

KINEMATIKA I MORFOLOGIJA KORONINOG IZBAČAJA MASE - CME (CORONAL MASS EJECTION)

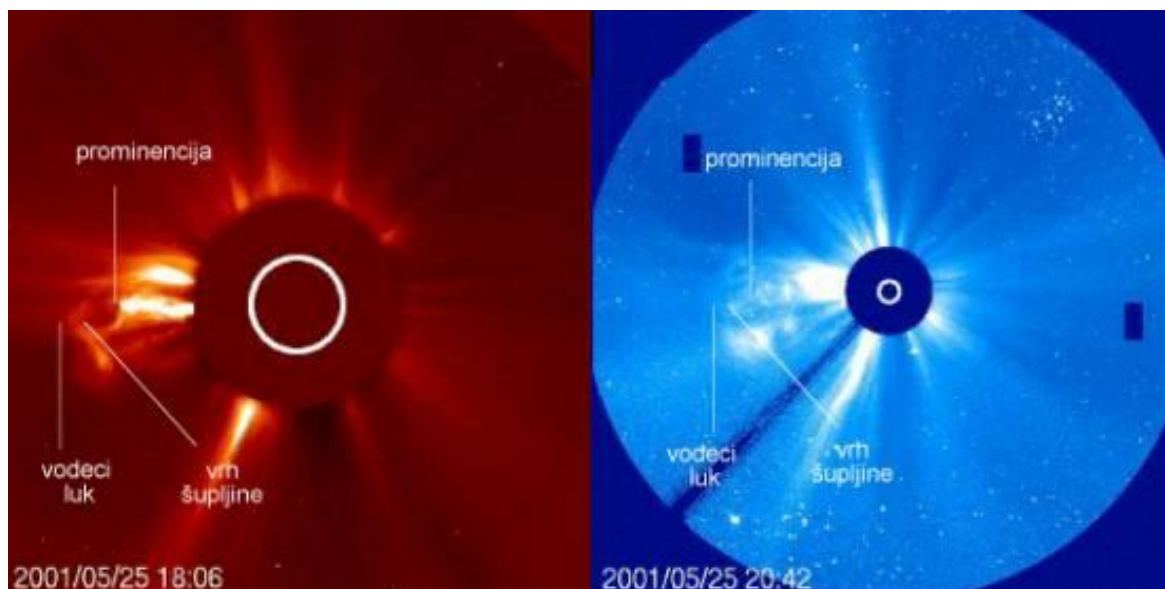
Priradio: dr.sc. Darije Maričić

Cilj vježbe

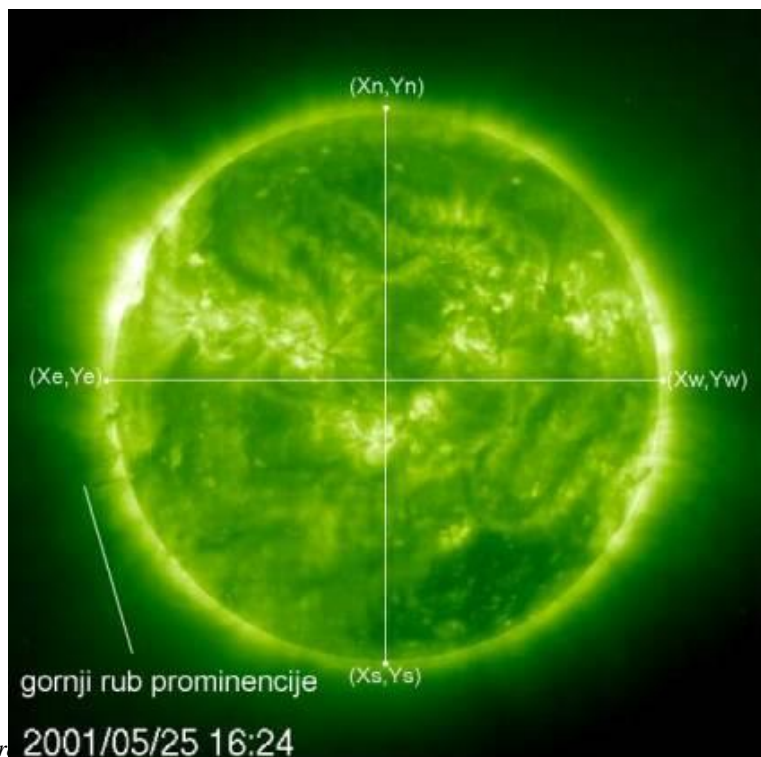
motrenje najspektakularnijih erupcija na Suncu, upoznavanje s mogućnostima njihovog opažanja, također proučavanje njihove morfologije i kinematike.

Uvod

Iznad Sunčeve "površine" (fotosfere) prostire se atmosfera koju čine kromosfera i korona. Sunčeva atmosfera je područje u kojem se odvijaju različite dinamičke pojave. Najspektakularniji procesi su: eruptivne prominencije, Sunčevi bljeskovi i koronini izbačaji mase. Koronini izbačaj mase je erupcija kojom Sunce odbacuje oko 10^{15} - 10^{16} g atmosferske plazme. Koronini izbačaji mase najčešće imaju oblik luka koji ekspandira brzinom od 10 km s^{-1} do 2000 km s^{-1} . Često je povezan s pojavom bljeska i eruptivne prominencije, ali priroda veze nije potpuno jasna. Opažanja koroninih izbačaja mase daju uvid u njihova morfološka svojstva, strukturu magnetskog polja te dinamiku procesa. Koronini izbačaji mase su direktno odgovorni za nastajanje Zemljine polarne svjetlosti (aurora borealis i aurora australis), za oštećenja satelita i smetnje u električnim sustavima. U vježbi je prikazano opažanje koroninog izbačaja mase povezanog s eruptivnom prominencijom tijekom 17. srpnja 2001. godine. Za opažanje različitih dijelova u strukturi CME-a poslužit će opažanja LASCO koronagrafa i EIT teleskopa - instrumenata koji se nalaze pričvršćeni na satelitu SOHO (Solar and Heliospheric Observatory). Satelit SOHO se nalazi u L1 Lagrangeovoj točki (tj. na udaljenosti između Zemlje i Sunca gdje su gravitacijske sile Zemlje i Sunca jednake).

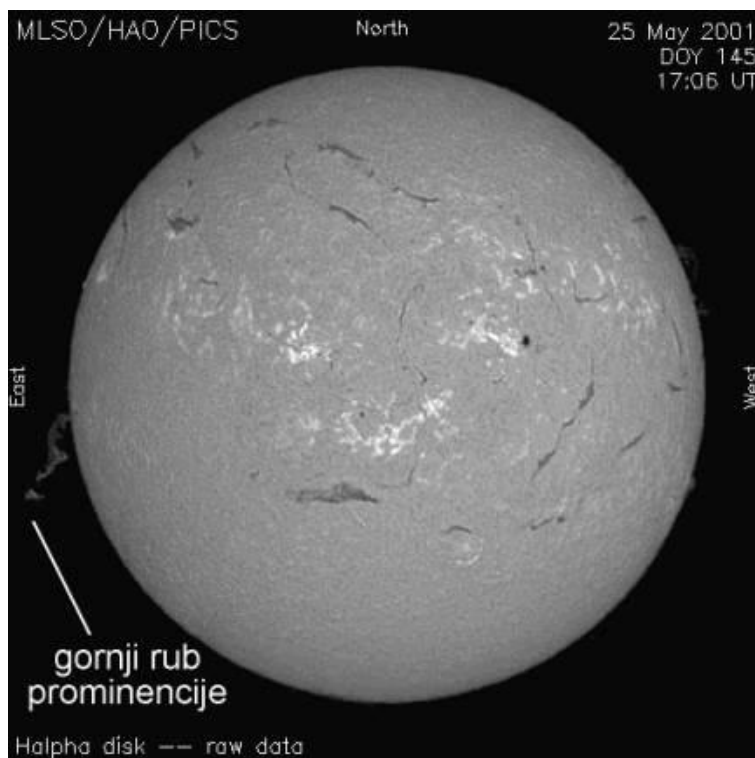


Slika 1.i 2. Large Angle Spectroscopic Coronagraph (LASCO) - je koronagraf koji se sastoji od tri manja koronagrafa nazvanih C1, C2 i C3. Koronagrafi su dizajnirani tako da mogu pratiti Sunce na udaljenostima od 1,1 do $3 R_{\text{Sunca}}$ (C1), od 1,7 do $6 R_{\text{Sunca}}$ (C2) i od 3,7 do $32 R_{\text{Sunca}}$ (C3). Podaci s koronagrafa C1 nisu zadovoljavajuće kvalitete zbog instrumentalnih problema pa nisu upotrijebljeni u ovoj vježbi. Stoga pratimo CME samo na udaljenostima koje su pokrivali koronagrafi C2 i C3. Na slici su prikazane snimke načinjene pomoću LASCO C2/C3 koronagrafa na kojima se vidi erupcija prominencija u različitim vremenima.

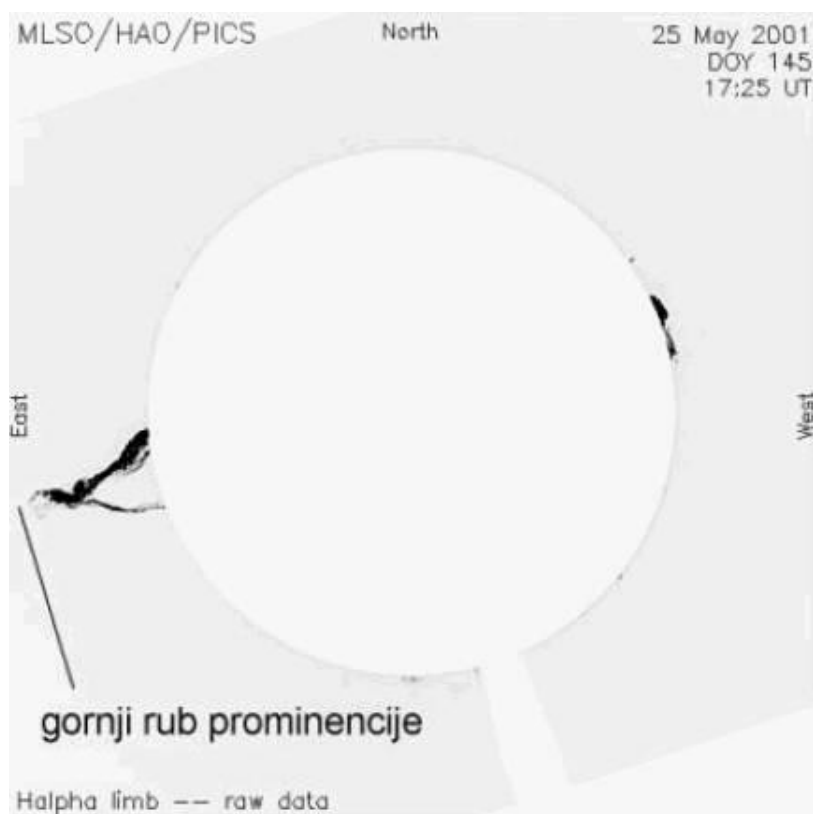


Slika 3. Extreme-ultravioletna slika Sunca sa jutrarnim razlicitim valnih duzina: HeII 30,37 nm, FeIX 17,45 nm, FeXII 19,5 nm i FeXV 28,41 nm. Na slici su prikazani snimci Sunca sa EIT FeXII filtrom. Sunčeve ploče do $1,5 R_{Sunca}$ udaljenosti iznad fotosfere.

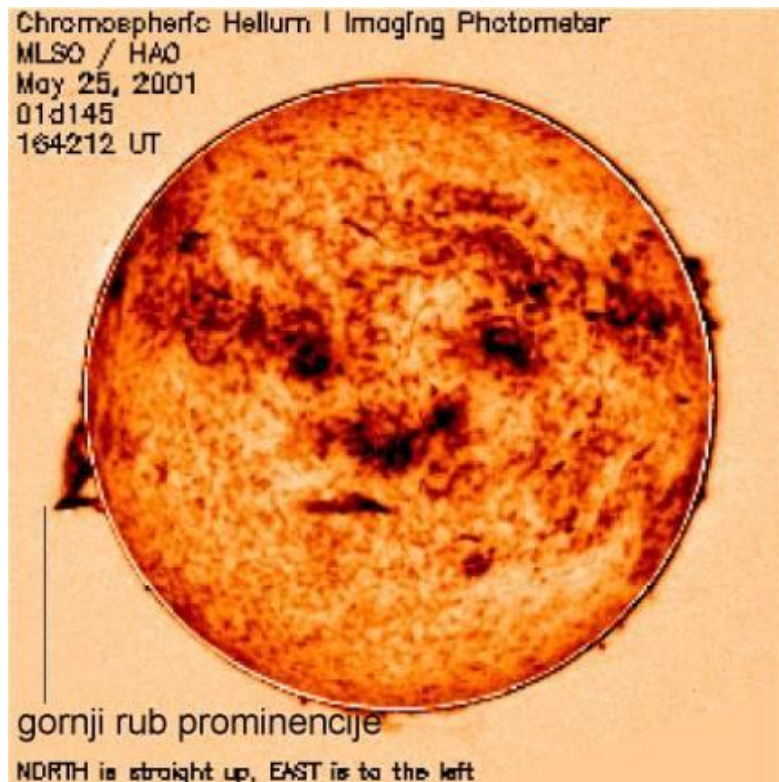
Opažanja SOHO satelita uspoređujemo s opažanjima pomoću instrumenata Solarnog Opservatorija Mauna Loa (Hawai - USA).



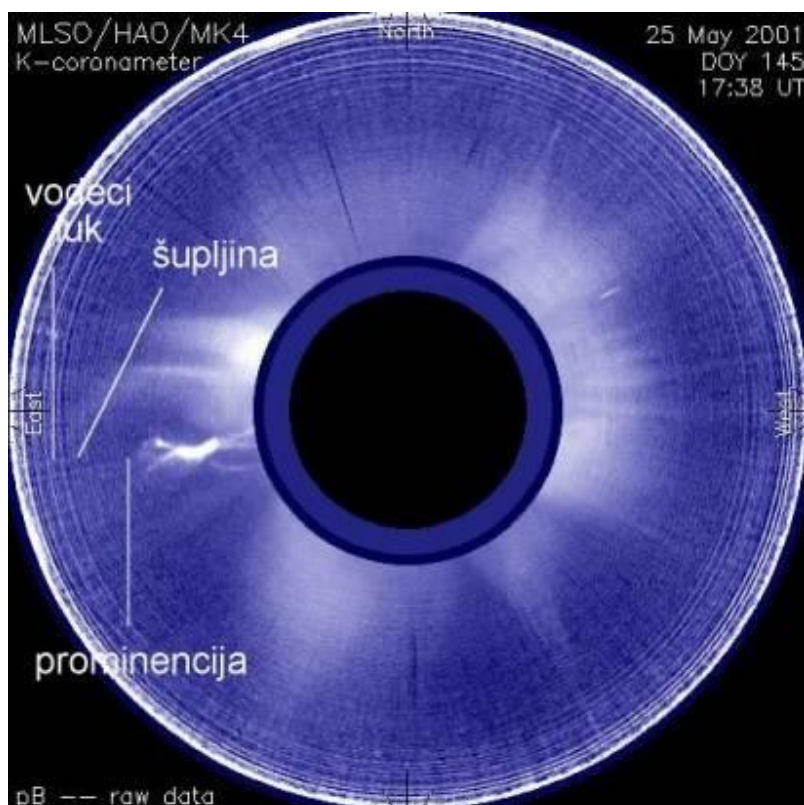
Slika 4. MLSO Digital Prominence Monitor (DPM) - teleskop koji opaža Sunčev disk sa filtrom koji propušta svjetlost valne duljine 656.3 nm - linija neutralnog Vodika (H-alfa linija).



Slika 5. Polarimeter for Inner Coronal Studies (PICS) H-alfa koronametar - koji opažaju nisku koronu Sunca u H-alfa liniji do udaljenosti od $3 R_{\text{Sunca}}$ iznad fotosfere Sunca.



Slika 6. Chromospheric Helium-I Imaging Photometer (CHIP) - opaža Sunčevu ploču pomoću filtra koji propušta svjetlost valne duljine 1083nm- linija neutralnog Helija



Slika 7. Mark-IV K-Coronameter (Mk4) - Mark VI koronametar koji motri nisku koronu Sunca u bijeloj svjetlosti na udaljenostima od 1,08 do 2,85 R_{Sunca} od središta Sunca.

Podaci motrenja Sunca sa drugih opservatorija, kao što su: BBSO - Big Bear Solar Observatory (USA), Observatory Learmonth (Australia), Observatory Kanzelhoehe (Austrija) i dr., nisu uključeni jer su za potpuno praćenje dovoljna opažanja navedenih instrumenata. Osim toga, zbog različitih položaja na Zemlji neki od opservatorija nisu bili u mogućnosti motriti izabrani događaj. Izbačaji mase javljaju se u regijama zatvorenih magnetskih polja koje premošćuju inverznu liniju magnetskog polariteta ili neutralnu liniju. Većinu koroninih izbačaja mase u bijeloj svjetlosti možemo vidjeti kao trodjelnu strukturu koja sadrži jezgru (prominencija) + tamnu šupljinu + vodeći luk (kao što smo prikazali na slici 7.) i to je jedna od najčešće opaženih morfologija izbačaja mase na koronagrafskim snimkama niske i srednje korone (od 1,1 do 5 R_{Sunca}). Trodjelna struktura ne mora imati jednaku kinematiku, što je glavni cilj istraživanja ove vježbe. Potrebne snimke koroninog izbačaja mase koji se dogodio 25. svibnja 2001. godine mogu se naći na Internet stranicama:

LASCO C2/C3 koronagraf

<http://lasco-www.nrl.navy.mil/cgi-bin/wdb/lasco/images/form>

MKVI koronagraf

http://download.hao.ucar.edu/d5/mk4/raw_daily_image/2001/05_may/

DPM H-alfa disk teleskop

http://download.hao.ucar.edu/d5/dpm/raw_daily_image/2001/05_may/

PICS H-alfa rub teleskop

http://download.hao.ucar.edu/d5/dpm/raw_daily_image/2001/05_may/

CHIP He teleskop

http://mlso.hao.ucar.edu/chipftp2001_05.html

Zadatak 1.

Odredite visinu gornjeg ruba prominencije, šupljine i vodećeg luka koroninog izbačaja mase ($H_{\text{prominencija}}$, $H_{\text{šupljina}}$ i $H_{\text{vodeći luk}}$) tijekom erupcije i upišite u tablicu izmjerene vrijednosti uz vrijeme opažanja. **NAPOMENA:** na EIT, DPM, CHIP, PICS H-alpha slikama možemo mjeriti samo vrh prominencije, dok na LASCO C2/C3, MKVI slikama moguće je mjeriti sva tri dijela CME-a. U gore navedenim slikama strjelicom su označeni dijelovi CME-a koji se mjere.

Primjer tablice za upisivanje potrebnih podataka:

Dio CME-a koji se mjeri: _____

Mjerenje sa (teleskop / koronagraf): _____

Tablica 1.

Vrijeme (UT)	x-kordinata (pixels)	y-kordinata (pixels)

Za mjerenje visine pojedine komponente koroninog izbačaja mase na različitim snimkama potrebno je koristiti neki kompjuterski program npr. Adobe, FreeHand, Corel, Paint shop Pro ili bilo koji program koji ima mogućnost očitavanja koordinata na slikama. Mjerene koordinate (x , y) bilo koje komponente (radi jednostavnosti mjerenja) u tablicu zapisujemo u pikselima. Na svim slikama je potrebno prvo odrediti koordinate središta ploče Sunca. (x_{centra} , y_{centra}), te polumjer Sunčeve ploče u pikselima. Koordinate središta Sunca određujemo tako da očitamo 4 točke na rubu Sunčeve ploče, i to najistočniju (x_e , y_e), najzapadniju (x_w , y_w), najsjeverniju (x_n , y_n) i najjužniju (x_s , y_s) (primjer slika 3.). Koordinate središta dobijemo prema formuli:

$$x_{\text{centra}} = \frac{|x_w + x_e|}{2}; \text{ s tim da je } y_w = y_e$$

$$y_{\text{centra}} = \frac{|y_n + y_s|}{2}; \text{ s tim da je } x_n = x_s$$

Polumjer Sunca izražen u pikselima dobivamo prema formuli:

$$R_{\text{Sunca}} = \frac{|x_w + x_e|}{2} = \frac{|y_n + y_s|}{2} \quad (\text{pixel}).$$

Znajući da R_{Sunca} iznosi približno 696000km pomoću formule:

$$\text{koeficijent} = \frac{R_{\text{Sunca}} (\text{pixel})}{696000 (\text{km})},$$

možemo izračunati kolika udaljenost odgovara jednom pikselu na Suncu. Tako npr. na slikama EIT teleskopa 1 piksel predstavlja udaljenost od 1500 km. Zbog toga, formula za visinu iznad fotosfere iskazana u kilometrima, bilo kojeg mjenenog dijela koroninog izbačaja mase je:

$$\text{visina} = \sqrt{(x - x_{\text{centra}})^2 + (y - y_{\text{centra}})^2} \cdot \text{koeficijent} - R_{\text{Sunca}} (\text{km})$$

Dakle, da bi mjerenje visine CME-a s bilo kojeg teleskopa ili koronagrafa sveli na istu skalu, potrebno je dobivene visine iskazane u pikselima pomnožiti različitim koeficijentima. U tablici 2. naveli smo iznose koeficijenata za koronagrafe ili teleskope upotrebljene u ovoj vježbi.

Tablica 2.

Uređaj	koeficijent
LASCO C2 koronagraf	16975,609
LASCO C3 koronagraf	81882,352
EIT teleskop	3712
MKVI koronagraf	7524,324
MLSO H-alpha teleskop	3207,373
PICS H-alphan koronagraf	4142,857

Zadatak 2.

Nacrtajte u jednom i u posebnim grafovima ovisnosti visina $H_{prominencija}$, $H_{šupljina}$ i $H_{vodeći luk}$ o vremenu.

Zadatak 3.

Iz podataka za visinu $H_{prominencija}$, $H_{šupljina}$ i $H_{vodeći luk}$ u različitim vremenima, pomoću formule:

$$v_j = \frac{H_{i+1} - H_i}{t_{i+1} - t_i},$$

gdje je oznaka i predstavlja mjerenje visine u vremenu t_i izračunajte brzinu gibanja prominencije, šupljine i vodećeg luka ($v_{prominencija}$, $v_{šupljina}$ i $v_{vodeći luk}$) v_j u trenutku $t_j = \frac{t_{i+1} - t_i}{2}$.

Zadatak 4.

Nacrtajte u jednom grafu ovisnosti brzina $v_{prominencija}$, $v_{šupljina}$ i $v_{vodeći luk}$ o vremenu.

Zadatak 5. Iz podataka za brzinu $v_{prominencija}$, $v_{šupljina}$ i $v_{vodeći luk}$ u različitim vremenima, pomoću formule:

$$a_k = \frac{v_{j+1} - v_j}{t_{j+1} - t_j},$$

gdje je oznaka j predstavlja mjerenje brzine u vremenu t_j izračunajte brzinu gibanja prominencije, šupljine i vodećeg luka ($a_{prominencija}$, $a_{šupljina}$ i $a_{vodeći luk}$) a_k u trenutku $t_k = \frac{t_{j+1} - t_j}{2}$.

Zadatak 6.

Nacrtajte u jednom grafu ovisnosti akceleracija: $a_{prominencija}$, $a_{šupljina}$ i $a_{vodeći luk}$ o vremenu.

Zadatak 7.

Uz pretpostavku da su tijela prominencije i vodećeg luka cilindričnog oblika odredite ukupnu masu prominencije i vodećeg luka (gustoća prominencije je oko 10-11 kg/m³, a vodećeg luka 8-9 kg/m³). Odredite kolika je sila potrebna da bi prominencija i vodeći luk ubrzavali prema gore maksimalnim opaženim akceleracijama? (Uzmi u obzir da prominencija i vodeći luk mogu savladavati silu težu, dakle $F = m(a + g)$).