
Milan Bogosavljević

Konstrukcija koronografa za posmatranje protuberanci

Opisana je konstrukcija i izrađen koronograf za posmatranje i fotografisanje Sunčevih protuberanci u amaterskim uslovima.

Uvod

Sistematska posmatranja Sunca u astronomiji bila su na početku uglavnom bila ograničena na praćenje najuočljivijih oblika Sunčeve aktivnosti – Sunčevih pega. Posmatranje drugih, „egzotičnijih” pojava, kao što su protuberance, bilo je onemogućeno time što je intenzitet svetlosti koja dolazi sa njih neuporedivo manja od intenziteta svetlosti koja dolazi sa fotosfere. Ovo, zajedno sa rasipanjem svetlosti u Zemljinj atmosferi, dovodi do toga da su se, recimo, protuberance, hromosfera i korona mogle posmatrati samo u retkim trenucima potpunog Sunčevog pomračenja, kada bi fotosfera bila zaklonjena Mesecom od posmatrača. U normalnim okolnostima, iako su gore navedene oblasti prilično sjajne (sjaj korone u blizini fotosfere je po intenzitetu blizak sjaju punog Meseca, dok su protuberance daleko sjajnije), sjaj rasejane svetlosti fotosfere u Zemljinj atmosferi naprosto dovodi do potpunog „gubljenja kontrasta”.

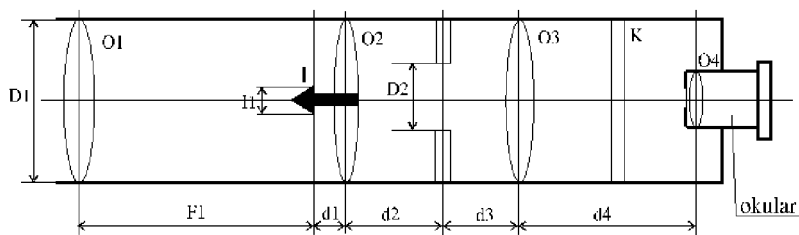
Mnogobrojni pokušaji fotografisanja protuberanci i korone pri punoj dnevnoj svetlosti ostali su bez uspeha. Godine 1931, Bernard Lyot na opservatoriji Pic du Midi je konstruisao jednu vrstu teleskopa koji je u sebi sadržavao naročit štitnik za blokiranje svetlosti fotosfere. Sa takvim instrumentom bilo je po prvi put moguće snimiti spoljašne delove Sunčeve atmosfere. Jedini dodatni zahtev za snimanje korone je bilo eliminisanje uticaja rasejane svetlosti Zemljine atmosfere, tako da je koronograf morao biti postavljen na nadmorsku visinu od 2500 do 3500 metara. Kako je ISP na nadmorskoj visini od oko 200 m, ja sam koronograf namenio prvenstveno snimanju protuberanci, koje su dovoljno sjajne da se vide i pri rasejanju svetlosti fotosfere u niskim delovima Zemljine atmosfere.

*Milan Bogosavljević
(1977), Niš, Bulevar Lenjina 73/17, učenik 3. razreda Gimnazije „B. Stanković” u Niš*

Konstrukcija – opšta šema koronografa

Opšta šema koronografa data je na slici 1. Sočivo O1 je sabirno sočivo koje služi kao objektiv koronografa. Njegov prečnik je veličina D_1 . Klin (I) je pravilna metalna kupa, izrađena od mesinga, gvožđa ili aluminijuma i ona služi da zakloni površinu lika Sunčeve fotosfere. Prečnik njene osnove (I_1) zavisi od žižne daljine objektiva i uglovnog prečnika Sunca i računa se po formuli 1.1. Pomoćno sočivo O2 (takođe sabirno, bikonveksno ili plankonveksno) služi da preslika lik objektiva na dijafragmu otvora D_2 . Diјаfragma otklanja deo svetlosti koji se savija na rubovima sočiva (difrakcija). Prečnik njenog otvora se računa po formuli 1.2.

Iza diјаfragme je sistem sočiva O3 (sabirno, bikonveksno ili plankonveksno) i O4 (okular) koji ima funkciju malog durbina za posmatranje lika klina i Sunca. Filter K propušta svetlost u što manjem opsegu oko spektralne linije H alfa. Time se znatno povećava kontrast, jer protuberance najveći intenzitet svetlosti emituju na talasnoj dužini od 656.3 nanometara. U zavisnosti od veličine propusnog opsega filtera zavisi i kvalitet, „jasnoća“ strukture protuberanci. Uticaj i izbor filtera ću detaljnije opisati na kraju dela o izradi.



Slika 1.
Opšta šema
koronografa.

Figure 1.
Basic scheme of a
coronagraph.

Idealno bi bilo da je klin I postavljen u sočivo O2 (kao na slici 1). Međutim to dovodi do znatnih problema pri izradi. Pre svega, treba probušiti sočivo tačno u centru, a potom tu postaviti klin sa mogućnošću podešavanja udaljenosti njegove osnove od površine sočiva. Podešavanje je potrebno jer se ta udaljenost (d_1 u formulama) tačno određuje tek na kraju – na osnovu oštine ruba klina, ali se unapred zna da se njena vrednost kreće od 20-50 mm. To je čini malom u odnosu na druge veličine u formulama, te se za prva proračunavanja dimenzija njen uticaj zane-maruje [1].

Postavljanje klina u sočivo se praktično pokazalo neizvodljivim. Zato je pronađeno lakše rešenje za postavljanje klina, nauštrb kvaliteta, koje će biti opisano kasnije.

Korišćene su sledeće formule za proračun elemenata koronografa:

– za prečnik klina I_1

$$I_1 = 0.0093 F_1 \quad (1.1)$$

– razmak između sočiva O3 i okulara O4

$$D_2 = \frac{D_1}{F_1} \cdot d_2 \quad (1.2)$$

$$d_2 = \frac{(F_1 + d_1) \cdot F_2}{F_1 + d_1 - d_2} \quad (1.3)$$

$$d_3 = 2 F_3 - d_2 \quad (1.4)$$

$$d_4 = \frac{(d_1 + d_2 + d_3) \cdot F_3}{d_1 + d_2 + d_3 - F_3} \quad (1.5)$$

$$F_0 = \frac{d_4}{d_1 + d_2 + d_3} \cdot F_1 \quad (1.6)$$

$$I_0 = \frac{d_4}{d_1 + d_2 + d_3} \cdot I_1 \quad (1.7)$$

F_1 , F_2 i F_3 su žižne daljine sočiva O1, O2 i O3, respektivno. Ostale veličine su ucrtane na sl. 1:

d_2 – udaljenost dijafragme od sočiva O2

d_3 – udaljenost sočiva O3 od dijafragme

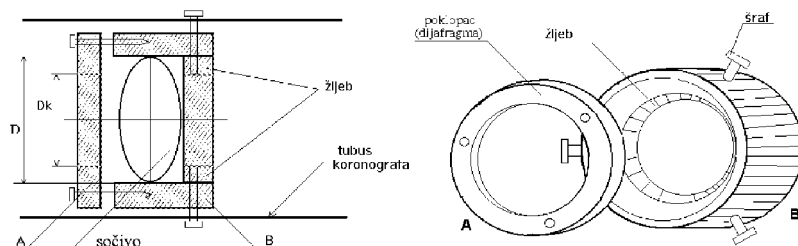
d_4 – udaljenost okulara od sočiva O3

Formula 1.4 je preuzeta iz [2], gde se ovakav odnos preporučuje zbog prenošenja lika Sunca u odnosu 1:1. Ostale formule su iz [1]. Veličina F_0 je ekvivalentna žižna daljina koju ima sistem (u slučaju moje izrade ona je jednaka $F_0 = 500$ mm), a I_0 prečnik lika Sunca koji daje sistem. U [1] se preporučuje da žižna daljina sočiva O2 bude između 50 i 150 mm, a sočiva O3 između 100 i 200 mm.

Izrada

Pri gradnji koronografa, odlučio sam da to bude samostalan uređaj, a ne dodatak koji se montira na teleskop (kako je prezentovano u [1]). Ovakav pristup je malo olakšao postupak jer se izbegla gradnja adaptera teleskop-koronograf. Kvalitetan adapter te vrste je prilično teško napraviti zbog toga što on mora biti od vrlo izdržljivog materijala, nekog metala, da

bi podneo težinu celog koronografa sa fotoaparatom na kraju. U ovom slučaju bi čak moglo doći i do oštećenja fokusera teleskopa (na koga bi bila montirana teška konstrukcija). Drugim rešenjem (koronograf kao samostalni uređaj) se doduše gubi na kvalitetu optike, jer sočivo koje sam koristio za objektiv nije kvalitetno, kao objektiv kupljenog teleskopa. Međutim, moje je mišljenje da je ovo rešenje lakše izvesti.



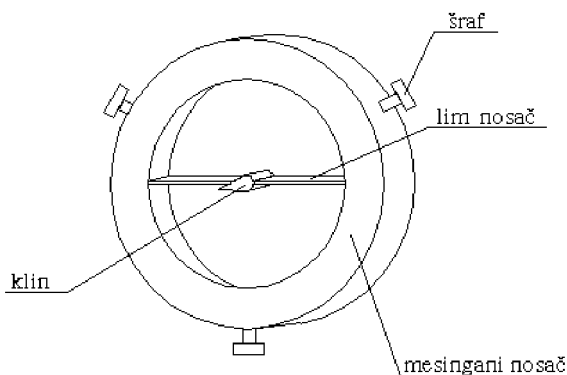
Slika 2.
Nosac sočiva

Figure 2.
Lense mount.

Za tubus koronografa je upotrebljena plastična cev (prečnika 75 mm) koja se koristi za vodovodne instalacije. Pošto ceo koronograf ima pet elementa koji moraju biti dobro centrirani, a skoro sve veličine zavise od d_1 koja se unapred tačno nezna, moralo se ostaviti mesta za podešavanje posle montiranja u cev. Tako cev na određenim proračunatim mestima (vidi formule 1.3.-1.5) ima otvore u koje ulaze šrafovi (njih tri, postavljenih po 60 stepeni) koji drže nosače sočiva. Na ovaj način se sva sočiva mogu pomerati duž sve tri ose i posle montiranja u cev.

Nosači sočiva su izrađeni od plastike i to iz dva dela A i B (kao na slici 2). Svaki poklopac nosača ima otvor nešto manji od prečnika sočiva, tako da ujedno služi i kao dijafragma za otklanjanje sferne aberacije. U finalnoj konstrukciji sam izbacio dijafragmu D_2 . Inače, upotrebljena sočiva imaju karakteristike koje su date u tabeli 1. Veličina D_k je prečnik sočiva umanjen dijafragmom (poklopcem nosača). Sočivu O_2 je posebnom crnom kartonskom dijafragmom koja je stavljena preko njega smanjen prečnik, jer on ne treba da bude veći od $3 I_1$ [1]. Klin je izrađen od mesinga prečnika 4.8 mm. Žična daljina sočiva O_1 je 500 mm tako da proračunata vrednost (formula 1.1) za I_1 iznosi 4.65 mm, međutim, korisno je da prečnik bude uvek veći od proračunate vrednosti za 0.1-0.3 mm. Za klin je napravljen poseban nosač koji se montira ispred sočiva O_2 (sl. 3).

Nosač je takođe od mesinga jer se klin pri posmatranju zagreva. Vrlo je važno da klin bude oštih i glatkih ivica, bez neravnina, jer u suprotnom dolazi do difrakcije na neravninama, što zamućuje sliku oko ruba Sunca. Vrlo male neravnine, koje su preostale na klinu posle njegove izrade, su i



Slika 3.
Nosaa za klin.

Figure 3.
Wedge mount.

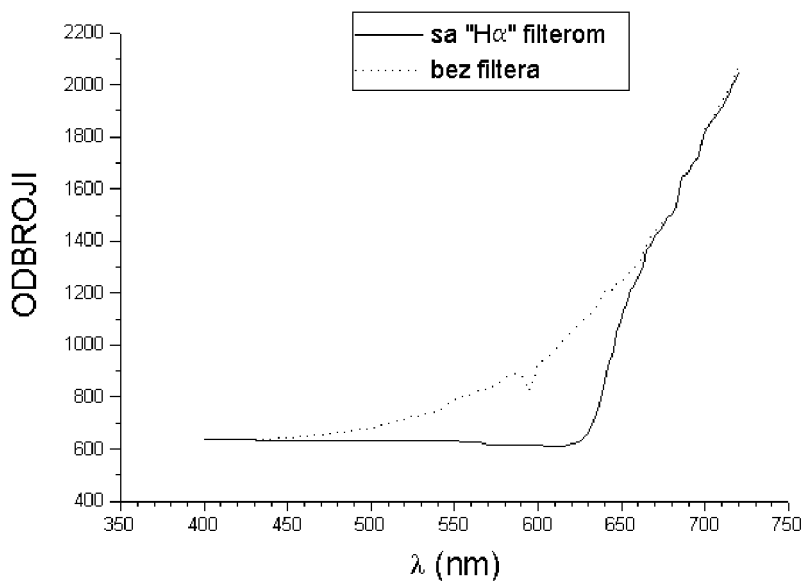
glavni nedostatak ovog koronografa. Budući da je klin od mesinga, jedna od ideja je bila da se očisti pod mikroskopom (pomoću nekih kiselina možda), međutim zbog teške izvodljivosti od toga sam odustao.

Na konačnoj slici se, naravno, pojavljuje i senka lima – nosača klina (zbog toga se preporučuje da on bude vrlo tanak, tj. 1 mm). Lim onemogućava da se pojas oko Sunčevog ruba vidi po celom obimu, međutim u praktičnom radu ovo ne predstavlja smetnju. Koronograf se uvek može zarotirati po svojoj uzdužnoj osi i onda se mogu videti delovi oko ruba koji su bili zaklonjeni.

Na kraju kvalitet slike zavisi i od upotrebljenog filtera. U ovoj konstrukciji upotrebljen je LUMICON $H\alpha$ pass filter (za crno-belu fotografiju) čije su spektralne karakteristike posebno snimljene (prilog 1). To je postignuto pomoću monohromatora i fotometra (SSP-3). Kroz monohromator je propuštana svetlost (za izvor je korišćena lampa sa užarenim vlaknom) talasnih dužina od 400 do 720 nm, i pri tome su beleženi odbroji koje daje fotometar. Za svaku talasnu dužinu su beležena dva odbroja - „čisti” odbroj fotometra (t.j. intenzitet svetlosti izvora na toj talasnoj dužini, i odbroj kada je između fotometra i izvora postavljen filter. Rezultati ovih merenja prikazuje gornji grafik na slici 4. U opsegu od 400-500 nm, korak između talasnih dužina na kojima su beleženi odbroji je bio 10 nm, da bi bio postepeno smanjivan do 2 nm kako se približavao crveni deo spektra. Donji grafik pokazuje, uslovno rečeno, propusnost filtera koja je dobijena na osnovu ovih merenja. Kao što se vidi, filter propušta prilično širok deo crvenog spektra, što je loše. Doduše, to je samo fotografski filter i nije pravljen za ovako specijalizovanu primenu. Profesionalni specijalni filteri za posmatranje Sunca u $H\alpha$ opsegu propuštaju okolinu manju od 0.5 nm za protuberance na rubu i 0.1 nm na disku! Inače, pri obavljanju ovih merenja, primećeno je da se propusnost filtera uvećava više puta ukoliko svetlost ne pada pod pravim uglom na njegovu površinu. Kvantitativna i kvalitativna određivanja ovog efekta nisu vršena, ali je to skrenulo pažnju da je pravilno postavljanje filtera (centriranje) potrebno i važno.

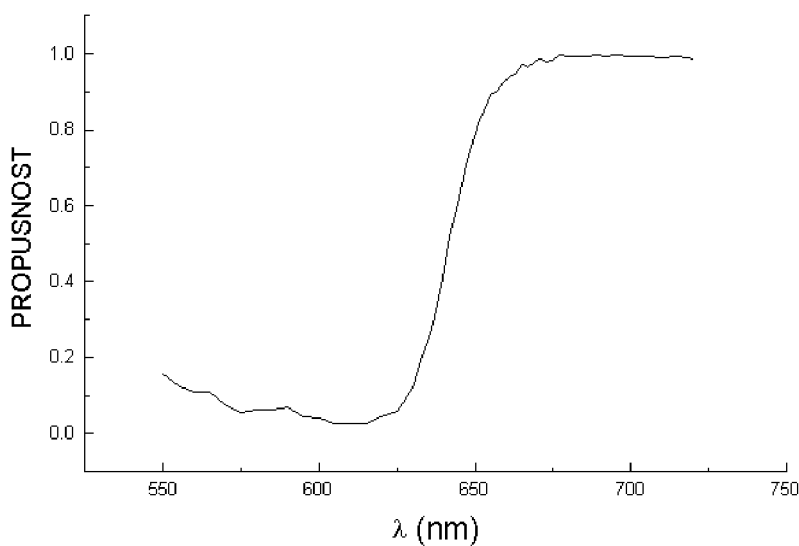
Rezultati

Pri prvim pokušajima koronograf je postavljen na altazimutalnu montažu, međutim od nje se brzo odustalo. Ispostavilo se da i najmanja pojava Sunčevog diska pored ivice klina dovodi do pravog bljeska svetlosti koja se ne sme posmatrati nezaštićenim okom. Odatle je zaključeno da je upotreba preciznog praćenja obavezna (što nije uopšte navedeno u literaturi).



Slika 4.
Spektralna
karakteristika $H\alpha$
LUMICON filtera.

Figure 4.
Spectral
characteristic off
 $H\alpha$ LUMICON filter.



Stoga je koronograf montiran na tubus teleskopa MEADE LX6 sa čijim praćenjem radi dosta dobro. Korišćenjem okulara HM 20mm dobija se vidno polje od oko 1 stepena (vizuelna procena), međutim kada se montira fotoaparatus (ZENIT) zbog snimanja u okularskoj projekciji, on „iseče” deo vidnog polja. To ne utiče na rad, jer se i onako mora snimati samo ona oblast oko Sunca na kojoj se nalazi pojava. Zbog loših vremenskih uslova nije bilo prilike da se urade ni test snimci za određivanje optimalnog trajanja ekspozicije. U nekoliko kratkih navrata Sunce je posmatrano vizuelno kroz koronograf međutim tada nisu primećene nikakve nepravilnosti na limbu. Ovo nije začudjujuće jer protuberance obično „izviru” iz većih grupa Sunčevih pega, a kako je u vreme rada Sunce bilo oko minimuma aktivnosti, verovatno da tada i nije bilo većih protuberanci koje bi se mogle posmatrati ovim instrumentom.

Literatura

- [1] Rusin A. 1995. *Galaksija* 247.
- [2] Kučera V. 1959. *Praktični astronom*. Zagreb: Tehnička knjiga.

Milan Bogosavljević

The Coronagraph

In this text, according to the Bernard Lyot's idea from the year 1931, a construction of an optical instrument – the coronagraph – is described. Its assignment is to enable visual observing and photographing Sun's prominences in amateur conditions.

