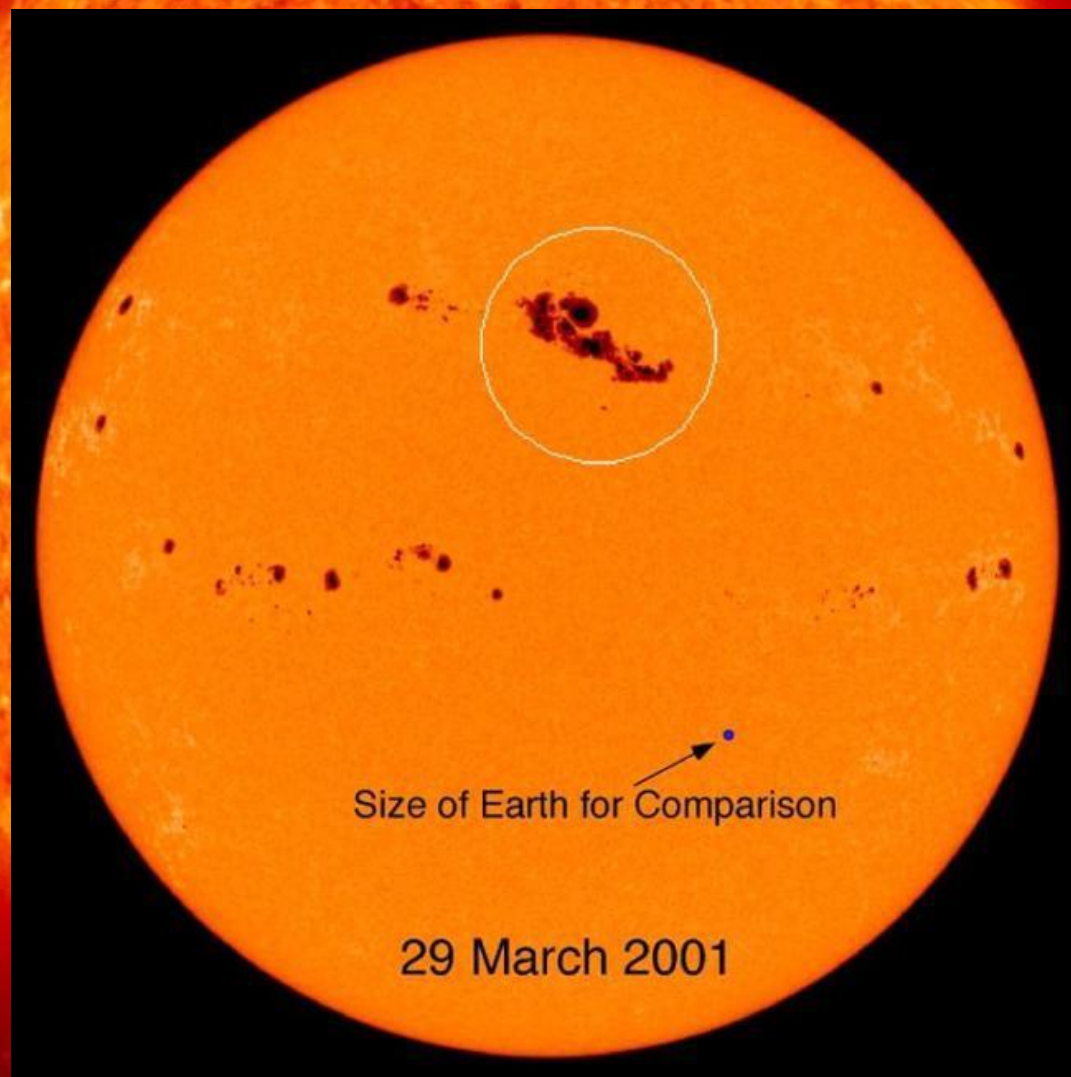
National Solar Observatory
Integrated Synoptic
Program (NSIP)

NSO/NSF/AURA

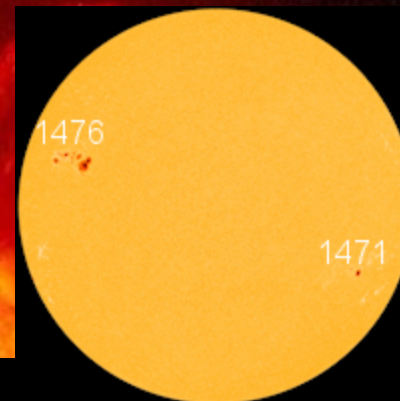
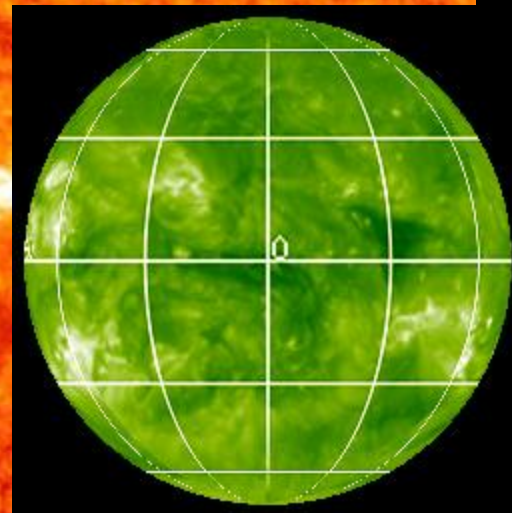
Inouye Solar Telescope



Sunčeve pege

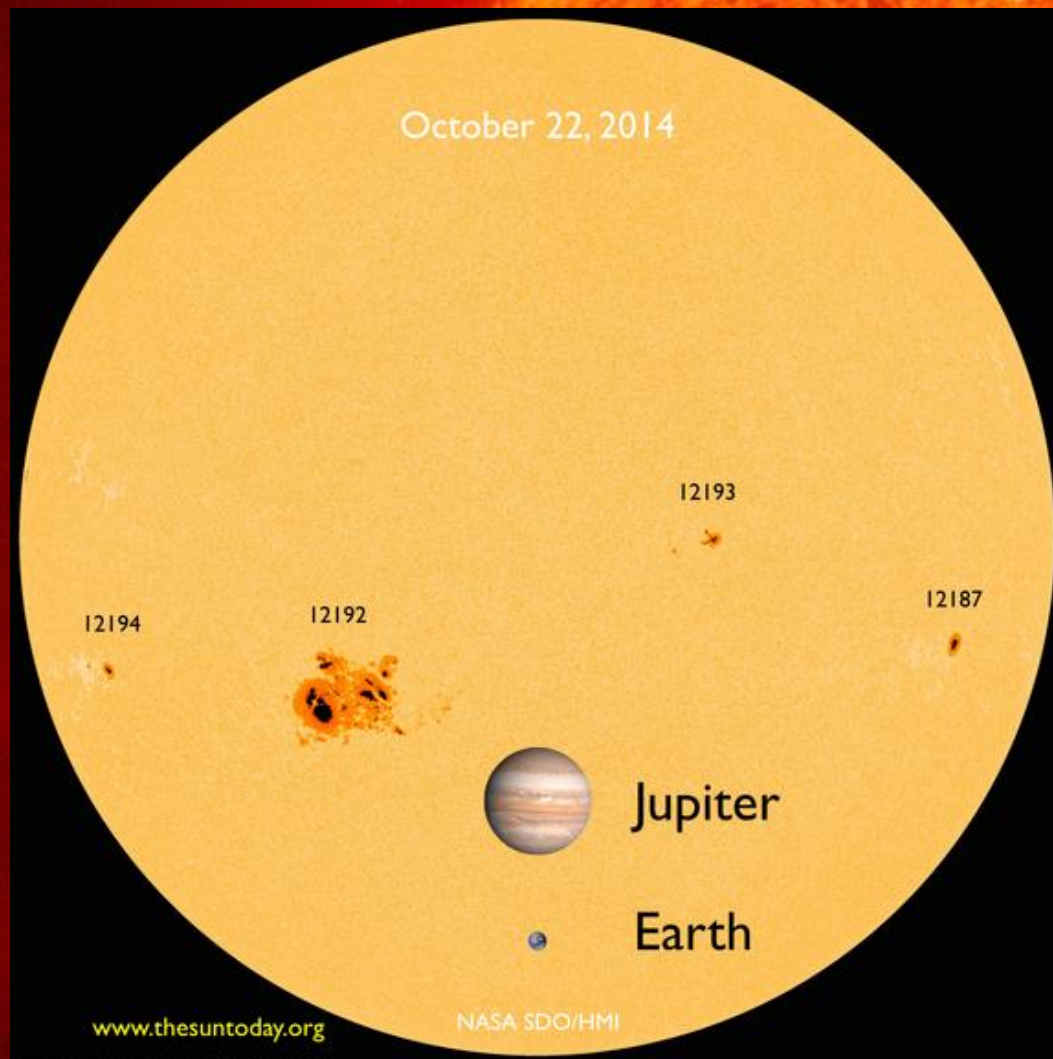


Sunčeve pege



- Maj 2012. godine
- 100.000 kilometara!

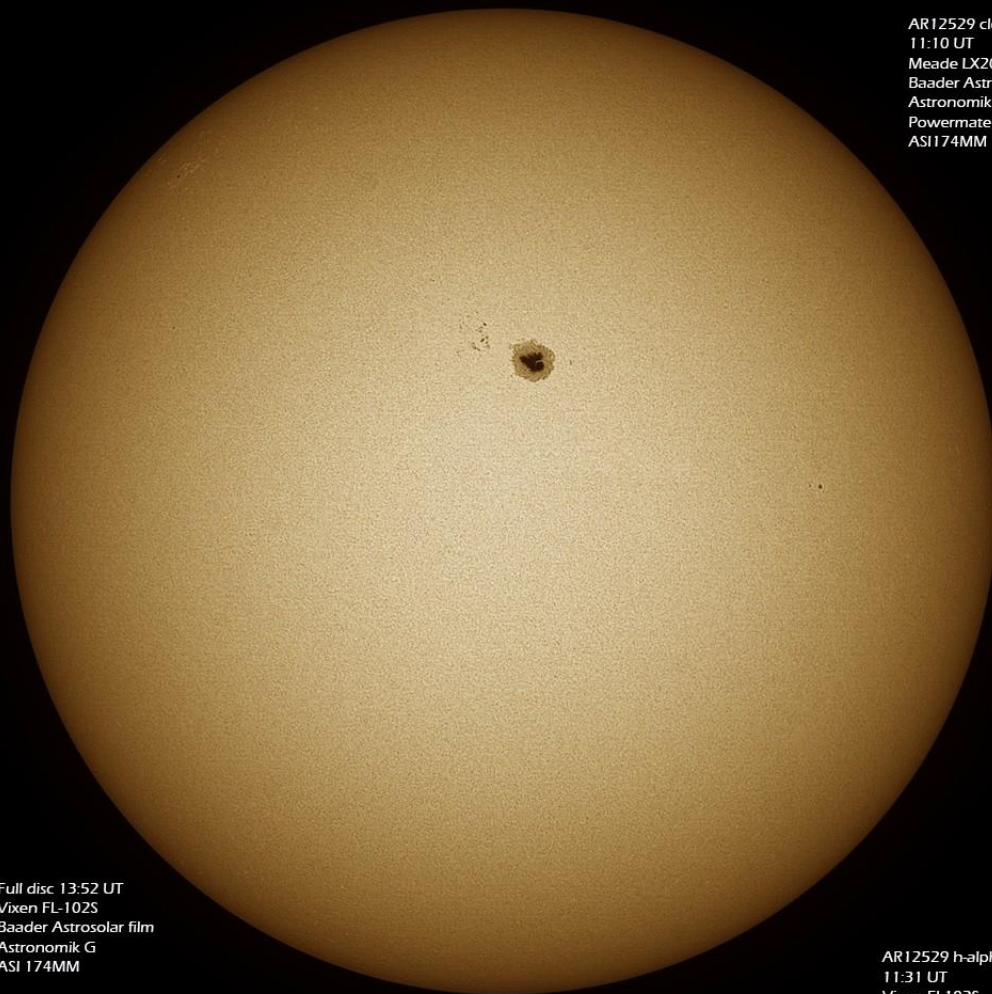
Sunčeve pege



- AR 12192 – najveća aktivna oblast u prethodnih 25 godina
- 33. najveća od 32.908 aktivnih oblasti zabeleženih od 1874. god
- Vidljiva golim okom!

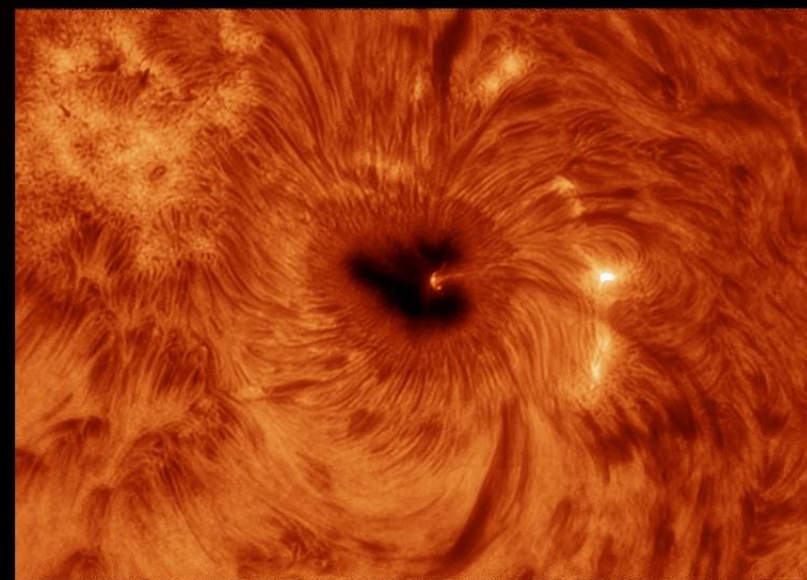
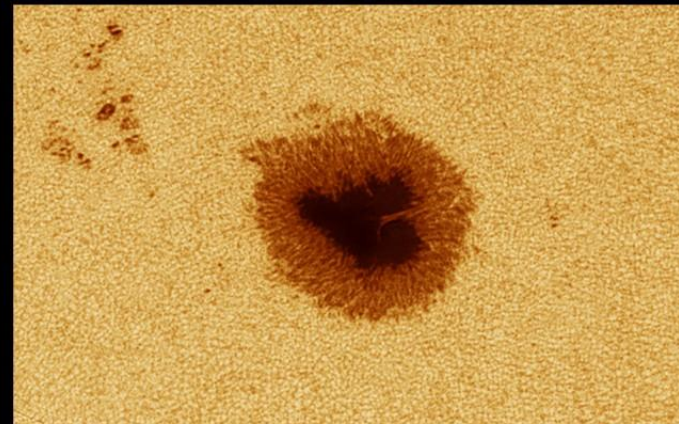
April 2016

Sun 2016-04-13



Full disc 13:52 UT
Vixen FL-102S
Baader Astrosolar film
Astronomik G
ASI 174MM

AR12529 close-up
11:10 UT
Meade LX200
Baader Astrosolar film
Astronomik G
Powermate 2.5x
ASI174MM



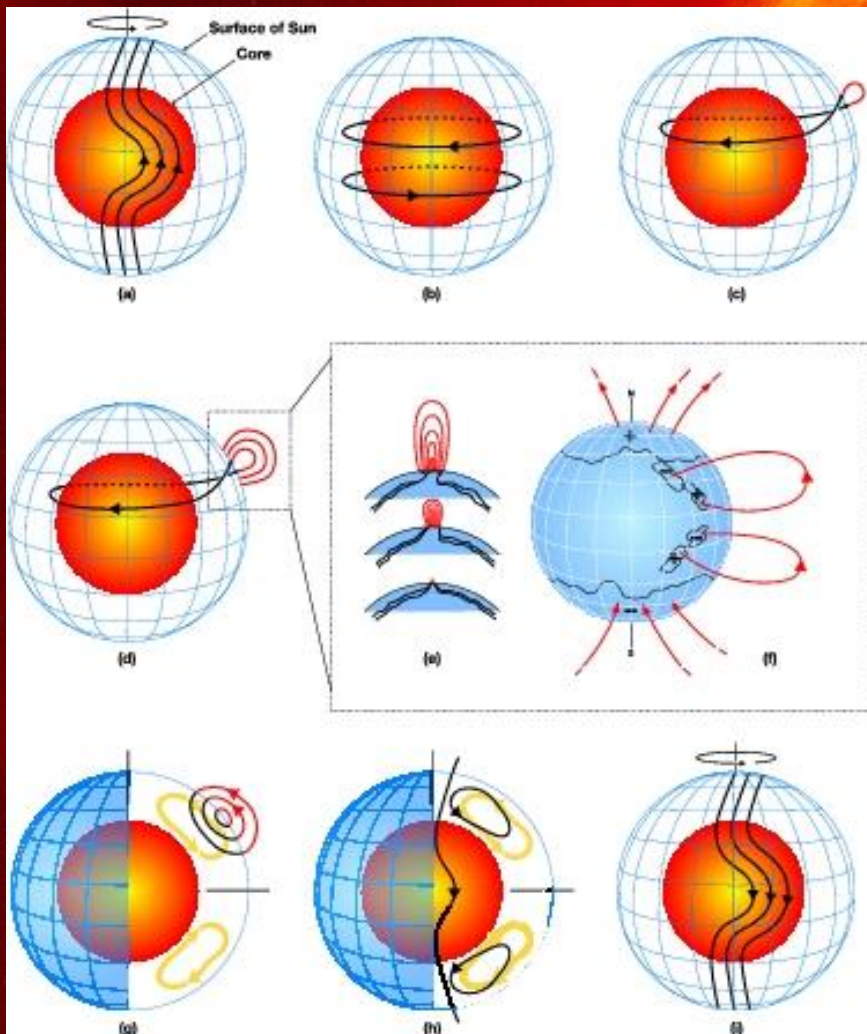
AR12529 h-alpha
11:31 UT
Vixen FL102S
Daystar Quark (CS)
ASI174MM

12. april 2016



The apparent size of Mercury as will be seen during the 9 May 2016 transit, compared to the size of the large sunspot (AR12529) currently just visible to the naked eye through a certified solar safety filter (e.g. eclipse glasses).
Never look at the Sun without an appropriate and correctly fitted filter!

Kako nastaju pege?



- Linije osnovnog magnetnog polja se, prolazeći kroz slojeve Sunca, deformišu i savijaju
- Razlog - radijalne konvekcije plazme i diferencijalne rotacije
- Jedan njihov deo ide ispred drugog (teorija *Bebkoka*).

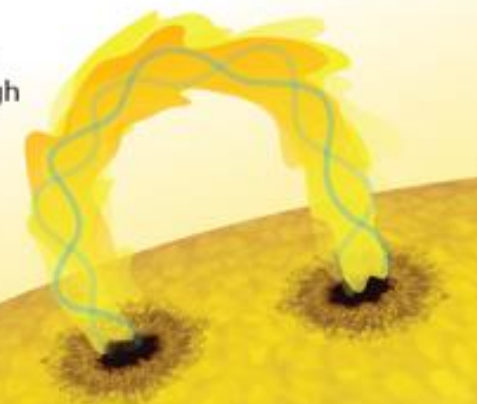


The sun experiences differential rotation; it rotates faster at the equator than at the poles.



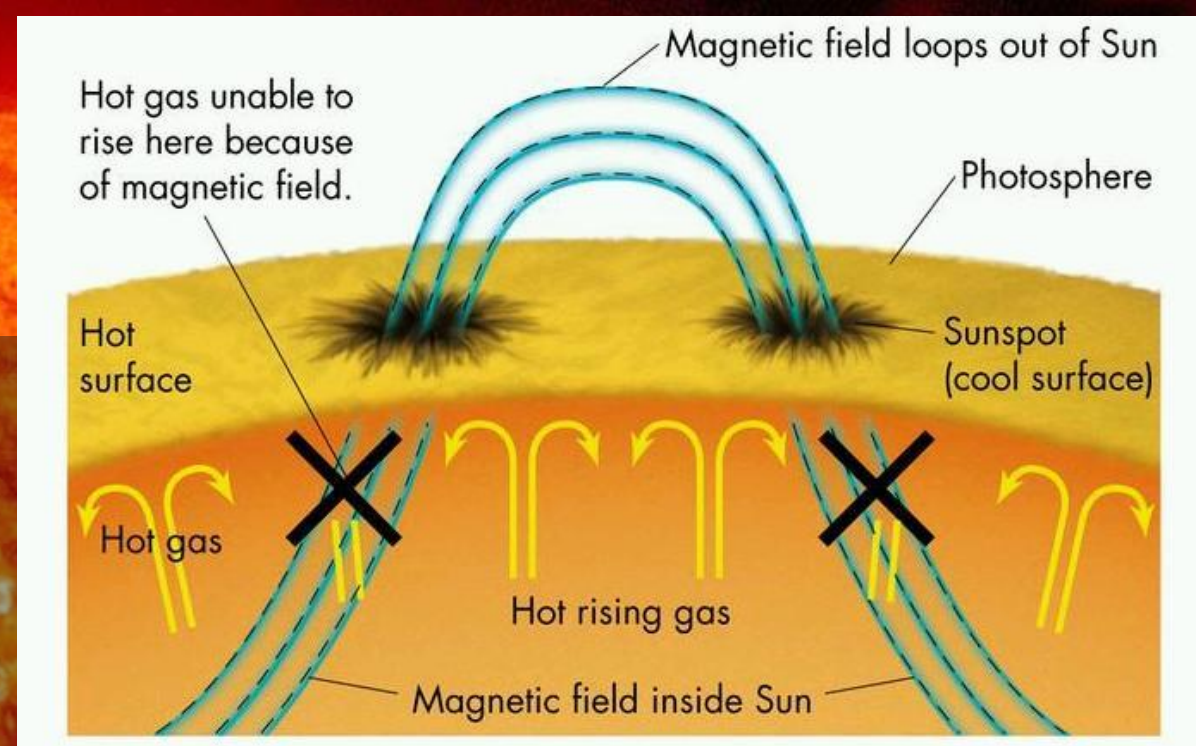
The sun's magnetic field lines become twisted as it rotates.

The twisted magnetic field lines burst through the surface of the photosphere. They suppress convection and inhibit heat flow, causing dark regions called sunspots.

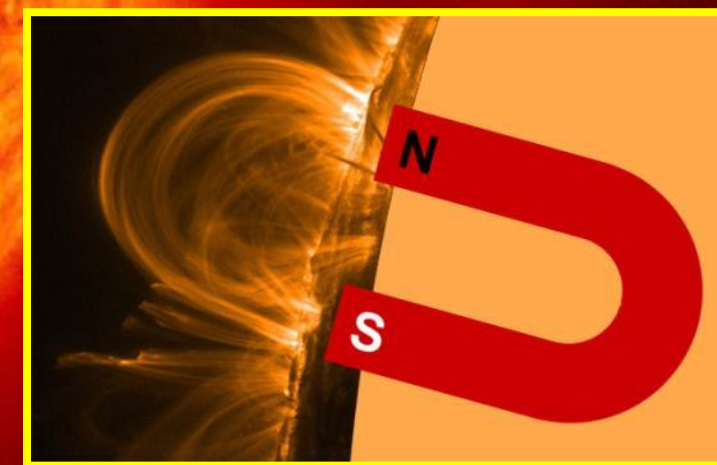


Nastanak pega

- Linije polja su zatvorene i formiraju prsten.
- Jedan njegov deo je ispod fotosfere, a drugi deo je iznad (u obliku lukova ili petlji).
- U preseku prstena sa površinom fotosfere nastaju pege suprotnog magnetnog polariteta.
- Centri aktivnosti na Suncu javljaju se na mestima gde iskrivljene linije magnetnog polja izvire iz fotosfere.

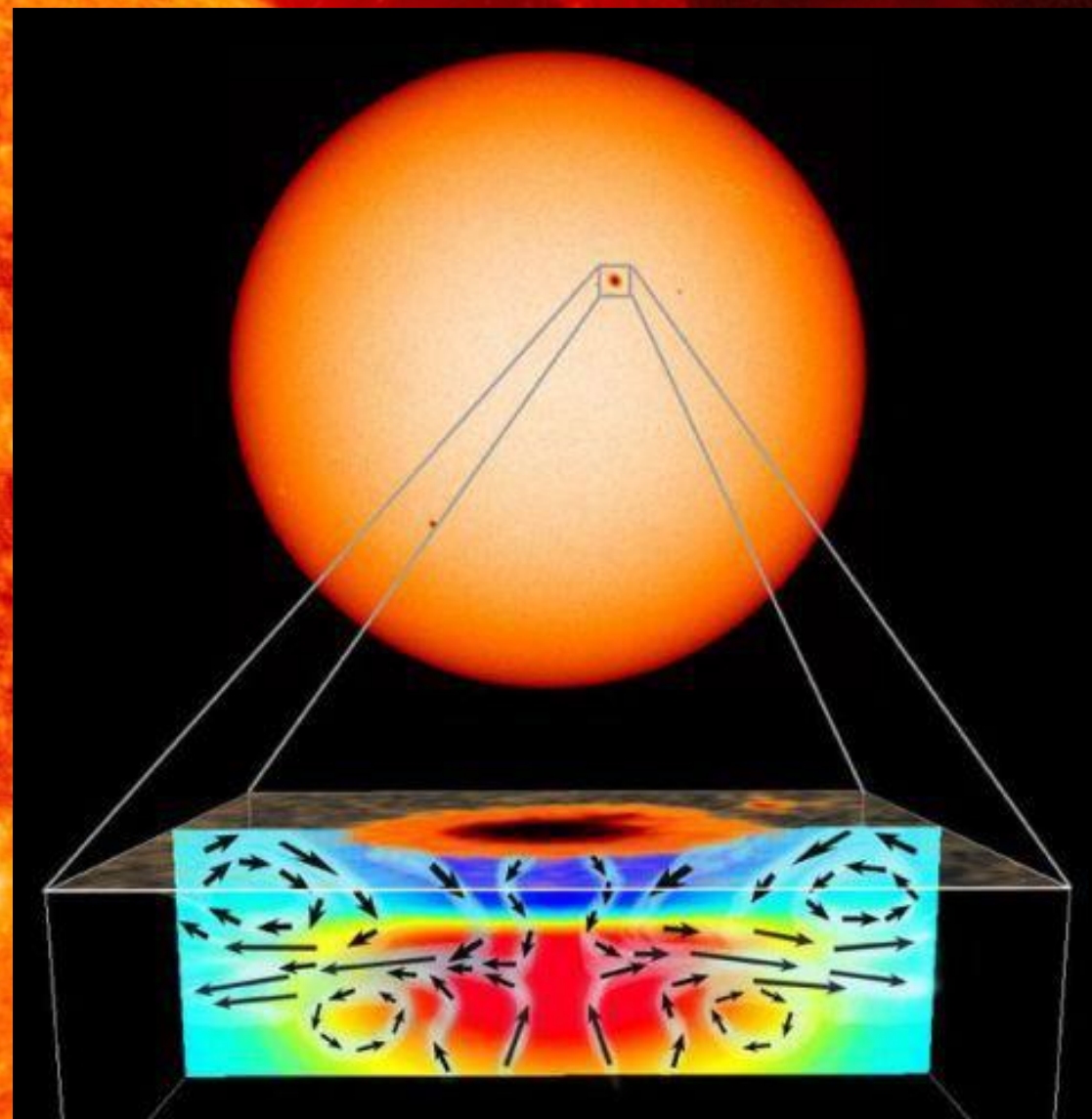


Min S. Yun / astro.umass.edu

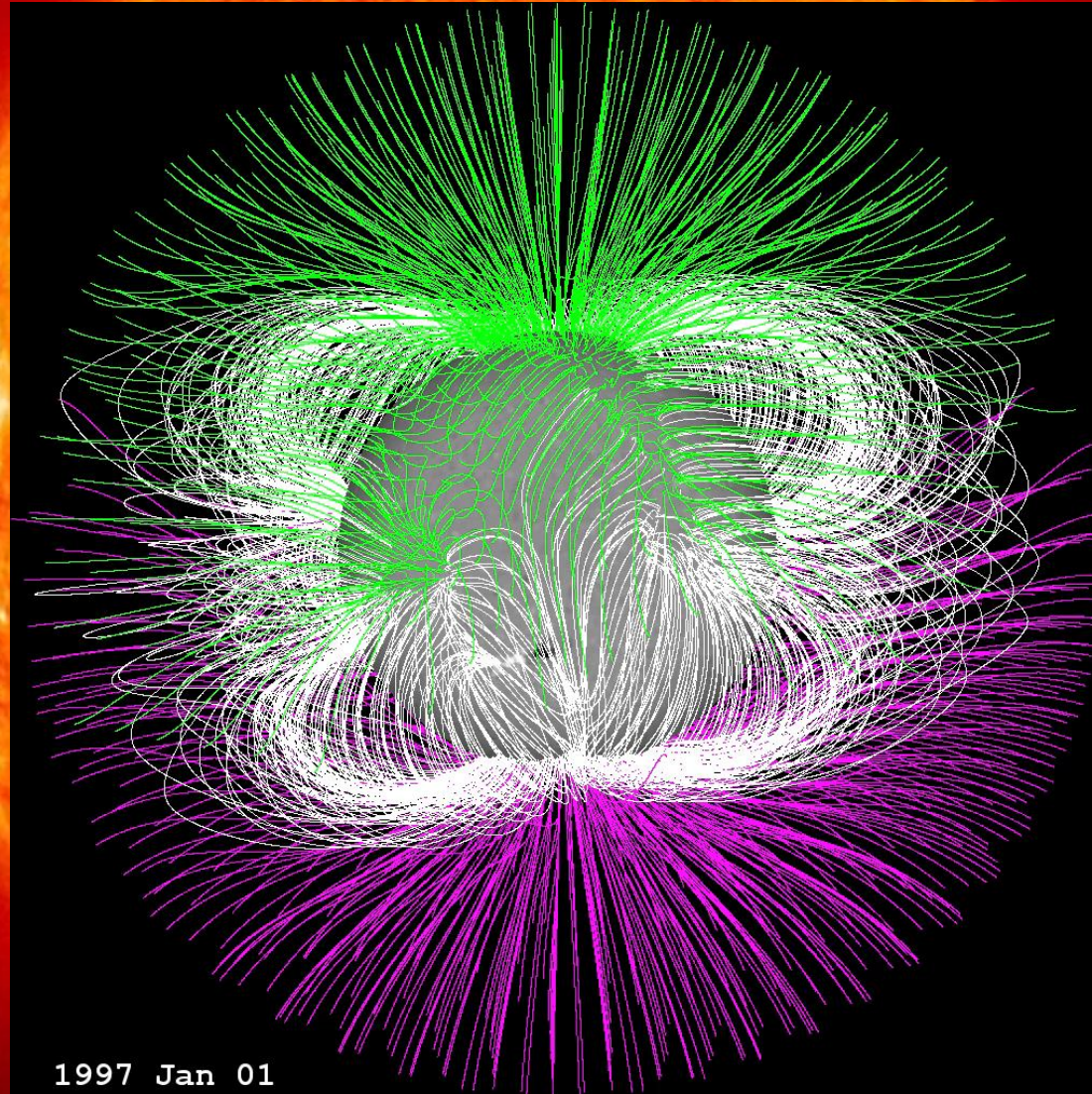


Nastanak pega

- Pojačano magnetno polje u pegama suprotstavlja se daljem konvektivnom kretanju.
- Slabljenje ili zaustavljanje konvekcije otežava dotok toplote
- Fotosferski gas u pegama se hladi, sjaj postaje manji od okoline.



Magnetno polje Sunca



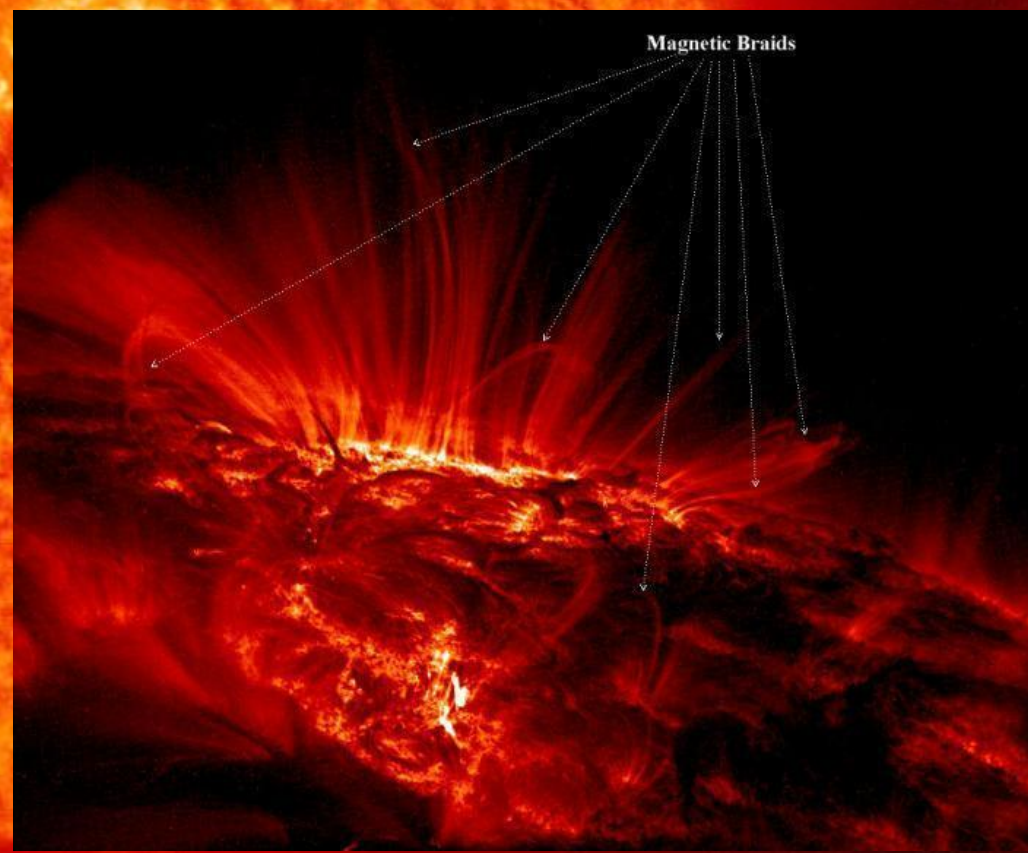
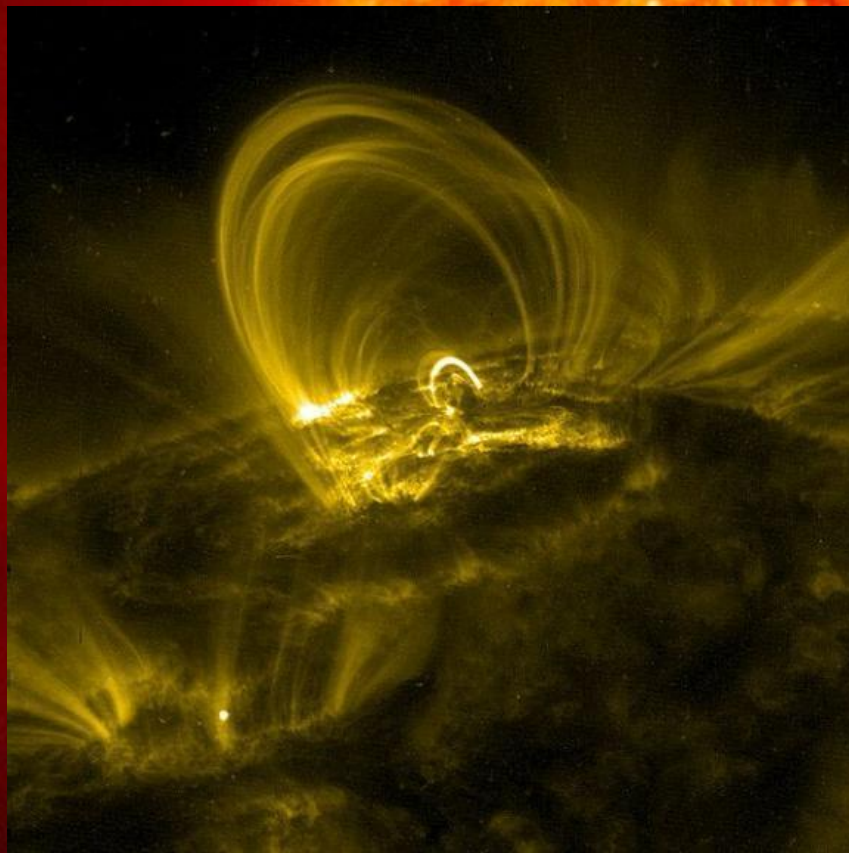
“Dinamo” mehanizam



Credits: NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio

Koronarni lukovi

- Linije magnetnog polja aktivnih oblasti

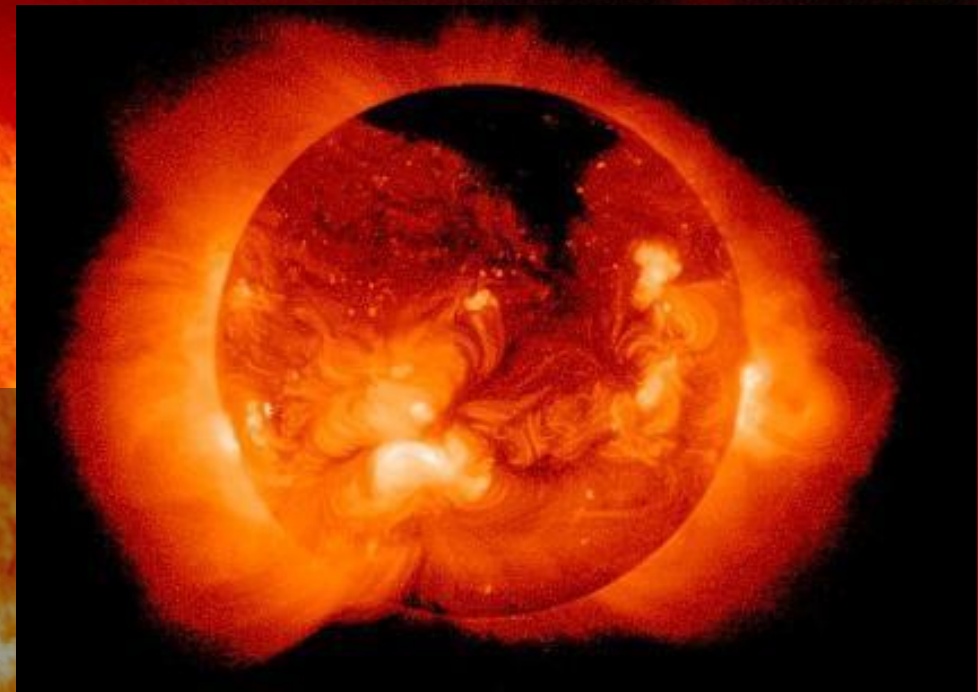


Koronarna kiša



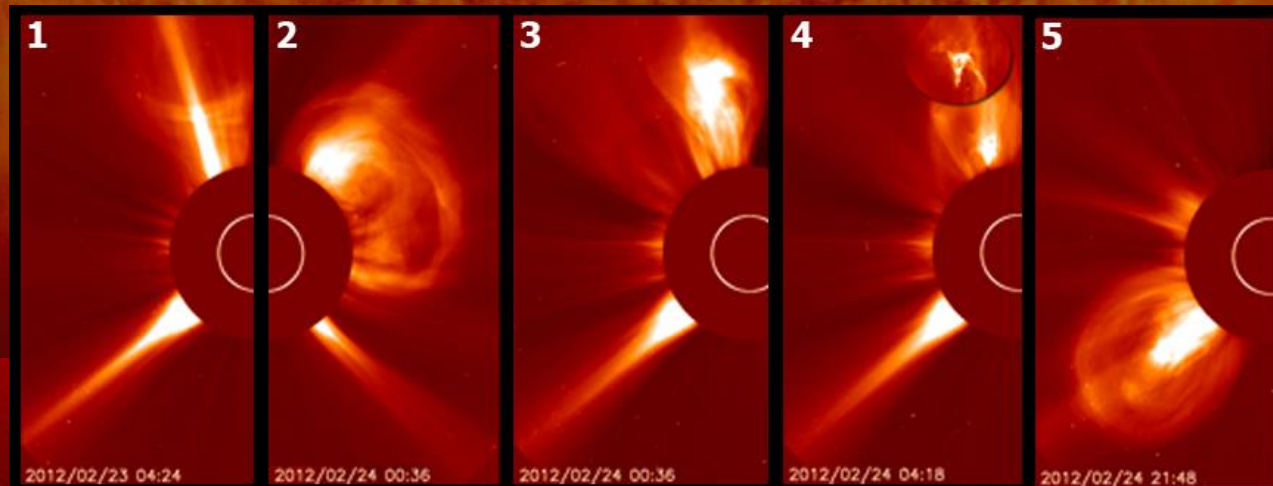
Koronine šupljine

- Gustina oko 10 puta manja
- Linije mag. polja prostiru se od površine ka međuplanetarnom prostoru
- Naelektrisane čestice prate linije polja
- U drugim oblastima – linije polja blizu površine Sunca
- Dimenzije
 - najveće nekoliko stotina hiljada km (javljaju se retko),
 - najčešće desetak hiljada kilometara – svakih nekoliko sati
- Kroz njih se emituje sunčev vetar, 600-800 km/s



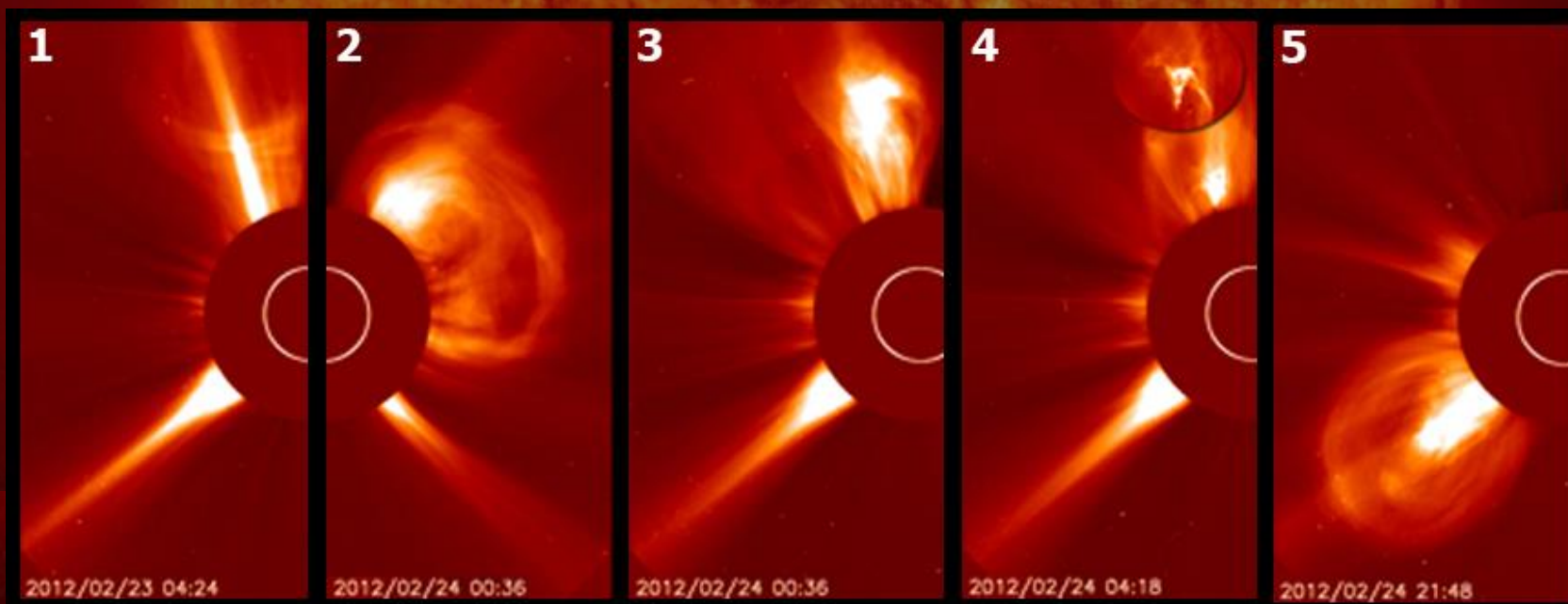
Eksplozije u hromosferi i koroni

- Jedan od najznačajnijih oblika aktivnosti
- Iznenadni, kratkotrajni procesi u kojima dolazi do velikog pojačanja intenziteta zračenja u ograničenim oblastima fotosfere
- Rezultat naglog oslobađanja magnetne energije i njenog prelaska u kinetičku energiju, toplotu i svetlost
- Nastaju iznad “neutralnih” oblasti između dve pege suprotnog polariteta; najčešće se javljaju u multipolarnim grupama



Eksplozije u hromosferi i koroni

- Pre nastanka eksplozije – pojačanje zračenja jonizovanog gasa korone
- U trajanju od oko 1 min – ubrzavanje elektrona -> X-zračenje
- Za nekoliko minuta se dostiže najveći sjaj, intenzitet se smanjuje više sati
- Složene pojave, odigravaju u celoj dubini atmosfere



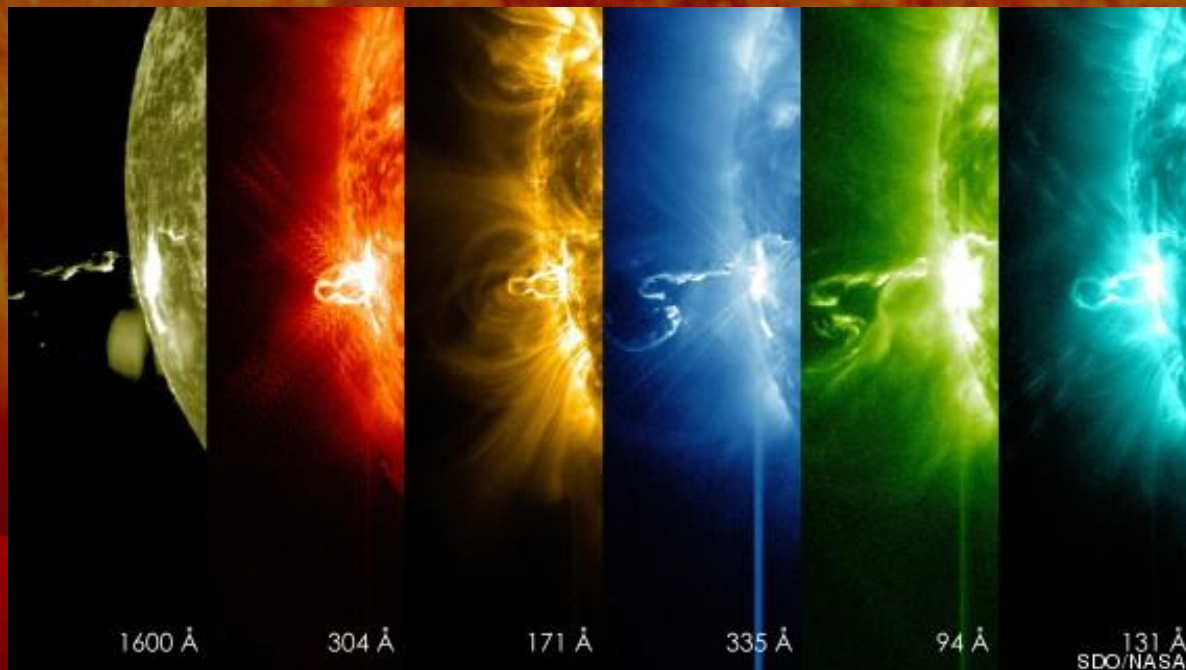
Eksplozije u hromosferi i koroni



- 20% energije – optički spektar
- Ostalo UV, X i radio zračenje, zagrevanje i izbacivanje oblaka jonizovanog gasa - plazme
- Kreće kroz međuplanetarni prostor brzinom od 1.500 km/s

Eksplozije u hromosferi i koroni

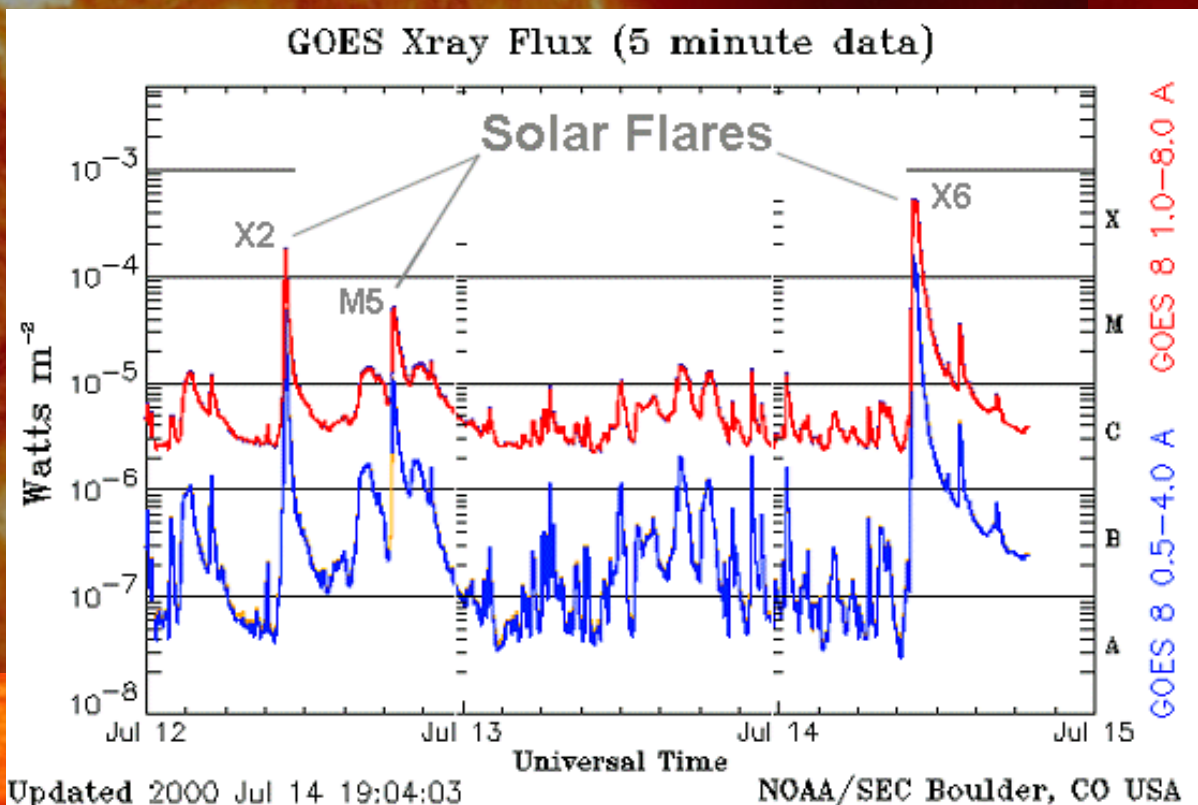
- Tokom prelaska grupe pega preko diska
 - 30 – 50, maksimum aktivnosti i 300!
- 100+ dnevno na Suncu; jake – nekoliko puta godišnje



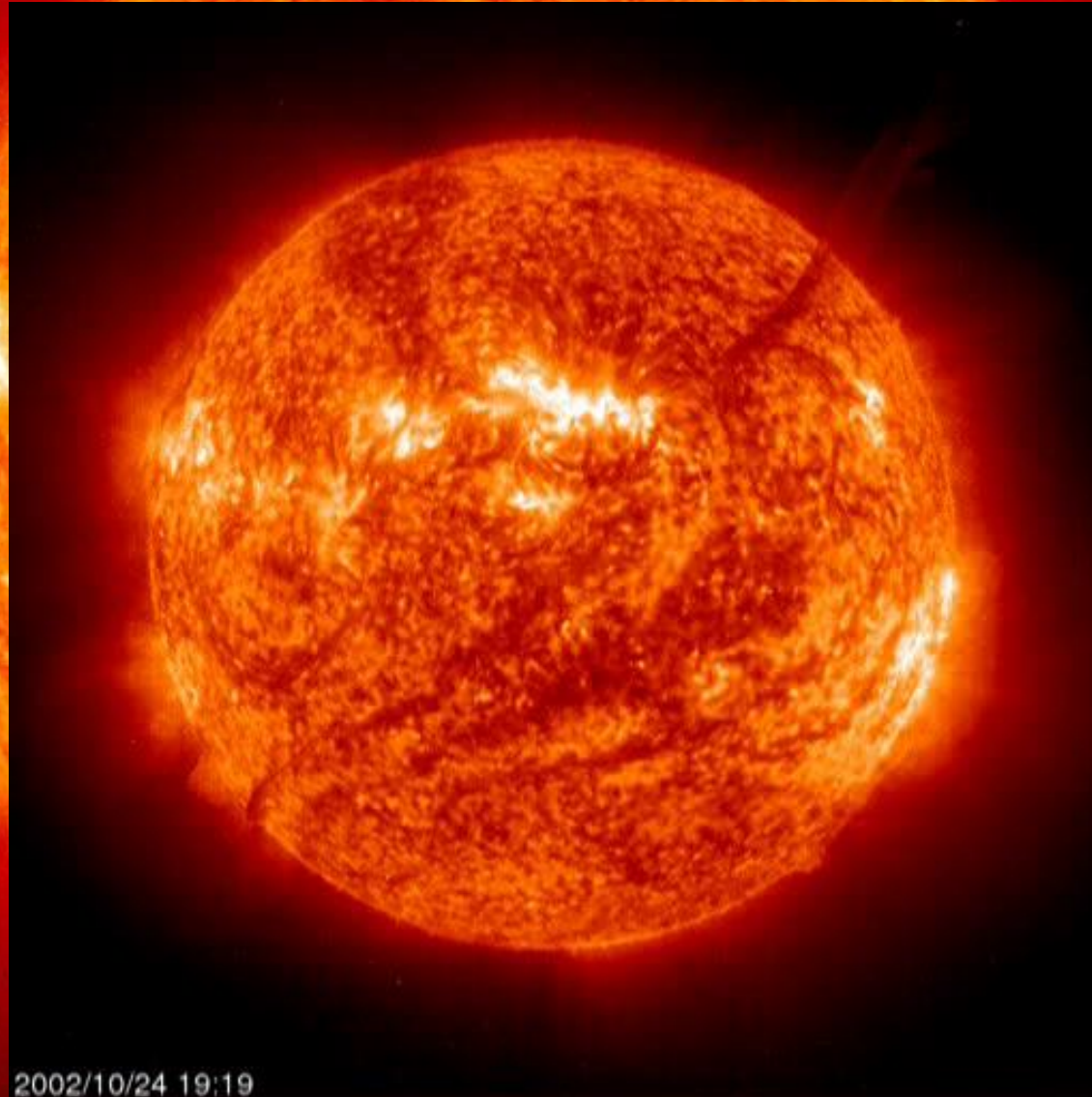
24. feb. 2014
Klasa X4.9

Rangiranje eksplozija

- Maksimum gustine energije emitovanog X-zračenja u toku od 5 minuta
 - Klasa **B** - $I < 10^{-6}$
 - Klasa **C** - $10^{-6} < = I < 10^{-5}$
 - Klasa **M** - $10^{-5} < = I < 10^{-4}$
 - Klasa **X** - $I > = 10^{-4}$
- Najčešće X1 i X2

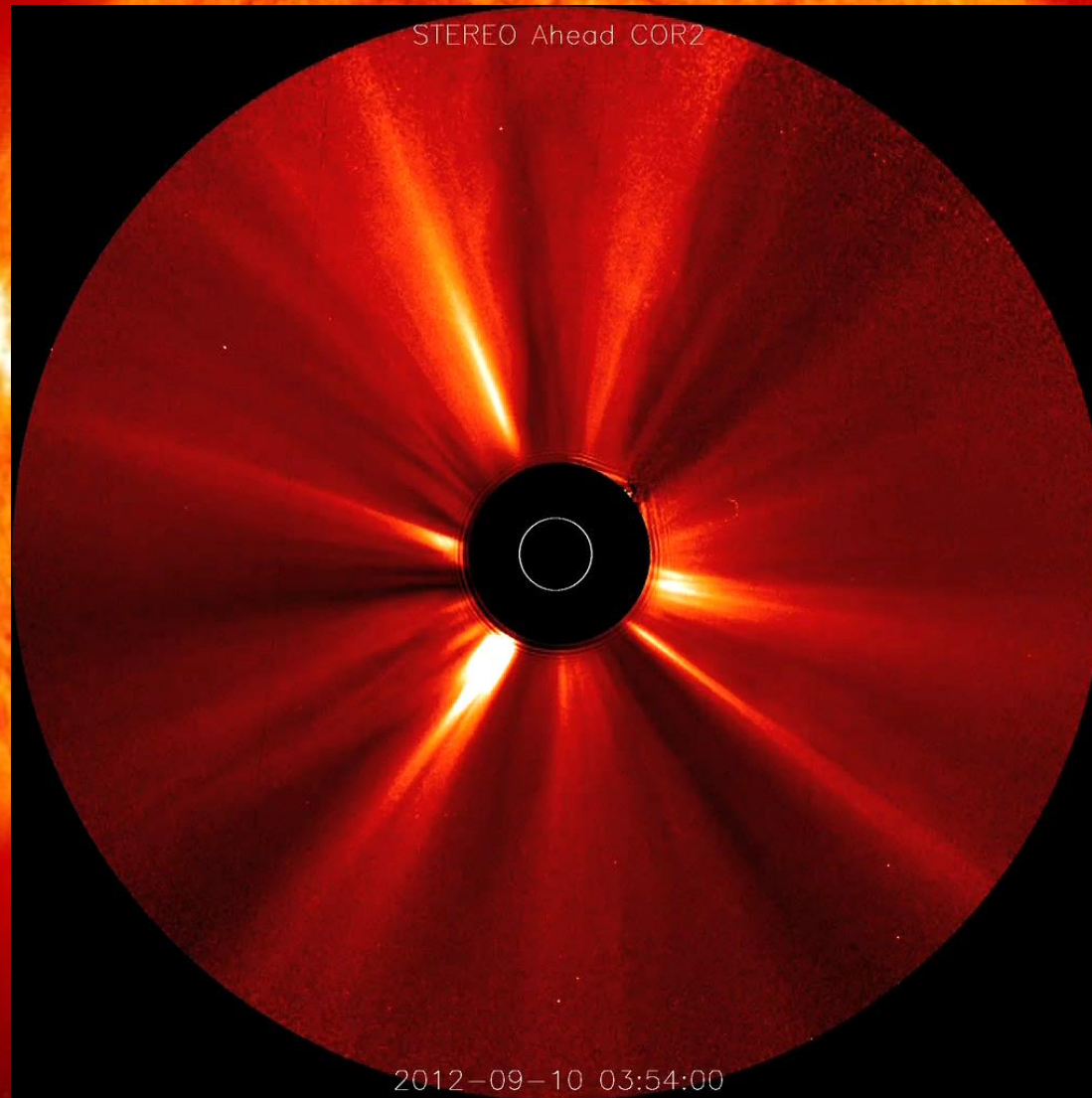


24 – 27 oktobar 2002.



<http://soho.nascom.nasa.gov>

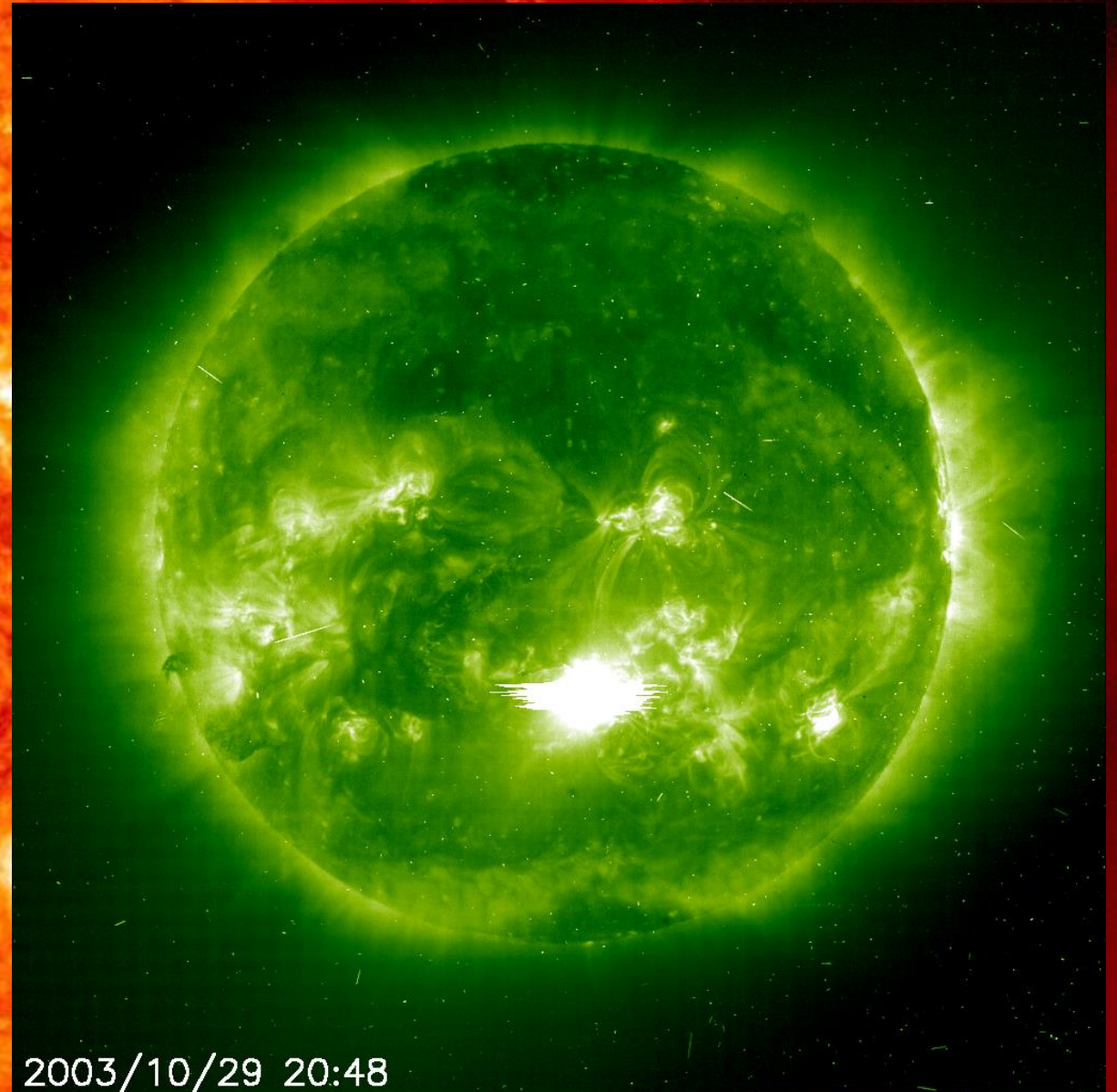
10 – 11 september 2012



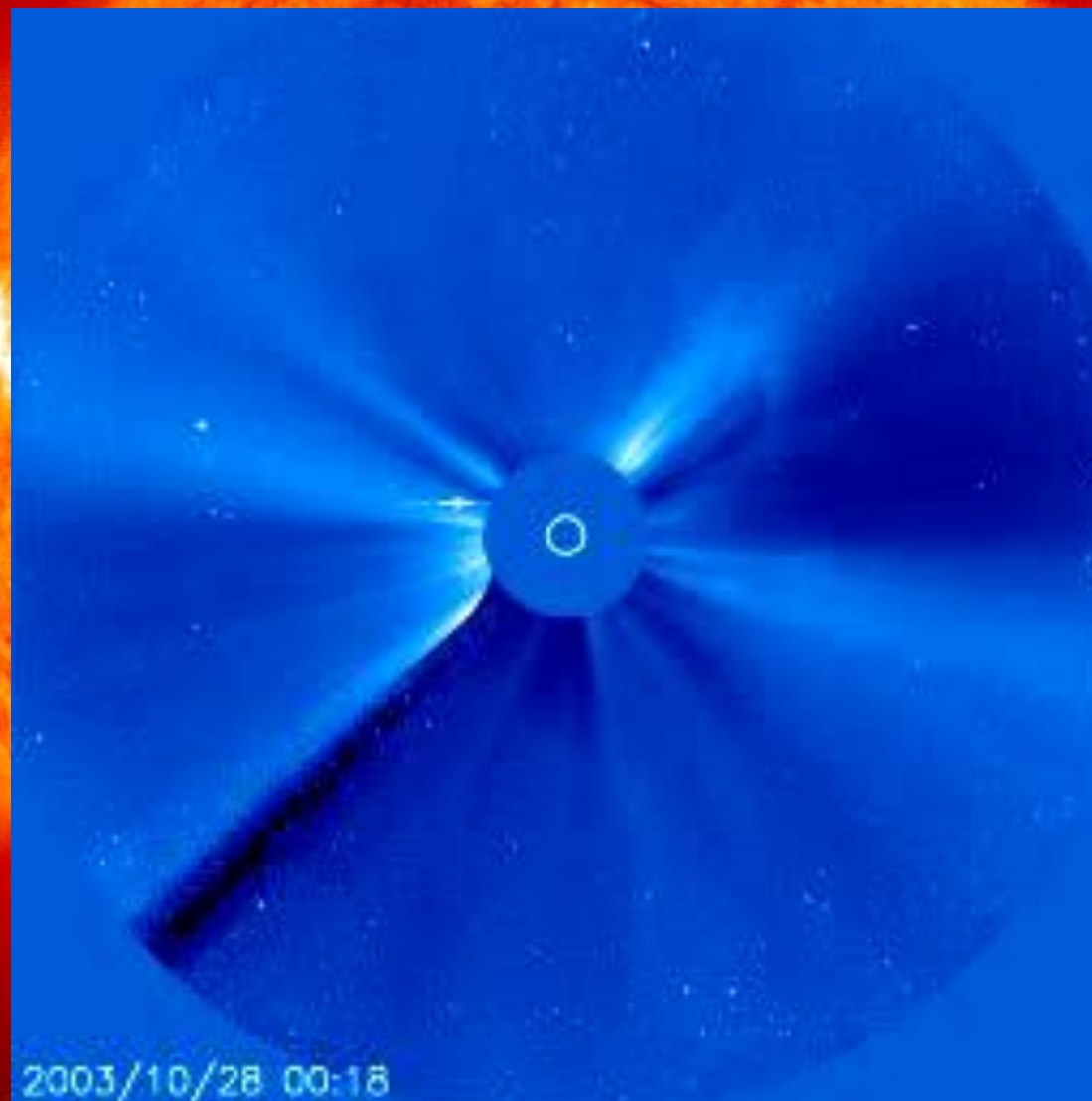
<http://soho.nascom.nasa.gov>

Grupa 486

- Maksimum bio 2001. godine
- Ali - kraj oktobra 2003. godine!
- Tri velike grupe – svaka veća od Jupitera (143.000 km)
- Jedna – najveća u prethodnih 13 godina
- Tri eksplozije – u TOP10 od 1976. godine
 - 4. novembar – rekord X28
 - Na samoj ivici diska 😊



Grupa 486



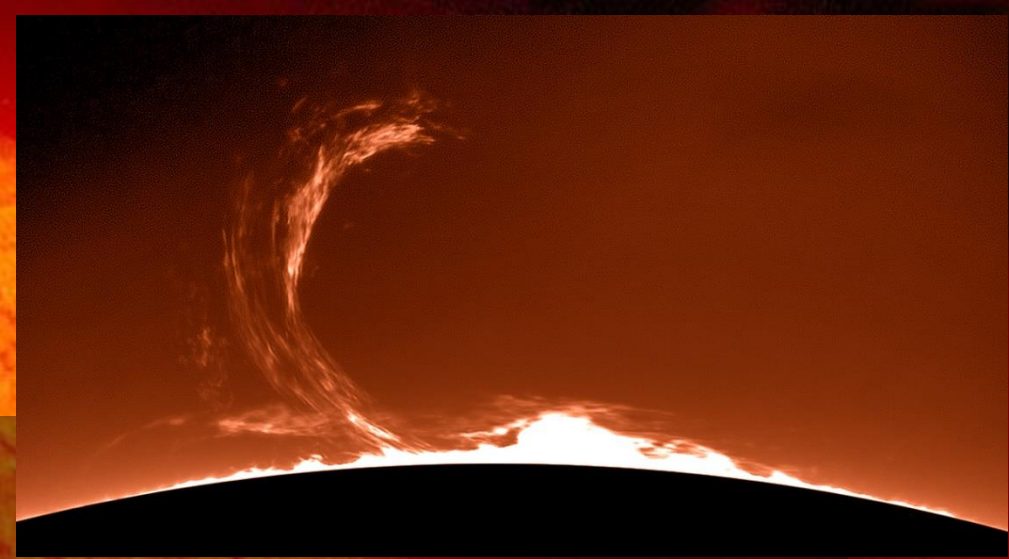
Protuberance



- različitih oblika i veličina
- temperatura – niža od okolne hromosfere i iznosi do 10.000 K
- gustina veća – sjajnije
- traju oko 3 obrta Sunca, zabeležene – po nekoliko godina
- stabilnost i opstanak u ređoj koroni
 - jedino ako je pritisak gasa protuberance jednak pritisku gasa korone
- pritisak = gustina x temperatura; gustina 100 puta veća od korone
- kretanje supstance – pod uticajem magnetnog polja
- materijalizacija linija magnetnog polja

Protuberance

- *Aktivne protuberance*
 - vrlo brz razvoj (od 10 minuta do nekoliko sati)
 - najčešće nastaju kondenzacijom u koroni i spuštanjem naniže u hromosferu
 - aktivnosti, traju po nekoliko sati
 - Brzina materijala – nekoliko stotina km/s
 - temperatura 25.000 K

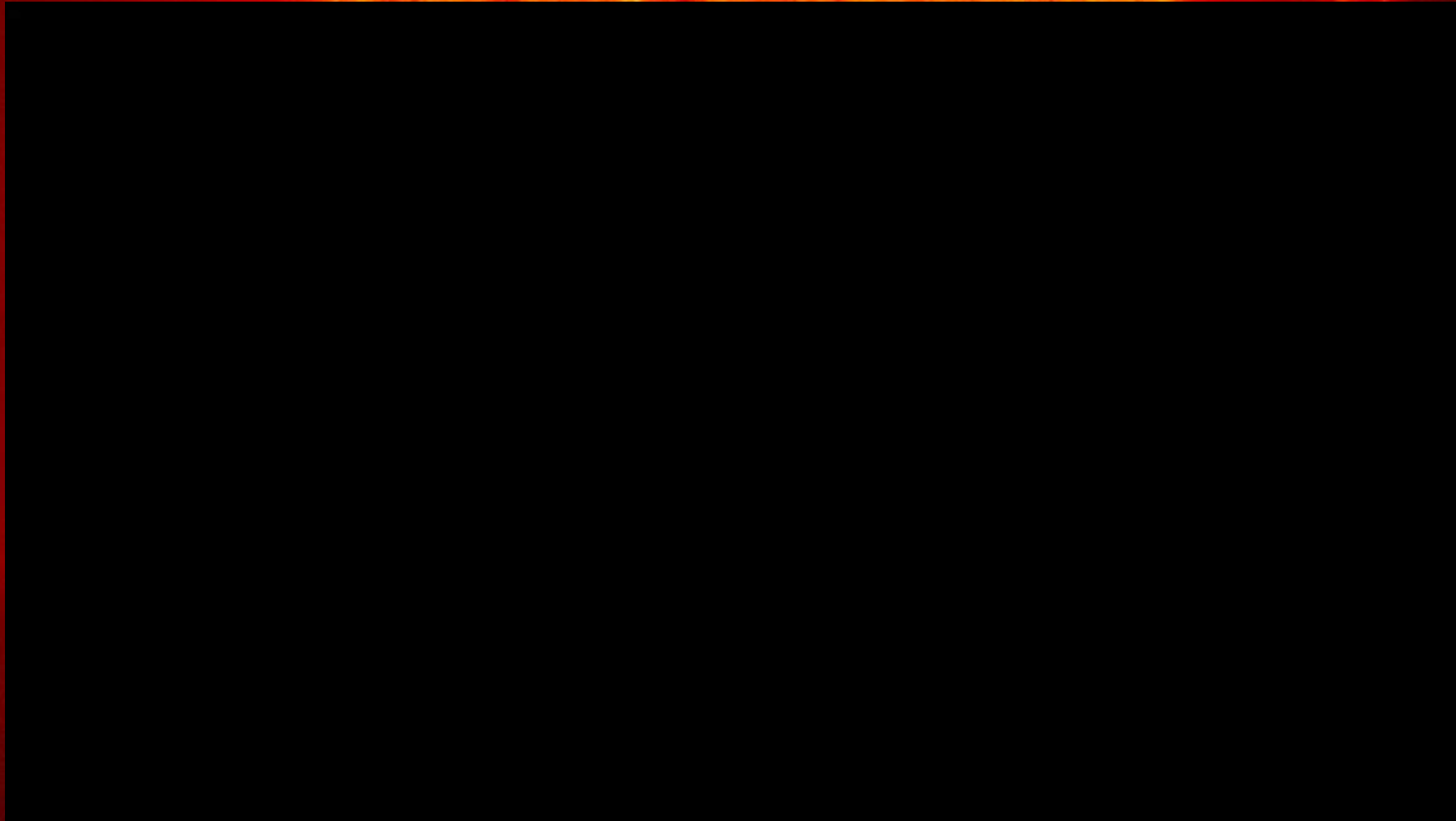


Eruptivne protuberance

- Dostižu velike visine, preko milion kilometara
- Najčešće u obliku luka, brzo raste, nakon pucanja materijal pada nazad u hromosferu
- *Protuberance Sunčevih pega* – uvek vezane za grupe pega; oblik strogo prati linije jakog mag. polja; kada su na rubu Sunca vide se u obliku petlji



Decembar 2019 – nova vrsta eksplozije

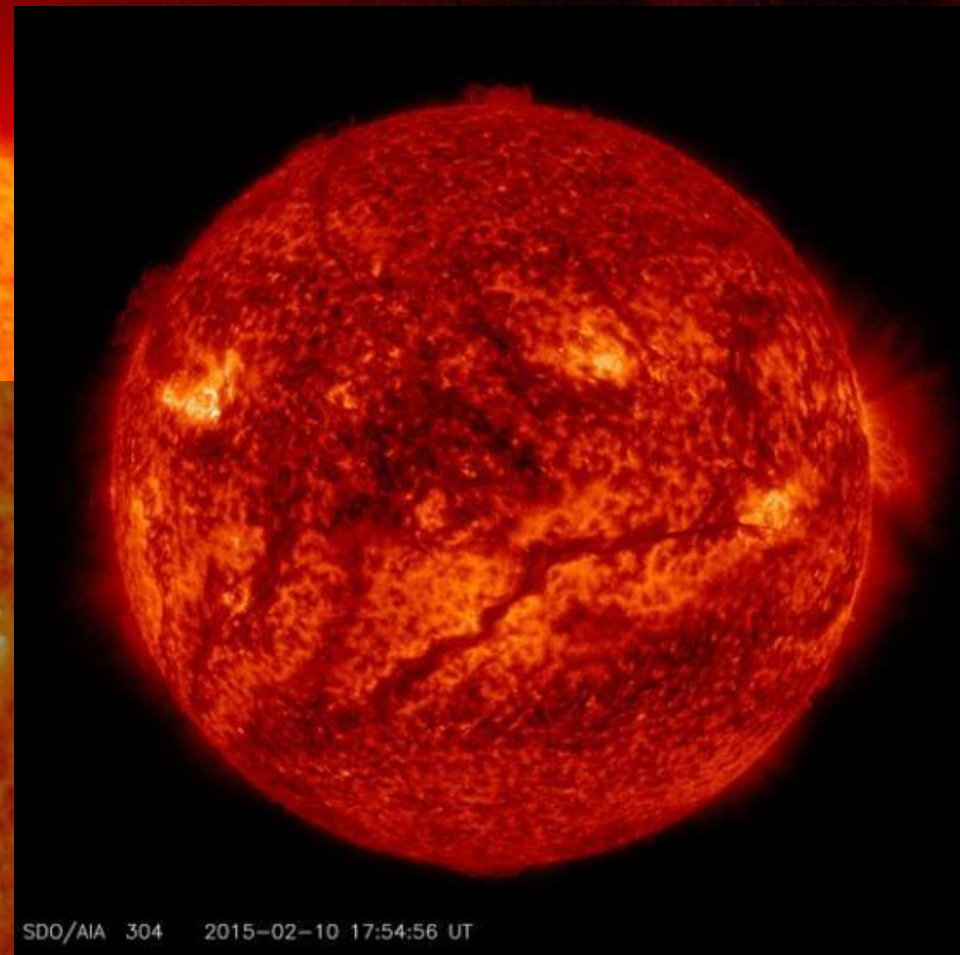
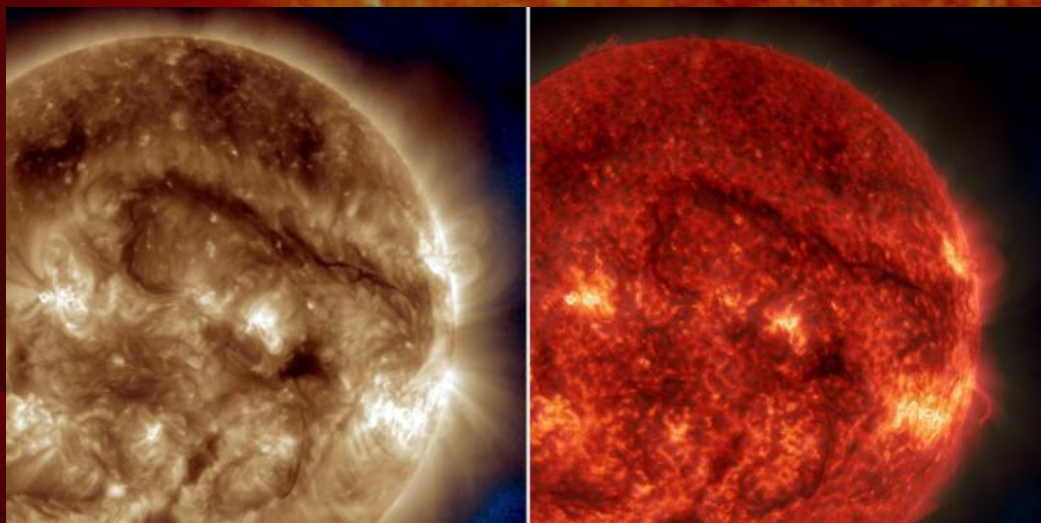


Credits: NASA's Goddard Space Flight Center

<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019/nasa-s-sdo-sees-new-kind-of-magnetic-explosion-on-sun>

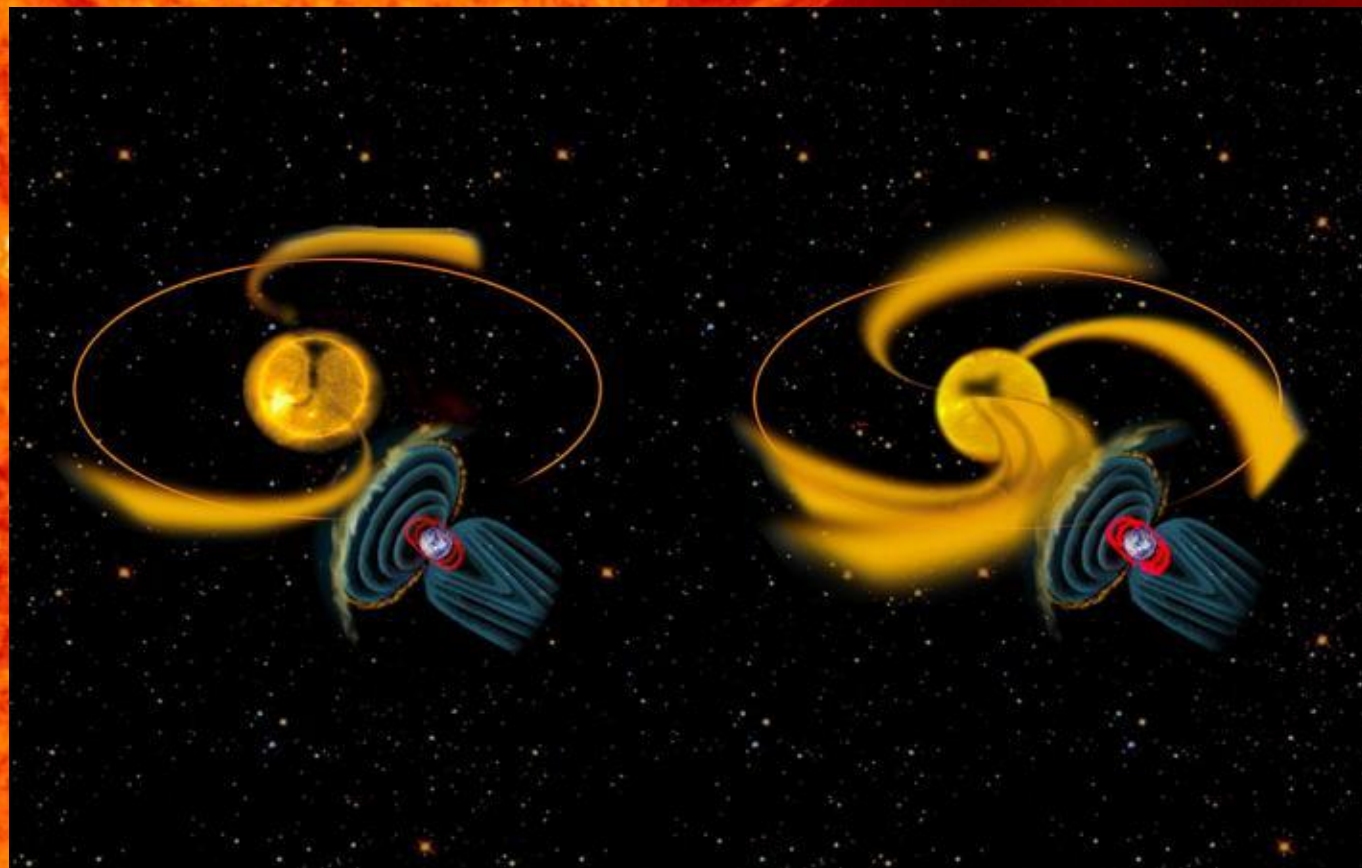
Protuberance - filamenti

- Protuberance – na ivici diska
- Filamenti – protuberance posmatrane “odozgo”, projekcija protuberanci na površinu
- 10. februar, 858,000 kilometara (67x Zemlja)
- Oktobar 2014, 1 milion km!



Sunčev vetar

- EM zračenje i čestice stalno napuštaju Sunce.
- **Sunčev vetar** - korpuskularno zračenje (p , e , jezgra He)
- Visoka temperatura korone omogućava nastanak solarnog vetra.
- Prvi put - Mariner 2 (1962. godine)



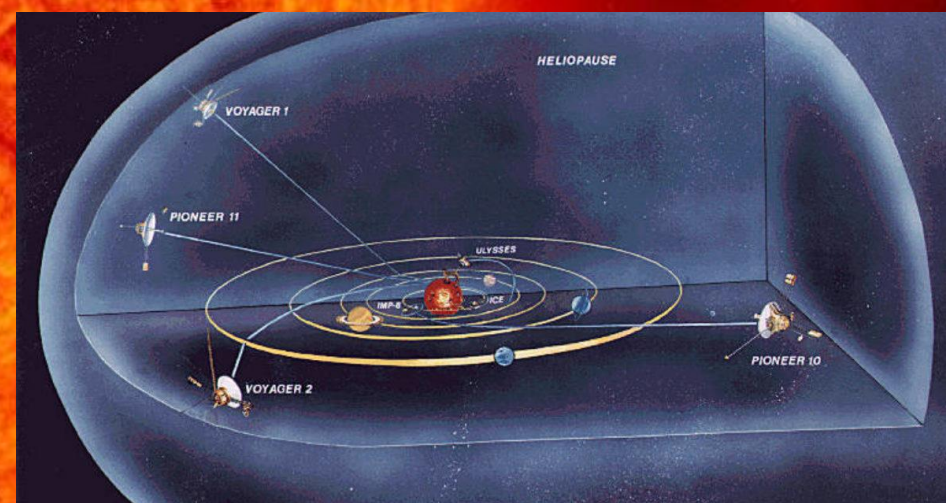
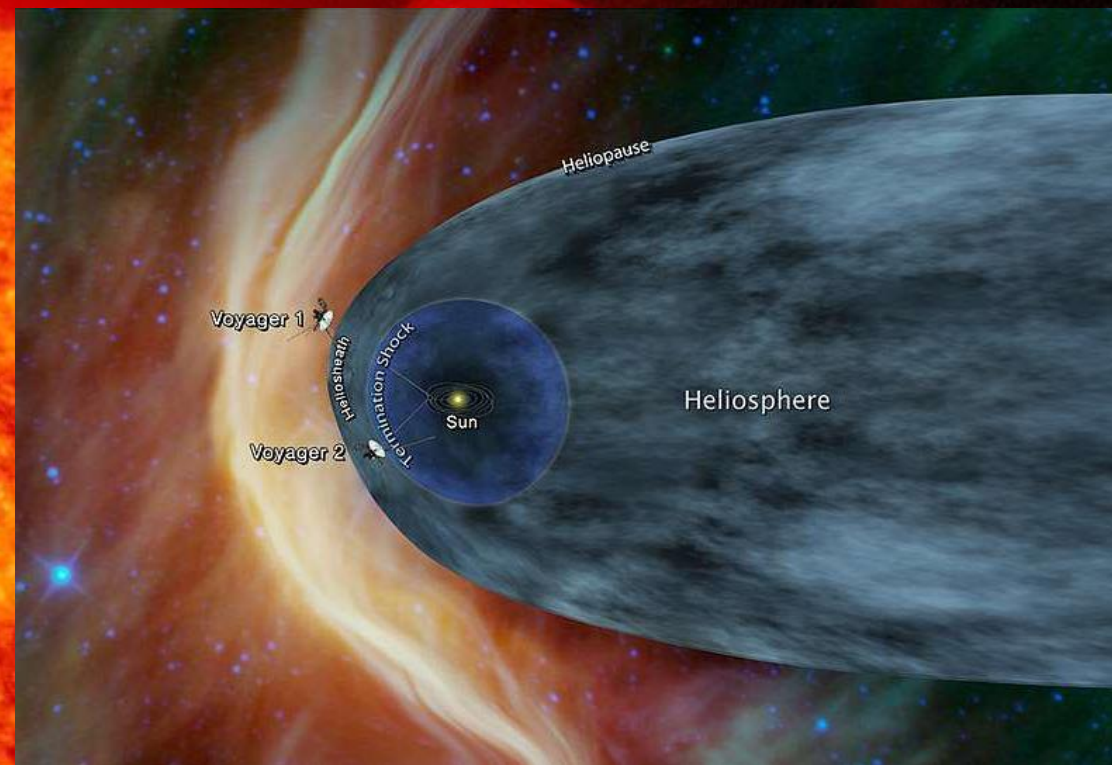
Sunčev vetar



- 10 miliona km od Sunca –
 - Temperature dovoljno visoke -> čestice su dovoljno brze, pa mogu da savladaju gravitaciju Sunca.
- Sunčev vetar: 10^8 - 10^9 kg svake sekunde
- Izgubljeni materijal – korona nadoknađuje sa površine (isparila bi za samo 1-2 dana)
- Vetar je do sada odneo 0,1% ukupne mase Sunca.

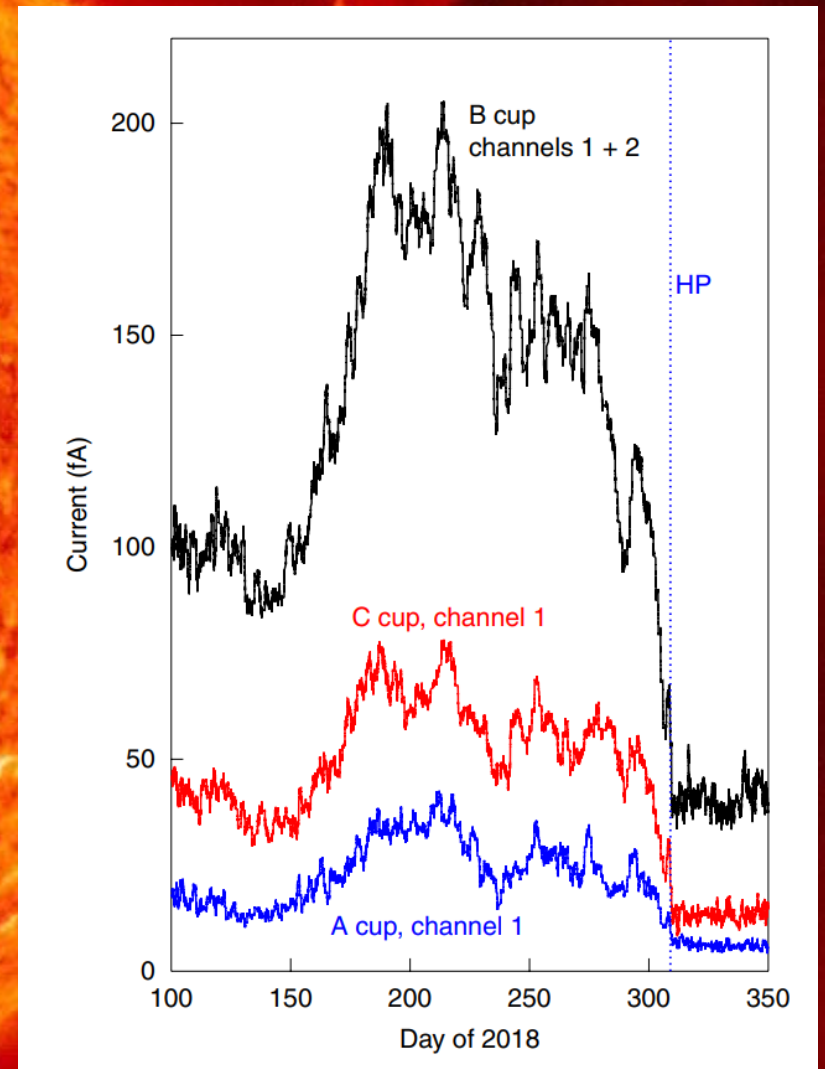
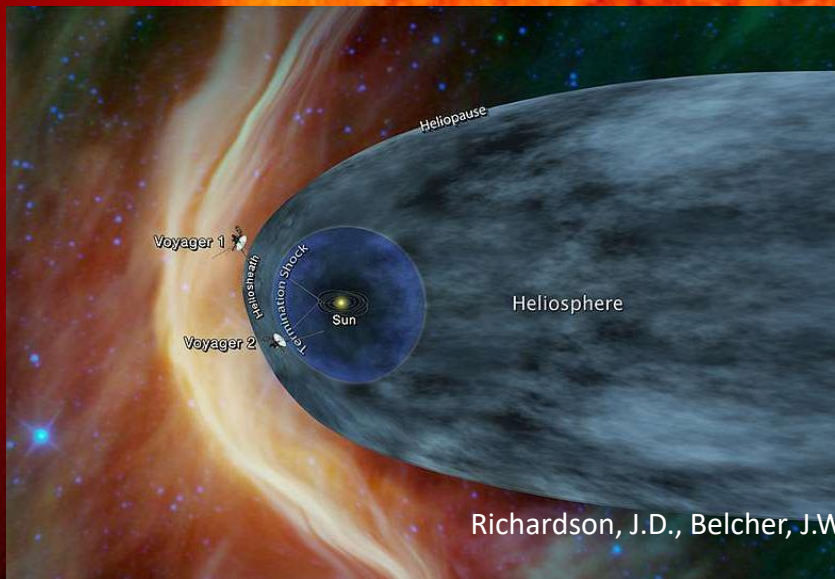
Sunčev vetar

- Heliosfera – oblast delovanja vetra
 - Vojadžer 1 – 152 AJ
 - Vojadžer 2 – 125 AJ
- Brzina čestica
 - raste sa udaljavanjem od Sunca
- Od 50 km/s (na udaljenosti od nekoliko radijusa) do nekoliko stotina km/s.
- Kod Zemlje - 300-750 km/s

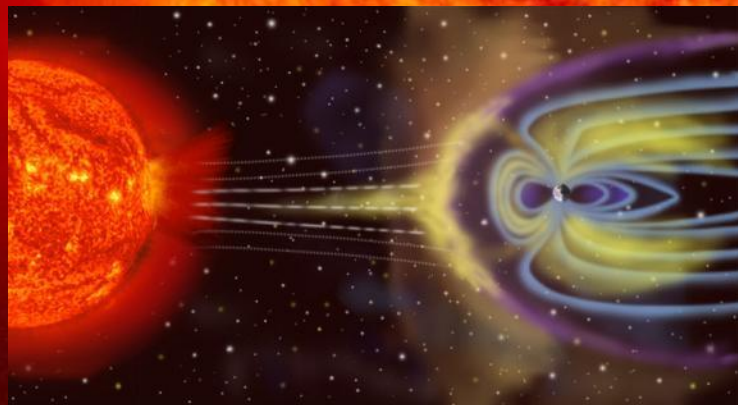
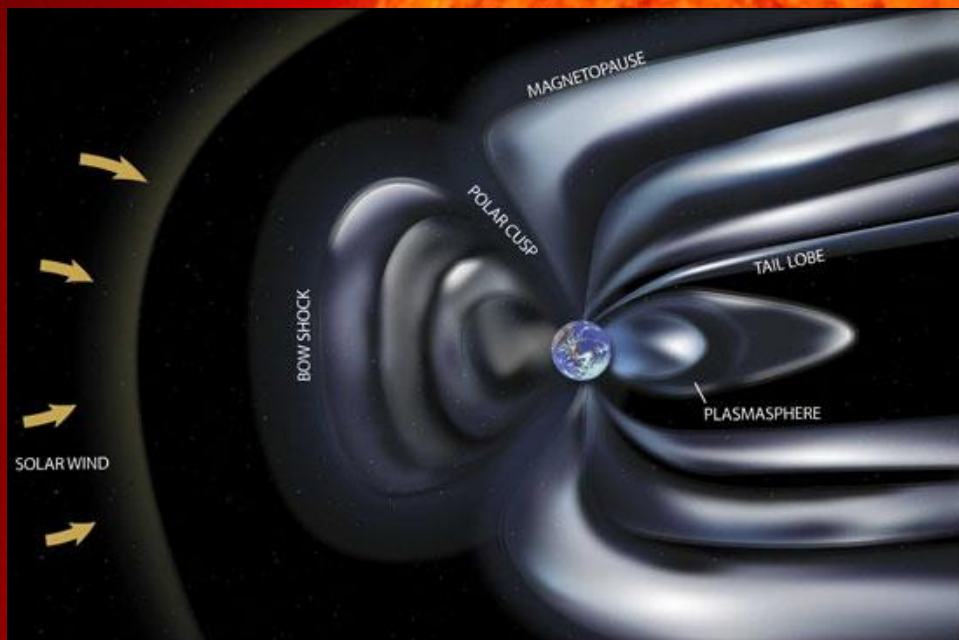


Granica Sunčevog sistema?

- Vojadžer 1 – 2012. godina
- Vojadžer 2 – 2018. godina
- Da li su napustili Sunčev sistem?
 - Međuzvezdani prostor!

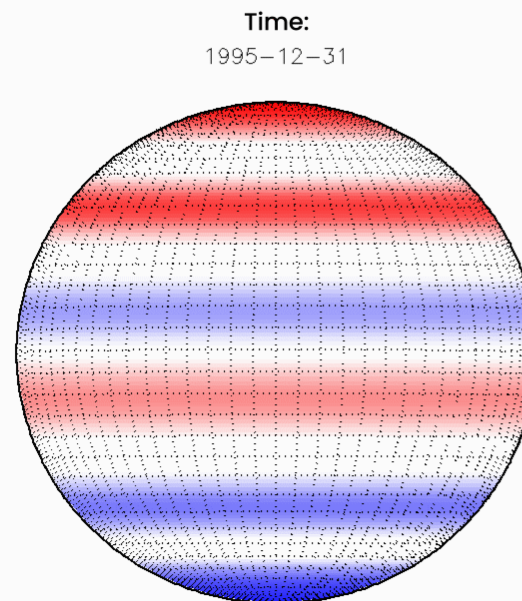


Sunce i Zemlja

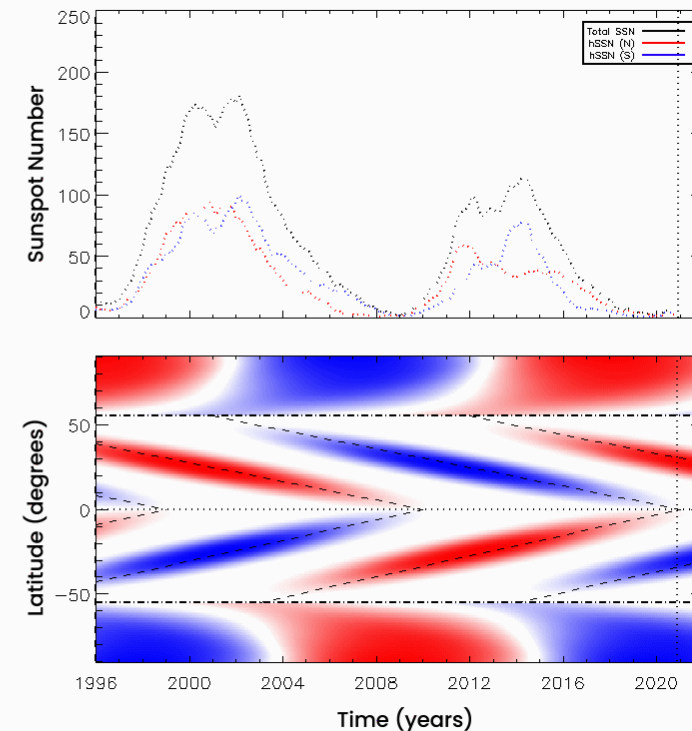


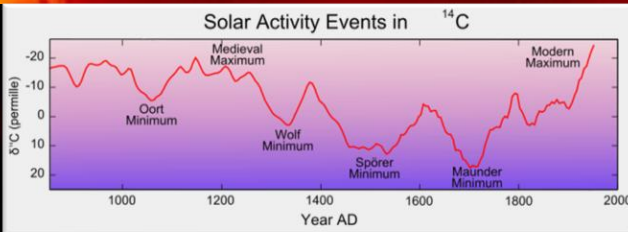
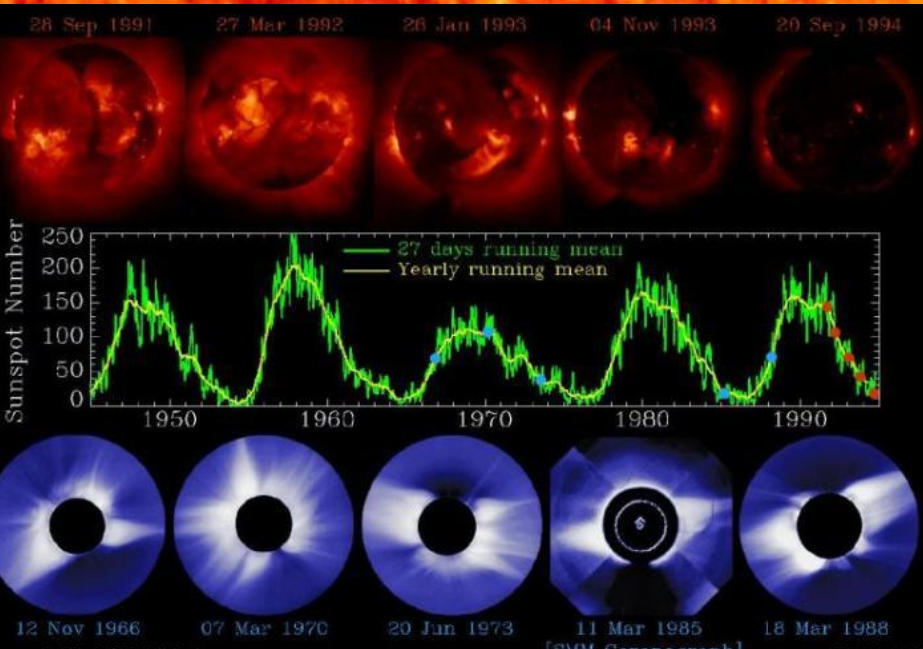
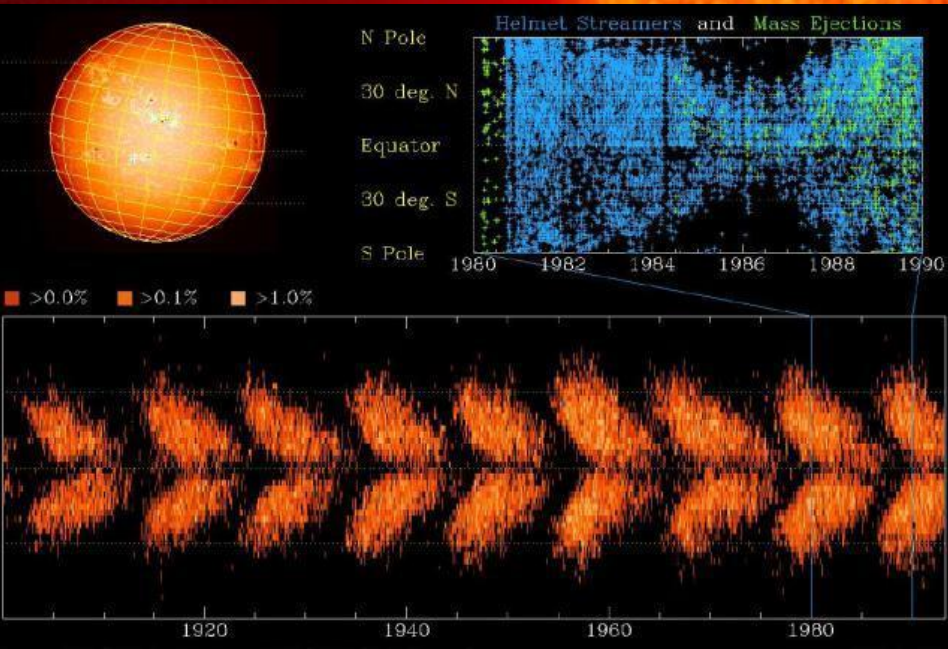
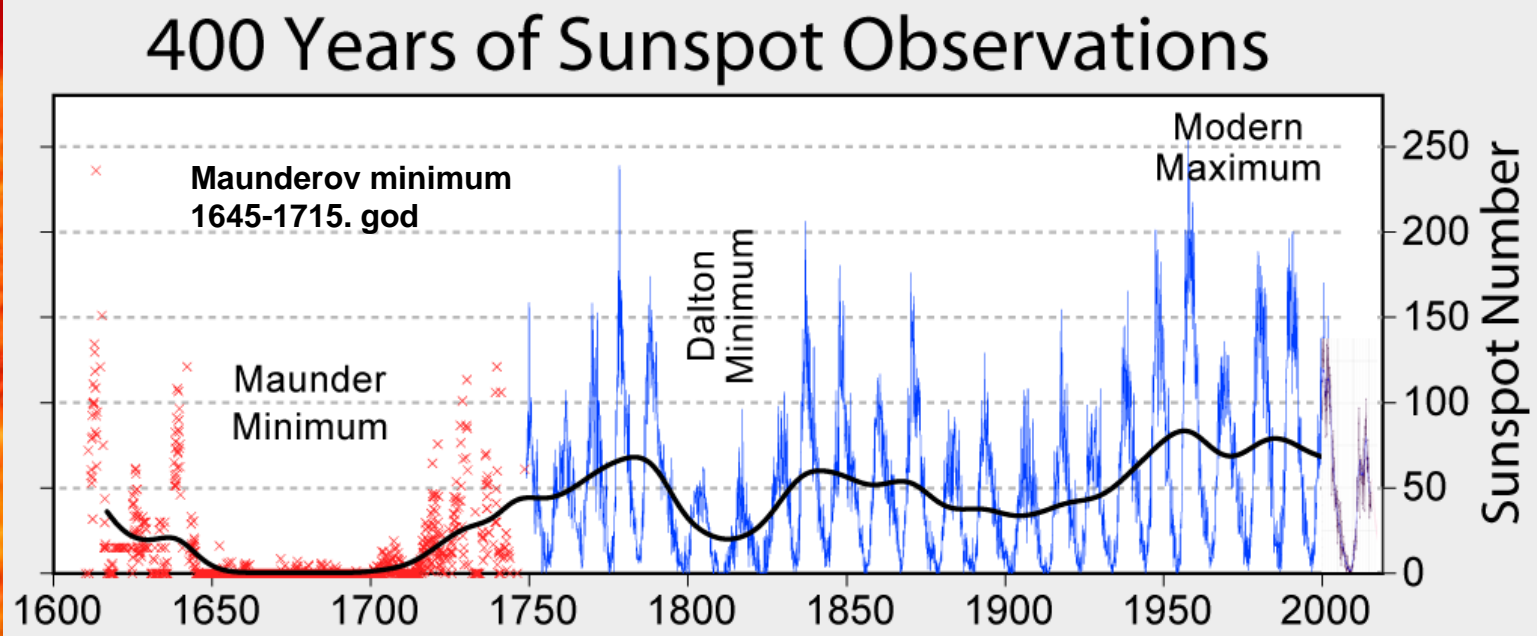
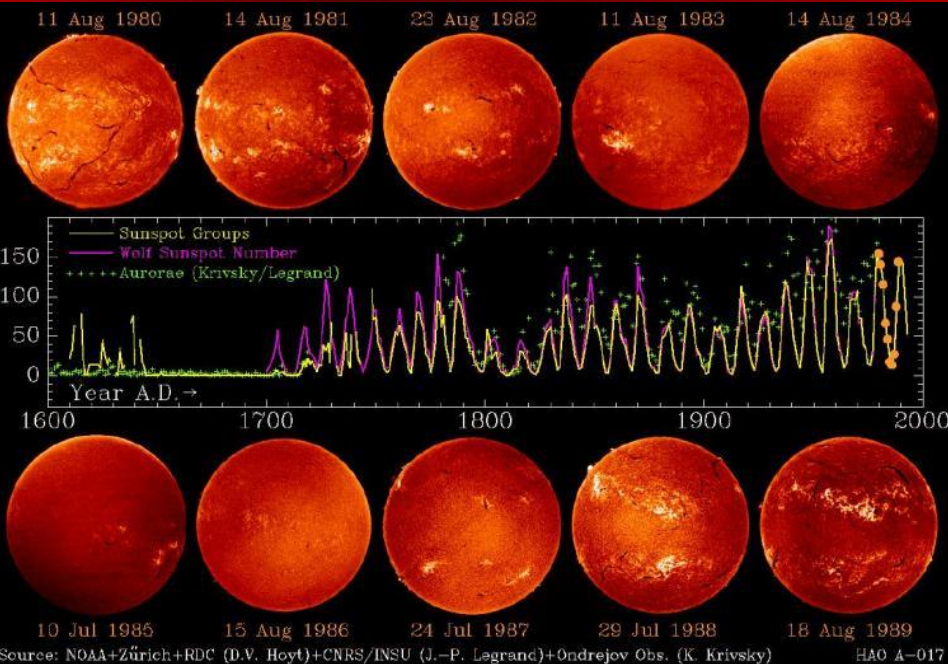
Ciklus aktivnosti

- Ukupan broj pega na Suncu se periodično menja
 - Nekoliko vekova posmatranja
 - ciklusi pega
 - Maksimum:
 - u proseku svakih 11 god, zatim opada
 - period između 7 i 15 god
- Heliografska širina na kojoj se pojavljuju pege
 - minimum – nekoliko pega, dve uske zone, 25 i 30° od ekvatora
 - maksimum – pojas od 15 do 20° severno i južno od ekvatora
 - kraj ciklusa – mali broj pega, pojas do 10° oko ekvatora
 - prva godina novog ciklusa poklapa se sa poslednjom godinom prethodnog

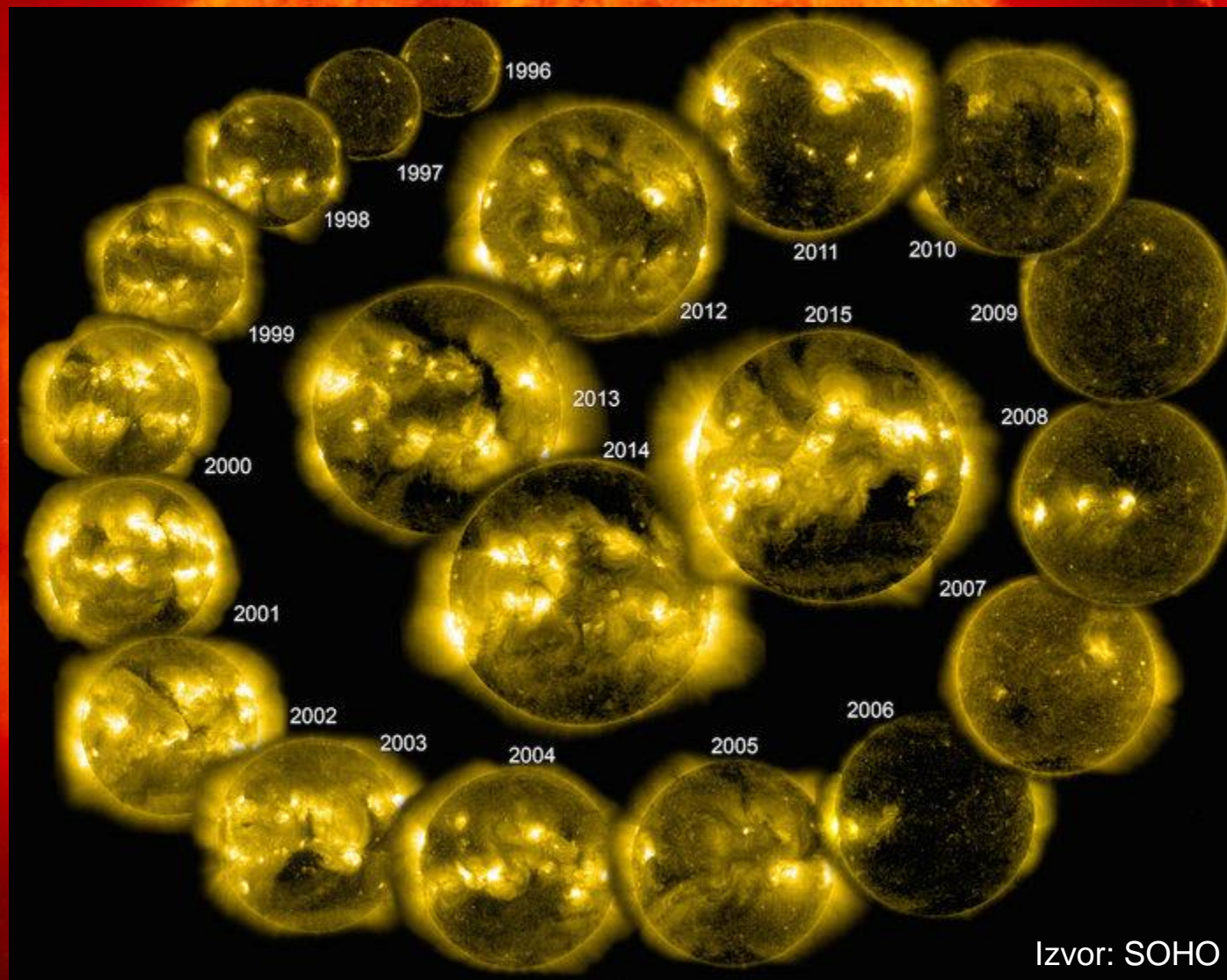


Scott McIntosh - mscott@ucar.edu





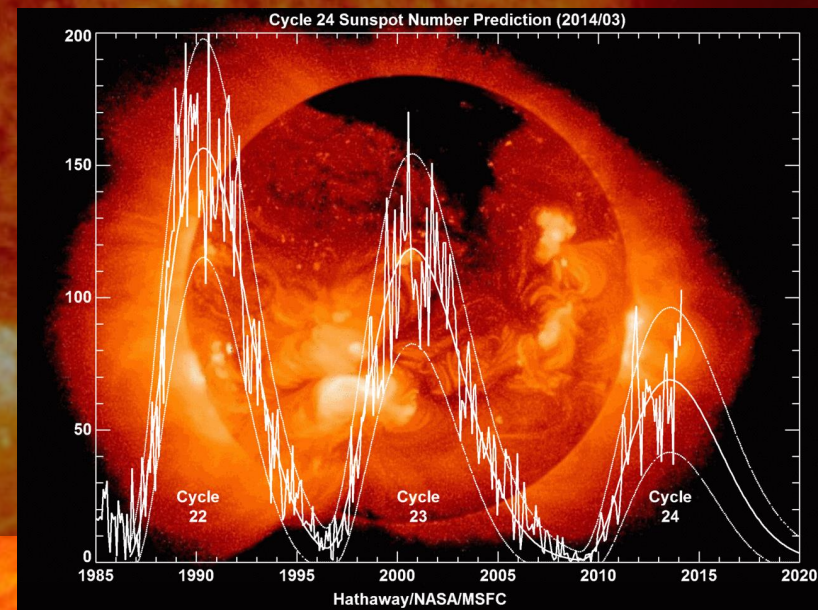
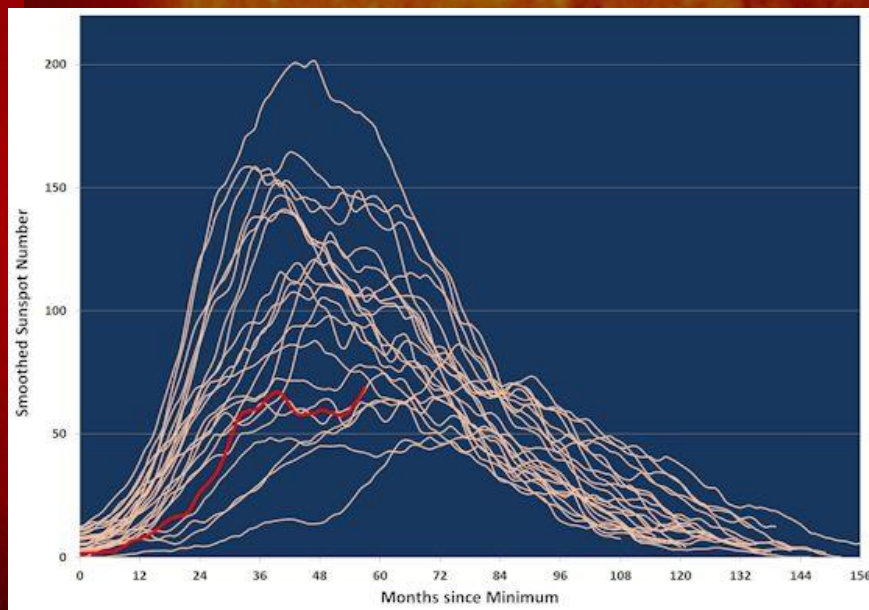
20 godina SOHO



1996-2015

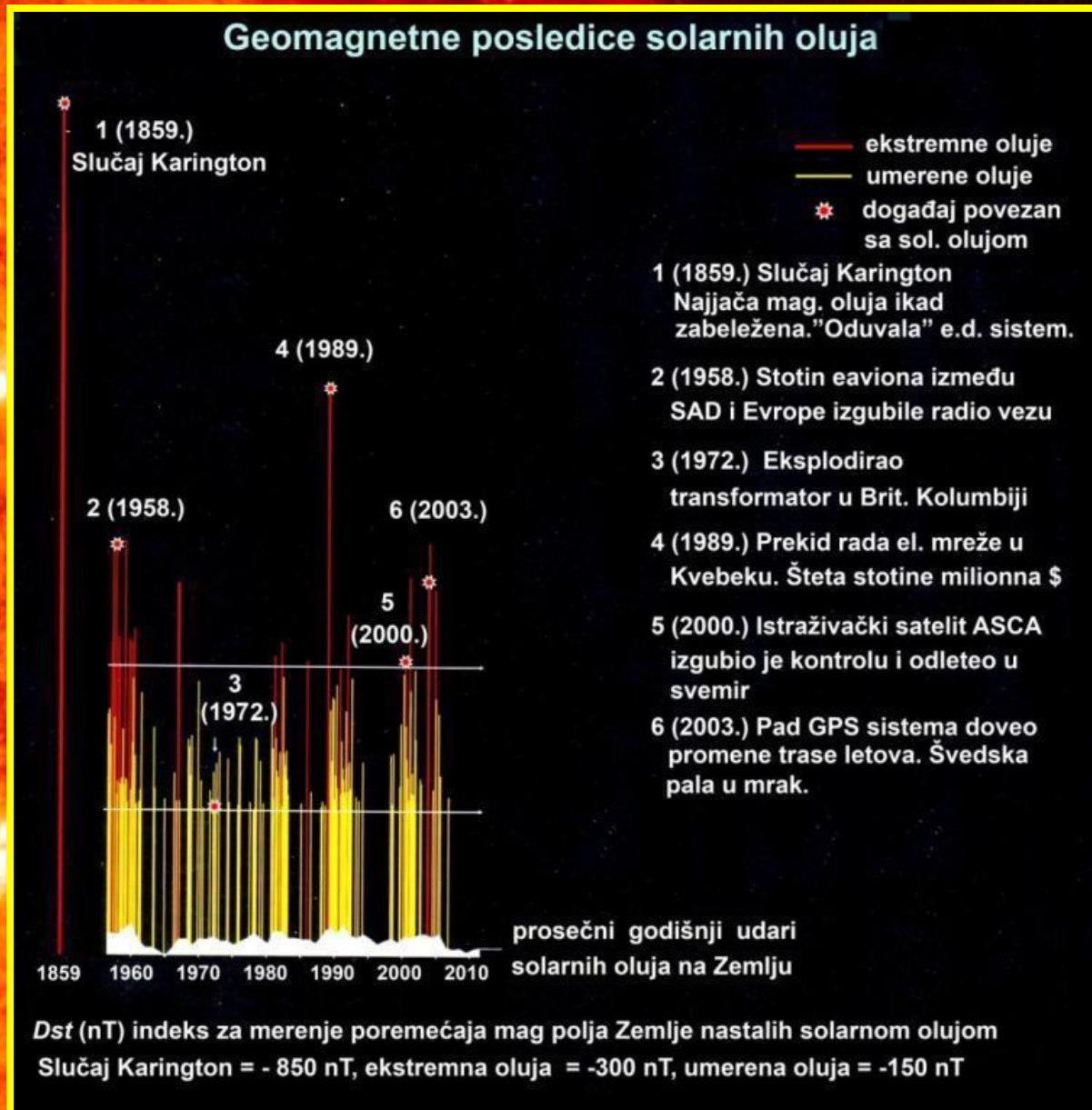
Poslednji maksimum

- 24. ciklus pega; očekivan maksimum 2014. god.
- “mini” maksimum



Geomagnetne oluje

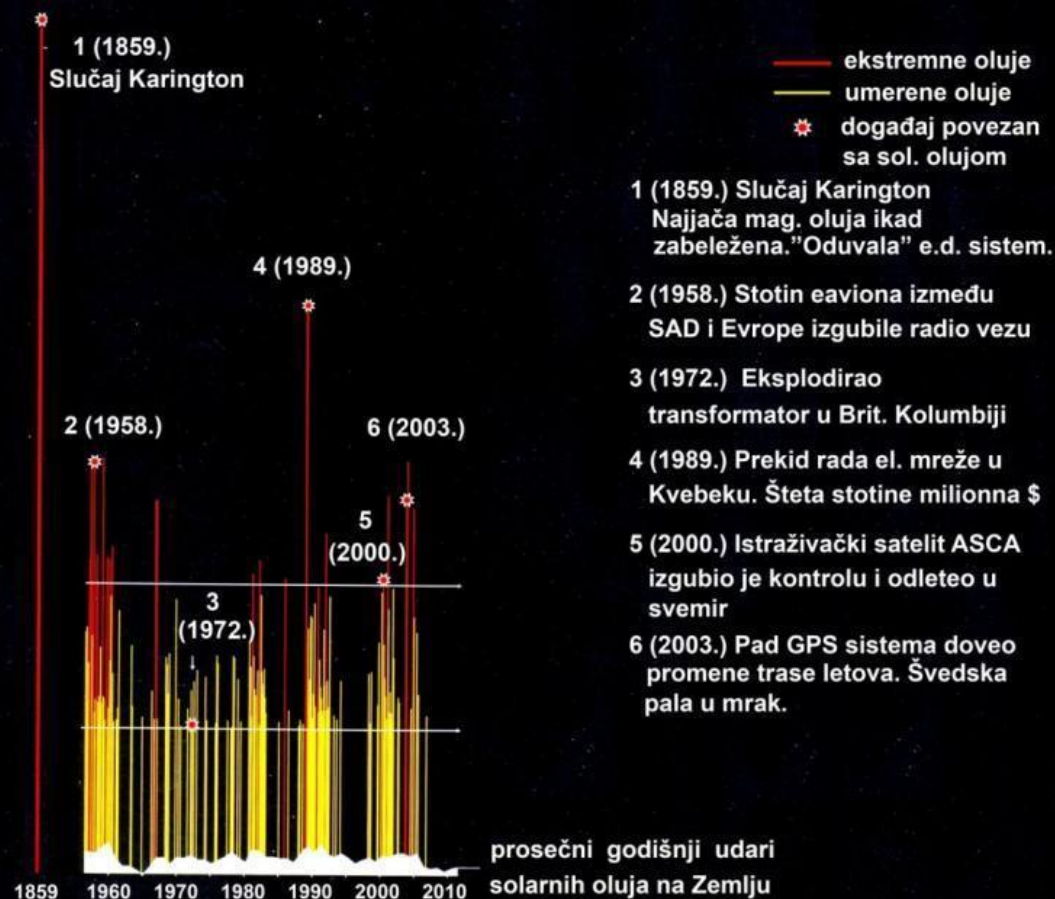
- Nagle perturbacije Zemljinog magnetnog polja, uglavnom pod delovanjem sunčevog vetra.
- Javljaju se 17-21 h nakon eksplozija ili izbacivanja koronine mase. Brze fluktuacije jačine ili smera mag. polja nastaju na početku bure, a vraćaju se u normalu za 2-3 dana.



Karingtonov "dogadaj"

- Ričard Karington
- Pivar i astronom-amater
- Posmatrao projekciju Sunca
- dve svetle mrlje unutar delike grupe pega
- Nagli skok indukovanih napona u telegrafskim žicama omogućio je da su telegrafi radili sa isključenim baterijama!

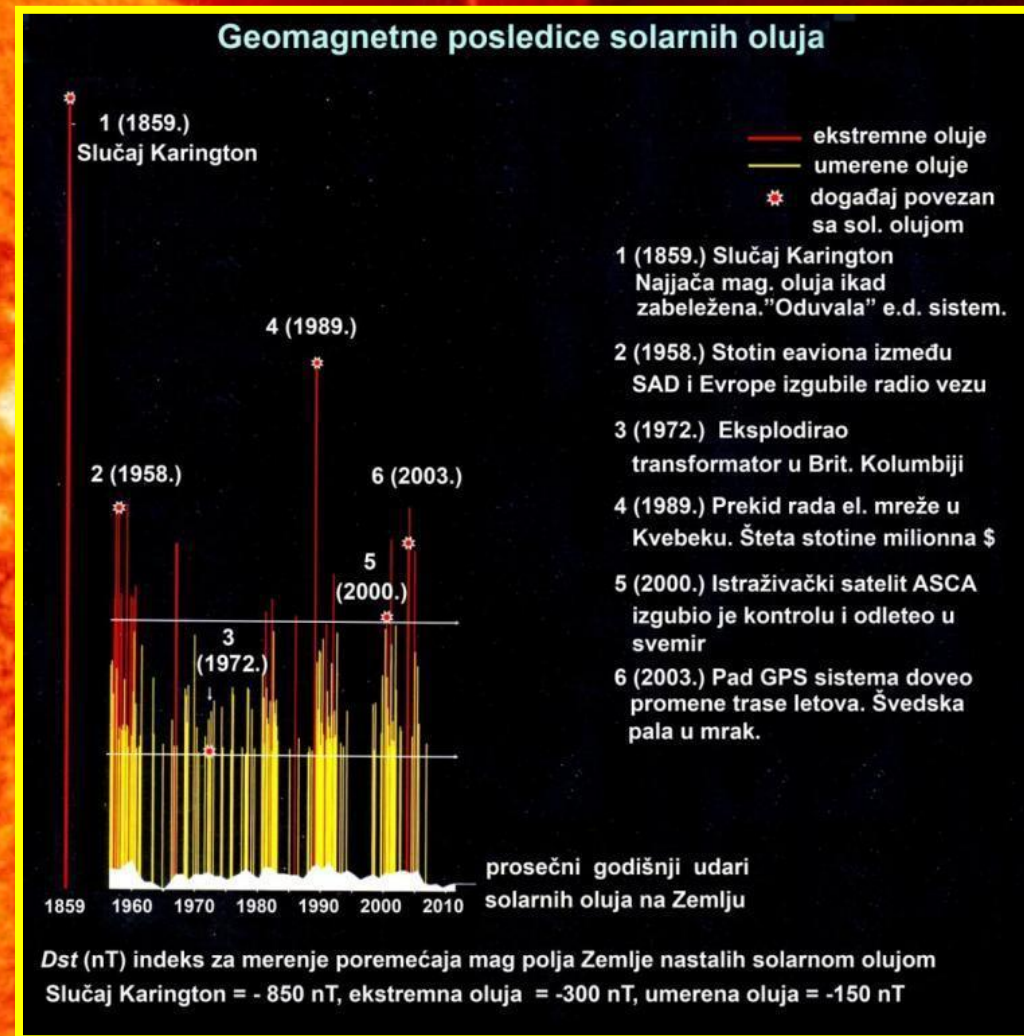
Geomagnetne posledice solarnih oluja



Dst (nT) indeks za merenje poremećaja mag polja Zemlje nastalih solarnom olujom
Slučaj Karington = - 850 nT, ekstremna oluja = -300 nT, umerena oluja = -150 nT

Karingtonov “dogadaj”

- Karington je video drugu od, ne tako čestih dvojnih eksplozija, na Suncu.
- Prva je “dospela” do Zemlje za 40-60 h
- prokrčila put za drugu koja je do Zemlje dospela za svega 17 h.
- Spljoštile magnetosferu sa 60.000 km na 7000 km i privremeno su uništile Van Alenove.
- Da se desila danas šteta bi iznosila 1-2 triliona \$\$\$.



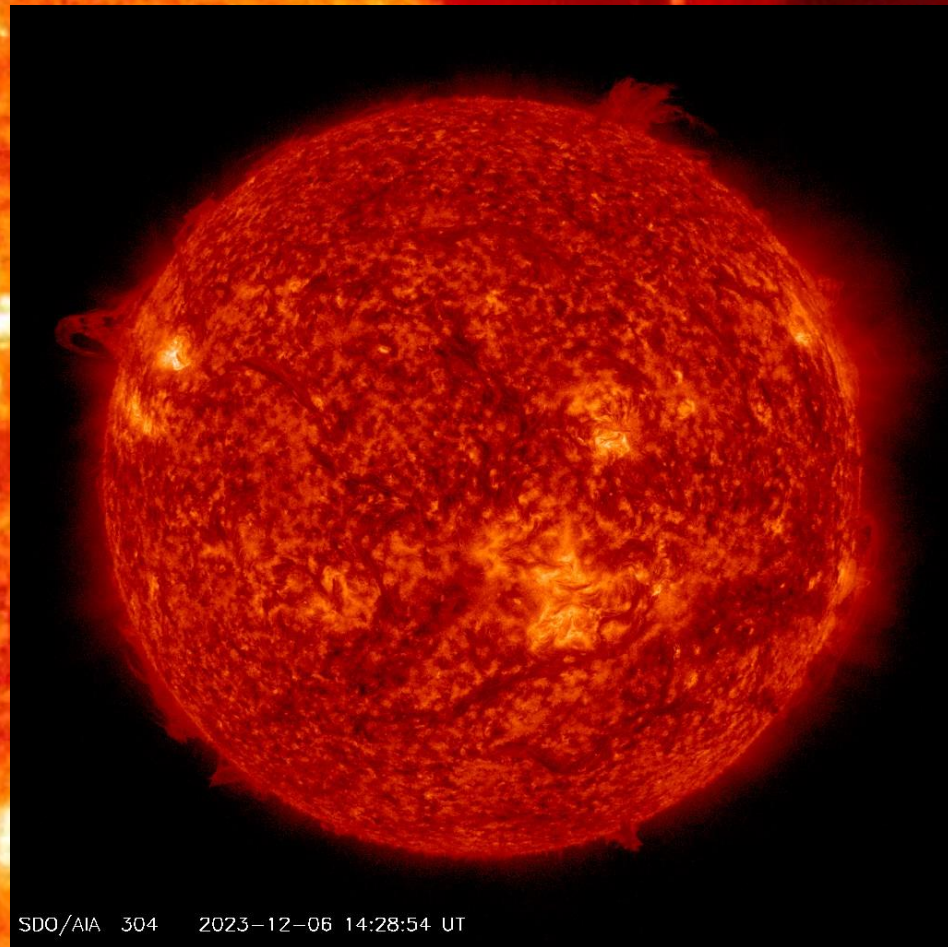
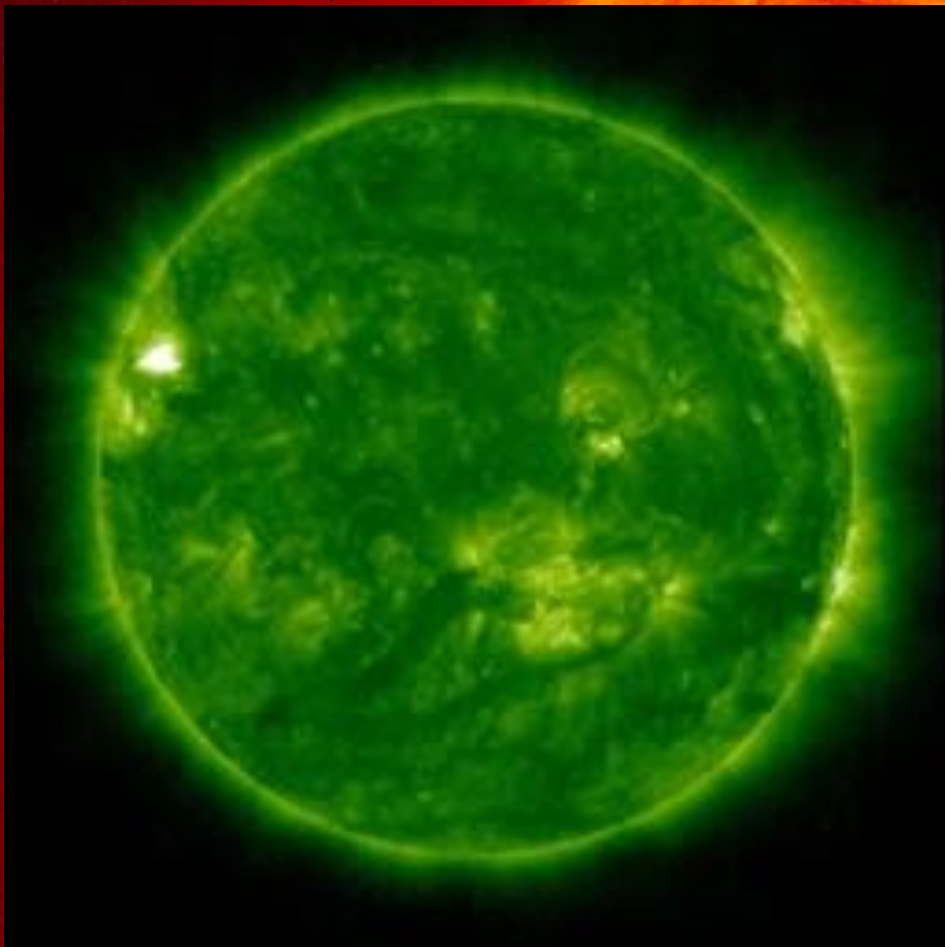
Dst (Disturbance Storm Indeks) – meri “svemirsko” vreme. Daje informacije o jačini struje koju izazivaju solarni protoni i elektroni u blizini Zemlje

Sunce juče, danas, sutra...

- SOHO
 - Solar and Heliospheric Observatory
 - Lansiran 2. decembra 1995
- ESO
 - Solar Dynamics Observatory
 - Lansiran februara 2010

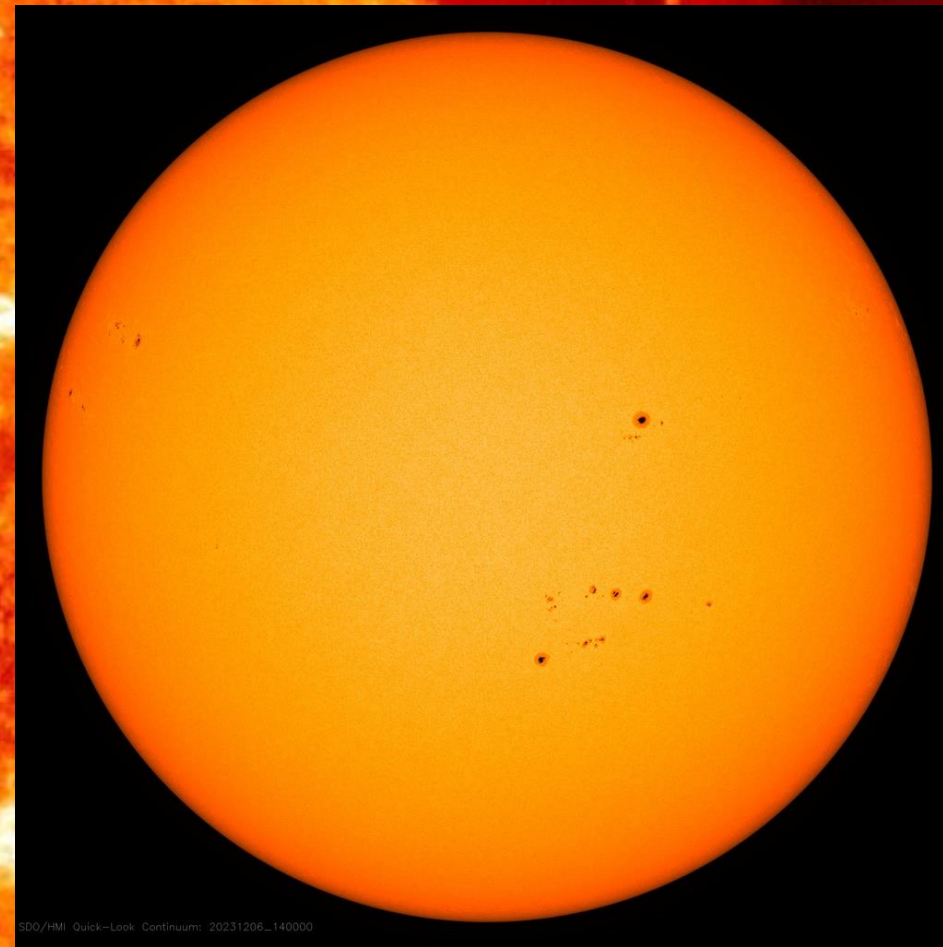
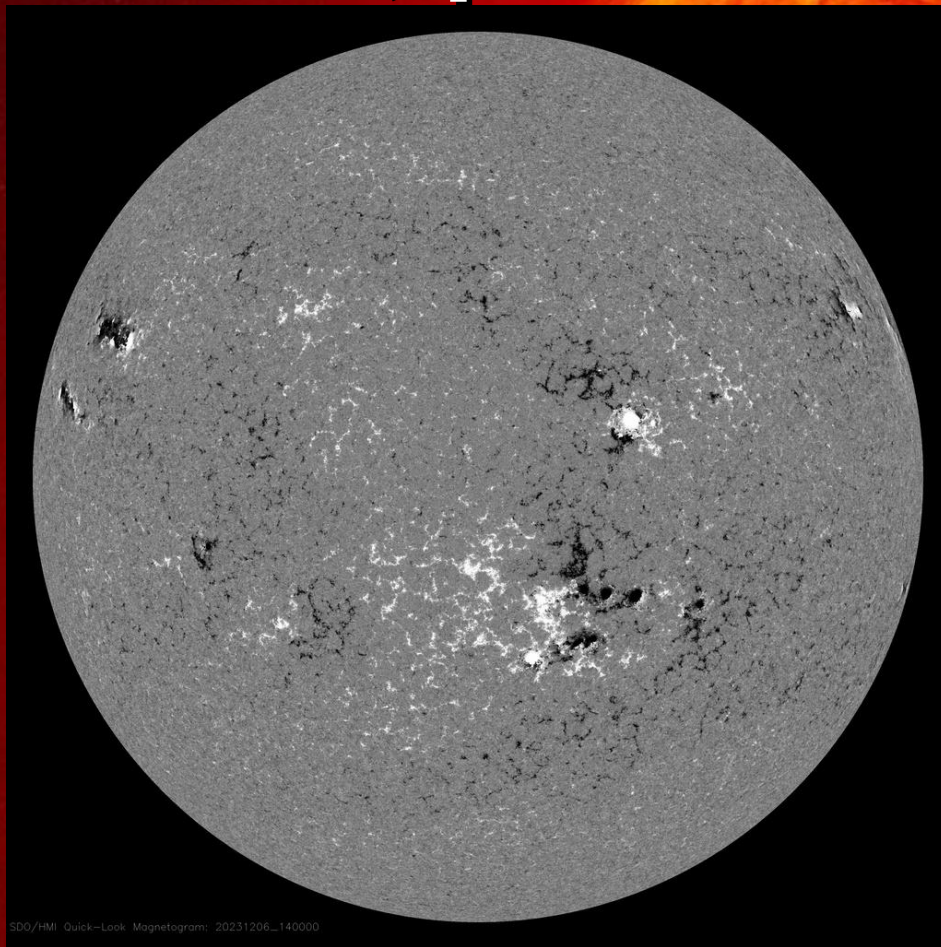


Sunce, danas 😊

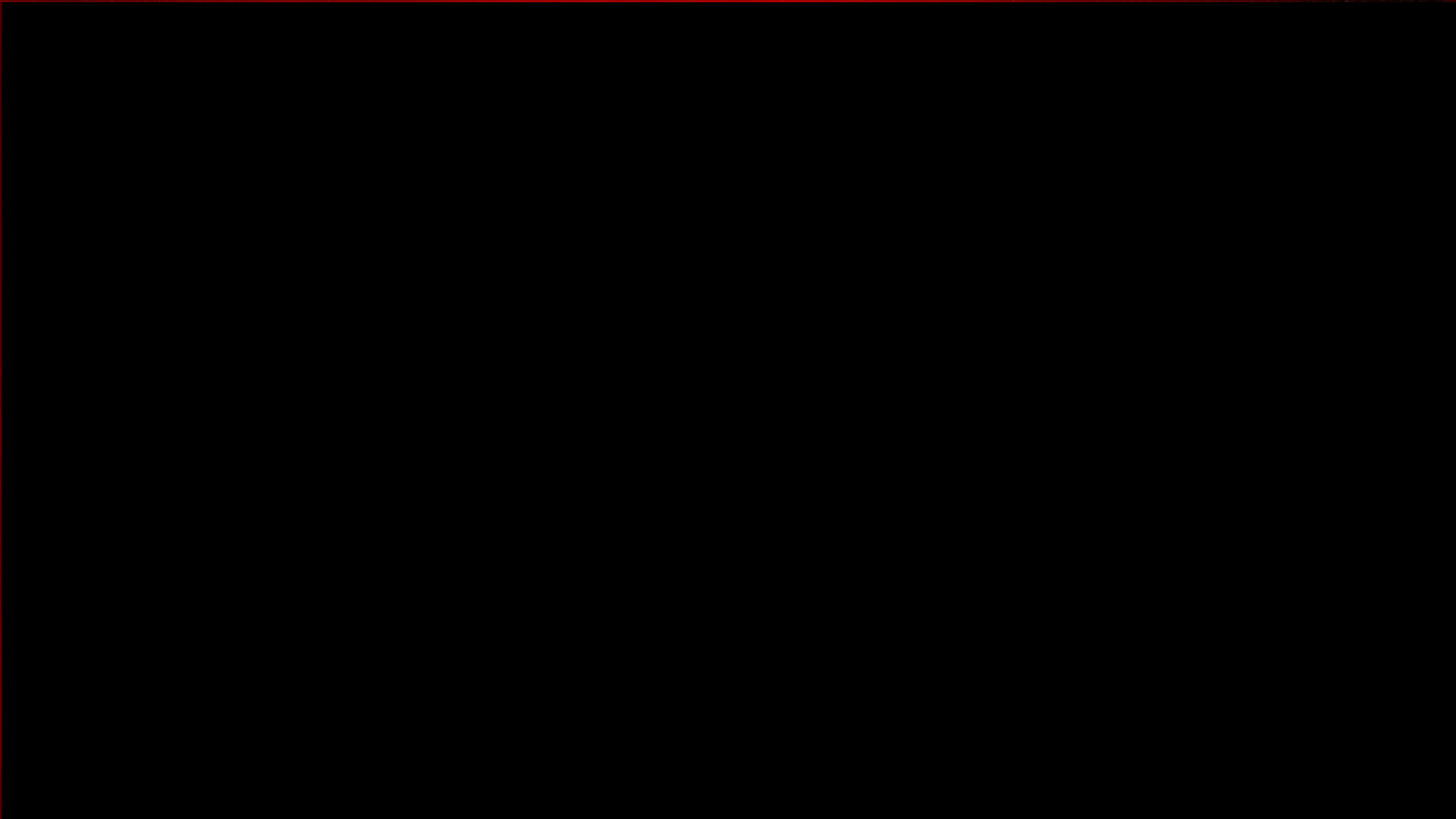


EIT (Extreme ultraviolet Imaging Telescope), različite talasne dužine -> različite temperature
195 Angstrom – 1,5 miliona K („zelena“), 304 Angstrom – 60-80 hiljada K („crvena“)
viša temperatura => veća visina

Sunce, pre dva dana ☺



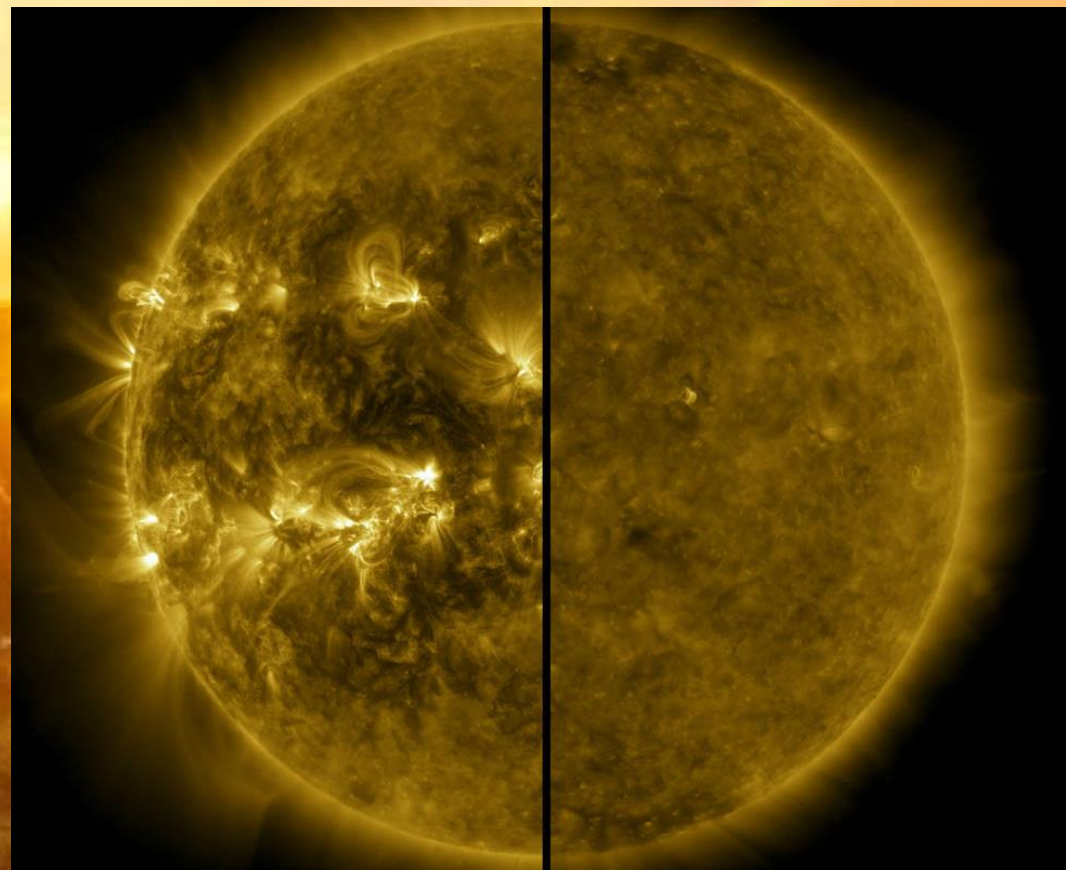
MDI (Michelson Doppler Imager), kontinuum u blizini 6768 Angstrom linije najbolje se vide pege (kad ih ima), najbliže vidljivom spektru magnetogram – magnetno polje fotosfere, crno/belo različit polaritet



- <http://www.thesuntoday.org/>
- <http://www.helioviewer.org/>
- <http://www.spaceweather.com>
- <http://sdo.gsfc.nasa.gov/>
- <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

25. ciklus?

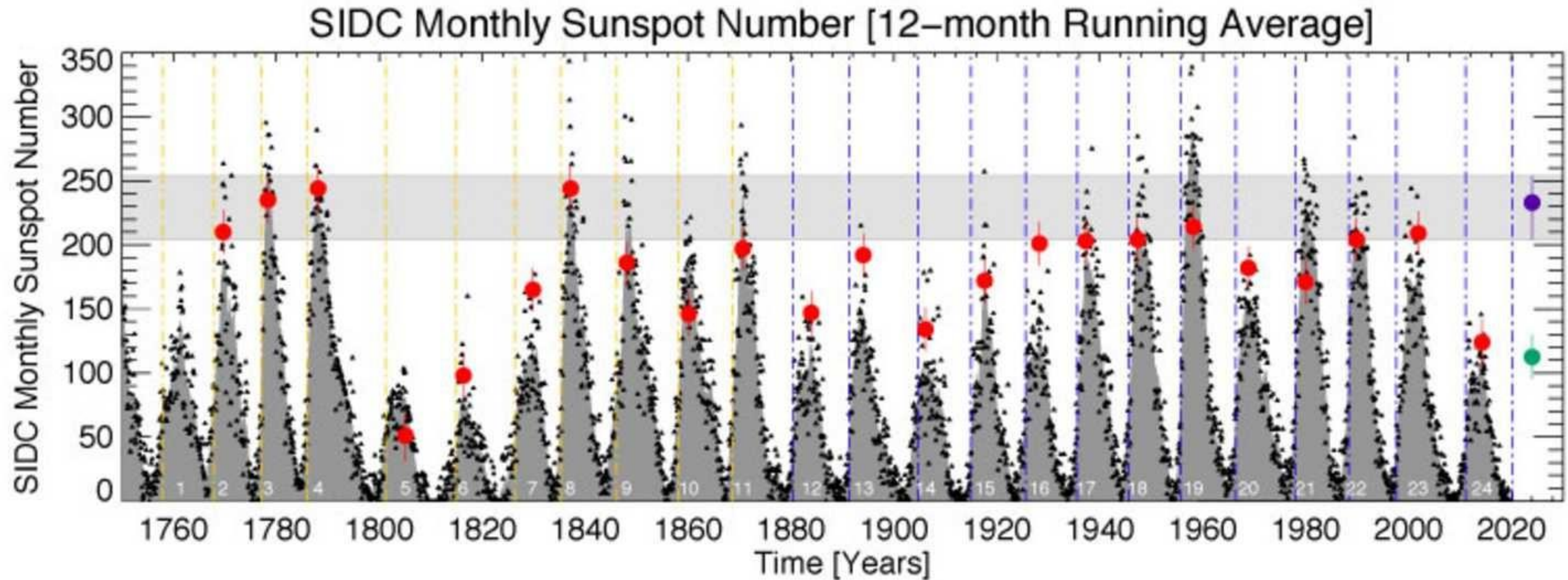
- Solarni minimum
 - Decembar 2019
- Očekivani maksimum
 - Juli 2025. godine
 - Sličan kao prethodni
 - (ispod proseka)



Maksimum (april 2014), minimum (decembar 2015)

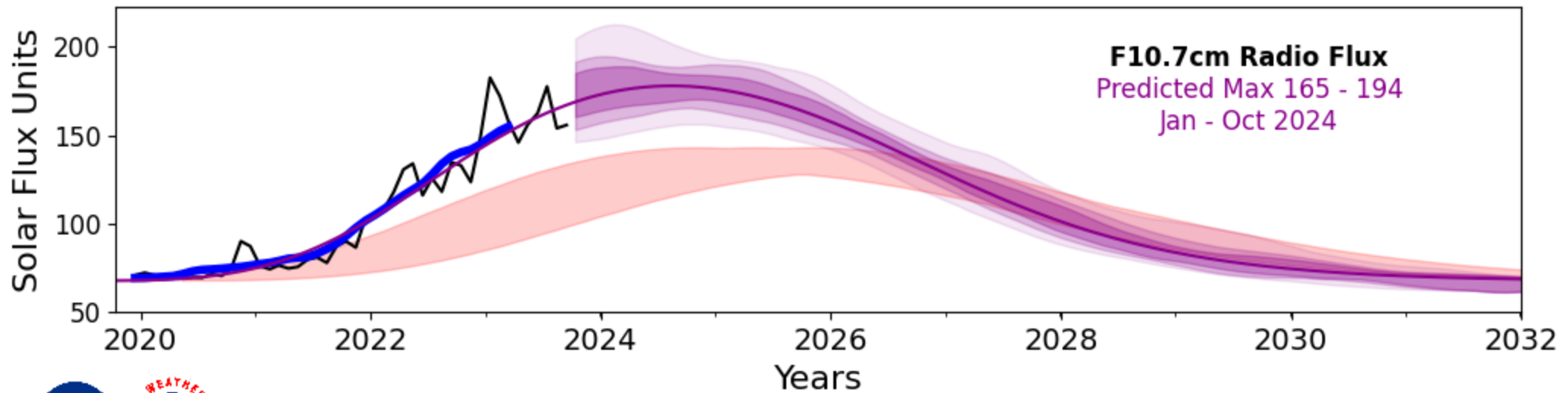
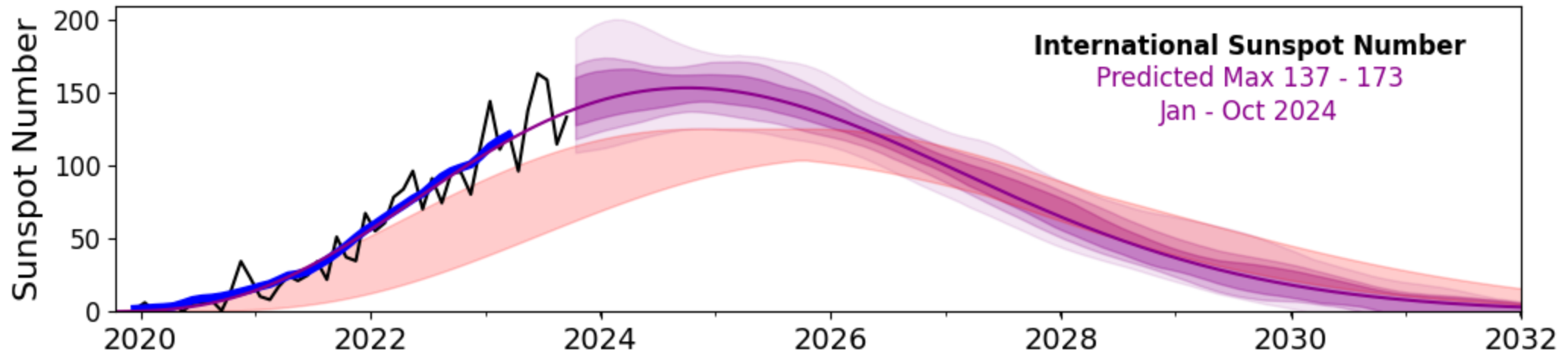
Foto: NASA/SDO

25. ciklus?



- Nisu svi saglasni! 😊

Experimental Solar Cycle 25 Prediction

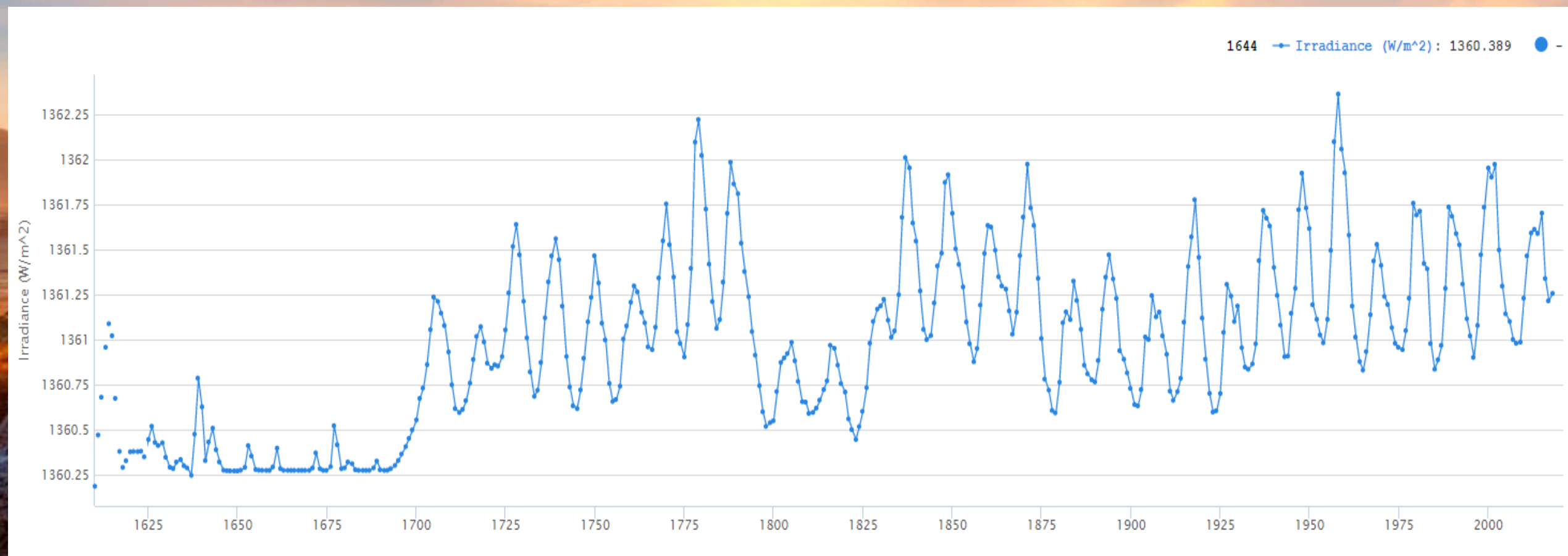


Space Weather Prediction Testbed
issued 19 Oct 2023

- Monthly observations
- Smoothed monthly observations
- 2019 NOAA/NASA/ISES Panel Prediction (range)

- Experimental Prediction
- 25% quartile
- 50% quartile
- 75% quartile

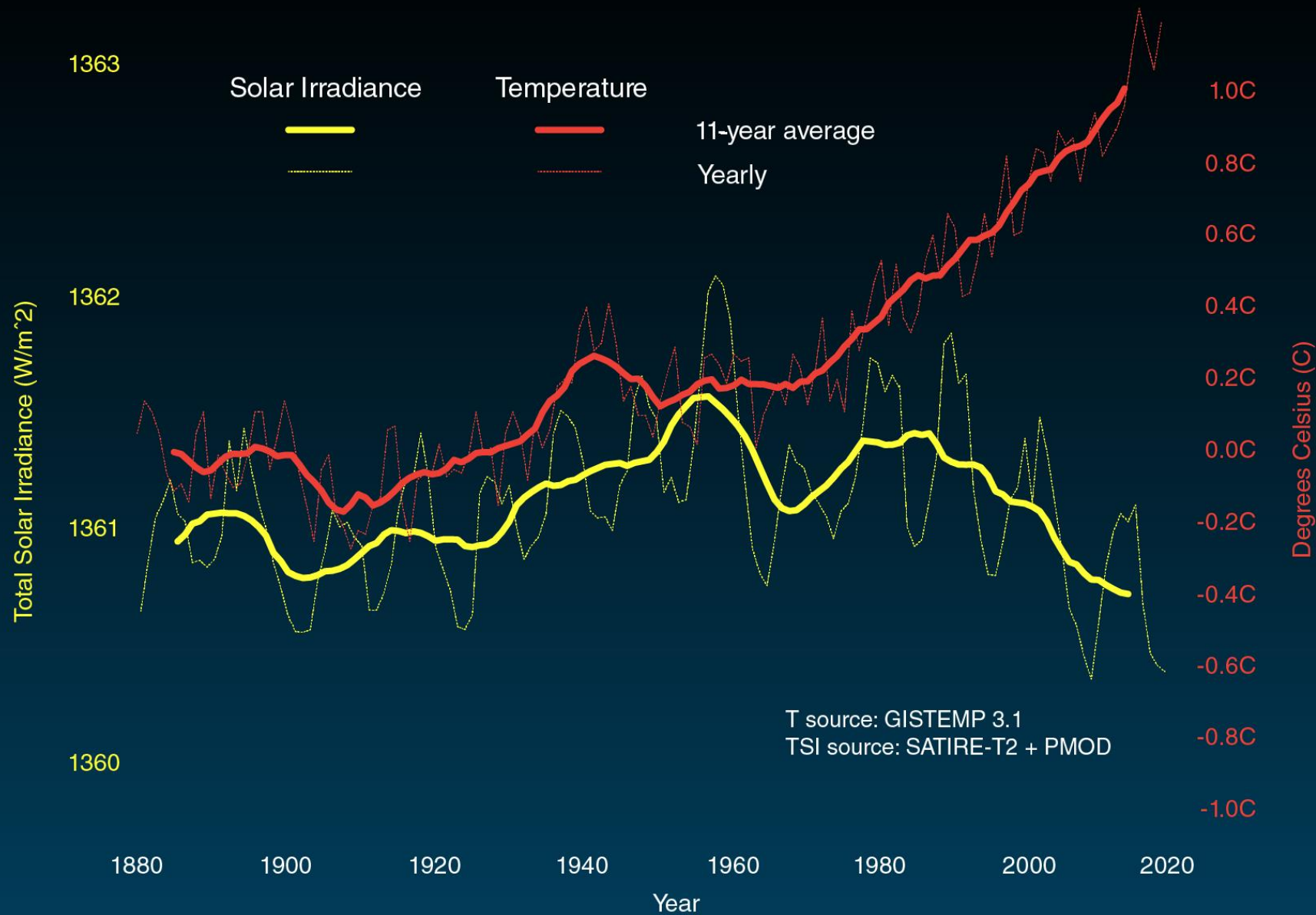
Solarna konstanta na 1 AU



Zemlja...

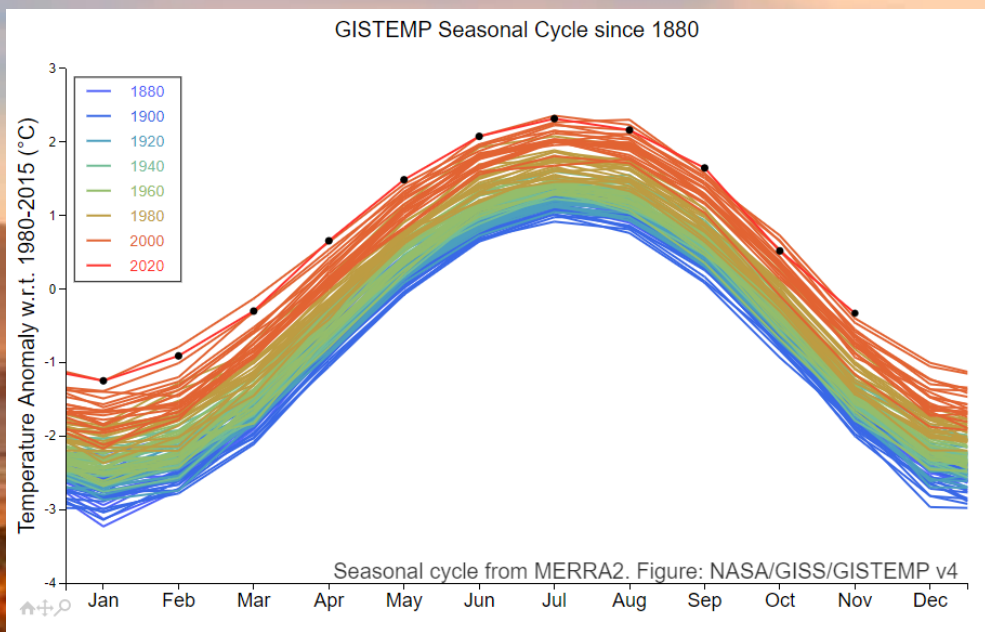


Temperature vs Solar Activity

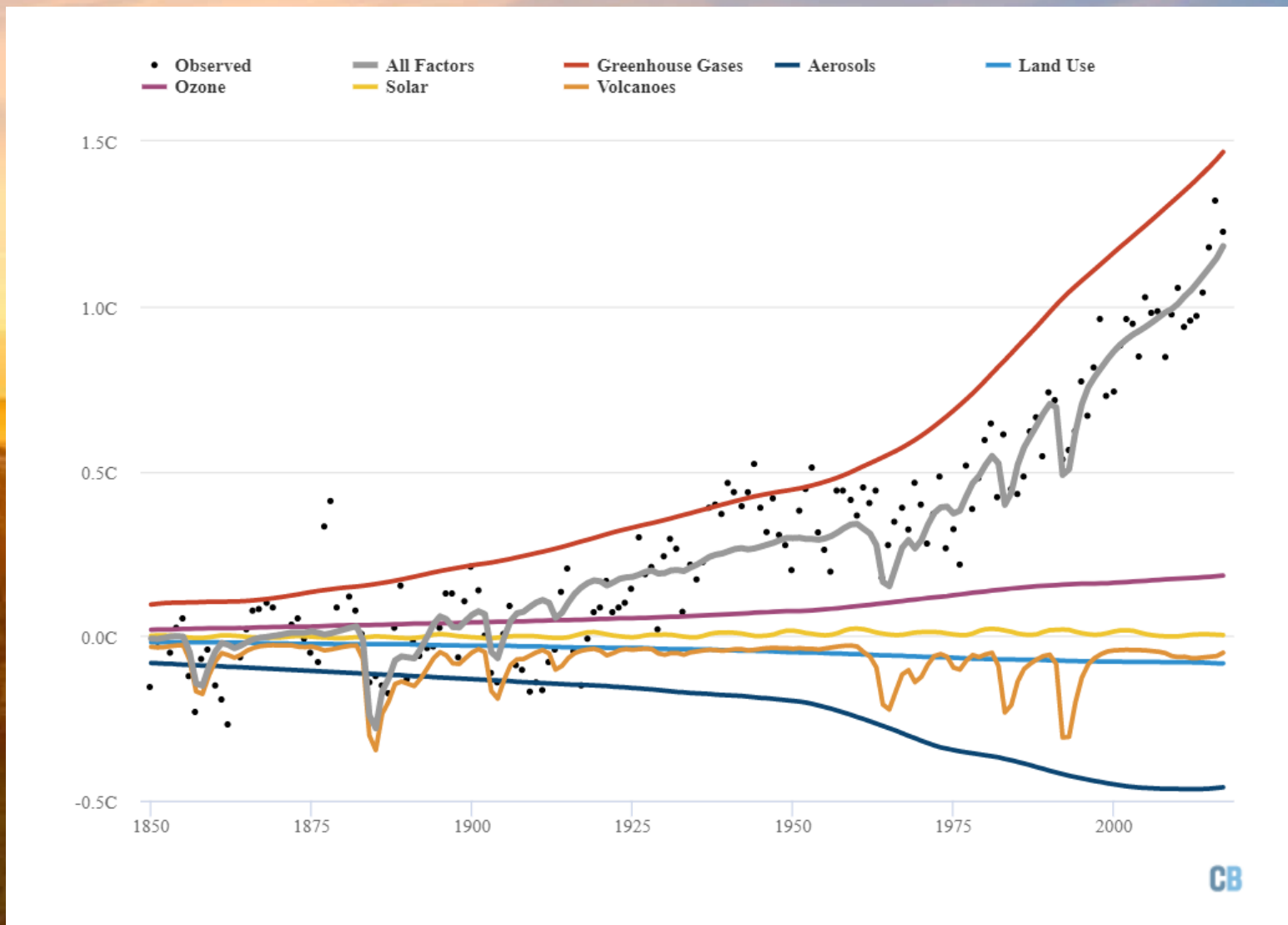


T source: GISTEMP 3.1
TSI source: SATIRE-T2 + PMOD

Zemlja...



https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/



<https://www.carbonbrief.org/analysis-why-scientists-think-100-of-global-warming-is-due-to-humans>

<https://www.bloomberg.com/graphics/2015-whats-warming-the-world/>



The Destruction Of Life / Pinterest

Pitanja...

- **dr Milan Milošević**

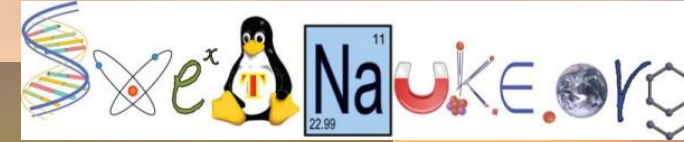
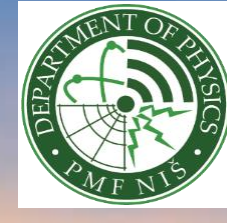
Department za fiziku
Prirodno-matematički fakultet

- mmilan@svetnauke.org
www.facebook.com/mmilan
www.linkedin.com/in/mmilann/

- **Department za fiziku PMF-a**
<http://fizika.pmf.ni.ac.rs>
www.facebook.com/fizika.nis

- **Astronomsko društvo Alfa**
<http://www.alfa.org.rs>
www.facebook.com/alfa.nis

- **Svet nauke**
www.svetnauke.org
www.facebook.com/svetnauke.org



Deo aktivnosti AD Alfa u 2022/23. godini realizuju se u okviru projekta „Kako dohvatiti zvezde“, uz podršku Centra za promociju nauke



ЦЕНТАР
ЗА
ПРОМОЦИЈУ
НАУКЕ