

# ASTRONOMI V KMICI



sedemindvajsetič

## KAZALO

<b>KMICIN RADIJSKI TELESKOP .....</b>	<b>3</b>
<b>KO DAN POSTANE NOČ: POPOLNI SONČEV MRK V ZDA .....</b>	<b>4</b>
<b>OPAZOVANJE IN MATEMATIČNO MODELIRANJE KEFEID.....</b>	<b>6</b>
<b>PREDLOG PREIMENOVANJA JUŽNEGA OZVEZDJA KOTOMER V KOTNIK .....</b>	<b>11</b>
<b>SKRIVNOSTNA TELESA, KI SO NAM PRINESLA VODO .....</b>	<b>15</b>
<b>KMICA BO POSLUŠALA VESOLJE.....</b>	<b>17</b>
<b>KRATEK UVOD V RADIJSKO ASTRONOMIJO – PRVI DEL.....</b>	<b>19</b>
<b>SKRITE PODROBNOSTI V MLADIH ZVEZDNIH SISTEMIH.....</b>	<b>26</b>
<b>HR DIAGRAM IN YERKESOVA SPEKTRALNA KLASIFIKACIJA ZVEZD .....</b>	<b>27</b>
<b>LOM SVETLOBE IN DOLŽINA DNEVA.....</b>	<b>29</b>
<b>GRAVITACIJSKO POSPEŠEVANJE VESOLJSKIH SOND .....</b>	<b>31</b>
<b>UTRINKI Z MLADINSKEGA ASTRONOMSKEGA TABORA KMICA 2024 .....</b>	<b>33</b>
<b>NOVA KNJIGA »ZBIRKA NALOG Z ASTRONOMSKIH TEKMOVANJ 2009-2024 – TEORIJA IN REŠENE NALOGE ZA SREDNJE ŠOLE« .....</b>	<b>36</b>
<b>ASTRONOMSKI TABOR KMICA .....</b>	<b>37</b>

## KMICIN RADIJSKI TELESKOP

Astronomsko društvo Kmica je tudi v letu 2024 doseglo kar nekaj pomembnih, tudi prelomnih stvari.

Letošnji tabor je bil praktično rekorden po številu udeležencev, saj se ga je udeležilo kar 45 učencev in dijakov. Edino na taboru leta 1999 je bilo več udeležencev, vendar tistega težko primerjamo z običajnimi tabori, ker je takrat bil sončni mrk. Za udeležence je skrbelo 8 mentorjev pod vodstvom **pom. akad. dr. Roka Vogrinčiča**. Tabor je po mnenju vseh odlično organiziral in vodil, pomembno pa je tudi, da so mu ob strani stali domači mentorji. To Astronomsko društvo Kmica uvršča med pomembna in kadrovske samostojna društva pri nas.

Rok je tudi zaslužen za našo drugo pomembno pridobitev, to je **Radijski teleskop**. Izsledil ga je v Italiji, kjer so ga podarili, mi pa smo morali poskrbeti za demontažo, transport nam je doniralo podjetje Roto, kupiti pa smo morali nova pogonska motorja, ker stara več nista bila funkcionalna in krmilnike za natančno delovanje in vrtenje antene. Teleskop bomo v naslednjem letu poskušali uglasti in z njim začeti astronomska opazovanja. Trenutno je to **največji radijski teleskop v Sloveniji**. Antena ima premer 4 metre, naša ambicija pa je, da ga bomo uporabljali kot stereo anteno s podobnim teleskopom na primorskem. S tem se bo njuna zmogljivost zelo povečala, celo najbolj kar je v Sloveniji možno, saj teleskopa ležita na največji možni oddaljenosti pri nas.

Nekaj naših članov si je ogledalo tudi osrednji astronomski dogodek tega leta, to

je popolni sončni mrk v Ameriki. Naš **pom. akad. dr. Primož Kajdič** je poskrbel tudi za prenašanje mrka v živo, tako da smo ga lahko opazovali tudi v Sloveniji. Seveda je v živo nekaj povsem drugega, vseeno pa se Primožu lepo zahvaljujemo za njegov trud in komentarje tudi v Slovenščini.

Kmica je tudi letos ob pričujoči publikaciji, ki je že sedemindvajseta po vrsti, založila tudi tradicionalni astronomski koledar. Lepo se zahvaljujem **pom. akad. dr. Samu Smrketu** za prispevano fotografijo in **Darku Kolarju** za pripravo astronomskega dela.

Na Gimnaziji Murska Sobota je podpredsednik društva **pom. akad. dr. Renato Lukač** organiziral več astronomskih večerov na katerih smo lahko poslušali zelo zanimiva predavanja, pa tudi vreme se nas je včasih usmilo za astronomska opazovanja. Vrhunec opazovanj pa je seveda kot vsako leto, bil med taborom na Osnovni šoli Gornji Petrovci. Ob tej priložnosti se lepo zahvaljujem ravnatelju **Johanu Lacu** za gostoljubje in vsestransko pomoč. Naših aktivnosti ne bi uspeli tako uspešno izvajati brez Soboške Zveze za tehnično kulturo in **Darje Kozar Balek** ter **Suzane Čurman**. Iskrena hvala tudi vsem drugim, ki nam pomagata da AD Kmica popularizira astronomijo in znanstveno misel, še posebej med mladimi.

V letu, ki je pred nami, vsem želim veliko sreče ter lepe astronomske dogodke.

pom. akad. dr. Mitja Slavinec,  
predsednik AD Kmica

# KO DAN POSTANE NOČ: POPOLNI SONČEV MRK V ZDA

*Andrej Hanžekovič, dolgoletni član AD Kmica*

April 2024 bo za naju z ženo vedno ostal zapisan kot mesec, ko sva doživela enega najbolj spektakularnih naravnih pojavov – popoln Sončev mrk. Čeprav smo v Sloveniji nazadnje takšen pojav lahko videli leta 1999, naju je tokratna priložnost ponesla na vzhodno polovico Združenih držav Amerike, kjer se je Lunina senca vila vse od Teksasa do Maina. Odločila sva se, da bova ta enkratni trenutek ujela prav v Teksasu, saj so tam napovedovali najboljše vremenske pogoje za opazovanje.



Slika 1: Pot sence sončevega mrka.

Sončev mrk je bil tudi odličen razlog za raziskovanje Teksasa, zvezne države, ki ponuja vrsto tako zgodovinskih kot naravnih čudežev. Med pomembnejšimi postanki je bil obisk slavnega Nasinega vesoljskega centra v Houstonu, kjer sva imela priložnost videti znamenito kontrolno sobo, iz katere so upravljali misijo Apollo 13.



Slika 2: Avtor članka pred uporabljeno pogonsko raketo SpaceX Falcon 9.

Prav posebno doživetje je bilo stopiti v prostor, kjer so pred desetletji sprejemali ključne odločitve za

varno vrnitev treh astronautov, ki so bili primorani predčasno prekiniti neuspešno misijo na Luno.



Slika 3: Kontrolna soba misij Apollo.

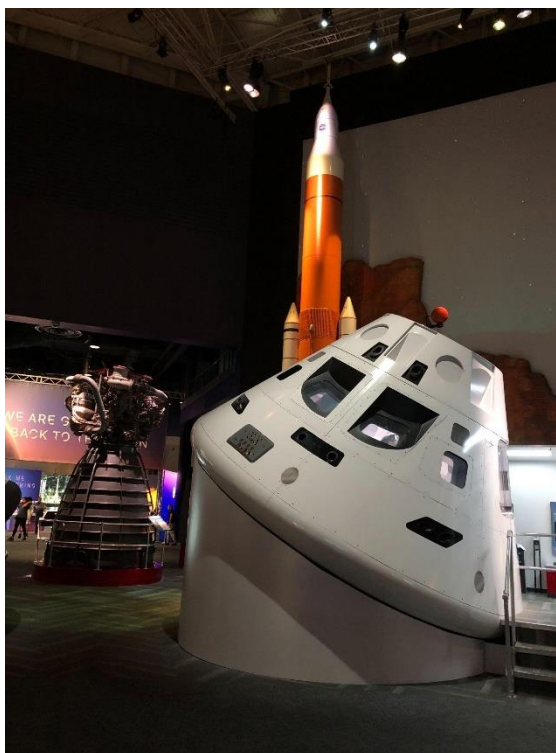
Poleg astronomsko obarvanih dejavnosti sva si ogledala tudi naravna bogastva, ki jih ta del sveta ponuja. Poleg širnih polij, kavbojev in rodeov sva seveda morala obiskati tudi tekmo Dallas Mavericksov in Luke Dončiča.

Na dan mrka, 8. aprila, sva se pridružila množici opazovalcev v majhnem mestecu Sulphur Springs, približno uro vzhodno od Dallasa. Ob jezeru se je zbrala pisana množica ljudi, ki so v pričakovanju skozi posebna očala s filtri opazovali različne faze mrka. Nekateri so s seboj prinesli tudi teleskope, daljnogleda in fotoaparate, da bi ujeli popoln trenutek.



Slika 4: Opazovanje mrka.

Vremenska napoved je bila kljub odlični lokaciji bore črnogleda. Na nebu so se cel dan zbirali delno transparentni oblaki, a narava nam je vseeno pustila dovolj lukenj, da smo lahko uživali v pogledu na popolno fazo mrka.



Slika 5: Replika komandnega modula v Nasinem vesoljskem centru.

Ta je trajala 4 minute in 21 sekund ter je bila resnično spektakularna. Ko je Luna popolnoma zakrila Sonce, so se prižgale luči javne razsvetljave in nad pokrajino se je spustila tema, kot takrat ko se zvečeri. Ptice, ki so še trenutek prej bile mirne, so začele skoraj brezglavo letati nad množico opazovalcev.

Kljub oblakom, ki so deloma prekrivali pogled, smo z odprtimi usti spremljali prehod Lune čez Sonce in protuberance, ki so bile jasno vidne že s prostimi očesi - da ne omenjam pogleda skozi daljnogled. V tistih nekaj minutah so od množice gledalcev odmevali vzkliki, ploskanje smeh in jok. Ko je svetloba ponovno prekrila nebo in je Sonce spet zasijalo, sva oba še nekaj časa sedela v tišini in razmišljala o čarobnih trenutkih, ki sva jih ravnokar doživela.



Slika 6: Popolna faza sončevega mrka.

Skozi popolno fazo mrka mi je uspelo posneti tudi nekaj fotografij in izkazalo se je, da so oblaki postali prav estetski dodatek, ki posnetku doda lepo teksturo.



Slika 7: "Diamantni prstan" sončevega mrka.

Doživeti popolni Sončev mrk je najboljša izkušnja, ki sva jo kdaj doživela – ne le zaradi samega mrka, ampak tudi zaradi drugega, kar je to potovanje prineslo. Teksas nama bo za vedno ostal v spominu kot kraj poln prijaznih ljudi, prelepe narave in čudovitih pokrajin.

Če imate priložnost doživeti Sončev mrk, vam toplo priporočam, da ga izkusite v živo. Fotografije so sicer lepe, a ne zmorejo ujeti občutkov, ki jih takšen dogodek prebudi.

# OPAZOVANJE IN MATEMATIČNO MODELIRANJE KEFEID

Damjan Dovnik<sup>1</sup> in doc. dr. Vladimir Grubelnik<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakulteta za naravoslovje in matematiko, UM, <sup>2</sup>Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, UM

## UVOD

V prispevku obravnavamo pulzirajočo spremenljive zvezde imenovane kefeide, katerih svetlost se periodično spreminja. So zvezde, ki so že prešle glavno fazo svojega življenjskega cikla. Zaradi neravnovesja med gravitacijo, ki vleče material proti jedru, in pritiskom plinov, ki potiska material navzven, so postale nestabilne zvezde, katerih svetlost se spreminja zaradi periodičnega raztezanja in krčenja njihove atmosfere [1].

Imenujejo se po zvezdi Delti Kefeja, katere spremenljivost je leta 1784 odkril **John Goodricke** [2]. Gre za ene najpomembnejših vrst zvezd v vesolju, saj sta njihova perioda spremembe sija in izsev medsebojno povezana, kar pomeni, da jih lahko uporabimo kot standardne svetilnike za določevanje razdalj po vesolju [3].

Poznamo več vrst kefeid, vsem je skupno to, da se na H-R diagramu nahajajo v pasu nestabilnosti. Ta prečka glavno vejo H-R diagrama in se zaključí pri rumenih nadorjakinjah. Kefeidne spremenljivke zato delimo na več tipov, ki jih ločimo predvsem po njihovih periodah ter legi na H-R diagramu oziroma temperaturi in izsevu [4].

Za nekaj kefeid Delta Ščita, ki imajo krajše periode oscilacij, smo izmerili časovni potek spreminjanja navidezne magnitude in ocenili periodo oscilacij. Na podlagi opazovanj in znanih teoretičnih dejstev smo sestavili tudi fizikalni model nihanja klasičnih kefeid in rezultate simulacije primerjali z meritvami.

## PERIODIČNO SPREMINJANJE SIJA

Čeprav poznamo več vrst kefeid, je njihov mehanizem pulziranja v grobem enak. Kljub temu, da se kefeidam med procesom širjenja in krčenja spreminja sij, se v tem procesu pravzaprav bolj kot izsev spreminja količina svetlobe, ki se prebije do površja zvezde. Pomembno vlogo v tem procesu ima obnašanje ioniziranega helija v atmosferi kefeid. Če se zunanje plasti zaradi gravitacije nekoliko skrčijo, se te močno segrejejo. Bolj zgoščena in vroča plazma helija vsebuje več ioniziranega (dva-krat ioniziranega) helija in je s tem manj prepustna za svetlobo kot hladnejša. S tem se veliko svetlobe absorbira v plazmi, kar še dodatno povečuje njeno temperaturo in tlak. Povečan tlak nato ustavi krčenje in potisne plasti navzven, pri čemer se zunanje plasti ohladijo in tlak pade. Elektroni se pri tem ponovno vežejo v helijeve atome, kar poveča prepustnost svetlobe in dodatno zmanjša temperaturo. Zunanje plasti se širijo, dokler gravitacijska sila ne preseže tlak plazme. Zvezda se

zardi tega začne ponovno krčiti, zunanje plasti se segrevajo in proces se ponovi. Pride do nihanja velikosti zvezde in nihanja izsevane svetlobe. Skrčena zvezda seva manj in ima posledično večjo navidezno magnitudo, razširjena zvezda pa ravno obratno [1].

## MERJENJE NAVIDEZNE MAGNITUDE

Namen eksperimentalnega dela je posneti časovni potek spreminjanja navidezne magnitude kefeid in s tem določiti periodo utripanja zvezd, ki jo lahko primerjamo z rezultati matematičnega modela. Zaradi krajših period merjenja smo uporabili spremenljivke Delta Ščita (pritlikave kefeide), ki imajo v primerjavi z klasičnimi kefeidami precej krajše periode nihanj, od nekaj minut do nekaj ur. Postopek opisan v nadaljevanju lahko uporabimo tudi za merjenje klasičnih kefeid, katerih perioda je od nekaj dni do nekaj mesecev.

Za opazovanje oziroma fotografiranje kefeid smo uporabil teleskop GoT1 na ekvatorialni montaži s premerom objektivna 400 mm ter CMOS kamero ASI6200MM Pro [5]. Teleskop je v Čilu, v puščavi Atacama (30° 27' južne geografske širine, 70° 45' zahodne geografske dolžine) na nadmorski višini 1560 metrov. Observatorij in vsa oprema so popolnoma avtomatizirani in omogočajo enostavno upravljanje iz Slovenije. Teleskop smo uporabljali kot del projekta GoChile [6], ki študentom in dijakom omogoča rokovanje z omenjenim teleskopom.

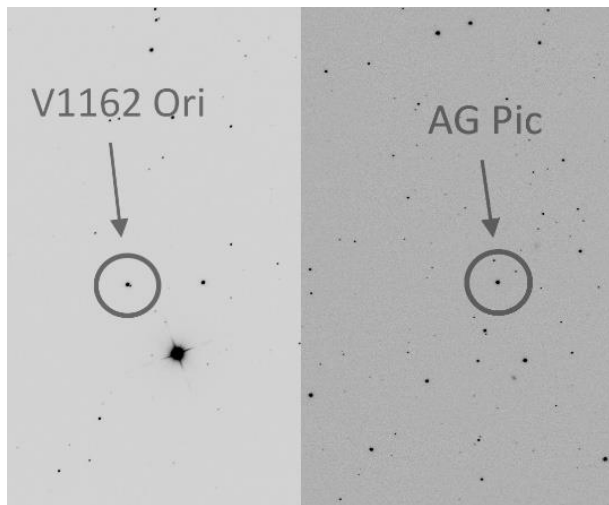
Za uporabo teleskopa se je bilo potrebno prijaviti na spletni strani gochile.si [6] in podrobno opredeliti plan opazovanja. Na podlagi tega so nam preko programa AnyDesk [7] omogočili dostop do računalnika Vega, preko katerega smo lahko upravljali s teleskopom. Ko smo se povezali na nadzorni računalnik Vega, smo s programom Viking [8] vklopili električno napajanje naprav, ki smo jih potrebovali (naprave, ki vsebujejo ime teleskopa GoT1). Nadalje smo izbrali ustrezne kamere in filtre v programu MaximDL [8]. Filtri so namenjeni opazovanju v določenem delu spektra svetlobe, kar nam omogoča izboljššan kontrast opazovanih posnetkov. V programu PHD [8] smo nastavili še kamero za sledenje, saj smo meritev izvajali dlje časa. Za zajemanje podatkov smo zagnali program Voyager [8], v katerega smo vnesli koordinate (deklinacijo in rektascenzijo) opazovanega nebesnega telesa, ekspozicijo (30 s) ter željen filter (v večini meritev smo uporabili zelen filter). Preden smo pognali sekvenco opazovanja, smo nastaviti še hlajenje CMOS kamere, katere temperatura je bila

ves čas opazovanja približno  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , da smo zagotovili ustrezno kvaliteto meritve.

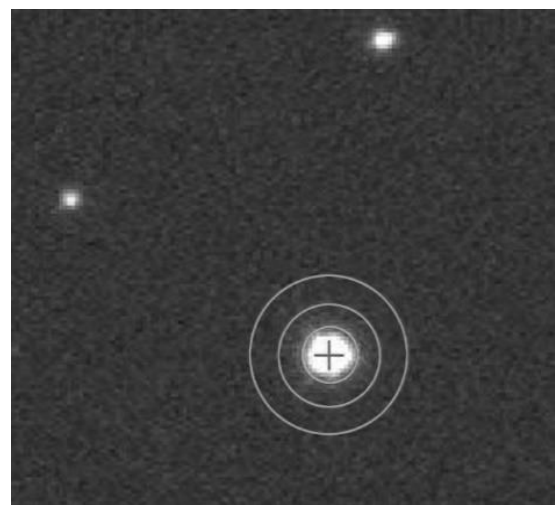
Z zagonom sekvence opazovanja smo pridobili fotografije željene kefeide (Slika 1a). Šum na fotografijah smo zmanjšali s kalibracijo v programu Astro Pixel Processor [9], pri čemer smo uporabili različne tipe kalibracijskih fotografij (dark frames, bias frames in flat frames) posnetih s teleskopom. Na podlagi kalibriranih slik smo nato izbrali nekaj referenčnih zvezd, katerih navidezno magnitudo poznamo in se ne spreminja. Magnitudo referenčnih zvezd smo na podlagi njihovih nebesnih koordinat

razbrali iz kataloga Simbad [10]. Navidezne magnitudo zvezd smo izmerili s programom za fotometrijo AstrolmageJ [11, 12]. Določili smo območje branja svetlosti zvezde in svetlosti ozadja (Slika 1b) ter pridobili graf radialne odvisnosti svetlosti zvezde (Slika 1c), kar nam je bilo v pomoč pri ločevanju zvezde od ozadja. Izbrali smo še referenčne zvezde z znanimi magnitudami (slika 1d), glede na katere program izmeri sij merjene zvezde. Tako smo iz slik posnetih v različnem času pridobili navidezno magnitudo kefeid v odvisnosti od časa.

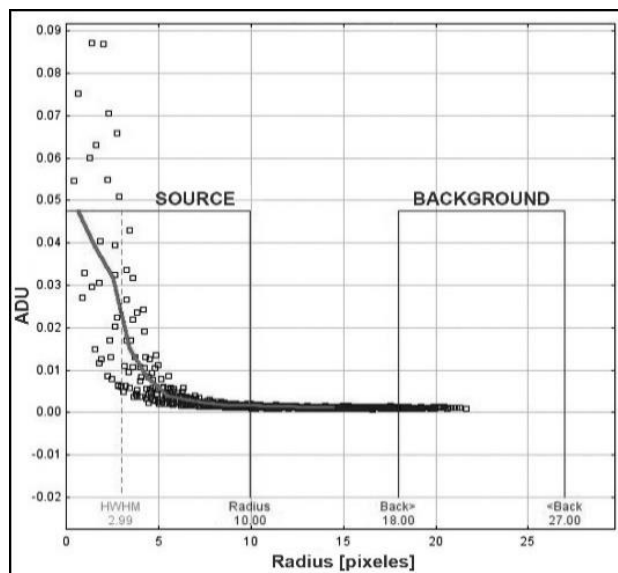
a)



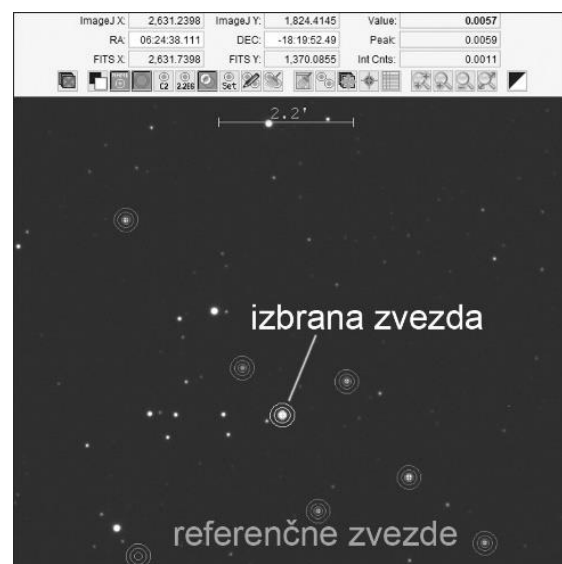
b)



c)



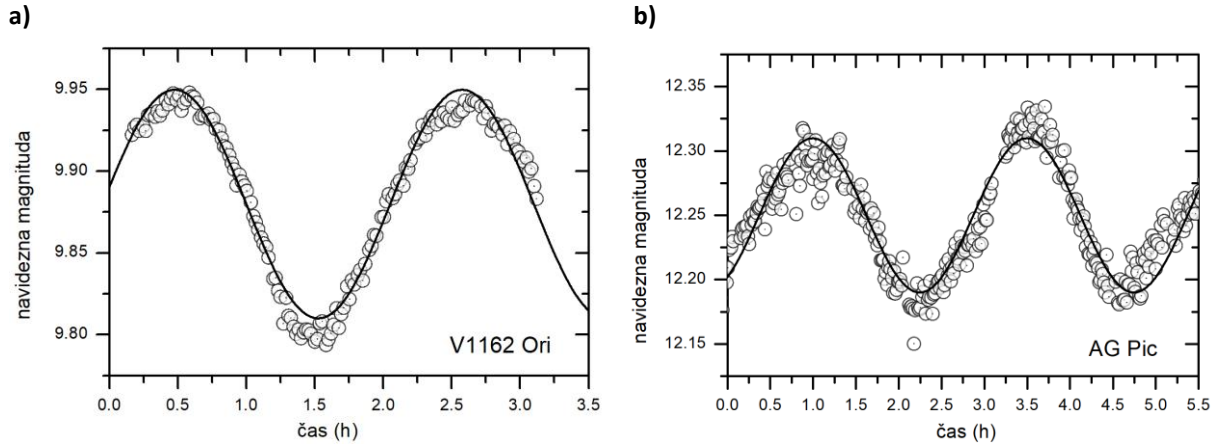
d)



Slika 1: Določanje navidezne magnitudo kefeid Delta Ščita (AstrolmageJ [11, 12]). **a)** Fotografije pridobljene s teleskopom GoT1. **b)** Območje branja svetlosti zvezde in svetlosti ozadja. **c)** Graf radialne odvisnosti svetlosti zvezde. **d)** Določitev merjene zvezde in referenčnih zvezd z znanimi magnitudami.

Na sliki 2 so prikazane izmerjene navidezne magnitude za dve spremenljivki tipa Delta Ščita. Slika 2a prikazuje meritve za zvezdo V1162 Ori [13, 14], ki se nahaja v ozvezdju Orion. Slika 2b pa

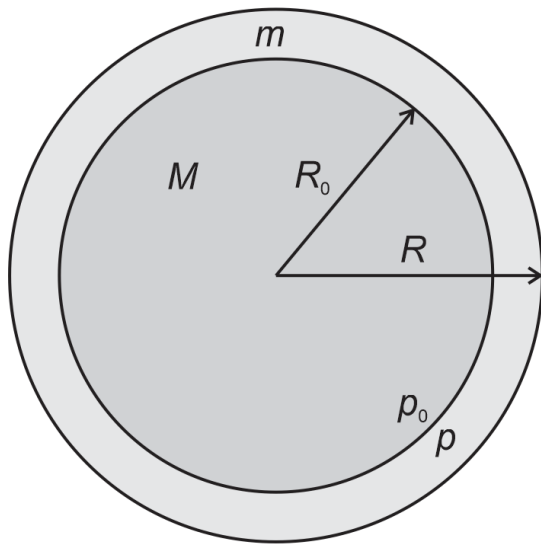
prikazuje izmerjene navidezne magnitude za zvezdo AG Pic [15], ki se nahaja v ozvezdju Slikar (Pictor). Dodatne meritve še za druge vrste kefeid so bile objavljene v reviji Spika [16].



Slika 2: Merjenje navidezne magnitude spremenljivk Delta Ščita. Dodane so prilagoditvene sinusne krivulje  $m(t) = m_0 + A \sin\left(\frac{t-t_0}{t_w} \pi\right)$ . **a)** Spremenljivka V1162 Ori [13, 14],  $m_0 = 9.88$ ,  $A = 0.07$ ,  $t_0 = 0.05$  h  $t_w = 1.05$  h. **b)** Spremenljivka AG Pic [15],  $m_0 = 12.25$ ,  $A = 0.06$ ,  $t_0 = 0.37$  h  $t_w = 1.25$  h.

### MATEMATIČNI MODEL

Zaradi poenostavljenega modela obravnavajmo kefeido kot navadno stabilno zvezdo z maso  $M$  in polmerom  $R_0$ , katero obdaja oblak idealnega plina z maso  $m$  [17] (slika 3).



Slika 3: Skica kefeide kot zvezde z maso  $M$  in polmerom  $R_0$ , katero obdaja oblak idealnega plina z maso  $m$ . Zaradi širjenja in krčenja oblaka se spreminja polmer  $R$  in tlak  $p$ , ki deluje na oblak plina.

Raztezanje in krčenje oblaka na podlagi 2. Newtonovega zakona z upoštevanjem gravitacije ( $F_g$ ) in tlačne sile ( $F_t$ ) opišemo kot:

$$m \frac{d^2 R}{dt^2} = -F_g + F_t = -\frac{GMm}{R^2} + S \cdot p = -\frac{GMm}{R^2} + 4\pi R^2 p, \quad (1)$$

pri čemer je  $M$  masa notranjega dela zvezde,  $m$  je masa oblaka,  $R$  je polmer zvezde in  $G$  je gravitacijska konstanta. Za tlačno silo upoštevamo, da na oblak plina deluje tlak  $p$  na površini  $S = 4\pi R^2$ . Predpostavimo, da je širjenje in krčenje plina adiabatsno [17]:

$$p_0 V_0^\gamma = p V^\gamma, \quad (2)$$

kjer je  $p_0$  začetni tlak v zvezdi, ki potiska oblak navzven in  $V_0$  začetni volumen zvezde. Za adiabatsni koeficient upoštevamo  $\gamma = 5/3$ , saj je helij, iz katerega je sestavljen oblak plina, enoatomni plin. Upoštevamo še enačbo za volumen zvezde  $V = 4\pi R^3/3$  in tlak zapišemo kot:

$$p = p_0 \cdot \left(\frac{R_0}{R}\right)^{3\gamma}. \quad (3)$$

Enačbo 3 vstavimo v enačbo 1 in dobimo:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{GM}{R^2} + \frac{4\pi R^2 \cdot p_0 \cdot R_0^{3\gamma}}{m \cdot R^{3\gamma}} = -\frac{GM}{R^2} + \frac{4\pi \cdot p_0 \cdot R_0^5}{m \cdot R^3} \quad (4)$$

Dobljena enačba nam za dane vrednosti parametrov ( $M, m, R_0$  in  $p_0$ ) podaja spreminjanje polmera zvezde v odvisnosti od časa  $R(t)$ . Za znano maso zvezde  $M$  predpostavimo, da je masa oblaka  $m$  približno 1 % mase notranjega dela zvezde [17].

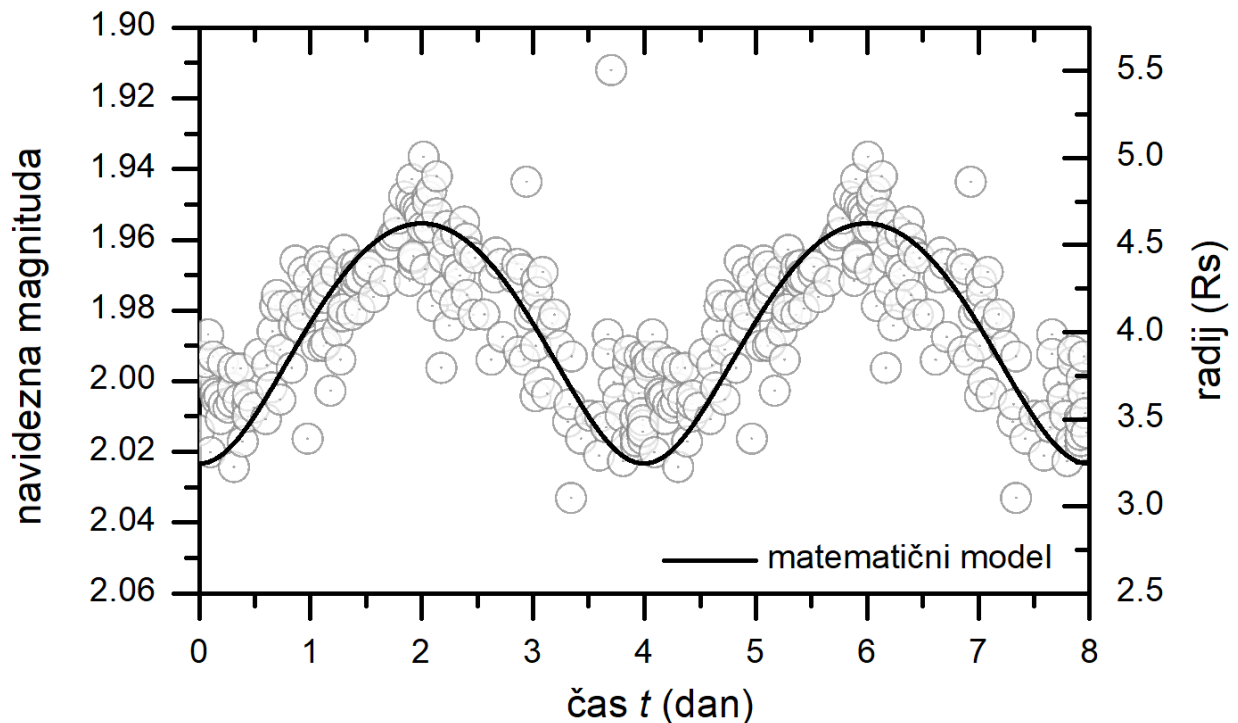


Polmer zvezde  $R_0$  prav tako ocenimo iz znane mase zvezde  $M$ . Upoštevamo sorazmerje, ki velja za zvezde glavne veje:  $R_0 \propto M^k$ , pri čemer je  $k = 0.72$  [18]. Za orjakinje je sicer to sorazmerje nekoliko bolj zapleteno in odvisno od sestave zvezd, vendar za našo približno oceno zadošča omenjeno razmerje:  $R_0 = R_\odot (M/M_\odot)^k$ , pri čemer je  $R_\odot$  polmer Sonca in  $M_\odot$  njegova masa.

Na sliki 4 so prikazane meritve za zvezdo Severnico (Polaris), ki spada med klasične kefeide s periodo približno 4 dni. Meritve so povzete s spleta [19], saj zvezdo Severnico iz prej omenjenega observatorija, ki leži na južni polobli, ne moremo opazovati. Na sliki so poleg meritev prikazani tudi rezultati matematičnega modela. V modelu smo upoštevali, da je masa zvezde  $M = 5 M_\odot = 1 \cdot 10^{31}$  kg [20], začetni tlak  $p_0 = 2,5 \cdot 10^9$  Pa pa smo prilagodili

tako, da se rezultati modela ujemajo z eksperimentalnimi meritvami. Izbran tlak ustreza ocenjeni vrednosti tlaka nekoliko pod površjem zvezde, pri čemer je tlak v notranosti zvezde za več velikostnih redov večji [21, 22]. Za primerjavo omenimo, da je tlak v središču Sonca približno  $3 \cdot 10^{16}$  Pa [22, 23].

Iz slike 4 je razvidno, da se perioda nihanj matematičnega modela ujema s periodo nihanj eksperimentalnih podatkov. Ob povečanem radiju zvezde je navidezna magnituda manjša, kar sovпада s prej omenjenim mehanizmom nihanja kefeid. Med nihanjem se radij poveča približno za faktor 1.5, kar je skladno z že prej določenimi spremembami v radiju zvezde [20, 21].



Slika 4: Spreminjanje navidezne magnitude zvezde Severnice. Meritve so povzete s spleta [19]. Krivulja predstavlja numerične rezultate matematičnega modela.

## ZAKLJUČEK

V raziskavi smo proučevali osciliranje spremenljivih zvezd kefeid. Opisali smo njihov mehanizem periodičnega spreminjanja sija, kar je nudilo osnovo za raziskavo. Predstavili smo postopek, kako lahko sami uporabljamo daljinsko voden teleskop na oddaljeni lokaciji in z njim opravili nekaj meritev časovnega poteka sija kefeid. Opisali smo celoten proces opazovanja, od prijave na projekt GoChile, do uporabe različnih programov za fotometrijo in analizo pridobljenih podatkov. S teleskopom smo posneli več svetlobnih krivulj kefeid, kar je omogočalo določitev njihovih period nihanja.

Pokazali smo, da se njihov sij spreminja tako, kot je navedeno v teoriji. Na podlagi znanih dejstev o mehanizmu pulziranja kefeidnih spremenljivk smo razvili tudi poenostavljen matematični model, ki opisuje spremembe radija kefeide. Rezultati tega modela dobro sovpadajo z eksperimentalnimi meritvami in tako potrjujejo veljavnost uporabljenega pristopa. Kljub določenim poenostavitvam raziskava prispeva k boljšemu osnovnemu razumevanju kompleksnih mehanizmov, ki vplivajo na nihanje kefeid in omogoča nadaljnje prilagoditve modelov za natančnejše napovedi o obnašanju teh zvezd.

## LITERATURA

- [1] Percy R. J. Understanding variable stars. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Wikipedia, John\_Goodricke. Dostopno na strani: [https://sl.wikipedia.org/wiki/John\\_Goodricke](https://sl.wikipedia.org/wiki/John_Goodricke)
- [3] University of Nebraska-Lincoln, Cepheid Variable Stars. Dostopno na strani: <https://astro.unl.edu/naap/distance/cepheids.html>
- [4] Wikipedia, Hertzsprung-Russllov diagram. Dostopno na strani: [https://sl.wikipedia.org/wiki/Hertzsprung-Russllov\\_diagram](https://sl.wikipedia.org/wiki/Hertzsprung-Russllov_diagram)
- [5] Telskop GoT1. Dostopno na spletni strani: <https://gochile.si/teleskop-in-oprema/>
- [6] GoChile - izobraževalni, nekomercialni projekt, ki ga vodita Univerza v Novi Gorici in astronomska revija Spika. Dostopno na spletni strani: <https://gochile.si/>
- [7] AnyDesk - programska oprema za oddaljeno namizje. Dostopno na spletni strani: <https://anydesk.com/>
- [8] GoChile – Osnovna navodila za izvedbo opazovanj. Dostopno na strani: <https://gochile.si/navodila/>
- [9] Astro Pixel Procesor (2017). Mabula Haverkamp. Obdelava slik globokega vesolja. Dostopno na strani: <https://www.astropixelprocessor.com/>
- [10] SIMBAD Astronomical Database - CDS (Strasbourg). Dostopno na spletni strani: <https://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- [11] AstroImageJ. Dostopno na strani: <https://www.astro.louisville.edu/software/astroimagej/index.html>
- [12] Karen A. Collins in sod. (2017). Astroimagej: Image processing and photometric extraction for ultra-precise astronomical light curves. *The Astronomical Journal* **153** 77
- [13] SIMBAD Astronomical Database, V1162 Ori. Dostopno na strani: <https://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-basic?Ident=V1162+Ori+&submit=SIMBAD+search>
- [14] T. Arentoft in sod. (2001). V 1162 Ori: A multiperiodic  $\delta$  Scuti star with variable period and amplitude. *Astronomy & Astrophysics*. 374, 1056–1070.
- [15] SIMBAD Astronomical Database, AG Pic. Dostopno na strani: <https://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-basic?Ident=AG+pic&submit=SIMBAD+search>
- [16] Damjan Dovnik in Hana Brumec (2022). Najina raziskava kefeid tipa Delta Ščita s projektom GoChile. *Spika*, julij-avgust 2022, 340-343.
- [17] Maraia Tanner (2002). Cepheid Variables. *Physics 560A – Fall 2002*.
- [18] Osman Demircan in Kaynak Göster, Stellar Mass-Radius Relation. Dostopno na strani: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1612778>
- [19] AAVSO The International Variable Star Index, Polaris. Dostopno na strani: <https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=37413>
- [20] Wikipedia, Polaris. Dostopno na strani: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polaris>
- [21] Yu. A. Fadeyev, Evolutionary status of Polaris, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 449, Issue 1, 1 May 2015, Pages 1011–1017, <https://doi.org/10.1093/mnras/stv412>
- [22] Ashok A. (2010). Solar Interior. *Astrophysics and Space Science Proceedings*. Springer. Dostopno na strani: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-11341-3\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-11341-3_2)
- [23] Maciel, W. J. (2016). *Introduction to stellar structure*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16142-6>

# PREDLOG PREIMENOVANJA JUŽNEGA OZVEZDJA KOTOMER V KOTNIK

prof. dr. Robert Repnik<sup>1</sup> in pom. akad. dr. Mitja Slavinec<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko

## UVOD – O ASTRONOMIJI IN OZVEZDIH

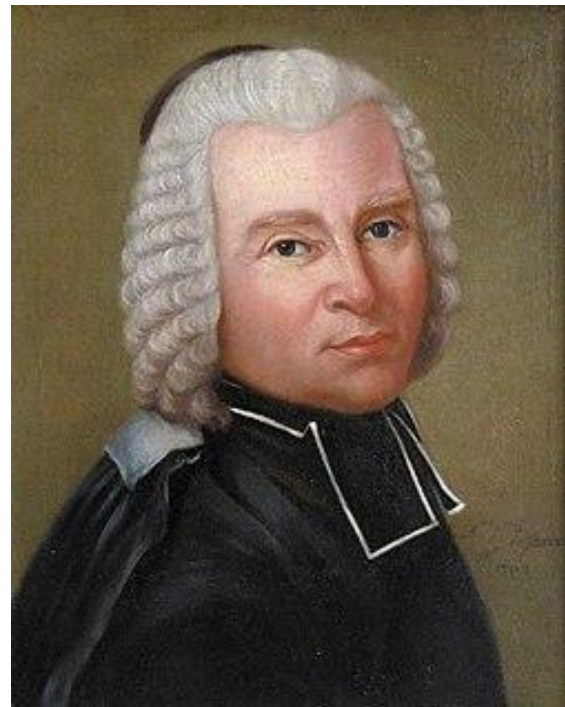
Astronomija (starogrško αστρονομία: astronomía / starogrško ἄστρον: ástron + starogrško νόμος: nómos – dobesedno zakon o zvezdah) ali zvezdoslovje je znanstvena veda, ki se **ukvarja z opazovanjem in razlago zunajzemeljskih pojavov v vesolju** [1]. Morda je zvezdoslovje ali tolmačenje pomena besede astronomija zgolj v kontekstu »zvezd« celo preozek in s tem neustrezen pojem. Astronomijo moramo razumeti širše, ukvarja se z nebesnimi telesi, tematsko pa je razdeljena na Osončje, njegove planete, spremljevalce planetov, naravne satelite (sateliti, lune ali meseci), na zvezde (zvezde stalnice oziroma nepremičnice), na galaksije (megličaste zvezdne sestave, ki vsebujejo po nekaj sto milijard zvezd). Pri opazovanju zvezd s površja Zemlje je praktično, da si nebo razdelimo na področja, v katerih sicer praviloma gravitacijsko nepovezane svetlejšje zvezde tvorijo neko prepoznavno podobo; tem pravimo ozvezdja. Nebo je Mednarodna astronomska zveza leta 1928 ter 1933 razdelila na **88 ozvezdij**. Različna ljudstva so si na nebu predstavljala različne podobe. Dogovorno smo za poimenovanja ozvezdij, ki so vidna s severne poloble, večinoma prevzeli nazive iz grške mitologije. Kot zanimivost naj že na tem mestu dodamo, da je eno ozvezdje, ki ga je poimenoval že Ptolemaj (*Klavdij Ptolemaj* {starogrško Κλαύδιος Πτολεμαῖος}, *starogrški/egipčanski astronom, astrolog, matematik, geograf in fizik, rojen okoli leta 85, mogoče Ptolemais Hermia, Tebaida, Egipt, umrl okoli leta 170, mogoče Aleksandrija*), to je bila »Ladja Argo«, francoski astronom Lacaille (**Nicolas-Louis de Lacaille**, *francoski astronom, rojen 15. marca 1713, Rumigny, Ardeni, Francija, umrl na dan pomladanskega enakonočja 21. marca 1762, Pariz, Francija*) razdelil na tri dele. Južna ozvezdja so svoja imena dobila kasneje, predvsem v času potovanja evropskih raziskovalcev, zlasti pomorščakov, južneje od ekvatorja.

Astronomijo danes mnogi razumemo kot del fizike, je pa v tesni zvezi z matematiko, geografijo in celo novimi podznanostmi, kakor astrobiologijo in astrokemijo. Z astronomijo med drugim povezujemo še teoretično astronomijo, astrofiziko (nanaša se na preučevanje zvezd) in kozmologijo.

## OZVEZDJA JUŽNEGA NEBA IN NICOLAS LOUIS DE LA CAILLE

Lacaille (Slika 1) je pustil v zgodovinskem razvoju astronomije pomemben pečat. Izmeril je **Lunino paralakso**. Leto po nastanku teorije o precesiji in

nutaciji je leta 1750 našel vrednost za splošno precesijo v longitudi ob uporabi svojega zvezdnega kataloga in kataloga *Albatanija ter de Braheja*. Leta 1751 in 1752 je ponovil meritve **Marsove deklinacije** na observatoriju Dobrega upanja in dobil praktično enako vrednost za Sončevo paralakso kot že **Giovanni Cassini** I. leta 1672. Na podlagi tega je precej dobro ocenil **vrednost astronomske enote**, ki je približna vrednost povprečne razdalje Zemlje od Sonca. Leta 1756 je za tiste čase izjemno natančno izmeril dolžino poldnevniškega loka v Franciji ter Afriki, in sicer z napako le 0,0003. Izdal je zvezdni katalog z 10.000 južnimi zvezdami, skupaj z 42 meglicami. Ta katalog so z naslovom *Coelum Australe Stelliferum* objavili po njegovi smrti leta 1763. Leta 1758 je predlagal ime **Halleyjevemu kometu**. Kot zanimivost naj dodamo, da se po njem imenuje **krater Lacaille na Luni**, kar je izkazano spoštovanje in čast, ki jo imajo le redki.



Slika 1: Pomembno vlogo pri poimenovanju večjega števila ozvezdij na južni nebesni polobli je imel prav opat Nicolas-Louis De Lacaille.

Za vsebino tega prispevka pa je predvsem pomembno, da je oblikoval **14 novih južnih ozvezdij** (v oklepaju navajamo trenutno slovensko poimenovanje): Antlia (Zračna črpalka), Caelum (Dletce), Circinus (Šestilo), Fornax (Peč),

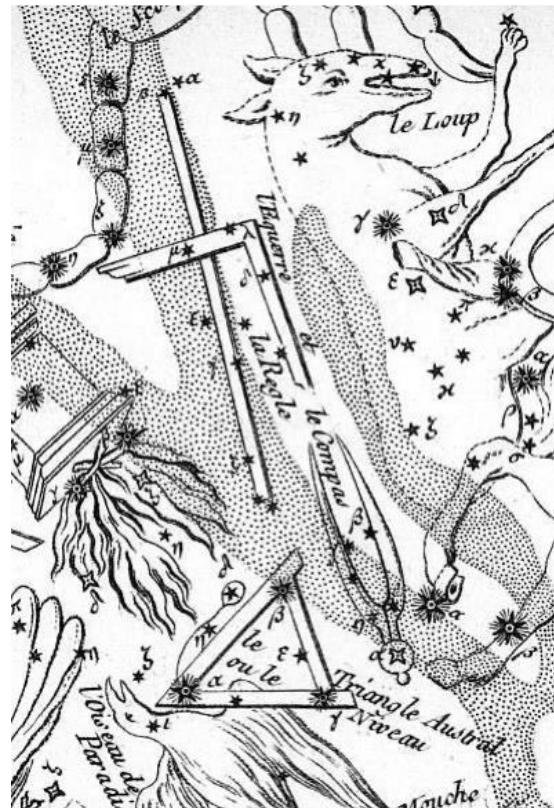
Horologium (Ura), Mensa (Mizasta gora), Microscopium (Mikroskop), Norma (Kotomer), Octans (Oktant), Pictor (Slikar), Pyxis (Kompas), Reticulum (Mreža), Sculptor (Kipar) in Telescopium (Teleskop). Ptolemajevo poimenovanje velikanskega ozvezdja (Ladja Argo) pa je spremenil in ga preimenoval, saj je ladjo razdelil na tri dele: Carina (Gredelj), Vela (Jadro) in Puppis (Krma) [2]. Ukvarjal se je tudi z upodobitvijo in poimenovanjem ozvezdja Južni trikotnik. Avtorja se ukvarjava tudi z navtiko, zato sta izmed naštetih z vidika povezave z morjeplovstvom pomembni predvsem dve La Cailleovi ozvezdji, to sta: Circinus (**Šestilo**) in Norma (trenutno poimenovanje **Kotomer**).

Opozoriti velja na še eno podrobnost pri prevajanju izvirnega poimenovanja ozvezdij v francoščini v poimenovanja ozvezdij v drugih jezikih. Pri dveh ozvezdijih se lahko hitro zmedemo: prvo ozvezdje je »la Boussole« (angl. Pyxis, slov. **Kompas**) ter drugo ozvezdje »le Compas« (angl. Circinus, slov. **Šestilo**). Kot vidimo, francoskega »le Compas« ne smemo povezovati s slovenskim poimenovanjem Kompas za drugo ozvezdje.

#### DOMNEVA O NEPRAVILNEM POIMENOVANJU OZVEZDJA KOTOMER

Zaradi poznavanja osnovnih navtičnih pripomočkov, ki jih uporabljamo pri določanju položaja plovila in navigaciji, kakor sta kotnik in šestilo, smo takoj postali pozorni na slovensko poimenovanje omenjenih ozvezdij: Šestilo in Kotomer. Zmotila nas je beseda Kotomer. Glede na upodobitve ozvezdja na slikah bi bilo ustrežnejše **Kotnik**. Te pripomočke najdemo še v nekaterih drugih poklicih, kakor pri arhitektu, tesarju in kamnoseku.

Zanimivo je, da je eno izmed ozvezdij južnega neba, ki ga sicer ni poimenoval Lacaille, danes poimenovano Triangulum Australe (**Južni trikotnik**), na Lacailleovih risbah v francoščini pa je bilo zapisano poimenovanje »le Triangle Austral ou le Niveau« (Slika 2) [3]. Še opomba: svoje ime je na dokumentu avtor navedel kot **De La Caille**. Lacaille je namreč v letih 1751 in 1752 narisal in poimenoval nekatera južna ozvezdja. Leta 1756 je izdal »Planisphere«, kjer so razvidna izvirna poimenovanja v francoščini. Izpostaviti velja: »l'Equerre et la Regle« (lat. Norma et Regul, slov. prevod bi bil »**Kotnik in ravnilo**«), vendar je v priloženem zvezdnem katalogu poimenovanje že sam skrajšal na »l'Equerre« (lat. »Normae«, slov. »Kotnik«). V bližini sta še ozvezdji »Le Compas« (slov. »**Šestilo**«) in »Triangle Austral ou le Niveau« (slov. »**Južni trikotnik ali Libela**«).



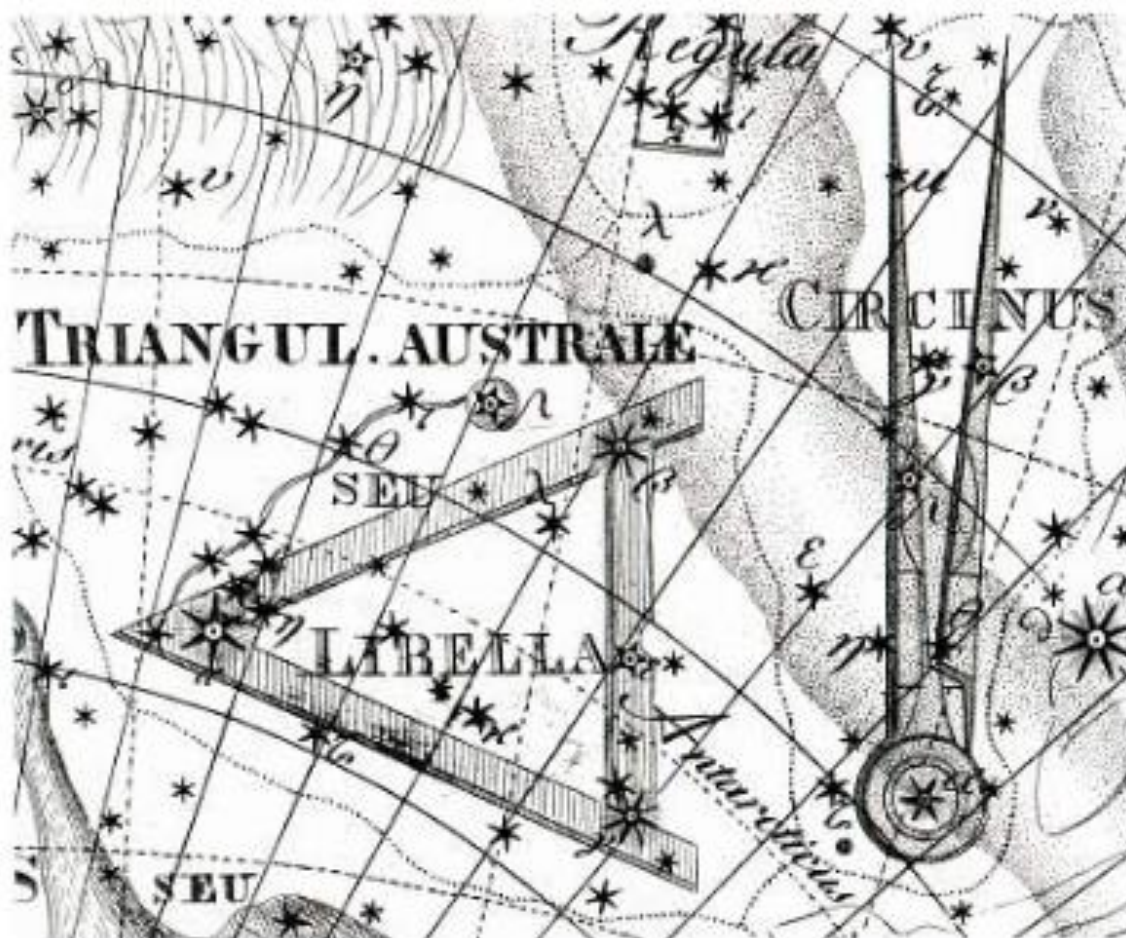
Slika 2: Izvirna poimenovanja ozvezdij v francoščini: »l'Equerre et la Regle«, »le Compas« in »le Triangle Austral ou le Niveau«, ki tvorijo celovit set orodij arhitekta/načrtovalca/risarja.

V opombah je sam pojasnil, da gre za orodje arhitekta (načrtovalca/risarja), tudi iz slik ozvezdij je razvidno, da gre za kotnik (pravi kot, ne pa poljuben kot) (Slika 3) [4].

DES SCIENCES. 589  
liés par un ruban. VI. Le Chevalet du Peintre, auquel est attachée une palette. VII. La Bouffole ou le Compas de mer. VIII. La Machine pneumatique avec son récipient, pour représenter la Physique expérimentale. IX. L'Octans ou le Quartier de réflexion, principal instrument des Navigateurs pour observer la hauteur du pôle, &c. X. Le Compas du Géomètre. XI. L'Equerre & la règle de l'Architecte: j'ai aussi dessiné le triangle austral en forme de niveau. XII. Le Telescope ou la grande lunette astronomique suspendue à un

Slika 3: V opombah ob izdaji Planisphere je Lacaille v istem odstavku omenil: arhitekta, Šestilo, Kotnik in Libelo.

Na nekaterih risbah v kasnejših izdajah drugih avtorjev (na primer v *Uranographia*, avtor **Johann Elert Bode**, 1801), je ozvezdje poimenovano »Triangul Australe eu Libella« (slov. »Južni trikotnik in Libela«) [5]. Tudi Libela je eden izmed pripomočkov v gradbeništvu in pri kamnosekih ter podobnih poklicih (Slika 4).



Slika 4: Poimenovanje ozvezdja »Triangul Australe eu Libella«, Johann Elert Bode, Uranographia, 1801.

V izdaji iz leta 1763, leto dni po smrti La Caillea, so bila njegova poimenovanja ozvezdij pri prevodu v latinščino vsebinsko spremenjena [6].

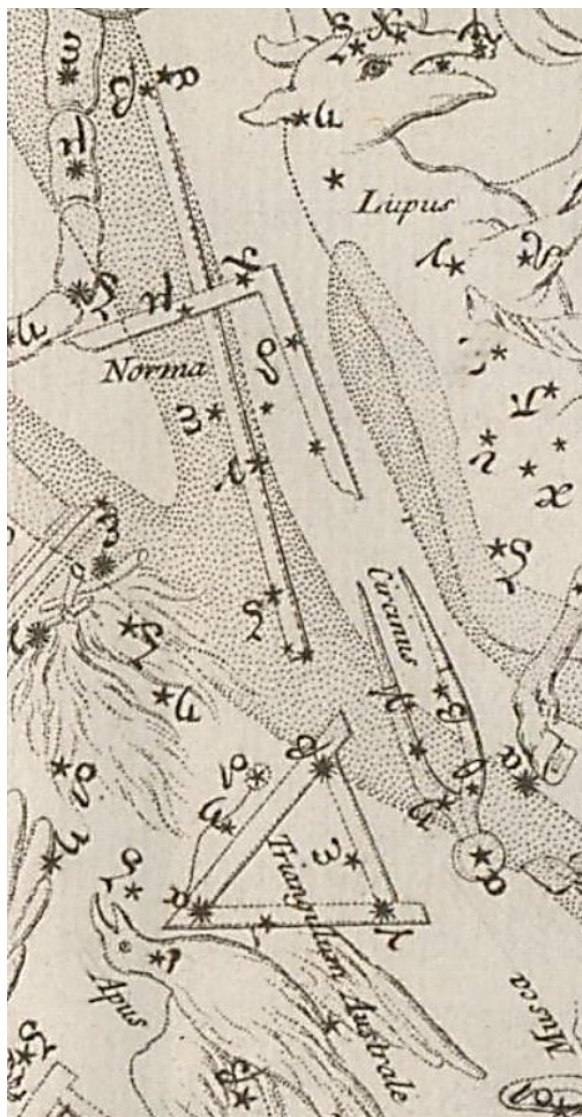
»Norma« (poimenovanje je bilo skrajšano, prvotno poimenovanje v fran. izvorniku je bilo »l'Equerre et la Regle«, lat. »Norma et Regul« / zdaj skrajšano »Norma«, angl. prevod »the set square and ruler«), »Circinus« (poimenovanje ostane enako kot v izvorniku iz leta 1756) in »Triangulum Australe« (poimenovanje je bilo skrajšano, prvotno poimenovanje v fran. izvorniku je bilo »le Triangle Austral ou le Niveau«, skrajšano lat. »Triangulum Australe«) (Slika 5).

#### **POBUDA ZA PREIMENOVANJE JUŽNEGA OZVEZDJA KOTOMER V KOTNIK**

Na podlagi pregledanih dokumentov, zlasti izvirnega poimenovanja ozvezdja »l'Equerre« ter upodobitev ozvezdja v najzgodnejših izdajah avtorja Lacaillea je mogoče ugotoviti, da je avtor v izvorniku

pri upodobitvi in poimenovanju ozvezdja, ki trenutno v slovenščini nosi ime Kotomer, imel v mislih kotnik. To je pripomoček za ugotavljanje in risanje pravih kotov, ne pa pripomoček, s katerim merimo ali rišemo poljubne kote, kar bi bilo mogoče razbrati iz besede kotomer. Pravilno poimenovanje tega ozvezdja v slovenščini bi bilo torej Kotnik, zato **podajamo pobudo za spremembo slovenskega poimenovanja ozvezdja.**

Pobudo utemeljujemo z naslednjim. Slovenija leži na severni polobli Zemlje, zato se z ozvezdji južnega neba redkeje srečujemo. Ozvezdje Kotomer je navedeno v maloštevilnih virih, zato argument, da bi preimenovanje ozvezdja bilo zahtevno, češ da bi to bistveno spreminjalo uveljavljeno prakso, ne vzdrži. Pomembneje je slediti izvorniku in poiskati vsebinsko najustreznejši prevod ter imeti tudi v slovenščini ustrezno poimenovanje za vseh 88 ozvezdij.



Slika 5: V izdaji iz leta 1963 so bila poimenovanja obravnavanih ozvezdij v latinščini spremenjena v »Norma« in »Triangulum Australe«.

#### SKLEP

Pri preučevanju upodobitev ozvezdij južnega neba smo naleteli na dve ozvezdji, ki sta na nebu blizu skupaj in ki jih kot pripomočke najdemo v različnih poklicih in pristožasnih dejavnostih, denimo v navtiki, s katero se oba avtorja tudi ukvarjata. To sta: Šestilo in Kotomer. Ko pa smo preučevali slovenski poimenovanji teh ozvezdij, pa smo naleteli na odstopanje. Šestilo je pravilno poimenovano in

prikazano. Drugo ozvezdje pa je upodobljeno kot kotnik, torej risarsko ali delovno orodje za risanje pravih kotov; poimenovano pa je Kotomer, kar pa ne ustreza upodobitvi. Ob nadaljnjem raziskovanju smo ugotovili, da je ti dve ozvezdji in še nekaj drugih poimenoval francoski raziskovalec Lacaille sredi 18. stoletja. Dejansko je imel, če izhajamo iz izvornih upodobitev in poimenovanj v francoščini, v mislih res kotnik, ne pa kotomer. Poleg Šestila in Kotomera je v njuni bližini še eno ozvezdje, in sicer Južni trikotnik. Tudi to ozvezdje je v izvorniku imelo v imenu dodano še besedo libela, ki pa se je sčasoma zaradi krajšanja in pri prevajanju izgubila. Avtor je v opombah ob izdaji dokumenta z upodobitvami in poimenovanji ozvezdij v istem odstavku omenil arhitekta, Šestilo, Kotnik in Libelo. Našteta orodja tudi sicer uporabljamo pri različnih dejavnostih ali poklicih; uporabljajo jih arhitekti, risarji, tesarji, kamnoseki in pomorščaki.

Avtorja ugotavlja, da imamo v slovenščini ozvezdje Kotomer napačno poimenovano. Pravilno poimenovanje bi bilo Kotnik. Pri prevajanju poimenovanja ozvezdij je potrebno izhajati iz primarnih virov, oziroma izvornika, ter upoštevati tudi upodobitve ozvezdij. Sprememba ni prav velika, zato bi jo bilo mogoče tudi lažje udejaniti. Tudi krajša slovenska oznaka za ozvezdje »Kotnik« bi ostala kot »Kot«, kot je že sedaj [2]. Bi pa bilo prav, da so poimenovanja ozvezdij tudi v slovenščini v čim večji meri zvesta izvorniku.

#### LITERATURA

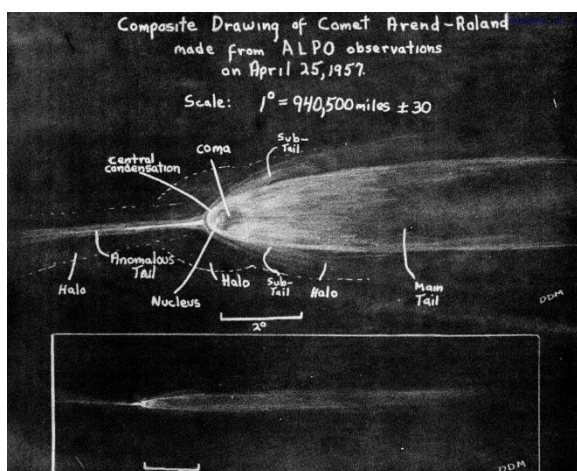
- [1] Astronomija - Wikipedija, prosta enciklopedija
- [2] Seznam ozvezdij - Wikipedija, prosta enciklopedija
- [3] Star Tales – Lacaille's planisphere
- [4] <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k35505/f787.item.zoom>
- [5] Star Tales – Triangulum Australe
- [6] <https://www.e-rara.ch/zut/content/zoom/197200?lang=en>

# SKRIVNOSTNA TELESA, KI SO NAM PRINESLA VODO

pom. akad. dr. Primož Kajdič

Oddelek za vesoljsko fiziko, Geofizikalni inštitut, UNAM

Ena največjih ugank glede nastanka Zemlje, s katero si znanstveniki danes belijo glave, je povezana z izvorom vode na našem planetu. Voda je namreč nepogrešljiva za obstoj praktično vseh živih organizmov, vendar še vedno ne vemo, od kod je prišla ta sestavina, ki danes polni jezera in oceane in se pretaka po strugah vseh potokov ter rek. Po nekaterih razlagah je bila voda prisotna že ob samem Zemljinem nastanku, vendar obstaja vse več indicev, da so jo k nam prinesla majhna nebesna telesa, ki jih še danes v Osončju mrgoli.



Slika 1: Risba kometa Arend-Roland. Vir: Miesel (1958).

Če se nekoliko razgledamo po Sončevi okolici, hitro naletimo na majhne kepe vodnega ledu, imenovane kometi, ki drvijo po medplanetarnem prostoru in ki bi nam lahko skozi milijarde let dostavili vso vodo, ki nas obdaja. Toda, dejstvo je, da se kometi le redko približajo Zemlji in še redkeje padejo na njeno površje. Asteroidi to počno pogosteje, vendar s sabo ne nosijo večjih količin te dragocene spojine. Ali pač? V zadnjih nekaj desetletjih se je slika o prebivalcih Osončja precej zapletla, in astronomi se zdaj poigravajo z idejo, da so vodo na Zemljo prinesla nepomembna, šele pred kratkim odkrita telesa, o katerih vemo zelo malo. Astronomi so jim naredili temu primerno ime – temni kometi.

Še do nedavnega smo imeli o prebivalcih Osončja dokaj preprosto sliko. Poleg planetov ter njihovih lun so okoli Sonca krožila še mnoga manjša telesa, imenovana asteroidi in kometi. Prvi so veliki kosi kamenja in/ali kovin, medtem ko komete sestavljajo različni tipi ledu (vodni, metanov, zamrznjen CO<sub>2</sub>, CO, amonijak, itd.) in prah. Ko astronomi ugotavljajo naravo nebesnih teles na posnetkih, se zanašajo na njihov videz. Asteroidi se na fotografijah neba pojavljajo kot manjše ali večje pike, medtem ko so

za komete značilni nežna koma ter dva podolgovata repa zaradi izparevanja kometnega ledu in prahu.

Naše razumevanje Osončja pa se je v zadnjih dvajsetih letih močno spremenilo. Najbolj razvpiti tak primer je Pluton. Do leta 2006 smo ga obravnavali kot planet, nato pa je Mednarodna astronomska zveza odločila, da Pluton ne izpolnjuje nekaterih pogojev, da bi ga obdržali v tej prestižni kategoriji. Astronomi so namreč določili nova merila, po katerih mora imeti planet dovolj veliko maso, da dobi pravilno (približno okroglo) obliko in da s svoje tirnice odstrani vsa preostala manjša telesa. Ker Pluton ne izpolnjuje slednjega pogoja, so ga uvrstili v kategorijo pritlikavi planeti. To odločitev so spodbudila odkritja drugih manjših teles s podobnimi tirnicami od leta 1992 dalje. Danes vemo, da je Pluton prvo odkrito telo Kuiperjevega pasu, ki se razteza na razdalji med 30 in 50 astronomskimi enotami in vsebuje množico manjših teles, kometov in asteroidov. Če seštejemo maso vseh teles v njem ugotovimo, da je le-te za med 20 in 200 krat več kot v glavnem asteroidnem pasu, ki se nahaja med Marsom in Jupitrom.



Slika 2: Kuiperjev pas in tirnice planetov v Osončju (NASA).

Že v sedemdesetih letih so astronomi posumili, da tudi razlika med kometi in asteroidi ni tako jasna, kot se je sprva zdelo. Opaženo je bilo, da imajo nekateri asteroidi, kot sta Apollo in Amor, tirnice, ki so zelo podobne tistim, po katerih potujejo »kratkoperiodični« kometi z obhodno dobo krajšo od 200 let. Sprva so predlagali, da ti tako imenovani asteroidi na kometnih orbitah ter nizko aktivni kometi, kot sta 28P/Neujmin in 49P/Arend-Rigaux, predstavljajo prehodno stopnjo med kometi in asteroidi. Kasnejše raziskave so pokazale, da gre bodisi za komete, ki so v trenutku odkritja bili v od Sonca oddaljenih odsekih svojih tirnic, kjer so temperature prenizke za izhlapevanje ledu, zaradi česar se koma in rep nista razvila, bodisi za umirajoče oziroma že umrle komete, ki so zaradi

številnih bližnjih srečanj s Soncem v preteklosti skoraj povsem izgubili svoj led, zaradi česar ne razvijejo kome in repov.

Obstajajo tudi aktivni asteroidi, ki so na posnetkih videti kot kometi, vendar potujejo po tirnicah, značilnih za asteroide. Nekateri izmed njih so v glavnem asteroidnem pasu, z njih pa izparevajo manjše količine ledu, ko se na svoji poti približajo Soncu, običajno vsakih 5 do 6 let. Dejstvo, da vsebujejo velike količine ledu, je presenetljivo, saj krožijo v relativno toplih predelih Osončja, kjer nakopičenega ledu ne bi pričakovali. Aktivni asteroidi so bili do nedavnega glavni kandidati za telesa, ki bi lahko prinesla vodo na Zemljo in druge skalnate planete.

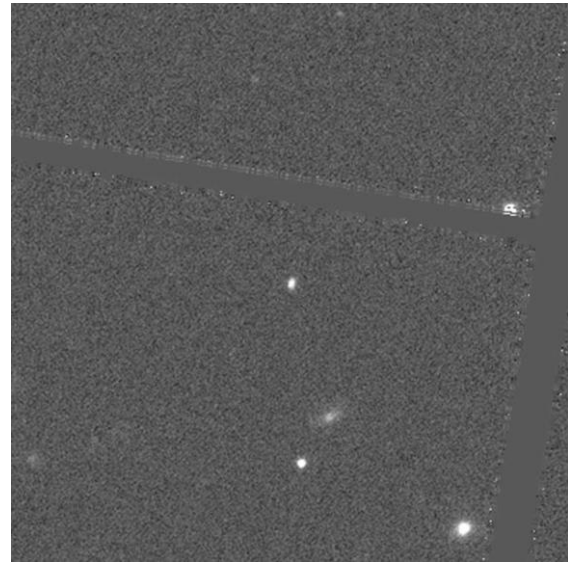
Leta 2010 so astronomi odkrili še eno kategorijo asteroidov, t. i. razpadle asteroide. Ti na fotografijah spominjajo na komete, saj okoli njihovih jeder je koma, ki pa jo večinoma sestavlja asteroidni prah. Prva odkrita primera sta bila P/2010 A2 (LINEAR) in (596) Scheila, oba v glavnem asteroidnem pasu. Razlogi za njihov razpad so trki z drugimi telesi ali hitro vrtenje okoli lastne osi, zaradi česar centrifugalna sila odnaša drobce z asteroidovega površja.

Zadnje znanstveno odkritje v tem kontekstu se je zgodilo leta 2023, ko se je v znanstveni reviji *The Planetary Science Journal* pojavil članek s pomenljivim naslovom: »(523599) 2003 RM: Asteroid, ki je hotel biti komet«. V njem skupina ameriških astronomov opisuje Zemlji bližnje nebesno telo, ki za svoj obhod okoli Sonca potrebuje približno pet let. Sprva se je zdelo, da je 2003 RM povsem običajen asteroid, vendar so natančne meritve njegovega položaja na nebu pokazale, da to telo ne sledi dobro poznanim zakonom nebesne mehanike. Njegova hitrost ter smer potovanja se namreč pogosto skokovito spremenita. Nadaljnje študije so pokazale, da so ti sunki posledica sublimacije ledu, ki je pod površjem asteroida. Ko ta led izpuhti, deluje kot droben raketni motor, ki malenkostno pospeši ta asteroid in mu spremeni tirnico. Ta in druga podobna telesa so znanstveniki uvrstili v novo kategorijo nebesnih teles, imenovanih temni kometi.

Večinoma so to manjša telesa s premerom do 100 metrov, ki se hitro vrtijo okoli svoje osi. Ocenjuje se, da temni kometi predstavljajo med 0,5 % in 60 % vseh Zemlji bližnjih teles, kar bi lahko pomenilo, da je v notranjem Osončju veliko več ledu, kot smo domnevali doslej. Najverjetneje so to bili v preteklosti večji objekti, ki so jih sestavljale ogromne količine ledu. Ko so se približali Soncu, je prišlo do sublimacije ledu, kar je povzročilo njihovo hitro vrtenje in razpad na manjša telesa.

Za razliko od »klasičnih« kometov, ki se večinoma Zemlji ne približajo preveč, pa tirnice temnih

kometov pogosto križajo Zemljino pot okoli Sonca, kar močno povečuje verjetnost za njihov padec na površje našega planeta. Tako so temni kometi idealni kandidati za dostavljavce vode na Zemljo.



Slika 3: (523599) 2003 RM na sredini. Vir: Farnocchia et al. (2023).

Znanstvena spoznanja o temnih kometih nam odpirajo nove poti v razumevanju izvora vode na Zemlji in širšem Osončju. Čeprav je še veliko neodgovorjenih vprašanj, ti skrivnostni objekti ponujajo prepričljivo razlago za to, kako je naš planet skozi milijone let pridobil vodo. Raziskave temnih kometov bo lahko ključnega pomena za odkrivanje skrivnosti o oblikovanju našega sveta in tudi zgodbe o nastanku in razvoju življenja v vesolju.

#### NADALJNJA ČTIVA ZA NAJBOLJ RADOVEDNE

- 1) Davide Farnocchia *et al* 2023, 523599) 2003 RM: The Asteroid that Wanted to be a Comet, *Planet. Sci. J.* **4** 29, DOI 10.3847/PSJ/acb25b, <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/PSJ/acb25b>
- 2) Aster G. Taylor *et al.*, 2024, The dynamical origins of the dark comets and a proposed evolutionary track, *Icarus*, Volume 420, 15 September 2024, 116207, <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2024.116207>.
- 3) Darryl Z. Seligman *et al.*, 2023, Dark Comets? Unexpectedly Large Nongravitational Accelerations on a Sample of Small Asteroids, *Planet. Sci. J.* **4** 35, <https://doi.org/10.3847/PSJ/acb697>.
- 4) Henry H. Hsieh, 2017, Asteroid–comet continuum objects in the solar system *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Vol. 375, No. 2097.
- 5) [Kuiper Belt: The Solar System's Frontier](#), NASA.
- 6) Meisel, D. D., 1958, Comet Arend-Roland (1956h), *The Strolling Astronomer*, Vol. 12, Issue 4-6, p.57-68.



# KMICA BO POSLUŠALA VESOLJE

pom. akad. dr. Mitja Slavinec<sup>1</sup> in pom. akad. dr. Rok Vogrinčič<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, <sup>2</sup>Lek d.d.

## RADIJSKA ASTRONOMIJA

Radijska astronomija je veja astronomije, ki se ukvarja z opazovanjem nebesnih teles in pojavov z uporabo radijskih valov. Za razliko od optične astronomije, ki uporablja vidno svetlobo, nam radijska astronomija omogoča, da vidimo vesolje na popolnoma drugačen način. Radijski valovi namreč prehajajo skozi oblake prahu in plina, ki v vidni svetlobi zakrivajo številne zanimive objekte. Tako lahko z radijskimi teleskopi opazujemo tudi tiste dele vesolja, ki so za optične teleskope nedostopni. Zgodba radijske astronomije se začne s **Karlom Janskyjem**. V poznih 20. letih prejšnjega stoletja je Jansky, ki je delal za Bell Telephone Laboratories, poskušal izslediti vir motenj v radijskih komunikacijah čez Atlantik. Med svojim raziskovanjem je odkril šumenje, ki se je ponavljalo vsakih 23 ur in 56 minut, točno v obdobju Zemljine rotacije. Po daljšem opazovanju je ugotovil, da vir tega šuma ni Zemlja, ampak prihaja iz središča naše galaksije, Rimske ceste. To naključno odkritje je bilo prelomnica, saj je dokazalo, da nebesna telesa oddajajo radijske valove in je odprlo novo poglavje v astronomiji.

Po Janskyjevem odkritju so se drugi znanstveniki začeli zanimati za radijsko astronomijo. Eden izmed najbolj znanih je bil **Grote Reber**, ki je zgradil prvi radijski teleskop na svojem dvorišču. Reber je sistematično preučeval nebo in ustvaril prve zemljevide radijskega neba.

Druga svetovna vojna je pospešila razvoj radarjev, kar je privedlo do izboljšanja tehnologije, ki se je uporabljala tudi v radijski astronomiji. Po vojni so bili zgrajeni številni veliki radijski teleskopi, ki so omogočili bolj podrobne študije vesolja.

## RADIJSKI TELESKOPI

Radijski teleskopi, ki jih imenujejo tudi velika ušesa vesolja, so velike antene, ki zbirajo radijske valove iz vesolja. Njihova oblika in velikost sta odvisni od valovnih dolžin, pri katerih želimo opazovati. Nekateri radijski teleskopi so parabolične antene, podobne velikim satelitskim antenam, drugi pa so sestavljeni iz več manjših anten, ki delujejo skupaj kot en sam velik teleskop.

Radijski teleskopi nam omogočajo, da opazujemo objekte, ki jih z optičnimi teleskopi v vidnem delu ne moremo. Taki primeri so npr. **opazovanje hladnih objektov** (radijski valovi razkrijejo hladnejše objekte v vesolju, kot so plinski oblaki, zvezde v nastajanju in oddaljene galaksije, **vidimo skozi prah** (radijski valovi lahko prodrejo skozi oblake prahu in plina, ki

zakrivajo vidno svetlobo, **odkrivamo nove objekte** (radijski teleskopi so nam omogočili odkrivanje številnih novih objektov v vesolju, kot so kvazarji, pulzarji in maserji), ali za **preučevanje vesolja v zgodnjih fazah njegovega razvoja**.

Kot zanimivost navedimo nekaj pomembnih mejnikov v zgodovini radijske astronomije.

**Odkritje kozmičnega mikrovalovnega ozadja:** **Arno Penzias** in **Robert Woodrow Wilson** sta leta 1965 odkrila kozmično mikrovalovno ozadje, šibko sevanje, ki je ostanek Velikega poka.

**Odkritje pulzarjev:** **Antony Hewish** in **Jocelyn Bell Burnell** sta leta 1967 odkrila prvi pulzar, hitro vrtečo se nevtronsko zvezdo, ki oddaja radijsko sevanje.

**Razvoj interferometrije:** Interferometrija je tehnika, ki združuje signale več radijskih teleskopov. Omogočila je doseganje izjemno visoke ločljivosti in podrobnih posnetkov nebesnih objektov.

**Slike prve črne luknje:** S pomočjo mreže radijskih teleskopov smo leta 2019 prvič posneli sliko sence supermasivne črne luknje v središču galaksije M87.

Danes je radijska astronomija dinamično in hitro razvijajoče se področje. Veliki radijski teleskopi, kot so na primer 500 metrski teleskop Tianyan (Kitajska), Very Large Array (VLA, Nova Mehika, ZDA), Atacama Large Millimetre Array (ALMA, Čile), Event Horizon Telescope (EHT, globalna mreža radijskih teleskopov), omogočajo znanstvenikom, da raziskujejo oddaljene galaksije, odkrivajo nove molekule v vesolju in proučujejo nastanek zvezd in planetov.

Radijska astronomija ima ključno vlogo pri odkrivanju in razumevanju številnih astrofizikalnih pojavov, od črnih lukenj do temne snovi. Prav tako nam pomaga pri iskanju zunajzemeljskega življenja.



Slika 1: Podnožje največjega radijskega teleskopa v Sloveniji.

### **RADIJSKI TELESKOP AD KMICA**

Radijski teleskop, ki ga je letos postavilo AD Kmica ima parabolično anteno s premerom 4 metre. Krmilita jo dva motorja moči 800 W, postavljena pa je v vasi Panovci na Goričkem. Teleskop bo namenjen merjenju prisotnosti vode v vesolju z opazovanjem signala molekule OH pri valovni dolžini 18 cm (1,67 GHz), ki nastane z razpadom molekule vode. Molekula OH je ena najpogostejših v vesolju in jo najdemo v različnih vesoljskih objektih, kot so molekularni oblaki, kjer nastajajo zvezde, ostanki supernov, oblaki okoli zvezd ob koncu njihovega življenja, v atmosferah velikih plinastih planetov (npr. Jupiter in Saturn) in kometih. Opazovanje emisije molekule OH razkriva ključne informacije o temperaturi, gostoti,

magnetnih poljih, hitrosti in oddaljenosti opazovanih območij, kar omogoča vpogled v razvoj življenja v vesolju ter izvor vode na Zemlji.

Pred AD Kmica je zdaj še veliko dela pred zagonom radijskega teleskopa, kateremu bo sledilo veliko zanimivih opazovanj in astronomskih rezultatov.

### **ZAKLJUČEK**

Radijska astronomija je zelo zanimiva veja znanosti, ki nam omogoča, da poslušamo in vidimo vesolje in odkrivamo njegove skrivnosti. Radijski teleskopi so naša okna v vesolje, ki nam omogočajo, da vidimo stvari, ki so bile nekoč nepredstavljive.

Več o radijski astronomiji pa si lahko preberete v naslednjem članku.



Slika 2: Radijski teleskop AD Kmica v Panovcih.

# KRATEK UVOD V RADIJSKO ASTRONOMIJO – PRVI DEL

pom. akad. dr. Rok Vogrinčič  
Lek d.d.

## ZAČETKI RADIJSKE ASTRONOMIJE

Prvo opazovanje izvenzemeljskih radijskih valov je leta 1933 izvedel **Karl Guthe Jansky** v Bellovih telefonskih laboratorijih v ZDA. Jansky je zgradil vrtljivo anteno, ki je delovala pri valovni dolžini 15 m, da bi preučeval smer prihoda atmosferskih motenj, ki povzročajo nezaželen radijski šum v komunikacijskih sprejemnikih. Do konca leta 1933 je ugotovil, da izvira sprejeti radijski šum iz treh virov: lokalnih neviht, kombiniranega sevanja oddaljenih neviht in izvenzemeljskega izvora v bližini središča Galaksije. Kasneje je dokazal, da radijsko sevanje prihaja iz vira, razpršenega po Rinski cesti, pri čemer je največja intenzivnost izvirala iz središča Galaksije. Jansky je prepoznal pomen svojega odkritja in predlagal gradnjo paraboličnega zrcala za nadaljnja opazovanja pri metrskih valovnih dolžinah.

Leta 1937 se je **Grote Reber** odločil nadaljevati Janskyevo odkritje, tako da je zgradil parabolični reflektor s premerom 9,5 m, glej Sliko 1. Svoj projekt je financiral sam.



Slika 1: Parabolični reflektor s premerom 9,5 m, ki ga je leta 1937 zgradil Grote Reber v Wheatonu, Illinois, ZDA.

Reber je začel opazovanja pri valovni dolžini 9 cm, saj je domneval, da bi pri krajših valovnih dolžinah dosegel boljšo ločljivost in če bi sevanje sledilo Planckovemu zakonu za črno telo, bi bila sprejeta moč višja. Ker mu ni uspelo zaznati izvenzemeljskega radijskega sevanja, je prešel na

daljšo valovno dolžino 1,9 m. Pri tej valovni dolžini je pridobil prve radijske zemljevide Rimske ceste. Glavni vrh merjene intenzitete radijske emisije je našel v smeri ozvezdja Strelec ter nekaj manjših vrhov merjene intenzitete v ozvezdjih Laboda in Kasiopeje. Domneval je, da sevanje izvira iz trkov med elektroni in protoni v ioniziranem medvezdnem vodiku. Tem dognanjem je sledila vrsta pomembnih odkritij. Leta 1942 je bila prvič detektirana **radijska emisija s Sonca**. Kasneje istega leta so bila opravljena prva uspešna opazovanja termične radijske emisije iz mirnega (neaktivnega) Sonca pri centimetrski valovni dolžini. Leta 1944 je **Hendrik Christoffel Van de Hulst** teoretično napovedal obstoj radijske emisije pri valovni dolžini 21 cm, ki prihaja iz nevtralnega atomskega vodika v vesolju. Ker je vodik glavna sestavina medvezdne snovi, so ugotovili, da bi opazovanja te emisije lahko imela velik pomen za astronomijo. Sedem let kasneje je bila napoved eksperimentalno dokazana. Najpomembnejši zgodnji teoretični napredek so dosegli **Alfvén, Herlofson in Shklovsky** z idejo o obstoju sinhrotronskega procesa, kot izvora najmočnejše kontinuirane radijske emisije, ki se pojavlja v različnih vrstah astronomskih izvorov. Leta 1946 so s pomočjo **radijske interferometrije** uspeli bistveno izboljšati ločljivost radijskih teleskopov. Ta tehnika uporablja **več anten** za snemanje radijskih izvorov, največja razdalja med njimi pa je tista, ki določa ločljivost sistema. Večja kot je razdalja (angl. baseline), višja je ločljivost sistema teleskopov. Pri velikih razdaljah (več sto do nekaj tisoč kilometrov) imenujemo tak sistem **“Interferometrija dolge bazne črte”** (angl. Very Large Baseline Interferometry, oziroma na kratko **VLBI**). Tehnika VLBI je bila prvotno razvita v 60. letih prejšnjega stoletja ter meri razliko v času prihoda radijskega signala na dva ali več radijskih teleskopov, ki istočasno opazujejo isti radijski izvor.

## RADIJSKO VALOVANJE

Radijsko valovanje je elektromagnetno valovanje z valovnimi dolžinami od milimetra do več metrov. Za njihovo zaznavo potrebujemo instrument, ki pretvori radijsko valovanje v izhodni signal, ki ga lahko slišimo ali vidimo. Valovna dolžina radijskega valovanja je običajno izražena v metrih, frekvenca pa v MHz (mega Hertz,  $1 \text{ Hz} = 1/\text{sekunda}$ ).

Radijsko valovanje je tesno povezano z gibanjem elektronov. Ko se gibanje elektrona spremeni, na primer, ko pospeši ali pojema, povzroči **motnjo v okoliškem električnem polju** in tako **ustvari elektromagnetno valovanje (EMV)**. Če elektron

oscilira (se premika naprej in nazaj) pri določeni frekvenci, bo oddajal radijsko valovanje z nihajočimi električnimi in magnetnimi polji pri tej frekvenci. Ta proces se zgodi v radijskem oddajniku, kjer se na anteno pritisne izmenična napetost. To povzroči, da se elektroni v anteni premikajo naprej in nazaj s frekvenco oddajnika, kar proizvajajo radijsko valovanje, ki se širi navzven. Obratno velja v primeru radijskega sprejemnika, kjer vpadno radijsko valovanje s svojo komponento električnega polja povzroči gibanje elektronov v sprejemni anteni, to pa inducira električni tok, ki niha s frekvenco vpadnega radijskega valovanja.

## PROCESI NASTANKA RADIJSKEGA VALOVANJA

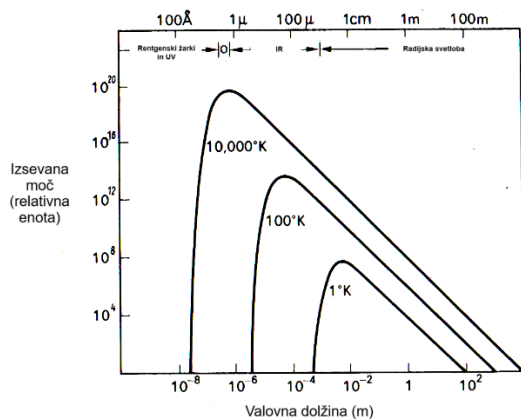
### Termično radijsko sevanje trdnin

Gibanje električnih nabojev povzroči naravno termično sevanje trdnin. To sevanje je lahko zelo šibko, vendar se pojavi v zelo širokem razponu valovnih dolžin, vključno z radijskimi valovnimi dolžinami. Če je objekt vroč, postane vidno sevanje očitno, saj objekt začne žareti, najprej rdeče, nato belo, ko se temperatura zviša. Intenziteto radijskega sevanja, ki jo lahko pričakujemo pri različnih valovnih dolžinah, to je spekter sevanja popolnega sevalca, je teoretično izpeljal **Max Planck** leta 1901. Odvisnost intenzitete sevanja od valovne dolžine je prikazana na Sliki 2.

Najvišja intenziteta za katerokoli dano temperature  $T$  se pojavi pri valovni dolžini  $\lambda$  določeni z Wienovim zakonom:

$$\lambda_m T = C,$$

kjer je  $C$  konstanta in znaša približno 0,29 cmK.



Slika 2: Spekter popolnega sevalca. Od leve proti desni si sledijo: rentgenski žarki, ultravijolična svetloba (UV), vidna svetloba označena z O, infrardeča svetloba (IR) ter radijska svetloba. Navpična os prikazuje relativno izsevano moč, spodnja vodoravna os prikazuje valovno dolžino v enotah metrov, zgornja vodoravna os pa prikazuje tipično vrednost valovne dolžine za različne vrste svetlobe. Radijska svetloba se začne pri valovni dolžini milimetra in je navzgor neomejena.

Za dolge valovne dolžine je intenziteta podana z **Rayleigh-Jeansovim** zakonom, ki pravi, da je moč sevanja  $P$  popolnega sevalca pri absolutni temperaturi  $T$ :

$$P = \frac{k_B T}{\lambda^2},$$

kjer je  $k_B$  Boltzmannova konstanta in  $\lambda$  valovna dolžina izsevane svetlobe.

### Termično in netermično sevanje plina

Termično sevanje črnega telesa je elektromagnetno sevanje, ki ga oddaja snov izključno zaradi svoje temperature. To sevanje doseže vrh pri krajših valovnih dolžinah. Črno telo je idealen oddajnik in absorber, ki seva energijo v zveznem spektru, podobnega imajo na primer zvezde.

Poleg termičnega sevanja pa lahko nabite delec, kot je elektron, pospeši ali upočasni v električnem polju drugega nabitega delca, običajno iona. V ioniziranem plinu (tipično ioniziran zaradi UV ali rentgenskega sevanja, ki ga oddajajo vroče zvezde) so prisotni elektroni in ioni, ki se med seboj privlačijo ali odbijajo. Ko se elektron približa pozitivnemu ionu, nanj deluje privlačna električna sila. Elektron bo zaradi te sile spremenil svojo pot, kot je prikazano na Sliki 3. Sprememba gibanja (elektron se pospešeno giblje, saj njegov tir postane ukrivljen) ustvari radijsko valovanje (izseva se foton), katerega energija je enaka spremembi kinetične energije elektrona pri gibanju mimo v okolici iona. Sevanje, ki nastane na ta način, imenujemo zavorno sevanje in predstavlja obliko netermičnega sevanja.

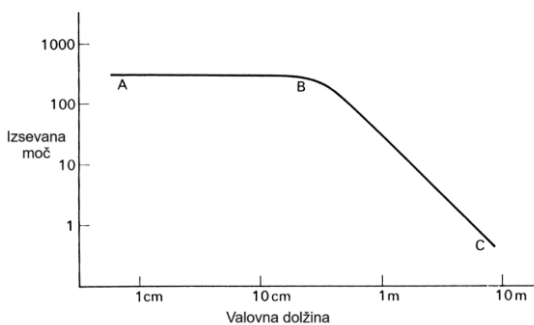


Slika 3: Pot gibajočega se elektrona, ki ga preusmeri pozitivni ion.

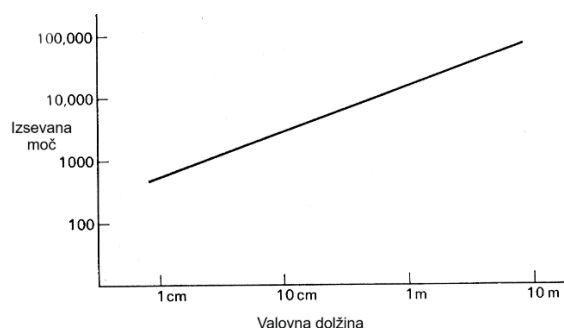
Spoznajmo še, kaj se zgodi z radijskim valovanjem, ko vstopi v ioniziran plin. Električno polje vpadnega radijskega valovanja pospeši elektrone in povzroči njihovo nihanje naprej in nazaj pri radijski frekvenci valovanja. Ko elektroni nihajo, tudi sami oddajajo valovanje pri isti radijski frekvenci. Sekundarno valovanje se združi z vpadnim valovanjem in rahlo spremeni njegovo pot. To spremembo smeri valovanja imenujemo lom ali refrakcija. Če je v ioniziranem plinu dovolj elektronov, je sekundarni val tako močan, da pride do popolnega odboja. Na ta način zgornji sloj Zemljine atmosfere, ki ga

imenujemo ionosfera, odbije radijsko valovanje nekaterih zemeljskih oddajnikov nazaj proti Zemlji. Pri določeni gostoti elektronov v plinu pride do popolnega odboja, ki nastopi takrat, ko frekvenca radijskega valovanja vzbudi naravno frekvenco nihanja elektronov. To imenujemo kritična oziroma plazemska frekvenca. Več elektronov pomeni višjo plazemsko frekvenco.

Radijsko valovanje se lahko v ioniziranem plinu tudi absorbira. Predpostavimo, da je frekvenca dovolj visoka, da lahko radijsko valovanje potuje skozi ioniziran plin. Elektroni v plinu nihajo zaradi interakcije z radijskim valovanjem. Če je številka gostota elektronov dovolj velika, le-ti ne morejo nihati prosto brez da bi prišlo do trkov z atomi in ioni plina. Zaradi pogostih trkov gibanje elektronov postane naključno, tako da se energija, ki so jo prejeli iz radijskega valovanja, spremeni v termično gibanje in posledično termično sevanje. Energija vpadnega radijskega valovanja je bila torej absorbirana in pretvorjena v toploto. Spekter termičnega radijskega sevanja ioniziranega plina pri določeni temperaturi je prikazan na Sliki 4.



Slika 4: Spekter termičnega radijskega sevanja ioniziranega plina. Del AB ustreza kratkim valovom, ko je plin polprozoren. Pri dolgih valovih plin postane neprozoren za radijsko valovanje. Spekter, ki ga določa Rayleigh-Jeansov zakon, je del BC grafa.



Slika 5: Tipičen spekter netermičnega sevanja. Vodoravna os kaže valovno dolžino valovanja, navpična os pa izsevano moč.

Spekter netermičnega sevanja lahko matematično opišemo s potenčno funkcijo. Izsevana moč je

proporcionalna  $\lambda^x$ , kjer je  $x$  spektralni indeks s povprečno vrednostjo okoli 0,6.

Dva glavna kriterija za presojanje, kdaj je radijsko sevanje netermično, sta izjemna intenziteta in oblika spektra. Izredno visoka vrednost temperature  $T_B$  v enačbi za spektralno svetlost  $P = \frac{kT_B}{\lambda^2}$  kaže na to, da je sevanje netermično. Primer takega spektra je prikazan na Sliki 5.

### Sinhrotronsko sevanje

Če elektron spremeni svojo smer zaradi vpliva magnetnega polja, bo le-ta seval. Sinhrotronsko sevanje nastaja v zelo širokem frekvenčnem pasu. V astronomskih izvoriš vidimo radijsko sevanje kombiniranega učinka velikega števila elektronov, z velikim razponom energij. Večino netermičnega radijskega sevanja lahko opišemo že pri nizkih magnetnih poljih, ki merijo le  $10^{-8} T - 10^{-9} T$ , tudi če so gostote elektronov majhne, vendar pod pogojem, da imajo ti visoko energijo. Potrebna energija elektrona za proizvodnjo opazovanega radijskega sevanja mora biti potem približno 1 GeV (giga elektronvolt).

### Spektralne črte atoma

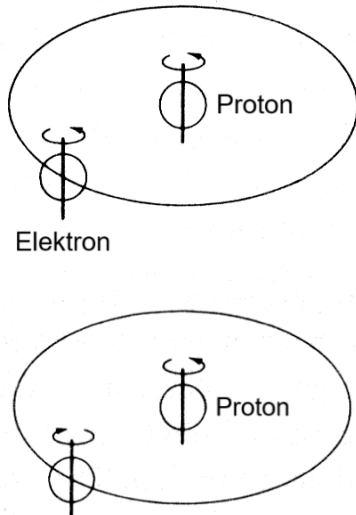
Ko atom absorbira energijo, preide v višje energijsko kvantno stanje. Da se lahko vrne v nižje energijsko kvantno stanje, mora oddati foton (delec svetlobe). Sprememba energije pri prehodu med takima kvantnima stanjema je enaka energiji izsevanega fotona, to je  $E = hf$ , kjer je  $h$  Planckova konstanta,  $f$  pa je frekvenca svetlobe. Če torej želimo najti radijske spektralne črte v astronomskih izvoriš, mora biti na voljo dovolj atomov ali molekul v ustreznih kvantnih stanjih, da lahko pride do prehodov, pri čemer je sprememba energije obratno sorazmerna z valovno dolžino fotona. Manjša kot je sprememba energije, daljša je valovna dolžina. To je znano kot Rydbergova formula:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_0^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

kjer je  $R$  Rydbergova konstanta,  $n_0$  in  $n$  pa sta energijski stanji. Možnost za ta prehod je razmeroma majhna. Da bi na primer nastalo radijsko valovanje pri 3,3 cm, se mora sprememba energije zgoditi med stanji  $n_0 = 90$  in  $n = 91$ . [3]

V nevtralnih atomih vodika (HI) pride do t.i. hiperfinih prehodov. Proton in elektron v njegovi okolici, se vrtita vsak okoli svojih osi, to količino imenujemo spin. Vrteča se delca delujeta kot majhna elektromagneta, saj gibajoči se naboj ustvari električni tok, ta pa povzroči nastanek magnetnega polja. Če sta spin protona in elektrona istosmerna, ima atom vodika nekoliko več energije

kot takrat, ko sta nasprotno usmerjena. Ko elektron v višjem energijskem stanju spremeni smer svojega spina, pride do hiperfinega prehoda in odda se sevanje (foton) z valovno dolžino približno 21 cm, glej Sliko 6.



Elektron obrne svoj spin in izseva se foton

Slika 6: Nastanek vodikove spektralne črte pri 21 cm valovne dolžine. Na levi sliki imata proton in elektron istosmerna spina, na desni pa je spin elektrona nasproten spinu protona.

Verjetnost naravnega prehoda iz višjega energijskega stanja je tako majhna, da je povprečna frekvenca, s katero atom vodika proizvede sevanje pri 21 cm, le 1 na 11 milijonov let. Kljub tej nizki verjetnosti prehoda je obseg medzvezdnega prostora tako ogromen, da je skupna količina sevanja zadostna, da jo lahko brez težav opazimo v naši Galaksiji. Radijska vodikova črta (emisija) nudi veliko informacij o galaktični strukturi. V tem območju ne obstaja nobena druga intenzivna radijska črta, ki bi motila opazovanje 21-centimetrskih črt. Druga posebnost opazovanja spektralnih črt je, da omogočajo določanje hitrosti z Dopplerjevimi premiki. Dopplerjev premik izrazimo kot relativno spremembo valovne dolžine  $\lambda$ :

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c},$$

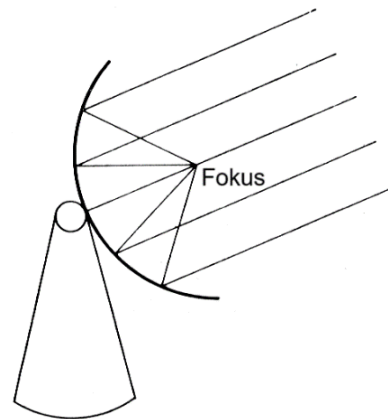
kjer je  $v$  hitrost radijskega izvora,  $c$  pa je hitrost svetlobe v vakuumu. Če se na primer medzvezdni oblak vodika giblje proti nam, postane valovna dolžina opazovane 21-centimetrskih črt nekoliko krajša, medtem ko se valovna dolžina poveča, če se oblak od nas oddaljuje. Tako lahko ugotovimo hitrosti medzvezdnih oblakov vodika, kar vodi do

pomembnega znanja o strukturi in spiralni rotaciji Galaksije. [4]

## RADIJSKI TELESKOPI

### Parabolični reflektorji

Parabolični reflektorji (zrcala) se uporabljajo za zbiranje radijskega valovanja in usmerjanje tega v fokus, od koder se prenesejo na sprejemnik preko sprejemne linije, glej Sliko 7.



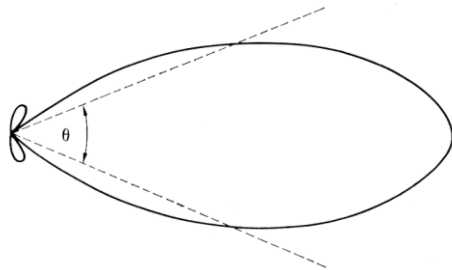
Slika 7: Radijski teleskop s paraboličnim reflektorjem. Vzporedni žarki (radijsko valovanje) iz vesolja se odbijejo s parabolične površine in se zberejo v gorišču.

Površina reflektorja radijskega teleskopa ne more biti stekleno zrcalo, kot smo ga vajeni pri optičnih teleskopih, ki delujejo v vidnem območju, temveč mora biti kovinsko. Površina je lahko kovinska mreža, če so luknje v mreži majhne v primerjavi z valovno dolžino vpadnega radijskega valovanja. Razlika med optičnim in radijskim teleskopom je v postavitvi gorišča. Radijsko valovanje se **zbira v kovinskem žarilcu** (angl. Feed) in se prenaša do radijskega sprejemnika po **valovodu** (angl. Waveguide). Za opazovanje nebesnih radijskih virov je zaželeno uporabiti teleskop z **ozkim glavnim snopom** ("vidno polje"), glej Sliko 8. Glavni snop sprejema največji signal, ko je usmerjen naravnost proti radijskemu izvoru. Če je usmerjen nekoliko stran od njega, še vedno prejme določen delež signala. Da bi ločili dva izvora, ki sta blizu skupaj, potrebujemo ozek snop, da zagotovimo dobro ločljivost. Obstajata dva dobra razloga, **zakaj želimo velik radijski teleskop**. Prvič, **večja površina zbere več svetlobe**. Drugič, **večji kot je radijski teleskop, ožji snop lahko ima** in je zato boljši pri ločevanju virov, ki so blizu skupaj. Širina snopa ali ločljivost radijskega teleskopa je podana kot:

$$\theta = \frac{\lambda}{D},$$

kjer je  $D$  premer parabole,  $\lambda$  pa je valovna dolžina vpadnega valovanja. Pri radijskem teleskopu je

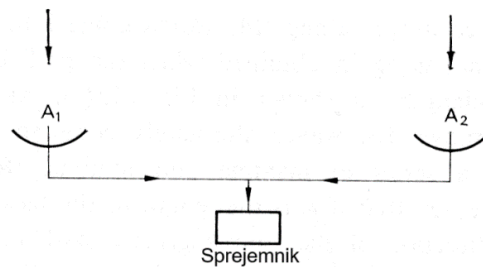
pomembno, da je oblika reflektorja (zrcala) kar se da **podobna paraboli**. Če površina odstopa več kot  $\lambda/16$ , pride do popačenja zaradi temperaturnih nihanj, vetra, deformacij zaradi neenakomerno porazdeljene teže, itd.



Slika 8: Smerni diagram antene (radijskega teleskopa). Diagram prikazuje, kako je občutljivost antene na sprejeto moč odvisna od smeri. Kot  $\theta$  med smerema, ki ustrežata polovici največje občutljivosti, se imenuje širina glavnega snopa in je na sliki označena s črtkanimi črtami.

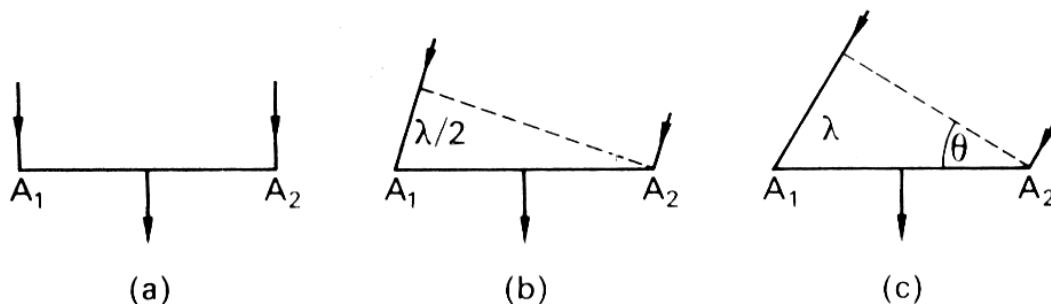
### Interferometer

Interferometer je sestavljen iz dveh ločenih anten, povezanih skupaj, kombinirani signal pa se nato prenese na sprejemnik, kot je prikazano na Sliki 9. Črta, ki povezuje obe anteni, se imenuje bazna linija (angl. Baseline). Da bi razumeli delovanje interferometra, si predstavljajmo, da opazujemo oddaljen radijski izvor in želimo videti, kako je signal na sprejemniku odvisen od smeri izvora.



Slika 9: Interferometer z dvema antenama ( $A_1$  in  $A_2$ ). Signala obeh anten združimo na sprejemniku.

Če je smer izvora pravokotna na bazno linijo interferometra, sta dva signala na dveh antenah v fazi in se zato seštevata, kot je prikazano na Sliki 10 (a). Kratko časovno obdobje pozneje bo izgledalo, kot da je izvor spremenil svojo smer glede na bazno linijo interferometra zaradi vrtenja Zemlje. Posledično signala na dveh antenah nista več v fazi. Ko je razlika poti enaka polovici valovne dolžine,  $\lambda/2$ , sta signala na dveh antenah popolnoma izven faze in se zato izničita, Slika 10 (b). Ko se izvor premika naprej, signali spet pridejo v fazo. Največji signal se ponovno doseže, ko je razlika poti enaka celi valovni dolžini,  $\lambda$ , Slika 10 (c). Če se izvor še naprej premika, signali izmenično prihajajo v in iz faze, kar daje serijo maksimumov in minimumov v interferenčnem vzorcu.

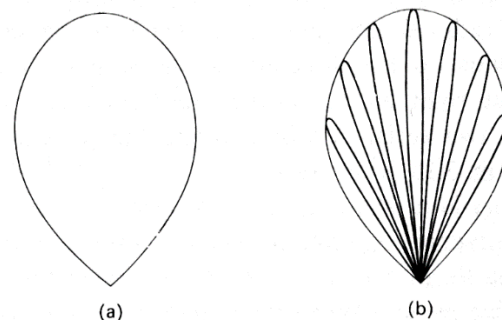


Slika 10: Kombinacija signalov na interferometru sestavljenemu iz dveh antenah,  $A_1$  in  $A_2$ . (a) in (c) Anteni sta v fazi (se seštevata), (b) anteni sta izven faze (se odštevata).

Če je  $L$  dolžina bazne linije, potem sprememba  $\theta$  v smeri izvora da razliko poti  $L\theta$ . Tako se signal spremeni od enega maksimuma do drugega, ko je

$$\theta = \frac{\lambda}{L} \text{ (rad),}$$

merjeno v enotah radianov (rad). Vzorec sprejema interferometra zato prehaja skozi serijo maksimumov in minimumov, širina vsakega režnja pa je enaka  $\theta$ . Posamezna antena ima širino snopa  $\lambda/D$ , kjer je  $D$  premer odprtine. Učinek povezovanja dveh anten v interferometer je razdelitev glavnega snopa ene antene na več režnjev (Slika 11.)



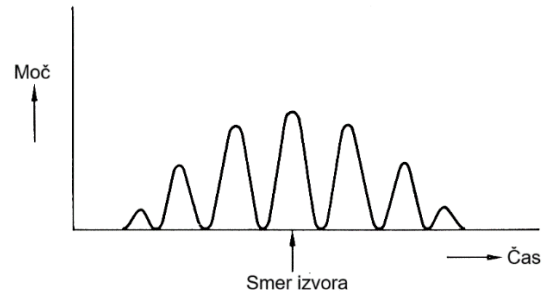
Slika 11: (a) Sevalni diagram ene antene, (b) sevalni diagram interferometra.

Ločljivost interferometra izhaja iz širine režnja. Ta je odvisna od razdalje  $L$  med antenama (če je ta velika, je širina majhna). Na izhodu kaže sprejemnik interferometra serijo maksimumov in minimumov merjene amplitude moči, glej Sliko 12. Ta diagram predstavlja merjeno moč na izhodu zaradi točkastega radijskega izvora, ko ta prečka vidno polje anten. Smer izvora lahko natančno določimo na podlagi oblike režnjev. Pri osrednjem maksimumu moči je izvor točno pod pravim kotom na bazno črto interferometra.

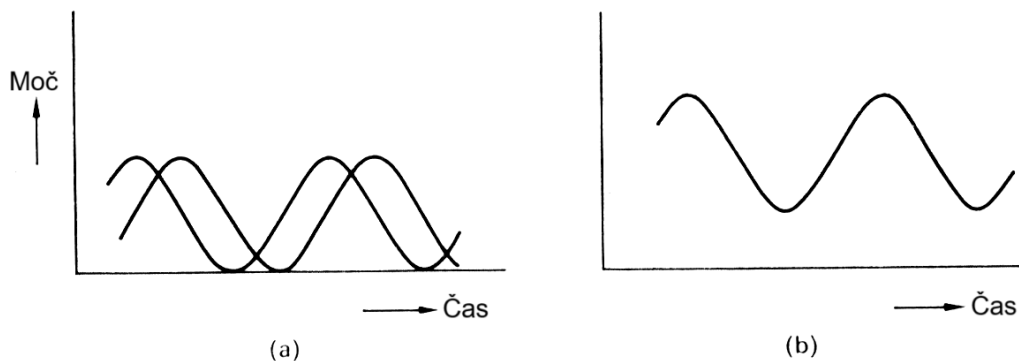
Interferometer lahko uporabimo tudi za merjenje kotne velikosti izvora. Če opazujemo točkasti izvor, minimum merjene moči pade na nič. Če pa izvor ni točkast (npr. Sonce), lahko posamezne dele izvora obravnavamo kot točkaste in izmerimo njihov kombinirani učinek, kot prikazuje Slika 13. Končni interferenčni vzorec zaradi tega ne kaže ničelnih minimumov moči. Razmerje

$$(P_{\max} - P_{\min}) / (P_{\max} + P_{\min})$$

se imenuje vidnost režnja (angl. Fringe Visibility). Njegova vrednost predstavlja kotno širino izvora.



Slika 12: Prejeta moč točkastega izvora. Vodoravna os predstavlja čas merjenja, navpična os pa merjeno moč izvora. Osrednji vrh moči nam pove smer proti izvoru.

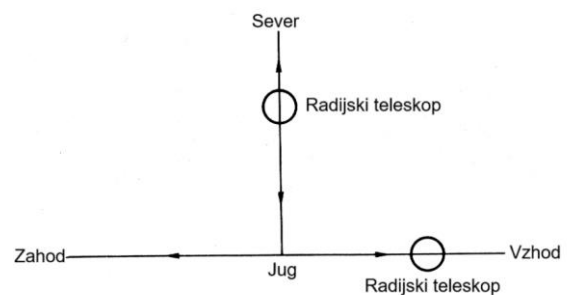


Slika 13: (a) Komponente prejete moči razsežnega (ne-točkastega) izvora. Vsaka krivulja je obravnavana kot točkasti izvor. (b) Končna moč razsežnega izvora.

### Spremenljivi interferometer

Več podrobnosti o strukturi radijskega izvora lahko pridobimo z merjenjem vidnosti režnja pri različnih razdaljah anten interferometra. Postopek vključuje Fourierjevo sintezo. Opazovanje izvora z interferometrom pri različnih dolžinah bazne črte je način iskanja sinusnega valovanja različnih amplitud in faz. Njihovo združevanje nam omogoča, da pridobimo strukturo izvora v enaki meri podrobnosti, kot če bi imeli eno anteno z enakimi dimenzijami odprtine, kot je največja razdalja med antenama v interferometru. Interferometer so sprva spreminjali le vzdolž ene bazne črte, kasneje pa se je izkazalo, da je **spremenljivi interferometer boljše metoda**. Primer takega je bil sistem **interferometra v obliki črke T**, kot je prikazano na Sliki 14. V tem sistemu je ena bazna črta običajno obrnjena tako, da poteka od vzhoda proti zahodu (meri rektascenzijo, R.A.), druga pa od severa do juga (meri deklinacijo, Dec.). Danes je zelo priljubljen sistem v **obliki črke Y**, tak je na primer interferometer Very Large Array (VLA).

S spreminjanjem bazne črte med antenami lahko preučujemo strukturo radijskega izvora.

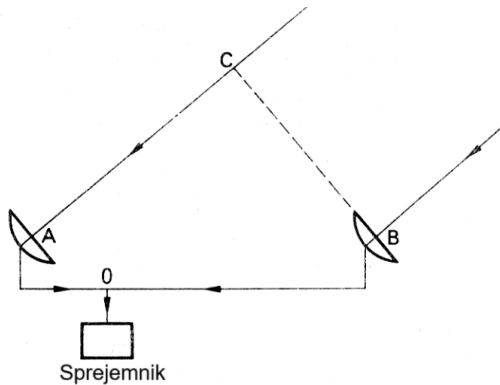


Slika 14: Interferometer s spreminljivo bazno črto. Vodoravna os poteka v smeri vzhod-zahod, navpična os pa v smeri sever-jug.

Predpostavimo, da opazujemo pod povsem drugim kotom, kot je na primer prikazano na Sliki 15. Takrat je učinkovita bazna črta BC. Bazno črto lahko učinkovito spreminjamo s pomočjo premičnih anten (na primer antene na tirnicah). Signal pri C doseže sprejemnik po poti CA + AO, medtem ko pri B potuje po BO. Da bi izenačili te dolžine poti, je treba dolžino



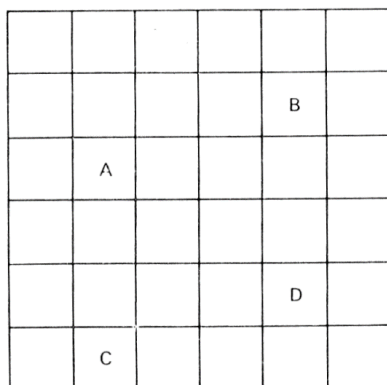
kabla do sprejemnika O ustrezno prilagoditi. V tem kontekstu je vredno omeniti, da radijski sprejemnik sprejema signale v območju frekvenc, osredotočenem okoli glavne frekvence. Posledično se hkrati sprejema niz nekoliko različnih frekvenc. Snopi interferometra se ujemajo, ko je skupna razlika poti do sprejemnika enaka nič. Če so poti različne, se snopi pri različnih frekvencah ne ujemajo več in postanejo manj ostri.



Slika 15: Efektivna bazna črta (BC) spremenljivega interferometra.

### Sinteza odprtine

Vzemimo veliko odprtino razdeljeno na mrežo, kot je prikazano na Sliki 16 in anteno (radijski teleskop) v velikosti enega polja mreže. Odprtino definirajo antene, ki so vključene v interferometer.



Slika 16: Sinteza odprtine s štirimi antenami A, B, C in D.

Če združimo signale, moramo dobiti enak rezultat kot za celotno veliko odprtino. Da bi jih združili, moramo vedeti, kako so antene med seboj povezane v fazi. Najboljši način vključevanja fazne povezave med sekcijami je pridobitev izhodnega signala iz dveh sekcij hkrati (na primer A-B in C-D). Ugotoviti moramo le, kakšne relativne lege se pojavijo v odprtini, opraviti opazovanja s pripadajočim interferometrom in nato združiti izhodne signale na pravilen način, da dobimo rezultat za celotno odprtino. Na splošno se vključuje vse relativne razdalje v odprtini. Združitev signalov

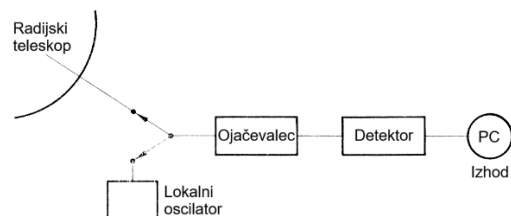
na pravilen način bo dala enako ločljivost, kot ena sama velika odprtina. Ker opazujemo z majhnimi antenami, je zbirna površina in občutljivost veliko manjša, kot bi bila, če bi imeli eno samo anteno v velikosti velike odprtine.

### **RADIJSKI SPREJEMNIK**

Radijski sprejemnik mora biti izjemno občutljiv in stabilen. Uporablja se za merjenje prejetega radijskega signala. Najpomembnejše zahteve za občutljiv sprejemnik so:

1. Radijski elementi ne smejo povzročati občutnega šuma.
2. Vhod mora imeti široko pasovno širino.
3. Izhod mora biti povprečen čez čim daljše obdobje. Temu pravimo integracijski čas.

Na Sliki 17 so prikazani bistveni koraki sistema za merjenje moči astronomskih izvorov. Radijsko valovanje, ki ga zbere radijski teleskop, se pripelje do gorišča in se preko valovnega vodnika prenese na predojačevalec. Ker radio-frekvenčni (RF) signal hitro oscilira, ga je treba pretvoriti v enosmerni tok, da se ustvari izhodni signal, ki ga je mogoče zabeležiti. Prejeto moč lahko izmerimo s primerjavo z referenčnim izvorom (lokalni oscilator). Signal gre skozi predojačevalec, ohlajen pod temperaturo okolice, da se zmanjša termični šum. Radijski sprejemnik za namene merjenja astronomskih izvorov je občutljiv, ker ima široko vhodno pasovno širino za radijske frekvence in dolgo časovno konstanto izhoda (povprečenje čez dolga obdobja).



Slika 17: Sistem radijskega sprejemnika za merjenje astronomskih izvorov.

### **LITERATURA**

1. HEY, J. S., 1971, The Radio Universe 2nd Edition, Pergamon Press Ltd.
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Grote\\_Reber](https://en.wikipedia.org/wiki/Grote_Reber) (Dostopano 19. 11. 2024)
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Rydberg\\_for\\_mula](https://en.wikipedia.org/wiki/Rydberg_for_mula) (Dostopano 19. 11. 2024)
4. SAJE, TADEJA, 2017, Radioteleskop za vodikovo črto 21cm [na spletu]. Magistrsko delo. (Dostopano 19. 11. 2024). Pridobljeno s: <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?lang=slv&id=88901>
5. [https://iso.fe.uni-lj.si/GNSS/gradiva/opis\\_merjenje\\_smernega\\_diagrama\\_antene.pdf](https://iso.fe.uni-lj.si/GNSS/gradiva/opis_merjenje_smernega_diagrama_antene.pdf) (Dostopano 19. 11. 2024)

## SKRITE PODROBNOSTI V MLADIH ZVEZDNIH SISTEMIH

*pom. akad. dr. Milan Svetec*

*Znanstveno in inovacijsko središče Pomurje in Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru*

Diski plina in prahu okoli mladih zvezd so gojišče, iz katerega nastajajo planetarni sistemi, kot je naše osončje. Mednarodna ekipa astronomov, ki je opazovala z vesoljskim teleskopom James Webb, je odkrila nove podrobnosti o plinskih tokovih, ki skozi čas oblikujejo te diske. Opazovana ugnezdena struktura teh tokov potrjuje dolgo časa privzet mehanizem, ki zvezdi omogoča rast z dotokom materiala iz diska.

Zelo pomembni rezultati raziskav so bili izvedeni na področju vetrov iz diska. Ti vetrovi so tokovi plina, ki pihajo v vesolje iz diska, ki tvori planet. Povzročajo jih predvsem magnetna polja in se lahko v samo sekundi razširijo več deset kilometrov. Drug pomemben proces, ki se zgodi v protoplanetarnem disku, je, ko zvezda kopiči material iz okoliškega diska.

Mlade zvezde rastejo s privlačenjem plina iz okoliškega diska, a da se to zgodi, mora plin najprej izgubiti nekaj odpornosti na spremembe hitrosti. V nasprotnem primeru bi plin nenehno krožil okoli zvezde in nikoli ne padel nanjo. Kako pride do te izgube vrtilne količine, je težko ugotoviti.

Da pride do akrecije, mora plin na poti čez disk izgubiti vrtilno količino. Vendar se astrofiziki trenutno ne morejo strinjati, kako točno se to zgodi. V zadnjih letih so se kot ključni akterji pojavili magnetno poganjani diskovni vetrovi, ki preusmerjajo plin stran od površine diska – in s tem vrtilno količino – ter omogočajo, da se preostali plin upočasni, premakne navznoter in na koncu pade na zvezdo. Ker tudi drugi procesi oblikujejo protoplanetarne diske, je ključnega pomena, da lahko razlikujemo med različnimi pojavi.

Medtem, ko magnetno polje zvezde potiska material na notranjem koncu diska v procesu, ki ga imenujejo X-vetrovi, navzven, material na robu diska, zaradi intenzivne zvezdne svetlobe, izginja in se pojavljajo tako imenovani termični vetrovi z bistveno nižjimi hitrostmi. Visoka občutljivost JWST (James Webb Space Telescope) je bila vzrok za idealno sposobnost sistema razločevati med vetrovi, ki so bili posledica magnetnih polj ter med termičnimi in X-vetrovi.

Odločilna razlika med magnetno gnanimi in X-vetrovi je ta, da se prvi nahajajo bolj na zunanjem delu diska in so razširjeni na dolgih razdaljah, vključno na območju notranjih kamnitih planetov našega sončnega sistema kot sta Zemlja in Mars. Ti vetrovi se razširjajo tudi dlje nad diskom kot termični vetrovi in dosežejo do stokratno razdaljo med Zemljo in Soncem.

Raziskovalci so našli sledove teh vetrov že v interferometričnih raziskavah pri valovnih dolžinah radijskih valov. Ta opazovanja pa na žalost ne morejo pokriti celotne strukture vetrov znotraj diskov, še manj pa jih natančno določiti. Posebno ugnezdena struktura različnih komponent vetrov, ki je razpoznavni znak diskovnih vetrov leži zunaj možnosti tovrstnih opazovanj. Opazovanja z JWST pa so te strukture nedvomno razkrila. Opazovana morfologija kaže značilnosti magnetno gnanih diskovnih vetrov.

Opazovanja nakazujejo na prve podrobne slike vetrov, ki zmanjšujejo vrtilno količino diska in s tem lahko rešimo dolgo obstoječ problem nastanka zvezd in planetarnih sistemov. Za raziskave so si raziskovalci izbrali štiri protoplanetarne diskaste sisteme, ki jih iz Zemlje opazujejo stransko. Glede na tak položaj bi lahko prah in plin delovala kot nekakšna »blenda«, ki bi del svetlobe centralnega zvezdnega sistema oslabila, saj bi bila svetloba drugače preveč bleščeča in vetrov ne bi mogli videti. Opazovanja JWST so razkrila zapleteno, tridimenzionalno strukturo osrednjega curka, vdelanega v stožčasto lupino vetrov, ki izvirajo iz vedno večjih razdalj v disku, podobno strukturi lupine čebule. Raziskovalci pravijo, da je bilo novo odkritje spoznanje, da obstaja centralna luknja v stožcih curkov, ki jo tvorijo molekularni vetrovi v vsakem od štirih diskov.

### **VIR:**

I. Pascucci et al.: The nested morphology of disk winds from young stars revealed by JWST/NIRSpec observations, *Nat. Astron.*, online 4. Oktober 2024; DOI: 10.1038/s41550-024-02385-7

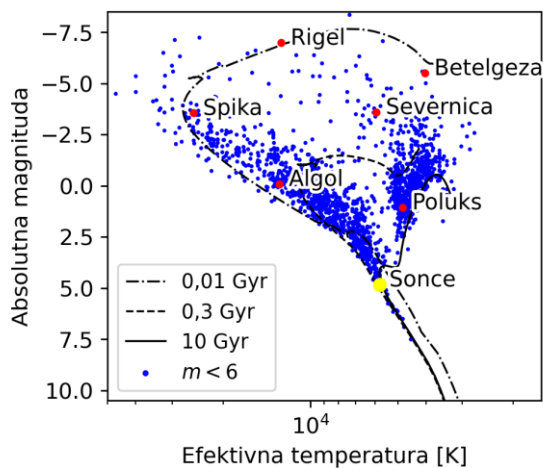
# HR DIAGRAM IN YERKESOVA SPEKTRALNA KLASIFIKACIJA ZVEZD

Darko Kolar

Center za astrofiziko in kozmologijo, Univerza v Novi Gorici

## UVOD

Hertzsprung-Russelov (HR) diagram je v astronomiji eden izmed pomembnejših grafičnih pripomočkov za preučevanje razvoja zvezd. V diagramu je na abscisni osi običajno prikazan indikator efektivne temperature zvezde, na ordinatni osi pa indikator izseva zvezde - ponavadi je to kar absolutna magnituda oz. magnituda, ki bi jo zvezda z navidezno magnitudo  $m$  imela, če bi se nahajala na oddaljenosti 10 pc [1]. Primer HR diagrama za vse s prostim očesom vidne zvezde ( $m < 6$ ) je prikazan na sliki 1.



Slika 1: HR diagram vseh s prostim očesom vidnih zvezd (modri krogci). Označenih je nekaj svetlejših zvezd in lega Sonca, s črnimi črtami pa so prikazane še teoretične izohrone - črte, ki označujejo lege zvezd z enako starostjo [2].

Velika večina zvezd v diagramu leži v bližini diagonale med levim zgornjim delom diagrama in desnim spodnjim delom. To so zvezde glavne veje. Ko zvezda zapusti glavno vejo, se njena ovojnica napihne, posledično pa se njena efektivna temperatura zmanjša, medtem ko se njen izsev zaradi večje površine poveča. V smislu HR diagrama ta sprememba pomeni premik proti zgornjemu desnemu kotu, pričakovano pa se tam tudi nahaja drugo najgosteje posejano območje, in sicer gre za orjakinje rdečega skupka, zvezde, ki v svojih jedrih zlivajo helij. Najsvetlejše/najmasivnejše zvezde

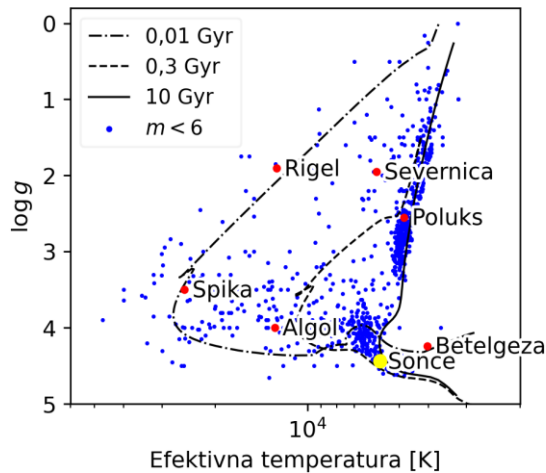
(orjakinje in nadorjakinje) se nahajajo blizu zgornjega roba diagrama, pod in nad območjem glavne veje pa obstajata še vmesni območji podorjakinj in podpritlikavk.

## HARVARDSKA SPEKTRALNA KLASIFIKACIJA ZVEZD

Osnovna harvardska spektralna klasifikacija (HSK) zvezde klasificira le na podlagi njihovih efektivnih temperatur in tako ne ločuje med zvezdami glavne veje in orjakinjami. Sistem temelji na absorpcijskih črtah, ki so v veliki meri občutljive le na efektivno temperaturo fotosfere. Primer takih črt so naprimer črte Balmerjeve serije vodika. Glavni razredi klasifikacije so označeni z velikimi črkami v zaporedju

O - B - A - F - G - K - M,

kjer O označuje najbolj vroči razred s temperaturami  $\sim 40000$  K, M pa najhladnejši razred s temperaturami  $\sim 3000$  K. Glavni razredi se naprej delijo na podrazrede, označene z arabskimi številkami od 0 (najbolj vroče zvezde razreda) do 9 (najhladnejše zvezde razreda) [1]. Fizikalne razlike med atmosferami teh zvezd, ki na koncu vplivajo tudi na samo obliko spektra, najboljše povzame parameter  $\log g$  (desetiški logaritem gravitacijskega pospeška na površju zvezde  $g = GM/R^2$  v enotah  $cgs$ ). Ker se pri razvoju zvezd iz glavne veje v orjakinje njihov radij poveča, masa pa ostane enaka, se posledično gravitacijski pospešek na površju zmanjša. Če izrišemo diagram, v katerem na ordinatno os nanesimo vrednosti gravitacijskega pospeška na površju, na absciso pa indikator temperature, dobimo tako imenovan Kielov diagram, slika 2.



Slika 2: Kielov diagram vseh s prostim očesom vidnih zvezd (modri krogi). Označenih je nekaj svetlejših zvezd in lega Sonca, s črnimi črtami pa so prikazane še teoretične izohrone - črte, ki označujejo lege zvezd z enako starostjo [2].

Tudi na Kielovem diagramu lahko prepoznamo glavno vejo in orjakinje rdečega skupka, vidimo pa še, da imajo zvezde glavne veje podobne vrednosti gravitacijskega pospeška na površju ( $\log g \sim 4,5$ ), medtem ko so orjakinje bistveno bolj razpršene po diagramu.

### YERKESOVA SPEKTRALNA KLASIFIKACIJA ZVEZD

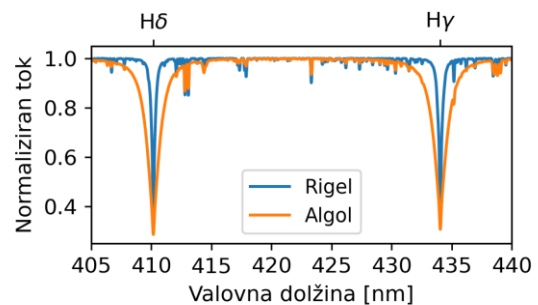
Odvisnost oblike spektra od izseva oziroma vrednosti gravitacijskega pospeška na površju si oglejmo na primeru zvezd Algol in Rigel. Zvezdi imata primerljivi efektivni temperaturi in tako po harvardski spektralni klasifikaciji (HSK) sodita v isti spektralni razred B8. Podobni sta si tudi po kemijski sestavi, razlikujeta pa se po izsevu/razvojni stopnji oziroma vrednosti gravitacijskega pospeška na površju, slika 2.

Primerjava absorpcijskih črt spektrov orjakinje (Rigel) in zvezde glavne veje (Algol) na sliki 3 pokaže, da so črte orjakinje ožje od črt zvezde glavne veje. Na razliko v širinah vpliva parameter gravitacijskega pospeška na površju, od njega pa sta na koncu

odvisna tudi tlak in gostota fotosfere. Slednja sta v primeru orjakinje manjša, zato je manjši tudi vpliv tlačne razširitve črt. Za polno Yerkesovo spektralno klasifikacijo zvezd osnovnemu spektralnemu razredu harvardske klasifikacije tako dodamo še izsevni razred, označen z rimsko številko. Ločimo šest razredov [1]:

- I so nadorjakinje,
- II so svetle orjakinje,
- III so orjakinje,
- IV so podorjakinje,
- V so zvezde glavne veje (pritlikavke) in
- VI so podpritlikavke.

Yerkesovi spektralni klasifikaciji zvezd Rigel in Algol sta tako B8I in B8V. Povesta nam, da sta to zvezdi s površinsko temperaturo v spektralnem razredu B in podrazredu 8, in da je Algol zvezda glavne veje, medtem ko je Rigel nadorjakinja.



Slika 3: Normalizirana spektra zvezd Rigel in Algol. Najmočnejši absorpcijski črti pripadata črtam H $\delta$  in H $\gamma$  Balmerjeve serije vodika.

### LITERATURA

- [1] H. Karttunen, P. Kröger, H. Oja, M. Poutanen in K. Donner, *Fundamental Astronomy* (Springer Berlin Heidelberg, 2007).
- [2] A. Bressan, P. Marigo, L. Girardi, B. Salasnich, C. Dal Cero, S. Rubele in A. Nanni, PARSEC: stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 427, 127 (2012).

## LOM SVETLOBE IN DOLŽINA DNEVA

pom. akad. dr. Eva Klemenčič<sup>1</sup> in pom. akad. dr. Mitja Slavinec<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru

### UVOD

Ko govorimo o »dolžini« dneva, imamo običajno v mislih čas svetlega obdobja, za katerim se začne obdobje temnega dela dneva ali noči. Prehod med obema je označen z mrakom, ko zunaj še ni popolnoma svetlo ali še ni popolnoma temno. Izmenjevanje obdobja svetlega in temnega dela dneva je rezultat vrtenja Zemlje okoli svoje osi, ki za en vrtljaj potrebuje približno 24 ur. Zaradi vrtenja Zemlje se Sonce navidezno premika po nebu, zato velikokrat pričetek dneva označujemo s sončnim vzhodom, pričetek noči pa s sončnim zahodom.

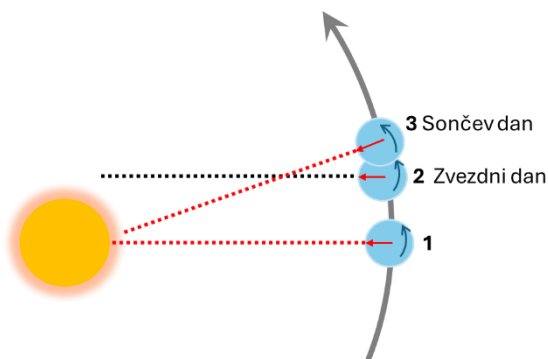
V nadaljevanju odgovorimo na vprašanja, zakaj imamo dneve, kako in zakaj se dolžina dneva spreminja in kako lahko lom svetlobe vpliva na našo zaznavo trajanja dneva.

### ZAKAJ IMAMO DNEVE?

Zemlja se vrtil okoli svoje osi in za en popoln obrat glede na oddaljene zvezde potrebuje približno 23 ur 56 minut in 4 sekunde. Ta čas imenujemo zvezdni dan. Ker pa naša meritev in dožemanje dneva temelji na tem, koliko časa preteče, da Sonce ponovno doseže isti položaj na nebu, običajno govorimo o dnevu, ki traja 24 ur. Ta čas je sončev dan in je določen s časom enega obrata glede na Sonce [1].

Do razlike med zvezdnim in sončevim dnevom pride zaradi tega, ker se Zemlja med vrtenjem okoli svoje osi, giblje tudi po svoji orbiti okoli Sonca (slika 1). To pomeni, da se Zemlja med vrtenjem mora zasukati za dodatni kot, da Sonce ponovno doseže isti položaj na nebu. Dodaten zasuk in čas lahko tudi izračunamo. Ker Zemlja en krog okoli Sonca opravi v 365,25 dne, se v enem dnevu po orbiti premakne za  $\Delta\theta = 360^\circ/365,25 = 0,986^\circ$ .

Posledično se Zemlja v sončevem dnevju zavrti za dodatno  $1^\circ$ . Če upoštevamo povprečno kotno hitrost vrtenja  $\omega = 15^\circ/\text{h}$ , za dodatni zasuk potrebuje okoli  $t = \Delta\theta/\omega = 4 \text{ min}$ .



Slika 1. Zvezdni dan je določen kot čas enega obrata Zemlje okoli svoje osi glede na oddaljene zvezde in se zgodi v 23 h 56 min 4 s. Pri tem se Zemlja premakne iz položaja 1 v položaj 2. Sončev dan je definiran na čas obrata, v katerem vidimo Sonce v enaki točki na nebu (položaj 3). Zemlja se zavrti za dodatno  $1^\circ$ , sončev dan je za približno 4 minute daljši.

### SE DOLŽINA DNEVA SPREMINJA?

Na dolžino zvezdnega dneva, ki je določen z enim obratom Zemlje okoli svoji osi, vpliva kotna hitrost vrtenja Zemlje. Zaradi gravitacijskih interakcij Zemlje z Luno in Soncem, se kotna hitrost vrtenja s časom spreminja; vrtenje Zemlje se postopoma upočasnjuje – za približno 1,7 milisekunde na stoletje. Dnevi v preteklosti so tako bili krajši. Na primer, pred približno 4,5 milijardami let, ko je Zemlja nastala, je trajal dan le približno 6 ur. Na hitrost vrtenja dodatno vpliva tudi oddaljevanje Lune, ki se vsako leto oddalji za približno 3,8 cm [2]. Zemlja se giblje okrog Sonca po eliptični orbiti, kar povzroča spreminjanje hitrosti njenega gibanja. Posledično so sončevi dnevi v različnih letnih časih nekoliko daljši ali krajši. Prav tako ni konstanta oblika Zemljine orbite. Ekscentričnost orbite se zaradi gravitacijskega vpliva Jupitra in Saturna spreminja v ciklu, ki traja približno 100.000 let. Trenutno se ekscentričnost Zemljine orbite zelo počasi zmanjšuje in približuje najbolj krožni orbiti v ciklu [3].

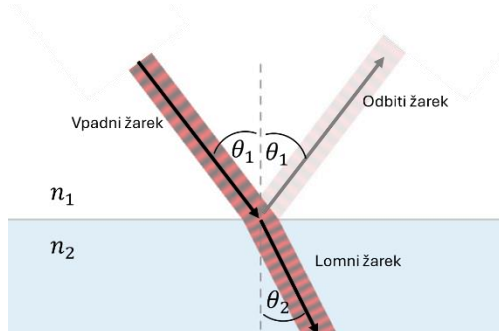
Nagnjenost Zemljine osi nima vpliva na dolžino dneva kot časa enega obrata, vpliva pa na trajanje svetlega dela dneva. Ker je Zemljina os glede na ravnino orbite okrog Sonca nagnjena za približno  $23,4^\circ$ , imajo kraji na različni geografski širini različno obdobje svetlega dela dneva. Prav tako se dolžina svetlega dela dneva razlikuje med letnimi časi.

### KAKO LOM SVETLOBE »PODALJŠA DAN«?

Lom svetlobe (refrakcija) vpliva na zaznavanje sončevega vzhoda in zahoda in podaljša trajanje dneva za nekaj minut.

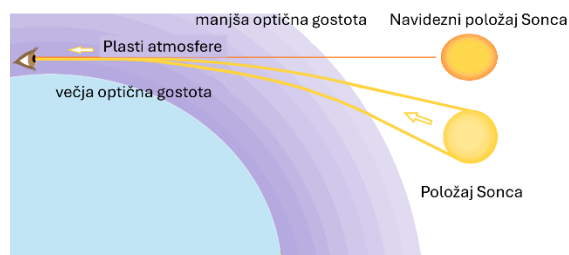
Ponovimo fizikalne osnove za razumevanje loma. Svetloba je elektromagnetno valovanje in se po vakuumu razširja s svetlobno hitrostjo  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Svetlobo iz oddaljenega vira obravnavamo kot ravno valovanje in ga prikazemo z valovnimi frontami ali žarki. Pri prehodu svetlobe med mediji z različno optično gostoto se hitrost razširjanja svetlobe spremeni. Razmerje med hitrostjo svetlobe v vakuumu in hitrostjo svetlobe v določenem mediju ( $v$ ) določa lomni količnik medija:  $n = c/v$ . Večji kot je lomni količnik, manjša je

hitrost svetlobe v mediju. Sprememba hitrosti svetlobe vodi v spremembo smeri razširjanja, kar opišemo kot lom. Ko svetloba vstopi v optično gostejši medij (z višjim lomnim količnikom), se zaradi upočasnitve valovne fronte lomijo proti vpadni pravokotnici (slika 2). Ko prehaja nazaj v redkejši medij, se žarek zlomi stran od pravokotnice. Ta pojav matematično opišemo z lomnim zakonom:  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ , kjer sta  $n_1$  in  $n_2$  lomna količnika dveh medijev,  $\theta_1$  je vpadni kot,  $\theta_2$  pa lomni kot.



Slika 2. Lom svetlobe v optično gostejšo snov.

Svetloba do nas prihaja skozi plasti Zemljine atmosfere. Na lom svetlobe v atmosferi vpliva predvsem gostota, ki se spreminja z višino. Na gostoto pa vplivajo še zračni tlak, temperatura in vlažnost zraka, pri čemer toplejši in vlažni zrak zmanjšata gostoto in s tem lomni količnik. Posledično imajo plasti Zemljine atmosfere različne lomne količnike. Svetlobni žarek tako sledi ukrivljeni poti, ki je rezultat zaporednih lomov na različnih plasteh (slika 3).



Slika 3. Zaporedni lomi svetlobe v atmosferi in navidezni položaj Sonca [4].

Lom svetlobe v atmosferi tako vpliva na našo zaznavo trajanja dneva. Učinek je še posebej izrazit tik ob obzorju. Lom svetlobe ukrivi pot svetlobe in ker naše oči oziroma možgani dojemajo, da svetloba do nas prihaja kot ravno valovanje (premočrtno), slednje povzroči, da Sonce vidimo nad obzorjem že pred njegovim dejanskim vzhodom. Podobno se zgodi ob sončnem zahodu, ko zaradi loma svetlobe žarki prihajajo do nas tudi takrat, ko je sonce že pod

obzorjem. in še nekaj minut po njegovem dejanskem zahodu.

Navidezni kotni premik Sonca, ki ga povzroči lom svetlobe v atmosferi, znaša približno 34 kotnih minut (34') za žarek tik nad obzorjem. Ta vrednost presega kotno velikost Sončevega diska, to je 32 kotnih minut (32'), zato Sonce vidimo, ko je to še/že pod obzorjem.

Če upoštevamo, da se Zemlja vrti okoli svoje osi s kotno hitrostjo  $\omega = 15^\circ/\text{h}$ , lahko iz navideznega kotnega premika  $\Delta\theta = 34'$  določimo čas podaljšanja svetlega dela dneva:

$$\Delta t = \frac{\Delta\theta'}{\omega} \approx 2,27 \text{ minut.}$$

Ker se podaljšanje zgodi tako ob sončnem vzhodu kot ob sončnem zahodu, imamo zaradi loma svetlobe svetel del dneva daljši za približno 4,5 minut.

## ZAKLJUČEK

Čeprav povsem vsakdanja enota za merjenje časa, se pri definiciji dneva srečamo z zanimivi pojavi. Pokazali smo, kako na zvezdni dan vpliva kotna hitrost vrtenja Zemlje okoli svoje osi, ki se počasi zmanjšuje, zato dnevi postajajo vse daljši. Na dolžino sončevega dneva, ki je 4 minute daljši, vpliva tudi oblika Zemljine orbite gibanja okrog Sonca, ki se s časom prav tako spreminja. V vsakdanjem pogovoru z izrazom »dan« večkrat mislimo svetel del dneva, na dolžino katerega vpliva tudi nagnjenost Zemljine osi. Dolžina svetlega dela dneva je tako rezultat vrtenja Zemlje okrog svoje osi, gibanja okrog Sonca, nagnjenosti osi in drugih pojavov, kot je lom svetlobe pri prehodu skozi Zemljino atmosfero, ki navidezno podaljša dan. Ob naslednjem vzhodu ali zahodu Sonca pomislite na to, da opazujete ne le zvezde na obzorju, ampak tudi rezultat igre fizikalnih zakonov, ki vam omogoča uživati v dnevu nekaj minut dlje.

## LITERATURA

[1] M. Prosen, Sončev in zvezdni čas, *Presek* 1(2), 23-24 (1973).

[2] Wells, S. (16. 6. 2024). *Have days on Earth always been 24 hours?* Live Science. Pridobljeno: <https://www.livescience.com/planet-earth/have-days-on-earth-always-been-24-hours>

[3] NASA. (n.d.). *NASA-funded studies explain how climate is changing Earth's rotation.* Pridobljeno: <https://www.nasa.gov/science-research/earth-science/nasa-funded-studies-explain-how-climate-is-changing-earths-rotation/>

[4] Joachim Herz Stiftung. (n.d.). Lichtbrechung in der Atmosphäre. LEIFphysik. Pridobljeno: <https://www.leifphysik.de/optik/lichtbrechung/ausblick/lichtbrechung-der-atmosphaere>

## GRAVITACIJSKO POSPEŠEVANJE VESOLJSKIH SOND

pom. akad. dr. Mitja Slavinec<sup>1</sup>, pom. akad. dr. Petra Cajnko<sup>1</sup>, pom. akad. dr. Eva Klemenčič<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko

### UVOD

Pri načrtovanju poti proti oddaljenim planetom ali drugim vesoljskim telesom praviloma vesoljskih sond ne usmerijo po najkrajši možni poti, ampak potujejo mimo planeta ali več planetov, kar jim poveča hitrost in spremeni smer gibanja. To imenujemo **gravitacijsko pospeševanje** [1] ali **gravitacijska asistenca planetov**. Oglejmo si kako in koliko gibanje mimo planeta lahko vesoljski sonde poveča hitrost in koliko energije lahko na ta način prihranimo.

### GRAVITACIJSKA ASISTENCA

Gravitacijsko asistenco, znano tudi kot "**gravitacijski zagon**", uporabljajo vesoljske sonde za povečanje svoje hitrosti ali spremembo smeri poti. Gre za postopek, pri katerem vesoljsko plovilo preleti mimo planeta in izkoristi gravitacijsko silo tega planeta za spremembo svoje hitrosti in smeri. Ta metoda omogoča sondam, da dosežejo bolj oddaljene cilje v našem sončnem sistemu z manjšo porabo goriva ali pri razpoložljivi količini goriva prej dosežejo cilj.

Ko se vesoljska sonda približa planetu, jo planetova težnost začne privlačiti in ji doda hitrost. Sonda na najbližji točki (periapsi) doseže največjo hitrost. Zaradi velike hitrosti pa sonda ne ostane ujeta v planetovi orbiti, temveč "odleti" proč, vendar z večjo hitrostjo, kot jo je imela pred srečanjem. Na tem mestu je pomebno poudariti, da gre za večjo hitrost glede na Sonce, hitrost glede na planet pa se ne spremeni.

Da se relativna hitrost glede na planet ne more spremeniti kaže tudi zakon o ohranitvi energije. Težnost planeta deluje kot "vdolbina", v katero se sonda spusti, pri tem pridobi hitrost, vendar ko se dvigne iz vdolbine na prejšnjo raven, se ji hitrost ravno toliko zmanjša, kot jo je prej pridobila. To velja za relativno hitrost sonde glede na planet. Ker pa se planet giblje po svoji tirnici, sonda pa je z gravitacijsko silo »pripeta« na planet, se ji hitrost poveča zaradi gibanja planeta in ima po preletu mimo planeta večjo hitrost, glede na Sonce (sončni sistem).

Če se vrnemo k prejšnji analogiji z vdolbino je zaradi gibanja planeta ta vdolbina na "tekočem pločniku", ki s hitrostjo planeta teče skozi vesolje. Ko se sonda približa planetu je tako, kot da bi »stopila« na premični pločnik in se ji hitrost poveča za hitrost pomičnega pločnika, tj. hitrost planeta po svoji tirnici okrog Sonca. Sondo proti planetu usmerijo v primerni smeri, da hitrost pridobi in se od planeta tudi odcepi v smeri proti želenemu cilju.

Zdaj tudi vidimo, od kod sonda dobi energijo za povečanje hitrosti. Koliko se je sonde kinetična energija povečala, točno toliko se je zmanjšala kinetična energija planeta. Ker pa je masa planeta ogromna v primerjavi z maso sonde, se planetu hitrost pri tem praktično nič ne zmanjša. Gre za prenos kinetične energije med planetom in sondo zaradi gibanja planeta okrog Sonca.

Med gravitacijsko asistenco se je sonde spremenila tudi smer, zato se je smer gibanja spremenila tudi planetu, vendar je enako kot pri spremembi hitrosti, tudi sprememba smeri planeta zaradi njegove ogromne mase v primerjavi s sondo povsem zanemarljiva.

Eden najznamenitejših primerov uporabe gravitacijske asistenc je bil pri misiji Voyager, kjer sta sonda Voyager 1 in Voyager 2 [2] uporabili več zaporednih gravitacijskih asistenc za prelet mimo Jupitra, Saturna, Urana in Neptuna. Ta tehnika je omogočila, da sta sonde v kratkem času dosegli izjemno velike razdalje.

Gravitacijska asistenca je nepogrešljiv pristop pri raziskovanju vesolja, saj omogoča učinkovitejša potovanja, prihrani gorivo in hkrati omogoča doseganje težko dostopnih ciljev v našem sončnem sistemu.

### HITROSTI PLANETOV IN SOND

Kot primer si oglejmo, kolikšne hitrosti sondam podelijo njihove nosilne rakete in jih primerjamo s hitrostmi planetov na njihovi poti okrog Sonca.

Telo z maso  $m$  je na površino Zemlje vezano z vezavno potencialno energijo, ki je enaka:

$$W_p = -G \frac{mM_z}{R_z}, \quad (1)$$

kjer je  $R_z$  polmer Zemlje.[3] Iz gornje enačbe lahko izračunamo, koliko energije je treba dovesti telesu z maso en kilogram, da odleti od Zemlje. Račun si poenostavimo, če ulomek razširimo s polmerom Zemlje:

$$W_p = -G \frac{mM_z}{R_z} = -mgR_z = -64 \text{ MJ}, \quad (2)$$

pri čemer je težni pospešek na površini Zemlje  $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ .

Če bi telo na površini Zemlje imelo tolikšno kinetično energijo, bi (brez zračnega upora) to ravno zadostovalo, da bi odletelo proč od Zemlje in se na veliki razdalji zaustavilo. To seveda za sonde ni uporabno, saj želimo, da sonda leti proč od Zemlje,

proti drugim planetom, zato ji je treba podeliti več energije. To energijo sondam zagotovijo bolj zmogljive rakete, kar dopolnijo še z gravitacijsko asistenco, kot smo videli v prejšnjem poglavju.

Povečanje hitrosti z gravitacijsko asistenco je odvisna od relativne hitrosti sonde in planeta. Oglejmo si hitrosti, s katerimi se okrog Sonca gibljejo planeti. Za Zemljo to lahko izračunamo, če se spomnimo, da je Zemlja od Sonca oddaljena eno astronomsko enoto to je  $1,5 \cdot 10^8$  km, za svojo pot okrog Sonca pa potrebuje 1 leto,[4] iz česar izračunamo, da se Zemlja okrog Sonca giblje s hitrostjo približno  $v_Z = 30 \text{ km s}^{-1}$ . Vidimo, da je to približno trikrat več od druge kozmične hitrosti.

Splošno lahko hitrosti planetov okrog Sonca izračunamo tako, da izenačimo gravitacijsko silo z radialno silo in dobimo:

$$G \frac{m_p M_S}{r_p^2} = \frac{m_p v^2}{r_p} \rightarrow v = \sqrt{\frac{GM_S}{r_p}}, \quad (3)$$

kjer je  $M_S$  masa Sonca,  $m_p$  masa planeta in  $r_p$  polmer po katerem se planet giblje okrog Sonca. Iz gornje enačbe vidimo, da se hitrost planetov z oddaljenostjo do Sonca zmanjšuje, tako da imajo bližnji planeti večji potencial za gravitacijsko asistenco. Gornjo enačbo nekoliko preuredimo, tako da bomo hitrosti primerjali s hitrostjo Zemlje  $v_Z$ :

$$\frac{v_p}{v_Z} = \sqrt{\frac{r_Z}{r_p}}. \quad (4)$$

Kot primer si oglejmo hitrost, s katero se okrog Sonca giblje Jupiter. Jupiter je od Sonca oddaljen približno 5,2 astronomskih enot, kar pomeni, da je njegova hitrost za koren iz 5,2 manjša od hitrosti Zemlje, tj. približno  $v_J = 13 \text{ km s}^{-1}$ .

### SONDE VOYAGER

Voyager 1 je bila pionirska misija, ki nam je odprla nova obzorja v raziskovanju vesolja. Sonda je prva, ki je zapustila Osončje in nam posredovala neposredne podatke o medzvezdnem prostoru. Čeprav je minilo že več kot 47 let od izstrelitve (1977), sonda še vedno deluje in pošilja podatke na Zemljo.[2] Njeni instrumenti merijo različne lastnosti medzvezdnega prostora, kot so gostota delcev, magnetno polje in sevanje. S temi podatki znanstveniki pridobivajo dragocene informacije o strukturi in sestavi vesolja zunaj našega Osončja. Trenutno je približno 166 astronomskih enot daleč in potuje s hitrostjo približno  $17 \text{ km s}^{-1}$ .

Sonda Voyager 2 je nekoliko bližje in počasnejša, saj je trenutno 138 astronomskih enot daleč in leti s hitrostjo malo več kot  $15 \text{ km s}^{-1}$ .

Zanimivo je vprašanje, zakaj je Voyager 1 imel dve gravitacijski asistenci (1979 mimo Jupitra in mimo Saturna), Voyager 2 pa kar 4 (1979 mimo Jupitra, 1981 mimo Saturna, 1981 mimo Urana in 1989 mimo Naptuna), kljub temu pa je zdaj počasnejši.

To je posledica različnih ciljev obeh sond in posledično njihovimi optimalnimi orbitalnimi potmi. Gravitacijska asistenca namreč vpliva tako na hitrost kot smer gibanja. Voyager 1 je bil usmerjen bolj proti zunanjim obrobjem Osončja, medtem ko je Voyager 2 vključeval obisk vseh štirih velikih plinskih planetov.

V času izstrelitve je bila geometrijska postavitev planetov takšna (ponovi se enkrat na 176 let), da je Voyager 2 lahko izkoristil gravitacijska polja vseh štirih velikih plinskih planetov (Jupiter, Saturn, Uran in Neptun) za dosego svojega cilja. Voyager 1 pa je zaradi drugačne začetne poti lahko izkoristil le gravitacijska polja Jupitra in Saturna.

Med prvo gravitacijsko asistenco je sonda Voyager 1 proti Jupitru letela približno s hitrostjo  $15 \text{ km s}^{-1}$  glede na Sonce. Gravitacijska asistenca ob Jupitru je nato povečala njeno hitrost na približno  $17 \text{ km s}^{-1}$  in sondo usmerila proti Saturnu.

### ZAKLJUČEK

Gravitacijska asistenca je ena najpomembnejših tehnik v vesoljski tehnologiji. Omogoča nam, da raziskujemo Osončje na način, ki bi bil brez nje nemogoč. Ob sondah Voyager so jo uporabili tudi pri misijah Galileo in Cassini, ko so izkoristili Venero, Zemljo in Jupiter, da sta sondi lahko dosegli Jupiter in njegove lune.

Sonda New Horizons je izkoristila gravitacijo Jupitra, da je lahko hitreje dosegla Pluton.

Sonda Rosetta je izkoristila gravitacijo Zemlje trikrat in Marsa enkrat, da je lahko dosegla komet 67P/Churyumov-Gerasimenko.

Korist ni le v večji hitrosti in spreminjanju smeri, ampak zaradi prihranka goriva vesoljska plovila lahko nosijo več znanstvenih instrumentov ali več goriva za manevre.

Pomembno pa se je zavedati, da gravitacijska asistenca izkorišča hitrost planeta mimo katerega leti, gravitacijska sila pa je le zato, da se v njegovi bližini poveže na gibajoči se planet in od njega prejme del kinetične energije.

### LITERATURA

[1] <https://portalvvesolje.si>

[2]

<https://science.nasa.gov/mission/voyager/where-are-voyager-1-and-voyager-2-now/>

[3] M. Slavinec, Če bi Zemlja bila črna luknja, Astronomi v kmici 21.

[4] M. Slavinec, Pregled sončnega sistema, Astronomi v kmici 24.



## UTRINKI Z MLADINSKEGA ASTRONOMSKEGA TABORA KMICA 2024

Ana Mištrafovič<sup>1</sup> in pom. akad. dr. Rok Vogrinčič<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

<sup>2</sup>Lek d.d.

Od ponedeljka, 1. julija, do petka, 5. julija, je potekal tradicionalni Mladinski astronomski tabor Kmica, ki ga je Zveza za tehnično kulturo Slovenije izvedla v sodelovanju z Astronomskim društvom Kmica iz Murske Sobote in osnovno šolo Gornji Petrovci. Tabora se je letos udeležilo kar **45 učencev** in dijakov iz cele Slovenije. Pod vodstvom 10-ih mentorjev; **pom. akad. dr. Rok Vogrinčič, Darko Kolar, Mario Pezer, Jurij Šumak, Mihael Čerpnjak, Nino Stanić, Ana Mištrafovič, Katja Šimenc, Tian Strmšek** in **Marcel Maier**, so se udeleženci bolje spoznali z astronomijo na teoretičnem in praktičnem nivoju.



Slika 1: Simulacija padca asteroida, ki ga je izvedla skupina Osnove astronomije.

Tabor se je začel z uradnim sprejemom in kratkim govorom vodje tabora Roka Vogrinčiča. Udeleženci so izvedeli kako bo teden potekal in bili povabljeni, da se razdelijo v skupine za tematske delavnice. Glede na zanimanje in nivo znanja so si izbrali eno od naslednjih skupin: **osnove astronomije, astrofotografija, astrofizika** in **radijska astronomija**. Vsaka skupina je imela svoje mentorje, ki so udeležencem predali znanje o posamezni temi. Prvi dan so se vsi udeleženci naučili sestaviti

teleskop Dobson in Newtonov reflektor. Zaradi slabega vremena pa niso mogli preizkusiti svojega znanja tudi zunaj pod nebom. Naš povprečen dan se je začel z zbujanjem okoli poldneva in nato kosilom ob 13h. Sledile so delavnice po tematskih skupinah. Med delavnicami je bil tudi odmor za igre, kjer so bili udeleženci razdeljeni v 9 tekmovalnih skupin. Zvečer po večerji smo imeli predavanje in nato čez noč opazovanja.

**Skupina osnove astronomije** je začela svoja predavanja na Zemlji. Spoznali so se z njenim gibanjem in posledicami tega gibanja. Nato so izvedeli več o Luni in kako na njej nastanejo kraterji. Pregledali so tudi vse pasove iz katerih je sestavljeno Osončje in kaj se v njih nahaja. Za konec pa so se spoznali tudi z začetkom vesolja in življenjem zvezd.



Slika 2: Rakete so pripravljene za vzlet.

Udeleženci v **skupini astrofotografija** so v prvih predavanjih izvedeli vso potrebno teorijo o opazovanju zvezd, delovanju teleskopov in kamer ter s kakšnimi težavami se lahko pri opazovanju/slikanju srečaš. Izvedeli so tudi katere programe se uporablja za snemanje s teleskopom in kako obdelati slike. Nato so si pripravili objekte za opazovanje in jih čez noč slikali s teleskopom GoChille.



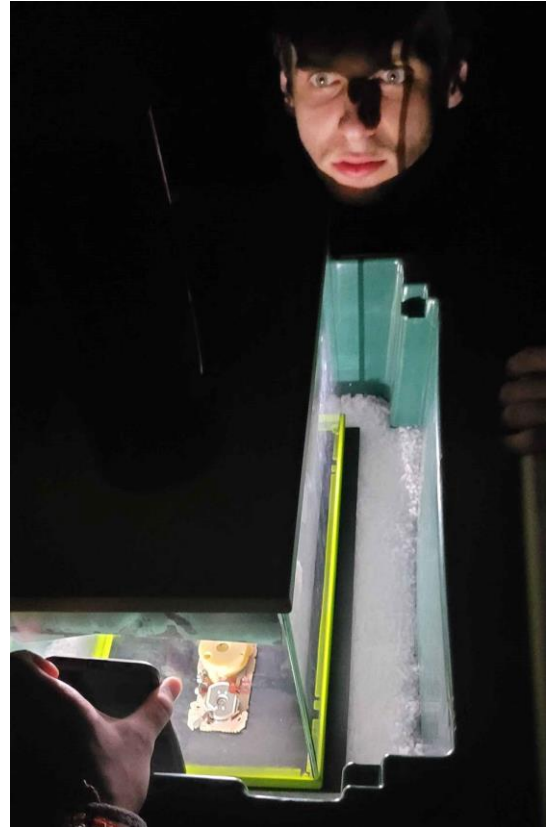
Slika 2: Luna posneta skozi teleskop.

V **skupini astrofizika** so se udeleženci spoznali z osnovami programiranja v Pythonu. Narisali so krivulje in grafe ter to znanje nato uporabili pri risanju spektra sevanja črnega telesa. Za konec so naredili animacijo kroženja Zemlje okoli Sonca.

Pri skupini **radijska astronomija** so začeli s predavanjem o elektro-magnetizmu in osnovah elektrotehnike. V učilnici so postavili zankasto anteno za merjenje blišče na Soncu. Nato pa so na travniku postavili še radijski teleskop (anteno) s katerim so lahko opazovali Jupiter in Sonce.



Slika 3: Izdelava zankaste antene za merjenje Sončevih blišče.



Slika 4: Mentor Darko Kolar s svojo meglično celico, v kateri lahko opazujemo delce ionizirajoče sevanje.

Nočna opazovanja so se seveda morala prilagajati vremenu. Samo tretjo noč smo lahko opazovali celo noč. Druge noči pa smo odšli na travnik, šele ko so se oblaki dovolj razpršili. S teleskopi smo ujeli Saturn, Jupiter ter Mars. Opazovali smo tudi veliko meglic in kopic zvezd. Skupina za astrofotografijo je zaradi slabega vremena raje slikala s teleskopom **GoChille**, ki se nahaja visoko v gorah, kjer je manj svetobne osnesnaženosti in veliko dobrih noči za opazovanje.

Naš dnevni ritem se je spremenil v četrtek, ko smo imeli izlet. Malo prej smo vstali ter se z avtobusom zapeljali do največjega radijskega teleskopa v Sloveniji. Vodja tega projekta je naš vodja tabora Rok Vogrinčič, ki nam je teleskop razkazal in razložil njegovo delovanje. Po tekmovanju v dešifriranju kode v Morsejevi abecedi smo se odpeljali v Mursko Soboto. Tam smo preizkusili svoje veščine v bowlanju. Sledilo je zaslužen kosilo v piceriji in za konec smo si ogledali še animirani film Vrvež v glavi 2. Ko smo prišli nazaj nam je Darko Kolar pripravil meglično celico v kateri smo lahko opazovali alfa delce. To je bil tudi del njegovega večernega predavanja, na katerem je teorijo združil s prakso. Poleg njega je imela **Katja Šimenc** prvi dan predavanje o Soncu. Drugi dan nam je **Mario Pezer** povedal vse o mitologiji. Zadnji dan pa je imel **pom. akad. dr. Renato Lukač** predavanje o optiki.



Slika 5: Slavnostno predavanje pom. akad. dr. Renata Lukača z naslovom Optika.

Med vsem učenjem smo se tudi sprostili z različnimi igrami. Udeleženci so med sabo tekmovali v

astroactivity-ju, iskanju skritih predmetov, metanju papirnatih letal, balinčkanju, pretakanju vode in še več.

Za konec so si naredili rakete iz plastenk in tekmovali v tem, katera raketa je najdlje časa letela. Nepozaben teden smo zaključili z uradnim govorom vodje Roka Vogrinčiča, predstavitvami projektov udeležencev in slavnostnim večernim predavanjem. Vsakemu udeležencu je predsednik astronomskega društva Kmica pom. akad. dr. Mitja Slavinec podelil tudi priznanje za udeležbo na taboru. Kakor hitro je prišel se je tudi končal ta tabor. Udeleženci so se veliko naučili in mentorji so ponosno zaključili še en tabor.



Slika 6: Slika nebesne meglice M 16. Avtor fotografije: Tian Strmšek.

# NOVA KNJIGA »ZBIRKA NALOG Z ASTRONOMSKIH TEKMOVANJ 2009-2024 – Teorija in rešene naloge za srednje šole«

pom. akad. dr. Renato Lukač  
Gimnazija Murska Sobota

## LITERATURA ZA ASTRONOMIJO V ŠOLSTVU

Lansko leto nas je razveselil sodoben učbenik *ASTRONOMIJA za gimnazije* [1, 2], ki dopolnjuje prejšnja dela, kot sta *Mala astronomija* [3] in *Astronomija* [4]. Letos pa je izšla nova knjiga *Zbirka nalog z astronomskih tekmovanj 2009–2024 – Teorija in rešene naloge za srednje šole* [5] avtorjev Andreja Guština, Dunje Fabjan, Vida Kavčiča in Simona Bukovška. Založba FMF je v zbirki Sigma izdala knjigo v 300 izvodih na 364 straneh. Knjiga ponuja več kot zgolj rešene naloge – je odličen vir tako za mentorje kot dijake, ki se pripravljajo na tekmovanja v znanju astronomije, še posebej zdaj, ko je tekmovanje za Dominkova priznanja tik pred vrati.

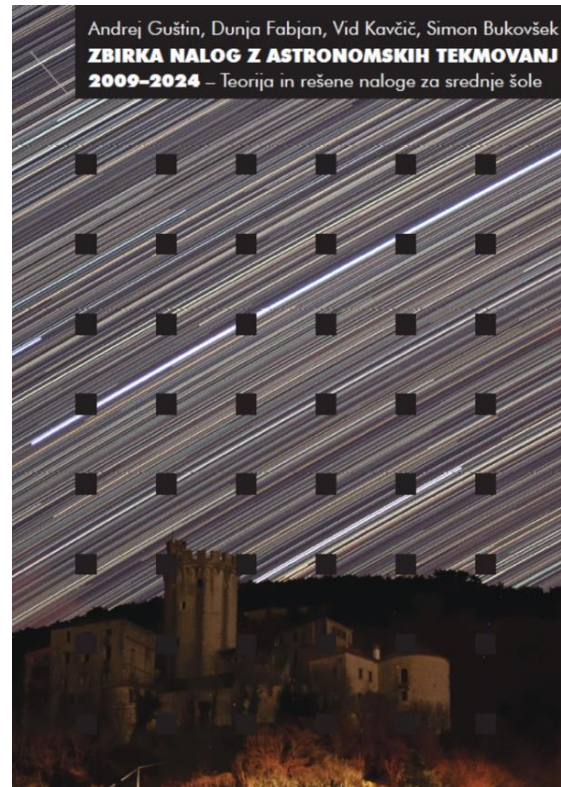
Marsikdo se lahko vpraša, zakaj izdajati knjigo z rešenimi nalogami, ko pa so številne naloge in rešitve dostopne na spletu brezplačno [6]. Vendar že bežen vpogled v knjigo pokaže, da gre za več kot le zbrano gradivo; knjiga vsebuje številne dodatne vsebine, ki bistveno nadgradijo dostopno gradivo in postanejo nepogrešljiv pripomoček za pripravo na tekmovanja.

## KAJ PONUJA NOVA KNJIGA?

Knjiga je sistematično urejena v dvanajst poglavij. Po kazalu in predgovoru so napotki za uporabo zbirke, navedene so konstante in povzetek enačb. Sledi dvanajst poglavij:

1. Osnove astronomije,
2. Nebesna mehanika,
3. Svetloba,
4. Zvezde in zvezdni sistemi,
5. Kozmologija,
6. Optika,
7. Vrtljiva zvezdna karta,
8. Koristne matematične zveze,
9. Obdelava podatkov,
10. Rešitve nalog,
11. Dodatni izzivi,
12. Galerija.

Jedro knjige je v prvih šestih poglavjih, ki vsebujejo teoretične vsebine, dopolnjene z nalogami, in desetem poglavju, kjer so predstavljene rešitve nalog. Teoretične vsebine so pregledno predstavljene, podprte z nazornimi skicami in dodatnimi pojasnili, zaradi česar so primerne tako za začetnike kot za tiste, ki želijo svoje znanje poglobiti. Vsako poglavje se deli na dve podpoglavji: teorija in naloge, teorija pa se vsebinsko po potrebi



Slika 1: Nova knjiga Zbirka nalog z astronomskih tekmovanj 2009-2024

členi še dalje. Količinsko je teorije znatno več kot nalog, kar zagotavlja nadgradnjo znanja bralcem z nekaj predznanja, za bolj obsežne študije pa je na koncu knjige navedenih še 12 knjig in en spletni vir. Preseneča dejstvo, da med knjigami ni lani izdanega učbenika za astronomijo [1]. Na koncu vsakega podpoglavja so navedene naloge, ki vsebinsko sovpadajo s predelano teorijo podpoglavja. Z zvezdico so izpostavljene težje naloge, najtežje pa so označene z bodalom. Naloge so zbrane na koncu poglavja. Pri vsaki nalogi so podani letnica in raven tekmovanja ter stran rešitve v knjigi, pri rešitvi vsake naloge pa je podana stran, kjer se nahaja naloga. To da slutiti, da bo knjiga morda v prihodnosti izdana tudi v spletni verziji. Tovrstne vzajemne povezave so koristne in olajšajo uporabo knjige. Naloge so iz B sklopa s šolskih in državnih tekmovanj ter z izbirnih tekmovanj (izbor za olimpijado).

Sedmo poglavje obravnava naloge, ki se nanašajo na uporabo vrtljive zvezdne karte, pri čemer so podani zgolj pravilni odgovori, medtem ko podrobne razlage najdemo na spletni strani DMFA [6]. Sedmo poglavje je zelo kratko in podaja naloge iz skopa B,

ki imajo na šolskih in državnih tekmovanjih oznako B1. Nanašajo se na uporabo vrtljive zvezdne karte. Nalog iz sklopa A s šolskih in državnih tekmovanj ni v knjigi.

Sledita še dve kratki poglavji o koristnih matematičnih zvezah (krog, krogla, trigonometrija, logaritmi, stožnice in računanje z malimi količinami) in o obdelavi podatkov (napake, računanje z napakami, grafi in Poissonova porazdelitev). Obe poglavji podajata samo najbolj nujna pojasnila in enačbe.

Deseto poglavje so rešitve nalog iz prvih šestih poglavij. Rešitve s šolskih in državnih tekmovanj so podobne tistim s spletne strani DMFA [6]. Po potrebi je dodano ali odstranjeno kako besedilo ali enačba, da je postopek reševanja bolj razumljiv, odstranjeni pa so komentarji glede točkovanja. Za najbolj zagnane bralce so posebej zanimive rešitve z izbirnih tekmovanj. Rešitve nalog B1, ki se navezujejo na uporabo zvezdne karte, so skromne, saj so podani samo pravilni odgovori. Na spletnih rešitvah nalog [6] je za tovrstne naloge za vsak odgovor podana tudi ustrezna razlaga.

Posebej velja omeniti enajsto poglavje, ki prinaša dodatne izzive s 14 nalogami s Srednjeevropske olimpijade iz astronomije in astrofizike ter s 16 nalogami z Mednarodne olimpijade iz astronomije in astrofizike (MOAA). Te naloge nimajo podanih rešitev, saj avtorji želijo spodbujati samostojno razmišljanje in reševanje zahtevnejših problemov. Dvanajsto poglavje pa ponuja galerijo fotografij slovenskih ekip z olimpijad iz obdobja od 2013 do 2024, ki odražajo kratko in bogato zgodovino

slovenskega sodelovanja na teh tekmovanjih. Knjiga se konča z zahvalo, literaturo in stvarnim kazalom.

### ZAKLJUČEK

Nova knjiga predstavlja nepogrešljiv pripomoček za pripravo na tekmovanja v znanju astronomije. V kombinaciji z učbenikom za gimnazije [1] omogoča kakovostno usvajanje in poglobljanje znanja ter uspešno pripravo na vse ravni tekmovanj. Nedvomno bo koristila tudi študentom astronomije na univerzitetnem nivoju. Toplo priporočam, da knjigo vzamete v roke in se prepričate o njeni kakovosti sami.

### LITERATURA

- [1] Rasto Snoj, ASTRONOMIJA za gimnazije, Osnove astronomije z rešenimi nalogami, ZOTKS, 2023
- [2] Renato Lukač, Novi učbenik ASTRONOMIJA za gimnazije, Astronomi v Kmici: Šestindvajsetič, 2023
- [3] Marijan Prosen, Mala astronomija, MATH, d. o. o., 1991
- [4] France Avsec in Marijan Prosen, Astronomija, DMFA-založništvo, 2006 (5. natis)
- [5] Andrej Guštin, Dunja Fabjan, Vid Kavčič in Simon Bukovšek, Zbirka nalog z astronomskih tekmovanj 2009-2024 – Teorija in rešene naloge za srednje šole, Založba FMF, Knjižnica Sigma, 2024
- [6] DMFA: Komisija za tekmovanje srednješolcev v znanju astronomije za Dominkova priznanja, Arhiv tekmovalnih nalog; dostopno na: <https://www.dmfa.si/Tekmovanje/As/ArhivNalog.a.spx> (24. 11. 2024)

## ASTRONOMSKI TABOR KMICA

Erik Lovenjak, udeleženec Astronomskega tabora Kmica 2024

Astronomski tabor Kmica je potekal od 1. do 6. julija 2024 na Osnovni šoli Gornji Petrovci. Na taboru smo veliko opazovali s teleskopom, čeprav smo imeli precejšnje težave z vremenom, saj nam je oblačno nebo preprečevalo, da bi lahko nebo opazovali vse noči. Ko so pogoji dopuščali, smo odšli opazovat na bližnji grič. Ker so bile noči v Prekmurju hladne, smo se dobro oblekli, pripravili daljnoglede in teleskope, jih postavili na griču ter se lotili opazovanja. Na taboru smo imeli zagotovljeno hrano, dejavnosti za sprostitev, ogledali smo si radijski teleskop, peljali so nas na bowling in ogledali smo si film Vrvež v moji glavi 2. Ključni del tabora so vsekakor predstavljale delavnice: osnove astronomije, astro fotografiranje, astrofizika in radijska astronomija. Na delavnici

astro fotografiranja, ki sem se je udeležil tudi sam, smo spoznavali različne kamere za fotografiranje, se učili o pogojih za fotografiranje, o vrstah posnetkov, o spletnih straneh, ki so potrebne za obdelavo fotografij ter o osnovah spektroskopije. Spektroskopija je veda, s katero pri astronomiji s pomočjo analize svetlobnega spektra, ki jo opazovani vesoljski objekti oddajo, odbijejo ali absorbirajo, dobimo podatke o objektu, kot na primer temperaturo in kemijsko sestavo objektov.

### SKUPINA ASTROFOTOGRAFIJA

Tian Strmšek iz Fakulteta za matematiko in fiziko v Ljubljani nas je vprašal: Ste si kdaj želeli sami

fotografirati stoletja staro svetlobo neizmerno velikih porodnišnic zvezd v naši galaksiji?

V skupini astrofotografija smo si tega srčno želeli, a bi zaradi slabega vremena pri željah skoraj tudi ostalo. Ob upanju na jasne noči smo na začetku tabora skupaj sestavili in preizkusili dva teleskopa – refraktorja in dobsona. V naslednjih dneh smo se poglobili v osnove fotografskih tehnik, spoznavali delovanje kamer in obdelali nekaj astrofotografij iz arhiva v manjših skupinah. Nestrpnost zaradi slabe vremenske napovedi smo se odločili poiskati pomoč pri projektu GoChile – slovenskem teleskopu v dvanajst tisoč kilometrov oddaljenem Čilu. Izbrane nebesne objekte smo si nagledali s programom Stellarium, ki nam je prinesel čilsko nebo kar v Slovenijo. Po deseturnem opazovanju z oddaljenim dostopom do teleskopa, ki je potekalo med eno ponoči in enajsto dopoldne – torej v času čilske noči – smo uspeli posneti par sto kristalno čistih fotografij šestih različnih nebesnih objektov. V zadnjih dneh smo te slike obdelali in jih predstavili drugim skupinam ter staršem.

#### **FOTOGRAFIRANJE NEBESNIH TELES**

Kadar se odpravimo opazovat nebesna telesa, kot na primer meglice, zvezde, planete, zvezdne kopice ali kaj drugega, in se odločimo to telo slikati, moramo biti pozorni na magnitudo oziroma svetlost telesa, na velikost telesa in na to, kako visoko nad obzorjem se nahaja telo ter koliko časa je nad obzorjem. Če teh faktorjev ne upoštevamo, bo slika nejasna oziroma se objekta na sliki ne bo videlo. Ko slikamo, izbiramo med različnimi filtri, posnamemo pa tudi kalibracijske posnetke, ki so bistveni za odstranjevanje senzorskega šuma, neenakomerne osvetlitve in drugih artefaktov, kar na koncu izboljša kvaliteto končnih fotografij. Ko smo na naših fotografijah uporabili vsa ta orodja, so fotografije res bile veliko kakovostnejše, zato smo temu segmentu namenili toliko več pozornosti in udeležencem zagotovili učinkovito izkušnjo na tem področju. Tipi posnetkov so: *light* oziroma navadne fotografije (fotografije objektov, ki jih slikamo), *dark*, ki so slikani v popolni temi, torej s pokrito zaslonko in jih posnamemo, da zmanjšamo termični šum, *flat*, ki so slikani s presvetljeno zaslonko in jih potrebujemo, da zmanjšamo učinek tega, da so slike temnejše ob robovih, ter *bias*, ki so zelo kratki posnetki, posneti s pokrito zaslonko in jih uporabimo, da zmanjšamo bralni šum kamere. *Dark-e*, *flat-e* in *bias-e* imenujemo kalibracijski posnetki.

#### **TELESKOP GOCHILE**

Na taboru smo fotografirali s teleskopom GoChile, ki so ga naši mentorji upravljali na daljavo kar iz Slovenije. Teleskop GoChile je tipa Schmidt-Cassegrain, tip teleskopa, ki vsebuje tako lečo kot tudi zrcala. Teleskop s premerom objektiva 400-milimetrov @f/6,5 Ritchey-Chrétien se sicer fizično nahaja na jugu puščave Atacama v Čilu na nadmorski višini 1560 metrov. Lokacija observatorija je 30° 27'S in 70° 45'W. Naša skupina se je odločila fotografirati Zemlji najbližjo nebulo, ki je Helix nebula (NGC 7293). Od nas je oddaljena 650 svetlobnih let in ima premer približno 2,5 svetlobnih let. To nebulo smo si izbrali, ker je dobro vidna, dovolj velika, ker je dovolj visoko nad obzorjem v času našega opazovanja. Poleg tega gre za meglico zelo lepih barv.

#### **PRIPRAVA NA OPAZOVANJE**

Pri delu s teleskopom GoChile smo morali udeleženci najprej določiti, kateri objekt bomo slikali. Pomagali smo si s programom Stellarium, ki omogoča, da si preko spleta ogledaš nebo in izbereš objekt. Tam smo izvedeli tudi magnitudo, velikosti in koordinate objekta. Nato smo koordinate objekta vnesli v program Staralt, da nam je izrisal krivuljo, ki pokaže, kdaj je objekt nad obzorjem. Potrebno je bilo paziti, da je objekt v času opazovanja vsaj 30 stopinj nad obzorjem, saj ga sicer teleskop ne doseže. Za opazovanje je imela vsaka ekipa na voljo približno eno uro, pri čemer smo lahko uporabljali barvne filtre (R, B, G). Čas ekspozicije je bil 45 sekund. Naredili smo 65 fotografij, ki smo jih kasneje računalniško obdelali.

#### **OBDELAVA FOTOGRAFIJ**

Na taboru smo posnete fotografije tudi obdelali, kar nam je omogočilo, da smo prišli do končnega izdelka. Fotografije smo zlepili glede na barvne filtre, s katerimi so bile fotografirane, nato pa jih kalibrirali s pomočjo kalibracijski posnetkov, ki so jih mentorji za nas posneli na koncu noči. Zlepljene fotografije smo vstavili v program Deep Sky Stacker, kjer smo jih sestavili v celoto in na spletni strani Star Net ++ spremenili intenzivnost zvezd, da je do izraza prišla Helix nebula. Dodajanje ali odstranjevanje zvezd je nujno v primeru, da slikamo meglice ali planete. S pomočjo tega postopka smo dobili končno fotografijo, ki smo jo pokazali tudi obiskovalcem na zaključju tabora.



Slika 1: Sestavljena fotografija meglice Helix nebula.

### ZAKLJUČEK

Na taboru smo se najprej naučili, kako postaviti teleskop. Nato smo na delavnicah za astrofotografijo spoznali še različne kamere za fotografiranje, se naučili več o pogojih za astro fotografiranje, o vrstah posnetkov in spektroskopiji ter vadili, kako s pomočjo različnih programov obdelati fotografije. Glede na raznolikost aktivnosti je bil tabor po mojem mnenju primeren tako za začetnike v astronomiji kot za bolj izkušene učence

in dijake. Bilo je enkratno, saj so bili mentorji prijazni, pripravili so vrsto zanimivih iger in nam pomagali, kadarkoli smo potrebovali pomoč. Kljub manjšim tehničnim težavam moje ekipe sem najbolj užival v tekmovanju v izdelavi raket iz plastenk. Ne glede na to, da se nismo uspeli uvrstiti med najboljše, vem, da je pomembno, da se zabavamo in ne samo, kakšen rezultat dosežemo. Tudi naslednje leto se tabora vsekakor želim udeležiti, saj je hkrati poučen, zanimiv in zabaven.

## UDELEŽENCI ASTRONOMSKEGA TABORA KMICA 2024

### Vodja tabora:

pom. akad. dr. Rok Vogrinčič

### Mentorji:

Katja Šimenc  
Darko Kolar  
Mihael Čerpnjak  
Jurij Šumak  
Ana Mištrafovič  
Tian Strmšek  
Mario Pezer  
Nino Stanič  
Marcel Maier

### Udeleženci:

Vid Gosenca  
Aleks Bah  
Nejc Bevc Ribarič  
Jurij Bregar  
Ota Brlogar  
Oskar Čas  
Živa Časar  
Mykyta Diatel  
Filip Frumen  
Jaka Horvat  
Jan Jambrovic  
Erazem Jovan  
Maj Kolar  
Bine Lekš  
Alja Lotrič  
Erik Lovenjak

Živa Majcen  
Bogdan Anej  
Marcijan  
Vid Markič  
Jure Meljo  
Urban Mezgec  
Mark Nežmah  
Klara Norčič  
Zoja Ojdenič Sancin  
Miša Ošlaj  
Oskar Pajk  
Klemen Pečenko  
Lina Pečenko  
Erazem Perko  
Stela Petrinič  
Jure Pogačar  
Brin Požun

Neja Prijevič  
Jakob Ritlop  
Laura Ržen  
Anja Slavinec  
Tine Šalamon  
Ana Šulek  
Žan Tovornik  
Lars Veenliet  
Tinkara Verhovc  
Šumer  
Eva Vozelj  
Ajda Vozelj  
Ajda Zalar  
Anja Ževart



Slika 2: Zaključek astronomskega tabora Kmica 2024.



KOLOFON

Naslov publikacije:  
Astronomi v kmici sedemindvajsetič  
izhaja enkrat letno  
ISSN 3023-9753, eISSN 3023-9761

Urednik:  
pom. akad. dr. Mitja Slavinec

Strokovni pregled:  
pom. akad. dr. Milan Svetec  
pom. akad. dr. Eva Klemenčič  
pom. akad. dr. Mitja Slavinec  
pom. akad. dr. Rok Vogrinčič

Oblikovanje in prelom:  
pom. akad. dr. Mitja Slavinec  
pom. akad. dr. Petra Cajnko

Tisk:  
AIP Praprotnik

Naklada:  
250 izvodov

Založnik in izdajatelj:  
AD Kmica, Murska Sobota, 2024  
zanj: pom. akad. dr. Mitja Slavinec

Leto izida: 2024

Leto natisa: 2024

Maloprodajna cena publikacije: publikacija je brezplačna