

VEGA

ISSN 2991-6178

HORIZONTI



ZNANSTVENO-EDUKATIVNI ČASOPIS / BR. 15 / OŽUJAK - TRAVANJ 2026.

Radarsko opažanje

Kako mjerimo i snimamo asteroide

Selenologija

Što je mineralni Mjesec?

Letjelice Voyager

Međuzvezdano putovanje

Astrofotografija

Uzroci šuma i metode za minimizaciju

**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 Čemeljić

**AUTOR FOTOGRAFIJE
NA NASLOVNICI:**

Marko Posavec
Zalazak Sunca iza Kalnika

**GRAFIČKO OBLIKOVANJE
I PRIJELOM:**

Dragutin Kliček, Zoran Novak

LEKTURA:

Anamarija Puklavec, dipl. uč. hrv. jez.

KONTAKT:

vega-horizonti@advega.hr

ČAKOVEC, OŽUJAK-TRAVANJ 2026.

Izlazi dvomjesečno od 2023. godine
br. 15

Digitalno izdanje
www.advega.hr

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

RIJEČ UREDNIKA

Dragutin Kliček

Astronomsko društvo Vega



Prošlo je samo 66 godina od prvog ljudskog leta, onog braće Wright 1903. godine, do slijetanja ljudi na Mjesec u misiji Apollo 11 1969. godine. Tih turbulentnih 66 godina obilježeno je, nažalost, i dvama svjetskim ratovima te mnogobrojnim otkrićima, a znanost se često koristila u ratne svrhe i obrnuto. Primjerice, njemačka raketa V2, kojom je gađan London, postala je osnovica svemirskog programa. Njezin tvorac Wernher von Braun, nakon rata prebačen je u Sjedinjene Države i tamo je postao dio istraživačkog tima koji je kreirao rakete Redstone, a kasnije rakete iz programa Saturn. Kad je prije 57 godina lansiran Saturn V, oči svijetu onih koji su imali televizor bile su uprte u ekrane i u kolektivno sjećanje je ušla čuvena rečenica:

"That's one small step for man, one giant leap for mankind."

Postignuće ljudske vrste više nitko nije dovodio u pitanje. Danas brojni teoretičari zavjera podupiru sumnju u to postignuće, a njihov glavni argument glasi: "Ako su ljudi stvarno otišli na Mjesec, zašto danas opet ne odu?" Mimo stotina dokaza, računajući opremu koja je ostala na Mjesecu i koja je vidljiva i drugim nacijama, odgovor je jednostavan i leži u političkoj situaciji 20. stoljeća.

Program Apollo koštao je današnjih 150 milijardi dolara, a cilj je bio pobijediti USSR u svemirskoj utrci. Rusi su prvi poslali satelit i čovjeka u svemir pa je Amerikancima preostalo da budu prvi na Mjesecu. Misije Apollo bile su kratke, nije postojao dugoročni plan za iskorištavanje Mjeseca. Osim skupljanja uzoraka, najvažniji dio misije bila je zabodena zastava SAD-a. Nakon toga sredstva su preusmjerena drugdje, primjerice Mars smo naselili robotima.

Ono što nam slijedi kao velik korak ljudske vrste je program Artemis, novi povratak na Mjesec u tri faze. Prva je realizirana, Artemis 1 (2022.) s letjelicom Orion napravio je "krug" oko Mjeseca testirajući sustave. Uskoro (u travnju) polijeće misija Artemis 2 koja će povesti i astronaute na put oko Mjeseca, dok bi misija Artemis 3 (2028.) trebala ponovno spustiti ljude na površinu. Razlike između programa Apollo i Artemis mogu se i usporediti s razlikama između, slikovito rečeno, telefona iz 1969. godine i današnjeg mobitela. Saturn V je bila brutalna sila uz ručno upravljanje, a misija Artemis 3 koristi moderni sustav koji će astronaute odvesti i sigurno vratiti, gradeći put za stalnu prisutnost na Mjesecu. Sve je razvijano ponovno iz temelja i to tek kad se pojavila politička volja i odgovarajuća sredstva. Jer novi cilj za zabadanje zastavice je tu i zove se Mars.

Zanimljivost: NASA je odabrala naziv Artemis za svoj program povratka ljudi na Mjesec zbog simboličkog značenja: Artemis u grčkoj mitologiji je sestra Apolla, a misija Apollo je odvela ljude na Mjesec. Program Artemis tako simbolično označava nastavak tog nasljeđa.

KAZALO

Zviježđa i grčki mitovi

Perzej - junak rođen iz proročanstva

4 - 5

Radarsko opažanje

Kako mjerimo i snimamo asteroide

6 - 9

Školska astronomija

Je li svemir uistinu prazan?

10 - 11

Selenologija

Što je mineralni Mjesec?

12 - 13

U društvu oblaka

Shelf cloud - impresivni oblak na rubu oluje

14 - 15

Astrobiblioteka

Mala knjiga o izvanzemalcima

16

Astrofotografija

Male planetarne maglice u Orionu

17

Poster

Barnard's Loop i M 78

18 - 19

Astrofotografija

Uzroci šuma i metode za minimizaciju

20 - 22

Atmosferska optika

Irizacija - oblaci u šarenom ruhu

23

Astronomija

Eliptične galaksije

24 - 27

Promatračka astronomija

Zviježđe Lava

28 - 30

Letjelice Voyager

Međuzvjezdano putovanje

31 - 33

Astronomski kalendar

Karta neba

34 - 35

NGC 281 - Pacman maglica

NGC 281 velika je emisijska maglica smještena u zviježđu Kasiopeja, na udaljenosti od približno 9.500 svjetlosnih godina od Zemlje. Svoj nadimak dobila je zbog karakterističnog oblika koji podsjeća na poznati lik iz videoigara. Maglica je aktivno područje nastanka zvijezda, ispunjeno gustim oblacima vodika, prašine i tamnim stupovima materije koji se jasno ističu

na fotografijama visoke rezolucije. U njezinu središtu nalazi se mladi otvoreni skup vrućih, masivnih zvijezda koje snažnim zračenjem oblikuju okolni plin. Zanimljivo je da se maglica relativno brzo udaljava od galaktičke ravnine, što upućuje na snažne procese u prošlosti, poput eksplozija supernova ili intenzivnog zvjezdanog vjetra.



FOTO: Zoran Novak

ZVIJEŽDA I GRČKI MITOVI

Perzej - junak rođen iz proročanstva

Piše:

Darija Dunjko Manhard, mag. archeol

Grcima zviježđa nisu bila tek skupine zvijezda, već trajno upisane priče o bogovima, junacima i njihovim sudbinama. Među grčkim junacima osobito se isticao Perzej (Perseus) koji je svojim djelima zaslužio mjesto na nebeskom svodu, uz svoju suprugu Andromedu i njezinu obitelj, o kojima je bilo riječi u prošlom broju časopisa.

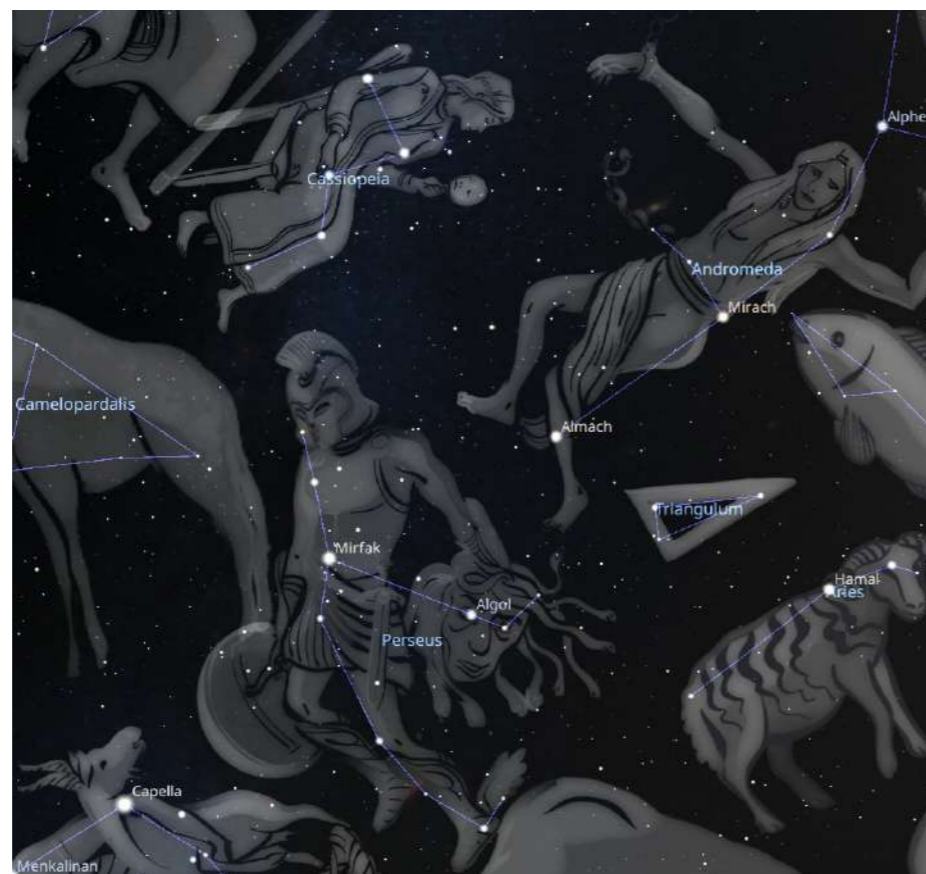
Perzej je bio sin Zeusa i Danaje, kćeri kralja Arga, Akrizija. Prema proročanstvu, Akriziju je bilo suđeno poginuti od ruke vlastitog unuka. U pokušaju da izbjegne sudbinu, Akrizije je Danaju dao zatvoriti u podzemnu odaju. No, to nije spriječilo Zeusa koji joj je pristupio u obliku zlatne bujice, što je rezultiralo rođenjem Perzeja. Bijesan i uplašen, Akrizije je Danaju i novorođenče zatvorio u sanduk i bacio ih u more. Ipak, more ih nije progutalo - spašeni su i dospjeli na otok Serif gdje je Perzej odrastao. Otokom je vladao Polidekt koji se zaljubio u Danaju. Perzej se, tada već mladić, zaštitnički odnosio prema majci te nije dopuštao Polidektu da joj se približi. Kako bi ga uklonio, Polidekt se poslužio lukavstvom. Pretvarao se kako se želi oženiti Hipodamijom te je zatražio od podanika da mu donesu primjerene svadbene darove. Sam je poželio dar kakav nitko drugi ne bi mogao pribaviti - glavu najstrašnije Gorgone, Meduze - i u tu je misiju poslao Perzeja. Meduza je bila jedina smrtna među trima Gorgonama, a njezin je pogled ljude pretvarao u kamen. Uz pomoć božanskih darova - mjedenog štita Atene, mača,

kape nevidljivosti boga Hada i krilatih sandala - Perzej je uspio odsjeći Meduzinu glavu promatrajući njezin odraz u štitu, izbjegavši tako njezin poguban pogled. Na povratku kući naišao je na Andromedu, prikovanu za stijene kao žrtvu morskome čudovištu Ketosu. Perzej ju je spasio, a kasnije se njome i oženio. Nakon povratka na Serif, Meduzinom je glavom okamenio Polidekta te se potom uputio u Arg kako bi preuzeo djedovo kraljevstvo. Unatoč svim junačkim djelima, proročanstvo se ipak ispunilo. Tijekom sport-

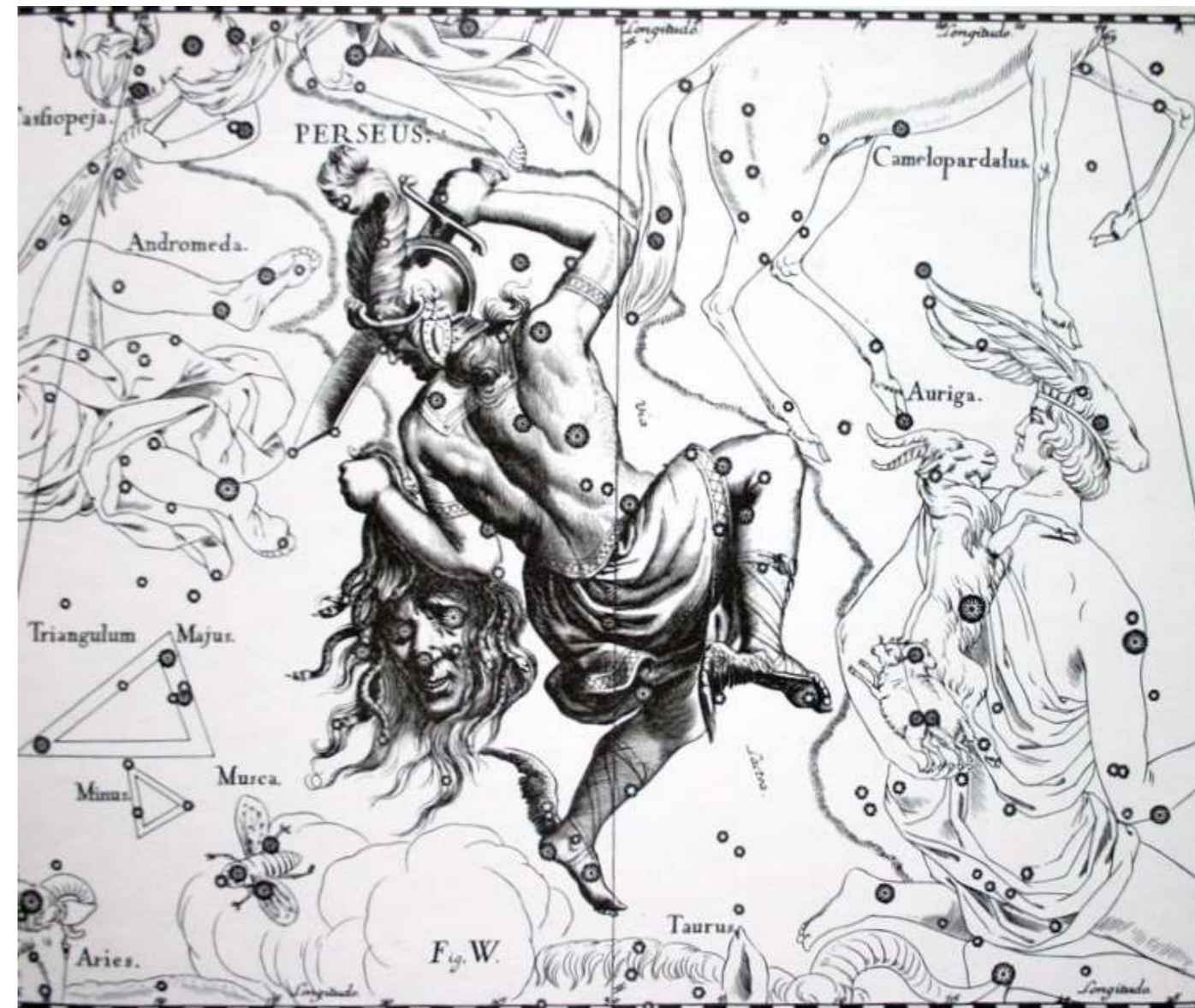
skog natjecanja Perzej je bacio disk koji je nesretnim slučajem pogodio i usmratio Akrizija. Mit tako potvrđuje jednu od temeljnih grčkih ideja - sudbina je neizbježna, čak i kada joj pokušavamo umaknuti.

Zviježđe Perzej na nebeskom svodu

Zviježđe Perzej smješteno je na području Mliječne staze, između zviježđa Andromeda i Cassiopeia. Na kartama neba Perzej je prikazan kako u ruci drži odsječenu Meduzinu glavu, čime je mit trajno povezan



Zviježđe Perzej i susjedna mu zviježđa prikazani u aplikaciji Stellarium



Zviježđe Perzej s istaknutom zvijezdom Algola smještenoj u Meduzinom desnom oku (Tavola W - Perseus - Johannes Hevelius, Firmamentum Sobiescianum, sive uranographia - Prodromus Astronomiae, 1690)

s astronomskim prikazom. Najsajnija zvijezda zviježđa jest Alpha Persei, poznata i pod arapskim imenom Mirfak. Ona označava Perzejevo tijelo i lako je uočljiva na tamnom nebu. Posebnu pozornost privlači Beta Persei, poznatija pod imenom Algol. Njezino ime potječe od arapskog izraza al-ghul, što znači „demonova glava“. Algol je stoljećima bila poznata kao „Zvijezda demona“, a njezina promjenjiva svjetlost vjerojatno je pridonijela toj reputaciji. Riječ je o pomrčinskoj dvojnoj zvijezdi: dva zvjezdana tijela kruže jedno oko drugoga, a otprilike svaka tri dana veća i tamnija zvi-

jezda zaklanja onu manju i sjajniju. Tada sjaj sustava vidljivo opada, nakon čega se ponovno vraća na uobičajenu razinu. Upravo je to periodično „treptanje“ omogućilo snažnu simboličku poveznicu s Meduzinom glavom koju Perzej drži u ruci. Algol je ujedno jedna od prvih promjenjivih zvijezda koju je čovječanstvo prepoznalo, što dodatno objašnjava zašto je upravo ona povezana s motivom „žive“ Meduzine glave.

Mit i znanost - dva pogleda prema istom nebu

Priča o Perzeju pokazuje kako su

antički mitovi i promatranje neba bili duboko isprepleteni. Promjenjiva svjetlost Algola mogla je biti shvaćena kao „živa“ prisutnost Meduzine moći, dok su prostorni odnosi zviježđa oblikovali vizualni narativ spašavanja Andromede i kažnjavanja Kasiopeje.

Iako danas razumijemo fizikalne procese koji stoje iza promjenjivosti Algola, mitološki sloj nije nestao. On i dalje ostaje dio kulturne interpretacije istog neba, podsjećajući nas da su znanost i priča nekoć gledale u iste zvijezde, samo različitim jezikom.

RADARSKO OPAŽANJE

Antički Eratosten izmjerio Zemlju, a moderan čovjek asteroide

Piše:

Lucijan Franin dipl.ing., 9A1Z

Kako je Eratosten izmjerio Zemlju?

Sjećam se jako dobro naslova teme jednog od prvih sastanaka astronomske grupe u srednjoj školi pod vodstvom legendarnog i nenadmašnog profesora Bajuka. Profesora koji nam je zarazno prenio ljubav prema astronomiji i fizici te prema istini i kritičkom razmišljanju. Ono što smo doznali na tom satu i što mi je ostalo neizbrisivo urezano u sjećanje, jest spoznaja o snazi uma. Da ono što se na prvu čini nemoguće, možemo misaonim procesom prevladati i učiniti mogućim. Eratosten je jednostavnim, ali za ono vrijeme genijalnom idejom bez dodatnih alata izmjerio opseg Zemlje. Eratostenova tehnika i misaoni proces baziraju se na promatranju i geni-

jalnom zaključivanju. Izmjerio je kut sjene u cca 800 km udaljenom gradu kada u njegovom gradu sjene nije bilo (poznata slika Sunca u bunaru). Razlika dolazi od zakrivljenosti Zemlje pa je kut koji je izmjerio bio oko 1/50 opsega kruga te je to pomnožio s udaljenosti između dva mjesta i time dobio prilično točan podatak o opsegu Zemlje od 40 000 km. Ne smijemo zaboraviti da je to bilo oko 240 god. pr. n. e.! Zemlja je već tada bila, za one koji žele vidjeti, okrugla! (Siguran sam da nijedan čitatelj ovog časopisa ne sumnja u izgled našeg planeta, ali ova priča može biti još jedan adut protiv ravnazemljaša čija je ponovna pojava u ova moderna vremena meni u potpunosti neobjašnjiva.)

Od gimnazijskih dana prošlo je mnogo vremena. U međuvremenu me profesionalna orijentacija odvela prema radio komunikacijama i otuda interes za teme kao što je ova koja slijedi. Jednom, sada se već ne sjećam točno kada i gdje, naišao sam na slike asteroida koji je prošao relativno blizu Zemlje. Relativno blizu za astronomske pojmove, ali zapravo na udaljenosti da ga možemo smatrati česticom u odnosu na zemaljske udaljenosti. Te slike su prikazivale oblik asteroida kao da je snimljen iz neke sonde koja mu se približila ili na neki drugi neobjašnjiv način, a nije ga snimilo ništa iz njegove blizine ili iz nekog ogromnog teleskopa iz svemira. Bio je snimljen radio teleskopom sa Zemlje. Sa Zemlje!



Slika 1: slijed slika asteroida snimljenih radarom sa Zemlje

Pa kakva je to genijalna ideja dovela do mogućnosti da radarom snimimo površinu i oblik asteroida udaljenog milijunima kilometara od nas? To me jako podsjećalo na Eratostena koji je izmjerio Zemlju, recimo to tako, „snagom uma“. Jednostavno sam morao doznati sve o tom mjerenju radarom i doznao sam. No, prije nego prijeđemo na opis genijalnog funkcioniranja Zemaljske radarske opservatorije, moramo pokušati usporediti vizualno i radarsko promatranje asteroida. Kao prosječni asteroid uzeo sam asteroid promjera 500 m na udaljenosti 0,05 AU (oko 7,5 milijuna km). Kutna veličina takvog asteroida je 0,0138 arcsec, što je izuzetno mali kut. To je oko deset puta ispod granice razlučivanja teleskopa aperture od 1m. Ako se slika prenosi na CCD kameru teleskopa, onda je jedan pixel oko 0,206 arcsec. Iz toga se jasno vidi da se asteroid ne može razlučiti vizualno, pojavit će se samo kao točkica.

Za drugi primjer možemo uzeti legendarni radio teleskop Arecibo koji nažalost više ne radi, frekvencije 2380 MHz, promjera antene od 305 metara. Arecibo je bio najveći radio teleskop, donedavno i dugo godina najjači. Imao je kut snopa zračenja od samo 0,0289° ili 1,7 arcmin. I tako, uska radarska zraka imala je promjer snopa na mjestu asteroida 3800 km što je tisuću puta veće od tipičnog asteroida od 500 m. Sada je apsolutno jasno da teleskopi, a pogotovo radio teleskopi, zapravo ne mogu razlučiti površinu asteroida - daju samo JEDAN jedini piksel informacije.

Pa kako je onda moguće da postoje slike asteroida snimljene sa Zemlje u rezoluciji čak do 4 m površine i da postoje 3D modeli asteroida? Kakva genijalna dosjetka se krije iza tog postignuća? O kojem je triku i tehnici riječ ako znamo da je radarska zraka puno šira od samog asteroida?

Opipaj me snagom, ali nježno

Optičko promatranje nebeskih tijela, a tako i asteroida, ovisi o njihovom vlastitom zračenju. Ono je posljedica refleksije svjetla od vanjskog izvora ili emitiranja vlastitog sjaja, kao npr.

zvijezde. Takva svjetlost daje nam informacije o objektu na način da jednostavno vidimo njegovu površinu ili da procijenimo sastav na bazi spektra primljenog svjetla.

Kod radarskog opažanja izvor „svjetlosti“, ili bolje rečeno energije kojom opipavamo udaljeno tijelo, je radio signal koji mora biti usmjeren na objekt promatranja i energija mora biti takva da onaj dio koji se reflektira dopiše natrag do Zemlje dovoljno snažan da ga detektiramo (slika 1).

Za proračun mogućnosti detektiranja odbijenog signala koristimo radarsku jednadžbu (slika 2) koja nam daje primljenu snagu na bazi snage odašiljača, pojačanja antene, udaljenosti objekta, reflektivne površine objekta i valne duljine.

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

Slika 2: radarska jednadžba daje uvjete za detekciju refleksije

Jasno je vidljivo kako prijemna snaga pada sa četvrtom potencijom udaljenosti. Snaga radio signala koji se širi prostorom pada s kvadratom udaljenosti, ali kod radara se udaljenost prevaljuje dva puta, tamo i natrag. Bez obzira na kvalitetu prijemnika, postoji tehnički nepremostiv prag prijema ispod kojeg ne čujemo signale jer su u šumu sistema. Ako je signal ispod nivoa šuma, možemo povećati snagu ili antenu. Možemo povećati valnu duljinu, ali nam onda opada pojačanje antene. Sve te ovisnosti pokazuje ova neumoljiva jednadžba. Praksa je pokazala da nam za radio promatranje našeg standardnog zamišljenog asteroida treba snaga od oko 900 kW (skoro 1 MW!) uz ogromno pojačanje antene (velika usmjerenost uz pomoć parabolične antene promjera 300 m) sve na frekvenciji od 2380 MHz (valna duljina 126 cm). Ako takav signal usmjerimo na asteroid udaljen 0,05 AU i promjera 500 m, na istu antenu ćemo primiti signal snage -166,4 dBm. To je jako,

jako tanak signal. Ako ga detektiramo prijemnikom širine propusta od 1 Hz (jačina šuma u kanalu -184,6 dBm), ostvarit ćemo još uvijek odličan odnos signal/šum (S/N) od 18,2 dB. Ukoliko želimo primati signal veće širine, npr. 500 Hz, jačina signala mora se povećati za 27 dB ili 500 puta. Vidjet ćemo kasnije zašto je potrebna veća širina prijemnog kanala. Postoje dvije tehnike u radarskom promatranju asteroida. Prijem i predaja s istog odašiljača i antene kada se objekt impulsno obasjava pa se onda osluškuje odjek ili se signal emitira s jednog odašiljača kontinuirano, a prima na nekom drugom često udaljenom mjestu. Jedna antena obasjava predmet, a druga promatra odjek. Ova druga tehnika omogućuje integraciju signala na jednoj anteni, dok se sam signal emitira kontinuirano s druge antene. Tom se tehnikom dolazi do boljeg odnosa signal – šum (S/N), tj. do boljeg primljenog signala odjeka.

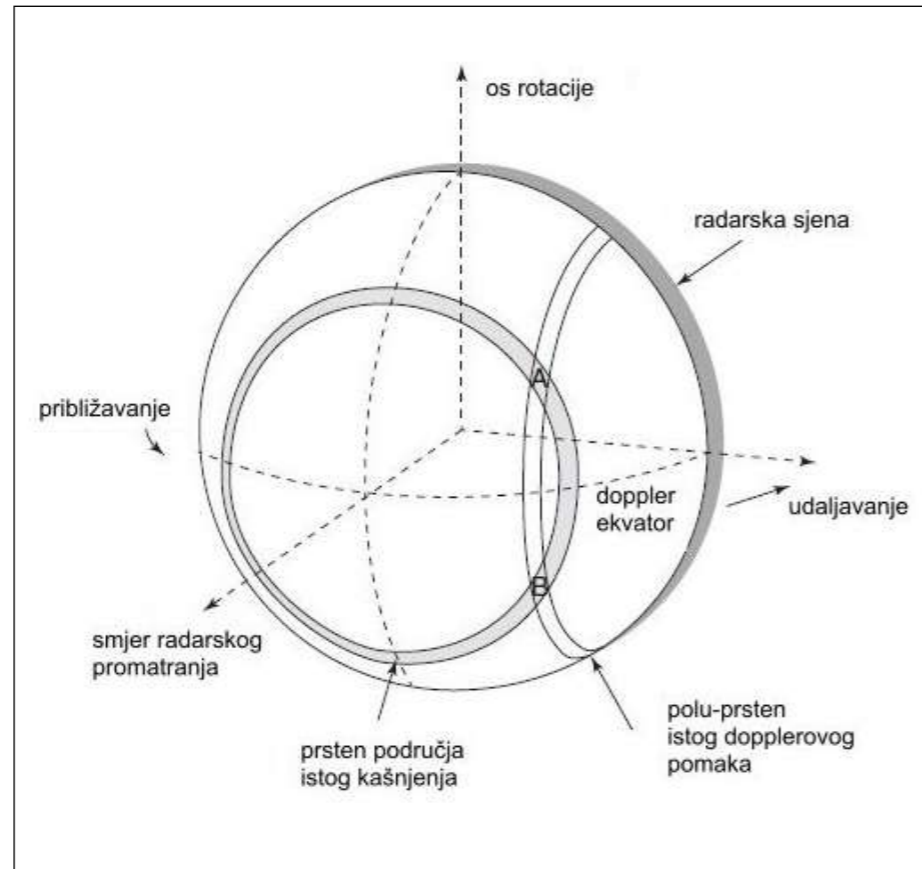
I upravo se tajna opipavanja asteroida i rekonstrukcija njegovog oblika i drugih karakteristika nalazi u radarskom odjeku signala. Signal koji emitiramo prema objektu izgleda kao jedna tanka linija u spektralnom prikazu. Poslana sa Zemlje ona je na točno jednoj frekvenciji predajnika. Refleksijom od asteroida radio signal „upije“, „opipa“ asteroid na način da se radio signal promijeni iz jedne jedine frekvencijske linije u širi signal koji u sebi ima zapisan otisak asteroida. Koje se to promjene dogode sa signalom? Kao prvo, signal ima kašnjenje. Kašnjenje ovisi o udaljenosti asteroida i o vremenu koje je potrebno da signal brzinom svjetlosti stigne natrag na Zemlju. Za naš zamišljeni asteroid kašnjenje će biti oko 50 sekundi od emitiranja signala. To je vremenski prozor u kojem očekujemo signal s asteroida te možemo odbaciti ostale signale prije i poslije očekivanog vremena. Postoji i doppler pomak koji je rezultat gibanja asteroida u odnosu na Zemlju. On će biti vidljiv u razlici frekvencija centra poslanog signala i centra primljenog signala. Npr. signal zbog gibanja asteroida prema ili do Zemlje može biti u gra-

nicama od +/- 40 do 160 kHz. S obzirom da znamo astronomsko kretanje asteroida iz drugih opažanja, ovo je očekivani frekvenzijski prozor u kojem pratimo naš pravi odjek i ostale signale izvan tog prozora možemo odbaciti. I onda kada podesimo prijemnike na očekivanu frekvenciju, uključimo DSP filtere i integratore (početak numeričke obrade signala), ugledamo na spektralnom prikazu prijemnika slab, ali znakovit signal refleksije od našeg asteroida.

Čudo je u otisku signala

Ono što primimo od samog asteroida putem refleksije, jest izmijenjen, modificiran radio signal. Moduliran na nekoliko načina: u frekvenzijskoj i vremenskoj domeni, tj. u širini i obliku (amplitudi) signala. Zbog čega se signal mijenja?

Kako se asteroid rotira oko svoje osi, dio signala ima pozitivni doppler¹, a dio signala ima negativni doppler. Signal se proširi ovisno o veličini asteroida i brzini rotacije asteroida (obodna brzina). Signal se proširi i zbog toga što djelići signala stižu u različito vrijeme zbog različite udaljenosti pojedinih točaka površine asteroida do Zemlje. Taj prošireni spektar predstavlja rotaciju asteroida i prostornu udaljenost dijelova asteroida, a promjenjiva je i amplituda signala. Od nekih dijelova objekta signal se reflektira jače, a od nekih slabije. To je vrijednost refleksije neke točke kojoj jednu koordinatu daje Dopplerov pomak, a drugu mikro kašnjenje signala zbog razlike u udaljenostima od bližih dijelova asteroida do daljnjih. U mjeri u kojoj možemo razlikovati doppler unutar signala otiska (refleksije) (u mHz-ima) te vremensku razliku u prijemu dijelova signala (u mikrosekundama: drugim riječima, koliko širok signal primamo²), toliko ćemo imati rezoluciju površine asteroida. Potpuna informacija se nalazi u širini signala i samo je pitanje koliko širok signal možemo primati kako bismo razlikovali brze promjene u signalu, tj. kako bismo



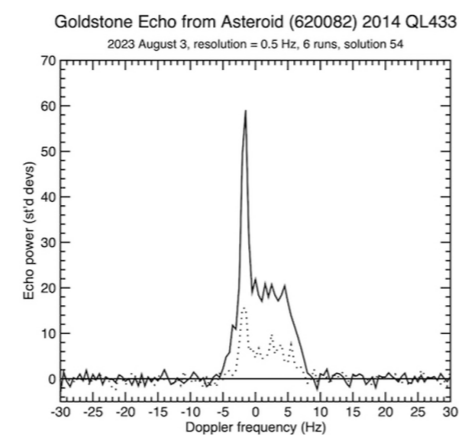
Slika 3: doppler-delay matrica koordinata radarskog promatranja asteroida

postigli željenu rezoluciju. Ključ za dobivanje slike površine asteroida je u kombinaciji prostornih podataka dobivenih iz kašnjenja i dopplera signala. Zbog toga se ova radarska tehnika promatranja zove doppler-delay radarska opservacija (slika 3). Težnja prema boljoj rezoluciji uvjetuje veću širinu signala koji primamo, što onda proporcionalno povećava i šum: pada nam omjer između signala i šuma (S/N). Prije spomenuta širina prijemnog opsega od 500Hz dovoljna je tek za rezoluciju od 300 km. Za rezoluciju od stotinjak metara treba čak oko 1,5 MHz širine signala, što nam signal iz gornje računice oslabljuje za dodatnih brutalnih 61,8 dB. Samo najveće radarske antene i posebne tehnike digitalne obrade signala i koherentne integracije mogu iščupati signal iz šuma, a signal će biti koristan za obradu ako je barem 10 dB iznad šuma. Iz toga je još jasnije zbog čega za takva promatranja trebaju stvarno veliki radio teleskopi³.

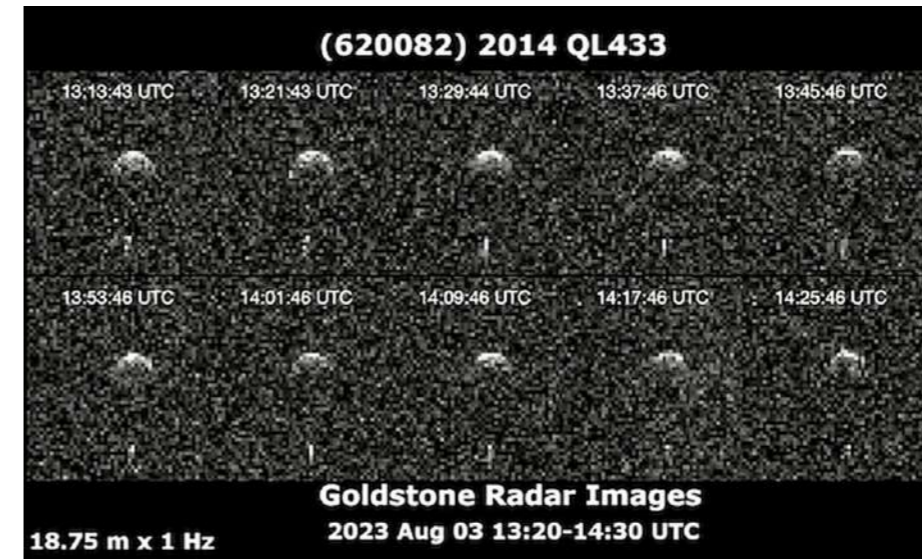
Kako nastaje slika

Obrađeni signal daje nam koordinate točaka i njihove vrijednosti refleksivnosti: Jedna dimenzija = kašnjenje (udaljenost) >> rezolucija 7–75 m (tipično). Druga dimenzija = Doppler frekvencija >> rezolucija nekoliko metara.

A što nam govori sam oblik primljenog signala?



Slika 4: spektar refleksije radarskog signala asteroid 2014 QL433



Slika 5: rekonstrukcija binarnog sustava asteroida 2014 QL433 iz spektra
lijevo, pik u spektru jasno ukazuje na binarnost objekta

Ako je spektar signala simetričan, asteroid je približno sferan. Ako je asimetričan spektar, onda je asteroid nepravilnog oblika ili se rotira. Ako se u proširenom spektru vide višestruki vrhovi, onda se radi o binarnom asteroidu. Ako je amplituda spektra glatka krivulja, onda je refleksivnost homogena i asteroid je gladak. Ako se u amplitudi signala javljaju šiljci, onda to ukazuje na varijacije u obliku, udubljenja ili izbočine na samom tijelu asteroida. Mislim da je objašnjenje dovoljno intuitivno kako bismo mogli zami-

sliti nastanak 3D modela promatranog objekta. Ako se objekt promatra duže vrijeme i u različitim pozicijama rotacije, time se rješava problem neodređenosti simetričnih točaka, a daje nam uvid i na sve strane objekta. Na sljedećim slikama (slika 4 i slika 5) jasno se vidi veza između karaktera spektra signala i samog objekta. Asimetričan doppler pik jasno ukazuje na binarnost objekta.

Svakako predlažem da pogledate animaciju koja ilustrira vezu između spektra signala i oblika promatranog objekta⁴.



Slika 6: Asteroid 2014 HQ124, Arecibo+Goldstone

Za kraj

Gordon H. Pettengill i Rolf B. Dyce pioniri su radarske astronomije na MIT Lincoln Laboratoryju. Početkom 1960-ih prvi su uspješno proveli doppler-delay radio promatranja. Njihov rad otvorio je put modernoj planetarnoj radarskoj astronomiji i preciznim mjerenjima orbita planeta pa su danas radio teleskopska promatranja uobičajena, ali i dalje fascinantna. Na internetu možete pronaći radarske slike mnogih asteroida, ali i planeta (npr. Venere) pa i detalje našeg susjeda Mjeseca koje pokazuju impresivne dosege ove tehnike radarskog promatranja.

Na slici 6 prikazan je asteroid 2014 HQ124 na čijem je radarskom snimanju⁵ sudjelovala i hrvatska fizičarka Marina Brozović koja radi u Nasinom JPL-u. Siguran sam da bi nam ona kao znanstvenica specijalizirana za radarska opažanja asteroida mogla dati jako puno detalja o ovoj temi koja je u ovom članku tek načeta. Zavidim joj na pogledima u spektre dobivenih signala i radu na najvećim antenama.

No što je u ovoj temi zapravo ključno? To je taj moment spoznaje kako u doppler-delay domeni postoji INFORMACIJA. U slučaju radarskog promatranja informacija se iz te dodatne domene signala izvlači: iz tih informacija kreiramo izgled promatranog objekta. A koliko je ta spoznaja važna i korisna, pokazuje razvoj mobilnih 6G mreža gdje se obrnuto, informacija UTISKUJE u doppler-delay domenu kako bi se gustoća informacija i iskoristivost spektra poboljšala. Zanimljiv obrat situacije!

Od Eratostenovog premjeravanja Zemlje do mogućnosti radarskog snimanja površine asteroida prošlo je više od dva tisućljeća, i naravno, mnogo se toga promijenilo. No, ono što je tim dvama slučajevima zajedničko, jest postignuće ljudskog uma koji razmišlja izvan okvira. To će i dalje biti glavni pokretač napretka.

¹ Frekvenzijski pomak signala zbog relativnog gibanja između izvora i prijemnog mjesta signala.

² Veća širina opsega prijemnog signala znači više informacije. Vremenska rezolucija mikro kašnjenja je obrnuto proporcionalna širini signala. Da bismo razlikovali signal u vremenskoj domeni od Δt , spektar mora biti minimalno $1/\Delta t$.

³ Trenutno najveći radio teleskop na svijetu je kineski FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope), Guizhou, Kina. On nije radar već samo prima signale.

⁴ <https://www.youtube.com/shorts/yQRbz5YYkJI>

⁵ Link na kolekciju slika asteroida 214 HQ124: <http://youtu.be/6r7ncRralhI>

ŠKOLSKA ASTRONOMIJA

Je li svemir uistinu prazan? Vakuum od svemira do školske učionice

Piše:

Mihael Varga, mag. phys.

Kad u filmu svemirski brod eksplodira, gotovo uvijek čujemo "BUM!". U stvarnosti bi takav prizor bio nijem. Zvuk je mehanički val i treba čestice kroz koje se širi. U dubokom svemiru ih je malo. Vakuu je zato odličan primjer kako riječ "prazno" u fizici postaje precizan pojam i kako se ta priča može dovesti u učionicu.

Sama riječ vakuum dolazi od latinskog *vacuus* ("prazan, nepopunjen"). Stoljećima je bila raširena i ideja *horror vacui* ("priroda se grozi praznine"), često vezana uz Aristotelovu tvrdnju da se svaka šupljina mora odmah ispuniti tvari. Danas znamo da golemi, gotovo prazni prostori, doista postoje, ali nikad nisu potpuno lišeni svega.

Što fizičari zovu vakuumom?

U govoru vakuum često znači "ništa". U fizici je to prostor u kojem je broj čestica jako smanjen u odnosu na normalan zrak. Primjerice, u 1 cm^3 zraka pri tlu ima oko 10^{19} molekula, dok najrjeđi dijelovi međuzvezdanog prostora imaju približno 0,1 atoma u istom volumenu – razlika od oko 20 redova veličine. Svemir je, dakle, "prazan", ali ne savršeno prazan. Postoji rijedak plin (pretežno vodik i helij), prašina, kozmičke zrake i elektromagnetsko zračenje. Gustoća čestica jako ovisi o tome gdje se nalazimo: u blizini zvijezda i u oblacima plina gustoća je veća, dok su najveće "praznine" mnogo rjeđe.

Svemirski vakuum: tišina za zvuk, autocesta za svjetlost

Zvuk se ne širi jer nema dovoljno čestica koje bi prenosile titranje od izvora do prijatelja: gdje nema medija, nema ni zvučnog vala. Svjetlost i radiovalovi, s druge strane, ne trebaju materijalni medij – elektromagnetski valovi putuju i kroz vakuum.

Vakuum i čovjek - zašto je odijelo nužno

Kad bi čovjek bez zaštite bio izložen vrlo niskom tlaku, problem ne bi bilo "smrzavanje u sekundi" ni "filmska eksplozija", nego hipoksija (nedostatak kisika) i posljedice nagle dekompresije. U takvim uvjetima svijest se može izgubiti vrlo

brzo, u pravilu unutar desetaka sekundi, prije nego što nedostatak kisika postane kritičan. Postoji i prag zvan Armstrongova linija. Pri dovoljno niskom tlaku tjelesne tekućine mogu početi prelaziti u paru, što dodatno ugrožava organizam. Zato su svemirsko odijelo i letjelica zapravo "prijenosna atmosfera" – sustav koji osigurava kisik i održava tlak.

Vakuum pod povećalom

Povijest vakuuma u znanosti počinje atmosferskim tlakom. U 17. stoljeću Otto von Guericke je iz prostora između Magdeburških polukugli ispumpao većinu zraka pa je tlak unutra postao mnogo manji nego tlak zraka izvana. Upravo ta razlika tlaka stvara veliku silu koja polukugle "stisne" jednu uz drugu pa ih je teško razdvojiti. Isti pokus danas se izvodi i u osnovnim školama.

U kvantnoj fizici čak ni idealni vakuum nije potpuno miran. U njemu se stalno, na vrlo kratko vrijeme, mogu "pojavljivati" i "nestajati" parovi čestica i antičestica. To se ne događa kao stvarna proizvodnja čestica koje možemo uhvatiti, nego kao kratkotrajno kvantno "treperenje" polja u pozadini. Kad se dvije metalne pločice približe na vrlo mali razmak, prostor između njih postaje neka vrsta "ograničene zone". Nisu sve kvantne fluktuacije jednako moguće između ploča kao izvan njih. Pojednostavljeno, između ploča ima "manje" dopuštenih treperenja nego izvana. Zbog toga je kvantni "pritisk" izvana malo veći nego iznutra pa pločice osjete vrlo slabu neto silu koja ih gura jednu prema drugoj. Taj efekt, koji je predvidio Hendrik Casimir, često se navodi kao primjer da su kvantne fluktuacije vakuuma stvarne u smislu ostavljanja mjerljivog traga.

Divovski vakuumi - "mali svemiri" u laboratoriju

Kad želimo mjeriti iznimno sitne efekte, prvo moramo na Zemlji osigurati okoliš u kojem zrak neće smetati. U detektorima gra-



Slika 2. Širenje balona pri snižavanju tlaka (vakuumska posuda).
Lijevo je stanje pri većem tlaku u posudi, a desno nakon ispumpavanja zraka.

vitacijskih valova, poput LIGO, laserska svjetlost putuje kroz kilometarske cijevi. Da bi šum bio minimalan, cijevi su u ultra-visokom vakuumu: i rijetki sudari s molekulama zraka mogu narušiti stabilnost snopa. Sličan razlog vrijedi i za akcelerator čestica. U CERN-u, snopovi čestica u Large Hadron Collider kruže gotovo brzinom svjetlosti pa bi svaki "višak" plina u cijevima povećao gubitke i smanjio preciznost mjerenja. Najbolji ljudski vakuumi zato postaju kontrolirane verzije svemirskog okoliša – mali komadi "svemira" u laboratoriju.

Vakuum u školi - dva pokusa koja "prodaju" priču

Iako svemirski vakuum ne možemo postići u učionici, osnovne ideje su savršeno demonstrativne – uz školsku vakuumsku posudu/zvono predviđeno za podtlak.

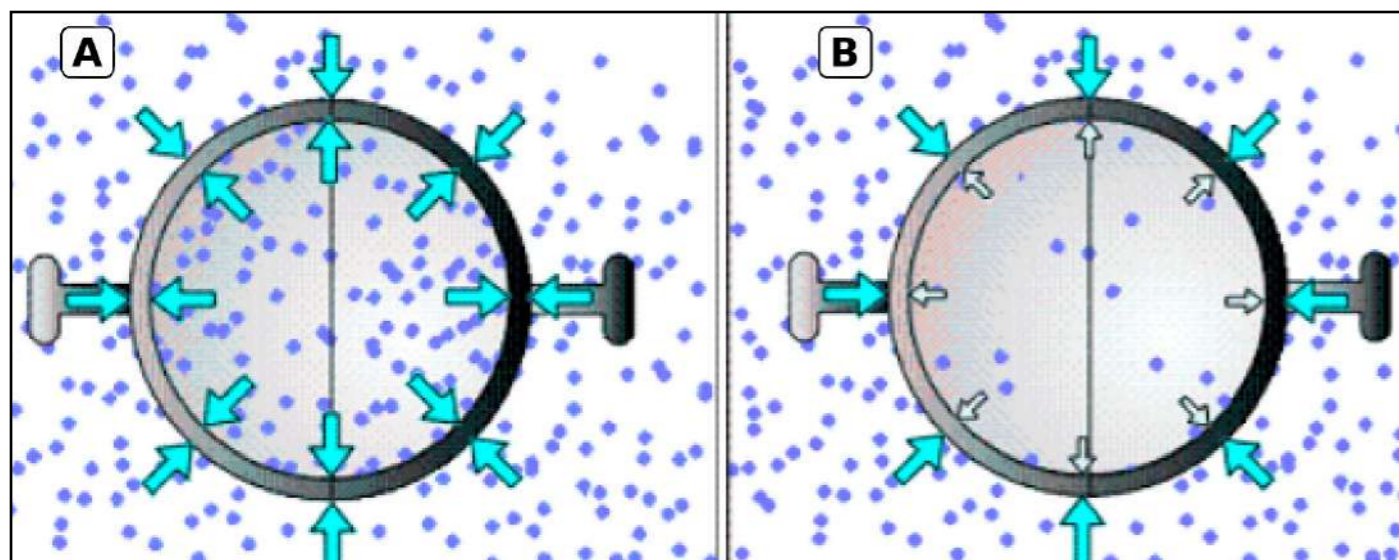
1) Nestali zvuk. U vakuumsko zvono stavite mobilni telefon s alarmom ili malo zvonca. Na početku se zvuk

jasno čuje, a zatim pri ispumpavanju zraka postaje sve tiši. Izvor i dalje titra, ali nema dovoljno čestica zraka da prenesu val do uha – isti princip zbog kojeg je svemir "tih" za zvuk.

2) Širenje balona. U istu posudu stavite malo napuhani balon. Kako vanjski tlak pada, plin u porama/unutrašnjosti se širi i objekt "naraste" (Slika 2). Za razliku od Magdeburških polukugli, gdje niži tlak unutra omogućuje da atmosferski tlak izvana "stisne" polukugle, ovdje snižavamo tlak izvan balona. Zbog toga tlak zraka u balonu postaje relativno veći i balon se širi.

Zaključak

Vakuum se pokazao kao pojam s dva lica. U klasičnoj fizici to je priča o tlaku i razlici tlakova, a u modernoj fizici i o kvantnom "treperenju" koje nije moguće potpuno ukloniti. Od Magdeburških polukugli do Casimirovog efekta, put je isti. "Prazno" je često zanimljivije nego što izgleda.



Slika 1. Magdeburške polukugle i razlika tlakova. (A) Tlak zraka unutar i izvan polukugli je jednak i polukugle se mogu razdvojiti bez otpora. (B) Nakon ispumpavanja zraka tlak unutra postaje manji pa atmosferski tlak izvana stvara neto silu koja polukugle snažno "stisne" jednu uz drugu.

SELENOLOGIJA

Što je mineralni Mjesec?

Piše:

Neven Krčmarek

Iako sjajan na noćnom nebu, naš prirodni satelit skriva svoje boje kao zmija noge. Zašto?

Površina Mjeseca sastoji se od različitih minerala: kisika, silicija, željeza, magnezija, kalcija, aluminija i titana. Ti minerali reflektiraju Sunčevu svjetlost prema nama pa sa Zemlje vidimo Mjesec ponekad žutim kada je nisko nad horizontom, a najčešće bijelim ili sjajno sivim kada je visoko na nebu. Žuti Mjesec zapravo ne postoji! To je optička varka. Kada je Mjesec blizu horizonta, njegova svjetlost putuje kroz debeli sloj Zemljine atmosfere. Atmosfera raspršuje plavu i ljubičastu boju, propuštajući samo tople tonove: žutu, narančastu i crvenu boju. Baš kao i Sunce koje izgleda narančasto pri zalasku!

Kada fotografiramo Mjesec i pojačamo boje na fotografiji, dogodit će se nešto nevjerovatno, Mjesec postaje šaren! Sve one sive nijanse pretvaraju se u plave, tirkizne, narančaste i smeđe boje. Plavi dijelovi pokazuju gdje ima puno titana, a narančasto-crveni gdje ima puno željeza. Mjesec koji izgleda sivo zapravo je pun boja, samo ih naše oči ne mogu vidjeti.

Geologija boja - što nam točno Mjesec govori?

Da bismo razumjeli boje na Mjesecu, moramo pogledati kemiju lunarnih mora (tamnih područja) i visoravni. Tamna područja, poznata kao maria, zapravo su ogromne bazaltne ravnice nastale



Detalj površine Mjeseca sa jednog od 6 pojedinačnih snimaka.

drevnim vulkanskim erupcijama. No, nisu sva mora ista.

Plavi tonovi, koji su najizraženiji u moru 'Mare Tranquillitatis', ukazuju na visoku koncentraciju titana, točnije minerala ilmenita (željezni titanov oksid). Titan je fascinant jer je lunarna lava bogata ovim metalom bila rjeđa i tekuća, što joj je omogućilo da se razlije u tanke, široke slojeve. S druge strane, područja koja na obrađenim fotografijama vuku na narančastu ili hrđavo-smeđu boju, poput mora 'Mare Serenitatis', siromašna su titanom, ali bogata željezom i magnezijem. Zanimljivo je promatrati granicu između ta dva mora. Iako promatrana golim okom, izgledaju kao jedna siva mrlja. "Mineralna" fotografija jasno pokazuje oštru granicu gdje plava boja naglo prelazi u žuto-smeđu boju. To nam govori

ri da su se te erupcije dogodile u različitim geološkim razdobljima i da je sastav magme ispod površine bio dramatično drugačiji. Svijetla područja, odnosno lunarne visoravni (terrae), starija su od mora i sastoje se uglavnom od stijene anortozita. Ona su siromašna teškim metalima, ali bogata aluminijem i kalcijem, zbog čega reflektiraju više svjetla i ostaju relativno neutralna, odnosno blijedo-žućkasta na fotografijama, čak i nakon pojačavanja saturacije.

Kako snimiti mineralni Mjesec?

Mnogi početnici u astrofotografiji misle da je za mineralni Mjesec potrebna skupa, specijalizirana kamera. Istina je zapravo suprotna – gotovo svaki DSLR ili mirrorless fotoaparati s teleobjektivom može zabilježiti ove boje, pod

uvjetom da se držite nekoliko ključnih pravila.

Prvo i najvažnije pravilo je snimanje u RAW formatu. JPEG format, kojeg kamere automatski obrađuju, komprimira podatke o bojama i često ih nepovratno gubi. RAW datoteka sadrži sirove podatke senzora, uključujući one suptilne nijanse boja koje naše oko ne vidi, ali senzor bilježi.

Drugi ključni faktor je ekspozicija. Mjesec je vrlo svijetao objekt. Ako preekspozirate fotografiju, bijeli dijelovi postaju čista bijela boja bez ikakvih podataka (vrijednost piksela 255, 255, 255). U tim dijelovima nema informacija o boji koje biste kasnije mogli izvući. Zato je uvijek bolje fotografiju lagano podeksponirati kako biste sačuvali detalje u najsvjetlijim kraterima.

Treći faktor po važnosti je stacking (slaganje fotografija). Budući da je signal boje na Mjesecu vrlo

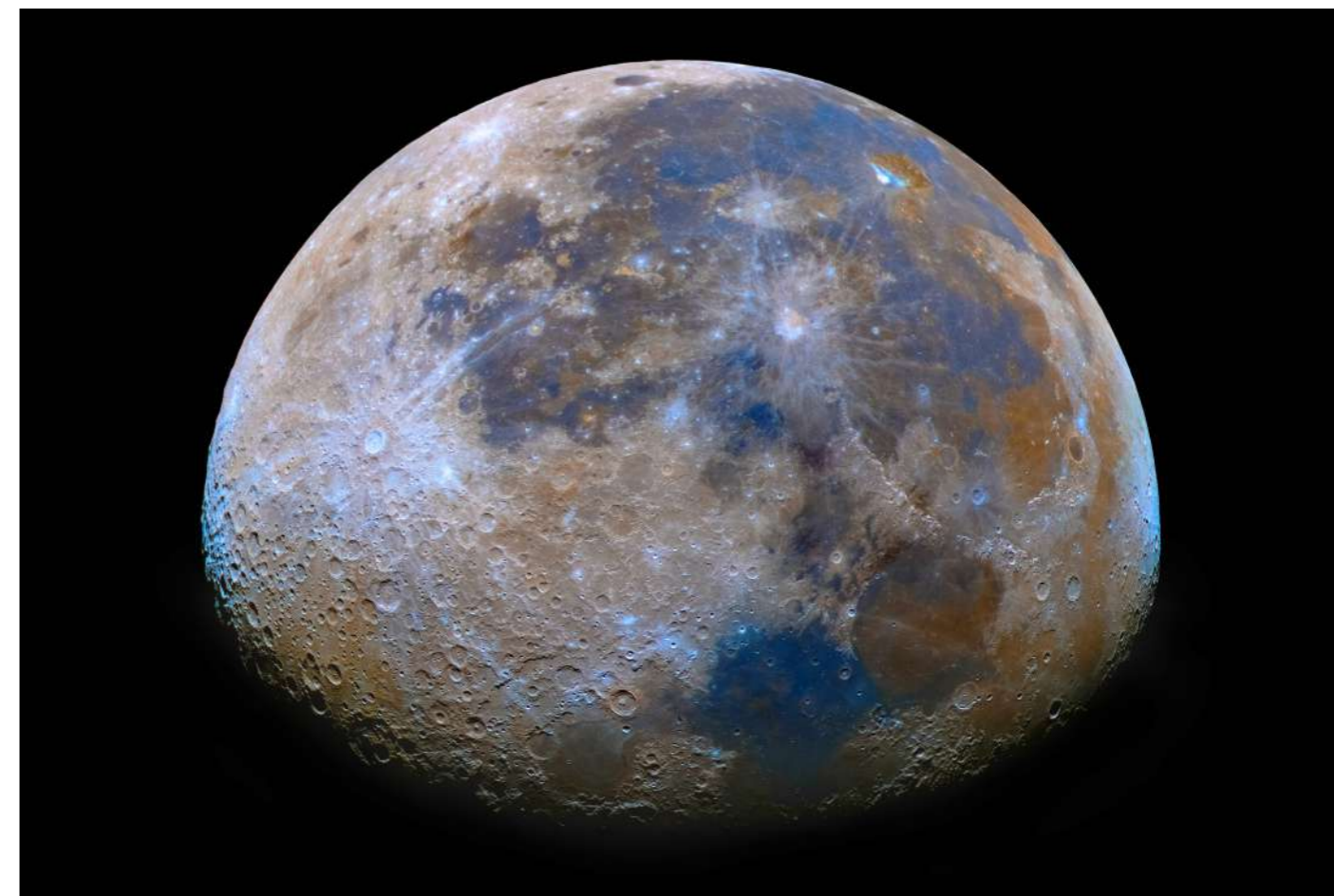
slab u odnosu na šum senzora, agresivno pojačavanje saturacije na samo jednoj fotografiji rezultirat će ružnim, šarenim šumom (chroma noise). Astrofotografi zato snimaju desetke, pa čak i stotine fotografija Mjeseca, koje zatim softverski poravnaju i stapaju u jednu sliku (koristeći alate poput AutoStakkerta ili RegiStaxa). Tim procesom drastično se smanjuje šum, a ostaje čisti signal boje koji se onda može pojačati u obradi.

Znanstvena vrijednost "umjetničke" fotografije

Iako su fotografije mineralnog Mjeseca estetski predivne i često izgledaju kao umjetnička djela, one imaju i stvarnu znanstvenu vrijednost. NASA i druge svemirske agencije koriste slične, doduše mnogo preciznije tehnike multispektralnog snimanja (poput onih sa sonde Galileo ili Lunar

Reconnaissance Orbiter) kako bi mapirale resurse za buduće misije. Područja bogata titanom, ona ista koja na našim amaterskim fotografijama svijetle plavo, ključna su za buduće lunarne baze. Ilmenit ne sadrži samo titan (koristan za gradnju), već u svojoj kristalnoj rešetki sadrži i helij-3, izotop koji bi u budućnosti mogao biti gorivo za fuzijske reaktore. Također, iz tih stijena kemijskim procesima može se ekstrahirati kisik za disanje i gorivo.

Dakle, kada sljedeći put na internetu vidite šareni Mjesec, nemojte ga odbaciti kao nestvarnu fotografiju Mjeseca. To je zapravo najiskreniji portret našeg susjeda, prikaz koji skida njegovu sivu masku i otkriva burnu vulkansku prošlost te potencijalnu budućnost za čovječanstvo. Mjesec nije samo tihi, sivi kamen; on je šareni geološki arhiv koji čeka da ga naučimo čitati.



Mozaik fotografija mineralnog Mjeseca sastavljena od 6 pojedinačnih snimaka. Snimljeno teleskopom Celestron C6 I kamerom ZWO 585MC PRO sa UV/IR filterom. Programski paket korišten u obradi fotografije: FireCapture (snimanje) Autostakkert (stakiranje), Pixinsight (white balance), RegiStax (izoštavanje), Adobe Photoshop (finalno uređenje)

U DRUŠTVU OBLAKA

Shelf cloud – impresivni oblak na rubu oluje

Piše:

Maja Kraljik

Dolaskom toplijeg vremena polako se približava razdoblje razvoja dnevnih oblaka, a s njima i uvjeti za jaču konvekciju. Kao uvod u taj period spomenut ćemo jedan od najljepših oblaka, barem po mišljenju mnogih.

Kralj olujnog ruba

Dakako, riječ je o shelf cloudu.

Tijekom mojih deset godina foto-grafranja oluja na terenu nagledala sam se uistinu prekrasnim formacijama. Mnogo puta su me pitali koji mi je najdraži, no na to pitanje ni danas ne mogu dati jednoznačan odgovor jer je svaki za sebe bio poseban.

Kako živimo u modernom dobu u kojem se na internetu sve dijeli i brzo širi, mnogima još uvijek nije posve jasno o kakvom je oblaku riječ, iako se danas može pronaći mnogo više informacija nego što smo ih mi, koji smo se oduvijek zanimali za vrijeme, nekada imali. Zato, pokušajmo to pobliže objasniti.

Kako nastaje

Shelf cloud (oblak polica po hrvatskom) nizak je, gust i vodoravno izdužen oblak koji se pojavljuje na prednjem rubu snažnih grmljavinskih oluja, najčešće uz olujne sustave poput superćelija ili linija nestabilnosti (squall line). Upravo zbog svog dramatičnog izgleda često izaziva strah i divljenje, ali i pogrešna tumačenja da je riječ o tornadu.

Shelf cloud nastaje kada hladan i gust zrak iz oluje (downdraft) naglo istječe prema naprijed i podvlači se ispod toplog i vlažnog zraka ispred oluje. Taj se topli zrak prisilno podiže,

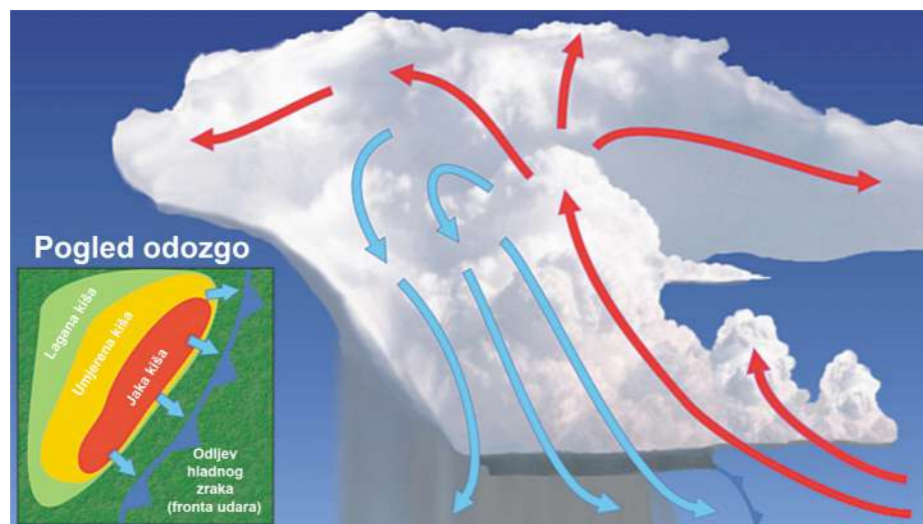
hladi i kondenzira, stvarajući karakterističan „nasložen“ oblak koji podsjeća na policu.

Ključni elementi njegova nastanka su snažna grmljavinska oluja, izražen nalet hladnog zraka (gust front) te visoka vlažnost zraka ispred oluje. Shelf cloud ima vrlo prepoznatljiv izgled: dug i vodoravan oblik, oštre i nazubljene rubove koje nazivamo whale's mouth, često se „kotrlja“ zbog jakih turbulencija, a donji dijelovi oblaka obično su tamniji, dok su gornji svjetliji.

Predznak oluje

Iako vizualno može djelovati vrlo prijetuće, shelf cloud nije tornado. Ne pokazuje rotaciju oko okomite osi niti je u izravnom kontaktu s tlom. Sam po sebi nije opasan, no atmosferski uvjeti koji ga prate često jesu: snažni udari vjetera, nagli pad temperature, obilna oborina, tuča te česte munje i grmljavina. Ova impresivna

oblačna struktura jasno označava prijelaz između relativno mirne atmosfere ispred oluje i izrazito turbulentne dinamike unutar konvektivnog sustava. Nastaje kao izravna posljedica međudjelovanja uzlaznih i silaznih strujanja u zreloj, dobro organiziranoj oluji. Dok uzlazni tokovi dovode topao i vlažan zrak koji održava oluju, u njezinu stražnjem dijelu formira se hladan, gust zrak koji se spušta prema tlu. Taj se zrak, dodatno ohlađen isparavanjem oborine, širi vodoravno poput hladne fronte. Na njegovu prednjem rubu dolazi do prisilnog uzdizanja toplog prizemnog zraka i kondenzacije, što rezultira nastankom shelf clouda. Zbog takvog mehanizma razvoja, shelf cloud je najčešće povezan s linijama nestabilnosti i organiziranim konvektivnim sustavima, dok se rjeđe pojavljuje uz izolirane olujne ćelije. Njegova pojava pouzdan je vizualni pokazatelj da je oluja dosegla zrelu



Prikaz razvoja tipičnog olujnog oblaka. Izvor: US National Weather Service



fazu i da se radi o snažno organiziranoj konvektivnoj strukturi.

Granica tišine i oluje

U konvektivnoj meteorologiji shelf cloud predstavlja vizualni izraz dinamičke ravnoteže između uzlaznih i silaznih strujanja unutar snažnog organiziranog olujnog sustava, odnosno vidljivu manifestaciju konvergentne zone između dotoka toplog zraka (inflow) i odljeva

hladnog zraka (outflow). U našim geografskim širinama shelf cloud se najčešće razvija u uvjetima umjerenog do visokog CAPE-a (konvektivne energije), dovoljnog vertikalnog smicanja vjetera u donjih 3 - 6 kilometara atmosfere te izraženog temperaturnog kontrasta pri tlu. Upravo su takvi uvjeti tipični za ljetne prodore nestabilnog zraka ispred hladnih fronti ili u sklopu mezoskalnih konvektivnih sustava.



U srednjoj i jugoistočnoj Europi shelf cloudovi su najčešći tijekom toplog dijela godine, kada su ispunjeni ključni preduvjeti za snažnu konvektivnu aktivnost: visoka vlaga, nestabilna vertikalna struktura atmosfere i izraženi temperaturni gradijenti. U takvim situacijama shelf cloud postaje vizualni potpis energije koja se oslobađa kroz konvektivne procese. Osim što su iznimno fotogenični, shelf cloudovi imaju i operativnu vrijednost. Iskusnim promatračima i prognostičarima oni signaliziraju da se oluja nalazi u fazi u kojoj su najizraženiji prizemni utjecaji – vjetar, oborina i nagle promjene vremena. Shelf cloud nije samo lijep ili zastrašujući oblak. On je manifestacija konvektivne fizike u stvarnom vremenu – granica između stabilnog i nestabilnog, između tišine i oluje. Za sve koji prate konvektivnu, njegova pojava jasan je znak da je atmosfera upravo „odradila posao“. Među pratiteljima konvektive sam i ja te jedva čekam nove destabilizacije atmosfere jer znam da s njima dolaze i nove formacije ovih kraljeva neba.

ASTROBIBLIOTEKA

Mala knjiga o izvanzemaljcima

Zakret u traženju izvanzemaljskog života

Piše:

dr. sc. Dario Hrupec, doc.

Potruga za izvanzemaljskim životom počela je 1960. godine projektom Ozma koji je vodio Frank Drake. Prerasla je u SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) koji je trajao 1970-ih i 1980-ih te izgubio potporu NASA-e 1993. Osnovna je ideja bila traženje radiosignala koje je eventualno poslala neka izvanzemaljska civilizacija. Nije nađeno ništa. Međutim, od 1990-ih, s prvim otkrićima egzoplaneta, počinje razvoj posve nove strategije u traženju izvanzemaljskog života, potrage za biopotpisima i tehnopotpisima u atmosferama egzoplaneta. Zadnjih deset godina traje doba ciljne astrobiologije koje je kulminiralo zadnjih nekoliko godina opažanjima svemirskog teleskopa James Webb.

Američki astrofizičar Adam Frank krajem 2023. godine objavio je svoju novu knjigu *The Little Book of Aliens* u kojoj je, između ostalog, opisao i vlastita istraživanja u području astrobiologije te je dao sveobuhvatan pregled nastanka i razvoja ideje izvanzemaljskog života, doslovno od Aristotela do današnjih dana. Priča, naravno, ne bi bila potpuna bez NLO-a, Roswella, drevnih astronauta i drugih popularnih mitova koji su imali pozitivan utjecaj na pop-kulturu, ali negativan utjecaj na financiranje znanstvenog istraživanja izvanzemaljskog života.

Nepunu godinu nakon objave izvornika, izdavačka kuća V. B. Z. objavila je hrvatsko izdanje Frankove knjige u mojem prijevodu. Bez obzira na naslov, Mala knjiga o izvanzemaljcima

nije lektira za NLO-fanatike. Upravo suprotno, ona inzistira na znanstvenom pristupu u potrazi za izvanzemaljskim životom, jasno razdvaja činjenice od izmišljotina, hipoteze od spekulacija. Opisuje nagli razvoj astrobiologije posljednjih 35 godina, od početaka otkrića egzoplaneta, i potpuno nove strategije traženja života u svemiru. Pokazuje da pitanje „Jesmo li sami?“ ne zanima samo širu javnost, ono itekako zanima i znanstvenike.

Kroz cijelu knjigu Adam Frank ponavlja da potraga za životom u svemiru zahtijeva stroge standarde potvrda. To je ključno. Osim toga, sustavno uvodi temeljne koncepcije iz kojih je proizašla današnja astrobiologija: Drakeovu jednadžbu (za procjenu broja naprednih civilizacija u našoj galaksiji), Fermijev paradoks (prividnu proturječnost između općeg očekivanja da izvanzemaljske civilizacije postoje i činjenice da potvrdu njihovog postojanja zasad nemamo), nastanjive zone (područja oko zvijezda u kojima bi mogla postojati tekuća voda), Dysonovu sferu (megastruktura oko zvijezde za maksimalno iskorištavanje energije te zvijezde), Kardaševljevu skalu (klasifikaciju civilizacija prema njihovoj sposobnosti korištenja energije).

I sad smo spremni za današnju, ciljanu astrobiologiju. Kemijski sastav atmosfera egzoplaneta može otkriti prisutnost života. Konkretno, neke molekule poput kisika i metana mogu biti dobri indikatori bioloških procesa koji održavaju kemijsku neravnotežu.



To su biopotpisi. I to nije sve. Napredne izvanzemaljske civilizacije mogle bi ostavljati tragove svog postojanja, poput zagađenja atmosfere ili umjetnog osvjetljenja, što se može prepoznati s velikih udaljenosti. To su tehnopotpisi.

Konačno, otkriće čak i najjednostavnijih oblika života u svemiru moglo bi značajno promijeniti razumijevanje našeg mjesta u svemiru. S izvanzemaljcima, ako ih ima, dijelimo kemijsku evoluciju svemira, no pitanje je dijelimo li i biokemiju ugljika (možda ne), stanični oblik života (možda ne) i biološku evoluciju (vjerojatno da). Frank sugerira i jedan utješni element: pronalazak naprednije civilizacije mogao bi pokazati da je moguće prebroditi prijetnje nuklearnog rata i klimatske promjene.

ASTROFOTOGRAFIJA

Male planetarne maglice u Orionu

Piše:

Tomislav Anić

U zimsko vrijeme nebom dominira možda najpoznatije i najprepoznatljivije zvijezde sjevernog neba, Orion. Zbog njegovog karakterističnog rasporeda vrlo sjajnih zvijezda zaista ga je lako uočiti i prepoznati. U srednjem dijelu gotovo se i golim okom vidi da "ima nešto". I zaista ima. Ispod "Pojava" nalazi se najsajjnija maglica na nebu, M42 Velika Orionova maglica. U njemu se nalaze još mnogi drugi vrlo poznati objekti koje znamo s mnogih fotografija. Kao da to nije dovoljno, ti objekti dodatno su obavijeni petljom ioniziranog vodika znanim pod imenom Barnardova petlja. Ispod tog blještavila i ljepote leži još jedan dublji, suptilniji sloj ljepote. Naime, sam Orion bogat je puno manjim objektima, malenim planetarnim maglicama. One nas neće odmah asocirati na to zvijezde, ali kada se krene malo istraživati, zaista ih ima dosta. Neke su uhvatljive čak i vizual-

no, s odgovarajućim instrumentom. One svoje detalje i ljepotu ne prikazuju tako očito kao velike emisijske i refleksijske maglice u blizini, ali svaki detalj koji se izvuče iz njih, uspjeh je sam po sebi.

Porijeklo

Planetarne maglice nemaju veze s planetima, a nastaju od zvijezda mase 0,8 do 8 Sunčevih masa. Dakle, i naše Sunce će skončati na takav način. Kada zvijezda iscrpi svoje rezerve vodika, počinje sinteza težih elemenata. Zvijezda ulazi u fazu crvenog diva, a u konačnici vanjske slojeve zvijezde "otpušu" zvjezdani vjetrovi. Jezgra zvijezde, sada naziva "bijeli patuljak", vrlo je vruća te ionizira odbačeni materijal kojeg tada vidimo kao maglicu. Kako se materijal udaljava, sve je slabija ionizacija te maglica blijedi i kasnije u potpunosti nestaje. To sve traje od nekoliko tisuća do

nekoliko desetaka tisuća godina. Za astronomske pojmove, treptaj oka.

Oblik i svojstva

Planetarne maglice ovise o samoj zvijezdi, ali i o njejoj okolini. Mogu biti sferične, iregularne, helične, bipolarne, kvadripolarne, itd. Samo ih je oko 20% simetrično. Odbačeni materijal bogat je elementima poput ugljika, dušika, kisika, pa je tako važna i njihova uloga u kemijskoj evoluciji galaksije jer obogaćuju prostor tim kemijskim elementima. Kako su najčešće relativno malene, do nekoliko svjetlosnih godina promjera, a često i jako udaljene, obično su prividno vrlo sitne. Po jedinici površine znaju biti dosta svijetle pa za neke nije problem detekcija, već uočavanje kakvog detalja u njima. Svaka od njih zaslužuje svoju temu. Možda i budu predstavljene zasebno, ali ovdje je cilj naglasiti da ih ima te da ih treba tražiti.



Abell 12



H 3-75



Jonckheere 320



Kohoutek 1-7



NGC 2022



Sh2-266



Barnard's Loop i M 78. Foto: Ken Yasue

ASTROFOTOGRAFIJA

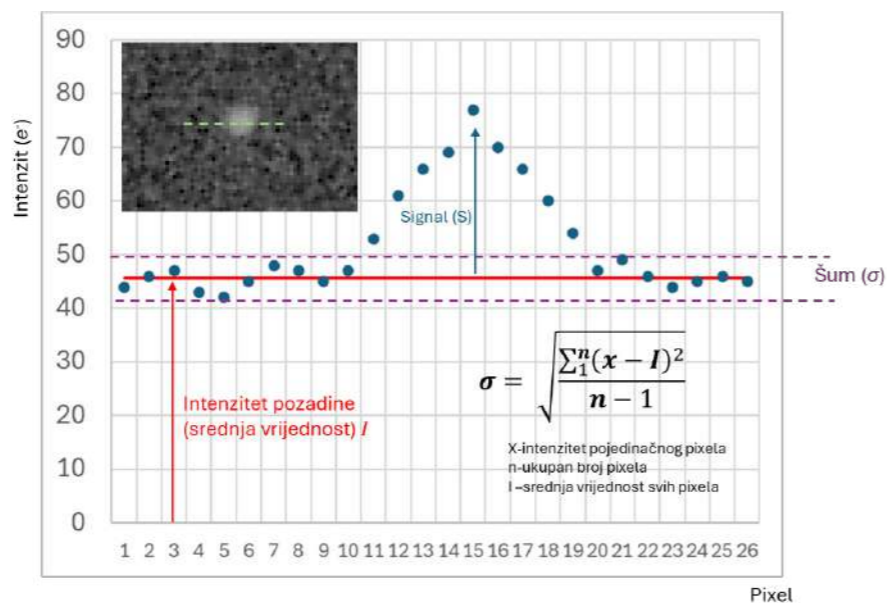
Uzroci šuma i metode za minimizaciju

Piše:

Stjepan Prugovečki

Pri svakom mjerenju (tako i u astrofotografiji) prisutna je nepouzdanost koja nam ograničava točnost samog mjerenja. Ta nepouzdanost mjerenja se u teoriji obrade signala naziva šum. U fotografiji zapravo mjerimo intenzitet (broj fotona u jedinici vremena) koji nam padaju na senzor. Senzor je najčešće CMOS kamera koja je matrica piksela. U CMOS senzoru svaki foton koji padne na takav piksel generira električni naboj i pretvara se u napon. Analognodigitalni pretvarač će taj napon pretvoriti u digitalne impulse i broj takvih impulsa je zapravo broj elektrona (e^-) koji je proporcionalan broju fotona koji su pali na sam piksel u nekom vremenu. Taj broj u ovom tekstu ćemo zvati intenzitet (I). Što je objekt s kojeg fotoni dolaze svjetliji ili vrijeme mjerenja (ekspozicije) dulje, to će taj broj (intenzitet) biti veći. No, nažalost, intenzitet neće na svakom pikselu i u svakoj jedinici vremena biti jednak. Ta odstupanja od neke srednje vrijednosti intenziteta su šum (sigma, σ).

Na slici 1 vidljiv je dio fotografije oko jedne zvijezde slabog sjaja. Ako zbog pojednostavljenja pogledamo samo intenzitete jednog reda piksela (uzduž zelene crte) i prikazemo na grafu, vidimo da imamo područje s niskim intenzitetom koji se povećava kako nailazimo na zvijezdu i opet pada kada se udaljimo od nje. Da bismo procijenili koliki nam je šum na fotografiji, izračunamo srednju vrijednost svih piksela



Slika 1. Metoda izračuna šuma

koji su na najtamnijem dijelu fotografije i standardnu devijaciju po formuli koja je na slici 1.

Standardna devijacija intenziteta naziva se sigma (σ) i to je zapravo šum na slici. Prema ovoj slici bismo onda mogli reći da je intenzitet tamnog neba (pozadina, eng. *background*) njegova srednja vrijednost \pm devijacija. ($45,6 \pm 6,7 e^-$). Umjesto ove komplicirane formule i postupka često se šum procjenjuje samo kao $\sqrt{\text{Intenzitet}}$. Vrijednost signala (S) dobije se tako da se od intenziteta piksela odbije intenzitet pozadine. Na slici vidimo da nam je intenzitet najsvjetlijeg piksela oko $78 e^-$. Ako od toga odbijemo „svjetlinu“ tamnog neba (I), dobijemo vrijednost signala od $33 e^-$. Kvaliteta snimljene fotografije bit će u velikoj mjeri

određena odnosom signala/šuma (signal to noise, SNR) koja bi za ovu sliku onda bila $33/6,7 = 4,9$. Općenito, u znanosti se kaže da je nešto signal ako mu je intenzitet 3 puta veći od šuma (3σ). U ovom slučaju onda možemo reći da na slici imamo neki objekt (zvijezda u ovom slučaju) i da to nije pogreška u mjerenju.

Izvori šuma

U ukupnom šumu na astrofotografiji sudjeluju različiti izvori, od kojih su najvažniji: **Sačmeni ili zrnati šum (eng. shot noise)**. Ovaj tip šuma dolazi zbog prirode fotona koji na senzor ne dolaze uvijek jednako i ponovljivo, već se njihov broj mijenja u vremenu. Zove se sačmeni jer se može usporediti s pucanjem iz sačmarice s istog mjesta i jednakim



Slika 2. Vizualni prikaz odnosa šuma i vremena ekspozicije

patronama, a sačma ipak neće pogoditi baš ista mjesta na meti. Čak i da imamo idealnu opremu koja ne unosi nikakovu nepouzdanost, tu vrstu šuma bismo i dalje vidjeli na našim fotografijama. Taj šum nije ovisan o opremi, već je isključivo funkcija intenziteta. Što dulje mjerimo, to ćemo imati veći intenzitet, a time i bolji odnos signal/šum (SNR). Na slici 3 vidimo da intenzitet raste linearno s povećanjem ekspozicije, dok šum raste s drugim korijenom pa odnos šuma prema signalu brzo pada. Zbog praktičnosti, kod snimanja je dobro odrediti točku nakon koje nema više značajnih dobitaka zbog dulje ekspozicije, jer za puno dulju ekspoziciju dobivamo jako malo poboljšanje u odnosu signala i šuma. Tu, neku optimalnu, duljinu ekspozicije odrediti će karakteristike senzora jer oni imaju maksimalni intenzitet koji mogu izmjeriti (točka saturacije). Kad je maksimum dostignut, intenzitet će biti isti, bez ob-

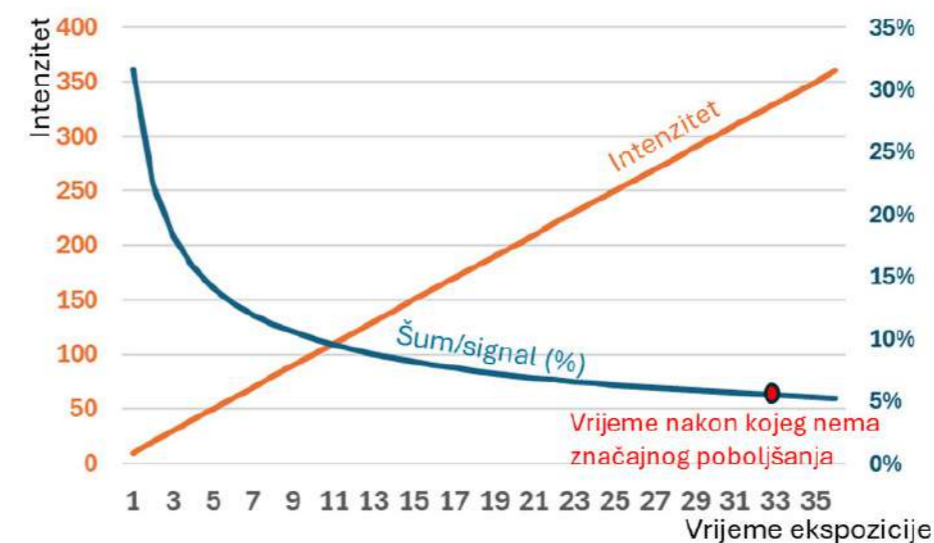
zira na produljenje ekspozicije. Na slici 2 je usporedba različitih vremena ekspozicije. Jasno je vidljivo kako se s povećanjem ekspozicije signal „diže“ iznad šuma. (Pogledati krakove galaksije i zvijezde koje se pojavljuju s povećanjem ekspozicije.)

Šum očitavanja (eng. read noise). Ova vrsta šuma je neovisna o objektu koji snimamo ili njegovoj svjetlini vremenu ekspozicije. Taj šum je karakteristika svake pojedine kamere i dolazi iz elektronike tijekom očitavanja intenziteta svakog pojedinog piksela. Kako je šum neovisan o signalu koji mjerimo, na šum ne možemo utjecati ničim osim parametara na kameri (*gain* kod astronomskih kamera ili ISO vrijednost kod DSLR kamera). Promjenom *gaina* na kameri možemo smanjiti *read noise*, ali istovremeno smanjujemo dinamički raspon kamere i njezinu sposobnost da registrira male razlike u intenzitetu, tako da tu treba pronaći kompromis. Kod suvremenih CMOS kamera

read noise je veoma mali i uglavnom ne predstavlja veliki problem. U svakom slučaju, kod snimanja je veoma važno da *read noise* bude višestruko manji od *shot noisea* jer bi inače *read noise* dominirao tamnijim dijelovima fotografije. Kako bismo to postigli, mijenjamo *gain* na kameri ili snimamo dulje ekspozicije da nam *shot noise* bude veći. *Read noise* je slučajna, nema neki predvidivi uzorak, dodaje se na intenzitet pozadine i kad taj šum na slici prevladava, teško je ili nemoguće izdvojiti slabi signal bilo kakvim procesiranjem slike.

Termički šum (eng. thermal noise)

I ova vrsta šuma je neovisna od signala koji snimamo. *Thermal noise* se javlja jer se sam senzor zagrijava i zbog toga se u senzoru može generirati napon i kad nema nadolazećih fotona. *Thermal noise* je ovisan o temperaturi senzora i o duljini ekspozicije (koja povećava temperaturu). Suvremene astronomske kamere imaju ugrađeno hlađenje senzora. Hlađenjem se senzor drži na niskoj i konstantnoj temperaturi čime se smanjuje šum koji je ionako veoma nizak kod astronomskih CMOS kamera i dosta manji od *read noisea* te ne predstavlja veliki problem tijekom snimanja i obrade. Kod kamere koje nisu hlađene, *thermal noise* je puno izraženiji i treba kontrolirati duljinu ekspozicija. Na slici 4 je fotografija s poklopljenim teleskopom, odnosno, snimljen je potpuni mrak (*dark frame*). Šum vidljiv na slici je *thermal noise* i *read noise* pa su vidljivi i *hot pixeli* (crvene, plave i zelene točkice). Takav *dark frame* se koristi u obradi slike da bi se maknuli *hot pixeli*.



Slika 3. Ovisnost intenziteta o vremenu ekspozicije



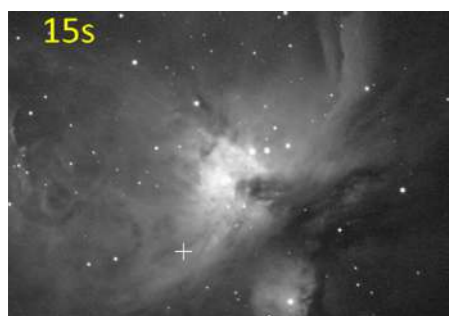
Slika 4. Dark frame

Šetajući šum (eng. walking noise)

Senzori u kamerama nisu potpuno homogeni i svaka kamera ima takozvane hot piksele koji stalno daju maksimalni intenzitet i cold piksele koji uvijek pokazuju 0. Ako nemamo savršeno poravnanje kamere s rotacijskom osi Zemlje (*polar alignment*), tijekom duljih ekspozicija te će nehomogenosti „šetati“ po fotografiji i ostavljati svijetlo-tamni uzorak po cijeloj fotografiji. Tu vrstu šuma je nemoguće potpuno ukloniti u naknadnoj obradi. Da bi se taj šum elimirao, potrebno je što bolje poravnati kameru s osi rotacije Zemlje i tijekom snimanja raditi *dithering* (tj. kod snimanja više ekspozicija pomaknuti kameru za nekoliko piksela u nekom slučajnom smjeru nakon svakih nekoliko ekspozicija). To će omogućiti da se kod stakiranja taj šum uprosječi i eliminira.

Kako kontrolirati šum

Na ovo pitanje nema univerzalnog odgovora, ali se može primijeniti ne-



Slika 5. Usporedba pojedinačne ekspozicije od 15s i stakirane slike od 4 ekspozicije od 4s

koliko jednostavnih principa da bi se dobio što manji šum, tj. što bolji odnos signal/šum (SNR). Pri tome treba imati na umu spomentute principe: *shot noise* ovisi o intenzitetu koji mjerimo; *read noise* mora biti višestruko (10 i više puta) manji od *shot noisea* da ne bi dominirao na tamnijim dijelovima fotografije; *hlađenjem kamere ili vremenom ekspozicije* moramo minimizirati *thermal noise*. Kako *shot noise* ovisi samo o intenzitetu, lako ga možemo smanjiti tako da snimamo što duže ekspozicije ili da stakiramo (zbrojimo) veći broj pojedinačnih ekspozicija. Pri stakiranju pojedinačnih ekspozicija intenziteti pojedinačnih piksela će se zbrojiti, dok će *shot noise* porasti s drugim korijenom intenziteta. Na slici 5 vidimo usporedbu između jedne ekspozicije i više stakiranih ekspozicija. Vidi se da je šum sličan, ali na ekspoziciji od 15s je senzor blizu saturacije tako da je za takve (vrlo svijetle) objekte bolje snimiti više kratkih ekspozicija. Ako su dobro odabrani parametri i vrijeme pojedinačnih ekspozicija, razlika između dugih i kratkih ekspozicija na gotovoj fotografiji neće biti vidljiva. Pri stakiranju, *read noise* se zbraja, i bit će ovisan o broju stakiranih pojedinačnih ekspozicija. Zbog toga je ovaj gornji princip da *read noise* na pojedinačnoj ekspoziciji bude puno veći od *shot noisea* dosta važan jer bi zbog stakiranja velikog broja ekspozicija *read noise* mogao postati dominantan i vidljiv u tamnijim dijelovima fotografije. Naravno, da bismo kontrolirali *thermal noise*, kameru je potrebno hladiti na nisku temperaturu.

Nekoliko korisnih sugestija

Ako snimamo u svjetlosno zagađenom području, nebo je svijetlo i kamera će izmjeriti visoke intenzitete. *Shot noise* će generalno biti velik čak i na tamnim dijelovima slike. U takvim uvjetima *read noise* će biti puno manji u odnosu na *shot noise* i možemo si priuštiti puno pojedinačnih ekspozicija s kraćim vremenom i pri tome izbjeći moguću saturaciju senzora. Ako snimamo pod vrlo tamnim nebom, tada je svjetlina neba



Slika 6. Usporedba „sirove“ fotografije i fotografije korigirane na šum

mala i u tamnijim dijelovima fotografije (pozadina, *background*) ćemo imati jako nizak intenzitet pa onda i niski *shot noise*. Kako je *read noise* konstantan, da bi bio puno manji od *shot noisea*, moramo povećavati vrijeme ekspozicije kako bismo povećali *shot noise*. Potpuno isti princip vrijedi i za snimanje kroz uskopojasne (*narrowband*) filtere. Takvi filteri drastično blokiraju svjetlinu neba te da bismo imali dovoljno veliku razliku između *shot noisea* i *read noisea*, treba povećati vrijeme pojedinačne ekspozicije.

Šum u astrofotografiji je uvijek prisutan i ne može ga se potpuno eliminirati. Poznavanjem njegove prirode i izvora možemo ga prilikom snimanja minimizirati gore opisanim metodama. Najbolja metoda za minimiziranje šuma je povećanje ukupnog vremena ekspozicije. U naknadnoj obradi fotografije možemo šum dodatno vizualno izgladiti, a da pritom ne izgubimo ili „razmažemo“ detalje na fotografiji. Što ga bolje kontroliramo tijekom snimanja, to će biti lakše ili čak nepotrebno korigirati ga u obradi. Na slici 6 mogu se usporediti fotografije prije i nakon korekcije šuma pri obradi fotografije.

ATMOSFERSKA OPTIKA

Irizacija – oblaci u šarenom ruhu

Piše:

Marko Posavec

Svi smo vidjeli dugu. Većina nas je vidjela i halo oko Sunca, lažna sunca i druge uobičajene manifestacije atmosferske optike. Kapljice vode i ledeni kristalići svašta mogu izvoditi sa Sunčevom svjetlošću. Ponekad, ako pažljivije promotrimo oblake, na nekima od njih možemo zamijetiti boje nalik duginama. Nisu, međutim, tako čiste ni izražene kao u dugi: suptilne su, pastelne, u finim nijansama. To je **irizacija**, nazvana po Iridi, grčkoj personifikaciji duge. Takvi se šareni oblaci ponekad zovu *iridescentnim oblacima*.

Irizacija u oblacima

Irizaciju ćemo najčešće primijetiti na srednjim i višim oblacima. Sastoji se od manje ili više nepravilnih „krpica“ ili pojaseva raznih boja, bez nekog

očitog reda. Obično je najizraženija u neposrednoj blizini Sunca pa ju bolje vidimo kad neki deblji oblak sakrije Sunce ili njegov sjaj zaklonimo zgradom. Boje irizacije, zapravo, podsjećaju na boje vijenca (korone), na pojavu o kojoj je bilo riječi u par brojeva unatrag.

Kako nastaju boje

Ta je veza ispravna jer vijenac i irizacija nastaju na isti način, ogibom svjetlosti na sitnim kapljicama vode ili kristalićima leda u oblacima. Kada svjetlost kao val naiđe na česticu pogodne veličine, *ogiba se* na njezinim rubovima. Do tada ravan, val se nakon susreta s česticom počinje širiti polukružno. Pritom si valovi malo smetaju ili se pojačavaju pa dobivamo uzorak interferencije – svijetle i tamne prstenove.

Ogib je mrvicu drugačiji za svaku valnu duljinu svjetlosti pa su ti prstenovi u raznim bojama, samo se te boje dosta preklapaju pa nisu jasne kao dugine. Tako nastaje vijenac, a irizacija je njegova neuredna inačica, kada se svjetlost ogiba u oblacima u kojima su čestice nejednolike. Ključna je veličina čestica. Da bi se irizacija vidjela, dijelovi oblaka moraju biti dovoljno tanki da Sunčeva svjetlost može proći kroz njih, a kapljice od kojih se sastoje moraju biti barem približno jednolike. Kad je oblak jako tanak i sastavljen od izrazito jednolikih kapljica, kakva je ponekad magla, vidimo vijenac. Kad su kapljice *donekle* jednolike, ali ne sasvim, vidimo irizaciju. Zato je irizacija često najpravilnija i najljepša kod tek nastalih oblaka ili na samim njihovim rubovima, tamo gdje se oni šire jer su kapljice tada još razmjerno pravilne. Irizaciju možemo vidjeti i na aerodinamičkim tragovima zrakoplova, zemaljskim isparavanjima, zamagljenim vjetrobranama i drugdje. Priroda je sklona bojama i igrama svjetlosti.

Promatrajte nebo

Tako i oblaci dobivaju svoje šarene ukrase. Potražite ih ponekad kad su na nebu i Sunce i oblaci, osobito altokumulusi ili cirokumulusi. Samo pazite da ne gledate u Sunce; ne samo da je to opasno za vid, nego će vas i zabljesnuti pa neko vrijeme nećete dobro raspoznavati boje. Zaklonite svjetlost naše zvijezde nekom preprekom (npr. rukom) pa promotrite nebo oko njega. Jednom, kad znate što tražite, irizacija može biti prekrasna i izrazito uočljiva.



Jako izražena irizacija na oblacima viđena iz sjeverne Hrvatske. Foto: Marko Posavec

ASTRONOMIJA

Eliptične galaksije

Drevni kolosi energičnog srca

Piše:

Pavle Rajković

Eliptične galaksije vjerojatno su najzanemareniji objekti dubokog svemira među amaterskim astronomima – i s opažačke i s astrofotografske strane. Razlozi za to su očiti – sve izgledaju slično jedna drugoj. Često se pojavljuju kao bezlične kugle svjetlosti, bez dinamičnih spiralnih krakova, područja intenzivnog nastajanja zvijezda i uzbudljivih zvjezdanih praskova. Međutim, to je samo siromašan prikaz onoga što su naše oči i leće kamera u stanju zabilježiti, beznadno ograničene spektrom koji mogu obraditi. Eliptične galaksije mjesta su ekstremnih događaja poput spajanja crnih rupa, emitiranja snažnih mlazova X-zraka, radio i gama-zračenja (najrazornijih pojava u cijelom svemiru), a njihove su dimenzije ponekad toliko kolosalne da ih je teško pojmiti.

U ovom tekstu pokušat ćemo nešto detaljnije objasniti procese koji se odvijaju u tim prastarim grobljima zvijezda. Fokus neće biti samo na iznošenju činjenica, nego na pokušaju objašnjavanja njihovih uzroka. Primjerice, većina zaljubljenika u astronomiju zna da je u eliptičnim galaksijama prestalo stvaranje zvijezda. Pokušat ćemo objasniti i razloge te pojave.

Nastanak, oblici i veličine eliptičnih galaksija

Eliptične galaksije nastaju sudarom dviju ili više galaksija, ponajprije spiralnih. U najjednostavnijem slučaju dvije spiralne galaksije se spajaju, pri čemu obje gube svoju spiralnu strukturu. Zvijezde galaksija se mi-



Abell 1656 – galaktičko jato Abell 1656 (Coma Cluster) u zviježđu Coma Berenices. Jato se nalazi na golemoj udaljenosti od Zemlje, čak 321 milijun svjetlosnih godina, ali je i dalje vidljivo čak i srednje velikim teleskopima. Razlog tomu leži u samom središtu jata koje čine dva istinska kolosa: eliptične galaksije NGC 4889 i NGC 4874. Te dvije galaksije među najvećima su vizualno opaživim galaksijama u poznatom svemiru, osobito NGC 4889 s promjerom haloa od čak nekoliko milijuna svjetlosnih godina.

Foto: Patrick Schaeffer

ješaju, a središnje crne rupe obiju galaksija započinju gravitacijski ples jedna oko druge dok se naposljetku ne spoje u jednu. Tijekom tog razdoblja galaksija poprima različite oblike, sve dok se mješavina zvijezda gravitacijski ne stabilizira u sferni ili eliptični oblik.

Na temelju stupnja sferičnosti provodi se i klasifikacija eliptičnih galaksija – od E0 do E7. Što je broj iza slova E manji, galaksija je sferičnija. Tako galaksije klase E0 imaju oblik savršene sfere, dok su one klase E7 najviše spljošteni objekti svoje vr-

ste (najjednostavnija analogija bile bi nogometna i ragbi lopta). E-klasa jasno je vidljiva i kroz teleskop i na astrofotografijama, u obliku prikaza galaksije kao kruga ili ovala.

Proces stapanja dviju spiralnih galaksija u eliptičnu ne događa se preko noći i iznimno je dugotrajan. Za samo spajanje crnih rupa dviju galaksija potrebno je barem nekoliko stotina milijuna godina, a proces stabilizacije galaksije u eliptični oblik mjeri se milijardama godina. Iz toga je jasno da su eliptične galaksije drevni objekti, stari i do 10 milijardi

godina ili više. U njima je proces nastajanja zvijezda odavno prestao, a njihovi su stanovnici prastare crvene zvijezde, od kojih su neke djeca najranijeg svemira.

Eliptične galaksije pojavljuju se u velikom rasponu veličina: od patuljastih do superdivovskih. Mnoge od njih imaju toliku masu da se redovito nalaze u središtima galaktičkih skupova i drže stotine galaksija gravitacijski vezanima uz sebe. Takve galaksije imaju dimenzije koje promatrača ostavljaju potpuno poniznim.

Nikada se, kao promatrač svemira, nisam osjećao uzbuđenije, ali ni poniznije, nego pri promatranju galaksije NGC 4889 u srcu Coma galaktičkog skupa (Abell 1656). Ta je galaksija najveći i najmasivniji objekt dubokog svemira koji se može vidjeti amaterskim teleskopima. Promjer njezina hala mjeri se u milijunima svjetlosnih godina, a njezina je crna rupa toliko masivna da promjer horizonta događaja višestruko nadmašuje orbitu Plutona oko Sunca.

Sukladno svojoj veličini, ovako velike galaksije sadrže i ogroman broj globularnih skupova. NGC 4889 ih ima oko 12 000, dok se za njezinu susjedu NGC 4874 smatra da ih ima više od 18 000. To može poslužiti kao

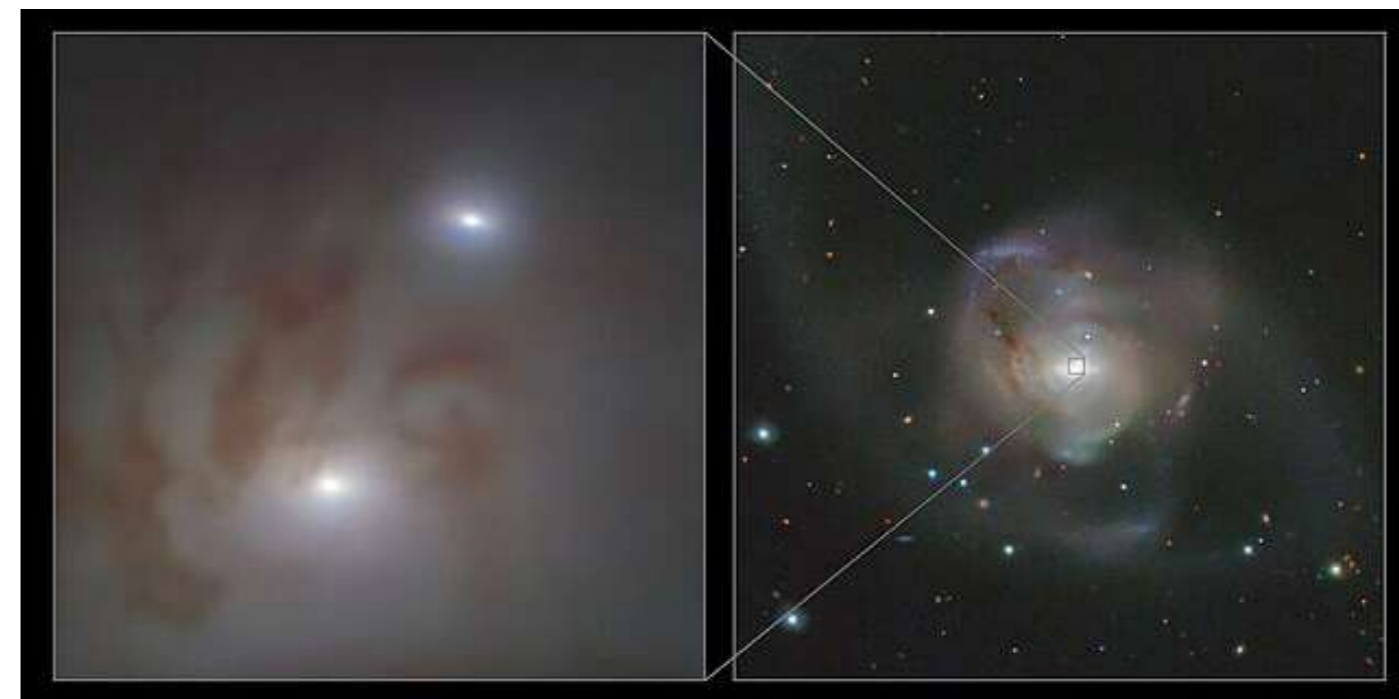
mjerilo veličine. Naš Mliječni put, golema spiralna galaksija, sadrži tek oko 200 poznatih globularnih skupova. Možemo slobodno reći da bi samo promatranje globularnih skupova trajalo jedan cijeli ljudski životni vijek kada bi u tim galaksijama postojalo neko živo biće koje bi svemir promatralo teleskopom.

Još i danas smatram promatranje Coma galaktičkog skupa svojim najdražim opažanjem, iako se radi tek o blijedim mrljama u vidnom polju. Samo saznanje o tome što promatramo, ponekad izaziva snažniji doživljaj od same slike u okularu.

Spajanje supermasivnih crnih rupa i problem „posljednjeg parseka“

Posebno upečatljiv proces u formiranju eliptičnih galaksija jest interakcija supermasivnih crnih rupa dviju spojenih galaksija. One u sastav eliptične galaksije ulaze sa svojim potpunim nukleusima, odnosno s materijalom koji ih okružuje. Zbog svoje goleme mase kreću se prema središtu novonastalog objekta gdje u jednom trenutku dolazi do njihove gravitacijske povezanosti. Tada započinje impresivan proces gravitacijskog plesa dviju crnih rupa koji može

trajati stotinama milijuna godina. Njihova gravitacijska interakcija razbacuje materijal s kojim su ušle u galaksiju, a izgubljena masa nadoknađuje se sve većim približavanjem crnih rupa, sve dok ne formiraju binarni sustav. Kada se približe jedna drugoj na udaljenost od jednog parseka, dolazi do misteriozne pojave koja se u astrofizici naziva „posljednji parsek“. Do tog trenutka crne su rupe izgubile toliko energije da njihovo spajanje postaje teorijski nemoguće. Ipak, one se nastavljaju približavati emitirajući snažne gravitacijske valove, a njihove brzine postaju ekstremne. Samo spajanje događa se u dječiču sekunde, pri čemu se oslobađa enormna količina energije u obliku gravitacijskih valova. Ta oslobođena energija izmiče ljudskom poimanju – veća je od energije svih zvijezda u opaživom svemiru. Količina oslobođene energije toliko je velika da ju je moguće zabilježiti instrumentima na Zemlji. Iako se potom sama crna rupa stabilizira, eksplozivni događaji time ne završavaju. Novonastala jedinstvena crna rupa galaksije započinje s izbacivanjem materijala u obliku mlazova elektromagnetskog zračenja, o čemu će detaljnije biti riječi u nastavku teksta.



NGC 7727 – galaksija NGC 7727 u zviježđu Aquarius nalazi se u fazi formiranja eliptične galaksije, nakon spajanja dviju spiralnih galaksija. Objekt je značajan jer su u njegovu središtu fotografirane dvije odvojene jezgre bivših galaksija međusobno udaljene svega 500 parseka. U središtu svake jezgre nalazi se supermasivna crna rupa. Foto: ESO VST-ATLAS Team Durham University CASU WFAU

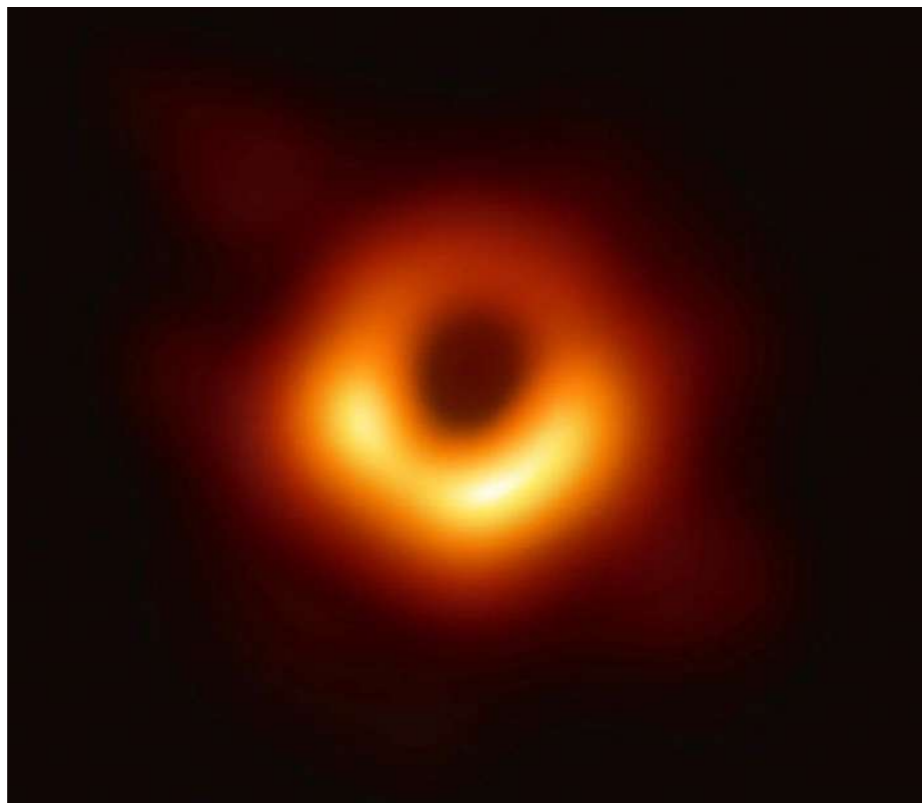
Problem „posljednjeg parseka“ desetljećima izmiče objašnjenju astrofizičke zajednice. Predloženo je nekoliko tumačenja tog fenomena, no nijedno zasad nije dovoljno za konačno rješenje tog neobičnog problema. Kao da sama priča o procesu spajanja dviju crnih rupa nije dovoljna, moderna astrofotografija pružila nam je rijetku priliku da taj proces i izravno promatramo. Naime, u zvijezdu Aquarius, na njegovu krajnjem istoku, nalazi se relativno sjajan, ali vizualno bezličan objekt – neobična galaksija NGC 7727. Riječ je o galaksiji koja je nastala prije oko milijardu godina spajanjem dviju spiralnih galaksija i koja se još uvijek nalazi u prijelaznoj fazi prema eliptičnoj galaksiji. Ona sadrži dvije masivne crne rupe koje se još nisu spojile.

Very Large Telescope u pustinji Atacama u Čileu uspio je prodrijeti u samo središte galaksije i snimiti dva odvojena nukleusa u njezinu središtu. Na snimkama se iznimno jasno vide jezgre dviju spiralnih galaksija u središtu NGC-a 7727, od kojih svaka sadrži supermasivnu crnu rupu. Crne se rupe nalaze na udaljenosti od samo 500 parseka, što ih čini najbližim poznatim opažljivim parom crnih rupa.

„Crvene i mrtve“ – prestanak stvaranja zvijezda

Opće je poznata činjenica da je unutar većine eliptičnih galaksija stvaranje zvijezda zaustavljeno. One se sastoje od prastarih crvenih zvijezda, bez područja zvjezdane formacije koja bi pomladila zvjezdanu populaciju. Zbog toga se u astronomiji često nazivaju „crvene i mrtve“. Prestanak stvaranja zvijezda najprije se događa u blizini središta, a zatim se taj proces širi prema rubovima objekta. To jest činjenica, no ostaje pitanje objašnjenja tog procesa. Zašto eliptične galaksije ne stvaraju nove zvijezde?

Odgovor leži u neprekidnoj igri temperature i gustoće plina koje teže međusobno poništiti utjecaj jedna druge. Naime, da bi se unutar oblaka plina dogodilo stvaranje zvijezda, on mora biti dovoljno hladan. Samo



Crna rupa Messier 87 – fotografija crne rupe eliptične galaksije Messier 87, objavljena 2019. godine, nakon obrade snimaka koje je 2017. godine zabilježio Event Horizon Telescope. Bila je to prva fotografija crne rupe u povijesti. Sam proces snimanja i obrade podataka bio je vrlo zanimljiv. Snimanje je provedeno s više lokacija, a obradu podataka obavljalo je više timova koji nisu smjeli međusobno dijeliti svoje rezultate. Fotografija je objavljena tek kada su svi timovi došli do približno sličnog rezultata. Crna rupa u središtu M 87 je kolosalnih razmjera, s masom od čak 4 milijarde Sunčevih masa. Foto: Event Horizon Telescope

takav plin može se „urušiti“, odnosno dovoljno zgusnuti da bi došlo do trenja njegovih čestica i oslobađanja dovoljne količine topline za nastanak zvijezda. Plin tom procesu teži samom svojom gustoćom – što je gušći, to se jače gravitacijski sabija prema središtu i komprimira.

Tom se procesu suprotstavlja temperatura plina – što je plin topliji, to ima veću tendenciju širenja prema van (poput poklopljene posude na uključenom štednjaku). Ako je temperatura plina previsoka, on nikada ne može dosegnuti gustoću potrebnu za stvaranje zvijezda. Unutar eliptičnih galaksija postoji obilje plina, ali on je previše topao i raspršen da bi se mogao dovoljno zgusnuti i formirati zvijezdu. Naime, supermasivna crna rupa u središtu eliptične galaksije emitira goleme količine zračenja koje neprestano zagrijava okolni plin. Relativističke čestice iznimno velikih brzina, kao i mlazovi elektromagnetskih valova, zagrija-

vaju plin unutar galaksije i na više milijuna kelvina. Uz to, stalne eksplozije starih zvijezda u obliku supernova dodatno pridonose zagrijavanju pa je plin u eliptičnim galaksijama raspršen, difuzan i nekondenziran – jednostavno nema dovoljnu gustoću da bi formirao kompaktni plinski oblik sposoban za stvaranje zvijezde. Ti procesi objašnjavaju i činjenicu da prestanak stvaranja zvijezda započinje u središtu, ondje gdje je temperatura najviša.

Postoje primjeri eliptičnih galaksija s izraženim stvaranjem zvijezda. Takve galaksije imaju tzv. „plavi disk“ u blizini središta, u kojem nastaju nove zvijezde. Međutim, taj proces nije odstupanje od pravila, već samo privremena pojava. On je rezultat nedavnog spajanja galaksija, kada se plin novopripojene galaksije još nije stigao dovoljno zagrijati da bi prestao stvarati zvijezde. Ipak, to su tek posljednji trzaji nekadašnje galaksije da zadrži svoj identitet.

Snažno emitiranje EM zračenja

X-zrake, radio-valovi i gama-zrake oblici su elektromagnetskog (EM) zračenja koji se od vidljive svjetlosti razlikuju samo po učestalosti (frekvenciji), a time i po energiji. Vidljiva svjetlost, mikrovalovi iz kućnih mikrovalnih pećnica i rendgenske zrake pri snimanju pluća svi se sastoje od fotona koji se gibaju različitim valnim duljinama – i to je jedina razlika među njima. Naše oko može obraditi samo malen dio tih valnih duljina i to je ono što nazivamo vidljivom svjetlošću. Upravo zbog toga eliptične galaksije nama djeluju dosadno – na fotografijama i kroz okular vidimo samo mali, monoton fragment onoga što se u njima zapravo događa. Međutim, kada bismo mogli vidjeti i ostale dijelove elektromagnetskog spektra, eliptične galaksije bile bi najaktivniji, a često i najnasilniji objekti u svemiru.

U golemoj većini slučajeva mi na Zemlji X-zrake, radio-valove i gama-zrake stvaramo umjetnim putem. Radio-valove proizvodimo u antenama, X-zrake u rendgenskim cijevima koje koristimo u medicinske svrhe, a nažalost gama-zrake koristimo i u destruktivne svrhe tijekom nuklearnih eksplozija. Eliptične galaksije, međutim, prirodni su izvori svih tih oblika zračenja, često u kolosalnim razmjerima. Gotovo sva ta zračenja potječu iz središta supermasivnih

crnih rupa, a neka od njih spadaju među najrazornije pojave u svemiru. Široko je rasprostranjeno, ali pogrešno mišljenje da su eksplozije supernova najnasilniji događaji u svemiru. One jesu destruktivne, ali samo u relativno malom dijelu matične galaksije. Nasuprot tome, emisija gama-zračenja iz galaktičkih jezgri daleko je najrazornija pojava u svemiru jer ne djeluje samo na cijelu galaksiju, nego narušava i strukturu izvan-galaktičkih objekata na koje naiđe. Gama-zračenje najopasniji je oblik elektromagnetskog zračenja zbog svoje iznimne prodornosti, uvjetovane golemom energijom. Ono uništava atmosfere planeta, prodire kroz međugalaktičke oblake i u stanju je sterilizirati cijelu matičnu galaksiju, u smislu stvaranja zvijezda i u smislu života kakav poznajemo.

Aktivne galaktičke jezgre

U mnogim eliptičnim galaksijama središnja crna rupa izbacuje materijal oko sebe u obliku dvaju mlazova čestica koji se pružaju u suprotnim smjerovima – poput zvrka. Pojednostavljeno rečeno, crna rupa izbacuje dio usisanog materijala zbog njegove interakcije s jakim magnetskim poljem. Taj materijal napušta crnu rupu u obliku čestica brzina bliskih brzini svjetlosti. Te se čestice sudaraju s okolnim fotonima i magnetskim poljima, potičući ih na osciliranje različitim frekvencijama. Neke od



Messier 87 mlaz – mlaz plazme i elektromagnetskog zračenja koji izvire iz supermasivne crne rupe galaksije Messier 87. Na fotografiji se vidi samo jezgra i dio galaksije oko nje. Fotografiju je snimio Hubble Space Telescope koristeći tri različite kamere.

tih oscilacija nalaze se u području radio-valova, X-zraka ili gama-zračenja. To znači da takvi mlazovi često sadrže više vrsta zračenja istodobno. Takva galaktička središta nazivaju se aktivne galaktičke jezgre. Kada ti mlazovi sadrže visoku koncentraciju gama-zračenja, proces može postati toliko razoran da je sposoban zaustaviti stvaranje zvijezda u cijeloj galaksiji. Jednu takvu galaksiju promatrao je gotovo svaki amaterski astronom, možda i ne znajući što se u njoj zapravo događa. Riječ je o Messier 87, najsajnijoj galaksiji u Virgo galaktičkom skupu. Kamere iznimne osjetljivosti uspjele su snimiti njezine impresivne mlazove koji sadrže sve tri navedene vrste zračenja. Ta su dva mlaza iznimno dugačka i protežu se oko 3000 – 5000 svjetlosnih godina duboko u svemir. Radi ilustracije, kada bi takvi mlazovi izvicali iz Zemlje, sterilizirali bi život kakav poznajemo u planetarnim sustavima oko zvijezda koje su deset puta udaljenije od nas nego što su, primjerice, Plejade.

Kao autor i amaterski astronom, duboko sam uvjeren da ovakva znanja uvelike obogaćuju sam proces promatranja, fotografiranja i razumijevanja objekata dubokog svemira. Nadam se da je ovaj članak ponudio novu perspektivu u pristupu tim impozantnim objektima te da će sljedeći susret s eliptičnim galaksijama time biti potpuniji i sadržajni.



Messier 87 – na ovoj fotografiji vidi se galaksija Messier 87 u svojoj cjelini, okružena manjim galaksijama galaktičkog jata Virgo. Galaksija je najsajnijiji dio jata, ponajprije zbog svoje veličine. Galaksija ima masu od 6 trilijuna Sunčevih masa. Foto: Saša Nuić

PROMATRAČKA ASTRONOMIJA

Zvijezde Lava

Piše:

Vedran Vrhovac

Lav je lako prepoznatljivo zviježđe koje dominira nebom u rano proljeće. Od početka veljače vidljivo je oko 22 h nisko na istoku, a do kraja ožujka u isto vrijeme je u meridijanu. Kako se proljeće primiče ljetu, tako se Lav seli s noćnog neba na večernje te svoje mjesto prepušta Volaru, sljedećem zviježđu koje je karakteristično za kasno proljeće.

Lav je lijepo zviježđe čiju figuru čine sjajne zvijezde između prve i četvrte zvjezdane magnitude. Najsjajnija među njima je zvijezda Regul (Alfa Lava) koja se smjestila u donjem desnom vrhu zviježđa s prividnim sjajem od $m=1,4$, što je čini 21. najsjaj-

nijom zvijezdom na noćnom nebu. Posebna je i po tome što nam je najbliža zvijezda (79 sg) tipa B, spektralne klase u koju spadaju plavi divovi. Zvijezda Regul je 4 puta masivnija od Sunca i kada bi sve bilo po „pravilima struke“, njezin sjaj bi trebao biti oko 80 puta veći od Sunčeva. Na temelju prividnog sjaja zvijezde i udaljenosti, lako se izračuna kako je zapravo i čak 350 većeg sjaja od Sunca! Čini se kako je Regul „plava skitnica“ (en: blue straggler), tj. da je tijekom svog postojanja zvijezda Regul progutala drugu, manju zvijezdu, te tako postigla netipičnu sjajnost za spektralnu klasu. Plave skitnice su česte u sre-

dištima kuglastih skupova gdje je gustoća zvijezda stotinama ili tisuću puta veća od prosjeka pa je za očekivati sudare i stapanja zvijezda. Regul nije dio nikakvog kuglastog skupa te se nalazi na zvijezdama siromašnom dijelu neba što njegov evolucijski put čini još neobičnijim.

Na nasuprotnom kraju zviježđa, u njegovom lijevom vrhu, smjestila se druga zvijezda po sjaju u Lavu – Denebola (Beta Lava). Njen prividni sjaj je $m=2,2$ te se radi o zvijezdi bijele boje, spektralne klase A, na udaljenosti od 35 sg. Stvarni sjaj Denebole je 13 puta veći od Sunčeve.

Sljedeća zvijezda koju vrijedi ista-

knuti je Algieba (Gama Lava), u vratu Lava. Prividni sjaj Algiebe je $m=2,1$, čak malo veći od Denebole, ali već i manji teleskop otkrit će kako se radi o višestrukoj zvijezdi. Ovaj zvjezdani dvojac smjestio se 130 svjetlosnih godina od nas. Komponente zvjezdanog sustava čine narančasti div (Gama 1 Lava) i žuti div (Gama 2 Lava) s prividnim sjajem od $m=2,4$ i $3,7$. Razmak između zvijezda u teleskopu je 3,7 lučne sekunde, otprilike 500x manji od prividnog promjera Mjeseca. U teleskopu promjera 140 mm, pri 128x povećanju ovaj zvjezdani par vidio sam kao kombinaciju dviju zlatnih zvijezda.

Galaksije

Zvijezde Lava, kako je daleko od Mliječnog puta, nudi nam jasan pogled u međugalaktički prostor. Iz tog razloga je bogato galaksijama različitog sjaja i oblika. Ipak, galaksije u zviježđu nisu tako guste kao u susjednoj Djevici ili Berenikoj kosi pa je navigacija po zviježđu lakša za one s manje iskustva u astrognoziji. Sam Lav nudi neke veoma sjajne galaksije, kao i izazovna galaktička jata za vlasnike velikih teleskopa i debelih živaca. U nastavku ću navesti nekoliko galaksija iz različitih kategorija kako bi svaki profil promatrača mogao pronaći nešto za sebe.

Leo Triplet

Ovo je izrazito fotogeničan trojac galaksija koji čine M65, M66 i NGC 3628. Galaksije su se smjestile par stupnjeva ispod zvijezde Tete Lava ($m=3,3$). Dovoljno je samo usmjeriti teleskop prema Deneboli, pomaknuti se udesno do sljedeće sjajne zvijezde i potom polagano spustiti teleskop prema Joti Lava, malo tamnijoj zvijezdi ($m=4,0$). Na pola puta dužine Teta – Jota Lava naići ćete na Leo Triplet.

U tom trojcu M65 i M66 su jasno vidljive galaksije. Dovoljno je imati bilo kakav teleskop s povećanjem većim od 20x da se galaksije jasno uoče. M66 s $m=8,9$ je nešto sjajnija i veća od M65 s $m=9,3$. Treća galaksija, NGC 3628, sličnog je prividnog sjaja od $m=9,5$, ali je nižeg površinskog sjaja



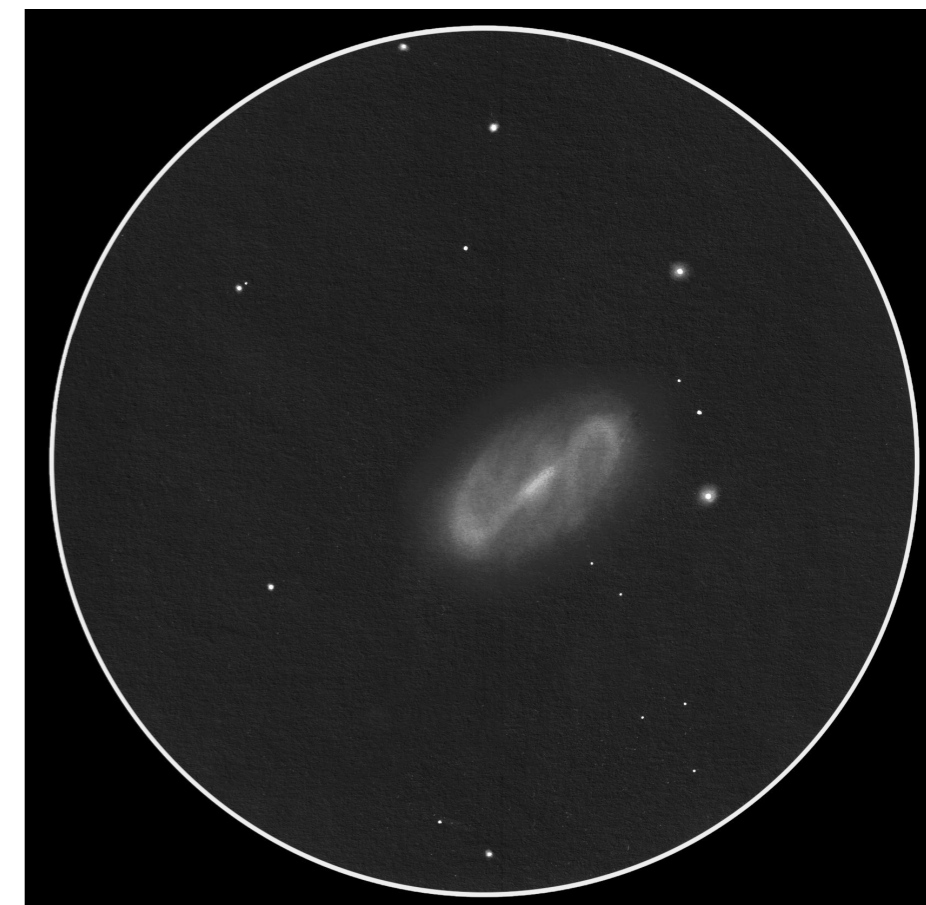
Skica Leo Triplet, promatrano 300 mm teleskopom pri povećanju 143x.

pa je za njeno lakše uočavanje potreban teleskop od 70 mm promjera. M66 je spiralna prečkasta galaksija udaljena oko 30 milijuna sg od nas. U 200 mm teleskopu može se uočiti kako je ovalna, sjajne jezgre i pomalo nesimetrična u rasporedu detalja. U 300 mm teleskopu galaksija pokazuje prečku pod 45° u odnosu na dulju os galaksije. U sredini prečke je izraženo središte galaksije. Na krajevima

prečka pokazuje znakove zavijanja u spiralu. Teleskop od 500 mm promjera otkriva dodatne fine detalje kao i tamne pruge unutar galaksije.

M65 je jednostavnije strukture. Radi se o duguljastoj spiralnoj galaksiji, udaljenoj 40 milijuna svjetlosnih godina. U 200 mm teleskopu galaksija izdužena mrlja sa mutnom jezgrom, slabije izraženom nego kao kod M66. U 300 mm teleskopu galaksija je kompleksniji objekt, otkriva sjajnu središnju regiju s jezgricom u sredini. Oko središnje regije otkriva se plosnati tamni prsten. Zanimljivo je kako 500 mm osim dodatne svjetline ne otkriva značajno više detalja.

Možda najzanimljivija za promatranje je NGC 3628. Ova galaksija ima prugu prašine po sredini koja je dijeli na sjajniju na dvije polovice, sjajniju i tamniju. U manjem teleskopu sretni ste ako uočite da je sjajnija polovica galaksije, koja izgleda kao prug svjetla, „odrezana“ s jedne strane. Ovo je prva naznaka kako nešto s galaksijom nije u redu. U 300 mm teleskopu moguće je uočiti kako je „odrezanost“ rezultat tamne pruge



Skica NGC 2903, promatrano 508 mm teleskopom pri povećanju 248x.



Fotografija zviježđa Lav, snimljena fotoaparatom i širokokutnim objektivom

koja dijeli galaksiju u nejednako sjajne dijelove. Ova galaksija ne otkriva lako detalje čak niti velikim 500 mm teleskopa. Promjer pomaže samo kod lakšeg uočavanja tamne pruge po sredini galaksije.

NGC 2903

Neka vas ne plaši NGC oznaka, 2903 objekt iz kataloga je jedan od velikih Messierovih promašaja. S prividnim sjajem od $m=9$, ova galaksija je svjetlija od mnogih objekata u M katalogu. Smjestila se malo lijevo od vrha glave Lava, kraj zvijezde Lambde Lava ($m=4,3$).

NGC 2903 je posebna zbog delikatne i bogate strukture koju otkriva pažljivom promatraču. Radi se o spiralnoj, prečkastoj galaksiji udaljenoj 30 milijuna svjetlosnih godina. Galaksiju je moguće uočiti već u tražiocu. 200 mm teleskop otkriva ovalni oblak s prugom svjetla po sredini. Veći teleskop, poput 300 mm u promjeru, otkrit će kako tekstura galaksije nije glatka, već granulasta što ukazuje na naznake detalja na rubu vidljivosti. Čak je moguće uočiti na većim povećanjima (200x) kvrgu na desno od galaksije. Kvrga je NGC 2905, zvjezdanih oblak u galaksiji (poput NGC 206 u M31 ili M24 u našoj galaksiji). Svi ti detalji isplivaju u 500 mm teleskopu kada se galaksija u mnoštvo finih detalja. Moguće je uočiti nježnu spiralnu strukturu koja čini veliko spljošteno „S“ po sredini galaksije, mnoštvo varijacija u sjaju, kvržice, tamne pruge... Uistinu mnoštvo detalja!

Od ostalih sjajnih galaksija moguće je pogledati trojac M95, M96 i M105, ali one nisu tako vizualno impresivne kao Leo Triplet ili NGC 2903

Za one s debelim živicima

Iznad Denebole, kraj zvijezde 93 Lava ($m=4,5$), smjestilo se ogromno jato galaksija Lavov grozd (Leo Cluster). Samo jato udaljeno je oko 370 milijuna svjetlosnih godina te se sastoji od 70 većih galaksija i mnoštva manjih. Osnova skupa je galaksija NGC 3842, koja s prividnim sjajem od $m=11,8$ je rubni objekt za teleskope manje od 150 mm u promjeru, a ni u 300 mm

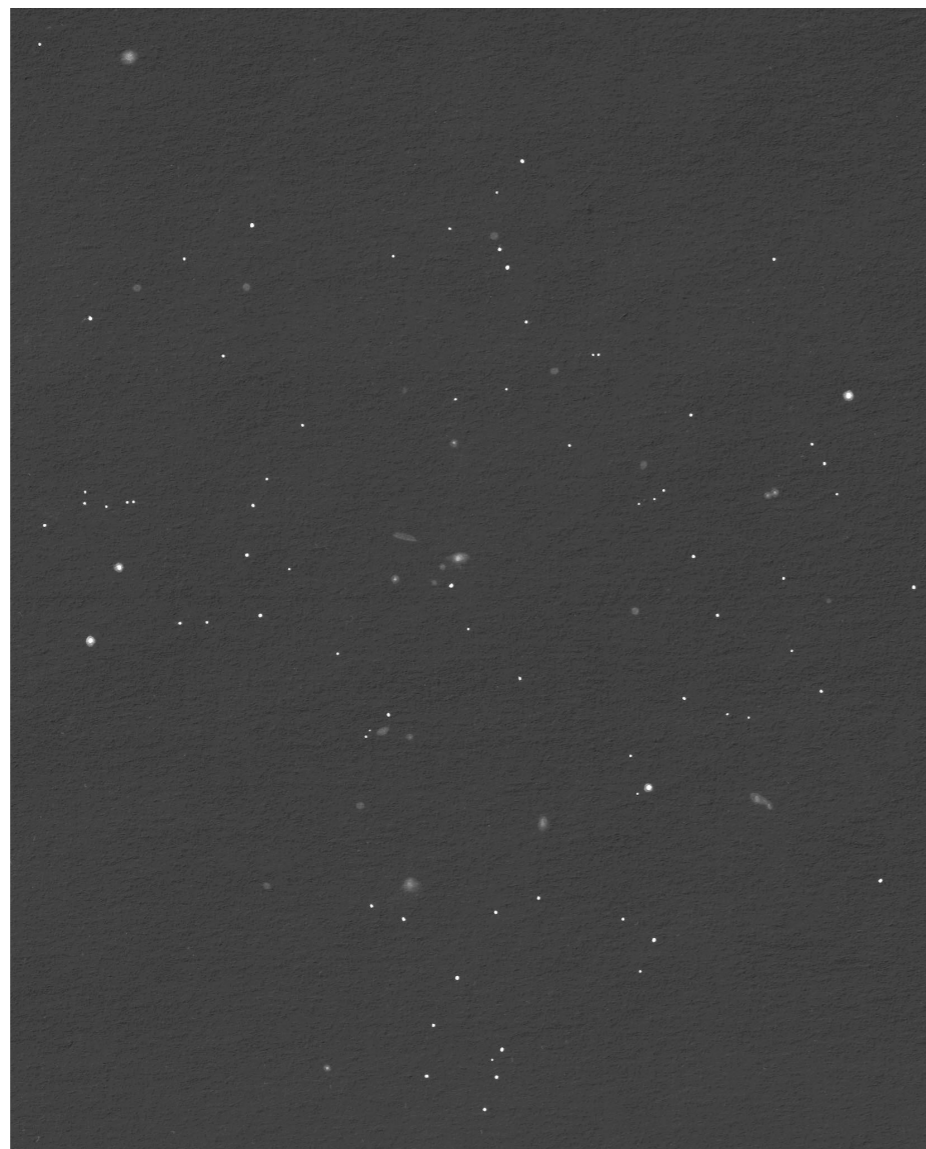
teleskopu nije ništa posebno, tek okrugla mrlja malo svjetlija u sredini. Ono što je čini posebno je što se oko nje nalazi mnoštvo drugih, tamnijih mrlja tj. galaksija. Nisam do sada pregledao cijelo jato, tj. s 300 mm teleskopom sam od 70 galaksija detektirao tek njih 23, tj. jedva trećinu jata. Istaknuo bih u jatu sljedeće galaksije koje sam detektirao s teleskopom od 300 mm promjera: NGC 3842 kao tamnu, okruglu mrlju sa sjajnijom sredinom.

NGC 3873 je veoma tamna, duguljasta mrlja nejasnih rubova s čvorićem. Čvorić je druga galaksija koja ju dira – NGC 3875.

NGC 3862 je svjetlija galaksija u paru s IC 2955. Obje galaksije izgledaju kao nejasne, mutne zvijezde koje se diraju.

Većina ostalih galaksija u jatu s jed-

va uočljive mrljice s prividnim sjajem od $m=13$ ili manjim. Najtamnija od uočenih galaksija je PGC36525 s $m=15,4$! Ovo je nominalno izvan dosega 300 mm teleskopa, ali uz predanost promatranja možda vam se poklope faktori na koje ne možete utjecati, tj. imate sreću da vaše oko pogodi par nasumičnih fotona više s objekta pa vidite nemoguće! Kako bi ste znali što ste vidjeli, svakako bih preporučio vođenje skice i dnevnika uz nju kako bi ste kasnije mogli identificirati objekte, ako vas to interesira. Ako ne, preporučam povećanje koje će dati izlaznu pupilu od cca 1,7 mm (oko 175x povećanje na 300 mm teleskopu) i polako proučavajte grozd galaksija. Ja osobno čekam hrabrosti za uloviti se u koštac s ovim jatom kako bih ga pogledao kroz 500 mm teleskop!



Skica Leo Cluster, promatrano 300 mm teleskopom pri povećanju 166x.

LETJELICE VOYAGER

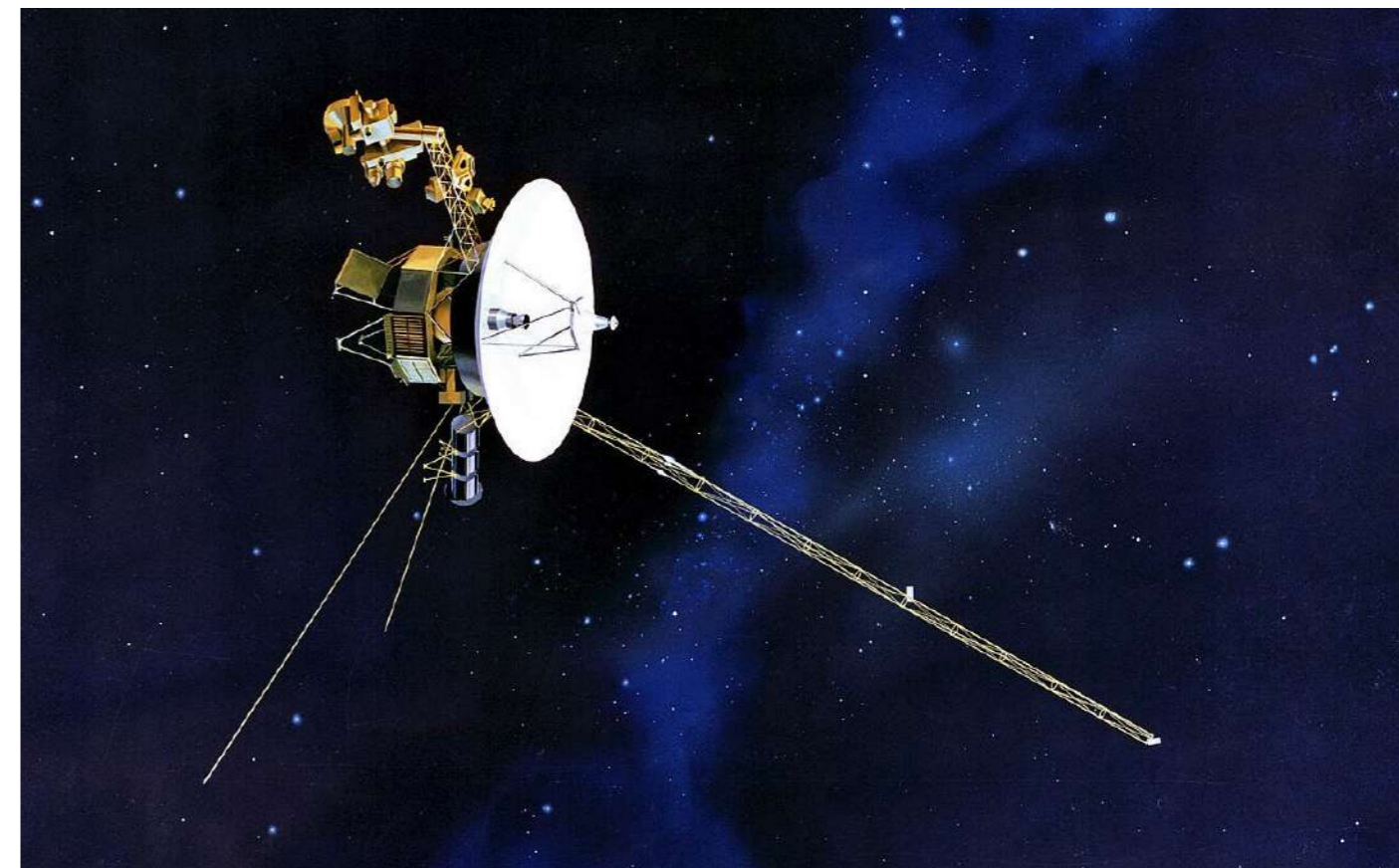
Jedan svjetlosni dan i početak međuzvjezdanog puta

Piše:
Miroslav Smolić

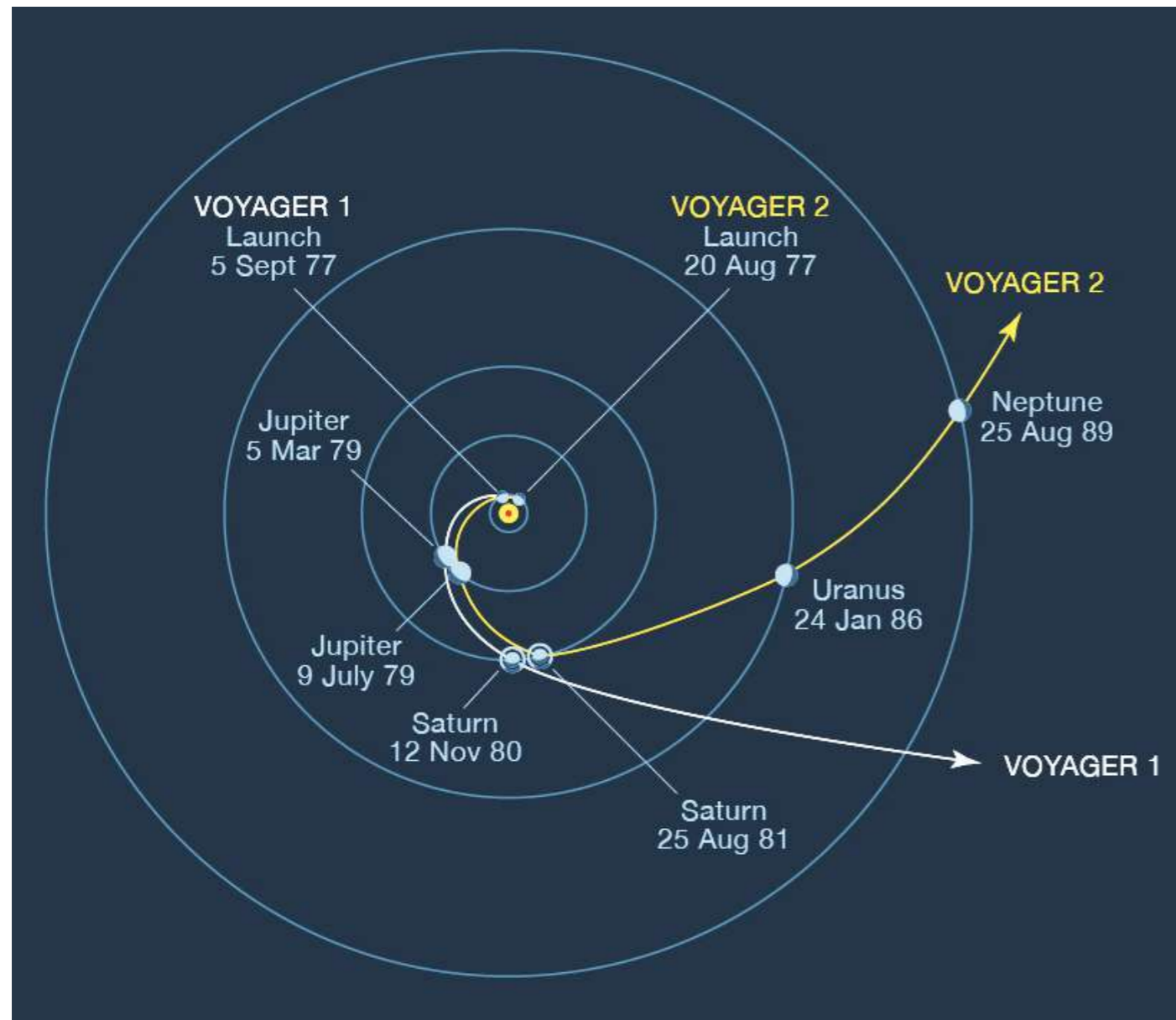
U studenome 2026. godine letjelica Voyager 1 dosegnut će udaljenost od jednog svjetlosnog dana od Zemlje. U tom trenutku radio-signal, koji se širi brzinom svjetlosti, trebat će 24 sata da stigne do letjelice i još toliko da se eventualni odgovor vrati natrag. Riječ je o udaljenosti od približno 25,9 milijardi kilometara, odnosno od oko 173 astronomskih jedinica – 173 puta više nego iznosi razmak između Zemlje i Sunca. To je najveća udaljenost na kojoj se ikada

nalazio neki objekt izrađen ljudskom rukom. No, važnija od same brojke jest činjenica da taj podatak jasno pokazuje razmjere svemira i granice ljudskog iskustva prostora. Voyager 1 danas se udaljava od Sunca brzinom od oko 17 kilometara u sekundi, što odgovara približno 3,6 astronomskim jedinicama godišnje. Ta je brzina oko 55 puta veća od brzine metka i približno 15 puta veća od brzine putničkog zrakoplova. Ipak, unatoč toj brzini,

letjelici je trebalo gotovo pola stoljeća da dosegne udaljenost od jednog svjetlosnog dana, što na vrlo izravan način ilustrira koliki su razmjeri međuzvjezdanog prostora. Jedna svjetlosna godina sastoji se od 365 svjetlosnih dana, a najbliža zvijezda, Proxima Centauri, udaljena je oko 4,24 svjetlosne godine. Čak i kada bi Voyager 1 bio usmjeren izravno prema toj zvijezdi (što nije), trebalo bi mu više od 70.000 godina da joj se približi.



Umjetnički prikaz letjelice Voyager u svemiru. Autor: NASA/JPL



Putanje letjelica Voyager 1 i Voyager 2 s točkama "gravitacijske pračke". Autor: NASA/JPL

Misija započeta u drugoj epohi

Voyager 1 lansiran je 5. rujna 1977. godine raketom Titan IIIE s gornjim stupnjem Centaur. Misija je u početku bila planirana kao istraživanje Jupitera i Saturna, uz korištenje rijetkog planetarnog poravnjanja koje je omogućilo gravitacijske manevre. Ti su manevri letjelici dali potrebnu brzinu za napuštanje unutarnjeg Sunčeva sustava bez dodatne potrošnje goriva. Riječ je o popularno zvanom "gravitacijskoj prački". Nakon preleta Jupitera 1979. i Saturna 1980. godine, Voyager 1 namjerno je usmjeren izvan ravnine ekliptike. Taj je manevr odredio daljnji tijek misije. Umjesto završetka, letjelica je započela put prema granici Sunčeva utjecaja i

dalje, u prostor koji nikada prije nije bio izravno istražen. Godine 2012. Voyager 1 postao je prva ljudska letjelica koja je ušla u međuzvjezdani prostor, prešavši granicu heliosfere – područja u kojem Sunčev vjetar više ne dominira nad međuzvjezdanim medijem. Od tada se nalazi u prostoru između zvijezda i pruža jedinstvene podatke o njegovim fizikalnim svojstvima.

Letjelica i znanstveni instrumenti

Voyager je relativno mala letjelica, mase oko 825 kilograma pri lansiranju. Glavno tijelo nosi visokousmjerenu antenu promjera 3,7 metara, znanstvene instrumente, računalne sustave i tri radioizoto-

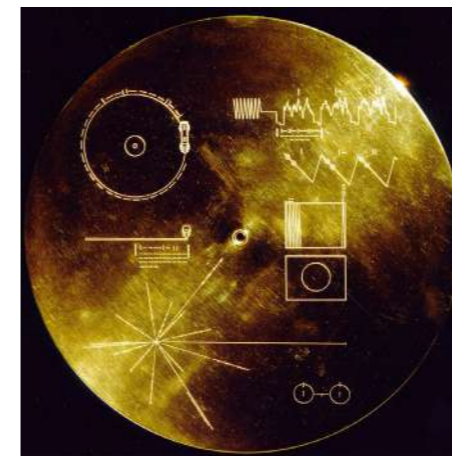
pna termoelektrična generatora. Izvorna znanstvena oprema sastojala se od deset instrumenata. Danas su, zbog ograničene raspoložive energije, u funkciji još samo oni ključni za istraživanje međuzvjezdanog prostora. Na Voyageru 1 trenutačno rade instrumenti za mjerenje magnetskog polja, detekciju visokoenergetskih kozmičkih zraka te za mjerenje gustoće i svojstava plazme u međuzvjezdanom mediju. Kamere su ugašene početkom 1990-ih, nakon završetka planetarne faze misije. Tada je snimljena slavna fotografija "Pale Blue Dot". Plazma detektor na Voyageru 1 je djelomično otkazao ranije u misiji, ali su znanstvenici kasnije uspjeli indirektno mjeriti gustoću plazme koristeći druge su-

stave, što je jedan od primjera iznimne domišljatosti tima koji i danas upravlja letjelicom.

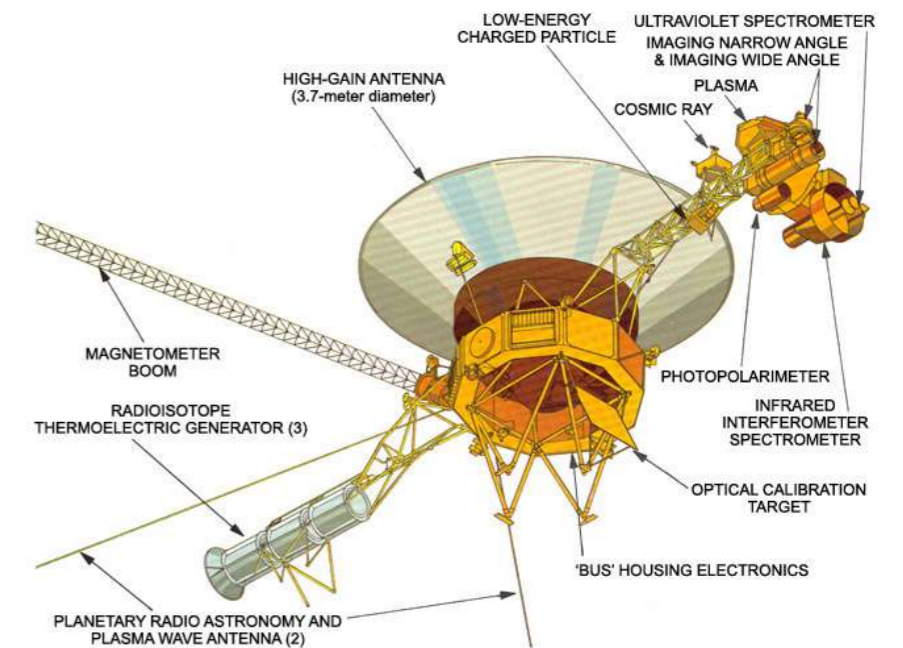
Energija, komunikacija i upravljanje

Voyageri se napajaju radioizotopnim termoelektričnim generatorima koji koriste toplinu raspada plutonija-238. Pri lansiranju su proizvodili oko 470 vata električne snage. Zbog prirodnog raspada goriva, ta se snaga postupno smanjuje. Danas Voyager 1 raspolaže s približno 230 do 240 vata. Zbog toga se instrumenti postupno isključuju kako bi se produžio rad preostalih sustava. Procjenjuje se da bi osnovna komunikacija mogla potrajati još nekoliko godina, vjerojatno do ranih 2030-ih. Signal koji stiže s Voyagera iznimno je slab – reda veličine 10^{-16} vata i slabiji je od pozadinskog šuma svemira. Može ga primiti samo globalna mreža velikih antena Deep Space Networka, smještenih u Sjedinjenim Amaričkim Državama, Španjolskoj i Australiji.

Tehnološki gledano, Voyager je skroman sustav. Koristi tri računala s ukupno manje od 70 kilobajta memorije. Nema autonomiju i ne donosi samostalne odluke. Svaka zapovijed dolazi sa Zemlje, često ručno kodirana, prema procedurama razvijenima prije gotovo pola stoljeća. Nakon završetka planetarnih preleta, letjelica se kreće balistički, a orijentaciju održavaju mali



Zaštitni omot unutar kojeg se nalaze ploče s fotografijama i zvukovima Zemlje. Autor: NASA/JPL



Instrumenti kojima su letjelice Voyager opremljene. Autor: NASA/JPL

potisnici na hidrazin koji omogućuju iznimno precizno usmjeravanje antene prema Zemlji.

Zlatna ploča – kulturni horizont

Na bočnoj strani letjelice nalazi se Zlatna ploča, bakrena fonografska ploča presvučena zlatom. Ideju i sadržaj ploče osmislio je tim znanstvenika i umjetnika predvođen Carlom Saganom, s ciljem da Voyager, osim znanstvenih instrumenata, ponese i kulturni trag civilizacije koja ga je poslala. Na ploči se nalazi 115 slika Zemlje, ljudi, prirode i znanosti, oko 90 minuta glazbe iz različitih kultura, pozdravi na 55 jezika te zvukovi prirode i ljudskog života. Ploča je zamišljena kao vremenska kapsula koja u uvjetima svemira može opstati stotinama milijuna godina.

Dvije letjelice, dva pogleda

Voyager 2, lansiran samo 16 dana ranije, jedini je ljudski objekt koji je izravno istražio Uran i Neptun. U međuzvjezdani prostor ušao je 2018. godine, na suprotnoj strani Sunčeva sustava. Danas se nalazi na udaljenosti od oko 135 astronomskih jedinica, odnosno gotovo 20

svjetlosnih sati od Zemlje.

Voyager 1 i Voyager 2 zajedno omogućuju jedinstven uvid u međuzvjezdani prostor iz dviju različitih točaka, što predstavlja iznimnu znanstvenu vrijednost.

Prije Voyagera - pioniri dubokog svemira

Put prema vanjskim granicama Sunčeva sustava započele su letjelice Pioneer 10 i Pioneer 11. Lansirane početkom 1970-ih, prve su prošle asteroidni pojas i prve poslale podatke iz vanjskih dijelova Sunčeva sustava. I one su nosile poruku čovječanstva, u jednostavnijem obliku ugravirane metalne ploče. Pioneer letjelice utrle su put Voyagerima: tehnički, znanstveno i konceptualno. Bez njih, kasnije misije ne bi bile moguće u obliku kakav danas poznajemo.

Velik dio ljudi koji su projektirali Voyager više nije živ. Letjelica je nadživjela svoje stvaratelje, a vrlo je vjerojatno da će nadživjeti i samu civilizaciju na Zemlji. Milijunima godina kružit će Mliječnom stazom kao tihi artefakt civilizacije koja je prvi put shvatila koliko je svemir velik, a ipak se usudila poslati dio sebe u njega.

ASTRONOMSKI KALENDAR ZA OŽUJAK I TRAVANJ 2026.

Piše:
Miroslav Smolić

Stiglo nam je proljeće, a s njim i kraće, ali toplije noći, no još uvijek ima dovoljno vremena za promatranje najzanimljivijih astronomskih pojava. Donosimo kratak pregled događaja vidljivih iz naših krajeva, uglavnom golim okom ili uz pomoć dvogleda 10x50.

Ožujak

3. ožujka

Pun Mjesec. U isto vrijeme događa se i totalna pomrčina Mjeseca, ali ona nije vidljiva iz Hrvatske.

8. ožujka

Konjunkcija Venere i Saturna. Venera prolazi oko 1° sjeverno od Saturna; oba planeta nalaze se u zviježđu Riba. Prizor je nisko na zapadu u sumrak pa je važan čist horizont.

19. ožujka

Mladi Mjesec.

20. ožujka

Proljetna ravnodnevnic (početak proljeća). Dan i noć približno su jednake duljine.

Konjunkcija Mjeseca i Venere. Tanka mjesečeva srp i vrlo sjajna Venera vidljivi su u sumrak nisko na zapadu; razmak je nekoliko stupnjeva, a prizor je zahvalan i za promatranje golim okom.

26. ožujka

Konjunkcija Mjeseca i Jupitera. Razmak iznosi oko 3 – 4° u zviježđu Blizanaca; najbolje se vidi u prvom dijelu noći, kada je par visoko iznad jugoistočnog i južnog neba.

29. ožujka

Okultacija Regula, najsajnije zvijezde u zviježđu Lava, Mjesecom. Regulus nakratko „nestaje“ iza Mjesečeva ruba oko 20:30 h te se ponovno pojavljuje s gornje desne strane oko 21:45 h. Dvogled je dobar za ovo promatranje, ali još je bolje koristiti mali teleskop.

Travanj

2. travnja

Pun Mjesec.

17. travnja

Mladi Mjesec. Tamne noći sredinom mjeseca odlične su za lov na objekte dubokog svemira.

19. travnja

Konjunkcija Mjeseca i Venere. Par se vidi u sumrak na zapadu; razmak je oko 4 – 5°.

22. travnja

Meteorski roj Liridi. Jedan od najpouzdanijih proljetnih rojeva (ZHR oko 18). Radijant je u zviježđu Lire, u blizini sjajne zvijezde Vege. Najbolje je promatrati iza ponoći i pred zoru.

Konjunkcija Mjeseca i Jupitera. Razmak je oko 3 – 4° u zviježđu Blizanaca; najbolje je vidljiva navečer, dok je Jupiter još visoko.

24. travnja

Konjunkcija Venere i Urana. Vrlo zanimljiv par za promatranje dvogledom u zviježđu Bika, s razmakom manjim od jednog stupnja. Uran je slab (oko 5 – 6 mag), ali se u dvogledu 10x50 može uočiti kao sitna „zvjezdica“ pod tamnim nebom, uz pomoć zvjezdane karte.

PLANETI

Jupiter ostaje najsajjniji „večernji“ planet u ovom razdoblju. U ožujku je dobro postavljen u zviježđu Blizanaca i vidljiv od sumraka do iza ponoći, a do kraja travnja polako se spušta prema zapadu i zalazi sve ranije. U dvogledu su lako vidljivi Galilejevi sateliti kao sitne točkice s objiju strana planeta. **Venera** je vrlo sjajna u večernjem sumraku, nisko nad zapadnim horizontom, osobito sredinom i krajem ožujka te tijekom travnja; 8. ožujka posebno je zanimljiva zbog blizine Saturna.

Merkur je najlakše uočiti u kratkom

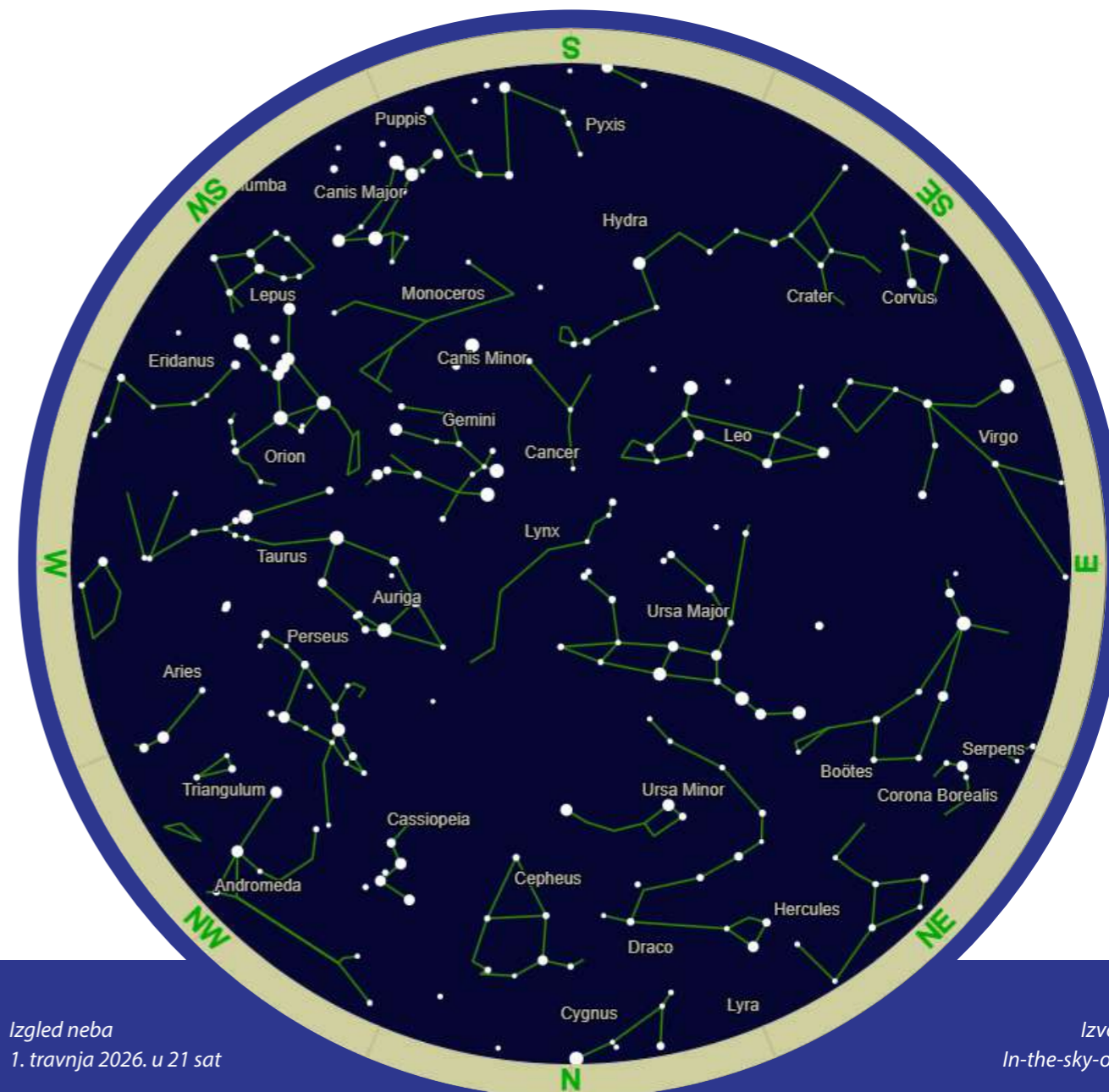
jutarnjem razdoblju, početkom i sredinom ožujka, nisko nad istočnim horizontom. **Saturn** je nizak i često „bježi“ u sjaju sumraka. **Uran** se može pronaći dvogledom pod tamnim nebom uz pomoć zvjezdane karte, no za sigurnije promatranje preporučuje se teleskop.

DEEP-SKY (dalekozor)

Proljetni mjeseci idealni su za promatranje galaksija. Galaksija M31 u Andromedi još je dostupna u ranijim večernjim satima početkom ožujka, nisko na zapadu. U travnju se možete prebaciti na „klasične“ proljetnog neba: M44 Presepe (Rak), M35 (Blizanci) te trojac otvorenih skupova M36–M37–M38 (Kočijaš). Orionova maglica M42 još je vidljiva početkom ožujka u ranijim večernjim satima, ali se brzo spušta prema zapadu. Kuglasti skup M3 u zviježđu Lovačkih pasa jedan je od najsajnijih kuglastih skupova na nebu; u dvogledu se vidi kao okrugla, magličasta „pahuljica“ bez razlučivih zvijezda. Tijekom ožujka i travnja sve je bolje postavljen te ga je najbolje tražiti u drugom dijelu večeri, kada se podigne visoko iznad istočnog i južnog neba.



Kuglasti skup M3.
Foto: Anthony Michel



Izgled neba
1. travnja 2026. u 21 sat

Izvor:
In-the-sky-org

ASTROFOTOGRAFIJA - FOTOGRAFIJA NA POSLJEDNJOJ STRANICI

Emisijska maglica Sh2-108

Područje emisijske maglice Sh2-108, smješteno u bogatom zvjezdanom polju oko sjajne zvijezde Sadr u zviježđu Labuda, otkriva složenu mrežu ioniziranog plina i tamnih prašinskih struktura. Na ovoj fotografiji dramatični kontrasti naglašeni su SHO paletom gdje SII označava ionizirani sumpor, Ha ionizirani vodik, a OIII ionizirani kisik. Zlatno-narančasti tonovi sumpora i vodika isprepliću se s plavičastim nijansama kisika dok tamne trake prašine presijecaju kadar poput kozmičkih rijeka. Snimka je izrađena teleskopom Skywatcher Esprit 80ED i kamerom Touptek senzor IMX571, čime su istaknuti fini detalji turbulentne strukture i prijelazi gustoće unutar maglice. Snažno zračenje masivnih zvijezda u području oko Sadra oblikuje okolni plin stvarajući udarne fronte i guste nakupine materijala iz kojih će u budućnosti nastajati nove zvijezde čineći ovaj segment kompleksa vizualno i fizikalno izuzetno dojmljivim.

Foto: Stjepan Lešić

