

Zašto i na koji način istražujemo našu najbližu zvijezdu - Sunce?



Dr. sc. Jaša Čalogović, dipl. ing.

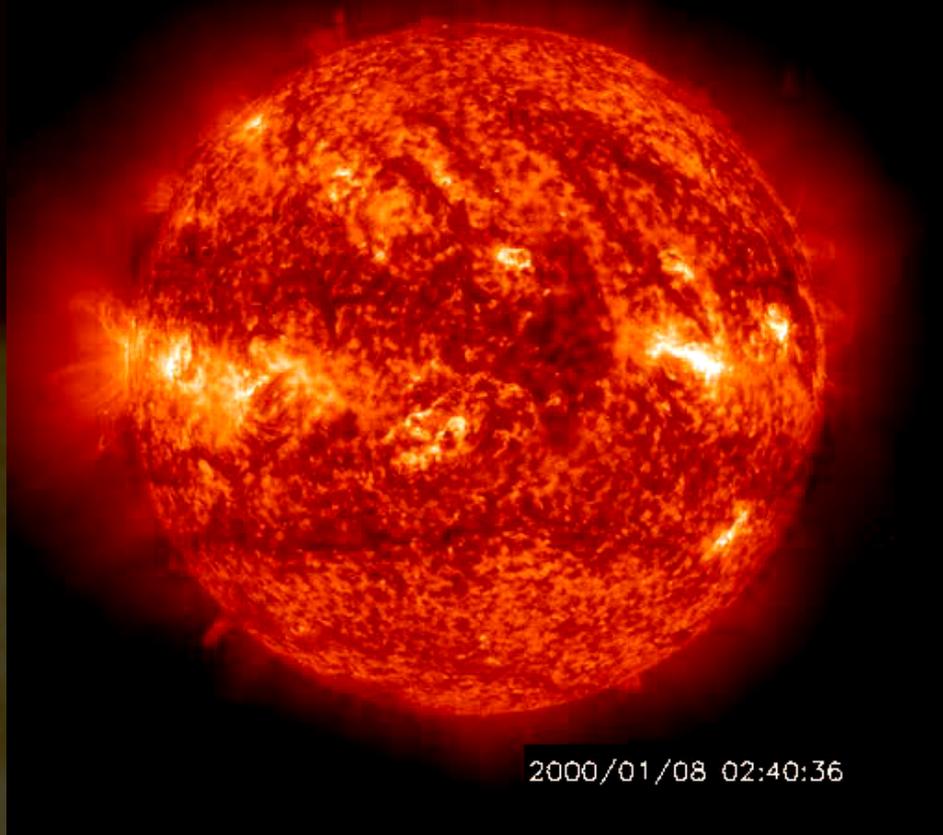
jcalogovic@geof.hr

Opservatorij Hvar, Geodetski Fakultet, Kačićeva 26, 10 000 Zagreb



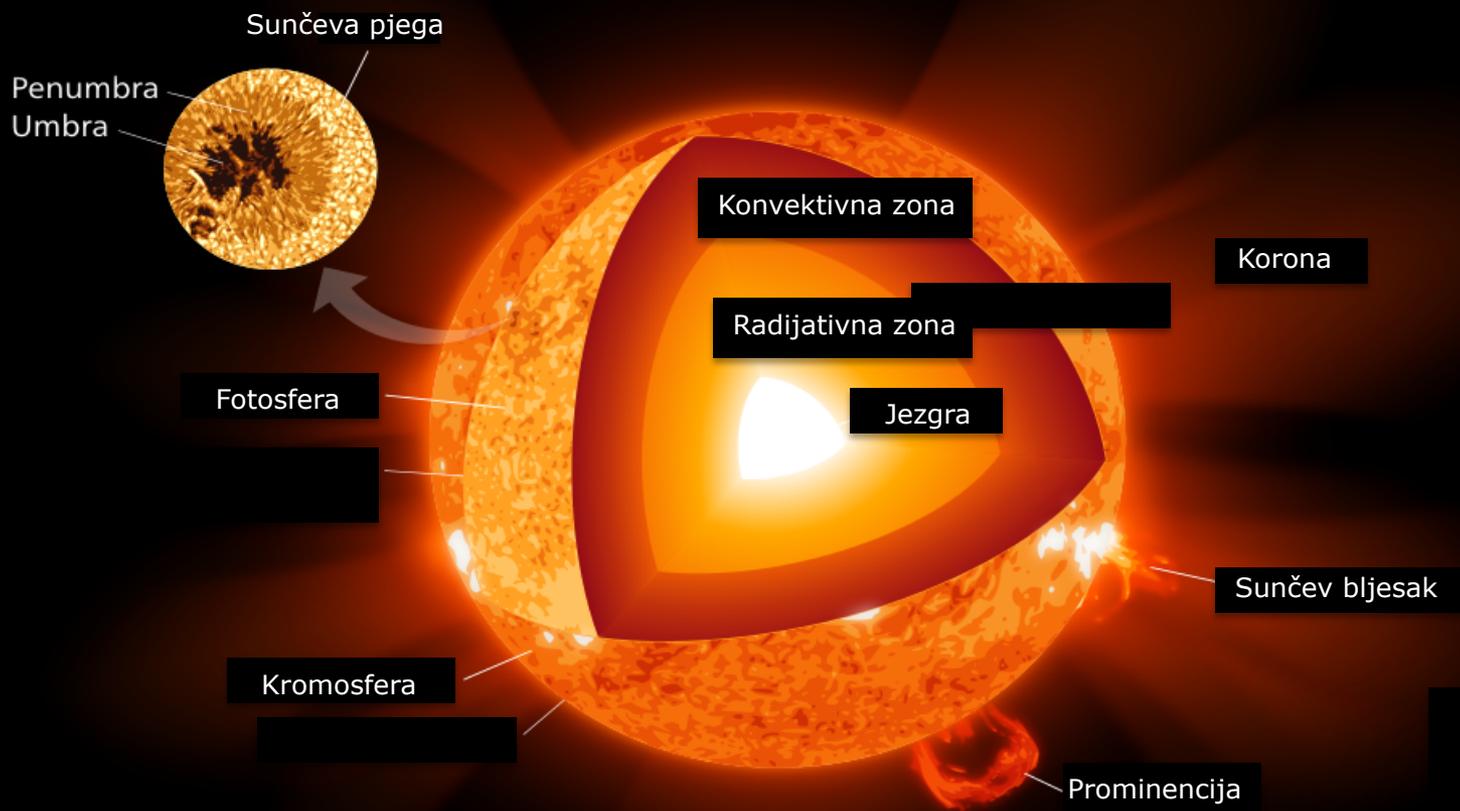
Osobitosti Sunca

• ← Zemlja

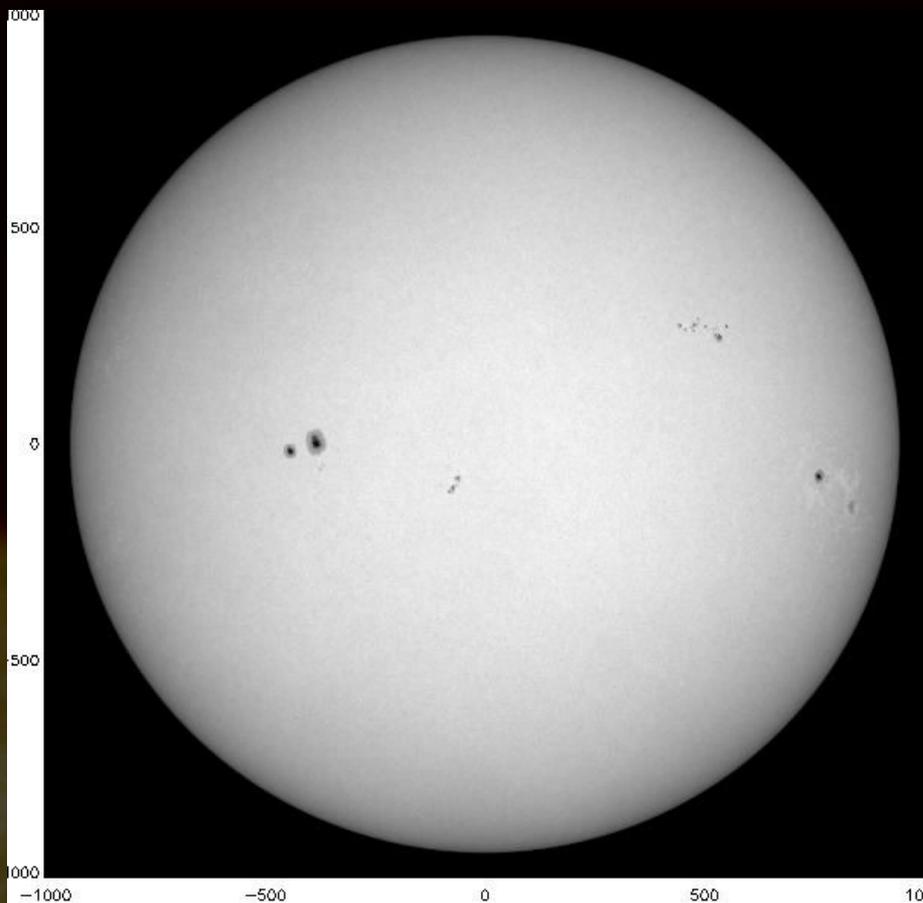


- **promjer:** 1 392 000 km
(109 promjera Zemlje)
- **masa:** 2×10^{30} kg
(333 000 masi Zemlje)
- **g =** 274 m/s² (28x Zemljine)
- **udaljenost:** 150 000 000 km
(1 astronomska jedinica,
8 min 19 sek brzinom svjetlosti)
- **temperatura jezgre:** 15 700 000 K
- **temperatura površine:** 5 780K
- 71% vodik, 27% helij, 2% teži elementi
- **starost:** 4.6 milijardi godina

Struktura Sunca

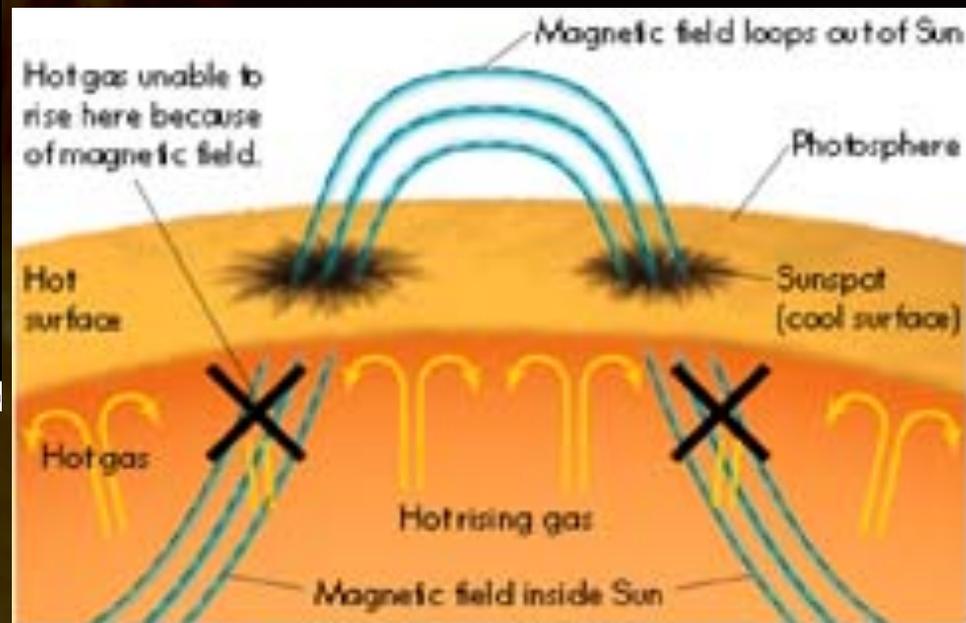


Sunčeve pjege



- Područja pojačanog magnetskog polja koje sprječava dotok topline iz nižih slojeva sunca
- Hladnije od ostatka Sunčeve površine (3000 - 4500 K)

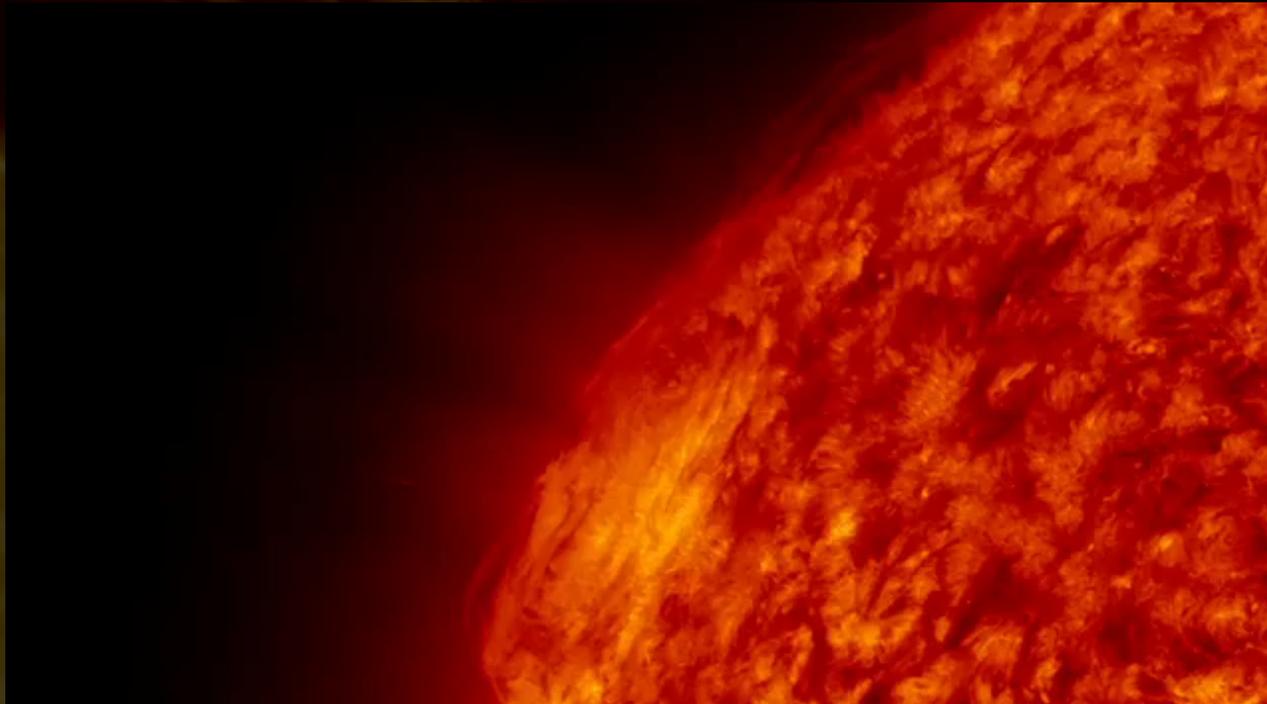
- Sunčeva površina prekrivena je granulama, konvektivnim ćelijama promjera od oko 1500 km

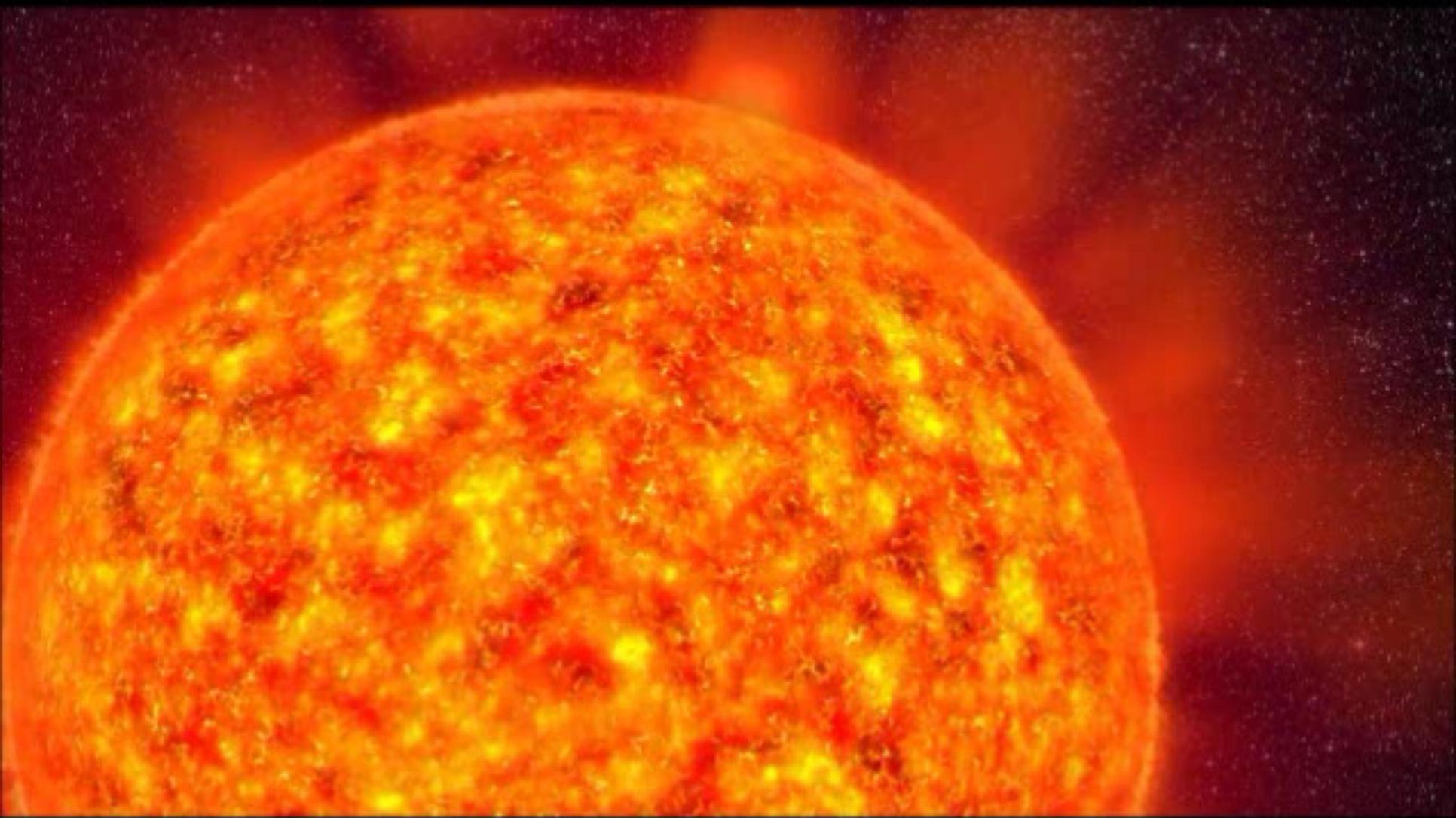


Pojave na Suncu

- **Prominencije (filamenti)** - perjanice od hladnije i gušće plazme koja je zarobljena u Sunčevom magnetskom polju, protežu se od kromosfere pa do korone
- **Sunčevi bljeskovi** - kratke i svijetle erupcije plazme u kromosferu uslijed rekonfiguracije Sunčevog magnetskog polja, oslobađaju ogromne količine energije (160 000 000 000 megatona TNTa)
- **Koronalni izbačaji mase**

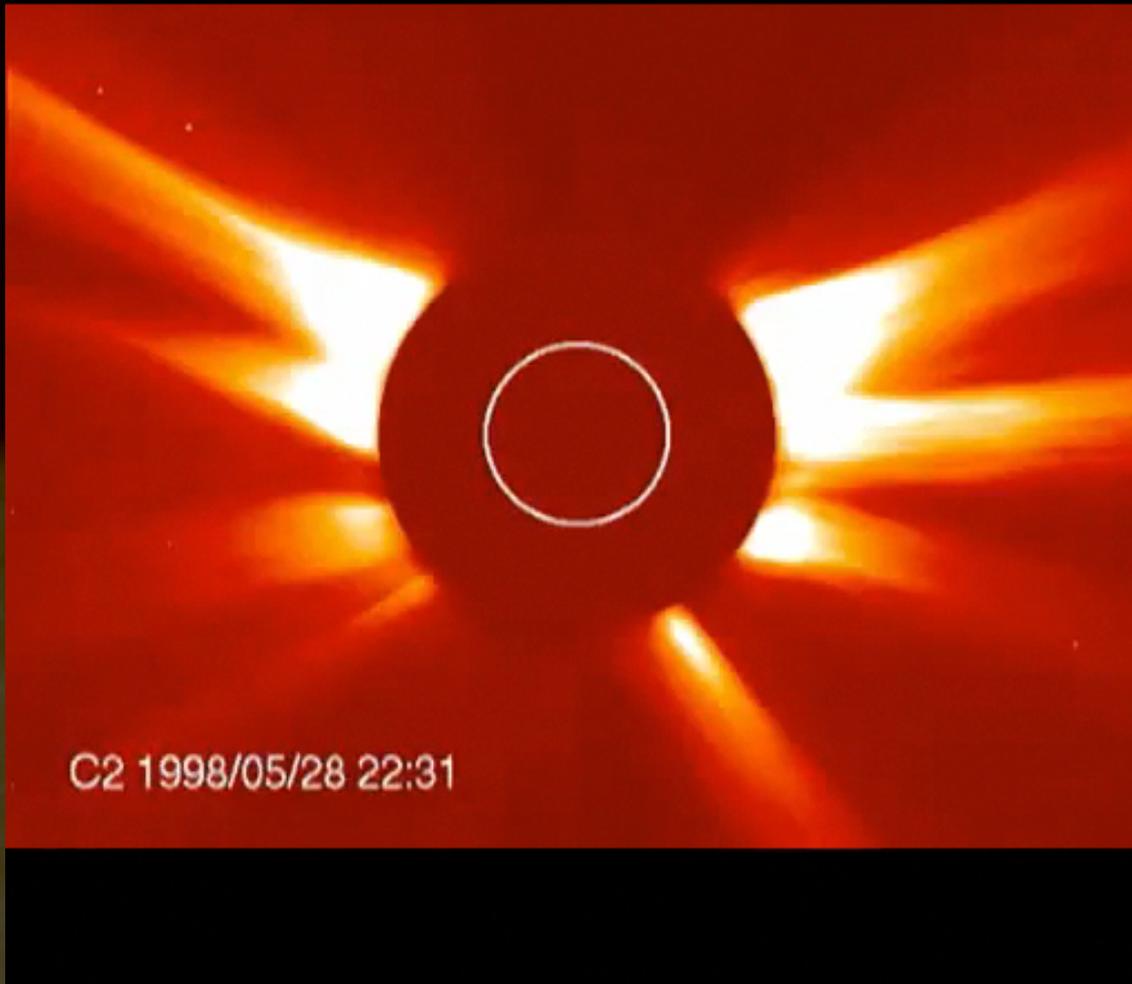
Prominencija
30.3.2010







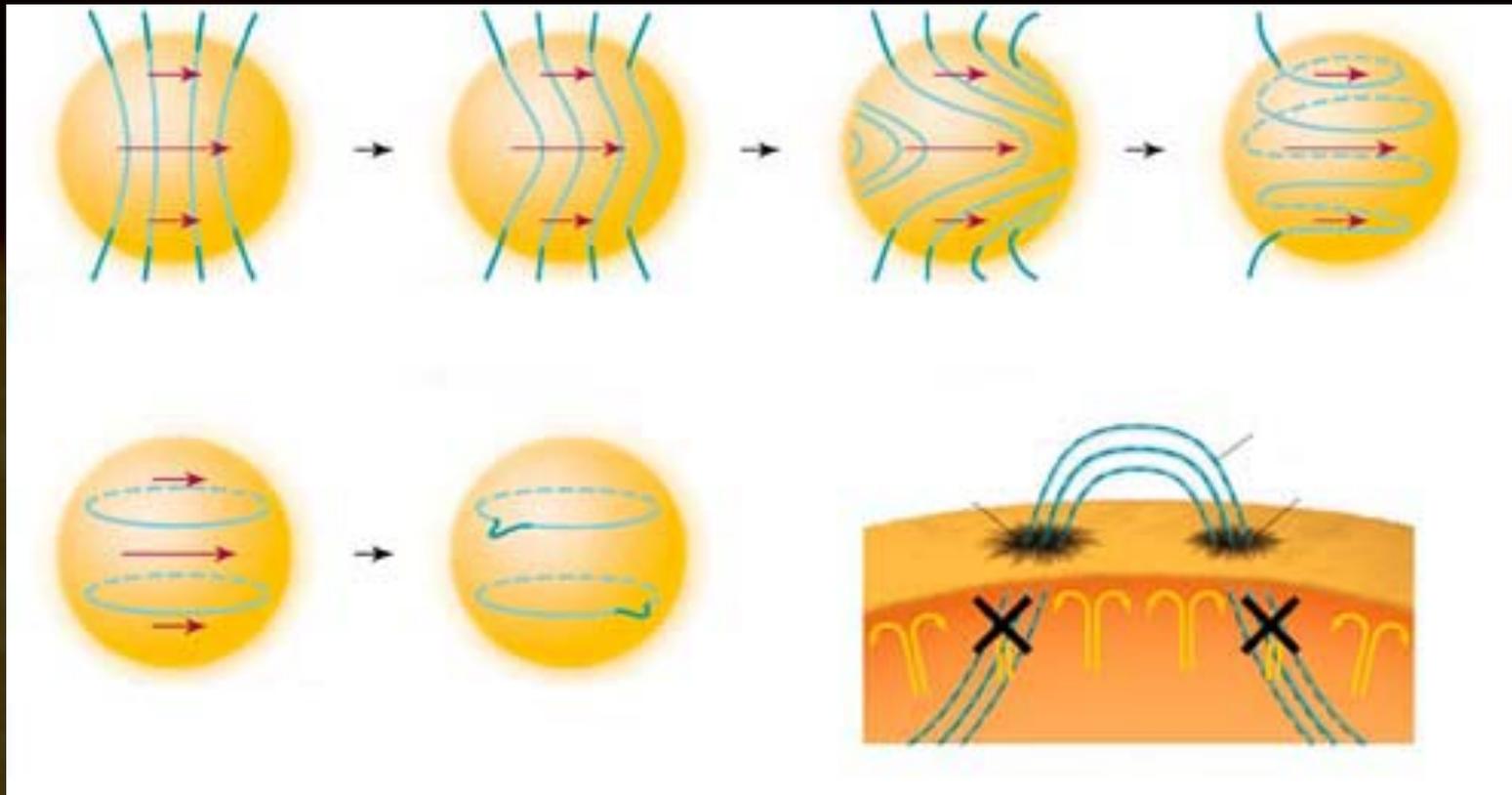
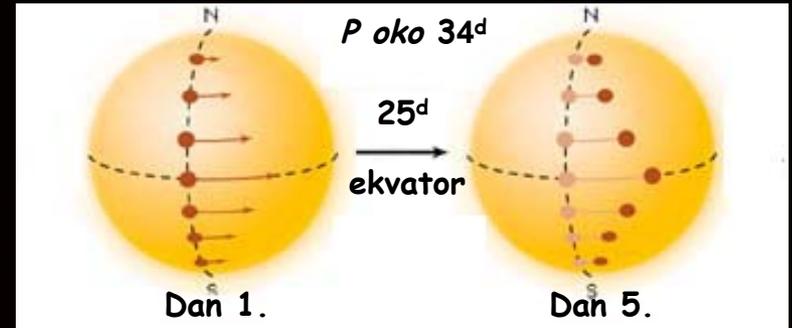
Sunčev vjetar

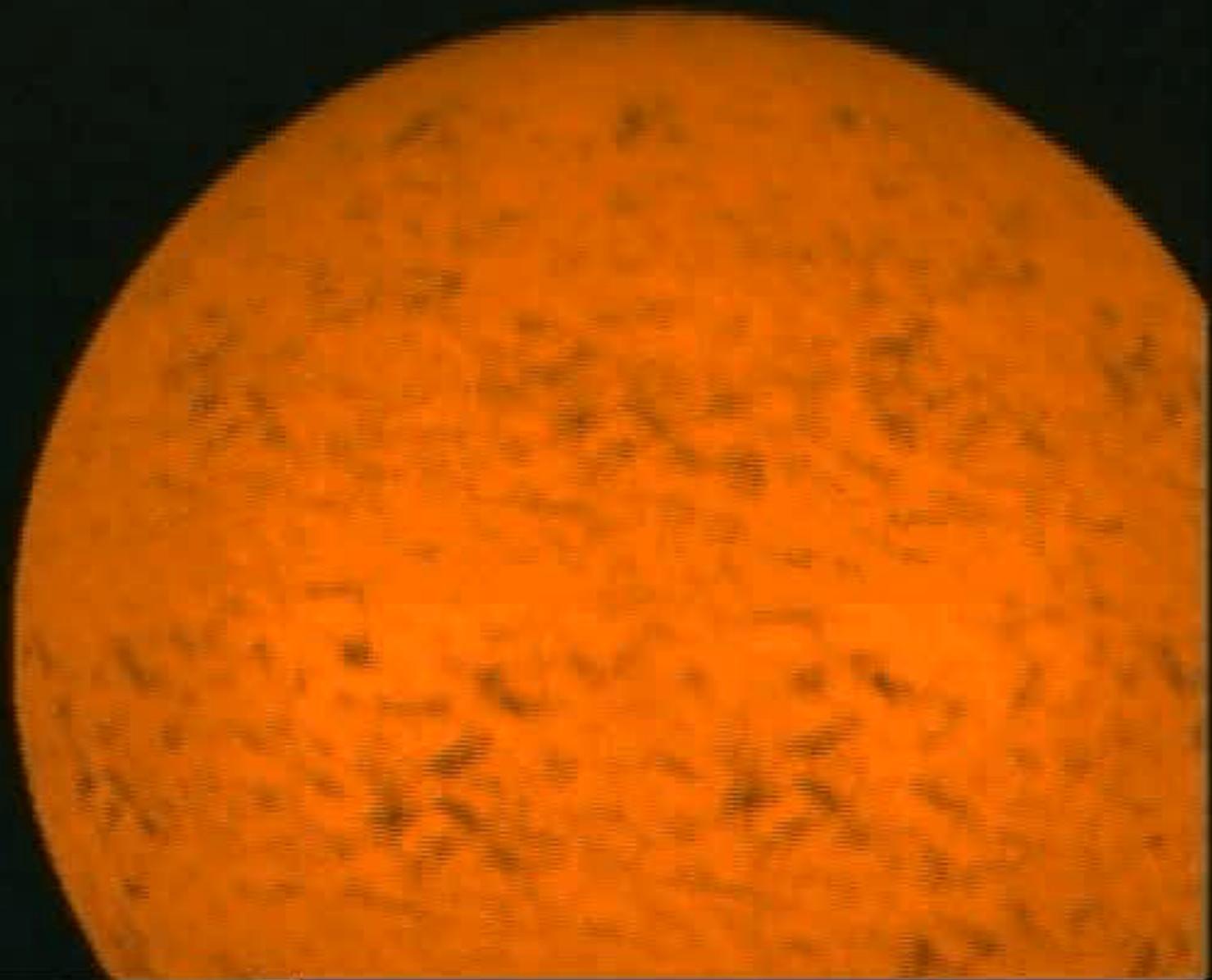


- Tok nabijenih čestica (plazma) koje bivaju izbačene iz gornje atmosfere Sunca (korona)
- Sastoji se od protona i elektrona
- Ima tipične brzine od 350 - 800 km/s
- Koronalne šupljine su izvori brzog Sunčevog vjetra
- Koronografi - uređaji koji prekrivaju sjajan Sunčev disk i omogućavaju opažanje korone i Sunčevog vjetra
- Prema Sunčevom vjetru se formiraju repovi kometa

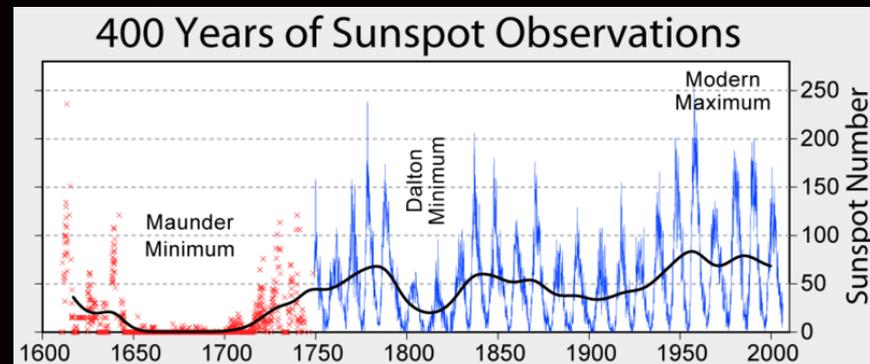
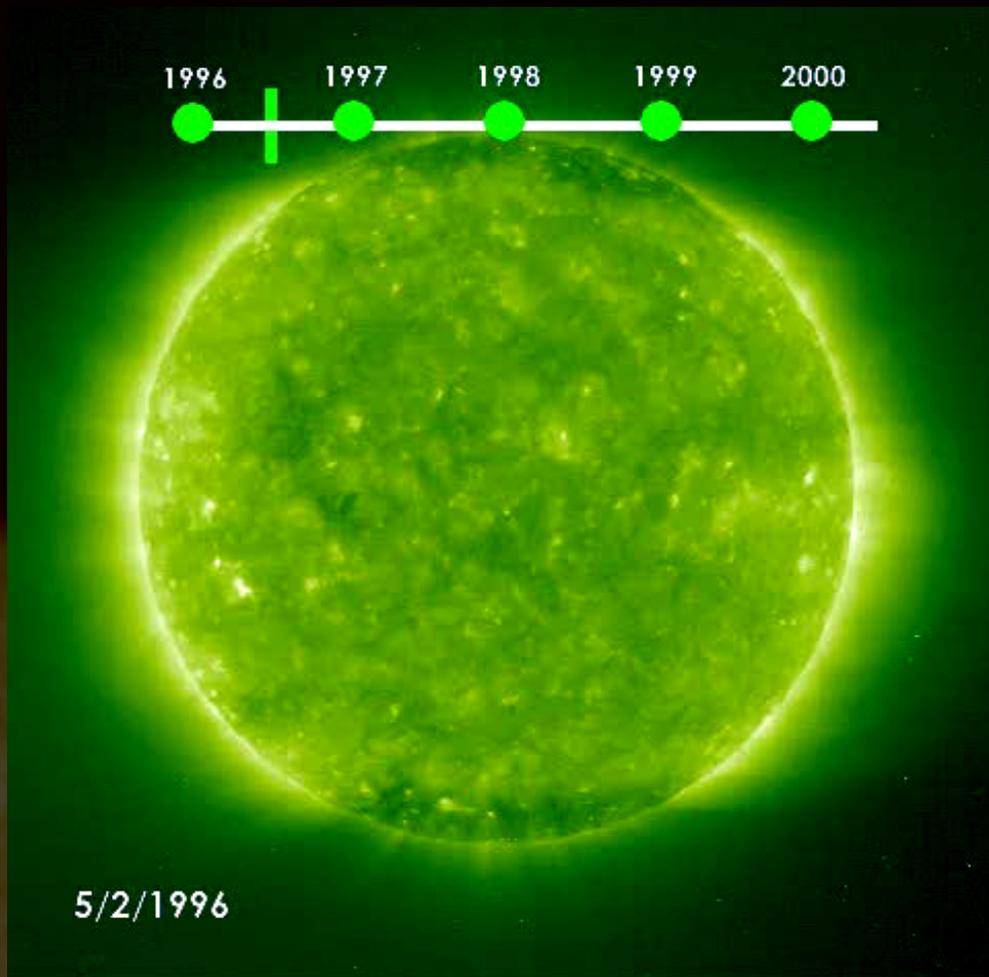
Porijeklo Sunčevog ciklusa

Sunčev ekvator se brže okreće (25 dana) nego Sunčevi polovi (34 dana) što dovodi do iskrivljavanja Sunčevog magnetskog polja



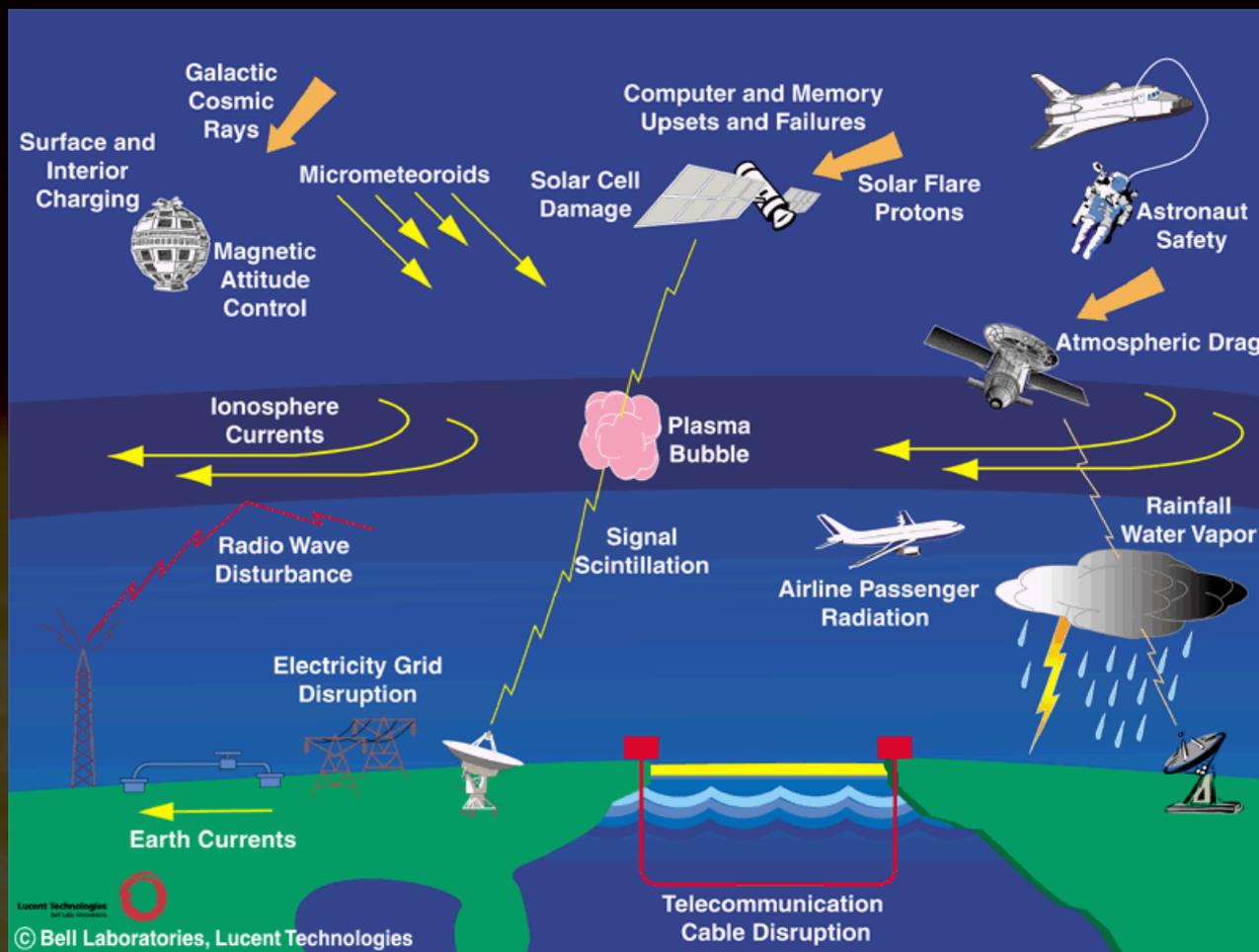


Sunčev ciklus



- 11 godišnji sunčev ciklus - Heinrich Schwabe (1824.)
- poznati su još ciklusi: 22 godine (Hale), 87 godina (Gleissberg), 210 godina (Suess), 2300 i 6000 godina

Utjecaj na Zemlju space weather



Učinci na
astronauete i
pilote, svemirske
misije,
komunikacijske
satelite,
dalekovode,
elektroniku,
Zemljinu klimu...

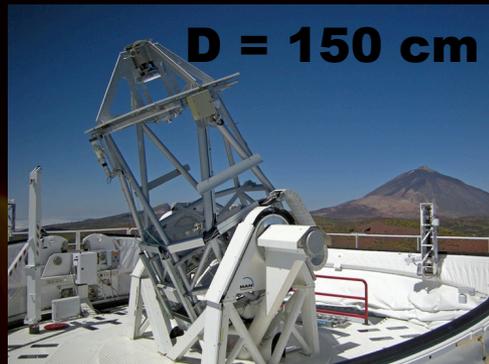
Opažanje Sunca sa Zemlje

- Veličina objektiva utječe na moć razlučivanja teleskopa ($R=120/D$)
- Mogućnost većih objektiva u odnosu na satelite, jeftiniji
- **Atmosfera** je ograničavajući faktor (razlučivanje, propusnost zračenja)



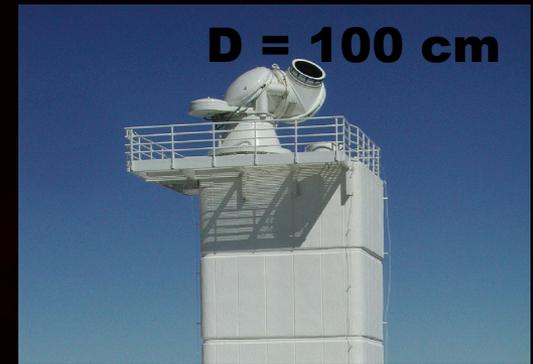
D (promjer) = 161 cm

McMath-Pierce Solar Telescope,
1961, Arizona, SAD



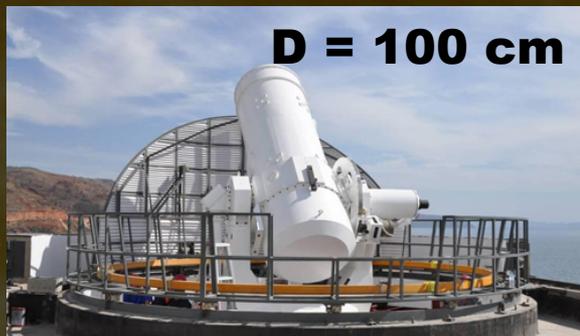
D = 150 cm

GREGOR solar telescope,
2008, Tenerife, Španjolska



D = 100 cm

Swedish 1-m Solar Telescope,
2002, La Palma, Španjolska



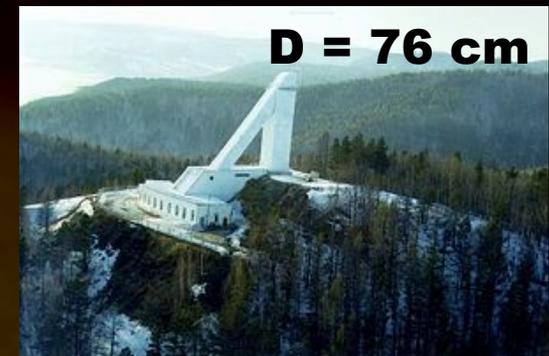
D = 100 cm

New Vacuum Solar Telescope,
2010, Yunnan, Kina



D = 90 cm

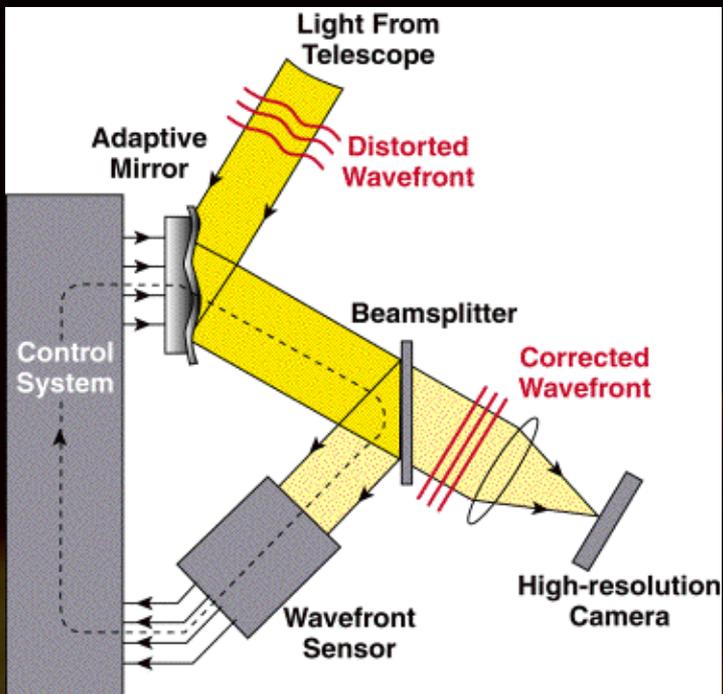
THEMIS solar telescope,
1996, Tenerife, Španjolska



D = 76 cm

Large Solar Vacuum Telescope,
1980, Baikal, Rusija

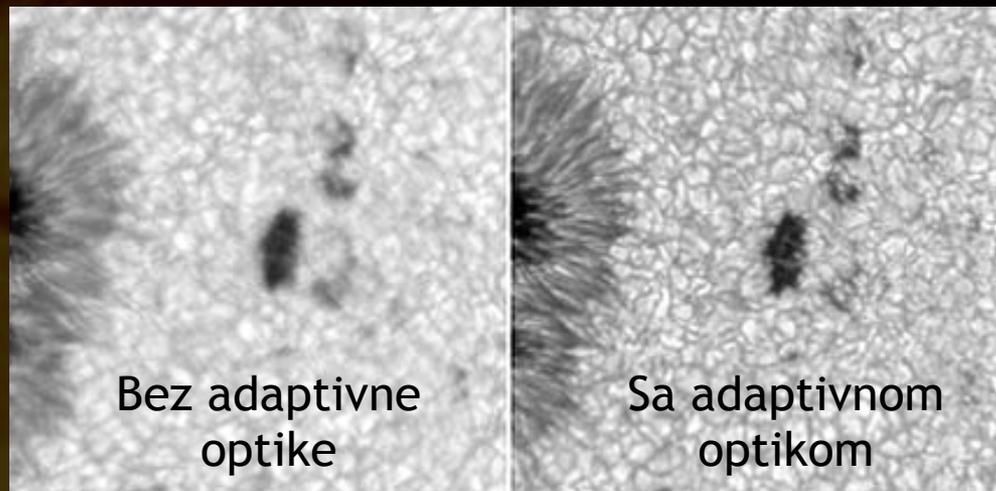
Adaptivna optika pomaže povećati razlučivanje



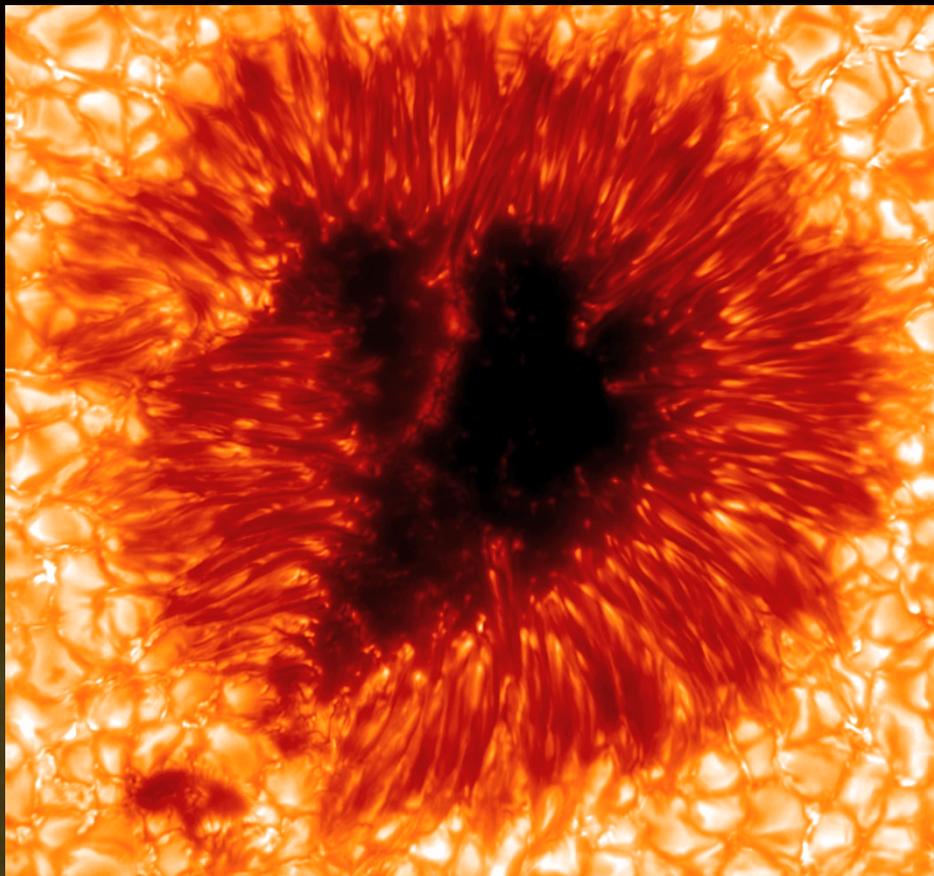
- Bez adaptivne optike atmosfera (turbulencije) ograničava razlučivanje na oko 1 arcsek (700 km na Sunčevoj površini)
- Koriste se posebna “savitljiva zrcala” koja u realnom vremenu rade korekcije
- Kompjuterska obrada podataka može daljnje poboljšati rezoluciju (speckle rekonstrukcija)

Dunn Solar Telescope

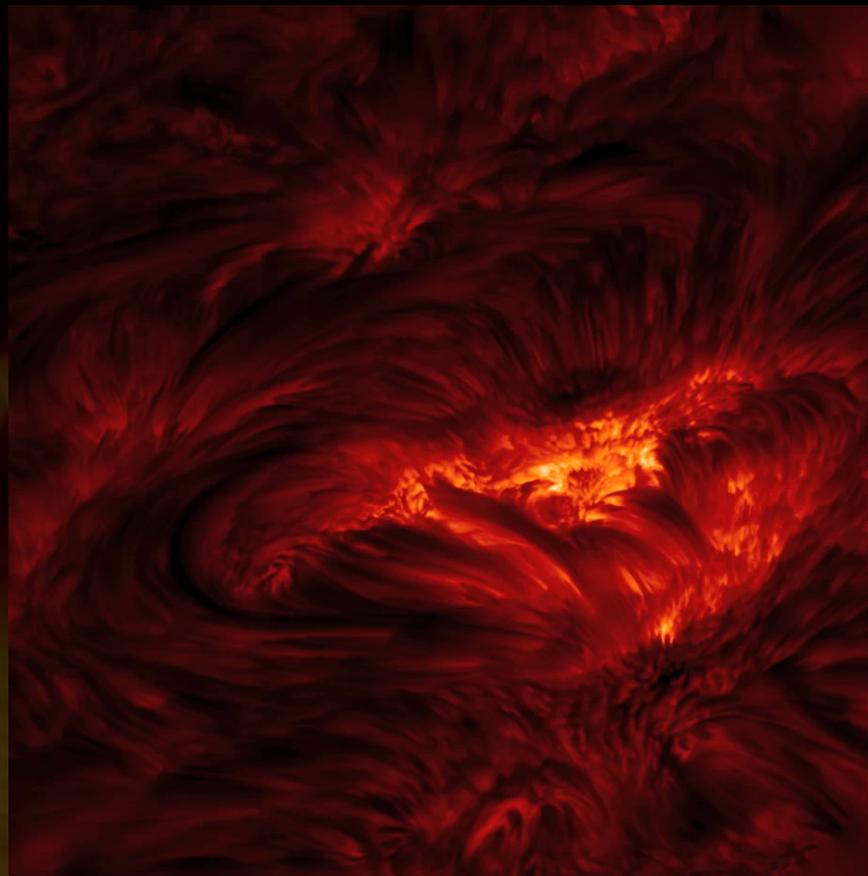
- Sprečavanje zagrijavanja teleskopa - isisavanje zraka (vakum) iz teleskopa i hlađenje optičih elemenata
- Moguće raspoznavanje detalja do 100 km na Sunčevoj površini



Primjeri opažanja sa Švedskim 1m solarnim teleskopom



Sunčeva pjega (fotosfera), bijela svijelost, 02.07.2010



Kromosfera snimljena $H\alpha$ filterom, 10.06.2008

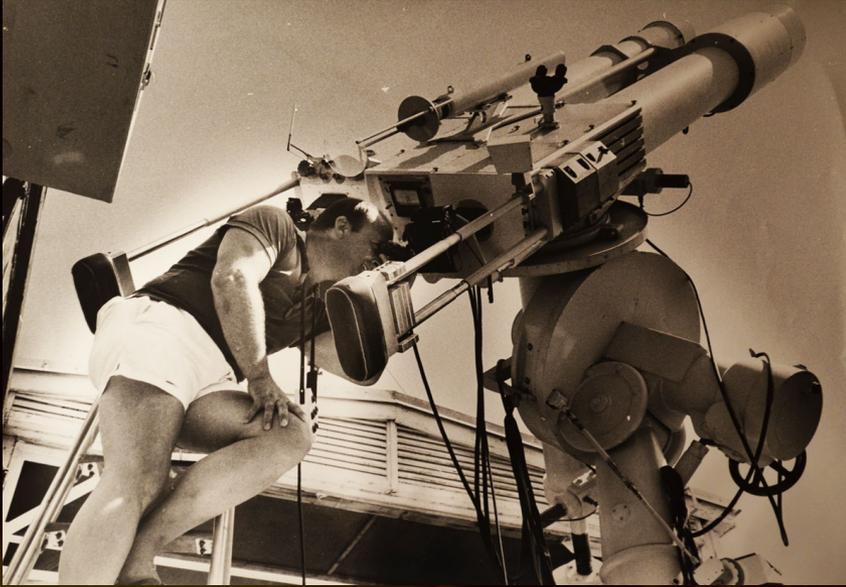
Važnost manjih opservatorija koji opažaju Sunce

- Malen broj velikih, sofisticiranih i skupih solarnih teleskopa
- Ograničen period promatranja - izmjena dana i noći, vremenski uvjeti
- Važnost opažanja Sunca sa što više lokacija na Zemlji
- Praćenje Sunčeve aktivnosti 24/7



Dvostruki sunčev teleskop na Hvaru

snimanje na fotografske filmove



- postavljen 1972. godine
- 1997. godine fotografski materijal je zamijenjen video sustavom
- 2004. godine video sustav je zamijenjen sa 1Mpix CCD kamerama.

1999. Snimanje sunca sa video sustavom



Dvostruki sunčev teleskop na Hvaru



- 2010. godine postavljena četvrta generacija instrumenata za snimanje: 4MPix Pulnix TM-4200GE 12-bit CCD kamere
- omogućava visoko razlučive snimke aktivnih područja na Suncu
- bliska suradnja sa Sveučilištem u Grazu (Uni Graz, IGAM), Opservatorij Kanzelhöhe

• podaci sa teleskopa se spremaju putem interneta u centralnu arhivu (server) na Geodetskom Fakultetu.

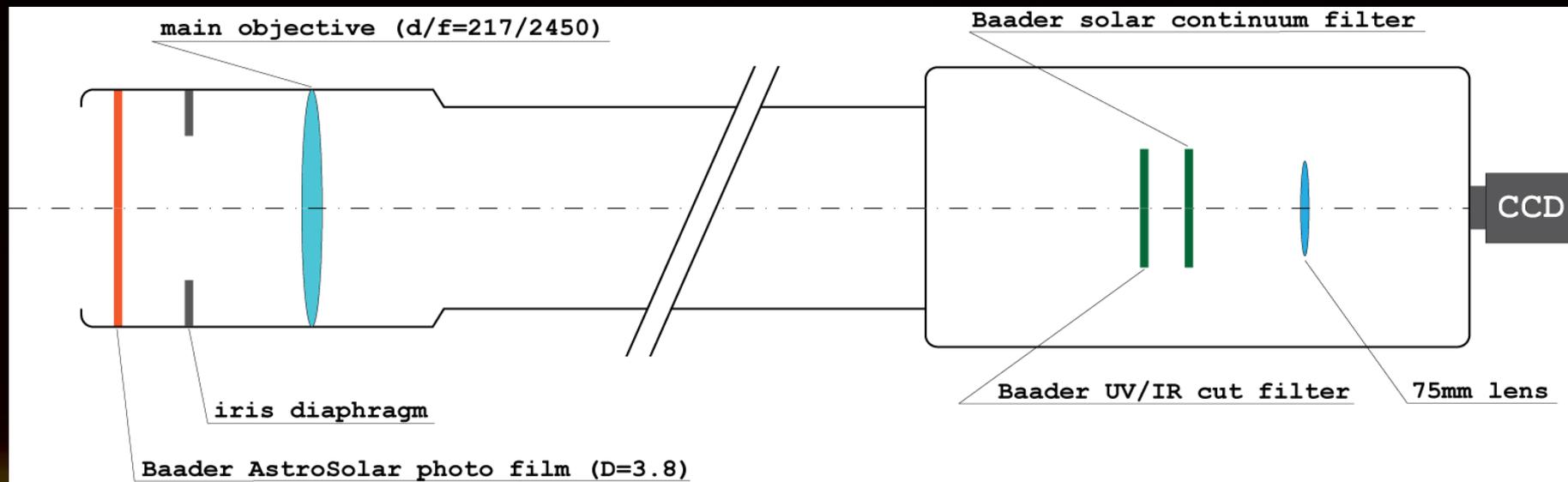


novi sistem za snimanje 2010



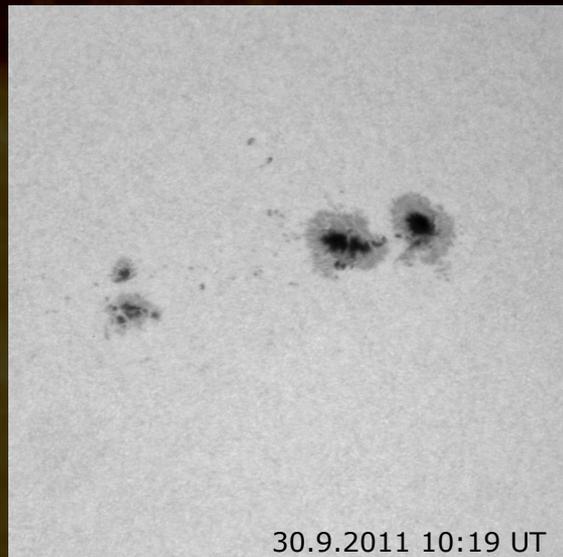
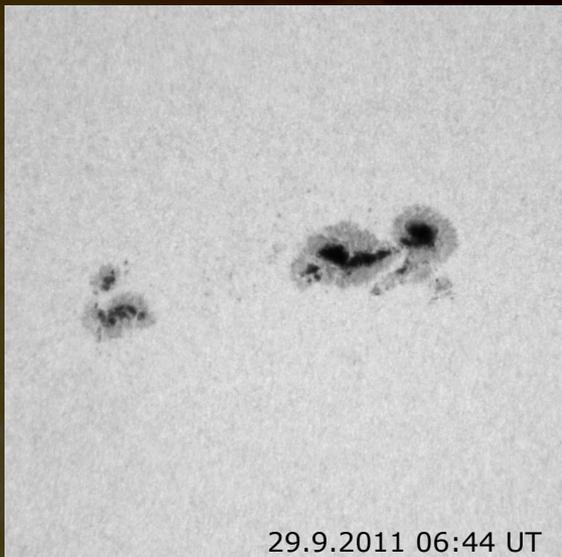
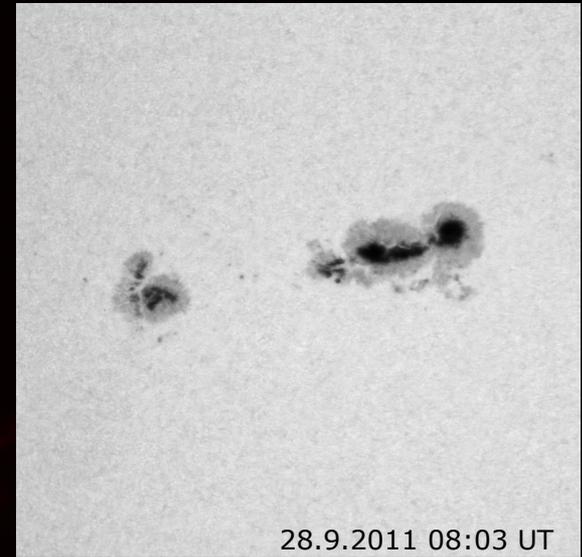
kontrolna soba

Fotosferski teleskop

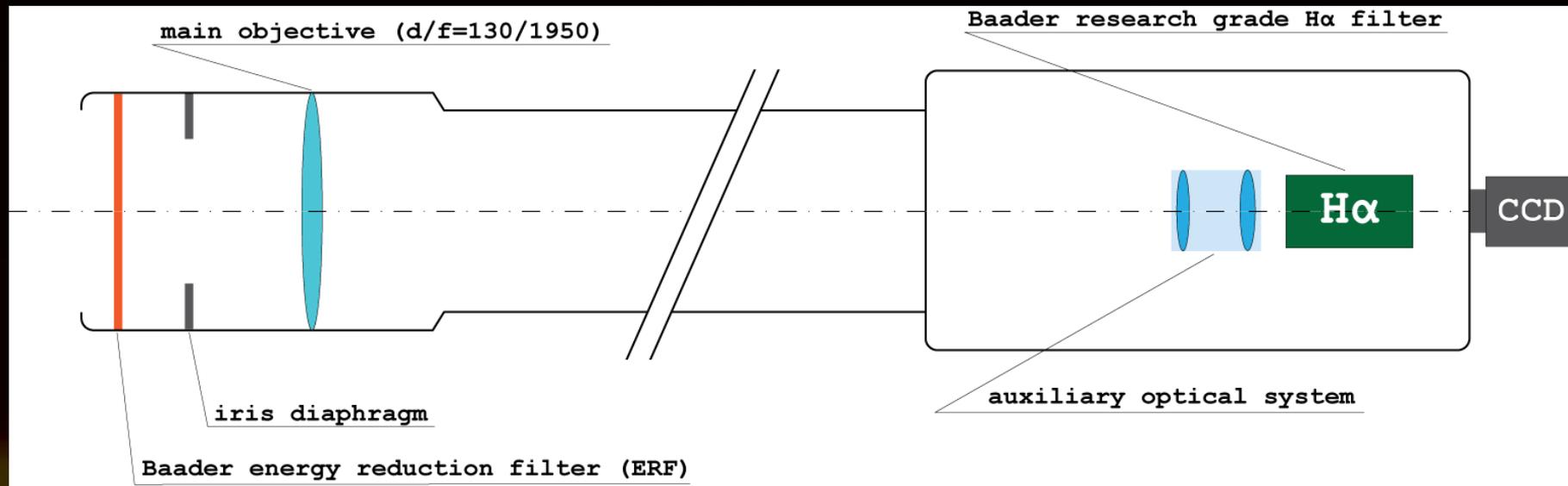


- glavna leća promjera 217 mm i žarišne duljine od 2450 mm
- filter za Sunce (Baader Astrosolar Film) smanjuje količinu svjetla koja ulazi u teleskop na 0.001%
- ostali filteri služe kako bi se popravila kvaliteta slike
- vidno polje iznosi oko 11 lučnih minuta, a interval snimanja je 1 minuta

Opažanja fotosfere



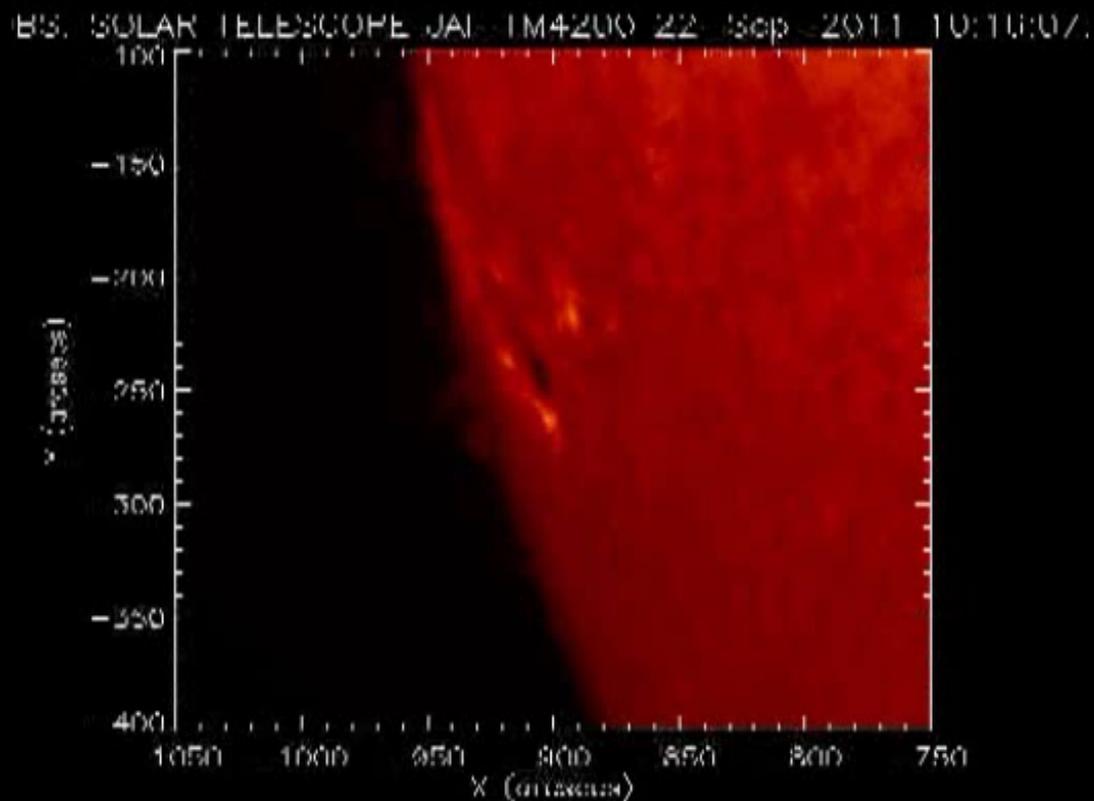
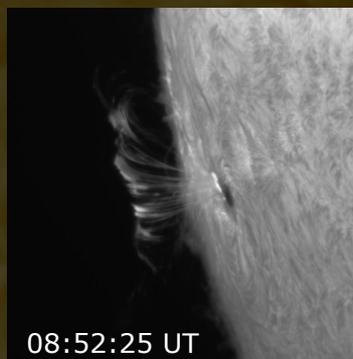
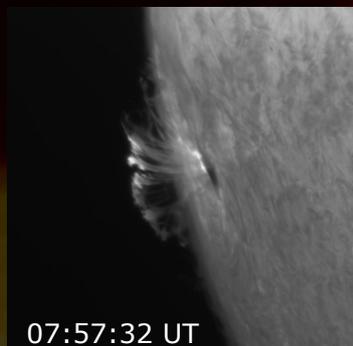
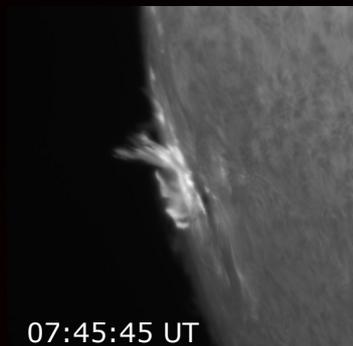
Kromosferski teleskop

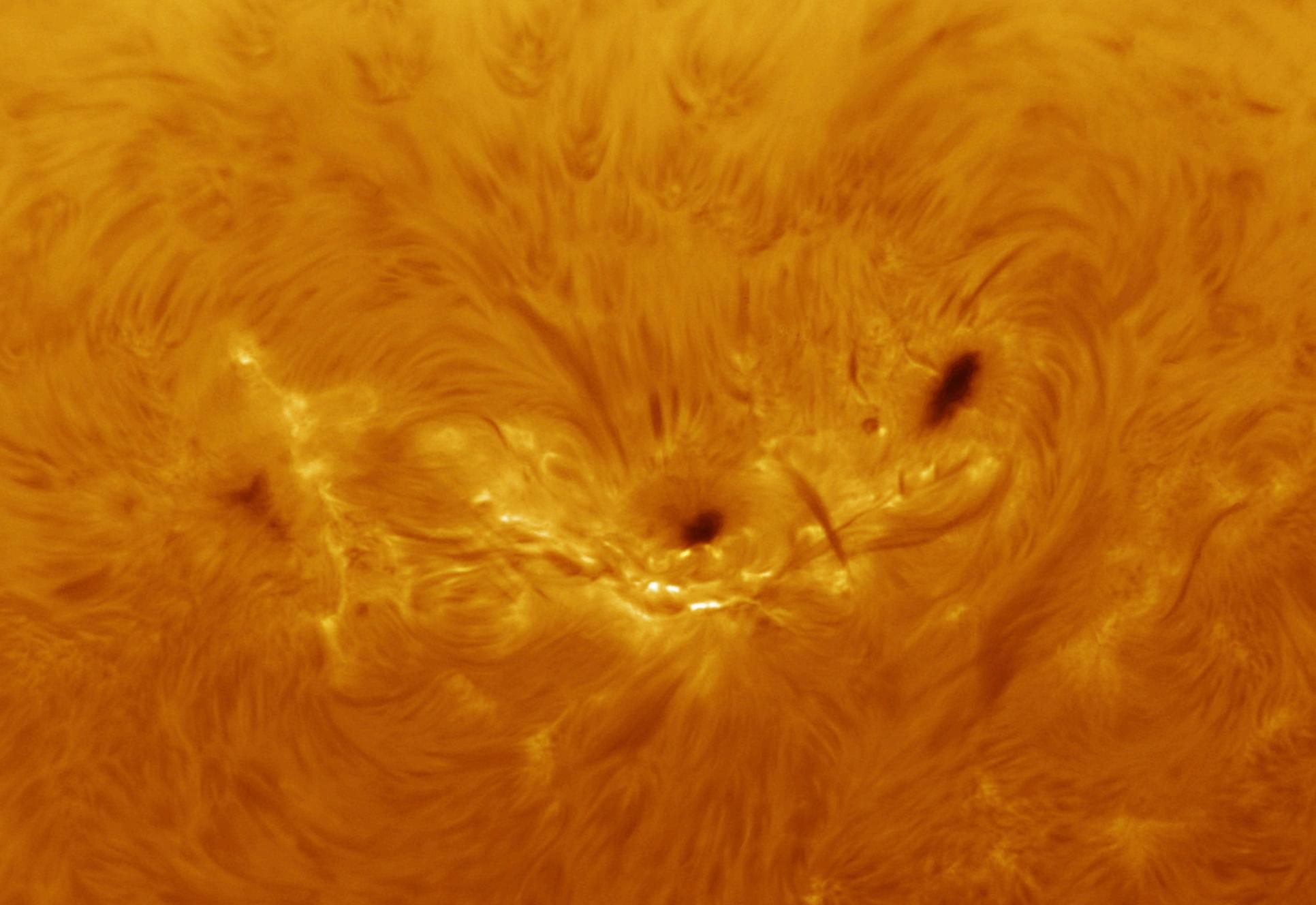


- glavna leća promjera 130 mm i žarišne duljine od 1950 mm
- opremljen posebnim H α filterom koji propušta svjetlo samo na liniji vodika (656 nm)
- vidno polje iznosi oko 7 lučnih minuta, a interval snimanja je 15 sekundi

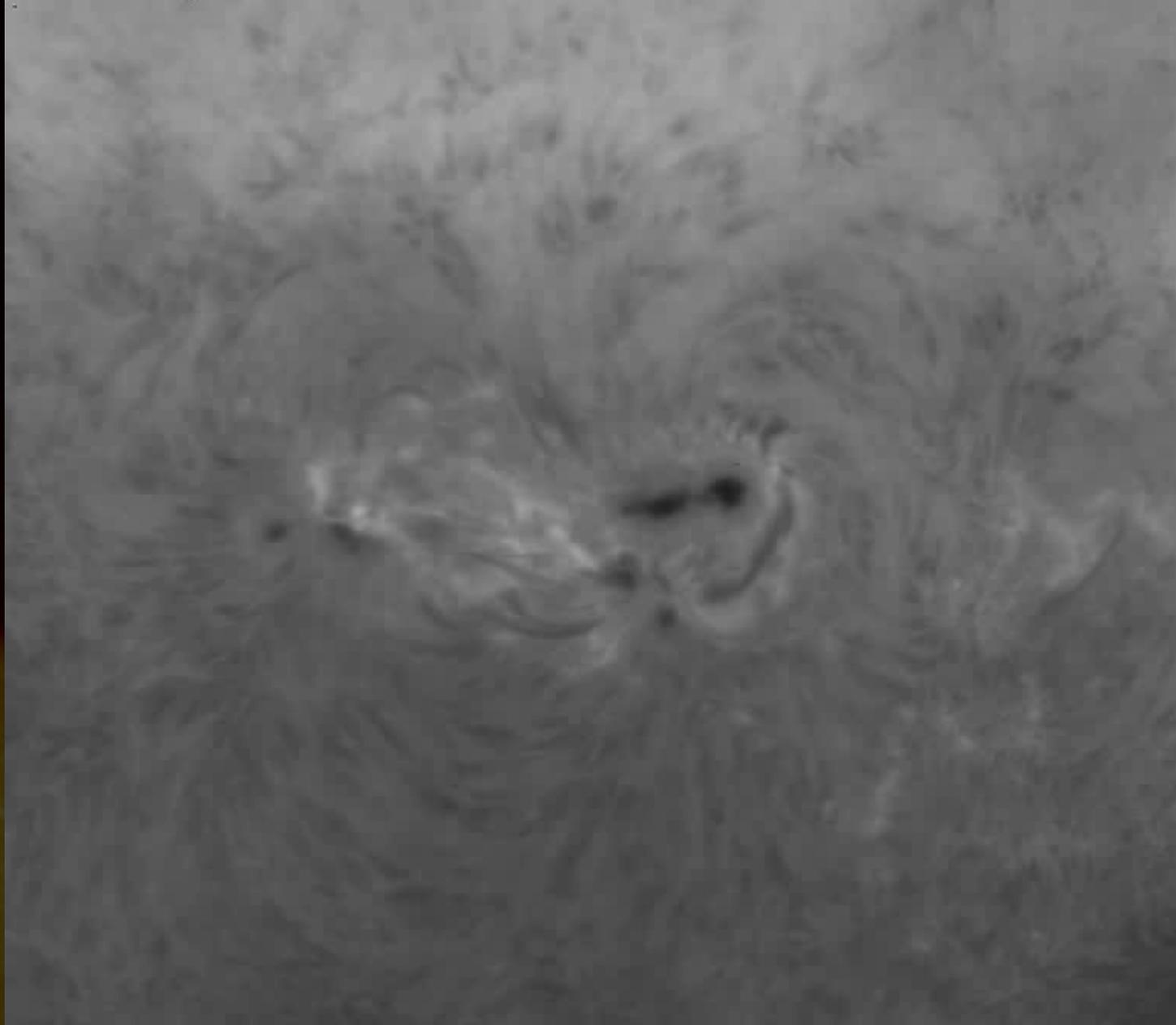
Opažanja kromosfere ($H\alpha$)

22. Rujna 2011, grupa pjega 1302, X1.4 bljesak





Opažanje kromosfere, 4.7.2012, 11:55 UTC, grupa pjega: 1515



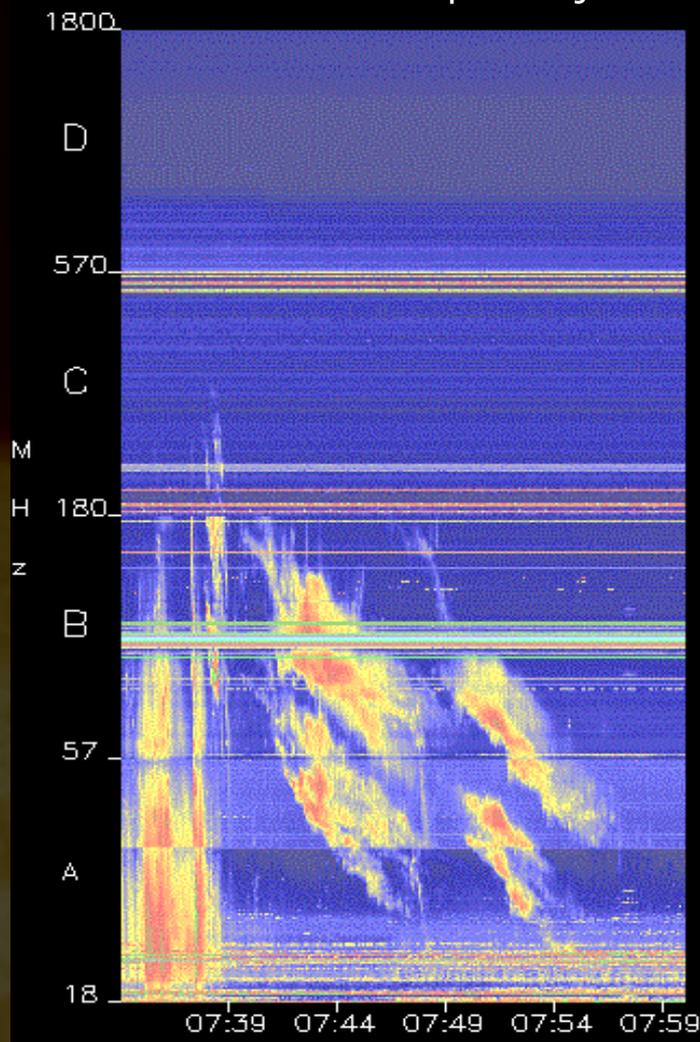
10h 00m 05s UT
02.07.2012.
H-alpha
Hvar Solar Telescope



03h 44m 31s UT
06.06.2012.
H-alpha
Hvar Solar Telescope

Solarni radio teleskopi

Primjer opažanja Sunca u radiovalnom području



- Sunčevo zračenje u radiovalnom području otkriveno radarima za vrijeme Drugog svjetskog rata
- Problem mala razlučivost pojedinačnih uređaja te širok raspon temperatura koji doprinosi zračenju određene frekvencije
- Sunčevi bljeskovi su snažan izvor zračenja u radiovalnom području



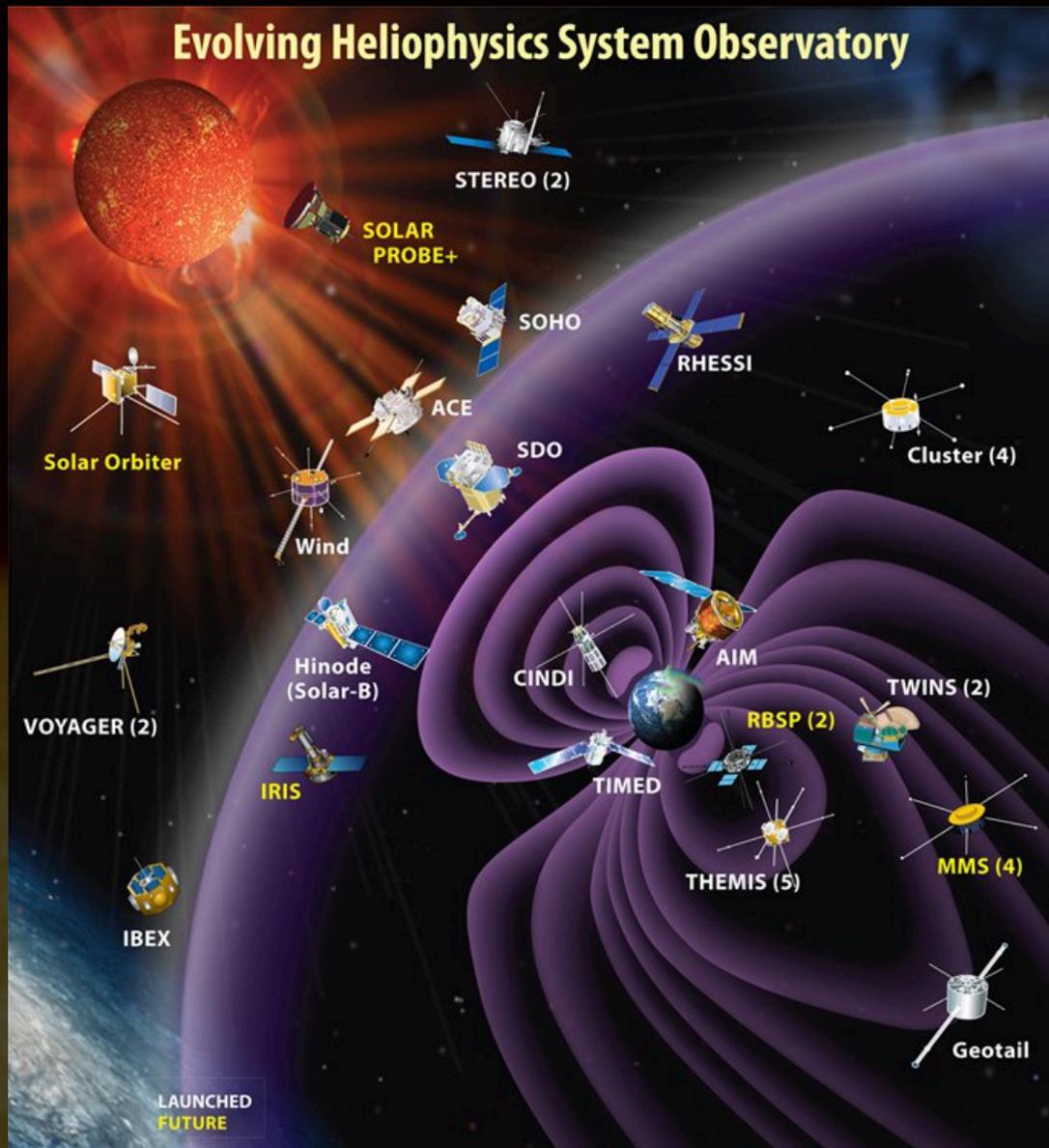
Sunčev radio teleskop u Trstu

Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA)

- Interferometrija - superponiranje većeg broja radio antena u jedan sustav
- Pustinja Atacama, sjeverni Čile, visina 5000 m (pogodna suha klima)
- 66 pojedinačnih antena promjera 12 i 7 metara
- Omogućit će promatranja strukture kromosfere, aktivnih područja, prominencija i bljeskova na Suncu sa spektralnim, prostornim i vremenskim razlučivanjem koje do sada nije bilo moguće



Sunce iz svemira - sateliti



- Prednost - proučavanje Sunca u valnim duljinama koje ne dopiru do površine Zemlje, opažanje Sunca **24/7**
- **SOHO** (Solar and Heliospheric Observatory) - lansiran 1995, ESA
- **SDO** (Solar Dynamics Observatory), lansiran 2010, NASA
- **STEREO** (Solar Terrestrial Relations Observatory), lansirani 2006, NASA - praćenje koronalnih izbačaja mase

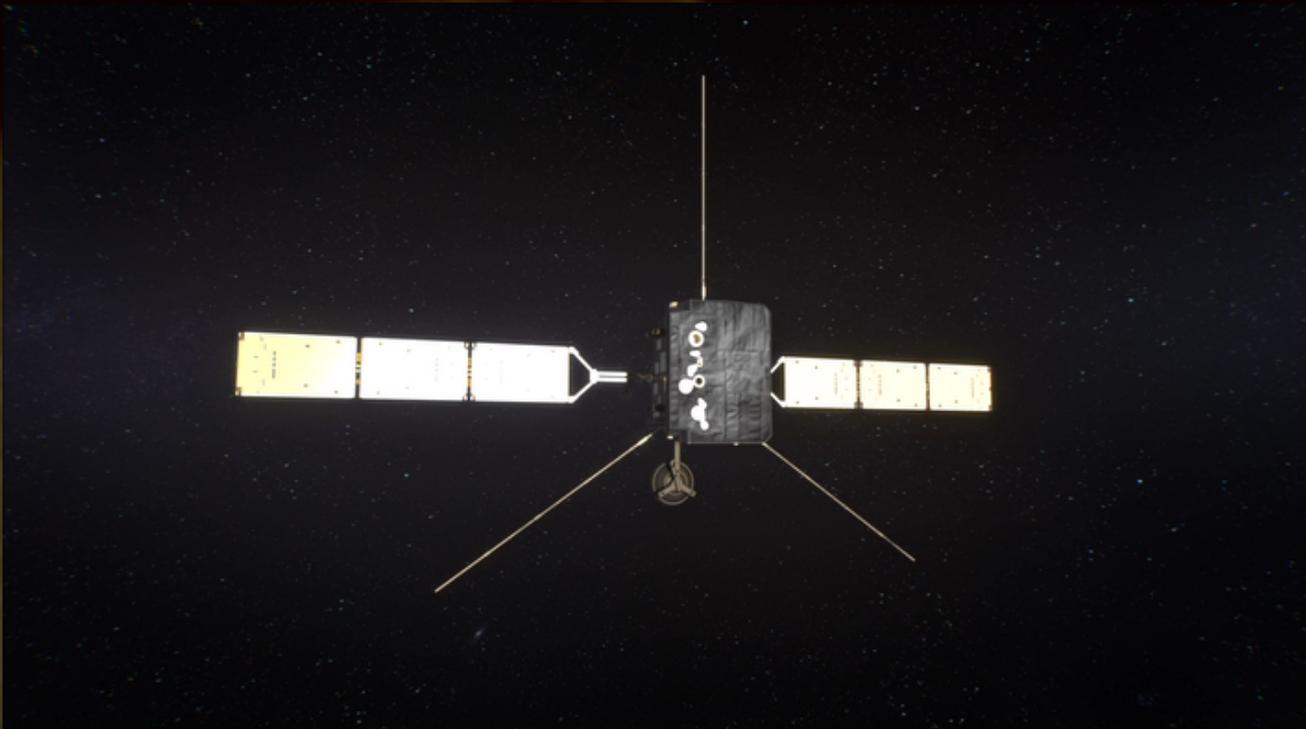
Solar Probe Plus (NASA)

- Lansiranje 2018. godine, 7 preleta blizu Venere, 24. kruga oko Sunca, prvi bliski prolaz do Sunca 2024. godine
- Najbliži prelet unutar 9 polumjera Sunca
- Posjeduje poseban 2.5 m štit od karbonske pjene debljine 11 cm - mora izdržati temperature do 1400 C° i superbrze energetske čestice
- Masa letjelice 610 kg (50 kg), cijena oko 1.5 milijardi USD
- Deset instrumenata - sastav i karakteristike čestica, svojstva plazme, električna i magnetska polja, 3D prikaz korone
- Treba pomoći odgovoriti na bitna tekuća znanstvena pitanja: Kako se grije Sunčeva korona? Kako se ubrzavaju energetske čestice sa Sunca i Sunčev vjetar? Odrediti dinamiku i strukturu magnetskih polja u području gdje nastaje Sunčev vjetar



Solar Orbiter (ESA)

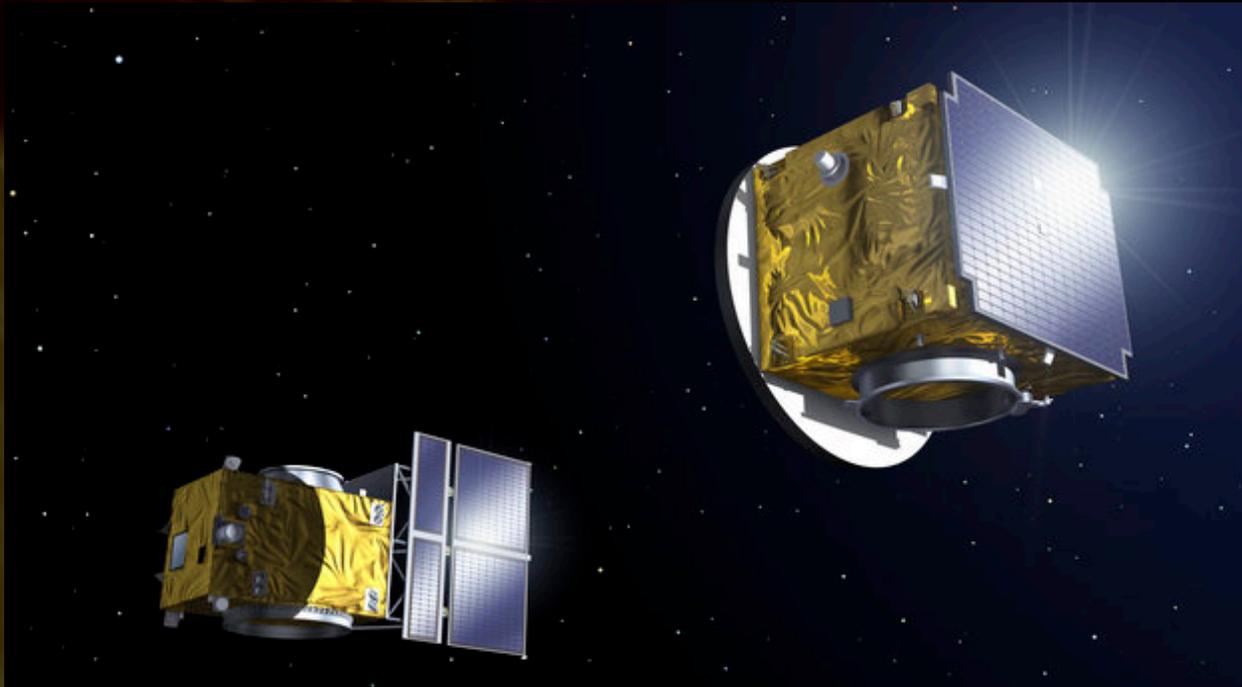
- Lansiranje 2018. godine, konačnu putanju dostiže nakon 3.5 godine
- Posebna putanja letjelice omogućava proučavanje polarnih područja Sunca – razjašnjavanje solarnog dinama i Sunčeve magnetske aktivnosti
- Prilikom najbližih preleta do Sunca svakih 5 mjeseci, letjelica će biti postavljena neko vrijeme iznad istog područja na Suncu kako bi dugoročno pratila nastanak i razvoj Sunčevih bljeskova i erupcija



- Masa letjelice 1800 kg (korisni teret 190kg)
- cijena više od 1 milijarde USD

Proba-3 (ESA)

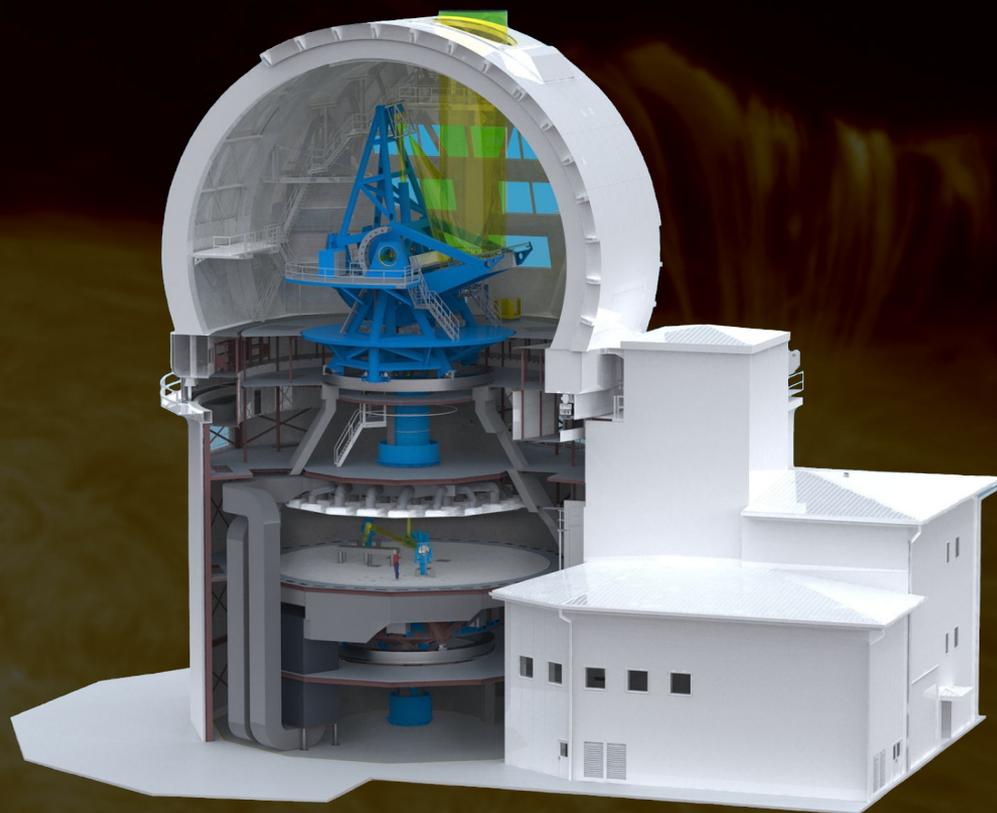
- Lansiranje 2018. godine
- Nisko budžetna misija (100 milijuna EUR) čiji je cilj testirati nove tehnologije
- Omogućit će opažanje Sunčeve atmosfere (koronagraf) najbliže rubu vidljive površine
- Dvije letjelice u simultanim putanjama - jedna će nositi instrument, a druga će služiti kao okultirajući disk



Nova generacija solarnih teleskopa na Zemlji

Daniel K. Inouye solarni teleskop, Havaji, SAD

- Gradnja započela 2012. godine
- 424 cm, cijena 345 milijuna USD
- Prvo svjetlo teleskop bi trebao ugledati 2019. godine
- Pokriva valne duljine od UV do infracrvenog spektra (300 - 28 000 nm)



- Uz upotrebu naprednih tehnologija (adaptivna optika) razlučivat će detalje na Sunčevoj površini do 20 km
- Omogućit će promatranje Sunčevog magnetskog polja i pojava na Suncu do fundamentalnih skala
- Europljani (ESA) također planiraju izgradnju 400 cm solarnog teleskopa na Kanarskim otocima

Što možemo na kraju zaključiti...

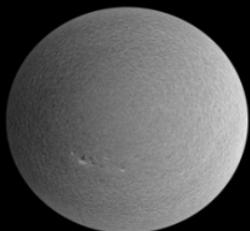
- Sunce je glavni izvor energije za većinu bića na Zemlji i glavni pokretač klimatskog sustava na Zemlji
- Sunčeva aktivnost utječe na širok spektar ljudskih djelatnosti i tehnologija (sateliti, elektro-energetska mreža, komunikacije, elektronika, astronauti, piloti) te može biti uzrok većim štetama. Sunce također utječe na Zemljinu klimu.
- Bolje razumijevanje Sunca i praćenje Sunčeve aktivnosti mogu pomoći da se štetne posljedice izbjegnu (svemirska prognostika)
- Nove tehnologije i instrumenti pomoći će da se u budućnosti razjasne mnoga preostala znanstvena pitanja vezana za Sunce i pojave na Suncu

A photograph of a sunset over the ocean. The sun is a bright, glowing orb on the left side of the horizon, casting a shimmering reflection on the water. The sky is filled with wispy, orange-tinted clouds. The overall color palette is warm, dominated by oranges, yellows, and dark blues.

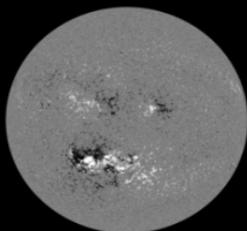
Hvala na pažnji!

Za više informacija o Opservatoriju Hvar
<http://oh.geof.unizg.hr>

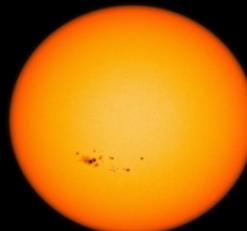
Koristeći različite filtere (valne duljine) moguće je vidjeti različite dijelove Sunca



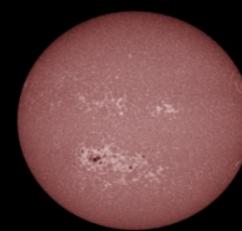
HMI Dopplergram
Surface movement
Photosphere



HMI Magnetogram
Magnetic field polarity
Photosphere



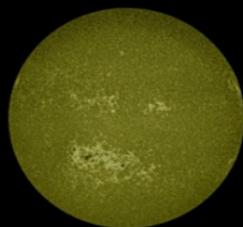
HMI Continuum
Matches visible light
Photosphere



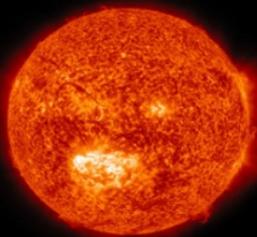
AIA 1700 Å
4500 Kelvin
Photosphere



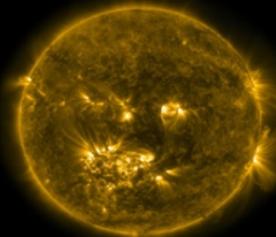
AIA 4500 Å
6000 Kelvin
Photosphere



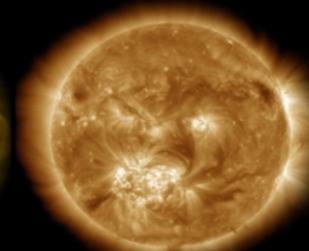
AIA 1600 Å
10,000 Kelvin
Upper photosphere/
Transition region



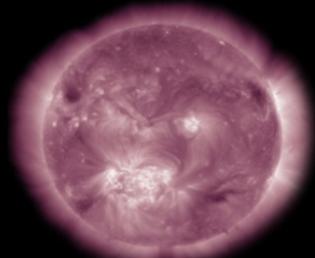
AIA 304 Å
50,000 Kelvin
Transition region/
Chromosphere



AIA 171 Å
600,000 Kelvin
Upper transition
Region/quiet corona



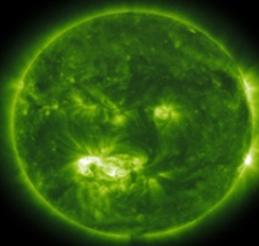
AIA 193 Å
1 million Kelvin
Corona/flare plasma



AIA 211 Å
2 million Kelvin
Active regions



AIA 335 Å
2.5 million Kelvin
Active regions



AIA 094 Å
6 million Kelvin
Flaring regions



AIA 131 Å
10 million Kelvin
Flaring regions

Fotometrijska mjerenja Be zvijezdi

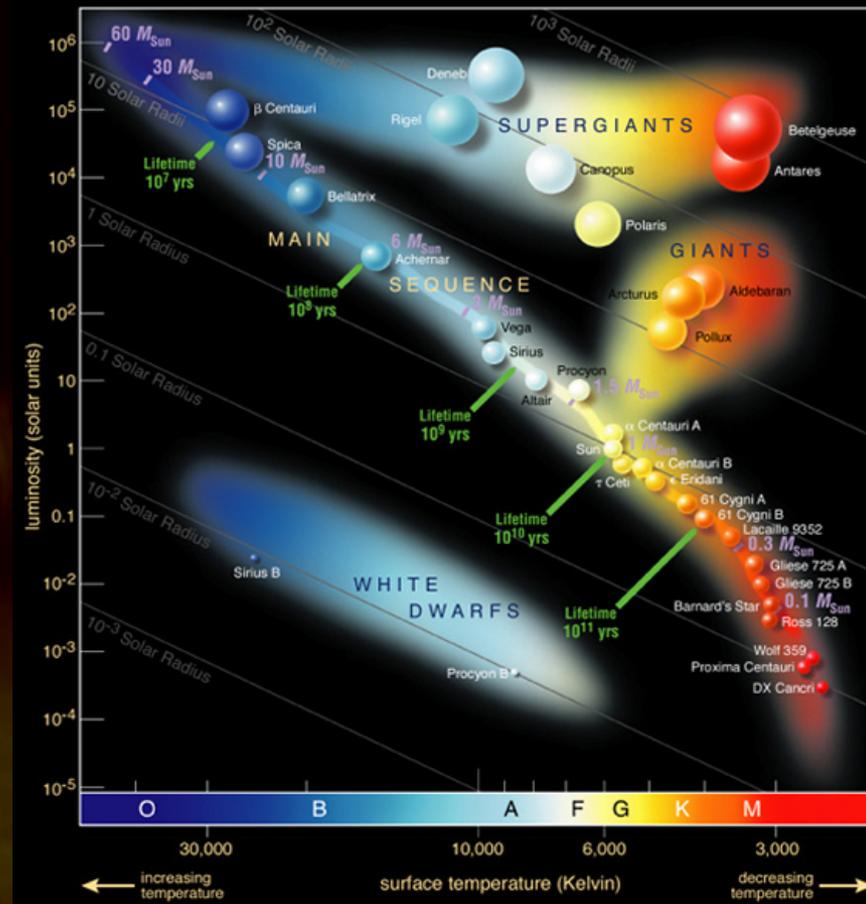
B označava tip zvijezde, a e emission (zračenje).

Be zvijezde su povezane sa diskovima materijala oko zvijezde

Mjerenjem se može odrediti:

- omjer radijusa zvijezdi
- omjer temperature (luminozitet)
- parametri orbite
- promjene diska

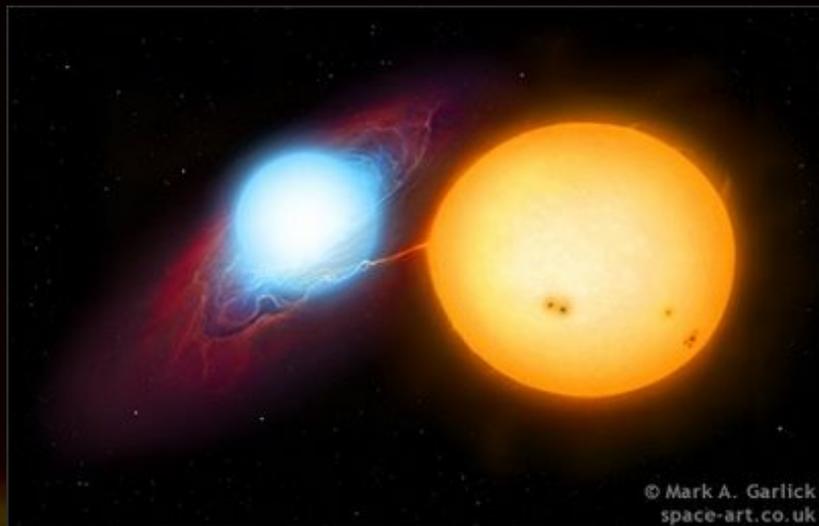
Pomoću spektroskopskih opažanja mogu se utvrditi apsolutne veličine (mjerenja brzine, dopplerov efekt).



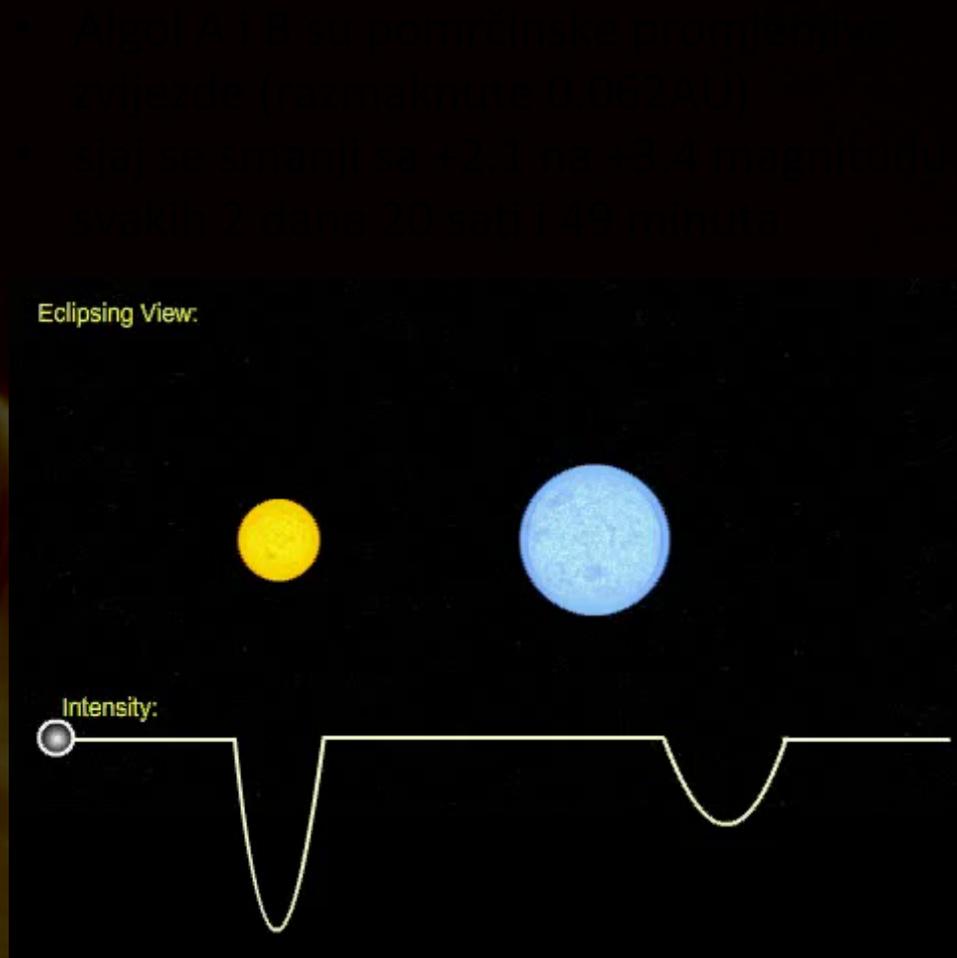
65cm Hvarski stelarni teleskop



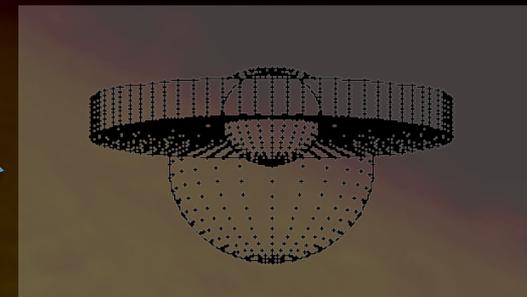
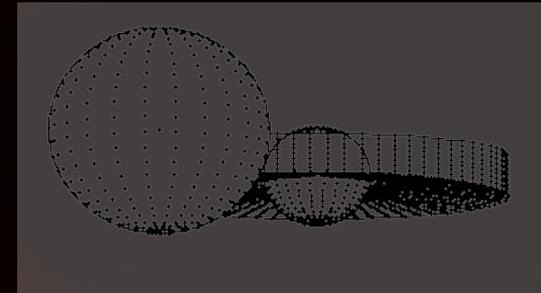
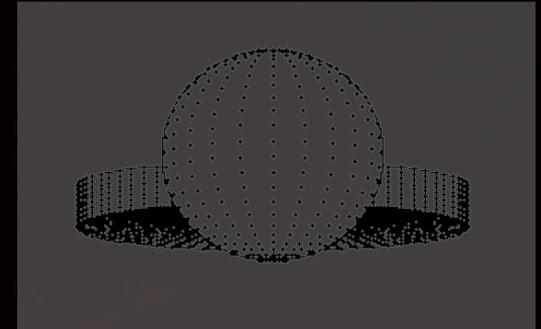
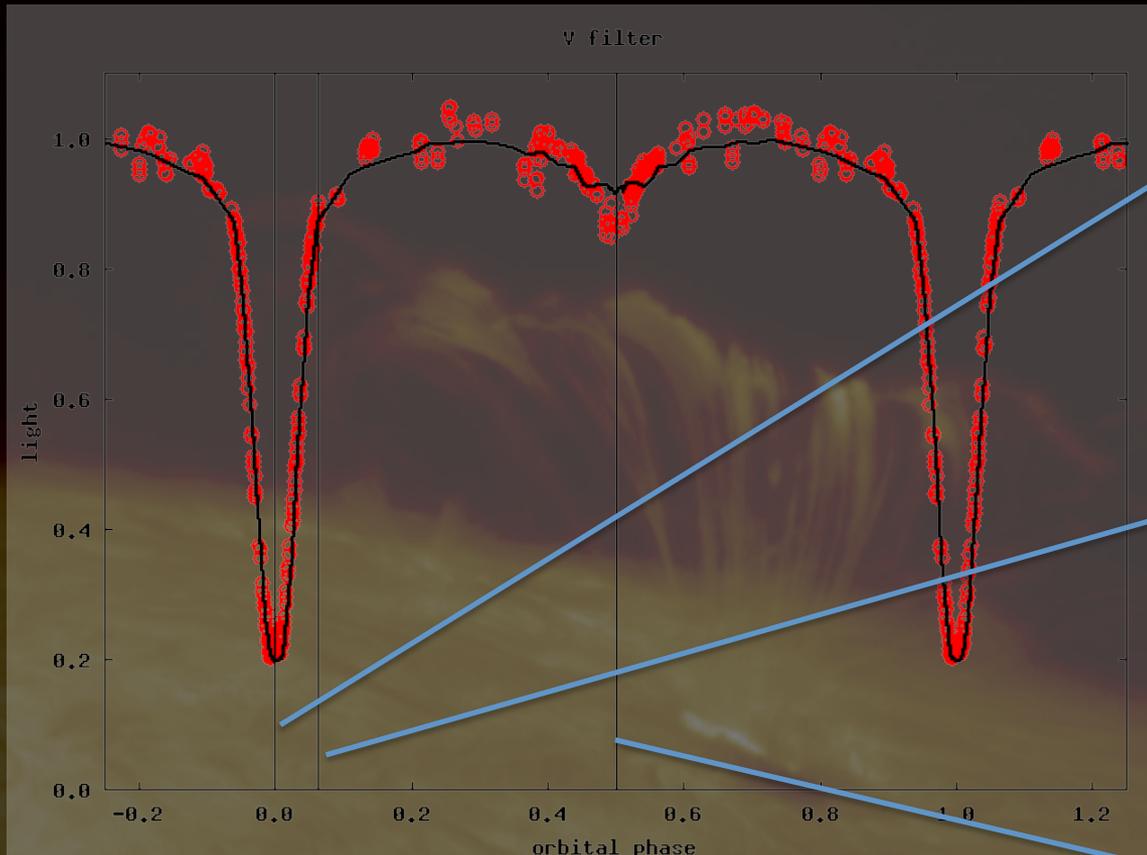
Pomrčinske promjenjive zvijezde



- Algol C kruži na udaljenosti od 2.7AU od A i B komponente (period orbite 680 dana)
- sustav je udaljen 92 svjetlosne godine od Zemlje
- paradox Algola – masivniji Algol A ($4.5 M_{\odot}$) je stariji od manje masivnog Algola B ($1 M_{\odot}$).



Fotometrijska mjerenja na Hvaru RY Perzeja



D. Sudar, H. Božić & D. Ruždjak

1m Austrijsko-hrvatski teleskop

- postavljen 1997. godine
- primarno zrcalo promjera 1060mm u Ritchey-Chretienovoj izvedbi
- dva sekundarna zrcala 400mm (f/6.8) i 260mm (f/15)
- engleska montaža i potpuno kompjuterizirano upravljanje teleskopom
- opremljen CCD kamerom

