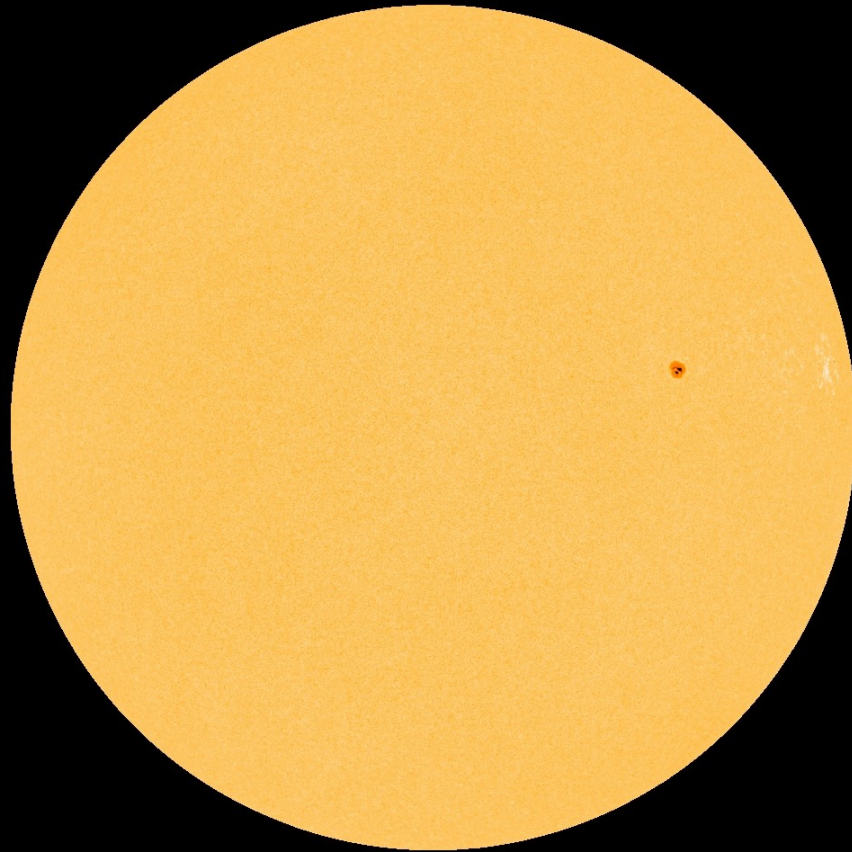


# Sunce i bliža okolina

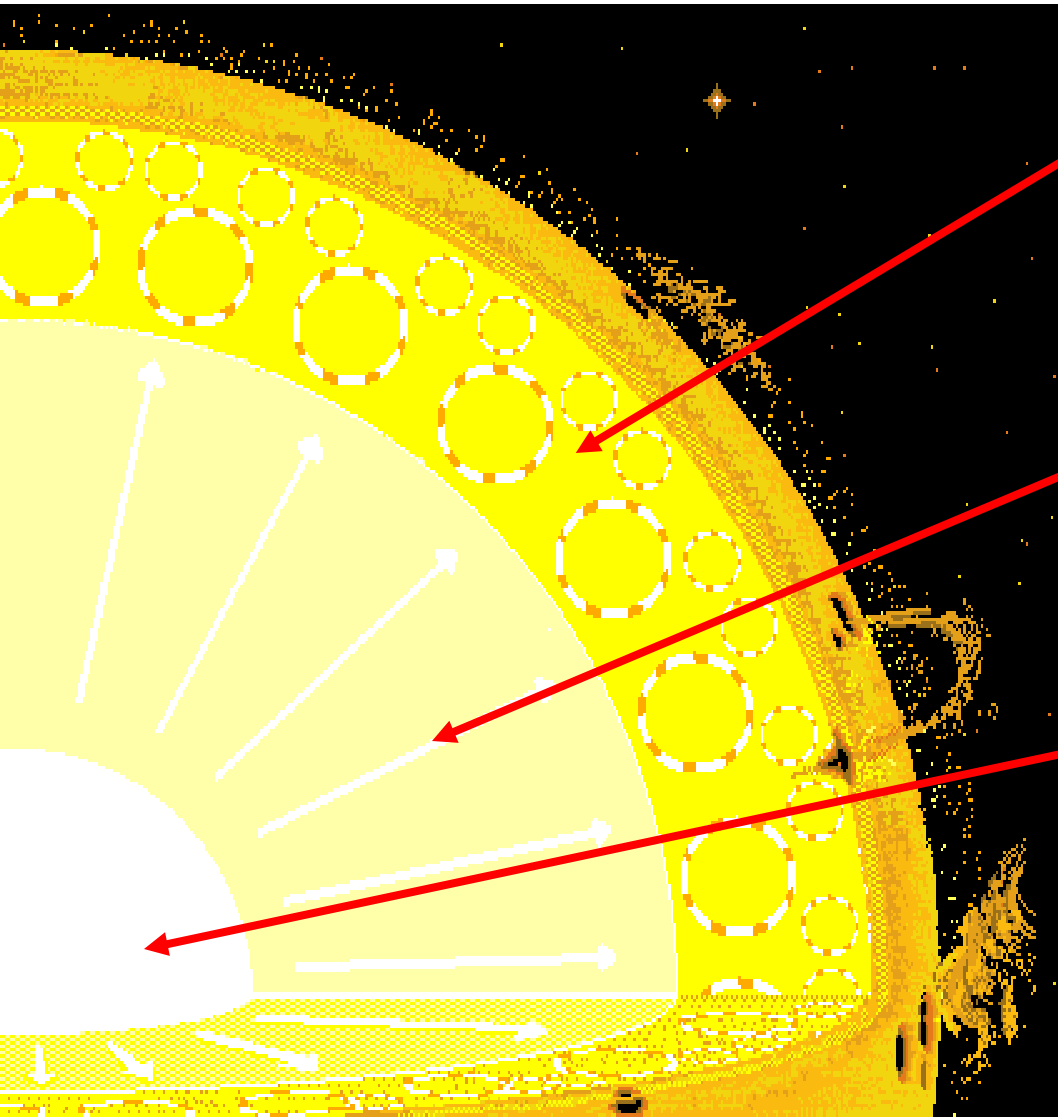


# Moćno Sunce!



Prečnik Sunca	109 x Prečnik Zemlje	$\times 10^2$	
Masa	330.000 x Masa Zemlje		4
Luminoznost (sjaj)	$3.9 \times 10^{26}$ W		
Temperatura na površini	$\sim 5500$ C		
Temperatura u središtu	15 miliona C		
Udaljenost	150 miliona km ( $\sim 8$ sv. min)		

# Unutrašnjost Sunca



## Konvektivna zona

- energija se do površine prenosi konvekcijom
- “ključanje” – topao gas se penje, hladan gas pada

## Radijativna zona

- energija iz jezgra se prenosi zračenjem

## Jezgro

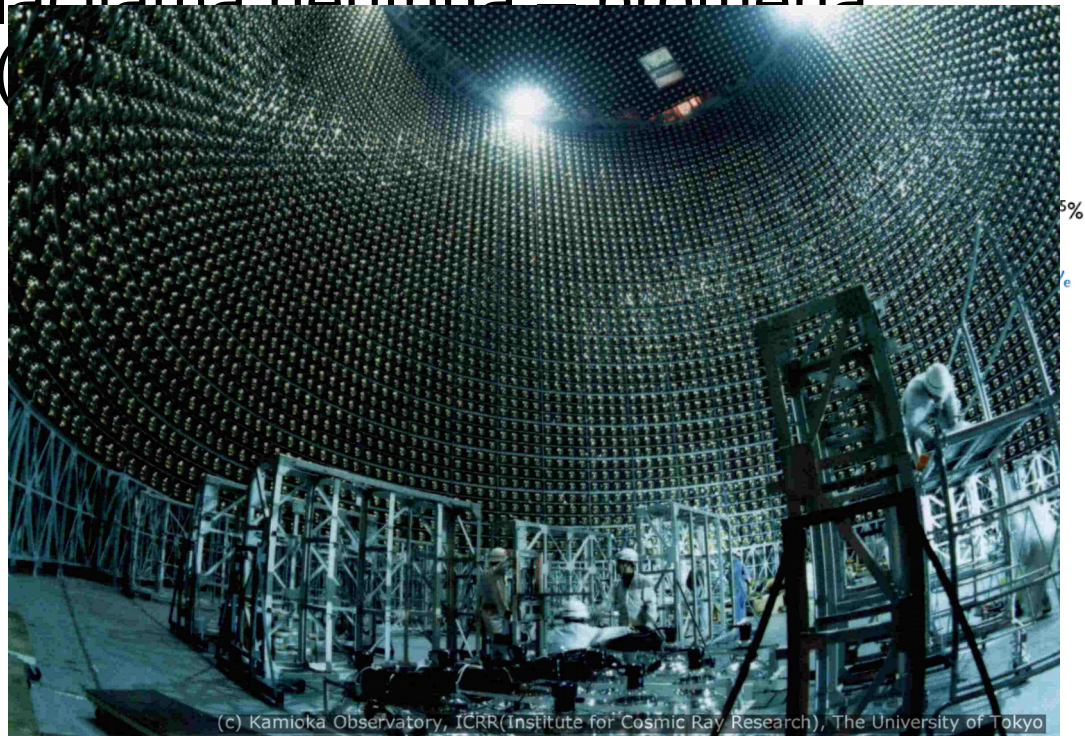
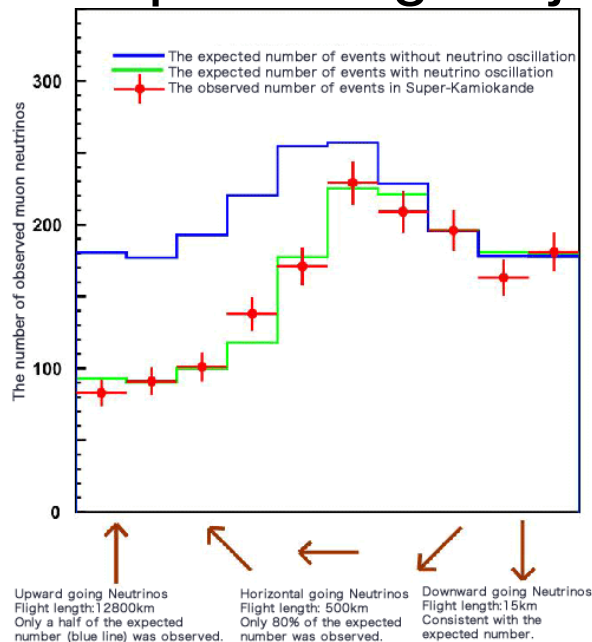
- Fuzija vodonika (pp lanac)
- $T=15$  miliona K
- 14x veća gustina od olova!
- Pritisak je 10 milijardi puta veći nego na Zemlji!

# Dugo putovanje...

- Radijativna zona
- Energija se kroz unutrašnjost Sunca prenosi putem zračenja sve do početka fotosfere (najnižeg atmosferskog sloja)
- **Zračenje putuje 100.000 godina do površine!**
- Zračenje gubi energiju.
- **Konačno izlazi u fotosferi kao vidljiva svetlost!**

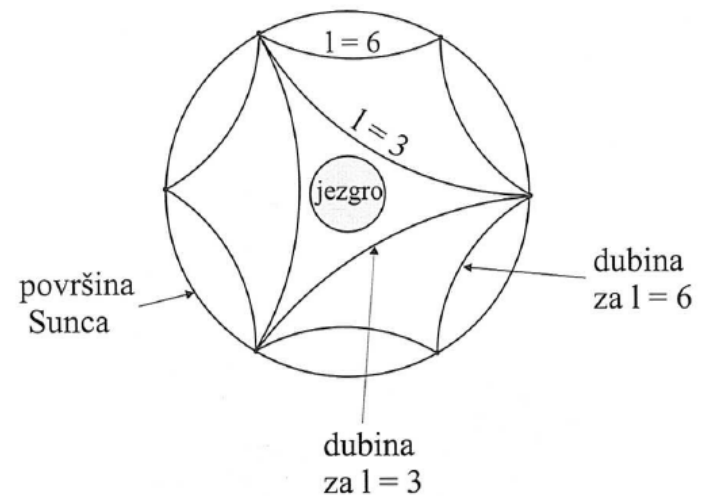
# Neutrini

- Solarni neutrini nastaju u TN reakcijama u jezgru.
- Nedostatak neutrina (3x manji fluks).
- Rešenje je u oscilacijama neutrina – promena leptonskog broja (



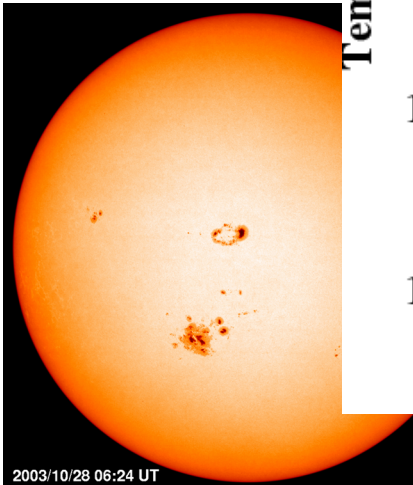
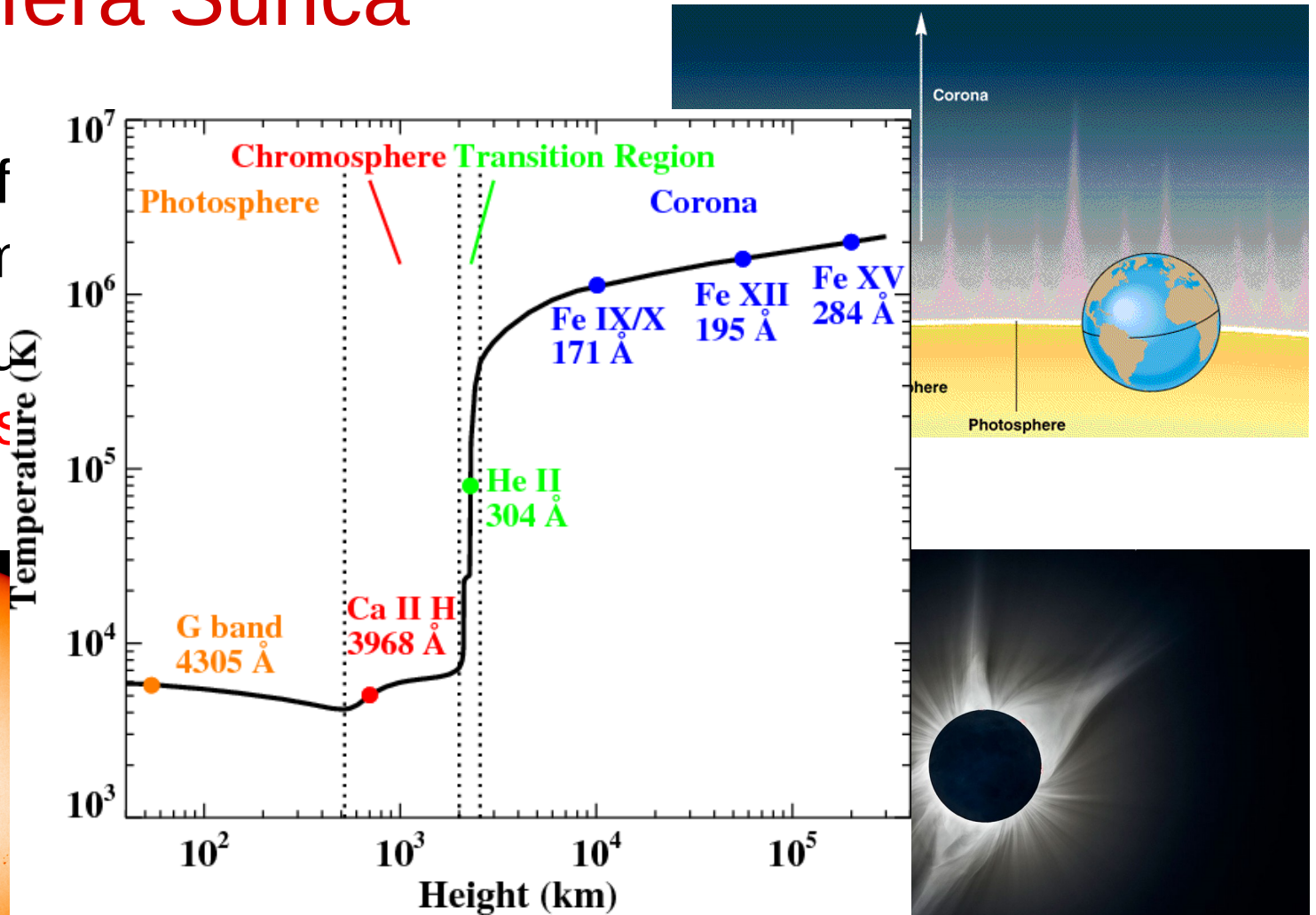
# Helioseizmologija

- Oscilacije površine Sunca (fotosferskog sloja).
- Periodi oscilacija 2-11 minuta.
- Najdominantnije su od 5 min koji predstavljaju vertikalno pomeranje površine Sunca od 25 m.
- Oscilovanje Sunčeve površine prati **GONG++** program.



# Atmosfera Sunca

- Atmosfera primarna
- Razlika u temperaturi između fotosfere i kromosfere

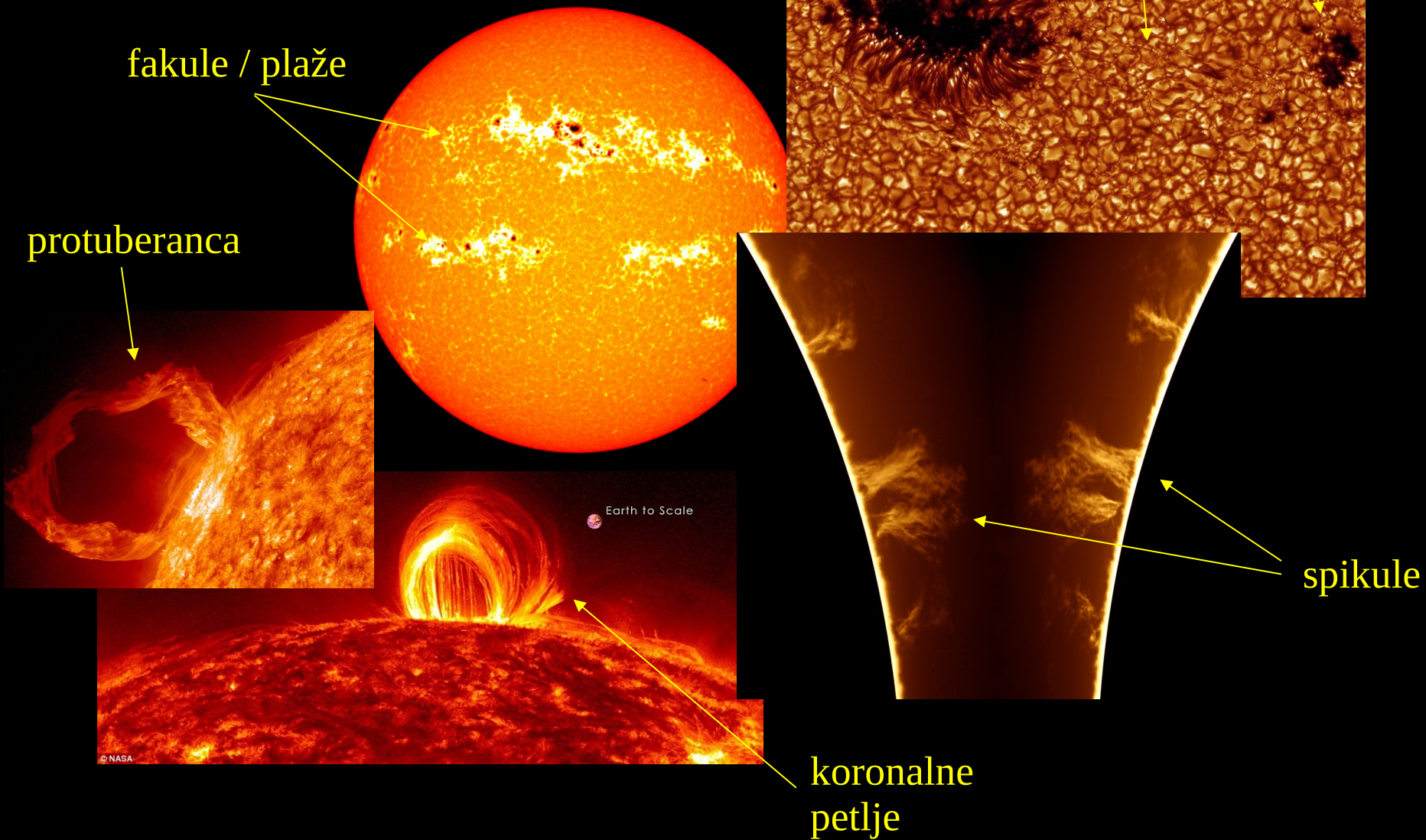


fotosfera

hromosfera

korona

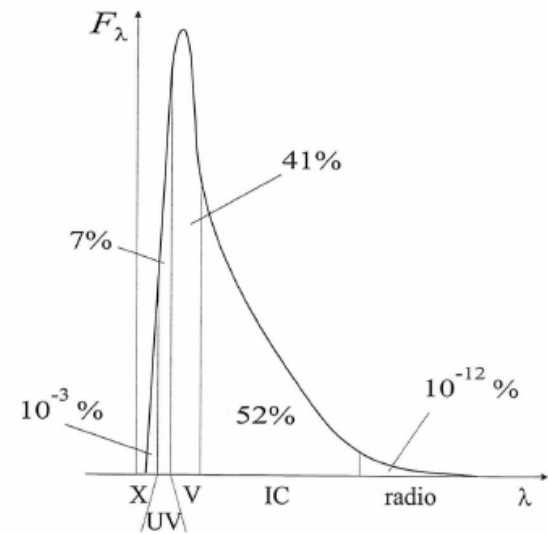
# Pojave u atmosferi



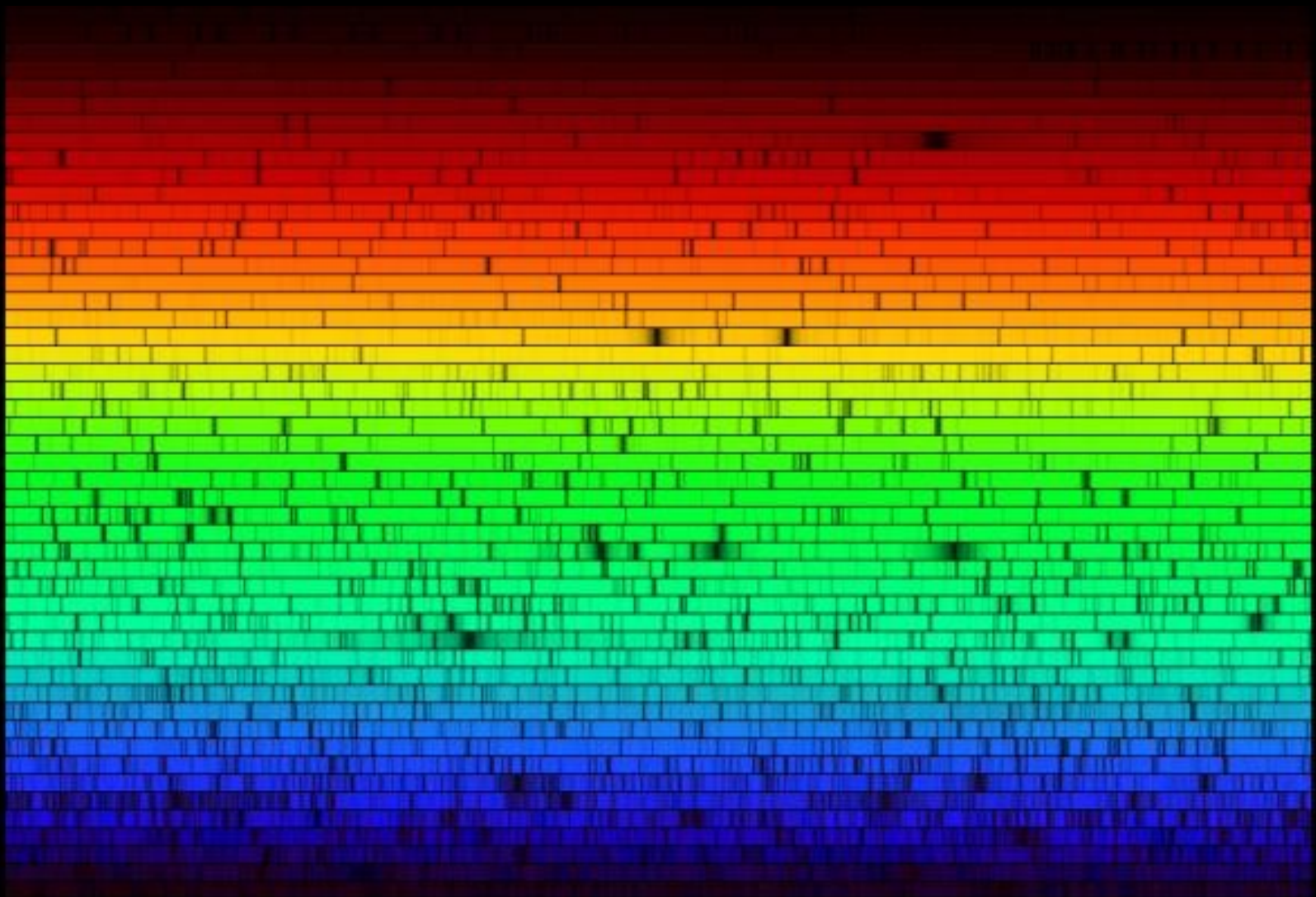


# Spektar fotosfere

- Skoro svu energiju koju Sunce emituje izrači **fotosfera**.
- 93% ukupne izračene energije fotosfere izrači se u vidljivom i infracrvenom delu spektra.
- **Neprekidni spektar** sa maksimumom u žuto-zelenoj boji sa **tamnim (apsorpcionim) linijama**.

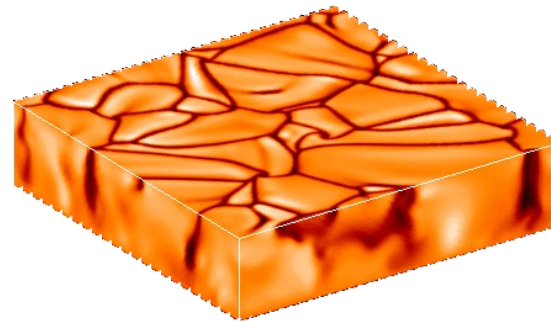
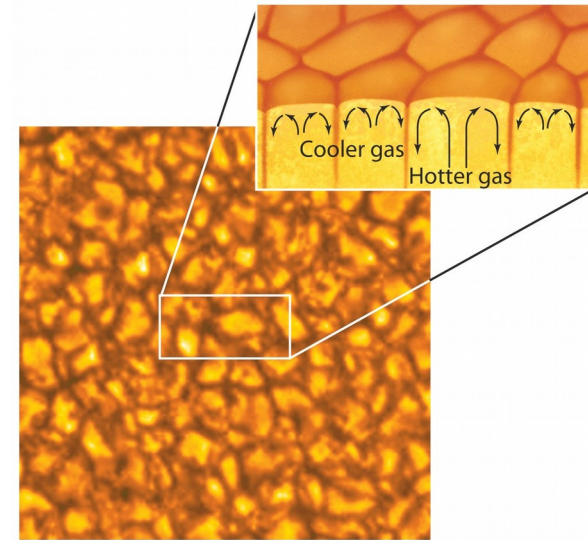


# Spektar Sunca u vidljivoj oblasti (~400nm-700nm)



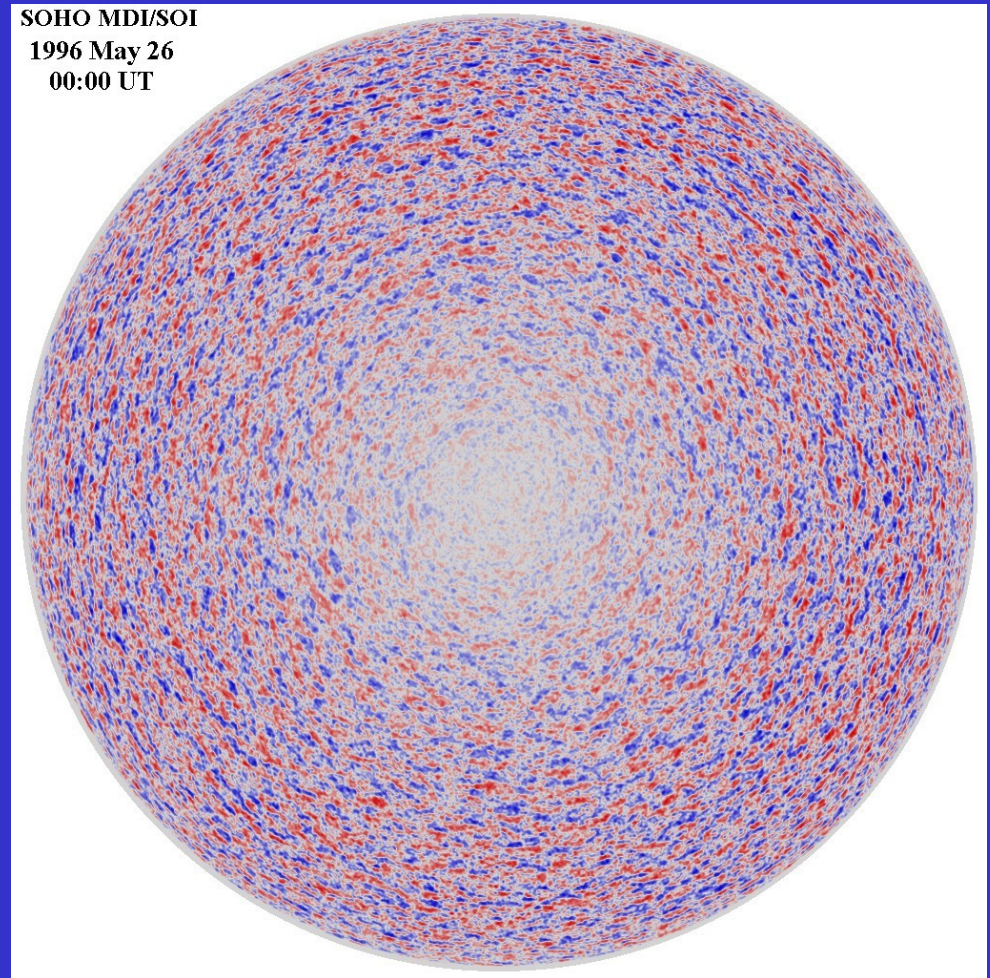
# Granulasta površina

- Fotosfera nije glatka
- Prekrivena je **granulama**; oko 700 km u prečniku! Postoje 5-20 min.
- Konvektivne ćelije tj. “mehurići” koji ključaju
  - vruć (svetliji) gas se penje kroz centralni deo
  - hladniji (tamniji) gas se spušta po obodu



# Supergranule

- Doplerovi pomaci spektralnih linija fotosfere otkrivaju podizanje i spuštanje struktura velikih razmera (prečnika oko 30000km). “Žive” oko 20 časova.

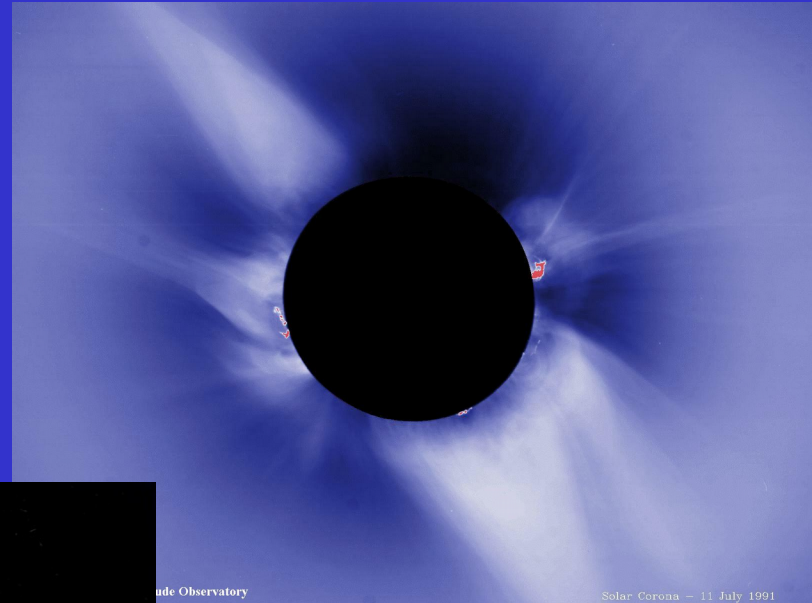


# Hromosfera (obojena sfera)

- Sloj iznad fotosfere debljine oko 3000 km sa mlazevima plazme koji dostižu do 10 000 km
- Transparentna oblast niske gustine (milion puta redja od fotosfere)
- Temperatura raste sa visinom: od oko 4000 K (na donjoj granici hromosfere – temperaturski minimum) do  $10^4 - 10^6$  K (na gornjoj granici) u tzv. prelaznoj oblasti

# Hromosfera

- Najbolje se vidi golim okom neposredno pre totalnog pomračenja Sunca



Lusaka, Zambia, 21 juni 2001

# Spektar hromosfere

Linijski emisijski spektar  
skoro bez kontinuuma

Jake emisijske linije vodonika.

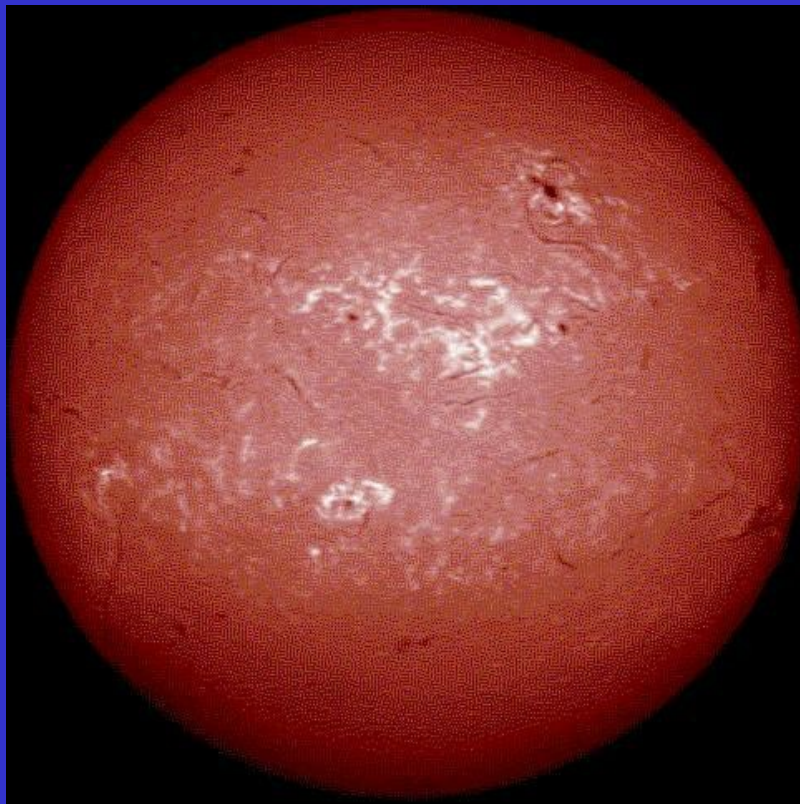
Najjača je  $H\alpha$  linija  $\lambda 656.3$  nm (crvena)

Jake linije jedanput jonizovanog kalcijuma (Ca II):

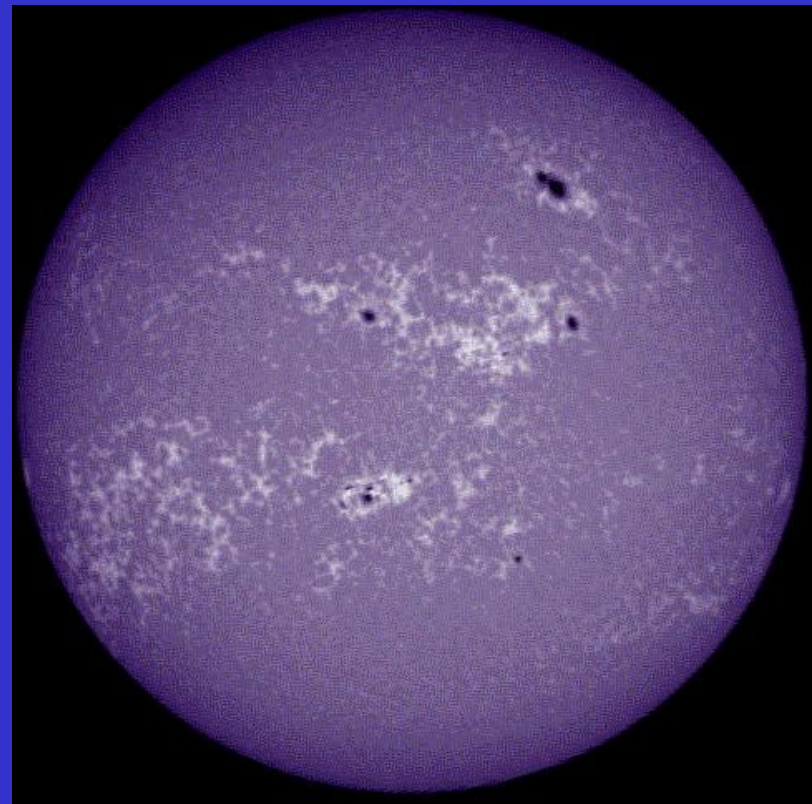
linije H i K na  $\lambda 393.4$  nm i  $\lambda 396.8$  nm (ljubičasta)

Linije helijuma

**Hromosfera se može posmatrati i van pomračenja korišćenjem usko-pojasnih filtara (u određenim spektralnim linijama)**



**Zračenje HI na 653 nm**



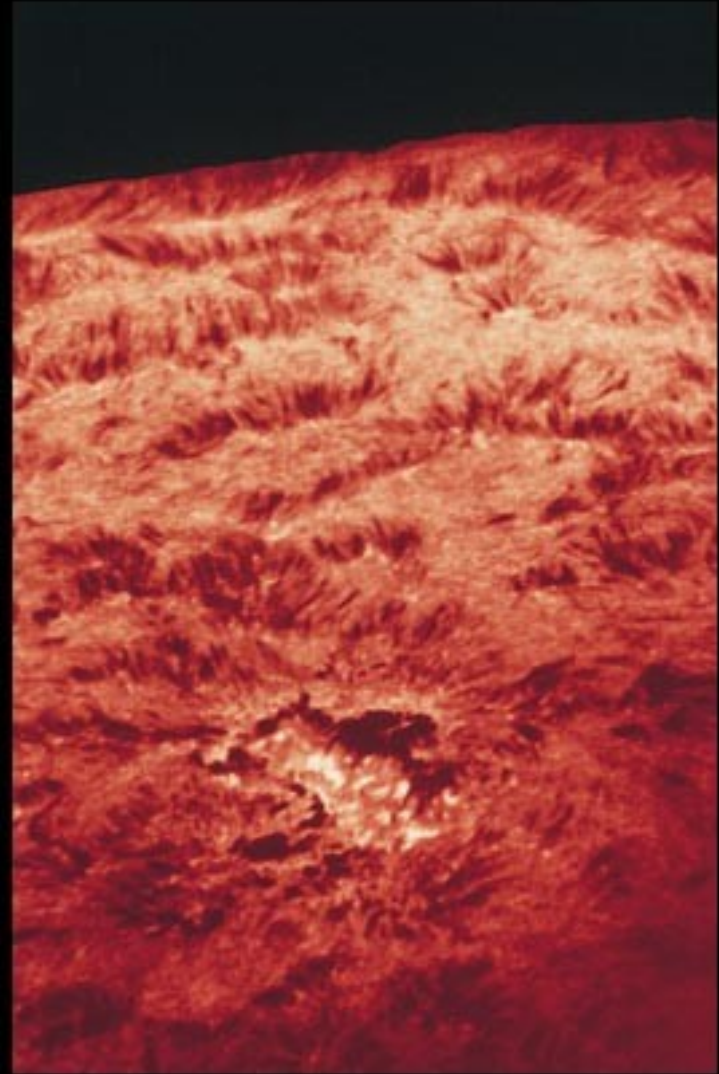
**Zračenje CaII na 393 nm**



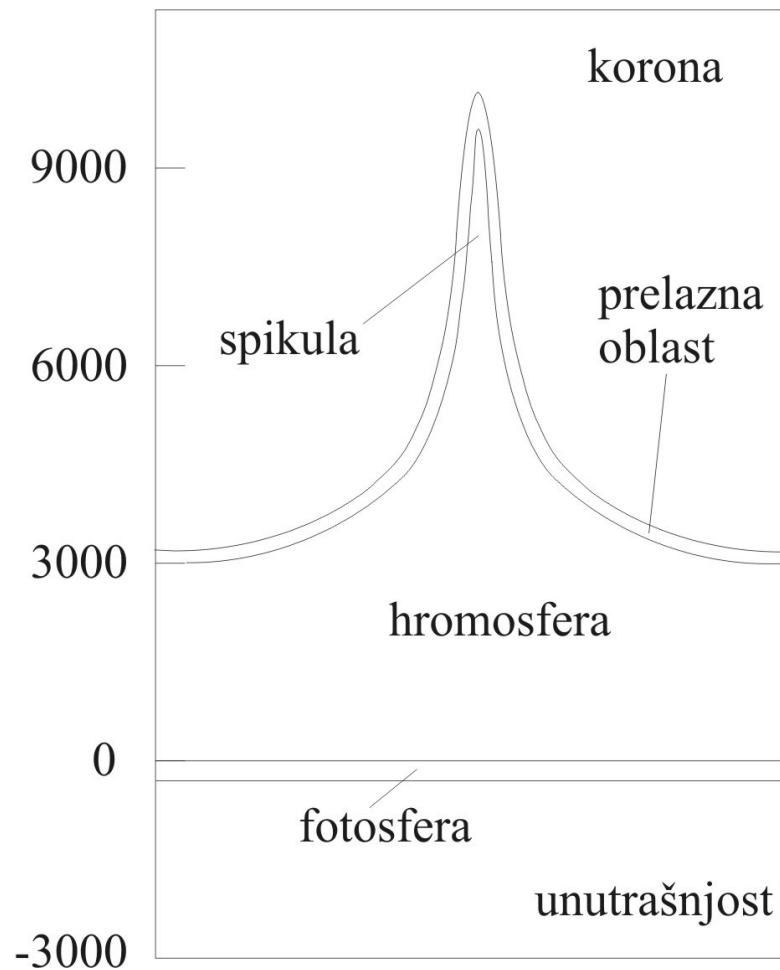
**Spikule:** mlazevi  
hromosferske plazme  
brzinom od oko 20km/s  
nose materiju u koronu i  
dostižu visinu i do  
10000km

**Mreža** u K CaII je mesto  
najvećeg vertikalnog  
kretanja plazme.

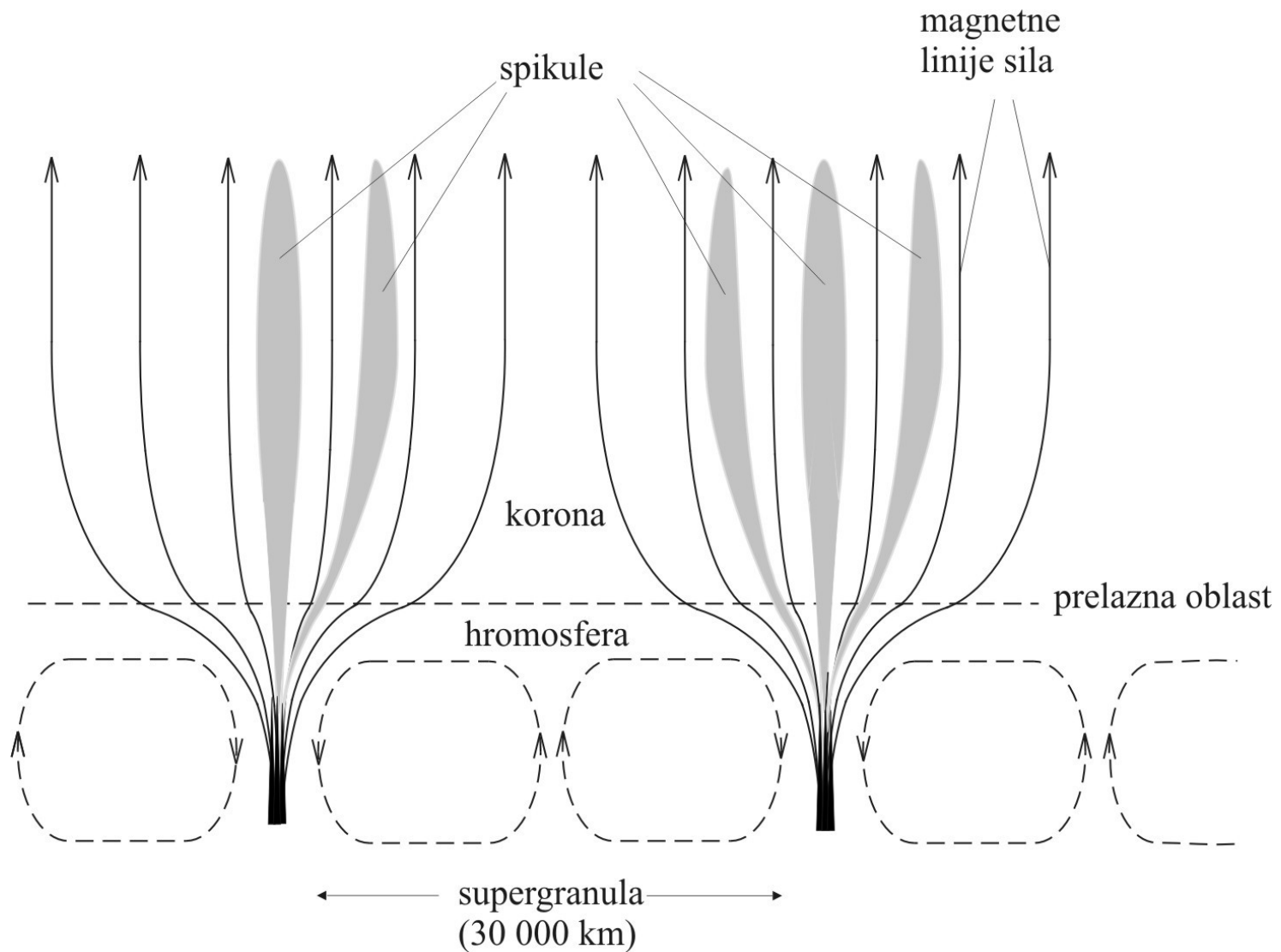
Fotosferske  
supergranule,  
hromosferske spikule i  
mreža u K CaII liniji su  
tesno povezani fenomeni.



# Hromosfera sa spikulama

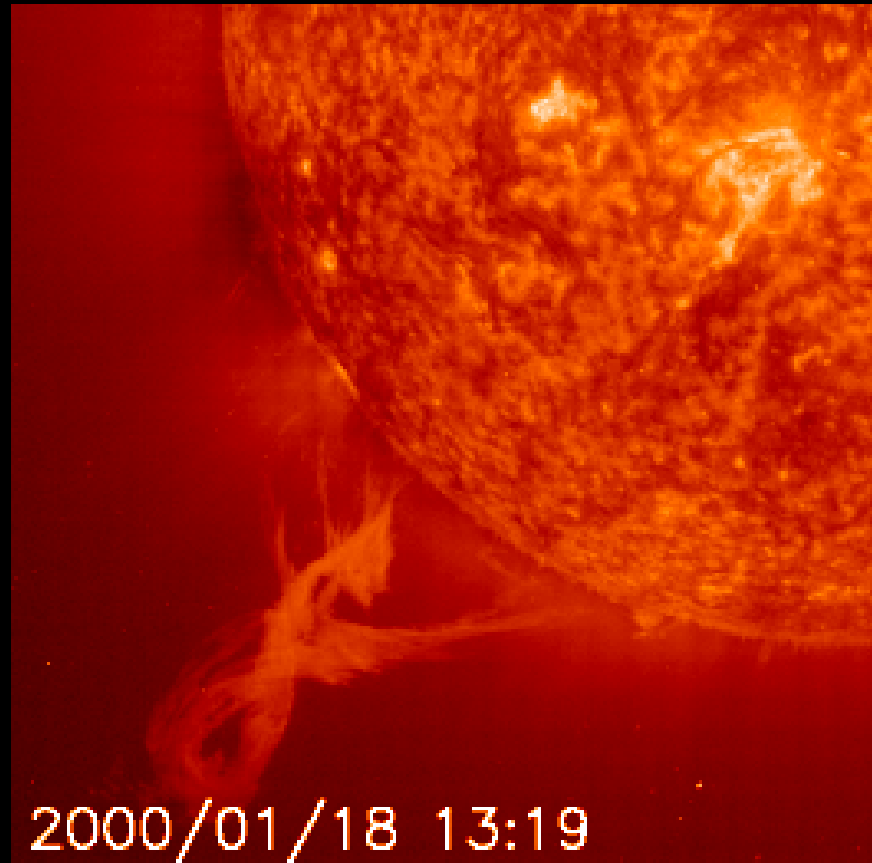


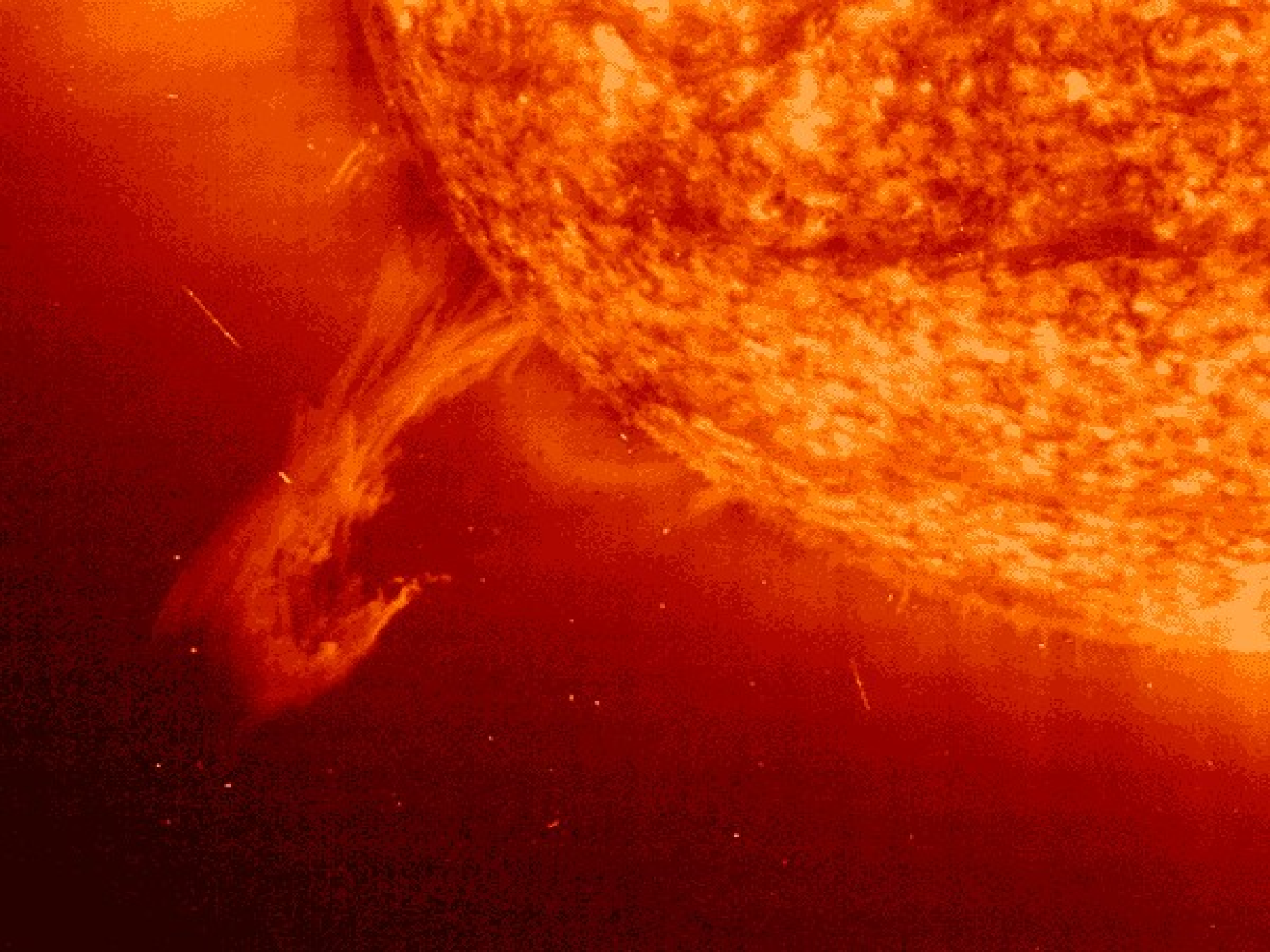
# Supergranule sa spikulama



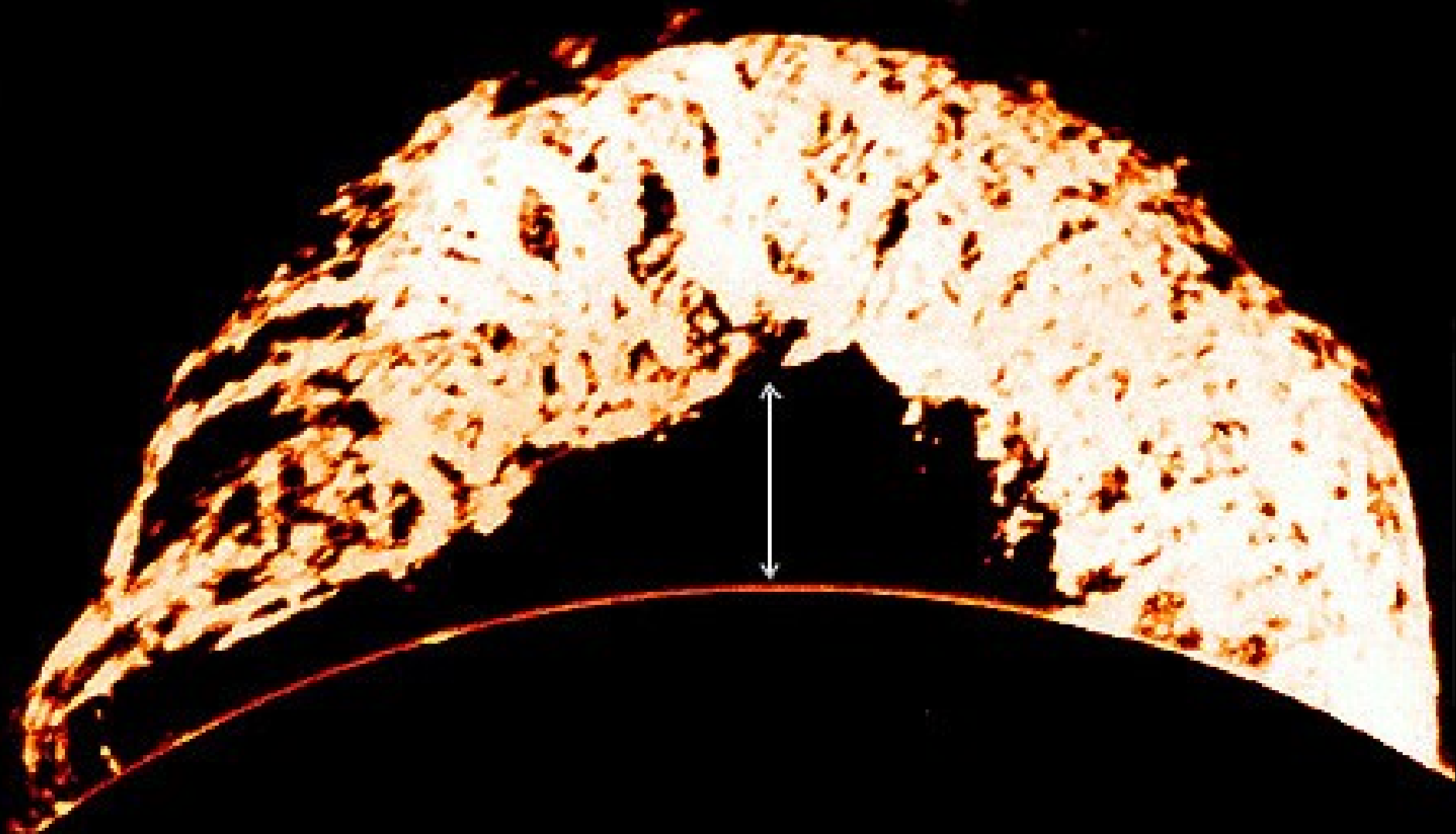
# Protuberance – mlazevi hromosferske plazme

- Protuberance
  - Mlazevi hromosferskog gasa u koroni (~30000 km iznad hromosfere)
  - primer eruptivne protuberance

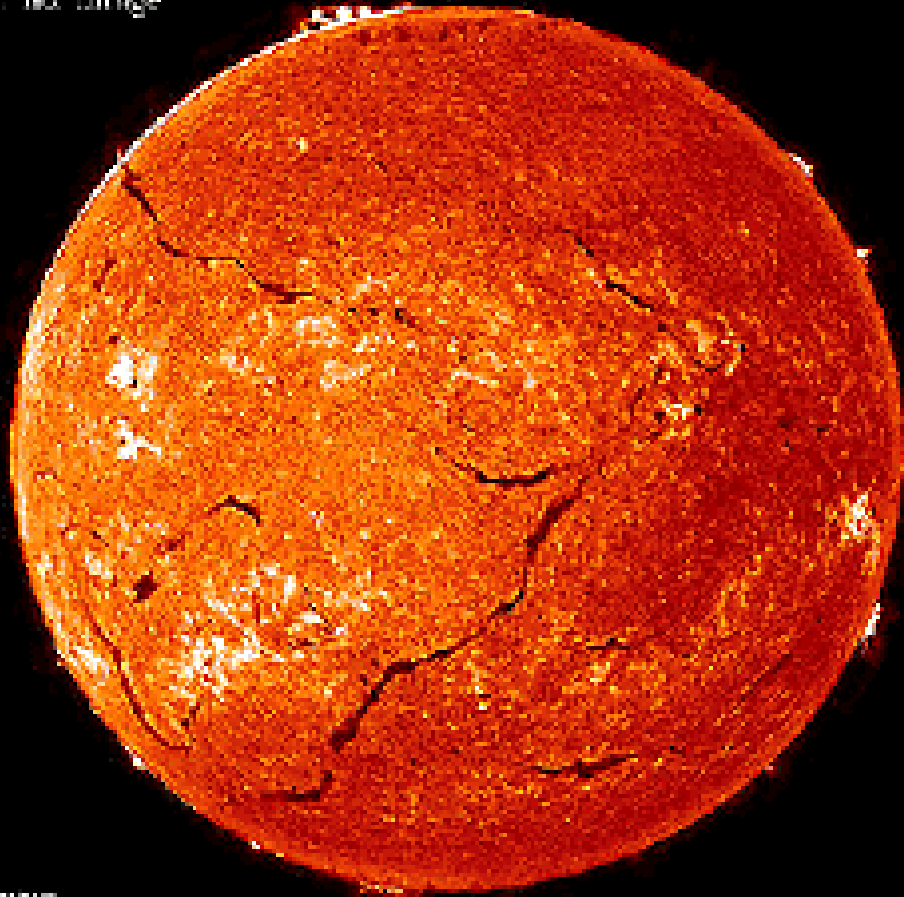




# Džinovska protuberanca (4.juna 1946)



11 August 1990: No. Image



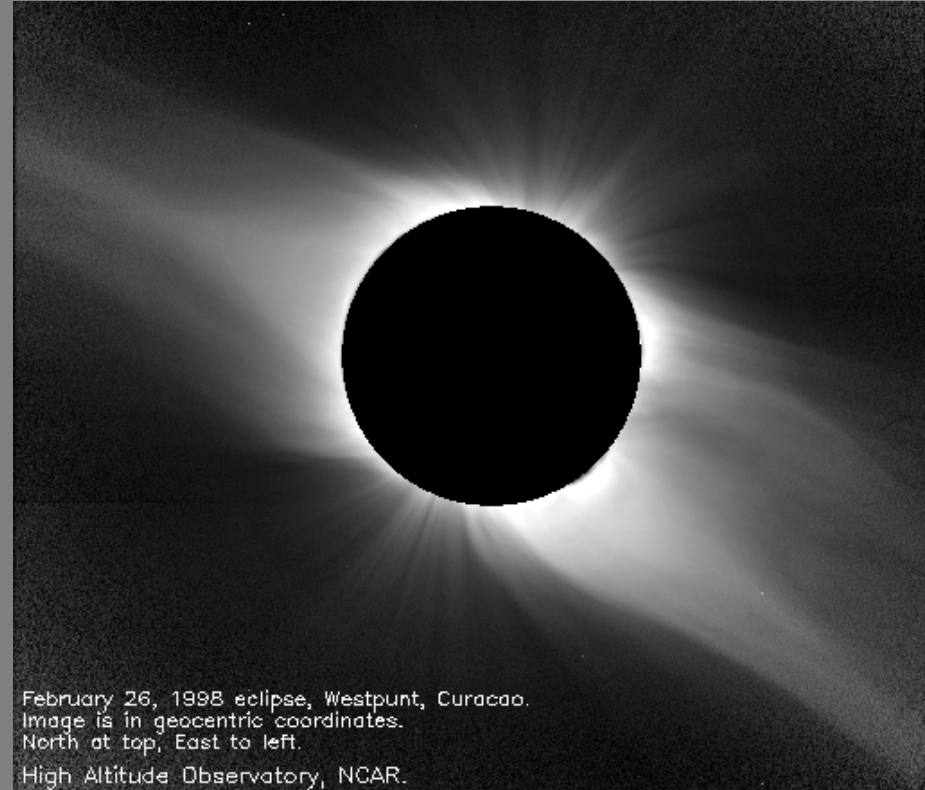
**Filamenti:**  
tamna vlakna  
hladnijeg gasa

Source: NASA/ESA/USAF

ISS 2-005

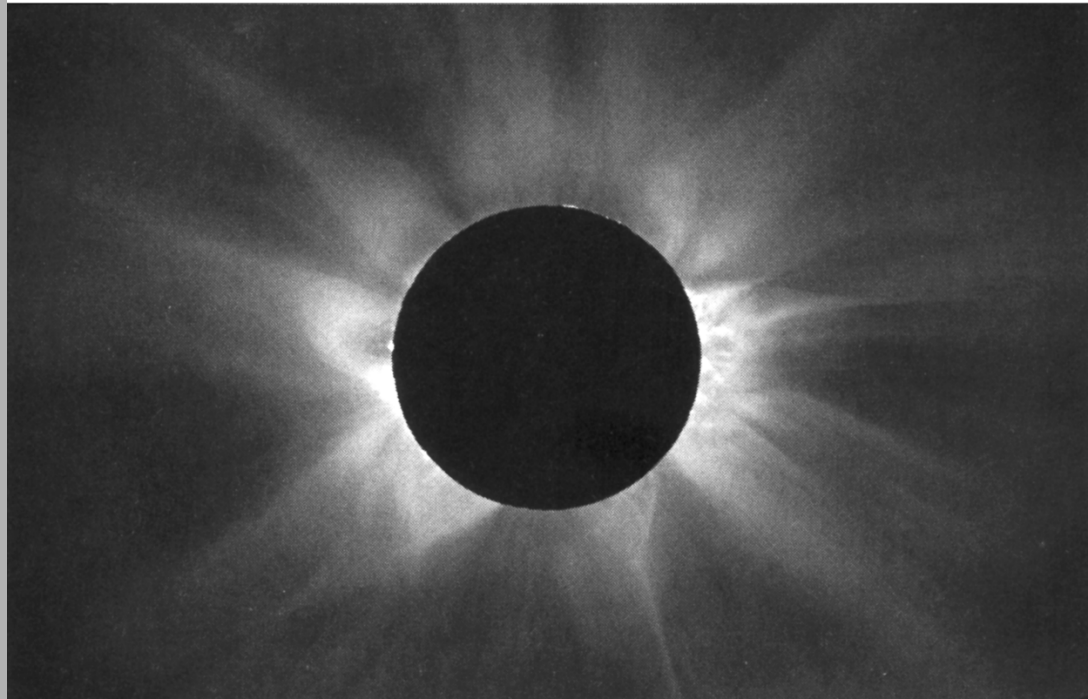
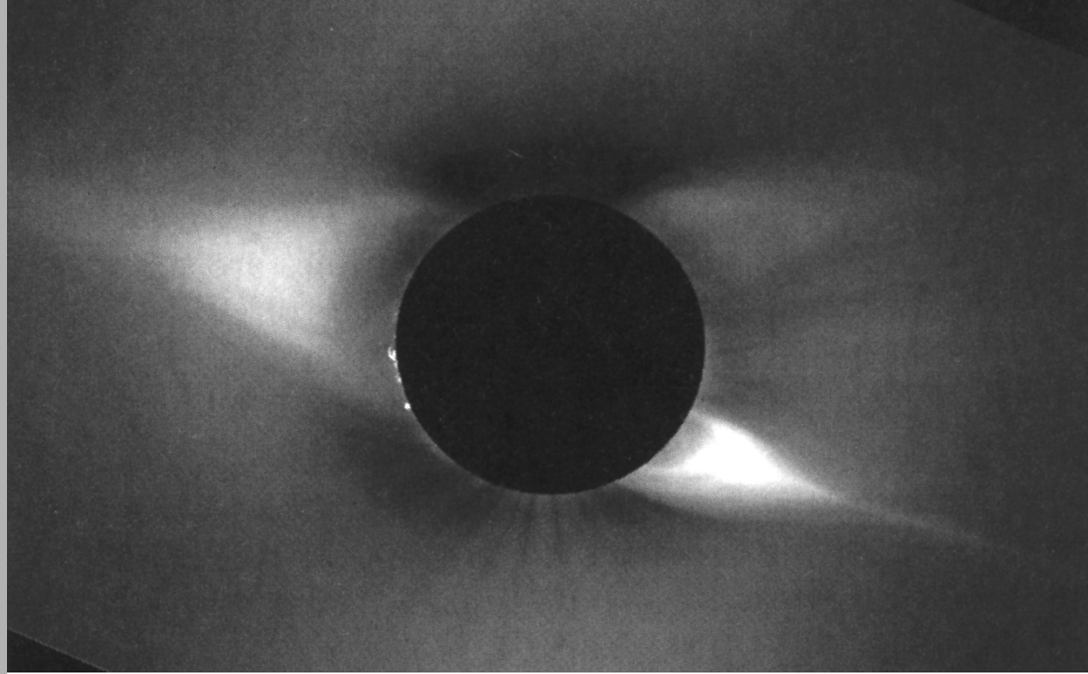
# Korona

- Ektremno redak gornji sloj Sunčeve atmosfere
- Vrlo prostrana oblast:
  - Proteže se milionima km (nekoliko Sunčevih radijusa)
- Oblast vrlo visoke temperature:
  - Temperatura: 1–2 miliona stepeni!
  - Emituje najviše u X i UV oblasti spektra
- Vrlo je niske gustine zbog čega je uprkos visokoj temperaturi sjaj korone oko milion puta manji nego sjaj fotosfere





Korona u  
minimumu i  
maksimumu  
aktivnosti



# KORONA

- K-korona: unutrašnja korona visoke temperature; spektar je kontinuum (svetlost fotosfere je rasejana na slobodnim elektronima) sa emisionim linijama (E-korona)
- F-korona: spoljašnja korona niže temperature; spektar je kontinuum (rasejana svetlost na medjuplanetskim česticama prašine) sa apsorpcionim (Fraunhoferovim) linijama

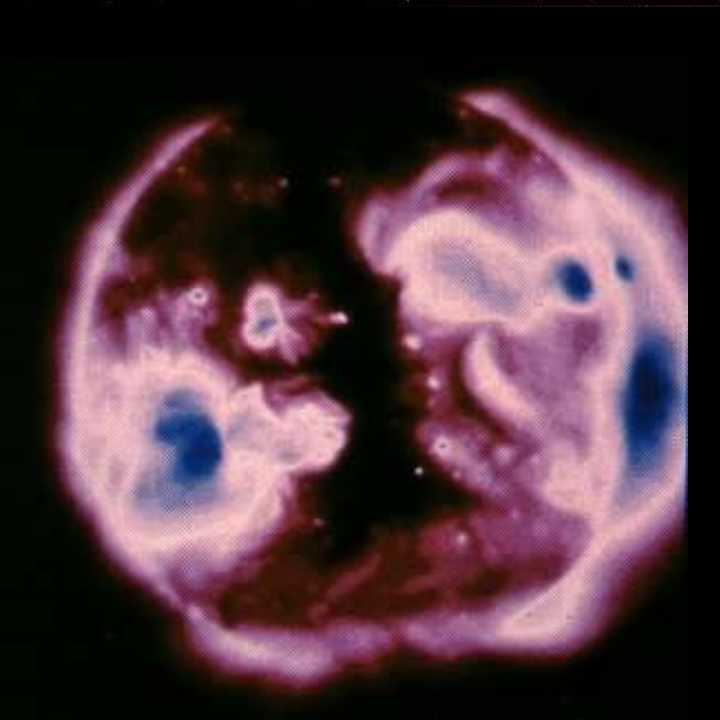
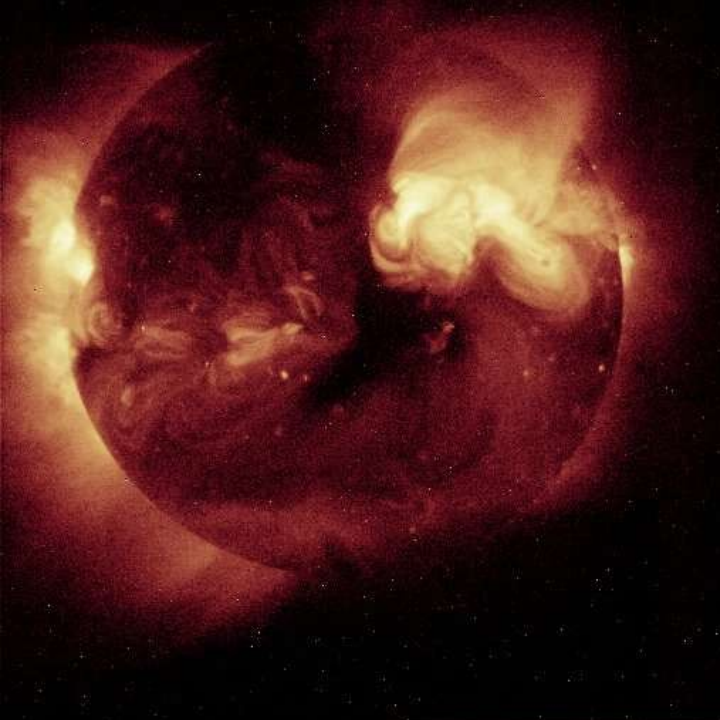
# E-korona

- Linijski emisijski spektar
- Problem identifikacije – “koronijum”
- Grotrian (1937) identifikovao crvenu liniju ( $\lambda 637.4$  nm) sa linijom FeX, a Edlen (1942) zelenu liniju ( $\lambda 530.3$  nm) sa linijom FeXIV.
- Znači, temperatura u koroni mora biti reda milion K!
- Problem zagrevanja korone? Udarni talasi...

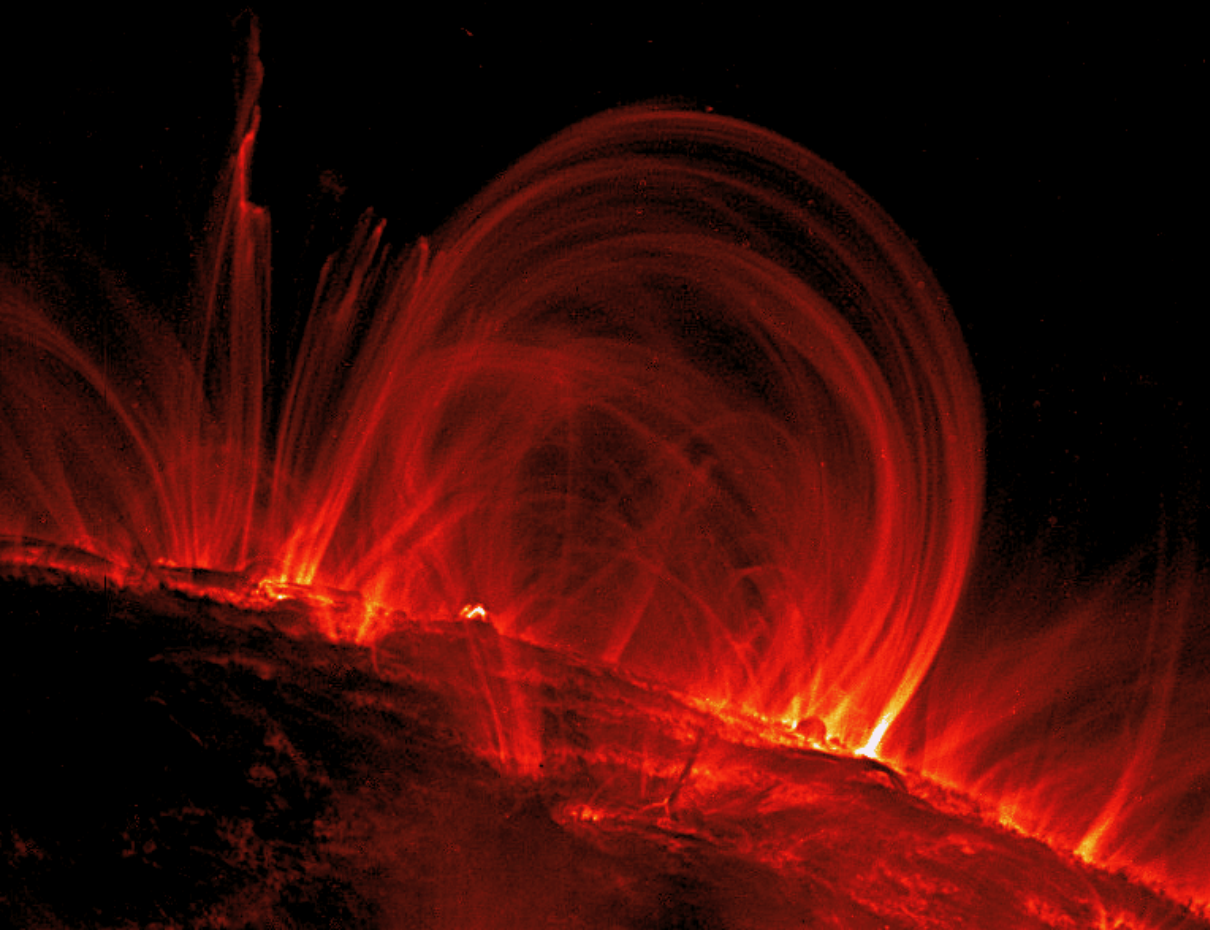
# Korona

Sateliti sa detektorima UV i X-zračenja pokazuju:

- vrlo sjajne **aktivni regioni**
- tamni regioni, “**koronalne rupe**” iz kojih ističe gas



# Koronalne petlje

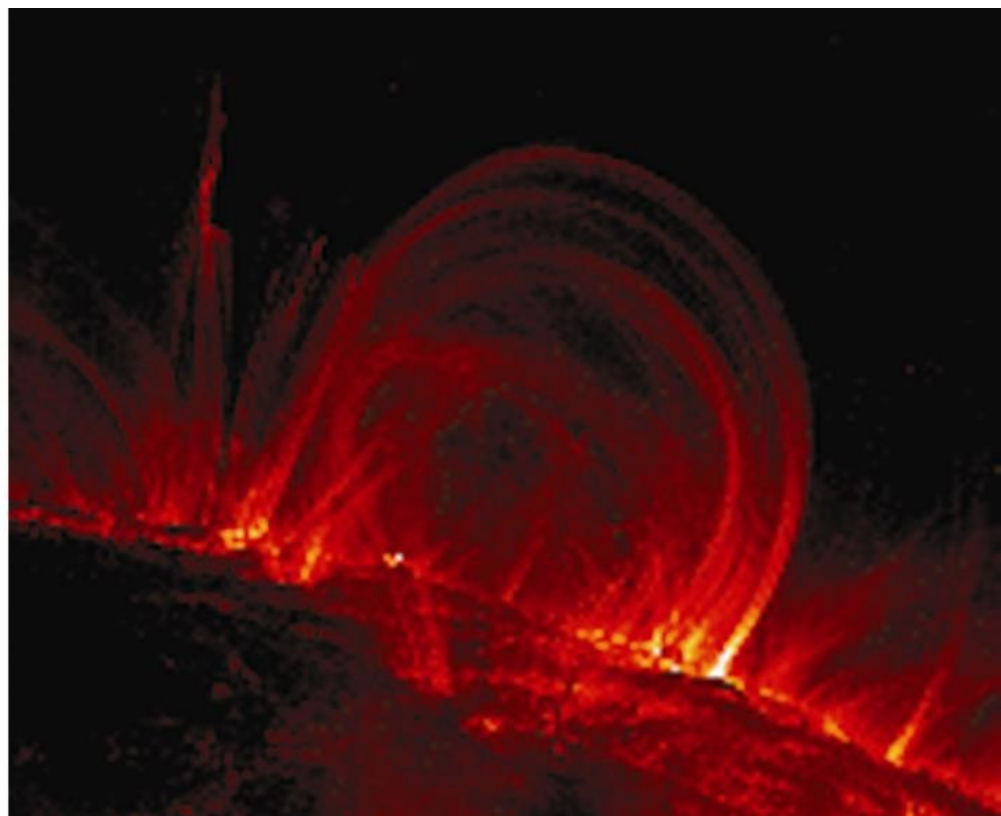
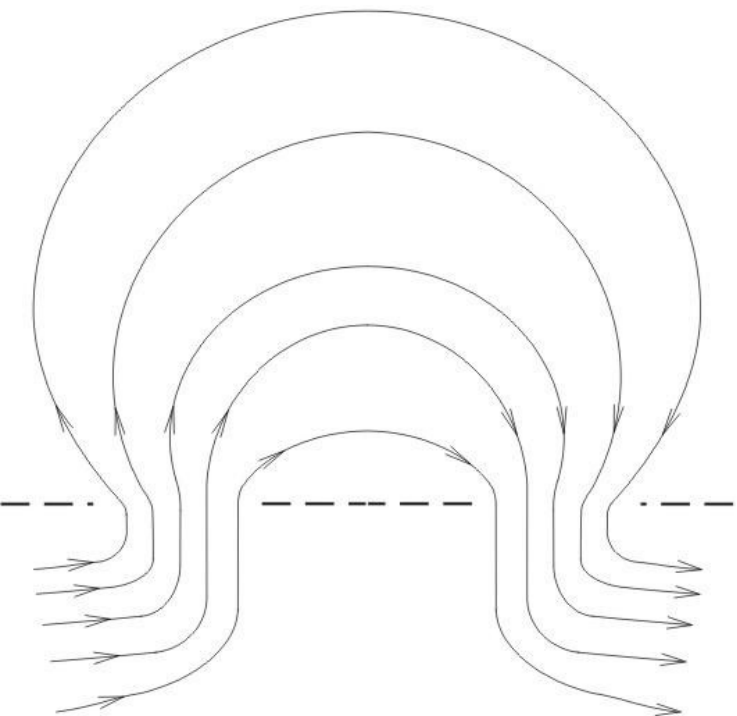


Potoci jonizovanog gasa duž magnetnih linija sila

Vreo gas je zarobljen u ovim petljama – oblastima zatvorenog magnetnog polja na Suncu

Koronalne rupe: hladniji i ređi koronalni gas

Oblasti otvorenog magnetnog polja na Suncu



# Oblici Sunčeve aktivnosti

- **Fotosfera:**
  - **Pege** ( niža  $T$  nego u fotosferi, jako  $B$ )
  - **Fakule** (gušće, toplije i sjajnije oblasti nego fotosfera)
- **Hromosfera:**
  - **Plaže** (gušće, toplije i sjajnije od hromosfere)
  - **Protuberance** (mlazevi hromosferske plazme u koroni)
  - **Erupcije** (kratkotrajni bljeskovi; iznad pega)
- **Korona:**
  - Koronalne rupe
  - Koronalne kondenzacije
  - Sporadični impulsi radio-zračenja

Zajednički uzrok svim oblicima Sunčeve aktivnosti je magnetno polje.

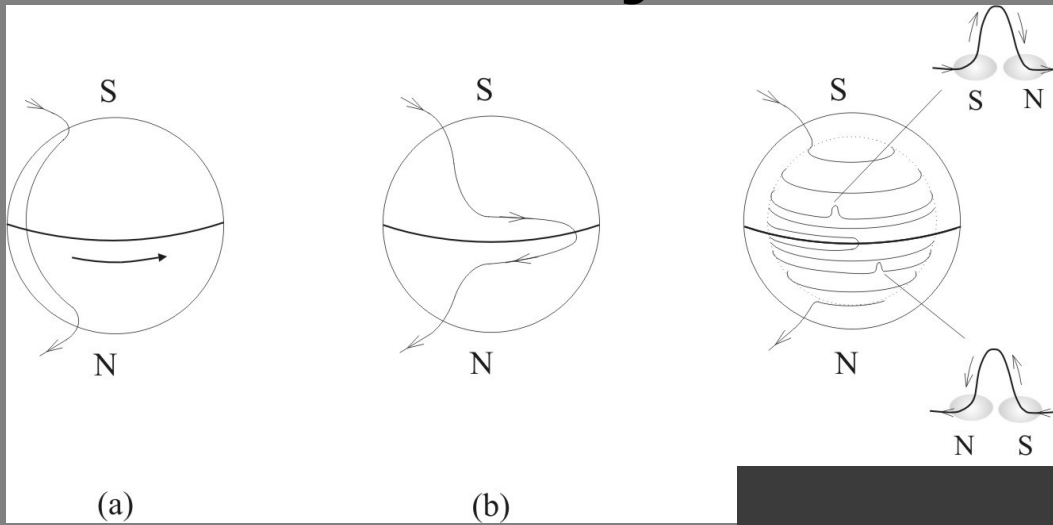
Svi oblici aktivnosti pokazuju promene u toku 11-godišnjeg ciklusa.



# Sunčeve magnetno polje

- Opšte magnetno polje Sunca je **dipolno** (magnetne linije sile su u meridijanskoj ravni) i slabo (1-5G)
- Diferencijalnom rotacijom dolazi do namotavanja magnetnih linija sile i stvara se **toroidalno** magnetno polje.

# Stvaranje toroidalnog polja



Izbijanjem gusto pakovanih linija sile toroidalnog polja na površinu nastaju jaka lokalna magnetna polja ( $> 2000$  G), javljaju se **pore** koje rastu i obrazuju se **pege**.

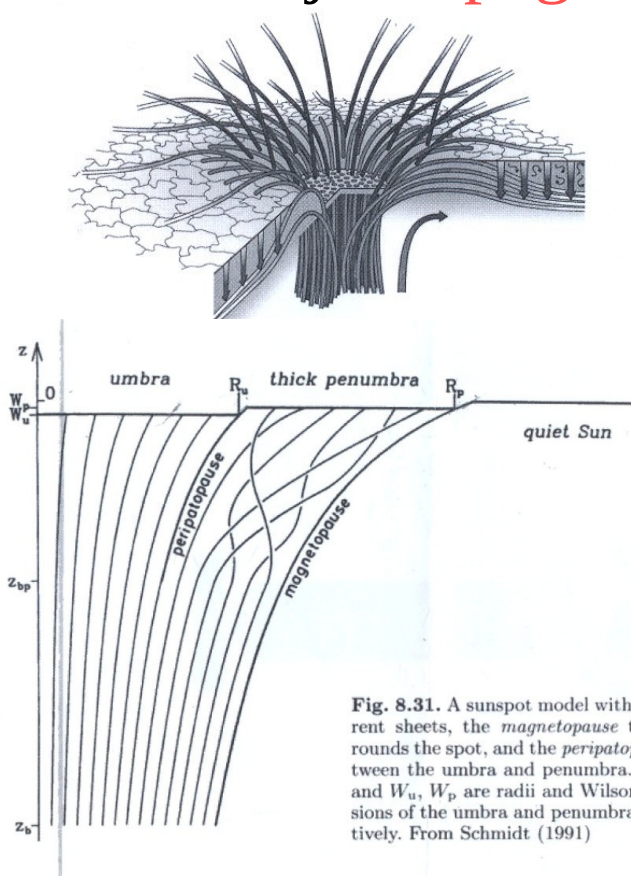
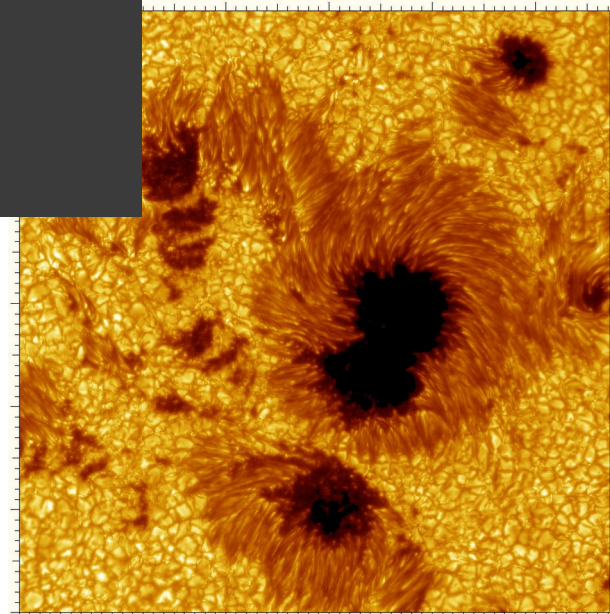


Fig. 8.31. A sunspot model with two current sheets, the *magnetopause* that surrounds the spot, and the *peripatopause* between the umbra and penumbra.  $R_u$ ,  $R_p$ , and  $W_u$ ,  $W_p$  are radii and Wilson depressions of the umbra and penumbra, respectively. From Schmidt (1991)



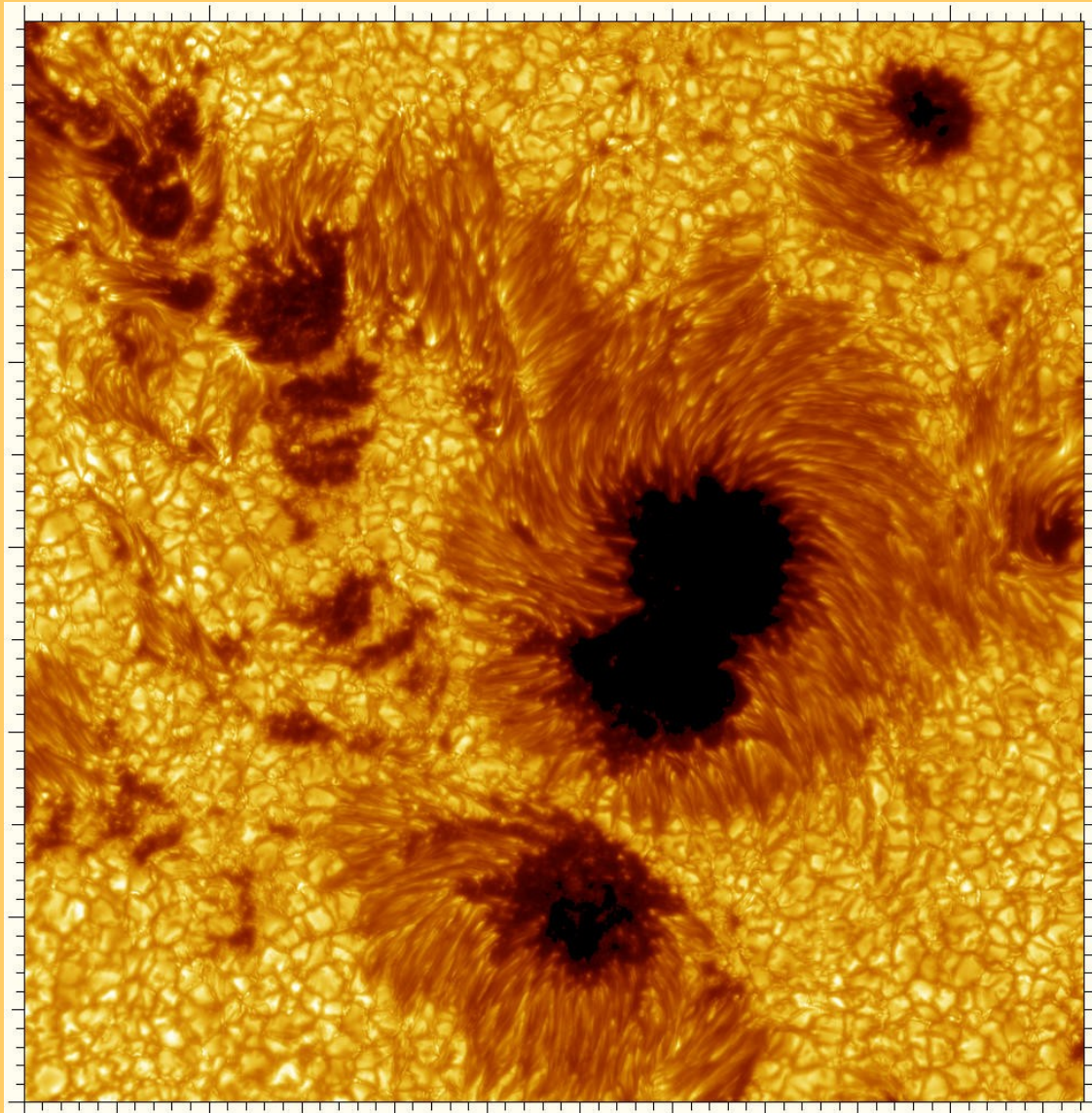
# MINIMUM & MAKSIMUM AKTIVNOSTI

- U **minimumu** Sunčeve aktivnosti najjače je **dipolno (poloidalno)** magnetno polje
- U **maksimumu** Sunčeve aktivnosti najjače je **toroidalno (azimutalno)** magnetno polje

U svakom novom ciklusu  
magnetno polje menja polaritet!

Promena polariteta objašnjava se  
pojavom novog dipolnog  
magnetnog polja suprotno  
orijentisanog u odnosu na  
prethodno.

# Sunčeve pege



Pege su oblasti izuzetno jakog magnetnog polja

Pege su osnovni indeks Sunčeve aktivnosti

Schwabe (1843) je prvi otkrio 11-godišnju periodičnost u broju pega na Suncu

# Ciklusi Sunčeve aktivnosti

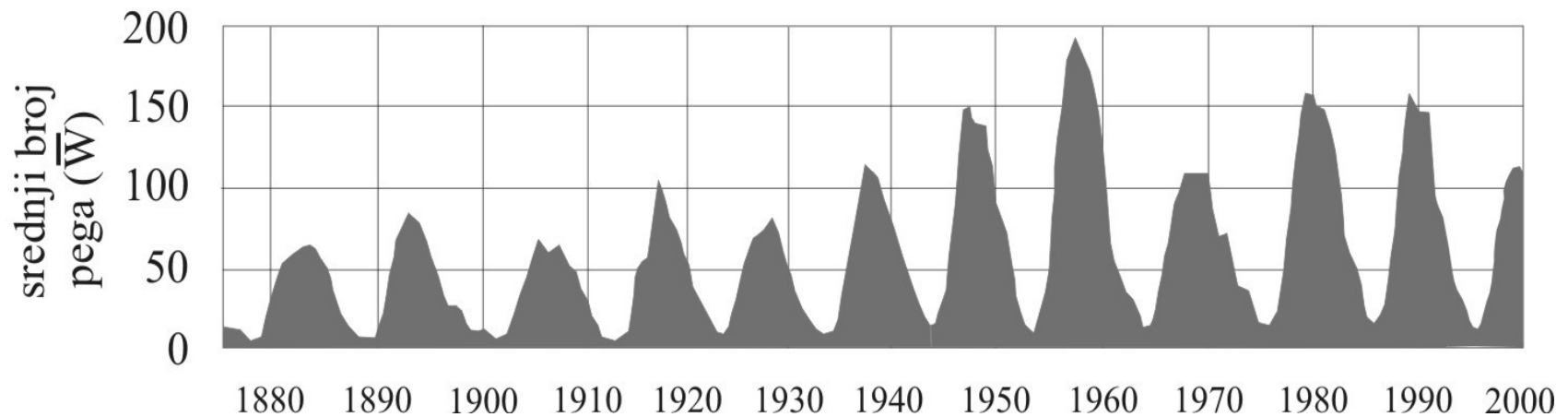
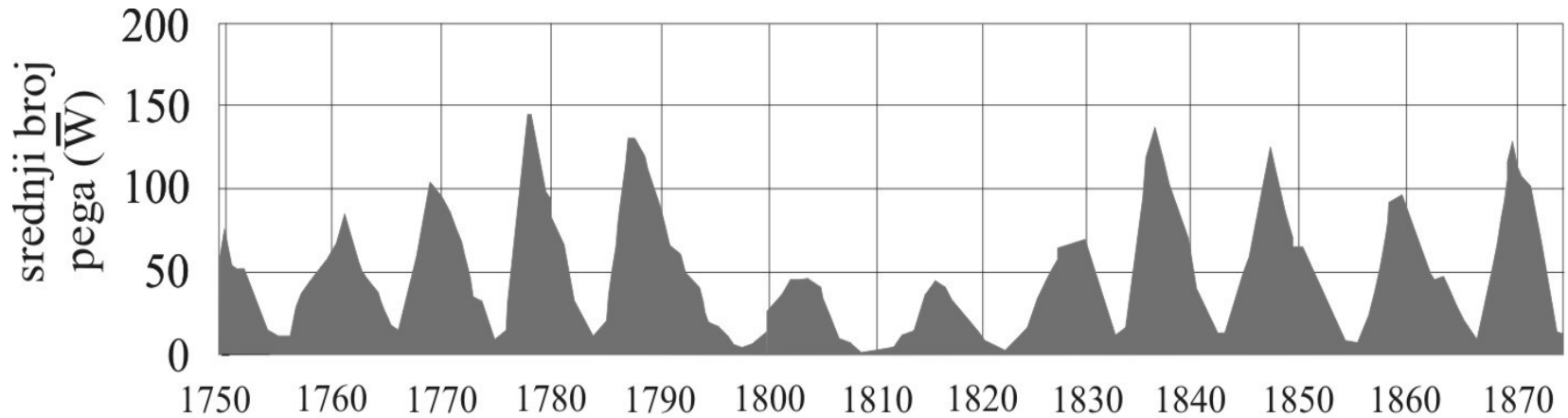
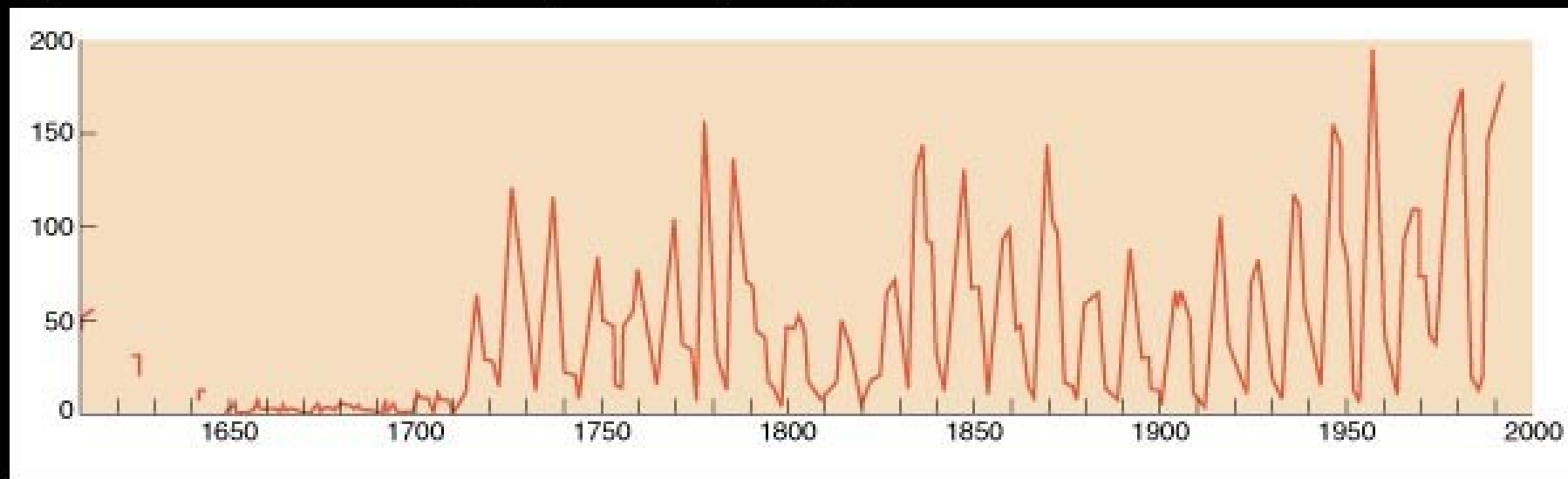




Figure 14.21 The Numbers of Sunspots as They Change with Time

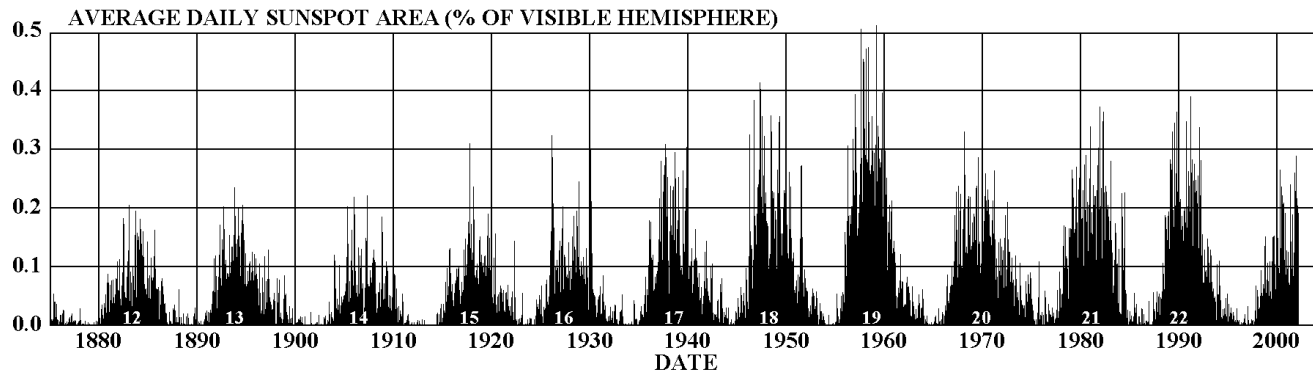
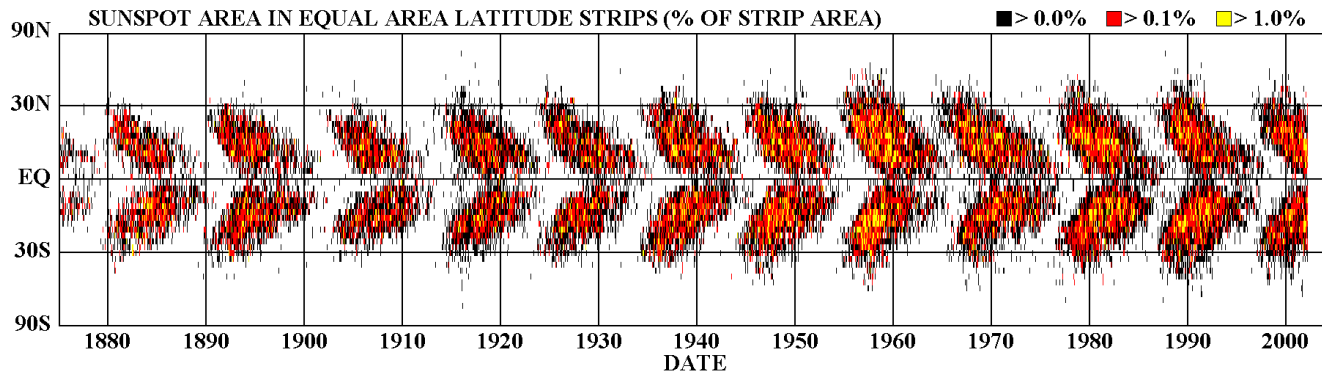


## 11- godišnji ciklus broja Sunčevih pega

Maunderov minimum  
(1645-1715)

# “Leptir dijagram”

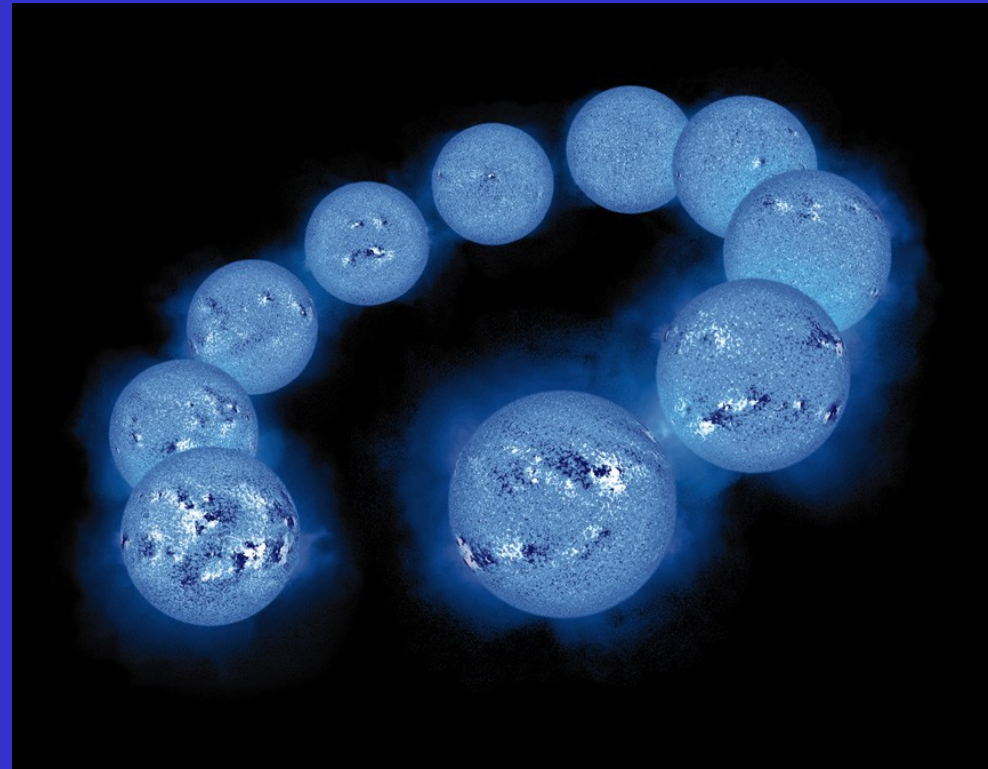
## DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS



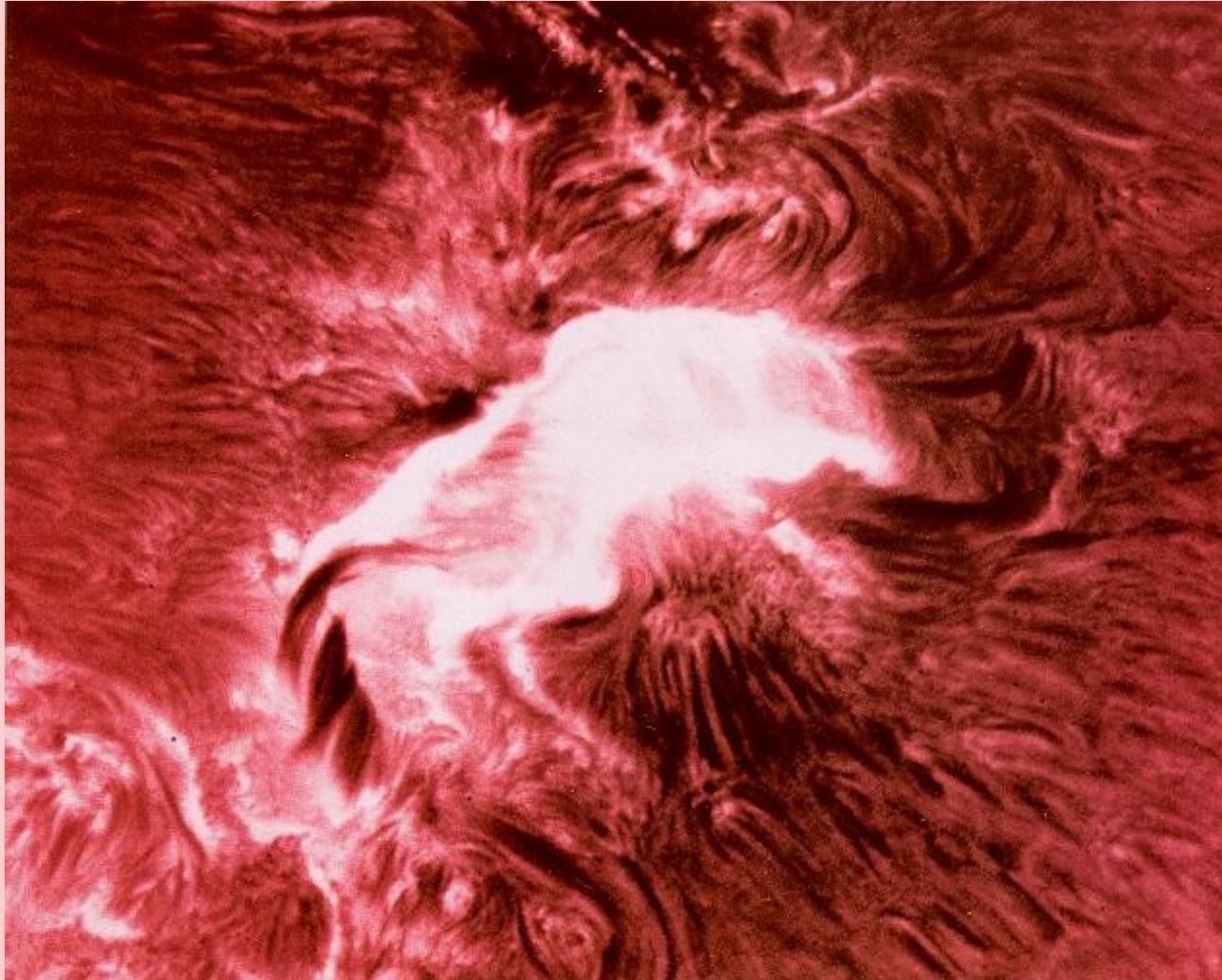


## **Poredjenje aktivnog i mirnog Sunca**

- **Ciklus Sunčeve aktivnosti** – 11-godišnji ciklus
- **Magnetni ciklus** – 22-godišnji ciklus (promene polariteta magnetnog polja svakih 11 godina)

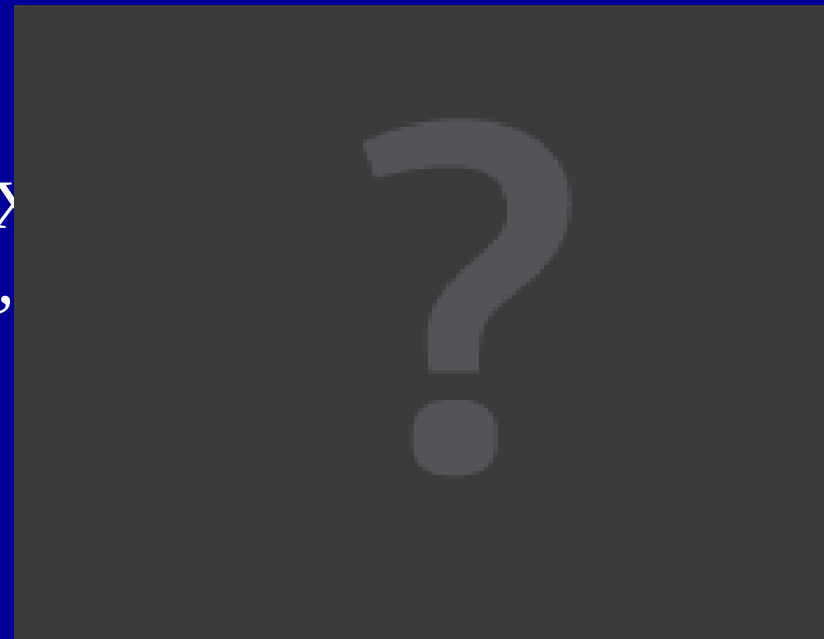


# ERUPCIJA (FLER)



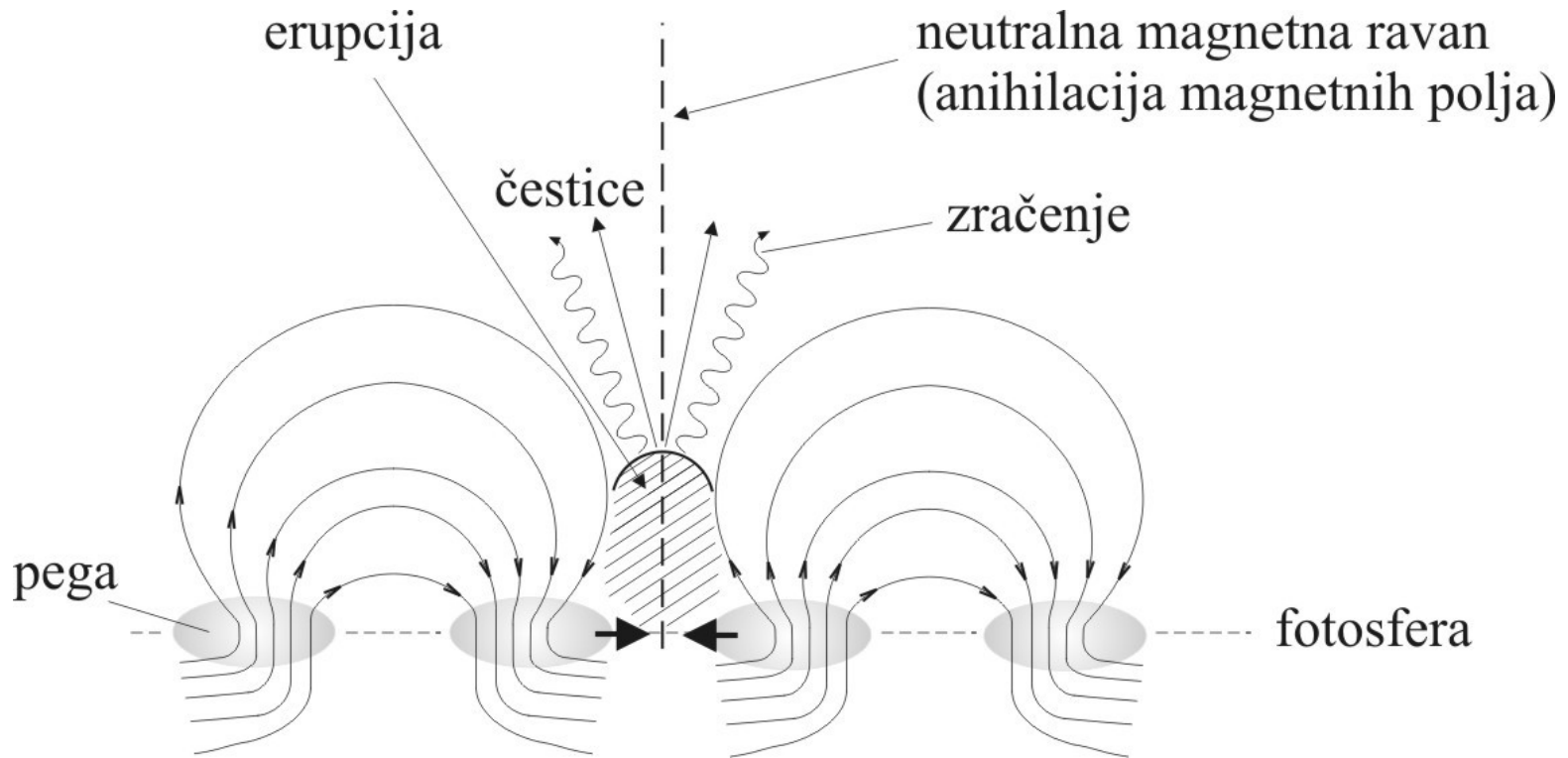
# ERUPCIJE (FLEROVI)

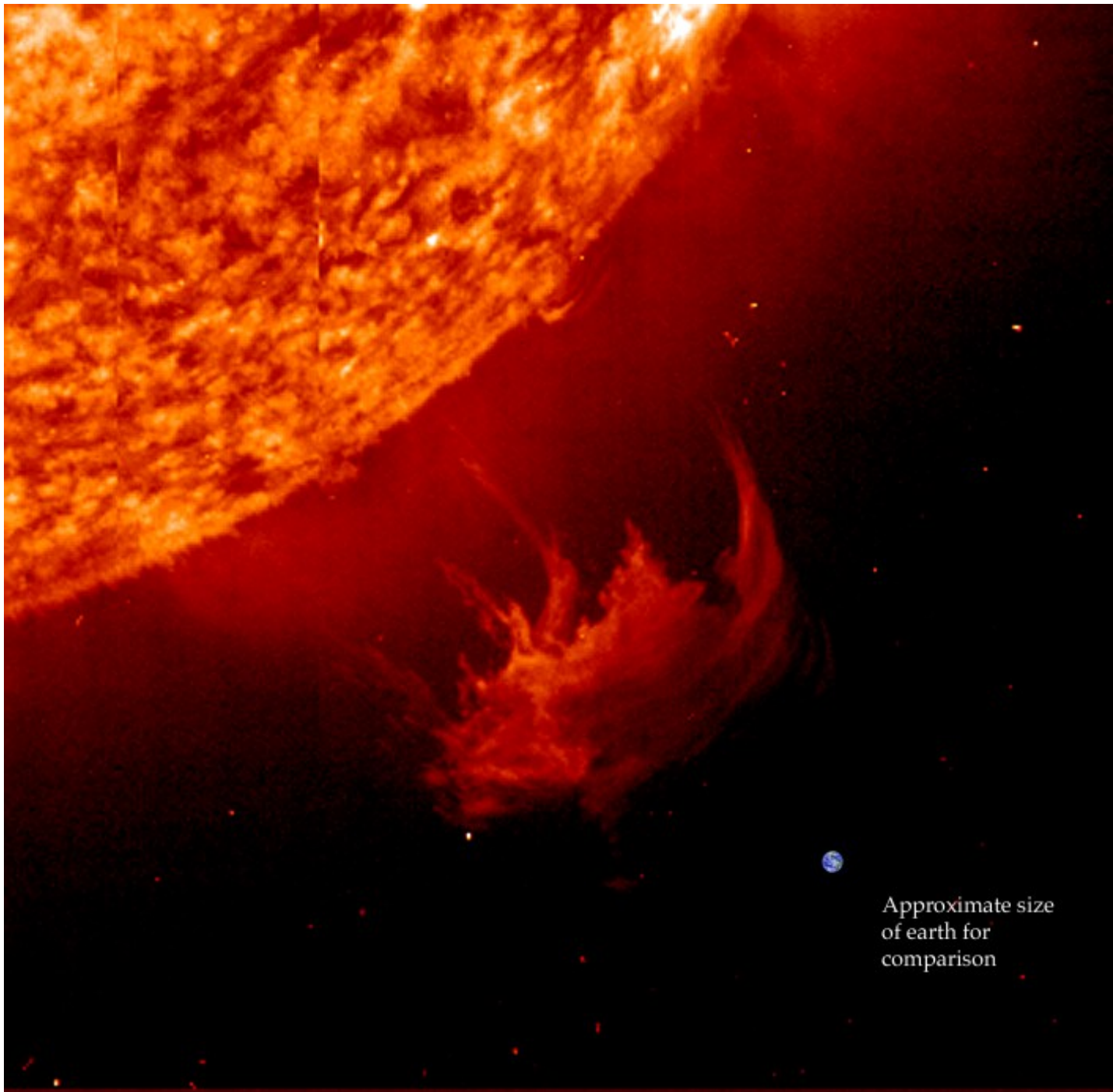
- Iznenadni kratkotrajni bljeskovi u hromosferi
- Male površine (iznad grupe pega)
- Erupcije počinju naglo, za nekoliko minuta dostižu maksimum i traju do 1 sat
- Emituju pojačano zračenje u  $\gamma$ , UV, vidljivom i radio domenu, kao i čestice visokih energija ( $10^4 - 10^{10}$  eV).



# Erupcija

(eksplozivno oslobadjanje energije verovatno nastaje anihilacijom magnetnog polja)



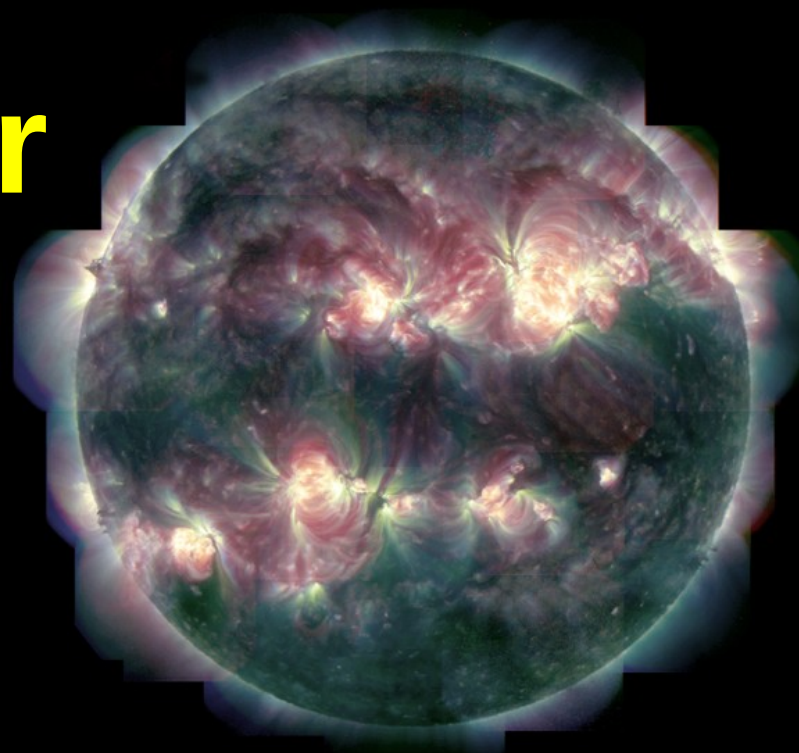


Approximate size  
of earth for  
comparison

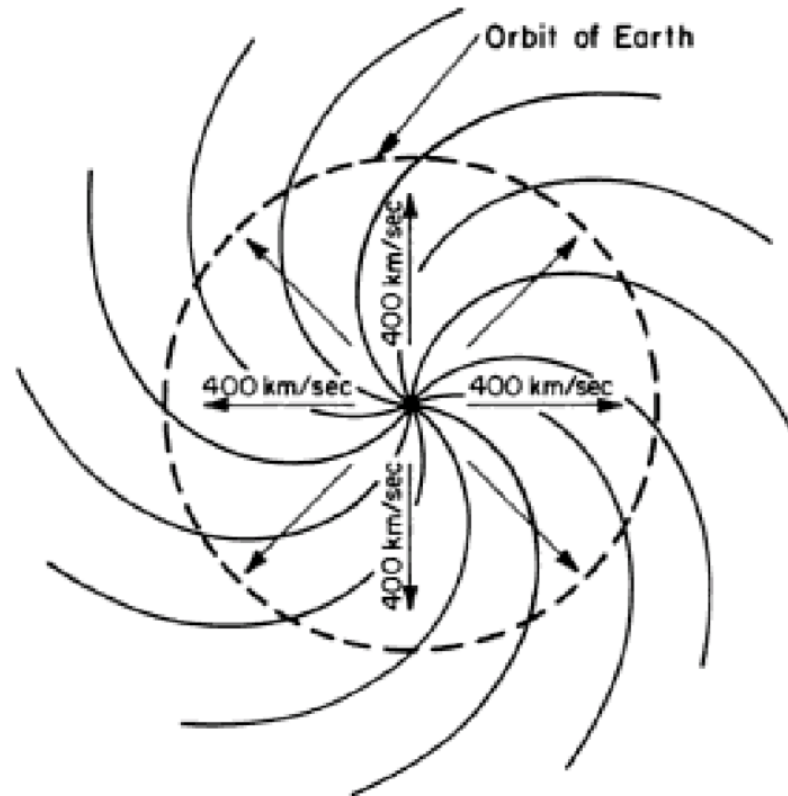


# Sunčev vetar

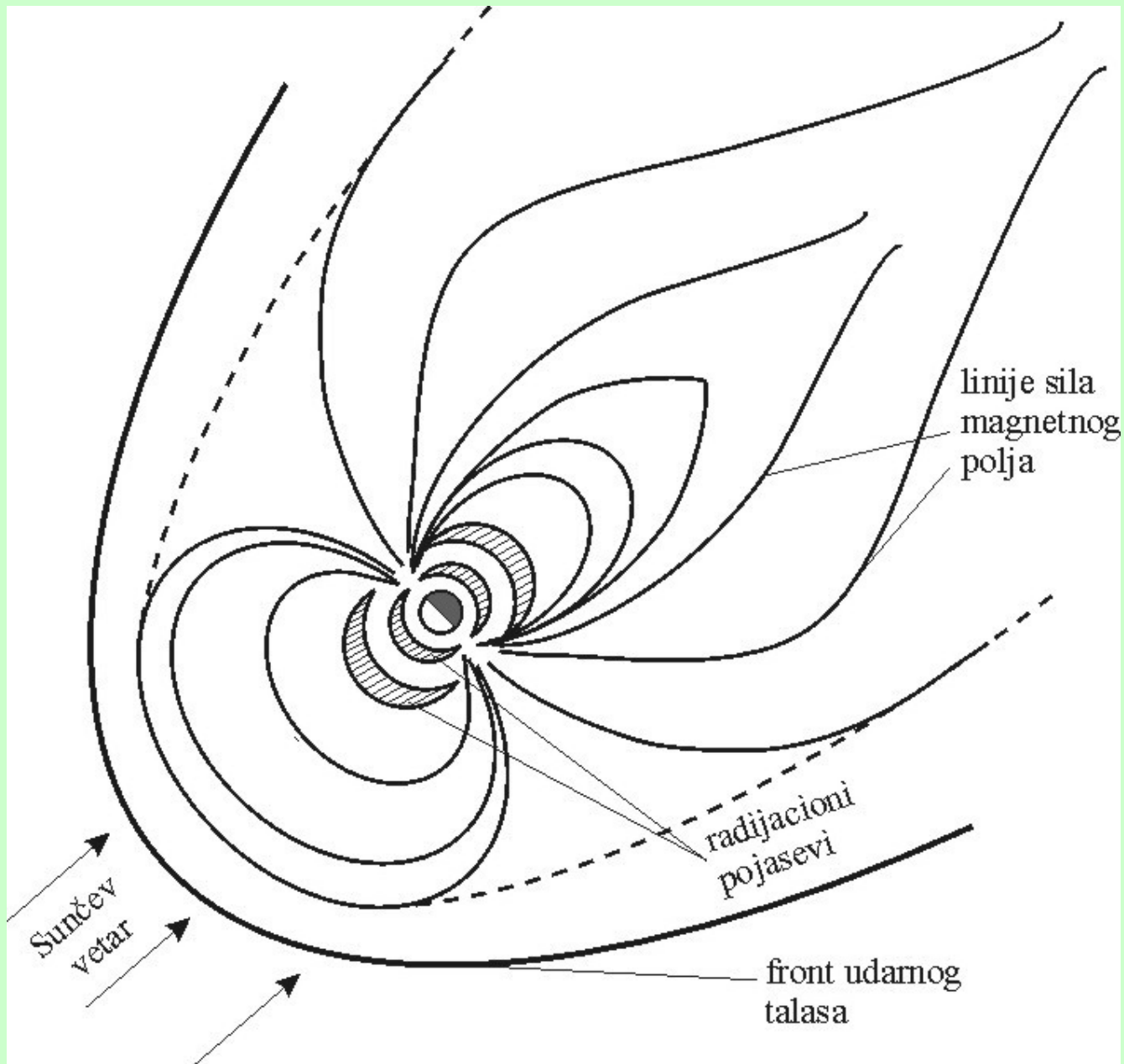
- Stalno isticanje materije iz korone u međuplanetski prostor
- Sastoji se od elektrona i protona
- Napušta koronu brzinom od oko 15km/s, dok njegova brzina dostiže oko 400km/s u blizini Zemlje
- Brza komponenta Sunčevog vetra (oko 800km/s)
- Sunčev vetar se proteže desetinama AJ od Sunca



# Parkerova spirala



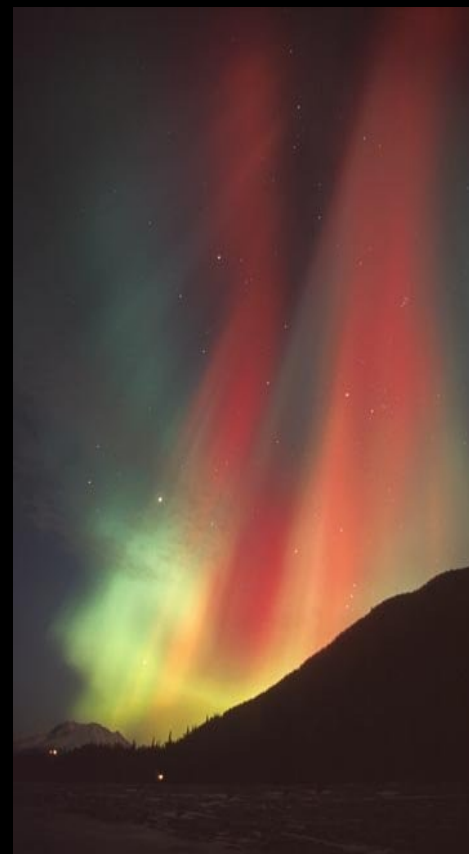
# Zemljina magnetosfera



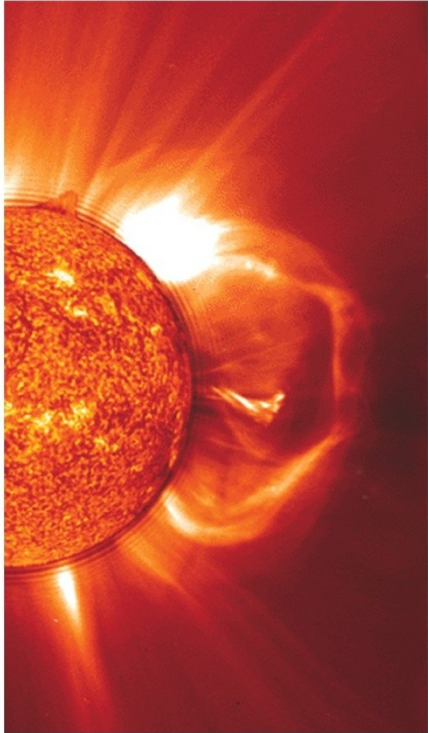
# Polarna svetlost



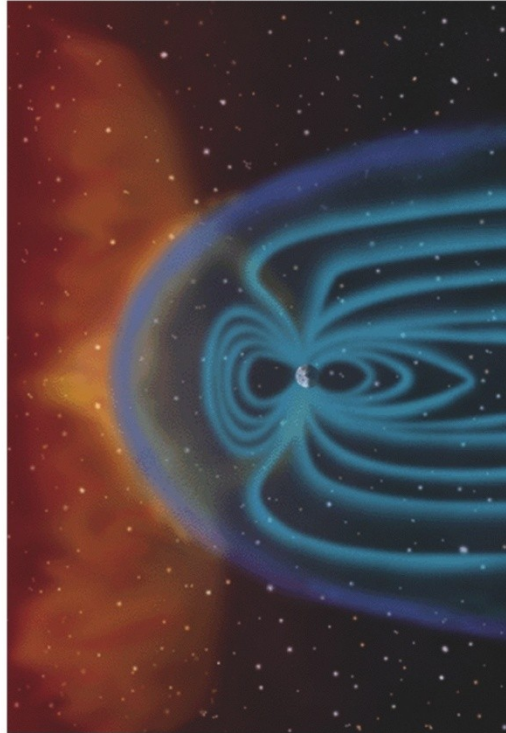
# Polarna svetlost



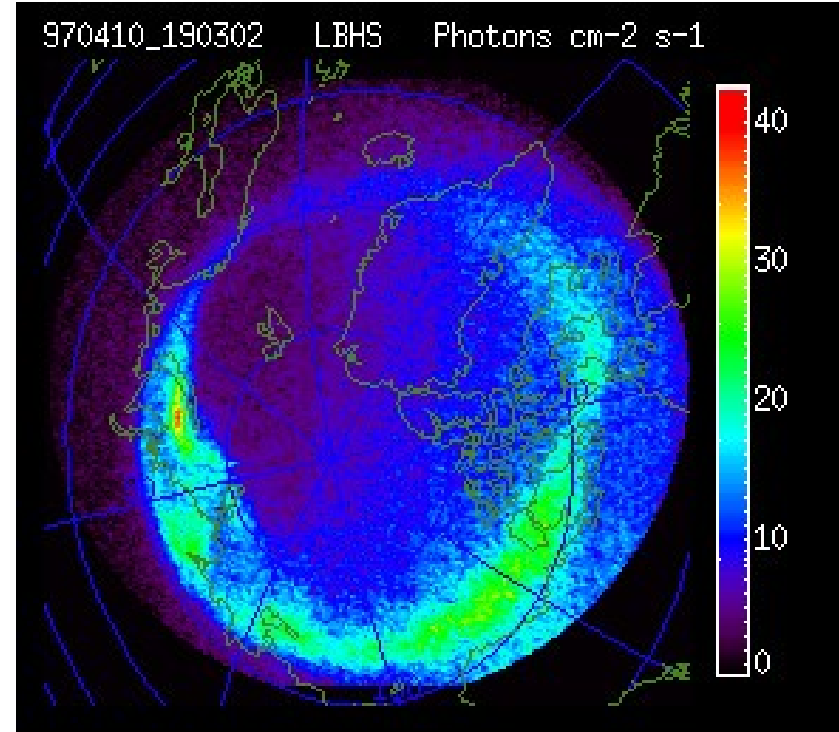
# Svemirska prognoza



Coronal mass ejection



Two to four days later

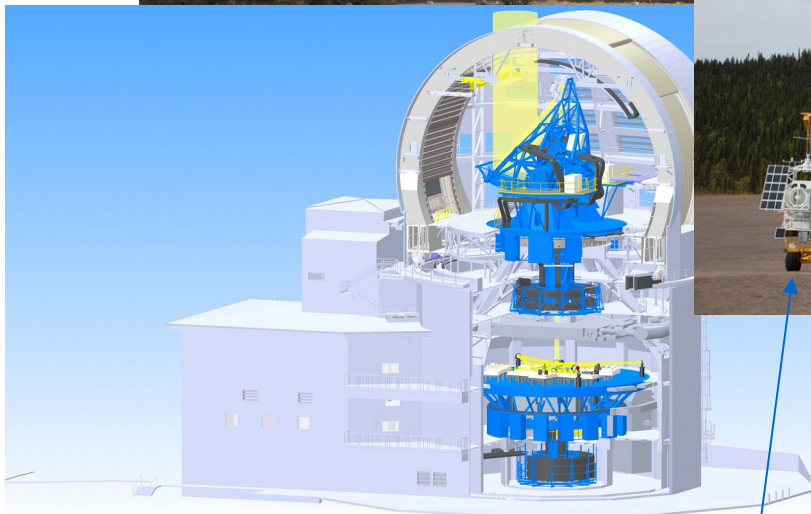
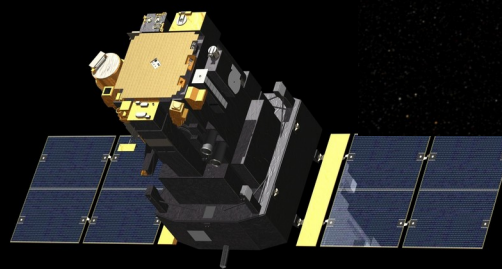
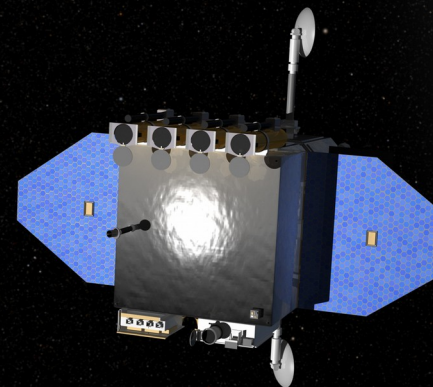


Aurora usled koronarne eksplozije  
7. April, 1997.

<http://spaceweather.com/>

McMath–Pierce

SST



DKIST

SUNRISE

SOHO

SDO