

VEGA

ISSN 2991-6178

# HORIZONTI

ZNANSTVENO EDUKATIVNI ČASOPIS / BR. 11 / SRPANJ - KOLOVOZ 2025.

## CroCube

Prvih 200 dana u orbiti

## Snaga munje

Fizika iza nebeske iskre

## Satelitska tehnologija

Teleskopi koji promatraju Zemlju

## Zvezdarnica Vera Rubin

Počelo snimanje noćnog neba



**ZA IZDAVAČA:**

Astronomsko društvo VEGA  
Ivana pl. Zajca 39, Čakovec  
OIB: 47022126293  
ISSN 2991-6178

**GLAVNI UREDNIK:**

Zoran Novak

**ZAMJENIK GLAVNOG UREDNIKA:**

Dragutin Kliček

**UREDNIŠTVO:**

dr. sc. Dejan Vinković  
Miroslav Smolić  
dr. sc. Igor Gašparić  
Melita Sambolek, prof.  
Karmen Buza Habijan, prof. mentor  
dr. sc. Miljenko Čemeljčić

**AUTOR FOTOGRAFIJE****NA NASLOVNICI:**

Vedran Vrhovac  
Promatranje kroz teleskop

**GRAFIČKO OBLIKOVANJE****I PRIJELOM:**

Dragutin Kliček, Zoran Novak

**LEKTURA:**

Valentina Jozić Preksavec, prof.

**KONTAKT:**

vega-horizonti@advega.hr

**ČAKOVEC, SRPANJ-KOLOVOZ 2025.**

Izlazi dvomjesečno od 2023. godine  
br. 11

Digitalno izdanje  
www.advega.hr

*Suglasni smo da uz navođenje izvora  
i autora kopirate, umnažate i citirate  
sve tekstove objavljene u časopisu.*

# RIJEČ UREDNIKA

## Zoran Novak

Astronomsko društvo Vega



Dragi čitatelji,

dok pišem ovaj uvodnik, teško je s uma izbaciti misli o nemirima koji nas svakodnevno okružuju. Otvorimo li bilo koji internetski portal, uključimo li radio ili televiziju, gotovo je sigurno da ćemo naići na vijesti o ratovima, sukobima i razaranjima. Negativne informacije dolaze sa svih strana, oblikujući atmosferu nesigurnosti i tjeskobe koja nas sve pomalo opterećuje.

U takvom okruženju, možda više nego ikada, potrebna nam je pozitivna energija. I kao pojedincima i kao društvu. Upravo zato u našem časopisu nastojimo širiti dobre vijesti i naglašavati uspjehe. Ne ignoriramo stvarnost, ali biramo njezinu svjetliju stranu. Jedina "negativna" vijest kojom se mi ustrajno bavimo odnosi se na svjetlosno onečišćenje, odnosno pretjerano postavljanje rasvjetnih tijela koje bitno utječe na ljudsko zdravlje, ali i ugrožava tamno noćno nebo, naš prozor u svemir.

U ovom broju s posebnim veseljem izdvajamo jednu iznimno lijepu vijest koja nam dolazi iz Petrijevac kraj Osijeka, gdje je održano državno natjecanje iz astronomije. Na natjecanju je Zara Manojlović, učenica 1. razreda Prve gimnazije Varaždin i polaznica Centra izvrsnosti iz astronomije u Varaždinu, osvojila prvo mjesto u svojoj kategoriji. Raduje nas njezin uspjeh, ali i predanost koju pokazuje u svom radu. Ponosni smo što su članovi Astronomskog društva Vega i ove godine dali velik doprinos radu Centra, kako kroz održavanje predavanja i edukacija, tako i kroz praktičan terenski rad i snimanja teleskopom.

Uz Zaru, Centar pohađa i veći broj učenika različitih uzrasta, a svi redom ostvaruju vrlo dobre rezultate, što potvrđuje koliko je važno ulagati u kvalitetnu edukaciju i pružiti mladima priliku da razvijaju svoje talente. Kroz rad s mladima, prepoznali smo i niz izazova s kojima se suočavaju edukatori astronomije. To nam je bio povod da ove godine organiziramo susret edukatora astronomije.

Tijekom susreta razmijenjena su dragocjena iskustva s terena, jasno su istaknuti ključni problemi s kojima se nastavnici susreću, ali su i doneseni konkretni prijedlozi za poboljšanja. Susret je bio i prilika da članovi Astronomskog društva Vega predstavljaju novi priručnik za fotometriju, koji će, vjerujemo, biti značajna pomoć svima koji se bave edukacijom. Priručnik je osmišljen tako da približi osnovne metode fotometrije kroz jednostavne i primjenjive upute, čime se olakšava rad i onim edukatorima koji nemaju pristup sofisticiranoj opremi.

## KAZALO

**Državno natjecanje iz astronomije**

Teleskopom AD Vega do prvog mjesta

4 - 7

**CroCube**

Prvih 200 dana u orbiti

8 - 9

**Satelitska tehnologija**

Teleskopi koji promatraju Zemlju

10 - 11

**Međimurska priroda**

Osvijetljen most u Murskom Središću

12

**Astronomsko društvo Vega**

Susret edukatora astronomije

13

**Zvezdarnica Vera Rubin**

Počelo je snimanje noćnog neba

14 - 15

**Poster**

Prva slika sa zvezdarnice Vera Rubin

16 - 17

**U društvu oblaka**

Električna pražnjenja u gornjoj atmosferi

18 - 20

**Atmosferska optika**

Ljetna "vatrena duga"

21

**Snaga munje**

Fizika iza nebeske iskre

22 - 23

**Astronomija**

Otvoreni skupovi zvijezda

24 - 27

**Promatračka astronomija**

Višestruke zvijezde za ljetnu razbibrigu

28 - 29

**Astronomski kalendar**

Karta neba

30 - 31

## Labuđe maglice

Zvijezde Labuda (Cygnus) bogato je međuzvjezdanim plinom i prašinom. Dominantne strukture na fotografiji su emisijske maglice Sjeverna Amerika (NGC 7000) i Pelikan (IC 5070), udaljene približno 1.500 svjetlosnih godina od Zemlje. Obje maglice dio su istog oblaka plina i prašine, a njihova crvenkasta boja rezultat je emisije vodikovih atoma (H-alfa linija) pobuđenih ultraljubičastim zračenjem mladih, vrućih zvijezda. Maglica Sjeverna Amerika, smještena lijevo na slici, ime je dobila zbog svoje prepoznatljive

siluete koja podsjeća na sjevernoamerički kontinent. Desno od nje nalazi se maglica Pelikan. Između ove dvije maglice nalazi se tamni pojas međuzvjezdane prašine koji ih optički razdvaja, iako su fizički povezane. Na slici se jasno ističe i Deneb, najsajjnija zvijezda u Labudu. Deneb je udaljen oko 2.600 svjetlosnih godina, a zajedno sa Vegom i Altairom čini asterizam poznat kao Ljetni trokut. Iako se čini blizu maglica, Deneb se nalazi znatno dalje i zapravo nije fizički povezan s njima.



FOTO: Zoran Novak



## DRŽAVNO NATJECANJE IZ ASTRONOMIJE

# Teleskopom AD Vega sa zvjezdarnice u Čakovcu do prvog mjesta

Piše:

dr. sc. Dejan Vinković

Kroz suradnju AD Vega i Centra izvrsnosti iz astronomije u Varaždinu ove je školske godine održan niz tečajeva i praktičnih radionica za učenike, kao i snimanja noćnog neba fotoaparatom AD Vega i sa Zvjezdarnice u Čakovcu uz pomoć novog teleskopa, astrokamere i filtrima koje je sve AD Vega nedavno nabavila zahvaljujući donaciji Grada Čakovca.

U prošlom broju Vega horizonta pisali smo o tome kako je taj trud učenika rezultirao nizom praktičnih radova na Državnom natjecanju iz astronomije u kategorijama osnovnih i srednjih škola. Uz to, kroz sve radove protezala su se znanja stečena i pomoću našeg priručnika *Astronomska fotometrija za početnike* čiju je izradu pokrenulo AD Vega i koji je sada javno dostupan na: <https://fotometrija.advega.hr>

Praktični radovi kojima je podršku pružilo i AD Vega bili su vrlo zanimljivi i jako dobro ocijenjeni na natjecanju. Konačni plasmani su bili kombinacija praktičnog rada i pisanog testa, te nam je posebno drago da je učenica **Zara Manojlović** iz Prve gimnazije u Varaždinu pritom osvojila prvo mjesto u kategoriji prvih razreda srednje škole (slika 1). Njezin mentor bio je Denis Barčot (Prva gimnazija Varaždin), a komentor Tomislav Horvat (Elektrostrojarska škola u Varaždinu). Zara je u svom radu istražila kvalitetu fotometrije koja se može postići uz pomoć nove opreme na zvjezdarnici u Čakovcu. Do-



Slika 1: Zara Manojlović (Prva gimnazija u Varaždinu) kod dodjele nagrade za prvo mjesto na Državnom natjecanju iz astronomije 2025.

bila je zanimljive rezultate koji sada AD Vega služe za daljnju fotometrijsku kalibraciju opreme.

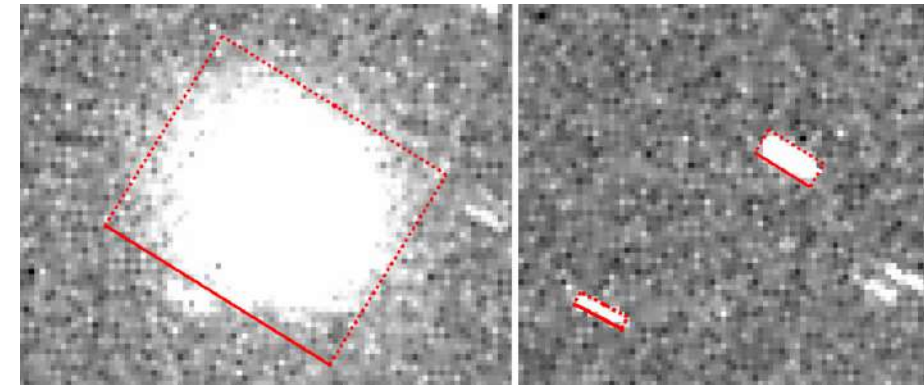
U nastavku ćemo u kratkim crtama opisati radove kojima je podršku pružilo AD Vega, sa nadom da će neki od tih radova poslužiti kao inspiracija budućim mladim astronomima. Krenuti ćemo od najmlađih.

## Oblik i sjaj zvijezda na slikama bez praćenja neba

**Ivan Elatki** (5. razred, I. osnovna škola Varaždin, mentorica Milica Žabčić) bavio se analizom oblika zvijezda na slikama fotoaparatom bez praćenja vrtnje neba. Radi se o zanimljivom pitanju u kakvom su odnosu dužina i širina traga zvijezde za različiti sjaj

zvijezda ako nemamo praćenje. Na prvi pogled čini se kao jednostavno pitanje, ali problem nastaje stoga što se s većim sjajem zvijezde povećava veličina zvijezde na slici, a gibanje neba povećava samo dužinu. Stoga su mjerenja pokazala pomalo kompliciraniji rezultat.

Mjerenja su rađena u programu SAOImageDS9 tako da se na sliku zvijezda postavio pravokutnik kojem se onda očitala širina i dužina u jedinicama broja piksela (slika 2). Uz to izmjeri se pravokutnik koji je mrvicu preveliki i mrvicu premali, kako bi se dobio raspon moguće pogreške mjerenja. Ivanov zadatak bio je naučiti kako raditi snimanje neba fotoaparatom Canon EOS1200, te je iz



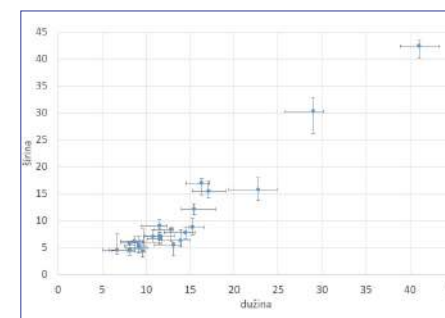
Slika 2: Mjerenja širine i dužine traga zvijezde na slikama bez praćenja vrtnje neba.

niza napravljenih snimanja odabrana fotografija s ISO 800 i 4 sekunde ekspozicije. Zatim je naučio kako raditi mjerenja, kako bi izmjerio oblik zvijezda različitog sjaja, gdje se sjaj mjerio kao maksimalna vrijednost piksela unutar pravokutnika.

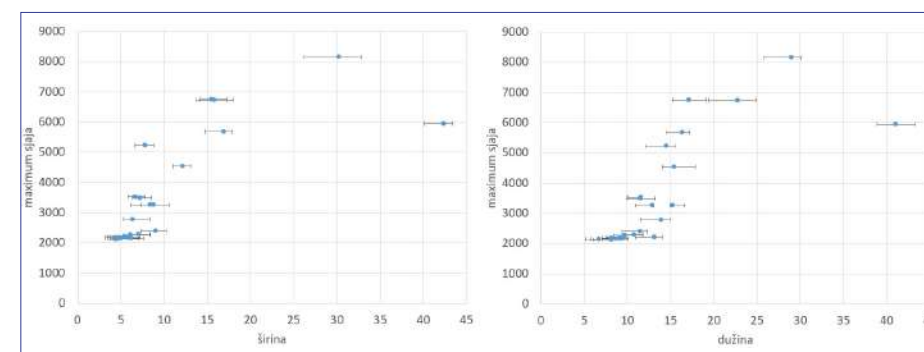
Rezultati na slikama 3 i 4 pokazuju zanimljivu priču. Sjajne zvijezde izgledaju više kao kvadrat, dok one slabog sjaja su razvučene u crtu. Zatim, zvijezde vrlo slabog sjaja nemaju sjaj na slikama jednak nuli, nego se približavaju nekoj minimalnoj vrijednosti. Ta vrijednost je posljedica načina kako rade kamere, koje dodaju neku konstantu vrijednost pikselima čak i kada nema svjetla. Uz to, kako zvijezde postaju vrlo slabog

sjaja, širina im ide prema nuli, ali ne i dužina. Zapravo, zvijezde koje se jedva vide imaju širinu od oko 4 piksela (jer inače je teško uopće prepoznati je li to pozadinski šum ili zvijezda), ali dužina im je 7-9 piksela. Razlog je u tome što i najmanja zvijezda na slici je razvučena u liniju zbog gibanja neba i zato dužina ne može biti nula.

**Tea Cepanec** (6. razred, III. osnovna škola Varaždin, mentor Tomislav Leček) pristupila je toj temi malo drugačije. Istraživala je kako se vrijednost maksimalnog sjaja piksela zvijezde mijenja s dužinom ekspozicije. Koristila je fotografije koje su Ivan i ona napravili uz ISO 800 i ekspozicije od 1 do 30 sekundi. Zatim je na svim slikama pronalazila jednu te istu zvijezdu i potražila joj maksimalni piksel na svakoj od slika. Uz to, svakoj zvijezdi na svakoj od slika trebalo je odrediti i sjaj pozadine tako da se je potražio medijan piksela u blizini zvijezde. Pozadina se oduzimala od sjaja piksela zvijezde. To je sve mjerila za zvijezde različitog sjaja. Ispalo je da su najsajnije zvijezde bile u saturaciji (maksimalnoj vrijednosti koje fotoaparat dopušta pikselima), te se stoga nisu mogle koristiti

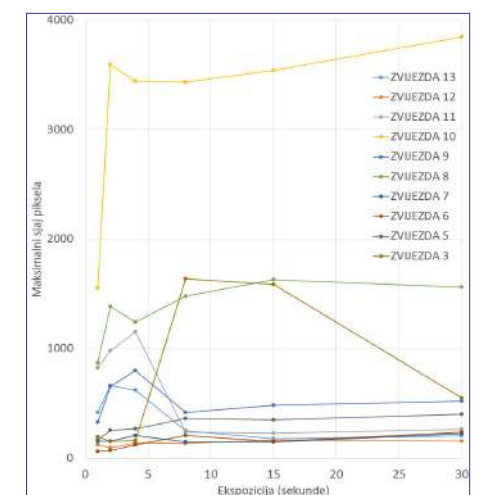


Slika 3: Izmjerene dužine i širine zvijezda na slici bez praćenja vrtnje neba.



Slika 4: Izmjereni najsajnjiji piksel zvijezde u ovisnosti o dužini i širini zvijezda na slici bez praćenja vrtnje neba.

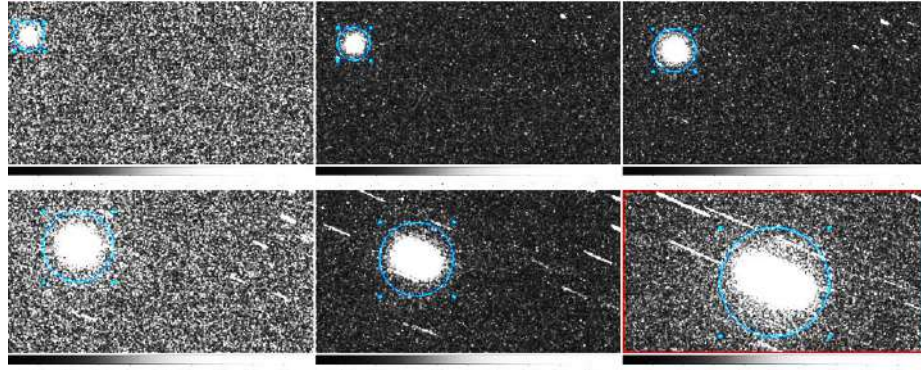
za analizu. Ali ostala mjerenja (slika 5) pokazuju vrlo kompliciranu priču. Najsajnije zvijezde pokazuju kako prvo s dužinom ekspozicije sjaj raste, da bi tada dosegao plato kod dužih ekspozicija. Ali kod zvijezda slabog sjaja, usporedivog sa sjajem pozadine, dolazi do poprilično kaotičnog ponašanja kod kraćih ekspozicija. Izgleda da varijacije u sjaju pozadine u takvim slučajevima utječu na sam iznos piksela maksimalnog sjaja zvijezde. No, kod ekspozicije od 8 sekundi na više, zvijezde pokazuju uglavnom stabilan maksimalan sjaj piksela.



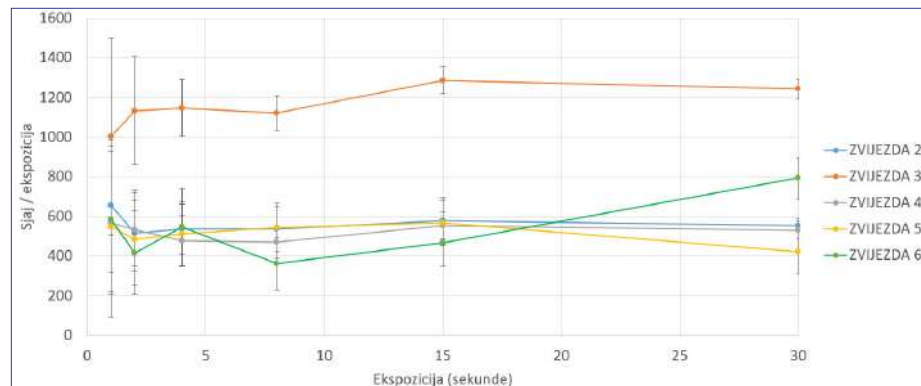
Slika 5: Maksimalni sjaj piksela zvijezda snimanih različitim ekspozicijama bez praćenja vrtnje neba.

Napredniju analizu ovog problema odradio je **Leonardo Bregović** (8. razred, Osnovna škola Vinica, mentorica Milica Žabčić) na način da je primijenio jednostavnu metodu fotometrije na takve izdužene zvijezde. Koristeći slike koje je napravio sa ISO 100 i ekspozicijama od 1 do 30 sekundi, obavio je fotometriju pomoću programa SAOImageDS9 i uputa iz našeg priručnika. Zvijezdi koja se mjeri odabere se prikladna apertura na svakoj od slika različitih ekspozicija (slika 6). To je dosta nezgodno raditi kružnom aperturom kod dužih ekspozicija zbog toga jer tragovi drugih zvijezda ulaze u aperturni krug. Stoga se često u takvim slučajevima koristio poligon koji prati oblik izdužene zvijezde. Zatim se izmjeri ukupni sjaj unutar aperture, pa medijan pozadine, i onda





Slika 6: Odabir apertura za fotometriju zvijezda na slikama različitih ekspozicija bez praćenja vrtnje neba.



Slika 7: Fotometrija zvijezda na slikama različitih ekspozicija bez praćenja vrtnje neba.

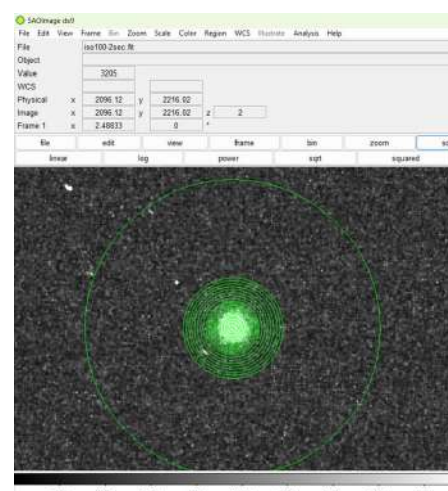
primjeni formula za izračun sjaja zvijezde i pripadna pogreška (kako je opisano u našem priručniku).

Slika 7 pokazuje rezultat za nekoliko odabranih zvijezda. Budući da bi sjaj trebao linearno rasti s dužinom ekspozicije, tada bi sjaj podijeljen s ekspozicijom trebao biti konstanta. Grafikon pokazuje komplicirano ponašanje, vjerojatno zbog utjecaja pogrešaka mjerenja. Uočava se da je pogreška (vertikalne crtice) relativno veća kod kraćih ekspozicija, te je tu i sam rezultat mjerenja podložan variranju. Kod dužih ekspozicija relativna pogreška opada, ali treba biti oprezan oko toga da se mjerenje ne kontaminira susjednim zvijezdama. Ovo je u skladu s rezultatima koje je dobila Tea, ali drugačijom metodom.

### Određivanje optimalnog radijusa fotometrijske aperture

Jedan od osnovnih problema kod fotometrije je pravilno određivanje veličine aperture. Metoda koja se pritom koristi je fotometrija sjaja zvijezde uz pomoć apertura različitih veličina. Ako je apertura prevelika, sjaj će rasti s povećanjem apertu-

re. Ako je apertura prevelika, sjaj će biti konstantan s povećanjem aperture. Optimalna apertura je ona koja je na prijelazu između ova dva ponašanja sjaja. Ovaj pristup je primijenio u svojoj radnji **Marin Nöthig** (8. razred, I. osnovna škola Varaždin, mentor Josip Kraš). Na slici 8 je primjer mjerenja različitim aperturama. Zadnji, veliki krug, jer zapravo dio prstena koji se napravi oko zvijezde radi mjerenja

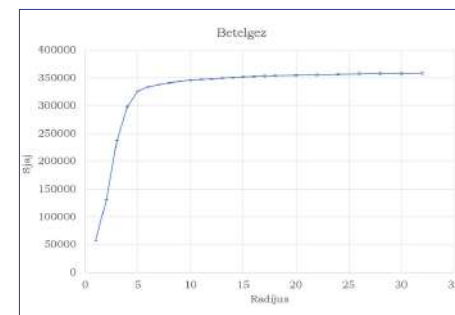


Slika 8: Određivanje optimalnog radijusa fotometrijske aperture u programu SAOImageDS9.

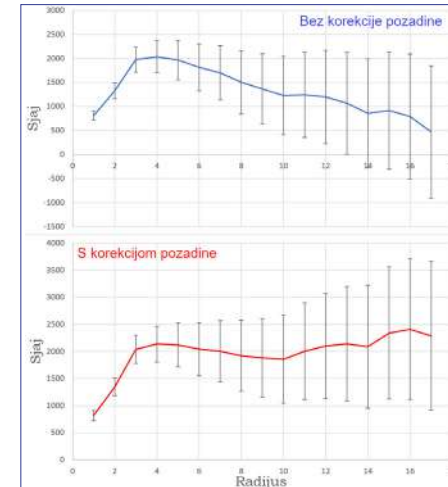
sjaja pozadine. Marin je koristio naš fotometrijski priručnik i slika 9 prikazuje njegov rezultat za zvijezdu Betelgeze. Sjaj u odnosu na radijus aperture se ponaša točno kako smo i predvidjeli. Uz to, budući da se radi o vrlo sjajnoj zvijezdi na slici, fotometrijska pogreška je relativno mala. Zanimljiviji rezultat dobio je za zvijezdu slabog sjaja.

Slika 10 pokazuje (gornji grafikon) da se kod većih radijusa aperture sjaj smanjuje. To je posljedica vrlo male sustavne pogreške u određivanju sjaja pozadine, što je popraćeno i velikom pogreškom mjerenja. Budući da znamo da sjaj mora biti konstanta za te radijuse aperture, sjaj pozadine se ručno podešava tako da sjaj zvijezde postane konstantna (donji grafikon na slici 10). Time se osim optimalnog radijusa aperture dobije i preciznija vrijednost sjaja pozadine, pa time i fotometrije zvijezde.

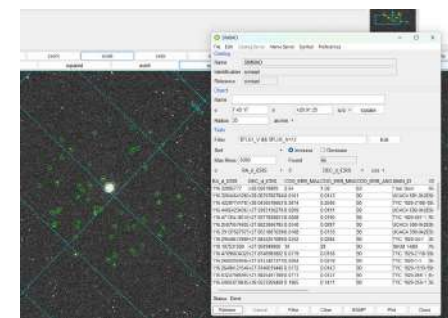
Budući da je u astronomiji u upotrebi magnituda kao mjerna jedinica sjaja, a to znači i upotreba logaritama, sve vježbe osnovnoškolaca ne koriste magnitudo. Kod srednjoškolaca nema prepreke da se uvede korištenje logaritama, tako da je **Stefani Pintarić** (3. razred, Srednja škola Ivanec, mentorica Marta Bregović Flegar, komentor Tomislav Horvat) radila napredniju verziju ove vježbe. Nakon što je snimala nebo fotoaparatom, također je koristila SAOImageDS9 za fotometriju. Međutim, prije toga napravila je i korekcije slike koristeći bias, flat field, i dark frame, kako je opisano u našem priručniku. Tek nakon tih korekcija pristupila je fotometrijskoj obradi. Uz to, na sliku je postavila i nebeski koordinatni sustav, te povukla na-



Slika 9: Određivanje fotometrijskog radijusa za zvijezdu Betelgeze.



Slika 10: Određivanje fotometrijskog radijusa za zvijezdu slabog sjaja. Gornji grafikon pokazuje problem zbog netočnog određivanja sjaja pozadine. Donji grafikon prikazuje rezultat s uključenom korekcijom sjaja pozadine.



Slika 11: Primjer povezivanja slike neba napravljene fotoaparatom i baze SIMBAD radi identifikacije zvijezda u programu SAOImageDS9.

zive zvijezda iz baze SIMBAD (slika 11). Svi ovi postupci opisani su u našem priručniku. Njezina mjerenja identificirala su slične probleme kako i kod Marinovih mjerenja, ali uz kvalitetnija mjerenja.

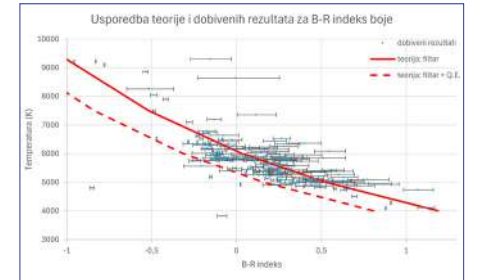
### Indeksom boja zvijezda do otkrivanja njihovih temperatura i starosti.

Posebno zanimljive bile su radnje koje su napravljene na snimkama astrokamerom (ZWO ASI2600MM Pro, hladena na -10°C) kroz teleskop AD Vega (Askar 130PHQ aperture od 130 mm) na zvjezdarnici u Čakovcu. Snimalo se kroz astronomske RGB filtre koji su mijenjani pomoću kotača za filtre. **Zara Manojlović** (1. razred, Prva gimnazija Varaždin, mentor Denis Barčot, komentor Tomislav Horvat) imala je zadatak snimati u zenit i napraviti usporedbu indeksa boje

zvijezda i njihovih temperatura.

Prije fotometrije u RGB filtrima, Zara je napravila bias, flat field, i dark frame korekcije sukladno uputama u našem priručniku. Zatim je na sliku postavila nebeski koordinatni sustav i povukla podatke o zvijezdama iz GAIA baze koristeći SAOImageDS9 program i upute iz priručnika. Fotometrijom je dobila indekse boje B-G, B-R, i G-R. Zatim je, koristeći krivulje propusnosti RGB filtra i osjetljivosti kamere koje navode njihovi proizvođači, primijenila teorijski izračun očekivanog odnosa temperature zvijezda i indeksa boje. Za to je uzela teorijske spektre zvijezda različitih temperatura iz literature (tzv. Kurucz modele) i primjenom metode matematičke konvolucije izračunala vrijednosti koje očekujemo mjerenjima. Slika 12 pokazuje jedan od rezultata, točnije B-R indeks boje. Preklapanje s teorijom je jako lijepo, pogotovo ako se uzmu u obzir pogreške mjerenja, ali uočava se jedan problem. Crtkana linija je očekivana vrijednost koja uključuje i propusnost filtra i osjetljivost kamere. No, nešto bolje preklapanje je s punom linijom, koja nema uključenu osjetljivost kamere. To je ostalo nerazjašnjeno i traži dodatno analizu i istraživanje kako bi se razumjelo ponašanje korištene opreme. Ovim je radom, uz odlično riješen test i obranu radnje, Zara osvojila prvo mjesto u svojoj kategoriji.

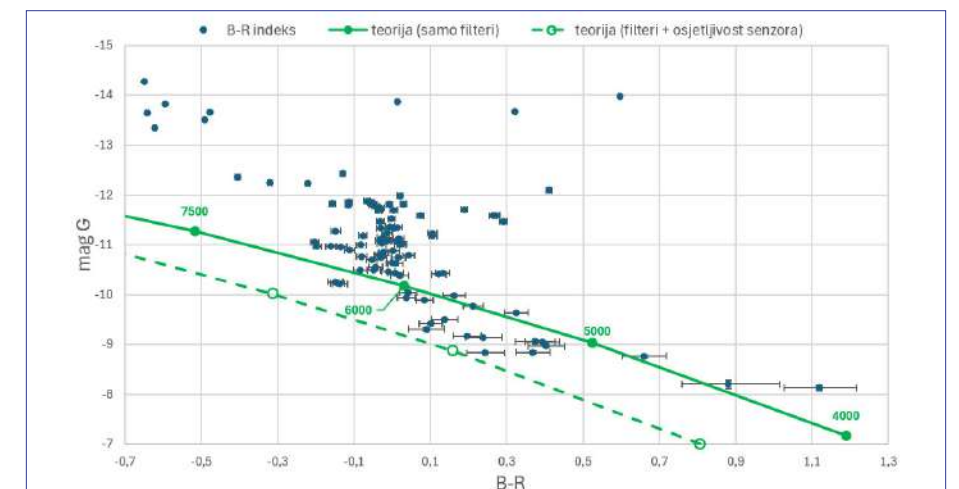
Sličan pristup mjerenjima koristili su i **Dino Bregović** i **Luka Grđan** (2. ra-



Slika 12: Ovisnost temperature zvijezda o indeksu boje. Puna linija je očekivani rezultat ako se uzmu u obzir krivulje propusnosti korištenih RGB filtra, a crtkana linija ako se tome doda i osjetljivost kamere.

zred, Prva gimnazija Varaždin, mentor Denis Barčot, komentor Tomislav Horvat). Njihov zadatak bio je snimiti jedan otvoreni skup zvijezda i napraviti HR dijagram (poveznica između sjaja zvijezda i indeksa boje, tj. temperature). Odbrali su skup M67. Kao i Zara, koristili su zvjezdarnicu u Čakovcu i tamo dostupnu opremu AD Vega. Isto tako radili su korekcije slike i teorijski izračun kao i Zara. Jedan od njihovih rezultata prikazan je na slici 13. Ovdje se još ljepše vidi kako mjerenja prate teorijsku krivulju koja uključuje samo propusnost RGB filtra. M67 je stari skup, pa se uočava odvajanje zvijezda od glavnog niza na temperaturi od oko 6,000K.

Sve radnje kojima je podršku pružilo AD Vega bile su vrlo interesantne za izradu. Puno toga se je novog naučilo i otkrilo u hodu, a učenici su uložili puno truda. Bila su to prava mala astronomska istraživanja i nadamo se da će se interes učenika za rad s opremom AD Vega nastaviti.

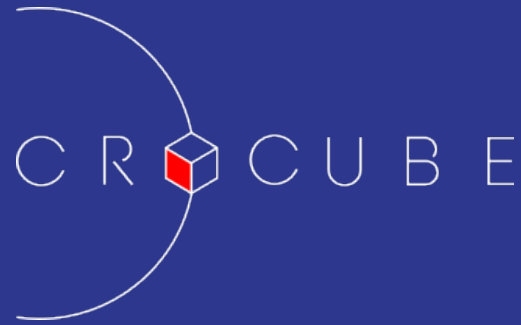


Slika 13: HR dijagram otvorenog skupa M67. Puna linija je očekivani rezultat ako se uzmu u obzir krivulje propusnosti korištenih RGB filtra, a crtkana linija ako se u obzir uzme i osjetljivost kamere.



# HRVATSKI SATELIT

## Prvih 200 dana u orbiti



Piše:

**Daniela Jović i Samuel Toman**

CroCube je u orbiti gotovo 200 dana. Od lansiranja 21. prosinca 2024. projekt je prošao kroz sve ključne faze funkcionalne validacije i komunikacije. Misija ima edukativnu i promotivnu ulogu, s ciljem pokazivanja da i manja zemlja poput Hrvatske može sudjelovati u razvoju suvremenih svemirskih tehnologija.



Prva slika s CroCubea. Oblaci i Tihi ocean

Satelit je lansiranim raketom Falcon 9 s američke baze Vandenberg, u sklopu misije s većim brojem satelita. Zbog prisutnosti primarnog korisnika (vojni satelit), video prijenos je prekinut nakon povratka prvog stupnja, bez dodatnih snimki. Potvrda o uspješnom odvajanju CroCubea stigla je otprilike dva sata nakon polijetanja, u skladu s planiranom dinamikom. Prvi signal sa satelita zabilježen je u 14:10 putem zemaljske stanice mreže SatNOGS u Južnoafričkoj Republici. Time je potvrđeno da satelit komunicira i da su njegovi sustavi aktivni.

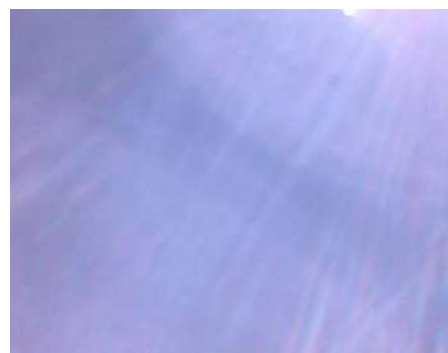
### Prve fotografije

Tijekom večeri su uslijedili prvi preleti iznad zemaljske stanice u Slo-

vačkoj. Uz primarni tehnički eksperiment tvrtke PulsarLabs, dodatnu pažnju javnosti privukla je kamera integrirana u satelit, koja ima zadatak snimanja Zemlje u svrhu popularizacije znanosti. Prve fotografije iz orbite pokazale su da i mali CubeSat formata može ostvariti funkcionalne i korisne rezultate u prikupljanju vizualnih podataka. Prije nego što CroCube pošalje fotografiju, sve mora funkcionirati besprijekorno. Prvo se uspostavlja komunikacija i provjerava stanje sustava. Ključna je energija. Provjerava se stanje baterije, potrošnja, napon na solarnim panelima, temperatura i drugi parametri. Ako je sve u redu, uključuju se kamera i računalo.

### Kamera CroCubea

Proces snimanja odvija se u nekoliko koraka. Kamera se spaja na računalo, postavlja se rezolucija i veličina segmenata slike. Nakon snimanja, dijelovi slike spremaju se u memoriju računala u JPG formatu. Tijekom preleta iznad zemaljske stanice, podaci se postupno preuzimaju putem satelitskog odašiljača. Kod



Svemir i Sunčeve zrake



Sjeverna Afrika:  
Alžir, Tunis i Libija

odabira optike važna je bila ravnoteža između širine kadra i oštrote detalja. Objektiv je dovoljno širokokutan, ali bez tzv. "fisheye" efekta. To je izobličenje slike karakteristično za ekstremno širokokutne leće. Razlog je bio jednostavan i simboličan. CroCube je htio pokazati stvarnost. Zemlja je okrugla. Čak i s visine od oko 500 km, na pravilno orijentiranoj slici može se vidjeti zakrivljenost horizonta. Budući da slika nije optički izobličena, ona je dokaz da Zemlja ni iz perspektive malog 1U satelita ne izgleda kao ravna ploča. Izgleda upravo onako kako stvarno jest. Predivna, plava i zakrivljena.

### Prijenos podataka

Snimiti fotografiju tek je prvi korak. Pravi izazov je u prijenosu na Zemlju. Slike se ne šalju u cijelosti, već u dijelovima, takozvanim "chunks". Nakon što je snimka izrađena, poda-

ci se čitaju bajt po bajt iz kamere u satelitsko računalo. Nakon otprilike 80 do 100 bajtova, podaci se pohranjuju kao jedan chunk, odnosno blok podataka. Ukupan broj blokova ovisi o veličini i složenosti snimke. Ovi blokovi spremaju se u memoriju satelita i tijekom preleta prenose jedan po jedan.

Podaci se prenose radioamaterskom frekvencijom od 437 MHz. CroCube koristi FSK modulaciju. To znači da se u svakom trenutku prenosi samo jedan bit. Logička nula predstavlja se nižom frekvencijom, a jedinica višom. Za pouzdan prijenos koristi se poznata G3RUH kodna shema sa scramblingom. To je nasumični raspored podataka s pomoću poznatog matematičkog polinoma, koji poboljšava čitljivost signala.

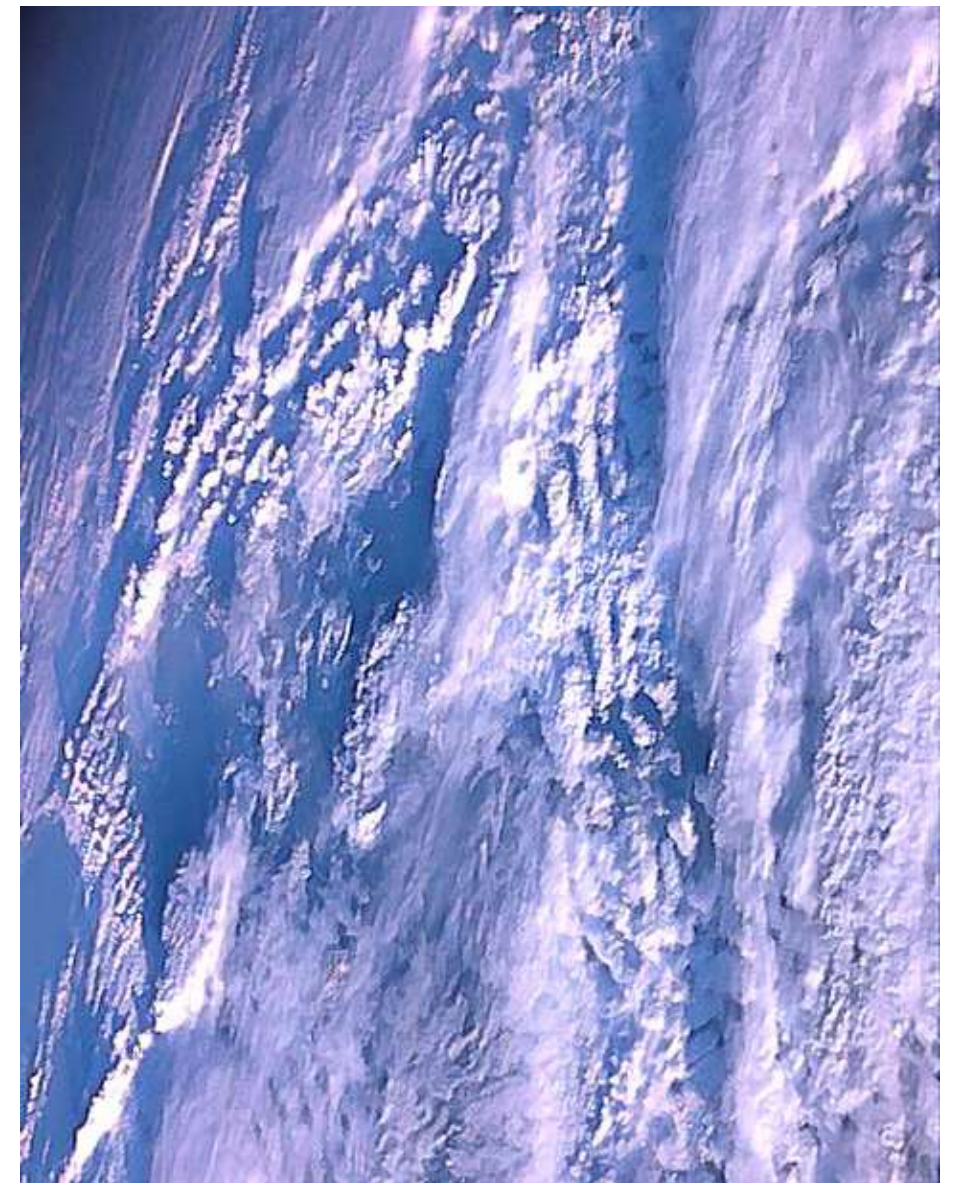
Signal između satelita i stanice nije uvijek savršen. Ako je satelit nisko iznad horizonta ili postoje smetnje, neki se chunkovi ne preuzmu. Rezultat je nepotpuna slika. Skripta za rekonstrukciju može prepoznati koji chunkovi nedostaju i izraditi popis koji se zatim koristi za ponovno preuzimanje u idućim preletima.

### Fotografski izazov

Fotografiranje iz satelita ne zvuči teško. Sve dok ne shvatite da se CroCube kreće 7.6 km/s na visini od 500 km i stalno se okreće. Stabilizacijski sustav može usporiti rotaciju, ali ne i potpuno je zaustaviti. Rezultat? Mnoge snimke ne zahvaćaju Zemlju, već crnu pozadinu svemira ili Sunce. Takve slike imaju samo nekoliko desetaka chunkova i lako ih je prepoznati. Kvalitetna snimka često ima više od 600 chunkova.



Prikaz preuzimanja chunkova i rekonstrukcije slike:  
1. Otprilike 60% preuzeto; 2. Zadnji nedostajući chunk; 3. Cijela slika.



Zora nad Hrvatskom

CroCube funkcionira s ograničenom količinom energije iz baterije. Ako napon padne ispod kritične razine, sustav se automatski prebacuje u štedni način rada. Kamera i ostali moduli se isključuju kako bi satelit preživio i ponovno se napunio. Čak i kada sve funkcionira, to ne zna-

či da će snimka biti dobra. Velik dio Europe često je pod oblacima. Kamera tada doduše snimi Zemlju, ali snimka pokaže samo sivu zavjesu. Zato je svaka slika s CroCubea rezultat savršenog spleta okolnosti. Dobra orijentacija, puna baterija, dovoljno memorije, vedro nebo i dobro vrijeme preleta. U tome je ljepota i izazov svemirske fotografije. Ništa nije sigurno, ali svaki uspjeh zato vrijedi još i više.

Misija CroCube dokaz je da svemir nije rezerviran samo za velesile. Ona je i poziv mladima. Učite, eksperimentirajte, stvarajte. Satelit koji danas leti iznad naših glava bio je prije samo nekoliko godina tek ambiciozna ideja. Danas je simbol onoga što se sve može postići kada se spoje stručnost, entuzijizam i timski duh.



## SATELITSKA TEHNOLOGIJA

# Teleskopi koji promatraju Zemlju

## Uvod u daljinsko opažanje

Piše:

Nikola Strah, dipl. ing. fizike

Promatrajući noćno nebo, često uočavamo svijetle točke koje se iznenada pojave, brzo putuju nebom, ponekad snažno zabljesnu i potom nestanu. Kao astronomima, poznato nam je da su to sateliti.

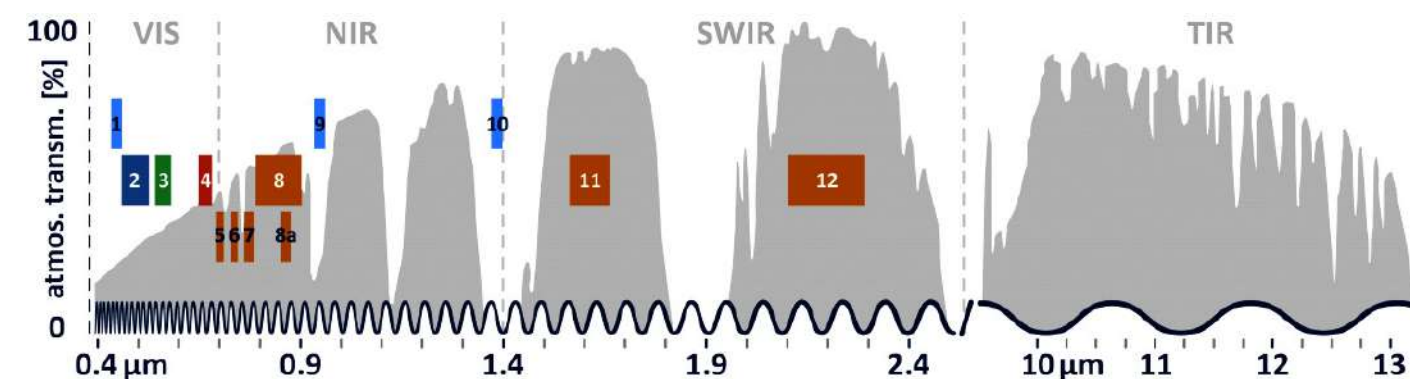
Prema podacima baze CelesTrak Sjevernoameričkog zapovjednog centra NORAD, oko Zemlje trenutno kruži približno 11.800 aktivnih satelita. Ti sateliti služe različitim svrhama: vojno-sigurnosnim primjenama, komunikaciji, satelitskom internetu i drugima. U ovoj seriji članaka fokusirat ćemo se na jednu posebnu skupinu: satelitima za daljinsko opažanje Zemlje. Procjenjuje se da ih ima između 1200 i 1400, a čak 95 % njih nalazi se u niskoj Zemljinj orbiti – na visinama između 200 i 800 km, odnosno najviše do 2000 km iznad površine, prema podacima britanske konzultantske tvrtke Pixalytics.

### Daljinsko opažanje

Daljinsko opažanje, prema definiciji voditelja Ureda za znanstvenu podršku u NASA-i, Stevena Grahama, predstavlja znanost, a ponekad i umjetnost, identifikacije, promatranja i mjerenja objekata bez izravnog fizičkog kontakta. Astronomija je, u tom smislu, klasičan primjer daljinskog opažanja – bilo da promatramo Sunce, Mjesec i planete, ili udaljene galaksije i zvijezde. Temeljni princip je isti: kako bismo izvršili mjerenje na udaljenom objektu, koristimo senzore za detekciju elektromagnetskog zračenja u određenim valnim duljinama. Na primjer, CCD senzor na optičkom teleskopu bilježi broj fotona u svakom pikselu. Kod satelitskog opažanja Zemlje, umjesto svemirskih tijela, promatramo površinu Zemlje – mjerimo broj fotona koji dolaze s nje ili se odbijaju od nje i

to u različitim dijelovima elektromagnetskog spektra.

Takva mjerenja omogućuju uvid u sastav i stanje različitih parametara na površini Zemlje. Na temelju analitičkih i statističkih metoda, kao što je analiza vremenskih nizova, možemo izvući dodatne korisne informacije – primjerice o vrsti vegetacije ili njenom zdravlju. Vrsta i intenzitet zračenja otkrivaju mnogo o opaženom objektu – bez da mu se uopće približimo. Time se satelitske snimke bitno razlikuju od fotografija. Kad analiziramo fotografiju, opažat ćemo veličinu, oblik i eventualno boju objekata na fotografiji, no nećemo mjeriti broj fotona u svakom pikselu niti ćemo pokušati izvući zaključke iz izmjerenih podataka. Za razliku od fotografija, satelitske snimke u ovom primjeru predstavljaju fizikalno mjerenje koje nam omogućuje razumjeti što



Dijagram valnih duljina na kojima Sentinel-2 opaža ("kanali"), u vidljivom, bliskom infracrvenom i kratkovalnom infracrvenom dijelu elektromagnetskog spektra. Izvor: <https://blogs.fu-berlin.de/reseda/sentinel-2/>

se događa na udaljenom objektu kojeg promatramo.

### Primjer iz prakse

Pogledajmo konkretan primjer primjene satelitskih podataka u različitim dijelovima spektra. Područje oko jezera Peerless i Trout Lake u kanadskoj Alberti nedavno je pogođeno velikim šumskim požarima. Na području veličine oko 4000 km<sup>2</sup> detektirano je više od 50 požara (izvor: vlada savezne države Alberte). Na slici snimljenoj 12. lipnja 2025. satelitom Sentinel-2 Europske svemirske agencije jasno su vidljivi dim i vegetacija. Vidimo da je čitavo područje zamučeno od dima. Iznad središta slike vidimo i ogromno tamno, izgorjeno područje. No stvari postaju još zanimljivije kad promijenimo valnu duljinu u kojoj promatramo.

### Infracrveni spektar

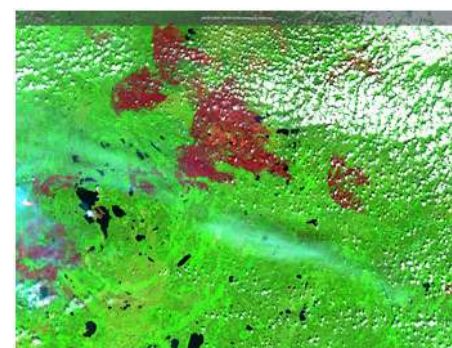
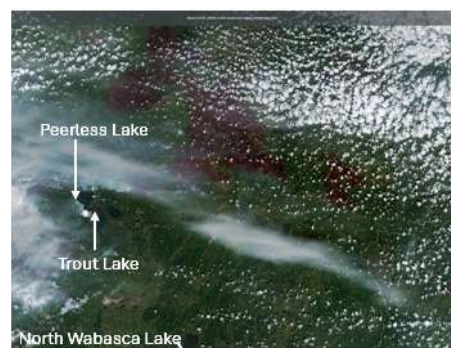
Zamijenimo li boje koje prikazujemo na slici, možemo izvući dodatne informacije. Na primjer, ako na mjesto crvene boje postavimo valnu duljinu u bliskom infracrvenom (842 nm), zdrava vegetacija će izgledati intenzivno crveno – jer je u tom području elektromagnetskog spektra zračenje snažno reflektirano i klorofil ga ne apsorbira. Taj mehanizam sprječava pregrijavanje biljaka i drveća. Ako crvenu boju zamijenimo zelenom (665 nm), koja se snažno apsorbira u lišću, a plavu zamijenimo zelenom (560 nm), koja je umjerenom reflektirana, dobit ćemo potpuno drukčiju sliku. Na toj snimci crvena područja označavaju ona

sa zdravom vegetacijom (snažna refleksija u bliskom infracrvenom). Tamno crvena boja ukazuje na gustu vegetaciju. Plava ili crna boja predstavljaju vodena tijela (koja ne reflektiraju svjetlost u tim valnim duljinama). Smeđa ili tamna područja upućuju na površine bez vegetacije ili spaljene terene. Pritom vidimo dim još uvijek u bijeloj boji, jer čestice dima raspršuju valne duljine koje promatramo u sve smjerove.

### Promjena spektra

U drugom prikazu (slika 1 - desno) koristimo tzv. "Short-Wave Infrared" (SWIR) kompozit. U ovom slučaju dim postaje gotovo nevidljiv, jer kratkovalni infracrveni valovi lakše prolaze kroz čestice dima. U toj slici crvena prikazuje valnu duljinu od 2190 nm (SWIR-2), zelena 865 nm (blisko infracrveno), a plava prikazuje 665 nm (crvena). Na snimci ćemo vegetaciju vidjeti u različitim nijansama zelene, plava područja će nam pokazivati predjele bez vegetacije (golo tlo ili građevine), no spaljena područja i

područja pod požarom bit će lako vidljiva jer ti tereni snažno reflektiraju kratkovalno infracrveno zračenje. Jedna od glavnih karakteristika satelita za daljinsko opažanje je njihova spektralna rezolucija: u kojem području elektromagnetskog spektra i na kojim valnim duljinama (tj. "kanalima") su promatranja moguća. Ovaj nam primjer pokazuje da je vrlo bitno izabrati valne duljine na kojima možemo detektirati stanje objekata koje nas zanima, te da je bitno znati i karakteristike površine objekata koje promatramo, na kojim valnim duljinama je zračenje reflektirano ili apsorbirano. Sentinel-2 ima 13 kanala na kojima je opažanje moguće, s različitim prostornim rezolucijama: u vidljivom području je rezolucija 10 m, a u kratkovalnom infracrvenom 60 m. Pregled kanala je dan na slici 2. U sljedećem nastavku detaljnije ćemo istražiti različite vrste satelitskog daljinskog opažanja, vrste rezolucija koje se koriste i načine tumačenja podataka koje dobivamo iz satelitskih snimki.



Satelitske snimke snimljene 12. lipnja 2025. satelitima Sentinel-2 Europske svemirske agencije u području Peerless Lake / Trout Lake u kanadskoj saveznoj državi Alberti. Lijevo snimka u vidljivom dijelu spektra (crveno - zeleno - plavo), u središtu snimka u lažnim bojama (crvena boja predstavlja blisko infracrveno - objašnjenje u tekstu), a desno snimka također u lažnim bojama (crveno predstavlja kratkovalno infracrveno). Na snimkama je jasno vidljivo izgorjeno područje prouzrokovano masivnim požarima u Alberti. Izvor: Sentinel Hub.



Snimka Međimurja, snimljena 13. lipnja 2025. satelitima Europske svemirske agencije Sentinel-2. Izvor: Sentinel Hub.



## NEGATIVAN UTJECAJ NA ŽIVOTINJSKI SVIJET

Osvijetljen most  
u Murskom Središću

Piše:  
**Karlo Šafarić,**  
JU Međimurska priroda

Svjetlosno onečišćenje je pojava pretjeranog, nepotrebnog ili nepravilno usmjerenog umjetnog svjetla koje ometa prirodnu tamu. Iako se na prvi pogled čini bezopasnim, ovaj oblik onečišćenja ima značajne posljedice za okoliš, zdravlje i kvalitetu života ljudi, ali i biljaka i životinja. U velikim gradovima rijetko se može doživjeti prava noć. Nebo prekriva sjaj ulične rasvjete, reklamnih panoa i prometa, a zvijezde su gotovo nevidljive. Srećom, u Međimurju još nismo došli do takve razine onečišćenja, no situacija se konstantno pogoršava.



Željeznički most u Murskom Središću

## Plavi željeznički most

Krajem prošle godine u Murskom Središću pojavila se ideja osvijetljenja starog željezničkog mosta koji spaja lijevu i desnu obalu rijeke Mure. Most je prije nekoliko godina dobio novu zelenu boju jer je stara već bila dotrajala, a prije nekoliko mjeseci su se na njemu pojavile i LED lampice. Na prijedlog jednog člana Gradskog vijeća napravljen je

projekt kojeg su Hrvatske željeznice prihvatile. HŽ-ov jedini uvjet je bio da boja svijetla ne smije biti zelena i crvena s obzirom na to da su to boje prometne signalizacije. Tako je Mursko Središće dobilo most koji je osvijetljen cijelu noć i koji se spominje u kontekstu nove turističke atrakcije, a realnost je da nijedan turist iz Češke ili Slovačke neće ostati jedan dan dulje u Murskom Središću

zbog svjetlećeg željezničkog mosta. Osvijetljeni most najveći utjecaj ima na životinje koje su aktivne noću poput šišmiša, ptica i noćnih leptira koji mogu izgubiti orijentaciju zbog umjetne svjetlosti koje prije u njihovom staništu nije bilo. Također, krijesnice su jedna od vrsta koju sve rjeđe vidimo u sumrak upravo zbog umjetne svjetlosti, pa možda most koji svijetli cijelu noć ipak nije najbolja turistička atrakcija za Grad Mursko Središće i sve njegove stanovnike. Neka moguća rješenja da bi se smanjio negativan utjecaj na okolni životinjski svijet, ako već most mora biti osvijetljen su: smanjenje broja sati kada su upaljena svijetla kroz noć, upaljena svijetla samo vikendom dok je ipak najveći broj ljudi vani, ograničenje osvijetljenja na posebne prigode, korištenje rasvjetnih tijela koja usmjeravaju svjetlost isključivo prema dolje, bez rasipanja u nebo ili na strane.



Željeznički most u Murskom Središću noću

## ASTRONOMSKO DRUŠTVO VEGA

Objavljen priručnik i održan  
susret edukatora astronomije

Piše:  
**Zoran Novak**

Astronomsko društvo Vega, potaknuto svojim aktivnostima iz edukacije astronomije, organiziralo je 20. lipnja 2025. u Štrigovi regionalni susret edukatora astronomije. S obzirom da astronomija nije dio nastavnih programa škola, bilo je zadovoljstvo vidjeti da se na skup odazvao velik broj sudionika iz astronomskih udruga i škola - iz Virovitice, Koprivnice, Velikog Trgovišća, Varaždina, kao i iz brojnih škola iz Međimurske županije. Na početku susreta okupljene je pozdravio gospodin Stanislav Rebernik, načelnik Općine Štrigova, koja je dala podršku u organizaciji ovog događaja. U nastavku su neki od sudionika predstavili svoje obrazovne i astronomske programe, dok su članovi AD Vega predstavili i priručnik iz astronomske fotometrije, namijenjen olakšavanju praktičnog rada s učenicima. Nakon zajedničkog ručka uslijedila je rasprava o izazovima s kojima se edukatori susreću u obrazovnom sustavu. Razmijenjena su iskustva, ista-

knuti ključni problemi te doneseni prijedlozi o mogućim poboljšanjima u radu i podršci nastavnicima koji se bave astronomijom.

Večernji dio programa uključivao je popularno znanstveno predavanje koje je održao dr. sc. Lovro Palaversa. Tema predavanja bila je povijest Mliječnog puta, a predavanje je privuklo velik broj posjetitelja. Publika je s velikim zanimanjem pratila izlaganje i postavljala brojna pitanja. Događanje je završilo noćnim promatranjem neba s Mađerkinog brega. Promatranje su odradili članovi AD Vega i AD Beskraj koji su svojim teleskopima i stručnim vodstvom, prisutnima omogućili da uživaju u pogledu na brojne maglice, galaksije i druge nebeske ljepote.

Izašla prva verzija priručnika iz  
astronomske fotometrije

Već gotovo godinu dana rada AD Vega na izradi priručnika iz fotometrije konačno je rezultiralo objavom prve verzije.



Naslovnica priručnika

Iako je razina sadržaja pogodna za srednjoškolce i studente, priručnik će biti koristan i mentorima za rad s osnovnoškolcima. Priručnik u prvom djelu opisuje osnovne matematičke koncepte potrebne u fotometriji, a zatim i kako koristiti fotoaparat i raditi mjerenja.

U odnosu na preliminarnu verziju, koju smo bili objavili zbog tada nadolazećih natjecanja iz astronomije, doradili smo dijelove koji pokrivaju temu pogreške mjerenja, a osim niza manjih detalja pridodano je i čitavo novo poglavlje koje se bavi konkretnim primjerima vježbi iz fotometrije. To je ujedno i poglavlje koje će se najviše proširivati u nadolazećim verzijama.

Priručnik u PDF formatu dostupan je na poveznici:

<https://fotometrija.advega.hr>



Edukatori astronomije u Štrigovi



## ZVJEZDARNICA VERA RUBIN

# Zvezdarnica Rubin je završena i već snima noćno nebo!

Piše:  
dr. sc. Željko Ivezić

Početkom travnja integracija glavne kamere (LSST Camera) sa Simonyi teleskopom i ostalim sustavima zvezdarnice je uspješno završena. Prve slike noćnog neba snimljene su 15. IV 2025. To postignuće je nazvano „First Photon“. Bilo je to kulminacija preko 20 godina rada, od prvih ideja i dizajna do funkcionalne zvezdarnice.

Očekivali smo da će nam trebati barem nekoliko sati preciznog podešavanja sustava dok ne snimimo slike visoke kvalitete. Međutim, trebalo nam je samo dvije ekspozicije od 30 sekundi da dovedemo kameru u žarišnu ravninu i već je treća slika izgledala savršeno! Svi smo u kontrolnoj sobi bili oduševljeni tim uspjehom

(slika 1). Nakon „First Photon“ noći nastavili smo idućih desetak noći snimati slike za program nazvan „Rubin First Look“. To je bio medijski događaj, tiskovna konferencija 23. VI 2025 u Washingtonu, D.C., na kojem smo prvi puta pokazali cijelom svijetu Rubinove slike noćnog neba. Taj događaj je bio praćen s oko 350

lokacija diljem svijeta, uključujući Zagreb i Rijeku. Snimka tiskovne konferencije je dostupna na YouTube: [https://www.youtube.com/live/Zv22\\_Amsreo](https://www.youtube.com/live/Zv22_Amsreo)

Prikazati slike s Rubina nije jednostavno zbog velikog broja piksela u kameri: 3,200 megapiksela koji pokrivaju površinu neba jednaku površini oko 45 punih Mjeseca. To je više piksela nego što ljudske oči mogu „vidjeti“. Trebali bismo 400 televizora visoke razlučivosti da bismo prikazali samo jednu Rubinovu sliku! To bi značilo prekrivanje cijelog košarkaškog terena TV ekranima za prikaz jedne slike.

Umjesto da istovremeno gledamo 400 TV ekrana, naš je tim razvio web alat za prikaz slika koji se može koristiti za kretanje po ogromnim Rubinovim slikama, za zumiranje, za istraživanje, za divljenje detaljima bilo kojeg objekta kojeg odaberete pogledati. Taj alat, nazvan SkyViewer, možete i vi sami besplatno koristiti,

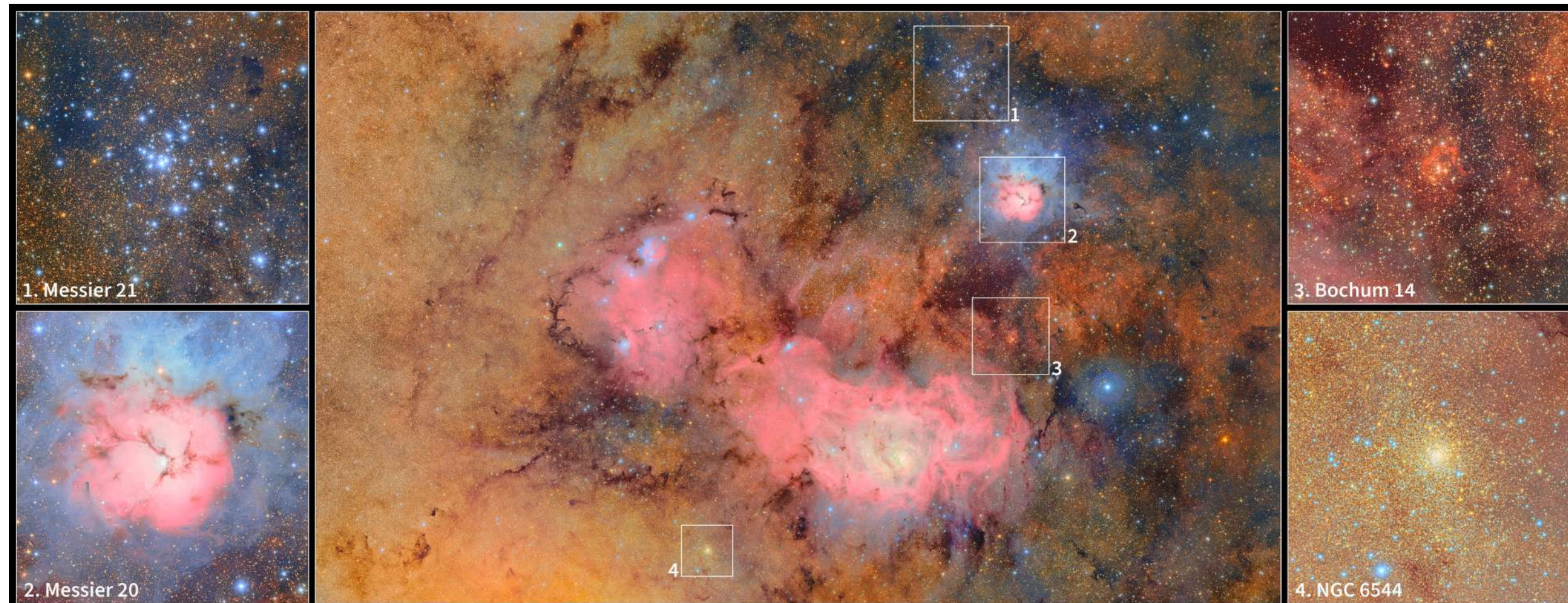


Slika 1: Veselje u kontrolnoj sobi kada se pojavila prva Rubinova slika snimljena LSST kamerom.

sve što vam treba je internet veza i računalo ili pametni telefon (link: <https://skyviewer.app/explorer>).

**Slika 2** (na duplerici) prikazuje Rubinovu sliku jednog malog dijela neba, oko 1% ukupne slike koju je LSST kamera snimila. čak i na toj maloj slici ima oko 100,000 galaksija.

**Slika 3** je slične veličine na nebu i prikazuje Lagoon maglicu. Ta maglica je veliki oblak plina i međuzvjezdane prašine u kojem se još uvijek rađaju mlade zvijezde. Te dvije slike pokazuju kako će jednog dana izgledati mapa neba koju će napraviti Rubinov projekt LSST (Legacy Survey of Space and Time). Ta mapa će biti snimana tokom idućih 10 godina i pokrivati će površinu neba oko 100,000 puta veću nego slike 2 ili 3. Koristeći tu mapu neba, astronomi će detektirati i izmjeriti oko 40 milijardi objekata – po prvi put će neki astronomski katalog imati više nebeskih objekata nego što ima živih ljudi na Zemlji! O početku LSST projekta izvestiti ćemo vas krajem ove godine. Uskoro počinje snimanje najvećeg astronomskog filma!



Slika 3: Područje neba oko maglice Laguna. Maglica Laguna je središnje ružičasto područje u obliku graha koje se proteže većim dijelom slike. U gornjem desnom kutu nalazi se otvoreni zvjezdani skup Messier 21. Konačno, u donjem lijevom kutu maglice Laguna nalazi se kuglasti skup NGC 6544.

Slika 2 (na duplerici): Ova slika prikazuje mali dio skupa galaksija u zvijezdu Djevice snimljen sa Zvezdarnice Vera Rubin. Slika nudi živopisan uvid u raznolikost svemirskih objekata. Vidljive su dvije istaknute spiralne galaksije, tri galaksije koje se spajaju, skupine puno daljih galaksija, zvijezde unutar naše Mliječne staze te još mnogo toga. Cijela slika se može istraživati pomoću web alata SkyViewer (link u tekstu).







## U DRUŠTVU OBLAKA

# Električna pražnjenja u gornjoj atmosferi

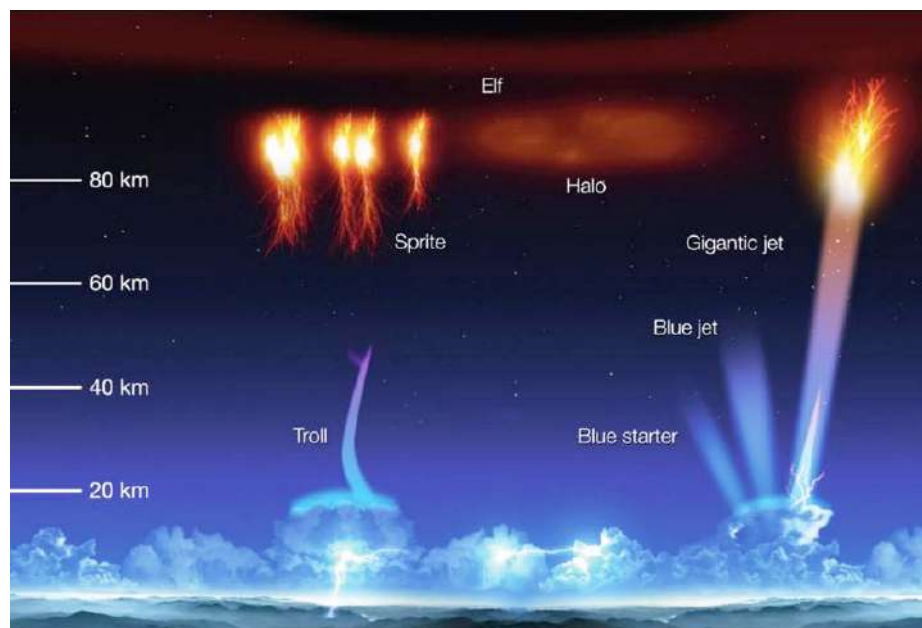
Piše:

Maja Kraljik

Jeste li znali da munje postoje i iznad oluja?

### Vatrenjaci

Riječ je o optičkim fenomenima gornje atmosfere (transient luminous event ili TLE) povezanih sa grmljavinom. Postoji nekoliko vrsta TLE -ova, a najčešći su vatrenjaci. Vatrenjaci (eng. SPRITES) nisu jako poznati, osim meteorolozima, fotografima prirode i drugima koji proučavaju nebo. Zato se često ljudi čude što su, nakon što negdje uoče njihovu fotografiju. Nisu rijetki, ali su brzoprolazni. I nije ih lako snimiti na filmu. Oni su munje čija su električna pražnjenja visoko u Zemljinj atmosferi. Grmljavinske oluje zapravo se svo vrijeme događaju u sloju Zemljine atmosfere zvanom troposfera. Vatrenjaci, poznati i kao **red sprites** pojavljuju se u Zemljinj mezosferi, do 80 kilometara visoko na nebu i to iznad vrlo aktivnih i jakih oluja. Izvješća o optičkim pojavama iznad grmljavina koja su prvi put objavljena u znanstvenoj literaturi krajem 19. stoljeća (Toynbee i Mackenzie, 1886, i Everett, 1903). Pedesetih godina prošlog stoljeća zabilježeno je prvo zračno opažanje pilota komercijalnog zračnog prijevoznika iznad Fidžija (Wright, 1950.). CTR Wilson, koji se smatra ocem teorije munje, prvi je pokušao fizički opisati ove pojave (Wilson, 1956). Tek 1989. ovi su fenomeni zabilježeni na filmu. Grupa sa Sveučilišta Minnesota snimila je dvostruki bljesak prema gore s udaljenih vrhova oblaka dok je testirala TV kameru pri slabom osvjetljenju. (Franz, et al 1989.). Naziv "sprite" prvi je put predložio dr. Davis Sentman sa Sveučilišta Aljaska, a prvi put ga je u književnosti upotrijebio WA Lyons 1994. Reкао je da je naziv



Optički fenomeni u gornjoj atmosferi

Ilustracija: @Luis Calcada/ESO, based on original by Frankie Lucena

"sprite" "dobro prilagođen za opis njihovog izgleda i nije prosuđujući u pogledu fizike pojava. Sam Sentman rekao je da ime potječe od njihovih "vilinskih kvaliteta" (Sentman i Wescott, 1995.) i da je to "izraz koji je jezgrovit i hirovito dočarava njihovu prolaznu prirodu" (Sentman i Wescott, 1996.)

**Oblici**

Dakle, VATRENJACI (red sprites) veliki su, ali slabi svjetlosni bljeskovi koji se pojavljuju izravno iznad aktivnog olujnog sustava i podudaraju se sa snažnim pozitivnim udarima munje od oblaka do tla. Njihove prostorne strukture kreću se od malih pojedinačnih ili više okomito izduženih točaka, do svijetlih grupa koje se protežu od

streamere). Zbog vizualne sličnosti i kratkog trajanja ponekad se pogrešno zamjenjuju za "vilenjake".

Gigantic jet

Credit: International Gemini Observatory/NOIRLab/NSF/AURA/A. Smith

vrhova oblaka do nadmorske visine do gotovo 95 km. Obično traju ne više od nekoliko milisekundi. Njihovi se oblici mogu različito opisati kao "meduze", "mrkve" ili "grozdovi". Zbog niske svjetline, snimljeni su samo noću (prvenstveno visoko osjetljivim kamerama). Međutim, ako smo na relativno tamnom području i ako su nam oči dovoljno prilagođene, tada ih se može otkriti bez ikakve vizualne pomoći. Najpoznatiji i najcjenjeniji, pogotovo među fotografima je (ako se "ulovi") upravo vatrenjak u obliku meduze (Jellyfish sprite) koji nastaje iz najjačih oluja sa najjačim pozitivnim munjama.

Vatrenjacima ponekad prethodi, otprilike 1 milisekundu prije - aureola vatrenjaka, koja je centrirana na oko 70 kilometara nadmorske visine iznad početnog udara munje. Smatra se da su te aureole proizvedene istim fizičkim procesom koji proizvodi vatrenjak, ali za koje je ionizacija preslaba da pređe prag potreban za stvaranje streamera (nema hrvatske riječi za

### Vilenjaci

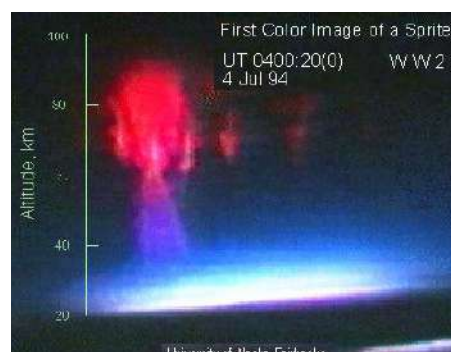
Vilenjaci (eng. ELVES) često se pojavljuju kao prigušen, spljošten, ekspanzirajući sjaj promjera oko 400 km koji obično traje samo jednu milisekundu. Javljaju se u ionosferi oko 100 km iznad zemlje također zbog oluja. Boja im je neko vrijeme bila nepoznata no sada se vjeruje da je crvena.

Osim vatrenjaka, aureola i vilenjaka, u gornjoj atmosferi još imamo pojave pražnjenja koje nazivamo trolovima (TROLLS), patuljke (GNOMES) te plave mlazove (BLUE JETS, GIGANTIC BLUE JETS) i plave startere (BLUE STARTERS).

### Plavi mlazovi

Plavi mlazovi se pokreću kao "normalna" pražnjenja munje između gornjeg područja pozitivnog naboja u olujnom oblaku i negativnog "zaštitnog sloja" prisutnog iznad ovog područja naboja. Pozitivan kraj

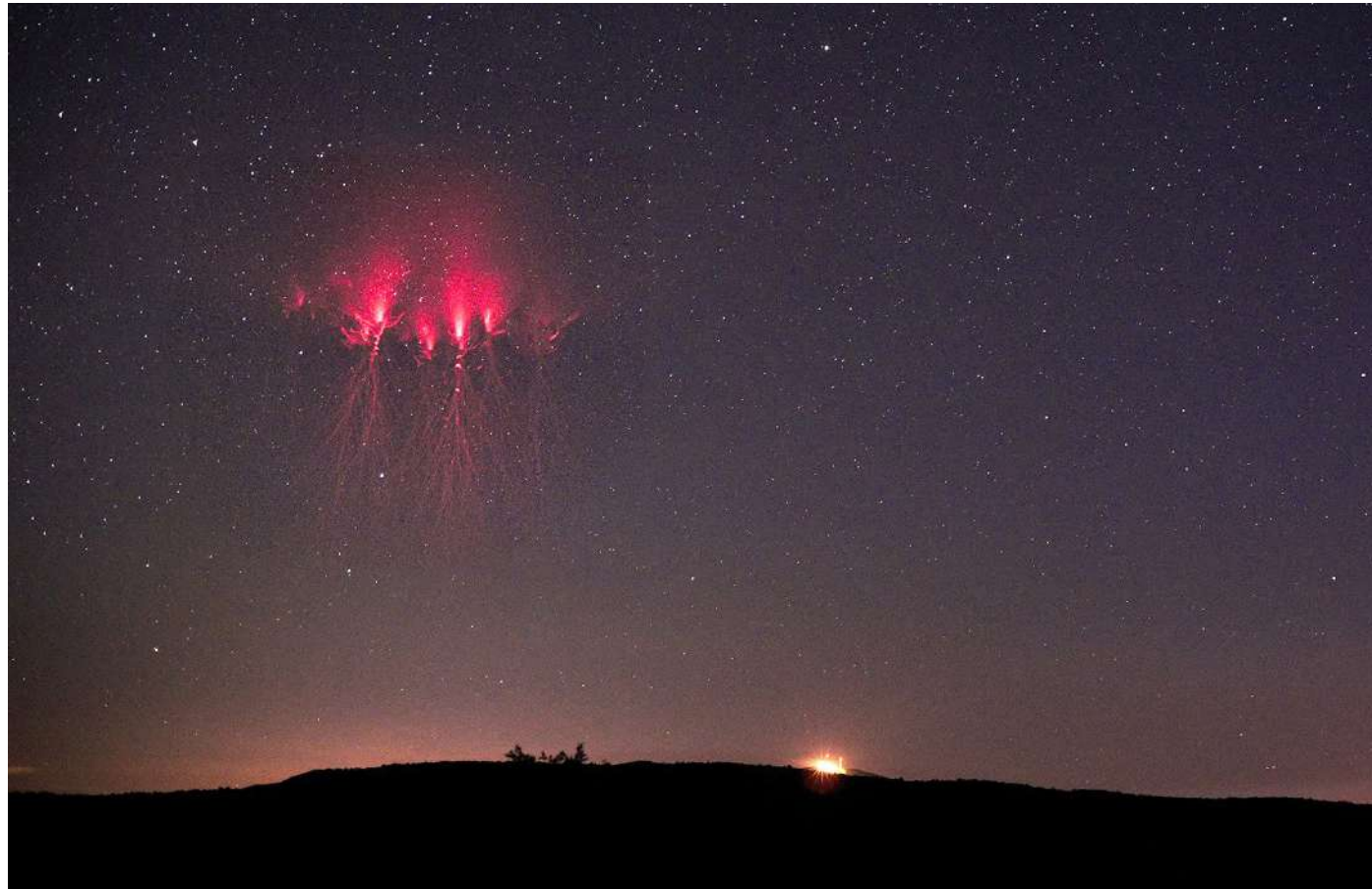
vodeće mreže ispunjava područje negativnog naboja prije nego što negativni kraj napuni područje pozitivnog naboja, a pozitivni vod zatim izlazi iz oblaka i širi se prema gore. Ranije se vjerovalo da plavi mlazovi nisu izravno povezani s bljeskovima munje, te da je prisutnost tuče na neki način dovela do njihove pojave. Oni su također svjetliji od vatrenjaka i, kako im ime govori - plave su boje. Vjeruje se da je boja posljedica niza plave i gotovo ultraljubičaste boje iz neutralnog i ioniziranog molekularnog dušika. Plavi mlazovi pojavljuju se mnogo rjeđe od vatrenjaka. Čini se da gigantski mlazovi iniciraju između gornjeg područja pozitivnog i donjeg negativnog naboja u aktivnom olujnom oblaku. U sličnom procesu kako nastaju plavi mlazovi, vodeća mreža prazni područje višeg naboja prije nego što se isto dogodi u području nižeg naboja, a jedan kraj vodeće mreže širi se prema gore od oblaka prema ionosferi. Gigantski mlazovi dosežu veće visine od plavih mlazova, a gornji dio mlaza mijenja boju iz plave u crvenu.



Prva kolor fotografija vatrenjaka

Credit: University of Alaska Fairbanks





Vatreňjak u obliku meduze / foto: Marko Korošec

### Fotografiranje

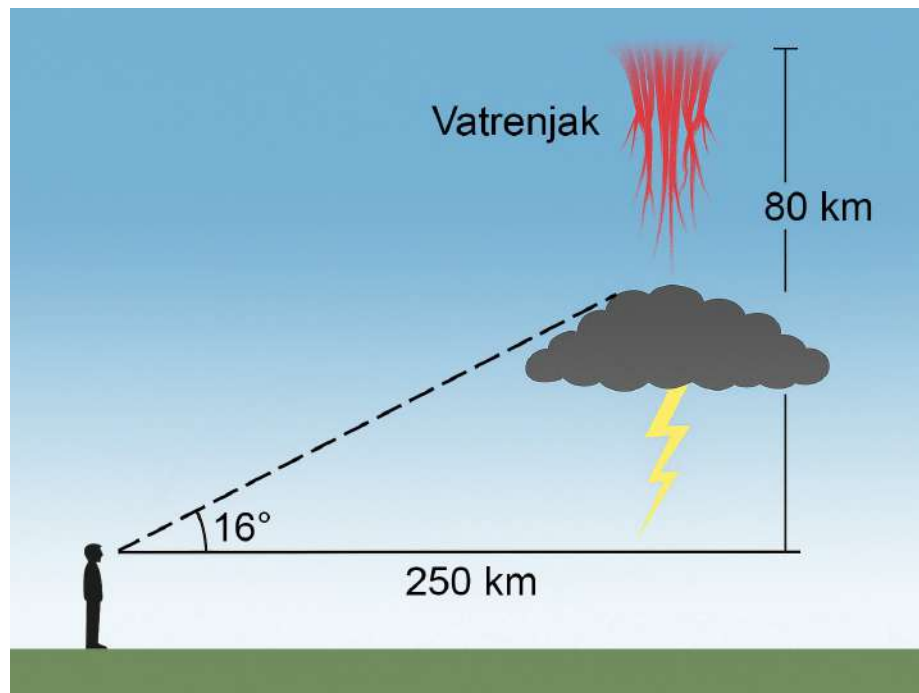
Fotografiranje vatreňjaka danas je moguće uz naprednu tehnologiju, no još uvijek ih je teško dobiti s obzirom da traju jednu milisekundu. Uz odgovarajuću tehniku i spremnost za snimanje dugih serija sa umjereno dugačkim ekspozicijama, može se koristiti gotovo svaka kamera sposobna snimati kontinuirane ekspozicije u više sekundi na neodređena vremenska razdoblja. Svakako je potrebno tamno noćno nebo sa jasnim pogledom na oluju s vrlo udaljenog položaja (150-500 km). Klima u kojima je zrak obično prilično suh također pomaže povećati izgled. Na vlažnijim mjestima, izmaglica od vodene pare u zraku ograničit će nečiju sposobnost da vidi, a još manje fotografira prigušene pojave s tako velikih udaljenosti.

Najbolji rezultati ipak dolaze sa određenim vrstama astro kamera, snimača i astro modificiranim aparatima. Osobno sam ulovila vatreňjake 3 puta. Nisu bili veliki i nisu jako uočljivi na fotografijama jer

nisam imala idealno tamno nebo i nemam modificiran aparat. Postoji tablica po kojoj se može ravnati gdje bi se vatreňjaci trebali pojaviti, i na kojem stupnju neba s obzirom na udaljenost oluje:

100km ~ 35°; 125km ~ 29°;  
250km ~ 16°; 500km ~ 8°;  
750km ~ 5°

Nadam se da će pomoći onima koji za nju nisu znali i da će im olakšati lov na ove zanimljive fenomene.



Prikaz omjera udaljenosti i kuta za pojavljivanje vatreňjaka  
ilustracija: AD Vega

## ATMOSFERSKA OPTIKA

# Cirkumhorizontski luk - ljetna "vatrena duga"

Piše:

Marko Posavec

Za vrućih ljetnih dana, kada Sunce prži visoko na nebu, ponekad možemo opaziti neobičnu "dugu". Naći ćemo ju ravno ispod Sunca, dvostruko dalje od običnog haloa. Može imati čiste i prilično jarke boje i zbunit će nas jer je - ravan. Nisko je nad horizontom, ali ne uvija se u luk prema dolje, kao što to čini regularna duga. Zapravo, ponekad se uvija u suprotnom smjeru, prema gore! Možda nećemo ni vidjeti cijeli luk nego samo živopisne mrljice boja na cirusima. Čestitamo, upravo ste opazili cirkumhorizontski luk! A sad to probajte izgovoriti par puta zaredom.

Cirkumhorizontski luk ili skraćeno CHA (od circumhorizon arc) jedna je od najljepših pojava iz obitelji haloa. Nema nikakve veze s dugama jer nastaje prolaskom svjetlosti kroz kristaliće leda, a ne kapljice vode. Potrebni su nam kristalići leda u obliku šesterokutnih pločica. Sunčeva svjetlost ulazi kroz bočnu stranicu, lomi se pa izlazi kroz donju prema nama. Zbog toga što su ulazna i izlazna stranica kristala pod 90 stupnjeva, a ne 60 kao kod mnogih drugih haloa, lom svjetlosti je "čišći" pa su boje jasne i često živopisne. Raspored boja je tipičan za halo: crvena prema Suncu, plava prema van.

### Gdje promatrati

Ovaj je luk zanimljiv po još dvije stvari. Prvo, ljudi ga razmjerno često opažaju. Usputni promatrači većinu haloa ne zamijete jer nemaju naviku gledati prema Suncu. CHA



Cirkumhorizontski luk snimljen iz Koprivnice 14. lipnja 2024. / foto: Marko Posavec

se nalazi daleko od Sunca, blizu horizonta, gdje je veća šansa da ga netko slučajno primijeti. Osim toga i privlači pažnju svojim bojama. Druga stvar je to što ga vidimo samo kad je Sunce 58 ili više stupnjeva iznad horizonta. Jedino se tada zrake svjetlosti u kristalićima mogu lomiti na način da dođu do našeg oka. To znači da ga većim dijelom godine uopće ne možemo vidjeti jer Sunce naprosto nije dovoljno visoko. Najbolje su nam šanse u kasno proljeće i rano ljeto, odnosno u tjednima oko ljetnog solsticija. Naravno, oko podneva kad je Sunce najviše na nebu. Ujedno to podrazumijeva da postoje dijelovi svijeta odakle se nikada ne vidi – na primjer iz sjeverne Europe. Mi u Hrvatskoj imamo otprilike 330 sati godišnje kada ga možemo spaziti. Ovo je svakako ljetni hit među haloima. CHA nekad izgleda kao luk, uvijek paralelan s horizontom.

Neće nam se činiti ravnim jer nebo doživljavamo kao sferu, ali provjerimo li mu kutnu visinu duž luka, vidjet ćemo da je svugdje ista. Ipak, ponekad može imati kao "zavijutke" prema gore. To više nije CHA nego tzv. infralateralni luk koji izlazi iz CHA lijevo i desno, no to je tema za neki drugi put.

### Vatrena duga

A što je s vatrenom dugom? Pa, to je ona poznata priča kako mediji svemu moraju nadjenuti zvučne nazive, bili smisleni ili ne. Prije 19 godina divan se cirkumhorizontski luk pojavio iznad grada Spokanea u SAD-u. Imao je fantastične boje na tankim, zavnutim pramenovima cirusa koji su, uz malo mašte, donekle nalikovali na plamičke. Neki je novinar, vješt s riječima, povezao to dvoje u "vatrenu dugu". S obzirom na to kakav je formalni naziv ove pojave, čak mu nije za zamjeriti.



## SNAGA MUNJE

# Fizika iza nebeske iskre

Piše:

Melita Sambolek, prof.

Munje su dramatične pojave u atmosferi koje se događaju kad se električni naboji unutar oblaka i između oblaka i tla naglo izjednačuju. Ovaj prirodni fenomen nastaje zbog specifičnih kretanja čestica i elektrona u velikim olujnim oblacima. Prirodne munje su nepredvidive prostorno i vremenski pa ih je teško proučavati. Klimatološka promatranja i satelitski podaci pokazuju da je u svakom trenutku iznad površine Zemlje aktivno oko 1000 grmljavinskih oluja, a u toku jednog dana na cijeloj Zemlji ima približno 9 milijuna električnih pražnjenja. Bljesak munje traje samo oko 0,5 sekundi, iskre su prosječne dužine 5-10 km, a prenese se oko  $10^8$  J (sto milijuna džula) energije na Zemlju.

### Što se događa u oblaku?

U velikim olujnim oblacima, poznatim kao kumulonimbusi, stalno se kreće zrak: topli zrak se penje, hladni spušta. Taj proces uzrokuje sudare između ledenih čestica, kapljica vode i komadića tuče. Pri tim sudarima dolazi do razmjene elektrona, što stvara razdvajanje naboja unutar oblaka. Gornji dio oblaka obično postaje pozitivan, a donji negativan. U međuvremenu, tlo ispod oblaka, pod utjecajem snažnog električnog polja, postaje pozitivno nabijeno. Kada napon između tih suprotnih naboja postane dovoljno velik, vrlo često se radi o milijunima volti – električna energija probija zrak (koji je inače izolator), što rezultira pojavom koju zovemo munja. Iako nam se čini da se munje uvijek šire iz oblaka prema tlu, mogu nastajati i unutar samog oblaka što je najčešći



Električni luk na Wimshurstovom stroju

tip munji, ali i između dvaju oblaka ili pak iz oblaka prema višim slojevima atmosfere. Rijetko, primjerice s vrhova planina, moguć je i obrnuti proces uzlazne munje koja se širi od tla prema oblaku.

### Kako se prenose naboji?

Glavni mehanizam nabijanja u konvektivnim strujama je razdvajanje naboja sudaranjem čestica leda unutar oblaka. Sudari su elastični, a nakon sudara odbijene čestice nose jednako velik suprotan naboj. Mehanizam prenošenja naboja između čestica leda u toku sudara nije potpuno razjašnjen. Poznato je da veličina i predznak naboja koju čestice leda dobivaju nakon sudara ovise o temperaturi, vrsti i veličini čestice te količini i raspodjeli vode u oblaku. U početku nabijanja oblaka, veće oborinske čestice tuče gibaju se pod utjecajem gravitacije prema dolje gdje se prolazeći kroz oblak sudaraju sa manjim kristalima leda i pritom dobivaju ukupan negativni naboj. Na malim kristalima leda preostaje

pozitivan naboj, a kako su oni lagani, uzlazno strujanje ih prenosi u više slojeve. Donji negativno nabijeni sloj oblaka inducira jednaku količinu pozitivnog naboja na površini zemlje – time nastaje jako električno polje između oblaka i zemlje, što može inicirati munje. Češće se prvo pojavljuje munja unutar oblaka koja se nastavi širiti prema zemlji. Pražnjenjem unutar oblaka oslobađaju se elektroni vezani za čestice tuče ili hidrometeore. Pod utjecajem električnog polja, a zbog manje mase i veće mobilnosti od hidrometeora, slobodni elektroni prelaze donje pozitivno područje oblaka, neutralizirajući pritom dio pozitivnog naboja i nastavljaju se gibati prema zemlji stvarajući vodilicu. Kanal munje razvija se iz oblaka kao vodeći korak ili vodilica i giba se u diskretnim svjetlucavim koracima duljine od 2 do 50 m, uz stanke od nekoliko milisekundi između koraka. Vodilica se u svom napredovanju može razgranati. Srednja brzina napredovanja vodilice prema zemlji je  $2 \cdot 10^5$  m/s, a za cijeli put od oblaka

do zemlje potrebno je oko 20 milisekundi. Prosječno vodilica nosi 5 C (kulona) negativnog naboja raspoređenog po njenoj duljini i kroz kanal vodilice teče prosječna struja oko 100 do 200 A (ampera).

U svakom koraku emitira se puls vidljive svjetlosti, ali zbog tromosti našeg oka obično vidimo bljesak, a ne pojedinačne udare. Kako se približava površini, iz tla kreću pozitivni "pipci" naboja. Kada se susretnu, dolazi do naglog povratnog udara – tada nastaje snažan bljesak i gromoglasan zvuk. Time se višak elektrona iz oblaka brzo prenosi prema tlu.

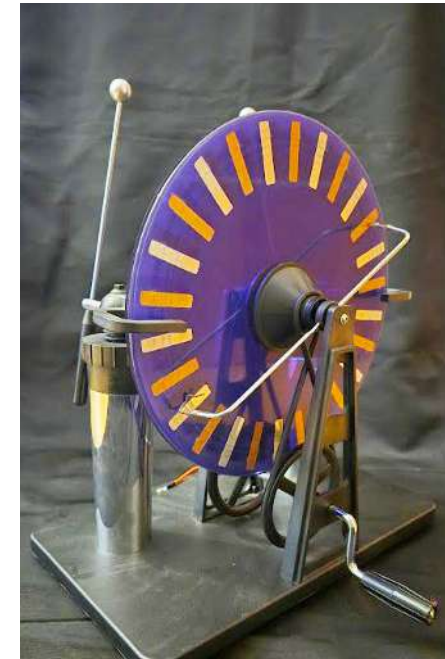
### Zvuk grmljavine

Grmljavina se odnosi na zvuk koji čujemo, a nastaje zbog munje. Uzrok grmljavine stvaranje je visokotlačnog udarnog vala zbog intenzivne struje u kanalu munje, kada se zrak jako zagrije i naglo širi. Nastali val opada s udaljenošću i na velikim udaljenostima postaje glasan zvuk. Nove su tehnike mjerenja pokazale da grmljavina obuhvaća i infrazvuk iako su te frekvencije preniske da bi ih ljudsko uho čulo.

### POKUS 1

**Nastanak munje pomoću Wimshurstovog stroja**

Wimshurstov stroj je elektrostatički



Wimshurstov stroj



generator iz 19. stoljeća, koji koristi rotirajuće diskove za stvaranje vrlo visokih napona. Uređaj se sastoji od dvaju prozirnih diskova koji se okreću u suprotnim smjerovima. Na diskovima se nalaze metalne pločice koje tijekom okretanja prolaze pored četkica i elektroda. Zbog triboelektričkog učinka (trenja) i raspodjele naboja, na dva suprotna metalna spremnika (tzv. kondenzatora) nakupljaju se veliki suprotni naboji – jedan pozitivan, drugi negativan. Kada razlika električnog potencijala izme-

đu tih spremnika postane dovoljno velika, elektroni preskoče zračni most između dviju metalnih kuglica koje se nalaze na krajevima ispitnih elektroda. To stvara iskra – kratki, svijetli i glasni električni luk – što je zapravo ista pojava kao u prirodi, ali s puno manjom energijom.

### POKUS 2

**Nastanak munje pomoću Lajdenske boce**

Za jednostavnu demonstraciju električnog pražnjenja može se koristiti Lajdenska boca, izum iz 18. stoljeća koji služi za pohranu električnog naboja. Radi se o kondenzatoru koji ima unutarnju i vanjsku oblogu od vodljivog materijala (npr. aluminijske folije), između kojih se nalazi izolator – najčešće staklena boca. Vanjski dio boce omota se aluminijskom folijom. U bocu se natoči voda, a kroz čep se provuče metalna šipka (primjerice veći čavao). Metalna šipka može se povezati s uređajem koji generira naboj, poput Wimshurstovog stroja, ili pak se nabija pomoću plastičnog štapa koji je potrebno natrljati vunenom krpicom i zatim naboj prenijeti na metalnu šipku dodiranjem (ponoviti postupak više puta). Kada se u boci pohrani veća količina naboja, približavanjem drugog vodiča, može se izazvati iskra – koja podsjeća na pravi munjeviti udar.



Lajdenska boca



## ASTRONOMIJA

## Otvoreni skupovi zvijezda

## Životni ciklus i katalogizacija

Piše:

Pavle Rajković

Među amaterskim astronomima otvoreni skupovi su jedan od najpopularnijih objekata dubokog svemira. Razlog za to leži u činjenici da su mnogi od njih dovoljno veliki i sjajni da se mogu promatrati teleskopima malih i srednjih dimenzija. Međutim, promatranje nebeskog tijela postaje potpuno tek kada ga uparimo sa znanjem o tome što promatramo. Ovaj tekst bavit će se otvorenim skupovima s teorijske strane. Uz minimum fizike objasniti ćemo što su to otvoreni skupovi, kako nastaju, žive i umiru, kako se klasificiraju i katalogiziraju.

**Rađanje i uništenje**

Otvoreni skupovi su grupacije gravitacijski povezanih zvijezda koje zajedno putuju kroz svemir, tj. dijele zajedničko vlastito gibanje. Oni nastaju unutar hladnih i gusto zbijenih oblaka plina i prašine koji se nazivaju molekularni oblaci ili jednostavno maglice. Većina molekularnih oblaka sastavljena je od vodika nedovoljno visoke temperature da bi u njima došlo do zvjezdane formacije. Međutim, uslijed gravitacijske interakcije dijelova oblaka ili uslijed vanjskih utjecaja u vidu udarnih valova supernova i interakcije s drugim

oblacima, ponekad dolazi do kompresije plina unutar oblaka, tj. do njegovog urušavanja. Pri povećanoj gustoći čestica plina dolazi do trenja među njima, što oslobađa ogromnu količinu topline. Nakon određenog vremena i dostizanja temperature dovoljne za početak fuzije vodika, u oblaku počinju formirati zvijezde. Možda zvuči pomalo čudno da je trenje zaslužno za sjaj svih zvijezda koje vidimo na nebu, ali ako protrljamo dlanove jedan o drugi samo nekoliko sekundi, dobit ćemo jasnu sliku o količini topline koju trenje oslobađa. Dok traje formiranje zvijezda u ma-



Otvoreni skup NGC 2244 u maglici Rosette. Foto: Zoran Novak



Otvoreni skup M37. Foto: Brice Fayd'Herbe

Vrlo mladi otvoreni skupovi vizualno su prepoznatljivi jer je još uvijek prisutan matični oblak plina koji je formirao skup. NGC 2244 u zviježdu Jednorog vrlo je mlad skup, star svega oko 3 milijuna godina. Okružen je matičnom maglicom NGC 2238, poznatijom kao Rosette maglica. Otvoreni skup M 37 u zviježdu Kočijaš znatno je stariji (oko 400 milijuna godina) i odavno je otpuhnuo molekularni oblak u kojem je rođen.



Sa starošću od 6,5 milijardi godina, NGC 188 u zviježdu Cefej najstariji je otvoreni skup koji se može promatrati amaterskim teleskopima. Svoju dugovječnost duguje jedinstvenom položaju iznad galaktičke ravnine, gdje je zaštićen od gravitacijskih utjecaja unutar diska galaksije. Foto: Steven Bellavia

glici, mnoge se zvijezde gravitacijski povezuju i započinju zajedničko putovanje kroz svemir. Takve nakupine zvijezda nazivaju se otvoreni skupovi. Skupovi su najgušći u središtu, čija gravitacija i drži zvijezde na okupu. Svi otvoreni skupovi se u početku nalaze unutar matičnog oblaka plina, kada često svojim zračenjem ioniziraju čestice plina u njemu, pa plin počinje emitirati svjetlost, što mi kroz teleskop vidimo kao emisijsku maglicu. Međutim, s vremenom dolazi do svojevrsnog roditeljskog ubojstva. Naime, zvjezdani vjetrovi zvijezda tijekom vremena otpuhuju čestice roditeljske maglice sve dalje od sebe, dok maglica potpuno ne iščezne i ostanu samo otvoreni skupovi "siročići". Oni nastavljaju živjeti usamljeni život, bez okolnog plina matične maglice. Ovaj je proces itekako vidljiv kroz teleskop ili na astrofotografijama. Naime, ako promatramo otvoreni skup unutar emisijske maglice, to nam govori da je skup još uvijek vrlo mlad jer je matični oblak plina još prisutan. Ako promatramo skup bez ikakve maglice oko njega, riječ je o starijem skupu koji je već uništio svoju matičnu maglicu.

**Struktura i opažanje**

Najveća koncentracija zvijezda unutar otvorenog skupa nalazi se u njegovom središtu. Upravo ta gustoća populacije u centru stvara gravitacijsku silu potrebnu da se zvijezde skupa održe na okupu. Ta gusto zbijena jezgra okružena su zvjezdanim obla-

kom rasutijih članica, pa nije čudno što nam se često čini da skupovi imaju kružni oblik. Postoje i skupovi koji imaju vrlo slabu koncentraciju prema centru, dok su neki toliko raspršeni da ih je teško izdvojiti iz okolnog zvjezdanog polja. Broj zvijezda unutar skupa može varirati od nekoliko desetaka do nekoliko tisuća. Tu treba imati na umu da pri promatranju skupova, bilo teleskopom bilo astrofotografski, može doći do pogrešnog dojma o potpunosti objekta. Naime, postoje skupovi koji broje stotine zvijezda, ali je velika većina njih magnitude oko 16 i slabije. Takvi skupovi se kroz teleskop mogu učiniti siromašnima, sve zbog ograničene magnitude koju naši in-

strumenti mogu zabilježiti.

Najsjanija zvijezda skupa naziva se lucida. Također, treba imati na umu da to što mi vidimo kao najsjaniju zvijezdu na astrofotografiji ne mora uistinu biti lucida skupa. Naime, kod nemalog broja otvorenih skupova događa se da je preko tijela skupa superponirana sjajna zvijezda koja leži na istoj liniji pogleda sa Zemlje kao i sam skup. To dovodi do toga da mi tu zvijezdu vidimo pomiješanu s ostalim zvijezdama objekta, iako je u stvarnosti ona mnogo bliža nama. Iskusni promatrači znaju kako prepoznati takve zvijezde. Ako je velika većina zvijezda skupa recimo magnitude oko 10, a posred skupa vidimo zvijezdu magnitude 7, postoji velika vjerojatnost da je riječ o superponiranoj zvijezdi. Nakon takvog opažanja, dobar promatrač će proučiti udaljenost samog skupa i te pojedinačne zvijezde i tako doći do zaključka je li zvijezda dio skupa ili nije. Pojava superponirane svijetle zvijezde može se pretpostaviti i po njenoj boji. Naime, otvoreni skupovi uglavnom se sastoje od mladih zvijezda plave ili bijele boje. Ako među desecima takvih zvijezda uočimo žutu ili narančastu zvijezdu, također treba ispitati pripada li ona objektu. Do sada je unutar Mliječne staze otkriveno oko 1.100 otvorenih skupova. Taj je broj u stvarnosti



Otvoreni skup M 103 u zviježdu Kasiopeja izvrstan je primjer vizualne varke koja se može dogoditi pri promatranju otvorenih skupova, tj. da najsvidljivije zvijezde skupa ne moraju biti i dio samog objekta. Najsvidljivija zvijezda unutar M103 nalazi se na krajnjem jugu skupa, no ona je superponirana zvijezda koja je znatno bliže nama. Riječ je o binarnom sustavu Struve 131, koji je od Sunca udaljen 2.800 svjetlosnih godina, dok se sam skup nalazi na znatno većoj udaljenosti od 9.500 svjetlosnih godina. Također, prekrasna crvena zvijezda u središtu skupa je crveni div magnitude 8.6, za koju se također smatra da ne pripada skupu. Foto: Rafał Szwejkowski



mного veći, jer se mnogi od njih nalaze u udaljenim spiralnim krakovima galaksije, s druge strane galaktičkog centra, pa je njihovo detektiranje izuzetno teško. Skupovi koje mi poznajemo i koje možemo opažati nalaze se u spiralnim krakovima galaksije koji su nama lako dostupni: u našoj lokalnoj Orionovoj spiralnoj ruci i u susjednoj Perzejevoj ruci naše galaksije. Zanimljivo je da se gotovo 10% tih otvorenih skupova nalazi samo u jednom zvijezdu: Kasiopeji. To zvijezde u svojim granicama sadrži ogromnih 106 otvorenih skupova, od kojih većina pripada udaljenoj Perzejevoj spiralnoj ruci galaksije. Mi ih ipak vidimo u tolikom broju jer je u regiji tog zvijezda koncentracija plina i prašine između dviju spiralnih ruku neobično mala. Stoga je zvijezde Kasiopeja idealan prozor u stotine otvorenih skupova koji obitavaju na udaljenostima 6.000–10.000 svjetlosnih godina od nas.

### Životni vijek

Prosječan životni vijek otvorenih skupova je tek nekoliko stotina milijuna godina. Razlog relativno kratkog života otvorenih skupova leži u njihovom položaju unutar galaksije. Naime, za razliku od kuglastih skupova koji nastanjuju halo galaksije, otvoreni skupovi nastaju i žive unutar galaktičke ravnine. Najčešće su prisutni u spiralnim krakovima, gdje je stvaranje zvijezda najintenzivnije. A u galaktičkoj ravnini je gužva. Tu otvoreni skupovi trpe gravitacijske utjecaje svih ostalih nebeskih tijela unutar diska, osobito od drugih grupacija zvijezda i molekularnih oblaka. Ti gravitacijski utjecaji vremenom otkidaju zvijezde skupa jednu po jednu. Kroz desetke ili stotine milijuna godina gravitacija ostatka galaksije nadvlada gravitacijsku silu centra skupa, koji ne uspijeva održati svoje zvijezde na okupu. Skup postaje raspršeniji, gubi jednu po jednu zvijezdu, dok na kraju ni sam centar ne bude u mogućnosti ostati gravitacijski povezan. Najočitiji primjer tog procesa je svima poznati skup Collinder 50 u zvijezdu Bik – popularne Hijade. Ovaj skup star je već 625 mili-



Par otvorenih skupova NGC 884 (lijevo) i NGC 869 (desno) nalazi se u zvijezdu Perseus i predstavlja jedan od najljepših prizora na noćnom nebu. Par je poznatiji kao Double Cluster i s tamnih lokacija lako je vidljiv čak i golim okom. Foto: Miloš Deronjić

juna godina i već je u fazi umiranja. Procjenjuje se da mu je ostalo još samo oko 30 milijuna godina života, jer centar uskoro neće imati dovoljnu gravitacijsku silu da zadrži zvijezde Hijada na okupu. Taj se proces može lagano vizualno opažati, jer je raspršenost i nedostatak središnje grupiranosti Hijada očita čak i golim okom. Međutim, na noćnom nebu postoje neka otvorena skupovi koja prkose kratkom životnom vijeku – i to u kolosalnoj razmjeri. Naime, postoje skupovi koji su ne višestruko, već nekoliko desetaka puta stariji od prosječnog životnog vijeka ovakvih objekata. Mnogi od njih stari su i preko milijardu godina. Razlog tomu leži u njihovom neobičnom položaju. Takvi skupovi nastanjuju regije iznad galaktičke ravnine, gdje im društvo prave samo kuglasti skupovi, tamna tvar i još poneki odbjegli otvoreni skup. Stoga je gravitacijski utjecaj galaksije na njih minimalan, što im je omogućilo da nadžive svoju braću po nekoliko desetaka puta. Najstariji teleskopom uočljiv skup je NGC 188 u zvijezdu Cefeja. Starost mu se procjenjuje na 6,5–7,2 milijardi godina, što je oko 25 puta duže od prosječnog životnog vijeka otvorenih skupova. Kako je ovaj skup lako uočljiv teleskopom, svaki sljedeći put kad ga pogledate sjetite se da promatrate "dinosaura" svoje

vrste i promatranje će poprimiti jednu sasvim novu dimenziju. To više neće biti blijeda nakupina zvijezda na sjeveru već jedan jedinstven i neponovljiv prizor.

### Katalozi

Otvoreni skupovi svrstani su u brojne kataloge koji se u principu mogu podijeliti u dvije skupine. Prvoj skupini pripadaju katalogi u koje su objekti unošeni putem vizualne identifikacije. Drugu skupinu čine katalogi koji sadrže skupove otkrivene pregledom fotografskih ploča ili putem matematičkog dokaza o gravitacijskoj povezanosti zvijezda.

**Messierov katalog** sastavljen je od 110 objekata dubokog svemira. Objavio ga je čuveni francuski lovac na komete Charles Messier 1781. godine, dok je u godinama koje su uslijedile katalog dopunjen. Katalog sadrži 27 otvorenih skupova, od kojih su gotovo svi sjajni, veliki i lako uočljivi teleskopima gotovo svih veličina. Među najpoznatijima su svakako Plejade (M45), prekrasan skup svjetlucavih plavih zvijezda vidljivih čak i golim okom.

**NGC katalog** (New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars) objavio je danski astronom John Dreyer 1888., u vrijeme kada je radio kao direktor opservatorija Armagh u Sjevernoj Irskoj. Katalog sadrži

7.840 objekata, od kojih je većinu otkrio William Herschel i njegov sin John. Unutar kataloga nalazi se oko 450 otvorenih skupova, svi otkriveni teleskopski. NGC otvoreni skupovi obuhvaćaju širok raspon objekata – od vizualno spektakularnih do onih jedva uočljivih čak i promatračima s velikim amaterskim teleskopima. Najpoznatiji su zasigurno par NGC 869/884 (Double Cluster) u zvijezdu Perzej – spektakularan prizor kroz svaki teleskop.

**IC katalog** (Index Catalogue) predstavlja dopunu NGC katalogu. Također ga je sastavio John Dreyer, i to u dva izdanja: 1895. i 1908. godine. Katalog sadrži 5.386 objekata dubokog svemira, od kojih je oko 450 otvorenih skupova. Iako su ti skupovi uglavnom mali i blijedi, među njima ima iznenađujuće velikih i sjajnih primjeraka. Jedan od njih je IC 4756, ogroman i svijetao skup u zvijezdu Zmijonosac, lako dostupan čak i dalekozorom.

**Collinder katalog** sastavio je švedski astronom Per Arne Collinder 1931. godine. Katalog je gotovo potpuno ispunjen otvorenim skupovima – njih 471. Danas znamo da neki od Collinderovih objekata nisu pravi otvoreni skupovi, već asterizmi, wnasumične grupacije zvijezda koje nisu gravitacijski povezane. Takav je

i jedan od najpoznatijih objekata iz kataloga, Collinder 399 (Vješalica) u zvijezdu Lisica. Collinder je također sastavio katalog na osnovi vizualnih opažanja. Mnoga njegova skupovi karakterizira velika prividna veličina i raspršenost zvijezda, pa su često vizualno neatraktivni.

**Berkeley katalog** objavljen je 1958. godine i predstavlja rezultat rada brojnih znanstvenika s poznatog Sveučilišta Berkeley u Kaliforniji. Skupovi su identificirani pregledom POSS fotografskih ploča snimljenih tijekom znamenite Palomar Sky Survey. Većina skupova u katalogu jedinstveni su objekti koji do tada nisu bili poznati. Berkeley skupove karakterizira velika starost. Gotovo svi su vrlo udaljeni i drevni objekti, među kojima se ističe Berkeley 17, star više od 10 milijardi godina. Nažalost, većina tih skupova nije uočljiva teleskopom zbog svoje male veličine i preslabe magnitude. Vizualno najupečatljiviji Berkeley skupovi nalaze se duž jesenske trake Mliječne staze, u zvijezdama Labud, Cefej i Kasiopeja. Berkeley 58 dio je znamenitog „Sveučilišnog lanca“ – niza od 5 otvorenih skupova iz različitih kataloga.

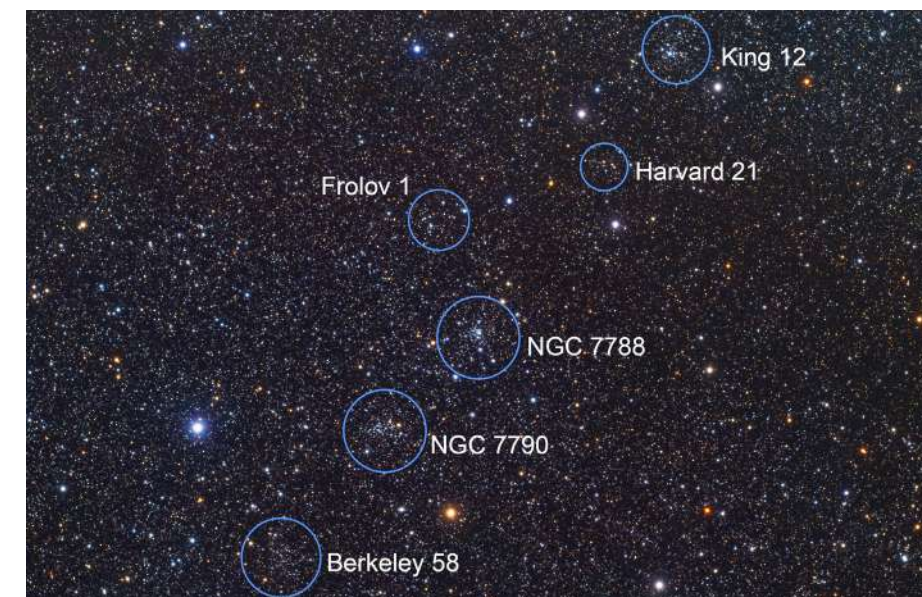
**King katalog** također potječe sa Sveučilišta Berkeley, ali je ovaj put rezultat matematičkog i fizičkog

proučavanja skupova zvijezda. Katalog je 1949. sastavio profesor Ivan R. King na temelju svojih proračuna dinamike otvorenih i kuglastih skupova. Katalog se sastoji od 27 otvorenih skupova, od kojih su neki lako vidljivi vizualno. Meni je osobno najdraži King 19, magnitude 9.2 u zvijezdu Cefej, koji u teleskopu čini prekrasan par s živopisnim skupom NGC 7510.

**Dolidze katalog** sastavila je 1966. sovjetska astronomkinja Madona Dolidze, kao rezultat proučavanja emisijskih linija zabilježenih na Opservatoriju Abastumani u Gruziji. Katalog sadrži 57 otvorenih skupova, od kojih je većina uočljiva teleskopom čak i osrednjim instrumentima. Dolidzeovi skupovi teško su uočljivi na noćnom nebu jer su često mali i raspršeni, a nalaze se unutar trake Mliječne staze prepune zvijezda. Dolidzeov katalog ne treba miješati s katalogom **Dolidze–Dzimselejsvili**, koji sadrži 11 otvorenih skupova sastavljenih zajedničkim radom ove dvije znanstvenice.

Postoji još mnogo kataloga otvorenih skupova koji nisu opisani u ovom tekstu, poput Trumpler, Melotte, Stock, Czernik, Basel. Također postoje i otvoreni skupovi čije je otkriće rezultat rada amaterskih astronoma, kao što su skupovi koje je otkrio cijenjeni kolega Dana Pat- chik. Opisani katalogi izabrani su kako bi se prikazali različiti načini na koje se vršila katalogizacija: od vizualnog opažanja, preko matematičkih proračuna, do pregleda astrofotografskih ploča. Također, iz opisa kataloga vidljivo je da – koliko god neki katalog bio manje poznat – svaki od njih sadrži objekte lako vidljive amaterskim teleskopima, ako se zna što i gdje treba tražiti.

Nadam se da će ovaj članak čitateljima pružiti novu perspektivu kada sljedeći put pogledaju otvoreni skup kroz teleskop, kao i da će približiti svemir onima koji ga žele bolje upoznati. Znanje o tome što promatramo jednako je važno kao i samo promatranje, a time iskazujemo i poštovanje znanstvenicima i promatračima koji su svoj život posvetili razumijevanju svemira.



Čuveni „Sveučilišni lanac“ u zvijezdu Cassiopeia skup je od 6 blisko postavljenih otvorenih skupova na udaljenosti tek nešto većoj od 1°. Lanac se sastoji od skupova iz 5 različitih kataloga i izvrstan je za vizualnu percepciju razlike u sjaju i veličini različitih katalogiziranih skupova. Foto: Dean Jacobsen



## PROMATRAČKA ASTRONOMIJA

## Višestruke zvijezde za ljetnu razbibrigu

Piše:

Vedran Vrhovac

Višestruke zvijezde su lako dostupni objekti. Na nebu ih ima na stotine, ne zahtijevaju veliki teleskop za promatranje te su relativno sjajne pa ne pate zbog svjetlosnog onečišćenja ili mjesečine. Osim toga, višestruke zvijezde su rijetki nebeski objekti koji mogu promatrača nagraditi poprilično živopisnim bojama.

U ovom članku opisat ću četiri zvijezde, poredane po izazovnosti promatranja od najlakše ka najtežoj na temelju vlastitog iskustva. Naravno, ovo su samo četiri od tisuće dvojnih

zvijezda te sam siguran kako postoje zvijezde koje su atraktivnije, šarenije ili ljepše od mog izbora. Nemojte zamjeriti ako sam preskočio vaše favorite.

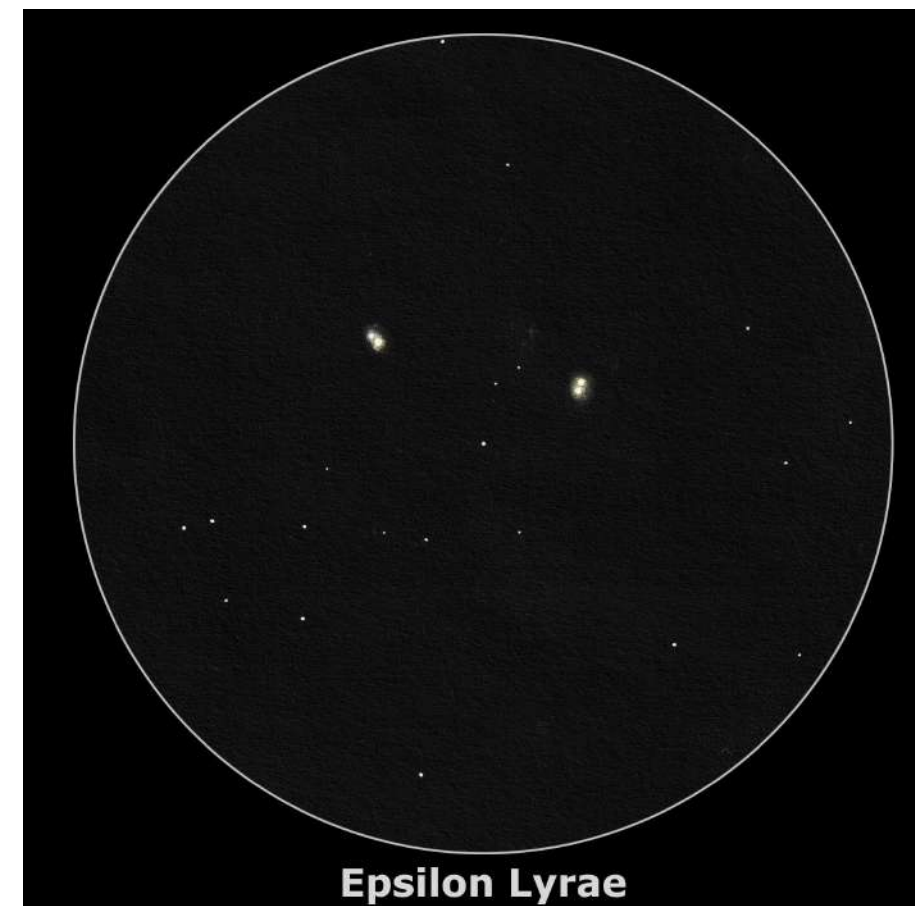
**Rasalgethi**

Rasalgethi, Alfa Herkula, je krasna dvojna zvijezda na samom jugu zviježđa. Daleko je od figure nebeskog junaka te ju je lakše pronaći sljedeći obrub zviježđa Zmijonosac. Rasalgethi je fizička višestruka zvijezda. Sastoji se od primarne i tri pratilje,

ali nas najviše interesira primarna u kombinaciji s najbližom joj pratiljom. Razmak ove dvije zvijezde je malo manji od 5 lučnih sekundi, što je usporedivo s debljinom ekvatorijalnih pojasa na Jupiteru. Za pouzdano razlučivanje ove zvijezde potreban je teleskop od 80 mm promjera i povećanje od oko 100 puta. Rasalgethi se sastoji od primarne zvijezde prividnog sjaja od  $m=3.3$ , dok je pratilja  $m=5.3$ . Boja zvijezda ovisi o kombinaciji promatrača, teleskopa, povećanja i uvjeta promatranja. Manji teleskopi vidjet će kombinaciju crvene ili narančaste primarne u kombinaciji s bijelom pratiljom. Veći teleskop pomaknut će boje prema kombinaciji narančaste ili zlatne primarne, dok će pratilja biti bijelo-plava. Osobno sam vidio zvijezdu kao kombinaciju crvene primarne i blijedo plave pratilje. Rasalgethi je fizička višestruka zvijezda. Pratilja je u gotovo okrugloj orbiti s periodom od 3600 godina! Udaljenost zvijezde je oko 360 svjetlosnih godina.

**Epsilon Lire**

Epsilon Lire je jedna od najpoznatijih višestrukih zvijezda. Smjestila se tik kraj Vege, u malenom, ali lako uočljivom zviježđu Lire, tek malo „desno“ od Mliječnog puta. Sama zvijezda nosi nadima Double Double (Dupla Dupla) jer se sastoji od para dvojnih zvijezda. Kako bi se u ovakvim situacijama astronomi lakše snašli koristi se posebna nomenklatura. U njoj je primarna zvijezda A, pratilja B, sljedeća C itd... Ako je sama pratilja višestruka zvijezda,



Skica dvojne zvijezde Epsilon Lire, promatrano na povećanju od 214X / Autor: Vedran Vrhovac

recimo da je „B“ dvojna, onda bi komponente u tom „sekundarom paru“ imale oznake Ba-Bb itd... U slučaju Epsilon Lire, širi par se sastoji od zvijezda A-C i razmaka je oko 210 lučnih sekundi. Sama zvijezda A ima pratilju B na samo 2.2 luč. sekunde. Komponenta C ima pratilju D na veoma slične 2.3 luč. sekunde! Za razdvojiti primarni par A-C, dovoljan je dvogled. Umjereni izazov je razdvojiti A-B i C-D. Za pouzdano razdvajanje potreban je 100 mm teleskop i povećanje od oko 150 puta. U tom slučaju ćete uočiti par bijelih zvijezda, a svaka od tih bijelih zvijezda bit će u stvari par bijelih zvijezda. Dojam sličnosti dodatno pojačava gotovo identičan sjaj sve četiri zvijezde, koji je u rasponu od  $m=5.2$  do 6.1. Kako je razmak u sekundarnim parovima relativno malen, nestabilna atmosfera može otežati promatranje i razlučivanje zvijezda.

**Albireo**

Albireo, tj. Beta Labuda, jedna je od najpoznatijih dvojnih zvijezda na nebu. Smjestila se u glavi Labuda,

na kraju dugog vrata koji kreće od zvijezde Sadr pa po osi Mliječnog puta u smjeru juga. Među dvojnim zvijezdama od Albirea je eventualno poznatiji par Alkor i Mizar u repu Velikog Medvjeda. Albireo je zbog svojih kontrastnih, intenzivnih boja, gdje je primarna (sjajnija) zvijezda narančasta, a pratilja plava. Osim krasnih boja, riječ je o sjajnoj zvijezdi, prividne veličine od  $m=3$ , sa široko razdvojenim komponentama od čak 35 lučnih sekundi. Visok sjaj



Fotografija dvojne zvijezde Albireo  
Foto: Veljko Petrović

i veliki razmak ga čini lakom metom za sve teleskope, a moguće ga je razdvojiti čak i dvogledima. Ipak, ova zvijezda nije fizički par jer je stvarni razmak među komponentama oko 30 svjetlosnih godina.

**Pi Orla**

Ova zvijezda je meni posebno draga jer je prva dvojna zvijezda ispod 2 luč. sekunde koju sam razdvojio. Često je koristim kao mjerilo stabilnosti atmosfere. Ako je ne mogu razdvojiti, atmosfera previše kuha i ne mogu koristiti velika povećanja. Sama zvijezda se smjestila par stupnjeva iznad Altaira, najsajnije zvijezde u Orlu. Pi Orla se sastoji od tri komponente, A, B i C. U kontekstu članka interesantan nam je par A-B, jer njegov razmak je samo 1.4 lučne sekunde, gotovo pola onog u sekundarnim parovima Epsilon Lire. Kod većih razlika u sjaju teže je uočiti pratilju, ali Pi Orla nam ovdje izlazi u susret jer je razmak u sjaju njenih komponenti tek  $m=0.4$ .

Za pouzdano razlučivanje zvijezda treba vam više mirna atmosfera od velikog teleskopa. Već 150 mm u promjeru je dovoljno, uz povećanje od oko 200x. Ako je atmosfera mirna u okularu će vam se ukazati dvije zvijezde bijele boje i veoma male razlike u sjaju. Kod manjih teleskopa će se zvijezde gotovo dirati, dok će kod većih one biti jasnije razdvojene.

Pi Orla je udaljena oko 500 svjetlosnih godina i nije poznato radi li se o fizičkoj dvojnoj zvijezdi.

Ljeto je godišnje doba kada noć treba dugo čekati. U lipnju i srpnju prava noć nastupa tek iza 23h. Kako nemaju svi luksuz ostajati budni do dugo u noć kako bi lovili tamne objekte, višestruke zvijezde mogu biti odlična razbibriga za trenutke kada imamo vremena na raspolaganju. Na svu sreću, ljetno nebo nam nudi uistinu prekrasne i interesantne višestruke zvijezde. Neke je već moguće vidjeti dvogledom, a za neke će se ipak trebati potruditi i pričekati noć s dobrim uvjetima za promatranje. I ne zaboravite, na nebu uvijek ima nešto lijepo!



Skica dvojne zvijezde Rasalgethi, promatrano na povećanju od 306X / Autor: Vedran Vrhovac



# ASTRONOMSKI KALENDAR

Piše:  
Miroslav Smolić

U nastavku donosimo kronološki pregled ključnih nebeskih događaja za srpanj i kolovoz 2025., prilagođen promatranju dvogledom 8x50 (ili sličnim), te golim okom.

## Srpanj

### 1. srpnja

- Messier 22, kuglasti skup u zviježđu Strijelac (mag. 5,1). Odlično je pozicioniran neposredno nakon sumraka.

- IC 4756, otvoreni skup u zviježđu Zmija (mag. 4,6). Raskošan prizor u dvogledu.

### 2. srpnja

- Prva četvrt Mjeseca. Detalji uz terminator (krateri, sjenke planina) idealni su za dvogled.

### 3. srpnja, pred zoru

- Bliski susret Merkura i M44 u zviježđu Rak. Merkur (mag. -0,3) i M44 (mag. 3,4) nalaze se u istom vidnom polju dalekozora.

- Konjunkcija Venera - Uran: Venera ( $\approx -4$  mag) i Uran (mag. 5,8) stoje blizu. Prilika da se lakše pronađe Uran

- Merkur u najvećoj istočnoj elon-gaciji, sjaji visoko na 13 stupnjeva u večernjem sumraku (mag. 0).

### 10. srpnja

- Puni Mjesec

### 16. srpnja

- Konjunkcija Mjesec - Saturn: tanki mjesečev srp stoji uz Saturn (mag. 0,6) nad južnim horizontom.

### 17. srpnja

- Posljednja četvrt Mjeseca. Odličan za praćenje mjesečevog ruba.

### 20. srpnja, navečer

- Bliski susret Mjeseca i Plejada (M45). Mladi srp Mjeseca kraj Plejada ili Vlašića. Odlično prizor za dvogled.

### 21. srpnja, večer

- Konjunkcija Mjesec - Venera. Tanki srp uz blistavu Veneru.

### 23. srpnja, pred zoru

- Konjunkcija Mjesec - Jupiter

### 24. srpnja

- Mladi Mjesec

### 26. srpnja, pred zoru

- Venera na najvećoj jutarnjoj visini penje se visoko nad horizont (mag. -4).

### 28. srpnja, pred zoru

- Konjunkcija Mjesec - Mars

### 30. srpnja, pred zoru

- Roj južnih  $\delta$ -Akvarida  $\sim 20$  meteora/sat.

## Kolovoz 2025

### 1. kolovoza

- Prva četvrt Mjeseca

- Venera na najvećoj jutarnjoj visini

### 9. kolovoza

- Puni Mjesec

### 12. kolovoza, pred zoru

- Konjunkcija Venera - Jupiter ( $< 1^\circ$  razdvajanja) u zviježđu Lav - dvije najsvjetlije planete rame uz rame.

- Konjunkcija Mjesec - Saturn
- Vrhunac meteorskog roja Perzeida. Pod opadajućim Mjesecom očekujte  $\sim 50$  meteora/sat. Za promatranje najbolje između 01 - 03 sati.

### 14. kolovoza

- Messier 15, kuglasti skup (mag. 6,2) odlično se razaznaje kao zamagljena lopta u dalekozoru 8x50.

### 16. kolovoza

- Posljednja četvrt Mjeseca. Opet idealno za detalje mjesečevog ruba.

- Bliski susret Mjeseca i Plejada (M45) u ranoj večeri

### 19. kolovoza, pred zoru

- Merkur u najvećoj zapadnoj elon-gaciji. Vidljiv oko 4 h ujutro (mag. -0,4).

- Konjunkcija Mjesec - Jupiter.

### 20. kolovoza, pred zoru

- Konjunkcija Mjesec - Venera.

### 21. kolovoza, pred zoru

- Konjunkcija Mjesec - Merkur. Nisko na istoku, netom prije svitanja.

### 23. kolovoza

- Mladi Mjesec

### 26. kolovoza, pred zoru

- Konjunkcija Mjesec - Mars.

### 31. kolovoza

- Prva četvrt Mjeseca.

- Venera i M44 (Košnica) zajedno na jutarnjem nebu u dvogledu (mag. 3,4).

## Duboki svemir

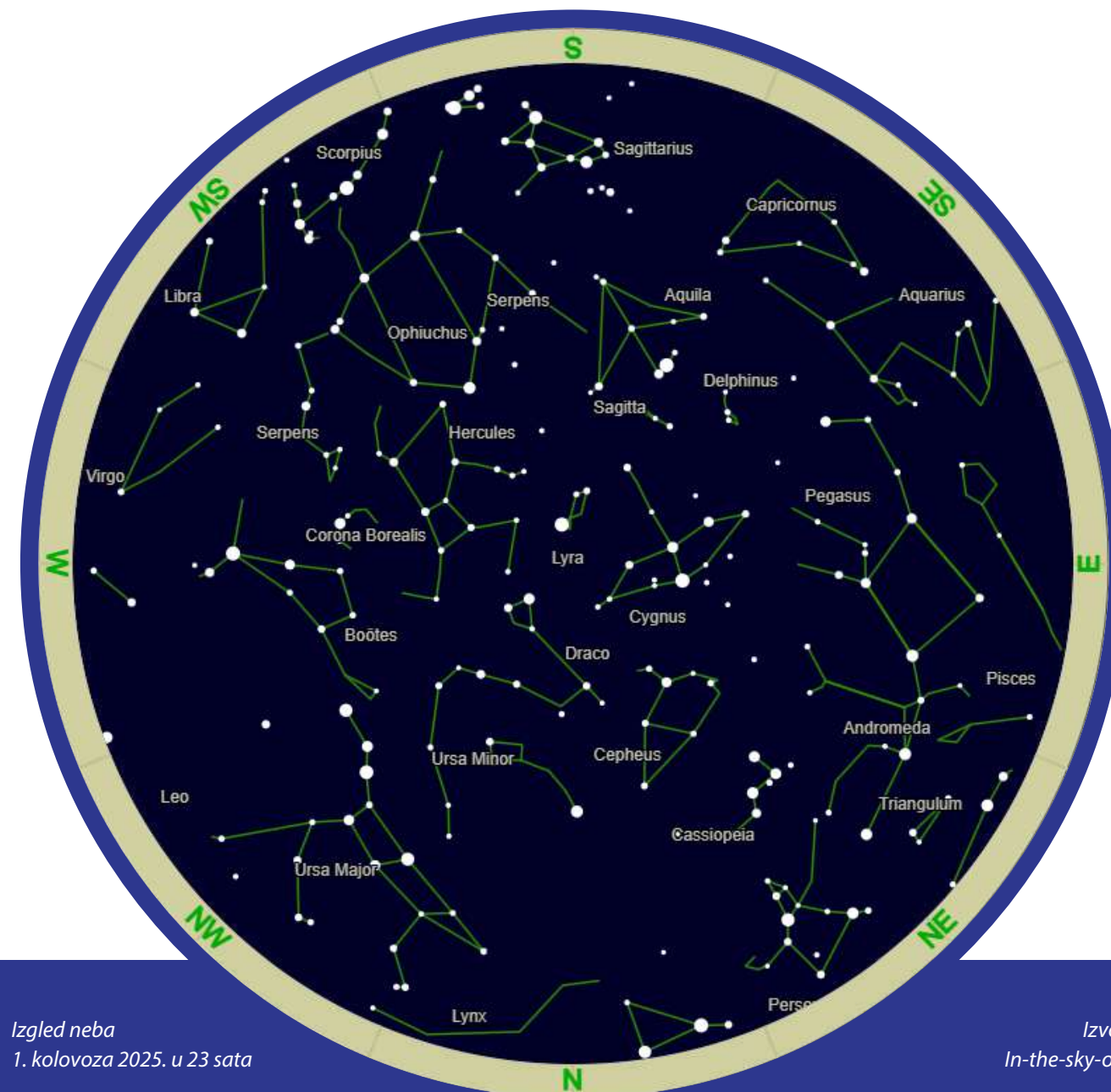
U noćima bez Mjeseca (oko 24. srpnja i 23. kolovoza), sveobuhvatno dalekozorom istražite pojas Mliječnog puta. Preporuka je da pronađete lokaciju sa što manje svjetlosnog onečišćenja.

- M13, kuglasti skup u zviježđu Herkul (mag. 5,8). Izvrstan prizor u dvogledu.

- M6 & M7, otvoreni skupovi (mag. 4,1/3,3). Široka polja zvijezda pored repa Škorpiona.

- M45 (Plejade), otvoreni skup (mag. 1,6). Zapanjujući prizor kroz dvogled.

Vedre noći i uspješna promatranja!



Izgled neba

1. kolovoza 2025. u 23 sata

Izvor:

In-the-sky-org

## ASTROFOTOGRAFIJA - FOTOGRAFIJA NA POSLJEDNJOJ STRANICI

### Hu 9 : kandidat za planetarnu maglicu

Pretpostavke su da u Mliječnoj Stazi ima preko 20.000 planetarnih maglica, no katalogizirano ih je oko 1.800. ali nisu sve potvrđene. Kako je to završna faza u ciklusu zvijezda, zanimljive su astronomima. No, nema sustavnog traženja i katalogizacije. Neke se detaljnije proučavaju u sklopu širih znanstvenih projekta dok većinu otkriju astronomi amateri. Ili slučajno pri fotografiranju nečeg drugog (kao naš Robert Žibreg) ili pretragom podataka snimljenim na velikim teleskopima. Maglicu na slici je prvi primjetio Laurent Huet 2019. godine, no do sada nije spektroskopski potvrđeno da je to planetarna maglica. Vrlo je slabog sjaja i treba sofisticirana oprema za spektroskopiju. Osim ove, postoji još samo jedna fotografija ove maglice.

Fotografija je snimljena u Globočecu, od 10. do 24. 06. 2025. s 3 teleskopa (Esprit 120, Takahashi FSQ85 i APM/LZOS 100 ) istovremeno. Sakupljeno je 16 sati Ha signala i 33 sata OIII signala kroz 3nm filtere.

Foto: Stjepan Prugovečki



