

ASTRONOMI V KMICI



dvaindvajsetič

KAZALO

DVAJSET LET PO MRKU.....	3
HKRATNA VODORAVNA IN NAVPIČNA SONČNA URA	4
ZEMLJA IN LUNA KOT ENO TELO	6
KDAJ IN ZAKAJ SE LAHKO LUNA SMEJE?	9
VELIKOST AKRECIJSKEGA DISKA OKROG ČRNE LUKNJE.....	10
VODA V VESOLJU IN NA ZEMLJI	12
VODNIKOVO LETO.....	16
PROJEKT IZGRADNJE RADIJSKEGA TELESKOPA ZA OPAZOVANJE RADIJSKEGA SIGNALA MOLEKULE OH.....	27
GRAVITACIJSKI SILA MED PODOLGOVATIMI TELESI	36
OB DVAJSETI OBLETNICI SONČEVEGA MRKA.....	44
POPOLN SONČEV MRK LETA 1999	44

DVAJSET LET PO MRKU

Pred dvajsetimi leti je Astronomsko društvo Kmica ob polnem Sončevem mrku doseglo vrhunec dotakratnega delovanja, ki ga zaradi enkratnosti dogodka, kot je mrk, tudi kasneje ni bilo mogoče preseči. Zato smo se dvajset let kasneje toliko raje spomnili najbolj veličastnega dogodka, ki ga narava lahko priredi na nebu. Priložnost smo v AD Kmica tudi dobro izkoristili, saj se je tekom leta 2019 zvrstilo veliko dogodkov, s katerimi smo obeležili dvajseto obletnico mrka. Tako je Bojan Jandrašič vodil zelo uspešen projekt, v sklopu katerega je bilo postavljeno spominsko obeležje prav na lokaciji, od koder je potekalo najbolj množično opazovanje mrka v Sloveniji. Pom. akad. dr. Simon Ülen je dal pobudo in v Markovcih tudi uspešno organiziral strokovno konferenco za profesorje in mentorje astronomskih aktivnosti, ki so se je udeležili tudi številni drugi zainteresirani. Organizirali smo tudi več priložnostnih astronomskih opazovanj in opazovanj Sonca.

Veliko pozornost smo posvečali tudi našim tradicionalnim aktivnostim, izmed katerih ostaja na prvem mestu mladinski astronomski tabor na OŠ Gornji Petrovci, kjer smo bili prav tako ponovno deležni dobrodošlice in povabila tudi za v prihodnje tako od ravnatelja Johana Laca kot tudi s strani župana Franca Šlihtuberja.

Kmica je že tradicionalni partner Regionalnemu centru Zveze za tehnično

kulturo Slovenije pri organizaciji festivala **Inovativnosti Znanosti in Ustvarjalnosti Mladih** – IZUM. Prof. dr. Robert Repnik se je dotaknil pomembnega vprašanja, in sicer od kod je prišla voda na Zemljo.

Tekom leta smo na Gimnaziji Murska Sobota ob organizacijski podpori podpredsednika AD Kmica, pom. akad. dr. Renata Lukača, organizirali zanimiva astronomska predavanja in opazovanja, ki so zelo pomemben prispevek k popularizaciji astronomije in naravoslovja predvsem med mladimi.

Stalnici sta tudi pričujoča publikacija in Kmicin stenski astronomski koledar, za katerega sta fotografije prispevala Andrej Hanžekovič in Bor Gazvoda, koledarski del pa sta strokovno pripravila Darko Kolar in Rok Vogrinčič.

Astronomi v Kmici tudi letos prinašajo veliko zanimivih strokovnih člankov, s katerimi smo dokumentirali in pred pozabo iztrgali omenjene dogodke kakor tudi recenzirane strokovne članke, ki reviji zagotavljajo visoko raven in širšo uporabnost in so prav tako tudi dobrodošlo gradivo v osnovnih in srednjih šolah.

Vsem, ki vas veseli astronomija in naravoslovje, želim vse najboljše v novem letu in veliko lepih ter zanimivih astronomskih užitkov.

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

HKRATNA VODORAVNA IN NAVPIČNA SONČNA URA

Marijan Prosen

Uvod

Opišemo izdelavo preproste sončne ure, ki je hkrati vodoravna in navpična ura. Na obeh številčnicah namreč hkrati preberemo isti čas po Soncu (seveda odvisno od natančnosti izdelave ure). Ura velja izključno za (naše) kraje, kjer je zemljepisna širina okoli 45° . Številčnici sta preprosti. Zato je ura nekoliko manj natančna (npr. na 15 minut).

Izdelava

Iz lesa izdelamo kvader z robovi (širina, dolžina in višina): a , $a\sqrt{2}$ in $a\sqrt{2}$. Razdalja $a\sqrt{2}$ je dolžina diagonale kvadrata s stranico a ; če je na primer $a = 10$ cm, je $a\sqrt{2} = 14,1$ cm. Če torej narišemo kvadrat s stranico a , je en rob tega kvadra po dolžini enak dolžini stranice kvadrata, dva robova pa sta enaka dolžini njegove diagonale.

Naj bo kvader obrnjen tako, da vsi štirje robovi a kvadra kažejo v smer vzhod-zahod (gl. sliko). Mi gledamo nanj z južne smeri proti severu. Osnovna ploskev kvadra je pravokotnik s stranicama a in $a\sqrt{2}$. Uporabimo zgornjo osnovno ploskev, to je zgornji pravokotnik (zgoraj, na vrhu kvadra) in ga oblikujemo v poenostavljeno številčnico vodoravne sončne ure. To oblikujemo tako, da narišemo diagonali skozi središče S_1 pravokotnika in prav tako srednjici skozi to središče. Tam, kjer prva srednjica preseka stranico a pravokotnika (robova kvadra a), je spredaj jug S , zadaj sever N (oznaka za 12. uro). Tam, kjer druga srednjica preseka stranico pravokotnika oziroma robova kvadra $a\sqrt{2}$ desno je vzhod E (18. ura), levo pa zahod W (6. ura).

Navpična stranska ploskev kvadra, ki jo gledamo pred seboj, je navpični pravokotnik s stranicama a (širina) in $a\sqrt{2}$ (višina). Ta se nahaja spredaj na kvadru (ena je še zadaj, ki nas ne zanima). Navpični pravokotnik spredaj na kvadru tudi oblikujemo tudi v poenostavljeno navpično številčnico. To oblikujemo podobno kot vodoravno. Skozi središče S_2 tega pravokotnika narišemo diagonali in srednjici. Tam, kjer vodoravna srednjica preseka navpična

robova kvadra $a\sqrt{2}$ sta: desno vzhod E (18. ura) in levo zahod W (6. ura). Tam, kjer preseka navpična srednjica rob a spodaj, pa označimo z oznako za 12. uro. Skozi kvader natančno zvrtno ravno okroglo luknjico (primerne premera, a ne premajhno), ki povezuje središči S_1 in S_2 obeh omenjenih pravokotnikov. Skozi njo položimo tako dolgo ravno leseno ali kovinsko paličko (daljico), da zgoraj in spredaj kvadra gleda enak, vendar dovolj dolg del paličke ven iz kvadra. Palička oklepa z vodoravno in navpično številčnico kot 45° . Paličko dobro zalepimo, da se ne premika. Sončna ura je narejena. Postavimo jo na vodoravno podlago, jo orientiramo (vodoravni robovi a kažejo v smeri vzhod-zahod, vodoravni robovi $a\sqrt{2}$ pa v smeri jug-sever) in v sončnem vremenu ura že deluje. Zgornji del od Sonca osvetljene paličke meče senco na zgornjo ploskev, to je na vodoravno številčnico, spodnji del paličke pa meče senco na sprednjo ploskev, to je na navpično številčnico. Na obeh številčnicah mora senca paličke kazati isti čas po Soncu.

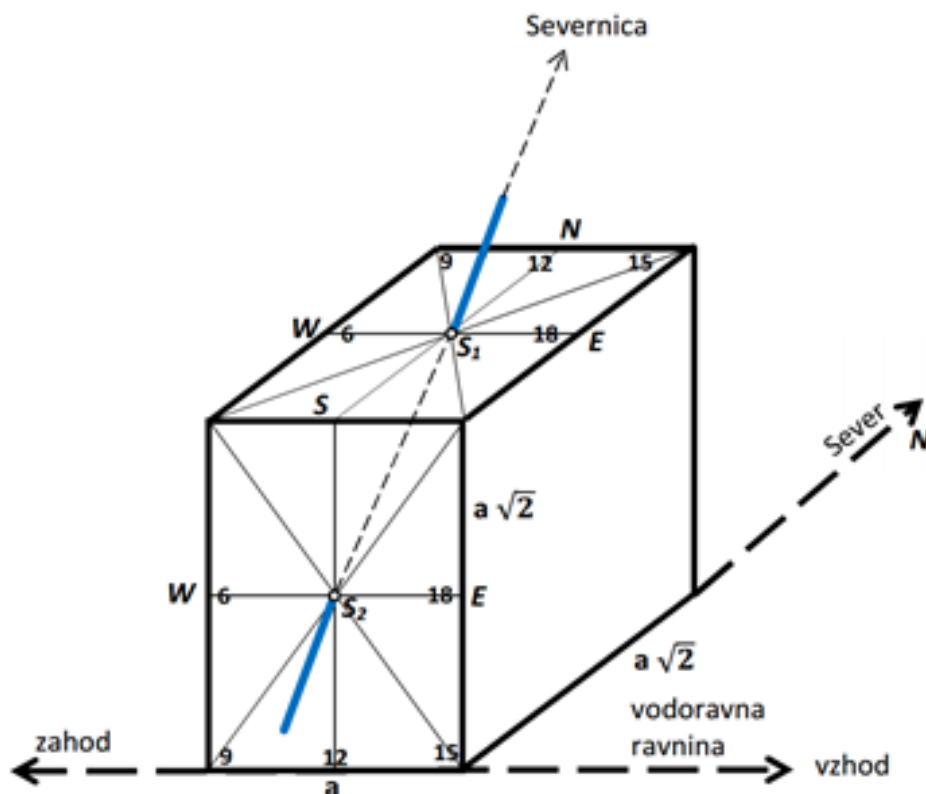
S pomočjo narisanih diagonal obe številčnici dopolnimo, to je označimo oznake za 9. in 15. uro na obeh številčnicah v ustreznih ogliščih kvadra. Številčnici sta sicer grobi, a ju lahko po opazovanju sence paličke na številčnicah izdelamo še natančneje (naredimo oznake za vsako uro). Uro izdelamo poljubno veliko, jo postavimo na domači balkon, atrij ali vrt ali šolsko igrišče - vedno na vodoravno podlago. Pri izdelavi ure se lahko še poljubno umetniško izrazimo. Namesto paličke lahko uporabimo tudi enakokraki pravokotni trikotnik. Kako, pogledajte literaturo.

Izdelana sončna ura je pripravljena za zimski čas. V poletnem času upoštevamo premik ure za eno uro naprej. Namesto 11. ura pišemo 12. ura, namesto 12. ura pišemo 13. ura itn. Senca paličke v poletnem času torej pade proti severu ob 13. uri in ne ob 12. uri.

Viri

[1] Marijan Prosen, *Ukvarjanje s senco*, Presekova knjižnica, DMFA, Ljubljana 2003, str. 64 (kjer sta

pojasnjeni obe preprosti številčnici (vodoravna in navpična) sončne ure za naše kraje). V knjigi je še več idej za izdelavo sončnih ur.



Slika 1: Kvader z robovi a , $a\sqrt{2}$, $a\sqrt{2}$ in ravno paličko lahko preuredimo v preprosto sončno uro, ki kaže isti čas hkrati na vodoravni in navpični številčnici. Ta sončna ura je že orientirana. Palička oziroma vsi robovi kvadra $a\sqrt{2}$ so namreč natančno usmerjeni v smeri sever-jug itn.

ZEMLJA IN LUNA KOT ENO TELO

pom. akad. dr. Mitja Slavinec, asist. dr. Eva Klemenčič
Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru

Uvod

Glede nastanka Lune je več različnih teorij. Nekaj mehanizmov sega v rano mladost Osončja pred približno 4,5 milijarde let, kot je npr. odcepitev Lune od Zemlje zaradi velikih centrifugalnih sil. Danes je najverjetnejša teorija, ki temelji na trku velikega telesa s protozemljo od katere se je potem odcepila kasnejša Luna. Verjetnost te teorije je dokaj verjetna tudi zato, ker so bili taki trki v zgodnjem vesolju dokaj pogosti, v prid pa govorijo tudi določene podrobnosti med zgradbo Zemlje in Lune. Tudi glede te teorije so še nekatera vprašanja, prav tako je težko napovedati, kolikšen del sedanje mase Zemlje in Lune je pripadalo protozemlji, koliko pa od telesa, ki je trčilo in podobno. Zaradi tega se moramo zavedati, da rezultati ne odražajo dejanskega stanja, kot bi vladalo na Zemlji, če v preteklosti ne bi prišlo do trka, ampak želimo zgolj kot zanimivost oceniti, kakšna bi bil skupen sistem Zemlje in Lune v tem trenutku. Pri ocenah se bomo omejili na osnovne približke in obe telesi obravnavali kot homogeni krogli ter zanemarili sploščenost Zemlje, gibanje po elipsi in podobno, saj se izkaže, da kljub temu dobimo dovolj verodostojne rezultate, ki dovolj zanesljivo opisujejo osnovne fizikalne lastnosti in hipotetične razmere.

Osnovne lastnosti Zemlje in Lune

Fizikalne lastnost in vrednosti običajnih snovnih količin za nebesna telesa si običajno ne zapomnimo ali ne navajamo na veliko število natančnih mest, ampak se običajno zadovoljimo z dvema decimalnima mestoma. V tabeli 1 za potrebe konkretnih izračunov podatke navajamo na vsaj štiri natančna mesta, v nadaljnjem besedilu pa jih bomo ustrezno zaokrožili, da si bo bralec lažje ustvaril vtis glede velikostnega reda. Ob absolutnih vrednostih so zanimiva tudi razmerja med posameznimi

količinami, ki se zrcalijo kot ključni količniki pri medsebojnih primerjavah.

Iz tabel lahko razberemo, da je polmer Zemlje R_z približno 6.370 km [1-3], njena povprečna gostota ρ_z je približno 5.520 kg m^{-3} , masa Zemlje m_z pa je približno $5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$. Težni pospešek na površini Zemlje je nekoliko odvisen od zemljepisne širine, zato navedimo $g_z = 9,81 \text{ ms}^{-2}$, kar se običajno navaja kot povprečna vrednost na površini Zemlje.

Polmer Lune R_L je približno 1.740 km, njena povprečna gostota ρ_L je približno 3.350 kg m^{-3} , masa Lune pa je približno $7.35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$. Težni pospešek Lune je pri približno $g_z = 1,62 \text{ ms}^{-2}$. Zanimiva so razmerja teh količin med Zemljo in Luno. Čeprav je polmer Lune relativno velik, več kot ena četrtnina Zemljinega ($\frac{R_L}{R_z} = 0,27$) pa je po drugi strani masa Lune le malo več kot en odstotek mase Zemlje.

Velikost in masa skupka Zemlje in Lune

Najenostavnejši je izračun skupne mase obeh teles m_{zL} :

$$m_{zL} = m_z + m_L = 1 + \frac{m_L}{m_z} = 1 + r. \quad (1)$$

Za elegantnejši zapis v nadaljevanju smo razmerje med maso Lune in maso Zemlje označili kot razmerje r in znaša približno $r = 0,0123$.

Zemljo in Luno lahko v eno telo združimo na različne načine. Ena možnost je, da seštejemo obe masi in pogledamo kako veliko telo nastane, vendar pri tem ni enoznačnega izračuna, kako veliko prostornino ima tako telo, ker je povprečna gostota Lune le 60 % povprečne gostote Zemlje. Zaradi tega bomo raje sešteli prostornini Zemlje V_z in Lune V_L ter izračunali, kako veliko telo V_{zL} nastane (podobno kot če bi npr. dve krogli iz vode zlili v novo, večjo kroglo):

$$\frac{4}{3}\pi R_{ZL}^3 = \frac{4}{3}\pi R_Z^3 + \frac{4}{3}\pi R_L^3 \rightarrow R_{ZL} = \sqrt[3]{R_Z^3 + R_L^3} = R_Z \sqrt[3]{1 + \left(\frac{R_L}{R_Z}\right)^3}, \quad (2)$$

kjer je R_{ZL} polmer skupnega telesa sestavljenega iz prostornine Zemlje in prostornine Lune, kar znese približno $R_{ZL} = 6410 \text{ km}$ ali če izrazimo kot razmerje vidimo, da je polmer večji za manj kot sedem promilov: $R_{ZL} = R_Z \cdot 1,0067$

Morda se na prvi pogled zdi presenetljivo, da če Zemlji dodamo Luno, katere polmer je kar četrtnina polmera Zemlje, se polmer Zemlje poveča za manj kot en odstotek. Ozadje tega presenečenja se skriva v enačbi (2) iz katere lahko razberemo, da se seštevajo tretje potence polmerov, zaradi česar je prispevek tako majhen.

Povprečna gostota skupka Zemlje in Lune

Povprečno gostoto skupnega telesa najlažje izračunamo iz definicije gostote kot razmerje med vsoto obeh mas [4,5], ki znaša $6,04 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ in skupno prostornino V_{ZL} :

$$\rho_{ZL} = \frac{m_{ZL}}{V_{ZL}}, \quad (3)$$

kar znese, da je povprečna gostota skupnega telesa $\rho_{ZL} = 5.470 \text{ kgm}^{-3}$. Vidimo, da Luna relativno malo spremeni tudi povprečno gostoto Zemlje, kar se lepo vidi, če gornjo enačbo nekoliko predelamo:

$$\rho_{ZL} = \frac{m_Z(1+r)}{V_Z\left(1+\left(\frac{R_L}{R_Z}\right)^3\right)} = \rho_Z \frac{(1+r)}{1+\left(\frac{R_L}{R_Z}\right)^3}. \quad (4)$$

Iz enačbe (4) vidimo, da se gostota zmanjša glede na gostoto Zemlje, na kar namiguje tudi dejstvo, da je povprečna gostota Lune manjša od povprečne gostote Zemlje in v relativni obliki znaša: $\rho_{ZL} = \rho_Z \cdot 0,992$.

Težni pospešek na površini skupka Zemlje in Lune

Enačbo za težni pospešek na površini nekega nebesnega telesa izrazimo iz Newtonovega zakona pri čemer za razdaljo med telesoma vstavimo kar polmer nebesnega telesa, npr. za Zemljo [7-9]:

$$F_g = G \frac{m m_Z}{R_Z^2} = m \rightarrow g_Z = G \frac{m_Z}{R_Z^2}, \quad (5)$$

kjer je G gravitacijska konstanta. Izkaže se, da je težni pospešek na površini Zemlje g_Z približno $9,81 \text{ ms}^{-2}$.

Ponovno primerjajmo za koliko bi Luna spremenila težni pospešek na površini Zemlje, kar smo v enačbi (6) izrazili v relativni obliki:

$$\frac{g_{ZL}}{g_Z} = \frac{G \frac{m_{ZL}}{R_{ZL}^2}}{G \frac{m_Z}{R_Z^2}} = \frac{m_{ZL} R_Z^2}{m_Z R_{ZL}^2} = \frac{m_Z R_Z^2 (1+r)}{m_Z R_Z^2 \left(1 + \left(\frac{R_L}{R_Z}\right)^3\right)^{2/3}} = \frac{(1+r)}{\left(1 + \left(\frac{R_L}{R_Z}\right)^3\right)^{2/3}}. \quad (6)$$

Enačba (6) kaže, da težni pospešek na površini Zemlje masa povečuje, večji polmer pa težni pospešek zmanjšuje. Izračun kaže, da sta prispevka približno enako velika in težni pospešek ostane praktično enak: $g_{ZL} = g_Z \cdot 0,99887$.

Skupno težišče skupka Zemlje in Lune

Če bi Zemlja in Luna bile združeni v en planet, bi tudi njegova tirnica bila nekoliko premaknjena. Težišče skupnega telesa bi bilo na skupnem težišču obeh posameznih teles tj. Zemlje in Lune. Razdaljo med Zemljo in Luno označimo z l , z pa označimo za koliko bi se Zemlja premaknila proti Luni, če bi obe bili v enem telesu (tj. koliko je skupno težišče Zemlje in Lune izven središča Zemlje):

$$M_Z x = M_L (l - x) \rightarrow x = l \frac{M_L}{M_Z + M_L} = l (1 + r). \quad (7)$$

Ker je masa Lune približno le en odstotek mase Zemlje, bo premik tudi približno en odstotek razdalje med Zemljo in Luno. Razdalja med Zemljo in Luno je približno šestdeset polmerov Zemlje (približno 1,7 %) bi skupno težišče še zmeraj ostalo v notranjosti Zemlje. Natančnejši račun pokaže, da bi se težišče premaknilo $x = 4.720 \text{ km}$, kar pomeni, da ne bi bilo kakšnih ključnih sprememb na samo gibanje okrog Sonca.

	Zemlja	Luna	Luna in Zemlja	Luna/Zemlja	Zemlja-Luna/ Zemlja
polmer	6.372 km	1.736 km	6.415 km	0,2723	1,0067
prostornina	$510,1 \cdot 10^6 \text{ km}^3$	$37,93 \cdot 10^6 \text{ km}^3$	$517,1 \cdot 10^6 \text{ km}^3$	0,0741	1,0135
masa	$597,42 \cdot 10^{22} \text{ kg}$	$7,3477 \cdot 10^{22} \text{ kg}$	$604,77 \cdot 10^{22} \text{ kg}$	0,0123	1,0123
gostota	$5,515 \text{ kg/m}^3$	$3,346 \text{ kg/m}^3$	$5,469 \text{ kg/m}^3$	0,6093	0,9921
težni pospešek	$9,81 \text{ m/s}^2$	$1,622 \text{ m/s}^2$	$9,51 \text{ m/s}^2$	0,1654	0,9695

Tabela 1: vrednosti polmera, prostornine, mase, gostote in težnega pospeška za Zemljo, Luno in skupno telo sestavljeno iz obeh v absolutnih vrednostih in relativna primerjave med njimi.

Sklep

Luna je po velikosti dokaj veliko telo v primerjavi z Zemljo, ki ima polmer le štiri krat večji od Lune, pa se kaj kmalu izkaže, da bi Luna bolj malo vplivala na lastnosti Zemlje, če bi ju združili. Vidimo, da je velikost vpliva enega telesa na drugo ključno odvisno od razmerja mas obeh teles, ki pa je v primeru Lune in Zemlje kvečjemu en odstotek. To velja tudi sicer v vesolju med posameznimi nebesnimi telesi in njihovim vzajemnim vplivom.

Analiza računov in odvisnosti pokaže razloge za tako majhen vpliv Lune na Zemljo. Polmer Lune, ki je ena četrtnina polmera Zemlje je v enačbi za prostornino krogle v tretji potenci kar znese le še $1/64$, hkrati pa je manjša tudi gostota Lune, ki znaša približno 60 % gostote Zemlje, kar oboje skupaj znese, da je masa Lune približno 1 % mase Zemlje. In prav tega reda velikosti, en odstotek so tipični popravki, ki jih dobimo zaradi vpliva Lune. Pri težnem pospešku na površini planeta pa se je celo izkazalo, da sta se dva

različna prispevka praktično odštela in se vpliv skoraj v celoti izniči.

Pri vseh izračunih smo se zadovoljili zgolj s prvimi približki in npr. nismo upoštevali sploščenosti Zemlje ali eliptičnega tira Lune okrog Zemlje, ampak smo upoštevali povprečne podatke, kot da bi bila Zemlja pravilna krogla in bi se Luna okrog Zemlje gibala po krožnici in podobno. Kljub temu pa rezultati povsem korektno prikazujejo kvalitativne rezultate, na osnovi katerih si lahko ustvarimo povsem verodostojno sliko razmer.

Viri

- [1] M. Prosen, *Leksikon astronomije*, Mladinska knjiga 2004.
- [2] T. Jackson, *Astronomija*, Tehniška založba Slovenije, 2019.
- [3] S. Mitton, J. Mitton, *Astronomija*, Didakta, 1994.
- [4] H. Goldstein, *Classical Mechanics*, Addison-Wesley, 1981.
- [5] J. Strnad, *Fizika 1*, DMFA, 2016.

KDAJ IN ZAKAJ SE LAHKO LUNA SMEJE?

Marijan Prosen

Manca hodi v prvi razred osnovne šole. Nekega dne me je nedolžno vprašala: *Kdaj in zakaj se lahko luna smeje?*

Kaj, kako, kdaj? Še nisem slišal, da bi se Luna smejala. Komu, zakaj? Le kje je pobrala to čudno vprašanje? Ker je vprašanje že v zraku, sem ji odgovoril.

Kdo je vladar, poglavar ali gospodar našega dnevnega neba? Kdo je glavni tam zgoraj podnevi. Dobro ga poznamo. Vsak dan se sprehaja pred našim nosom. To je vendar tisto nebesno telo, ki nam prinese dnevno svetlobo. To je tista nebesna ali vesoljska luč, ki nam vsak dan prinaša dan. Za vse nas na Zemlji skrbi, da se imamo dobro, da živimo v svetlobi na toplem in ne zmrzujemo v temi. Ta nebesna luč je naša dnevna zvezda - naše dobro, zlato in prijazno Sonce.

Sonce kraljuje, vlada, je gospodar našega dnevnega neba. Sonce je pogumna zvezda. Od vseh zvezd se edino Sonce upa povzpeti na naše dnevno nebo. Tam vse dni v letu kraljuje ne glede na to, da se mu vsak hip lahko kaj neprijetnega zgodi.

Na nebu Sonce ni samo zato, da mu kraljuje, da se ima prijetno in se zabava. Tam je tudi zato, da opravi določene naloge in obveznosti, ki mu jih nalaga vesolje. Njegova glavna naloga je, da z veseljem in radostjo na vse strani razdaja svoje največje bogastvo - svojo svetlobo in toploto. Vsem na Zemlji sveti. Vse na Zemlji greje.

Na dnevnem nebu se Sonce prikazuje dostojanstveno in samozavestno. Radi ga imamo. Zakaj ga ne bi imeli radi, saj dobro skrbi za Zemljo in vse nas. Boljšega gospodarja našega dnevnega neba ne bi mogli imeti. Zdi se, da je tudi Sonce na našem dnevnem nebu zadovoljno in se dobro počuti. Še nisem slišal, da bi se komu pritoževalo.

Sonce mirno brez kakršnegakoli hrupa vsak dan prepotuje svojo dolgo dnevno pot na nebu od daljnega vzhoda do daljnega zahoda. Zjutraj vzide, čez dan je na nebu, zvečer zaide. Včasih naleti tudi na kakšno nevšečnost. Pri svetenju, to je pri njegovem oddajanju svetlobe, mu nagajajo oblaki,

megla, dim, dež, sneg. Ti nepridipravi ali nagajivci nič ne vprašajo. Kar pridejo. Se postavijo pred Sonce in ga zakrijejo. Takrat na Zemlji zaznamo šibkejšo svetenje Sonca in manj čutimo tudi njegove prijetne toplote. Vse take in podobne nadloge so kratkotrajne in Sonce se jih mimogrede znebi. Potem spet v vsem svojem blišču in sijaju z nezmanjšano močjo sveti dalje, kakor da se ni nič zgodilo.

Sonce na dnevnem nebu deluje mogočno. Zdi se, da ga tam zgoraj nobena stvar ne moti, ogroža, plaši ali straši. Zato mirno in sproščeno sveti in greje na vse strani. Modro tudi gospodari našemu dnevnemu nebu. Vsak dan pogumno in nezmotljivo prepotuje svojo dnevno pot preko širnega dnevnega neba in pregleda, če je na nebu in na Zemlji vse v redu in prav.

Toda, pozor! Na nebu se vendarle giblje neko telo, ki Soncu od časa do časa ponagaja in ga zmoti pri njegovem svetenju in vladanju na nebu. Zaradi tega nebesnega telesa včasih Sonca ne vidimo. Za kratek čas izgine.

V bistvu je Sonce en velik vesoljski važič. Vedno želi biti prvi in glavni na dnevnem nebu. No, saj je. To, da ga ne bi bilo vedno tam, čeprav samo za hip, mu sploh ne pade na pamet. To bi bila to zanj velika sramota, strašno ponižanje. Vendar se včasih le zgodi, da Sonca nekaj časa podnevi ne vidimo na nebu.

Katero je to nebesno telo, ki Soncu pri svetenju in vladanju neba včasih ponagaja in ga moti? To je Luna, zvesta spremljevalka naše Zemlje na njeni večni poti okrog Sonca.

Luna se pogosto sprehaja po našem dnevnem nebu. Vsak dan je tam, tako kot Sonce. Lunina vsakodnevna vožnja čez nebo tudi pelje od vzhoda do zahoda, tako kakor vsakodnevna Sončeva pot. Vendar pa se obe poti nekoliko razlikujeta med seboj.

Luna se giblje po poti, ki v vesolju poteka bližje Zemlji kot nebesna dnevna pot Sonca. Zato se lahko zgodi, da Luna pri svojem gibanju na nebu včasih

pride pred Sonce. Takrat za kratek čas zakrije Sonce. Sonce izgine za Luno. Nekaj časa ga z Zemlje ne vidimo na nebu.

V tem kratkem času, ko Luna zakrije Sonce in ga ne vidimo, Luna zagospodari nad Soncem. Ker zagospodari nad Soncem, zagospodari tudi nad dnevnim nebom. Tako Luna za kratek čas zavlada, zagospodari nad dnevnim nebom.

Da se kaj takega sploh lahko zgodi, Sonce ne more verjeti. To je zanj velikanski pretres, strašanska sramota in grozno ponižanje. Počuti se razžaljenega, saj je od pamtiveka postavljen za vladarja dnevnemu nebu.

In prav to se dogaja. Nihče ne more biti večni in popolni gospodar dnevnega neba, tudi mogočno Sonce ne, čeprav je še tako velikansko in pomembno.

Sonce se zaradi takega dogodka na dnevnem nebu zelo sekira. Luna pa prav nič. Briga jo. Zdi se ji, da je vse v redu, da tako mora biti. Kar na smeh ji gre. Sama nase je celo ponosna, da vsaj za kratek čas temu važnemu Soncu vzame malo samozavesti in vsakodnevnega nebesnega ponosa.

Majhna Luna se z orjaškim Soncem ne more primerjati. Vendar si je prav ona, čeprav majčkена, za trenutek ali dva podredila mogočno Sonce in si sama priborila kratko vladanje na nebu. Na vsa usta se lahko smeje, da je ugnala orjaško Sonce, mu vzela

svetlobo, dostojanstvo in nebesni ponos, si ga po svoje podredila in nato namesto njega za nekaj minut zagospodarila našemu nebu čez dan. To ni kar tako nekaj. To je velika stvar. To je veliko junaštvo. Hkrati vladati Soncu in dnevnemu nebu. Dejansko se zgodi mrk (izginjenje) Sonca na nebu sredi belega dne. Pri tem mrku ima Luna glavno vlogo. Samo ona od vseh nebesnih teles lahko zakrije Sonce in ga naredi nevidnega. Zato je to velika stvar.

Vsake stvari je enkrat konec. Tudi tega kratkega Luninega vladanja. Sonce se v trenutku osvobodi Lunine podrejenosti. Kot da se ni nič zgodilo, potem spet s svojo svetlobo in toploto obliva Zemljo in nadalje vlada.

Luna bo tu in tam še vedno zakrivala Sonce in za kratek čas zagospodarila dnevnemu nebu. Tega Sonce ne more preprečiti. Temu se Sonce ne more izogniti. Tako je bilo, tako je in tako bo ostalo za vse večne čase.

Ko se bo na nebu ponovno kaj takega zgodilo, se lahko Luna vsakič malo nasmeje Soncu in mu z nagajivim nasmeškom rahlo šepne v uho: «Veš, drago Sonce, to ni nič hudega, svet se zaradi tega ne bo podrl. Samo malo potrpi, saj ne bo dolgo trajalo!»

Vse to se zgodi sredi belega dne na nebu pred našimi očmi hitro, brez najmanjšega hrupa, tiho in mirno. Ja, Manca, tako je to.

VELIKOST AKRECIJSKEGA DISKA OKROG ČRNE LUKNJE

pom. akad. dr. Milan Svetec

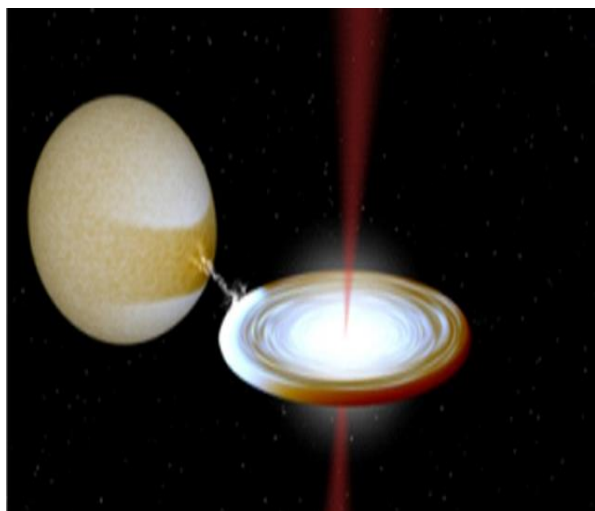
Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru

Črne luknje rastejo tako, da iz svoje okolice »pobirajo« snov. Pritekajoča snov se najprej zbere v akrecijskem disku okrog črne luknje in se tam zaradi rotacije in medsebojnih trkov segreje. Pri tem nastajajoče sevanje zmanjšuje pritok nove snovi v črno luknjo. Če se sevanje poveča nad določeno mejo, ki ji pravimo Eddingtonova limita, se pritok snovi popolnoma zaustavi. Vrednost Eddingtonove limite je odvisna od mase črne luknje in nam podaja mejno vrednost sevalne energije črne luknje.

Podajmo v nadaljevanju kratko, poenostavljeno izpeljavo mejne vrednosti Eddingtonove limite za svetilnost.

Upoštevali bomo izotropnost sevanja (neodvisnost od smeri) ter sferičnost oblaka, ki obdaja črno luknjo, kar je v realnih primerih manj verjetno (že če pogledamo Sliko 1 tega ni opaziti). Vendar pa nam bo rezultat vseeno dal neko primerljivo vrednost in vpogled v fizikalno ozadje tega pojava. Izhajamo iz osnovnega privzetka, da je mejna vrednost

svetlnosti (Eddingtonova limita) dosežena takrat, ko je sevalni tlak, ki ga povzročajo fotoni, ki jih izseva plazma segrete snovi v akrecijskem disku, ko trčijo v snov npr. vodikove atome, enak gravitacijski sili, ki vpadačo snov vleče proti črni luknji.



Slika 1: Črna luknja »srka« snov bližnje zvezde, ki se razporedi in nabira v rotirajočem disku in se segreva (vir: T.D.Russel / ICRAR).

Sevalni tlak torej deluje na vpadačo snov z nasprotno silo od gravitacijske sile. Zelo poenostavljeno: pri iskanju mejne svetlnosti enačimo silo, ki jo povzroča sevalni tlak in gravitacijsko silo. Za gravitacijsko silo lahko zapišemo, da je enaka

$$F_g = G \frac{m_p M}{r^2}. \quad (1)$$

Tukaj je G gravitacijska konstanta, r je razdalja med vpadačim delcem (proton) in črno luknjo v nekem trenutku t , M je masa črne luknje, m_p pa masa protona. Načeloma upoštevamo, da v črno luknjo vpadajo atomi vodika, vendar je masa elektrona skoraj 2000-krat manjša od mase protona in jo zanemarimo.

Najti silo, ki jo povzroča sevalni tlak, je nekoliko težje. Upoštevati moramo sipalni presek vpadačih delcev, kjer si pomagamo s Thomsonovim sipalnim presekom [1]:

$$\sigma_T = \frac{8\pi}{3} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2} \right)^2, \quad (2)$$

kjer je e naboj in m masa nabitega delca (elektron, proton) ter ϵ_0 elektrostatična konstanta. Če primerjamo sipalni presek elektrona s sipalnim presekom protona ugotovimo, da je slednji veliko manjši, saj je masa protona veliko večja. Naboja obeh delcev pa sta enaka. Ugotovimo lahko torej, da velja $\sigma_e/\sigma_p = 3,4 \cdot 10^6$. Se pravi, da je pri izračunu pomemben sipalni presek elektronov. Ker pa so v vodikovem atomu elektroni povezani s protonom, seveda protonov ne moremo zanemariti, posebej še, ker imajo veliko maso (glede na elektrone). Za izračun tlačne sile fotonov uporabimo energijo fotona, ki znaša $E = h\nu$, kjer je ν frekvenca sevanja, h pa je Planckova konstanta. Za energijski tok sevanja na razdalji r lahko zapišemo:

$$\frac{dE}{dt dA} = \frac{L}{4\pi r^2}, \quad (3)$$

kjer je L svetilnost in A ploščina. Število fotonov na razdalji r od črne luknje (na sekundo in na m^2) lahko na podlagi (3) zapišemo kot:

$$N = \frac{L}{4\pi r^2} \frac{1}{h\nu}. \quad (4)$$

Število trkov fotonov je tedaj $R = \sigma_T N$. Gibalna količina fotona se pri trku prenese na proton (atom vodika), zato je sprememba gibalne količine protona enaka $\Delta P = h\nu/c$. Sila s katero foton deluje na proton je enaka $F = dP/dt$, kar približno lahko zapišemo kot $F = \Delta P/\Delta t$. Sedaj za zapis Δt uporabimo število trkov fotonov. Merimo ga s št. fotonov na sekundo, zato je s časom sorazmerna obratna vrednost števila trka fotonov, torej R^{-1} . Sila na proton zaradi sevanja je tako:

$$F_{rad.} = \frac{\Delta P}{R^{-1}} = \frac{h\nu}{c} \frac{\sigma_T L}{4\pi r^2 h\nu} = \frac{\sigma_T L}{4\pi r^2 c}. \quad (5)$$

Sedaj lahko izenačimo gravitacijsko in sevalno silo na proton in vidimo, da pri tem odpade razdalja r . Od tod lahko sedaj izračunamo mejno vrednost

svetilnosti L_E , ki je poimenovana po Eddingtonu. Velja:

$$L_E = \frac{4\pi c m_p M G}{\sigma_T}. \quad (6)$$

Zaradi poenostavitve je ta vrednost nižja od tistih, ki jih v realnosti dosežejo opazovani primeri črnih lukenj v vesolju. Za primer lahko omenimo meritve v ozvezdju M83 [2], ki so jih izvedli na sistemu, podobnem kot na Sliki 1 in dobili svetilnost, ki je

približno trikrat večja od Eddingtonove mejne vrednosti za svetilnost (6).

Viri

- [1] M. Harwit: *Astrophysical Concepts*, Springer Verlag, 2000.
[2] R. Soria et al.: *Super-Eddington Mechanical Power of an Accreting Black Hole in M83*, Science, online 28. Februar 2013; DOI: 10.1126/science.1248759.

VODA V VESOLJU IN NA ZEMLJI

doc. dr. Vladimir Grubelnik¹, doc. dr. Rene Markovič^{1,2} in prof. dr. Robert Repnik^{2,3}

¹Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, UM

²Fakulteta za naravoslovje in matematiko, UM

³Zveza za tehnično kulturo Slovenije, Zaloška c. 65, 1000 Ljubljana, Slovenija

Uvod

Voda ima pri odkrivanju vesolja velik pomen, predvsem zaradi njene vloge pri nastanku življenja na Zemlji. Tudi morebitno življenje na drugih planetih si težko predstavljamo brez vode. NASA je v svojem astrobiološkem smerokazu posebej izpostavila potrebo po širokih območjih tekoče vode, kot osnovni kriterij za razvoj življenja [1]. Ob dejstvu, da je voda izrednega pomena za življenje na Zemlji, se poraja vprašanje, od kod je prišla voda na Zemljo. Odgovor na to vprašanje lahko delno dobimo s proučevanjem vode v vesolju. Vodo sestavljata vodik in kisik, ki ju v vesolju nikdar ni primanjkovalo. Vodika je še posebej veliko, saj je prisoten že od začetka in je skupaj s helijem nastal le nekaj minut po velikem poku. Na ostale elemente je bilo potrebno še nekoliko počakati, da so nastali v zvezdah ob zlivanju lahkih jeder v težja. Ko so prve zvezde po nekaj sto milijonih let oddale večino svoje energije in s tem postale nestabilne, jih je razneslo po vesolju. Od tedaj je na razpolago tudi kisik, ki se lahko skupaj z vodikom spoji v vodo. Do danes smo odkrili vodo že na številnih objektih v vesolju, pri čemer je zanimivo, da se voda med seboj razlikuje.

Tudi popolnoma čista voda ima svoj »podpis«, ki ga znanstveniki imenujejo izotopsko razmerje. Obstajajo namreč različni izotopi elementov, ki se med seboj razlikujejo po številu nevtronov v atomskem jedru. Tako poznamo tudi različne izotope vodika. Poleg navadnega vodika (H) obstaja tudi težek vodik oziroma devterij (D), ki ju oba najdemo vezana v vodi v molekulah H₂O in D₂O. V vodi se torej nahaja tudi majhen delež težke vode (D₂O). Z uporabo masnega spektrometra lahko v vodi določimo izotopsko razmerje (D/H), na podlagi katerega ugotavljamo, na katerih objektih v vesolju je lahko voda istega izvora.

V nadaljevanju predstavimo, kje vse v vesolju smo že odkrili vodo, kolikšno je njeno razmerje (D/H) in kaj lahko iz tega sklepamo o nastanku vode na Zemlji. Pri tem se osredotočimo na možnost, da je voda na Zemljo prispela s kometi, meteoriti in asteroidi, ko se je Zemlja že ohladila, ali pa se je ob vročem nastanku Zemlje skrivala v notranjosti planeta.

Voda v vesolju

Danes vemo, da voda ni prisotna samo na Zemlji, ampak se v različnih oblikah nahaja tudi drugje v

vesolju. Najdemo jo lahko na drugih planetih našega osončja, njihovih lunah, kometih, asteroidih in tudi planetih izven našega osončja. Pri tem velja omeniti, da voda na površini majhnih objektov dolgoročno ne more obstajati v tekoči ali plinasti obliki. Molekule vode v tem primeru zaradi majhne gravitacije pobegnejo v vesolje. To se zgodi zaradi večje povprečne hitrosti molekul, ki jo določata temperatura in molekulska masa, v primerjavi z ubežno hitrostjo molekul, ki je odvisna od gravitacijskega privlaka objekta. Voda je na teh objektih v obliki ledu, pri čemer nizke temperature znižujejo povprečno hitrost molekul, lahko je tudi tekoča pod površjem ali pa vezana v mineralih v obliki hidroksilne skupine (OH), kot je to tudi v notranjosti Zemlje, kar podrobneje opišemo v nadaljevanju.

Planeti in lune v osončju

Veliko je govora o vodi na Marsu, za kar imamo tudi precej dokazov. Vozilo Opportunity [2], ki je raziskovalo Mars od leta 2003 do 2019, je zbralo trdne dokaze, da so v preteklosti bila na Marsu velika območja tekoče vode [3]. Tekočo vodo lahko zasledimo na Marsu še danes kljub temu, da se je Mars že precej ohladil. Mars je namreč planet bogat s kalcijem, magnezijem in natrijevimi solmi, ki vodi znižujejo točko zmrzišča. Leta 2015 so tudi odkrili, da v poletnih mesecih na Marsovem površju lahko teče tekoča voda [4], ki je veliko bolj slana kot v oceanih na Zemlji. Omenimo še leta 2018 odkrito jezero pod površjem s tekočo vodo, ki so ga odkrili na podlagi radarskih meritev sonde Mars Express [5]. Na južnem ledenem polu Marsa so pod trdim ledom namreč zaznali okoli 20 km široko jezero tekoče vode [6].

Vodo najdemo tudi na drugih planetih in njihovih lunah. Tako so znanstveniki s pomočjo posnetkov vesoljske sonde Cassini, ki se je julija 2005 pomikala mimo južnega pola zamrznjene Saturnove lune Enkelad (Enceladus) [7], odkrili vodo, ki v gejzirskih izbruhih brizga na površje [8,9]. Tudi na naši Luni so odkrili prisotnost vode. To so potrdili na podlagi magmatskih procesov, ki so se dogajali v preteklosti [10,11] in s trkom satelita ob krater Cabeus, pri

čemmer je eksplozija vrgla v zrak veliko količino zamrznjene vode [12].

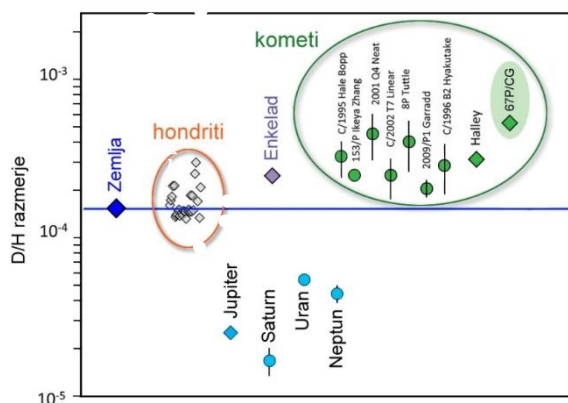
Kometi in asteroidi

Poleg planetov in njihovih lun smo vodo v našem osončju našli tudi na kometih in asteroidih. Raziskovanje vode na teh objektih ima še posebej velik pomen, saj se ti objekti omenjajo kot vir vode na Zemlji. Če je Zemlja med vročim burnim nastankom izgubila vodo, so jo kasneje v milijonih let prinesli kometi in asteroidi, ki so padali nanjo. Še danes z vesolja prileti okoli 30 tisoč ton vesoljskih smeti na leto, v preteklosti pa je bilo tega še več.

Del odgovora na to ali je prišla voda s kometov, smo dobili na podlagi podatkov vesoljske sonde Rosetta [13], ki je proučevala komet 67P/Churyumov-Gerasimenko. Rosetta je leta 2014 na komet spustila sondo Philae. Del misije, ki se je ukvarjal z vodo na kometu, je vodila švicarska raziskovalka iz univerze v Bernu, Katrin Altwegg. Merili so razmerje med devterijem in vodikom (D/H) v vodni pari okoli kometu. Meritve so bile izvedene z uporabo masnega spektrometra, pri čemer so ugotovili, da je razmerje D/H približno 3-krat večje kot v vodi na Zemlji (glej sliko 1) [14, 15]. To ni bil prvi komet, na katerem so analizirali vodo. Na sliki 1 vidimo razmerje D/H tudi za nekaj drugih kometov. Iz podatkov lahko razberemo, da je izotopsko razmerje med težko in lahko vodo na vseh kometih večje kot na Zemlji. Katrin Altwegg poudarja, da to najverjetneje pomeni, da je voda na kometih nastala pri zelo nizkih temperaturah in da gre verjetno za snov iz zelo zgodnjega obdobja našega osončja, na podlagi katere lahko ugotavljamo, kakšno je bilo naše osončje pred 4,6 milijarde let [15]. Pri tem ocenjujejo, da je zelo majhna verjetnost, da je voda na Zemljo prišla s kometov. Koncentracija žlahtnih plinov na kometih in v zemeljski atmosferi kaže, da je le okoli en odstotek vse vode na Zemljo prišel s kometov. Lahko pa je raznolika organska kemija, ki so jo zasledili na kometih, prispevala k življenju na Zemlji [15].

Za razliko od kometov so razmere na asteroidih nekoliko drugačne. Te lahko preučujemo s pomočjo hondritov [16]. Hondrit je kamnit meteorit, ki se ni spremenil s taljenjem ali razslojevanjem telesa

(asteroida) iz katerega je nastal. Oblikoval se je iz prahu in manjših zrn, ki so bila prisotna že med nastajanjem osončja ob kreiranju asteroidov. Iz slike 1 vidimo, da je razmerje D/H na hondritih precej bolj podobno razmerju na Zemlji [17]. Vodo na Zemljo bi tako lahko prinesli asteroidi, vendar bi potrebovali izjemno veliko trkov asteroidov (več kot 10 milijonov trkov), kar težko povežemo z zgodovino našega planeta. Strokovnjaki ocenjujejo, da je delež vode na Zemlji, ki je prišel iz asteroidov, okoli 10 % [18].



Slika 1: Razmerje D/H za različne objekte osončja. Diamanti predstavljajo podatke, dobljene z meritvami masne spektrometrije; krogi pa podatke, pridobljene z raznimi astronomskimi metodami [14].

Eksoplaneti

Vodo smo odkrili tudi že izven našega osončja na planetih, ki krožijo okoli drugih zvezd. Do danes smo odkrili že več ko 4000 eksoplanetov [19], med katerimi nas z vidika razvoja življenja vse bolj zanimajo tisti, na katerih razmere dopuščajo, da se na njih nahaja voda v tekočem stanju. Enega izmed prvih dokazov o prisotnosti vode na teh planetih je leta 2007 potrdil Travis Barman, ki je na podlagi meritev Hubblovega vesoljskega teleskopa in teoretičnih modelov našel dokaze o vodi v atmosferi planeta HD 209458 b [20]. Tudi pred kratkim so poročali, da so v ozračju planeta K2-18b odkrili vodno paro [21]. Planet so odkrili že leta 2015 s teleskopom Kepler in je eden od nekaj sto planetov, ki spadajo v kategorijo superzemlje. Znanstveniki verjamejo, da je to prvi v nizu mnogih potencialno naseljivih planetov, ki jih bodo v prihodnosti

odkrivali s pomočjo nove generacije teleskopov, kot je vesoljski teleskop James Webb, katerega izstrelitev načrtujejo za leto 2021 [22].

Voda na Zemlji

Voda pokriva večino zemeljskega površja in je pomembna za vse življenjske sisteme na Zemlji. Poleg energijskega vira velja tekoča voda za najpomembnejšo sestavino življenja. Danes vemo, da voda na Zemlji ne obstaja samo na površju in v obliki H₂O, temveč je na Zemlji tudi ogromno vode vezane v mineralih pod zemeljskim površjem. Da so pod zemeljskim površjem ogromne zaloge vode, pričajo velika podzemna območja mineralov, ki vsebujejo vodo. Voda je v teh mineralih vezana v obliki hidroksilne skupine (OH), ki se vgrajuje v osnovne celice kristalne strukture nekaterih mineralov. S taljenjem teh mineralov nato dobimo osnovne gradnike za nastanek molekule H₂O. Takšne velike podzemne rezervoarje vode so našli na primer v Braziliji. Na globini 410 km – 660 km so našli velikanska polja minerala Ringwoodit [23]. Pokazali so, da relativni masni delež vode v tem mineralu lahko doseže okoli 2 %, pri določenih pogojih tudi do 3 % [24, 25]. Z meritvijo potresnih valov so te minerale 700 km pod površjem odkrili tudi v severni Ameriki [26]. Kot kaže, so prisotni na različnih mestih in predstavljajo velike zaloge podzemne vode. Izračuni kažejo, da je zaradi velikih prostornin mineralov, ki vsebujejo vodo, v notranjosti Zemlje celo več vode kot na površju [27]. Ta voda se lahko z vodo v plitvem vodnem krogu preko vulkanov tudi izmenjuje [28]. V zemeljskem plašču snovi namreč krožijo. Vroči del se dviga proti površju, hladnejši pa tone. Pri tem se minerali z vodo (Ringwoodit) premaknejo drugam, kjer iz njih zaradi spremenjenih pogojev nastanejo drugi minerali, ki ne morejo vsebovati toliko vode in jo s tem izločijo. V plašču so torej območja magme nasičene z vodo, ki lahko preko vulkanov preide tudi na površje.

Dejstvo, da je veliko vode vezane v minerale pod zemeljsko površino, priča o tem, da je voda obstajala na Zemlji že od vsega začetka njenega nastanka. Pri tem se poraja vprašanje, kako je lahko voda ostala na Zemlji med njenim vročim

nastankom. Zaradi visokih temperatur bi namreč lahko izparela, pri čemer bi jo v vesolje odnesel sončev veter. Znanstveniki so na podlagi matematičnih modelov uspeli pokazati, da je voda lahko vezana na zrna mineralov do temperature več kot 600 °C, kar je dovolj, da se je uspela zadržati na Zemlji med njenim vročim nastajanjem [29]. Tako znanstveniki danes menijo, da ima voda na Zemlji različne izvore. Kot smo že omenili, so strokovnjaki na podlagi izotopskega razmerja (D/H) ugotovili, da so kometi prispevali okoli 1 % vode na Zemlji, asteroidi in meteoriti okoli 10 %, ostala voda pa prihaja iz notranjosti našega planeta [18].

Zaključek

V prispevku smo predstavili raziskave, ki potrjujejo, da je voda v vesolju pogosto prisotna. Na podlagi izotopskega razmerja vodika v vodi lahko tudi določamo vir vode na Zemlji. Kot kaže, je voda prišla na Zemljo preko kometov in asteroidov v manjšem deležu, medtem ko je večina vode bila na Zemlji že ob njenem nastanku. Kljub visokim temperaturam in negostoljubnemu površju se je voda uspela vezati v različne minerale in globoko pod površjem zadržati do današnjih hladnejših dni. Glede na to, da je voda v vesolju pogosto prisotna in je na Zemlji obstajala že od samega začetka, lahko upravičeno sklepamo, da je podobno še na mnogih drugih planetih v vesolju. To nam daje veliko večje možnosti za uspeh pri iskanju planetov s tekočo vodo na površju. Že danes smo namreč odkrili številne planete, na katerih razmere omogočajo, da bi se lahko na njihovem površju nahajala voda v tekočem stanju. Z razvojem tehnologij bomo v prihodnje na tem področju še uspešnejši. Danes že odkrivamo nove planete z vesoljskim teleskopom TESS [29], ki nadaljuje uspešno delo Keplerjevega teleskopa, v prihodnje pa si lahko veliko obetamo od vesoljskega teleskopa James Webb [22] in evropskega ekstremno velikega teleskopa (E-ELT) [30], ki sta v izgradnji ter bosta v nekaj letih pričela z opazovanjem vesolja.

Viri

1. Astrobiology Strategy. NASA. Pridobljeno 15. 10. 2019 s strani:

<https://astrobiology.nasa.gov/research/astrobiology-at-nasa/astrobiology-strategy/>

2. Mars Exploration Rovers. NASA. Pridobljeno 15. 10. 2019 s strani:

<https://mars.jpl.nasa.gov/mer/index.cfm>

3. Top Science Results. Finding Signs of Water and Conditions for Life! Mars Exploration Rovers. NASA. Pridobljeno 15. 10. 2019 s strani: <https://mars.jpl.nasa.gov/mer/mission/science/results/>

4. L. Ojha, idr. (2015). Spectral evidence for hydrated salts in recurring slope lineae on Mars. *Nature Geoscience*. 8 (8): 829–832.

5. Mars Express. ESA. Pridobljeno 15. 10. 2019 s strani: <https://sci.esa.int/web/mars-express>

6. R. Orosei, idr. (2018). Radar evidence of subglacial liquid water on Mars, *Science*: Vol. 361, Issue 6401, pp. 490–493.

7. Enkelad. Wikipedija. Pridobljeno 15. 10. 2019 s strani: <https://en.wikipedia.org/wiki/Enceladus>

8. J. R. Spencer in F. Nimmo (2013). Enceladus: An Active Ice World in the Saturn System. *Annual Rev. of Earth and Planetary Sciences*. 41: 693–717.

9. P. Dyches, idr. (2014). Cassini Spacecraft Reveals 101 Geysers and More on Icy Saturn Moon. *NASA/JPL*. Retrieved July 29, 2014.

10. H. Hui, idr. (2013). Water in lunar anorthosites and evidence for a wet early Moon. *Nature geoscience*. 177–180.

11. R. E. Milliken in S. Li. (2017). Remote detection of widespread indigenous water in lunar pyroclastic deposits. *Nature Geoscience*, vol. 10, p. 561–565.

12. A. Colaprete, idr. (2010). Detection of Water in the LCROSS Ejecta Plume. *Science*. Vol. 330, Issue 6003, pp. 463–468.

13. Rosetta. ESA. Pridobljeno 15. 10. 2019 s strani: <https://sci.esa.int/web/rosetta>

14. Altwegg, K. (2014). 67P/Churyumov-Gerasimenko, a Jupiter family comet with a high D/H ratio. *Science*. 10 Dec 2014: 1261952.

15. K. Altwegg, H. Balsiger in S. A. Fuselier. (2019). Cometary Chemistry and the Origin of Icy Solar System Bodies: The View After Rosetta. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 57:113–55.

16. Hondrit. Wikipedija. Pridobljeno 15. 10. 2019: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Hondrit>.

17. Alexander CM. et al. (2012). The Provenances of Asteroids, and Their Contributions to the Volatile Inventories of the Terrestrial Planets. *Science*. 2012 Aug 10;337(6095):721–3.

18. Od kod je na Zemljo prišla voda? Frekvenca X, Val 202 (2017). Pridobljeno 15. 10. 2019 s strani:

<https://podcasti.si/frekvenca-x/ep/od-kod-je-na-zemljo-prisla-voda/>.

19. Eksoplaneti. NASA. Pridobljeno 15. 10. 2019 s strani: <https://exoplanets.nasa.gov/>.

20. T. S. Barman. (2007). Identification of Absorption Features in an Extrasolar Planet Atmosphere. *Astrophys. J.* 661:L191-L194.

21. A. Tsaras, idr. (2019). Water vapour in the atmosphere of the habitable-zone eight-Earth-mass planet K2-18 b. *Nature astronomy. Letter*, September 2019.

22. James Webb space telescope, Goddard Space Flight Center. NASA. Pridobljeno 15. 10. 2019 s strani: <https://www.jwst.nasa.gov/>.

23. D. G. Pearson, idr. (2014). Hydrous mantle transition zone indicated by ringwoodite included within diamond. *Nature*. Volume 507, pages 221–224.

24. H. Fei, idr. (2017). A nearly water-saturated mantle transition zone inferred from mineral viscosity, *Sci. Adv.* 2017;3: e1603024.

25. Y. Yu, idr. (2012). Compressibility and thermal expansion of hydrous ringwoodite with 2.5(3) wt%

H₂O. *American Mineralogist*, Volume 97, pages 573–582.

26. B. Schmandt, idr. (2014) Dehydration melting at the top of the lower mantle. *SCIENCE sciencemag.org*. Vol.344 ISSUE 6189.

27. B. Yirka. (2017). Study suggests mid-mantle holds as much water as Earth's oceans. *Phys.org*. Pridobljeno 15. 10. 2019 s strani: <https://phys.org/news/2017-06-mid-mantle-earth-oceans.html>.

28 M. Brenčič. (2012). Bilanca vode na Zemlji. Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko. Pridobljeno 15. 10. 2019 s strani: http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2013/SZGG_2012_Brencic.pdf.

29. N. H. Leeuw. (2010). Where on Earth has our water come from? *Chem. Commun.*, 46, 8923–8925.

30. TESS - The Transiting Exoplanet Survey Satellite, MIT, CFA, NASA. Pridobljeno 15. 10. 2019 s strani: <https://tess.mit.edu/>.

31. ELT - Extremely large telescopes, ESO. Pridobljeno 15. 10. 2019 s strani: <https://www.eso.org/public/teles-instr/elt/>.

VODNIKOVO LETO

Marijan Prosen

Uvod

V Sloveniji so leto 2019 proglasili za Vodnikovo leto. V tem letu se spominjamo dvestote obletnice smrti pesnika, jezikoslovca, časnikarja, ... Valentina Vodnika. Bil je izjemno zaslužen za uvedbo slovenščine v šolo v času Ilirskih provinc. Je avtor prve slovenske pesniške zbirke. Izdajal in urejal je tudi koledarje z naslovom *Velika pratika in Mala pratika*. Mediji, posebno slovenski literati in jezikoslovci so se na široko razpisali o delu V. Vodnika, kaj vse da je bil in koliko različnih opravil je v svojem življenju uspešno opravil, o čemer večina Slovencev bore malo ve. Zares je bil zelo delaven in sposoben. Še celo v astronomijo je kot novinar pokukal in zapustil pomembno sled. Napisal je namreč prvi slovenski astronomski poljudni članek (poročilo) o daljnogledskem opazovanju Venere.

Kdaj so naši predniki začeli svoja astronomska opazovanja prvič zapisovati v slovenščini? Ali, kdaj je bil napisan prvi slovenski astronomski članek in kdo ga je napisal?

Poglejmo nekoliko v zgodovino naše astronomije. Perlah, Strauss, Kobav, Hallerstein, J. K. Schoettl, itn. niso pisali slovensko, ampak latinsko. Potem je nemščina polagoma izrivala latinščino in Vega je že pisal v nemščini. Slovenščina je ponižno čakala na svojo priložnost. In ta je prišla.

Prvi slovensko napisani članek iz astronomije je napisal V. Vodnik. Objavil ga je v *Lublanskih Novicah*, ki jih je urejeval in so izhajale od januarja 1797 do decembra 1800. Poročal je o opazovanju Venere v družbi s strokovnjaki kakor tudi v družbi navadnih Ljubljančanov. Opazoval jo je s teleskopom, ki je bil izdelan v Londonu. Imenoval ga je *svesdno gledalo* (najbrž je bil reflektor). A se to ime za teleskop pri nas ni udomačilo. Vodnikov astronomski spis je tako

zanimiv, da ga velja v celoti prebrati (spodaj). Vodnik v članku Venero imenuje Vesherniza ali Venus. Omenja tudi ime Daniza za Venero.

Šele po 45-tih letih je višnjegorski župnik Janez Cigler (1792–1869), pisec prve slovenske povesti *Sreča v nesreči* (1836), napisal drugi slovenski poljudni astronomski članek z naslovom *Luna*. Izšel je leta 1843 v prvem letu izhajanja Bleiweisovih *Novic*. Vmes so pri nas izhajali le nemški astronomski teksti v časopisih *Carniolia* in *Illyrisches Blatt*.

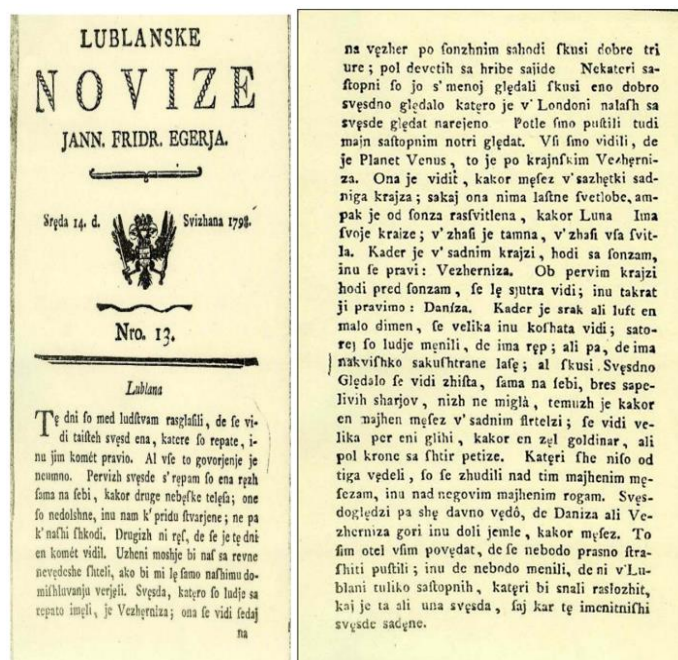
Ta, Vodnikov članek je sicer res prvi poljudni slovenski astronomski članek (op.: težko bo odkriti bolj zgodnega), vendar pa je kapucin, oče Hipolit Novomeški, s pravim imenom Adam Gaiger (1667–1722), že leta 1711 v svojem trijezičnem slovarju *Dictionarium trilingue* prvič zapisal nekaj pomembnejših slovenskih astronomskih izrazov in jih strokovno obravnaval. Ni pa napisal prvega slovenskega astronomskega članka. Ta je prišel na vrsto ob koncu 18. stoletja, leta 1798, napisal pa ga je prav V. Vodnik (stanje: začetek leta 2019).

Pomembni dodatek

V slovenščini napisani članki iz astronomije so se številčneje začeli pojavljati šele po revolucionarnem letu 1848 (najbolj v *Novicah* in večinoma s prispevki M. V(e)rtovca in V. Ogrinca) in so proti koncu 19. stoletja skoraj popolnoma izrinili nemške. Vsi članki so bili napisani poljudno. Strokovni in znanstveni slovenski astronomski članki so nastali šele po drugi svetovni vojni. Danes je slovenščina glede astronomskega izrazoslovja in obravnavanja najrazličnejših astronomskih vsebin na strokovnem in znanstvenem nivoju povsem enakovredna ali enakovredna svetovnim jezikom, v določenih primerih pa je izrazno še celo natančnejša kot marsikateri od slovenščine svetovno bolj priznani jezik.

Viri

1. V. Vodnik, [O repatici], *Lublanske novice*, 2, 1798, 13.
2. St. Južnič in M. Prosen, *Astronomija na Slovenskem in slovenski astronomi na tujem (12.-21. stoletje)*, Didakta, Radovljica 2007, 139.



Slika 1: prvi slovenski poljudni astronomski članek, ki je izšel v sredo, 14. 2. 1798, v Lublanskih novicah.

PARADOKS DVOJČKOV

pom. akad. dr. Eva Klemenčič in pom. akad. dr. Mitja Slavinec

Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru

Uvod

Paradoks dvojčkov je miselni eksperiment v posebni teoriji relativnosti. Eden od dvojčkov se odpravi na potovanje po vesolju, pri čemer potuje s hitrostjo primerljivi svetlobni. Ko se vrne, opazimo, da je dvojček, ki je ostal na Zemlji, starejši. Slednje razložimo z relativističnim podaljšanjem časa. Do paradoksa lahko pride, če dogodek obravnavamo tudi z vidika dvojčka, ki je potoval po vesolju. Ta dvojček namreč vidi drugega v relativnem gibanju glede sebe in sebe v mirovanju. Ob napačni uporabi konceptov relativnosti, vsak od dvojčkov meni, da je sam starejši. V članku si bomo ogledali, kako pristopiti k reševanju problema dvojčkov in pokazali, kateri od dvojčkov se res bolj postara.

Lorentzova transformacija

Neskladja Newtonove mehanike in Maxwellovih enačb elektromagnetnega polja so vodila Alberta Einsteina v razvoj posebne teorije relativnosti, ki jo je objavil leta 1905. Posebna teorija relativnosti je osnovana na dveh postulatih [1]:

1. v vseh inercialnih (ne pospešenih) opazovalnih sistemih so fizikalni zakoni enaki,
2. svetlobna hitrost v vakuumu je enaka za vse opazovalce, ne glede na gibanje vira svetlobe ali opazovalca.

Iz teorije relativnosti sledijo številna spoznanja, med drugim tudi, da čas ni absoluten ampak je odvisen od gibanja v štirirazsežnem prostor-času. Če se hitrost gibanja povečuje, se čas podaljšuje, kar imenujemo tudi dilatacija časa. Slednje je teoretično obravnaval Hendrik Lorentz, ki je izpeljal enačbe za transformacijo med dvema inercialnima opazovalnima sistemoma, pri čemer se en sistem glede na drugega giblje s hitrostjo primerljivo svetlobni (c).

Naj se v našem primeru opazovalni sistem $S^{(B)}$ giblje glede na opazovalni sistem $S^{(A)}$ s hitrostjo $v \lesssim c$ v smeri x -osi. Lorentzova transformacija poda

zvezo med časom v $S^{(A)}$ in $S^{(B)}$ in x komponento $S^{(A)}$ in $S^{(B)}$:

$$t^{(B)} = \left(t^{(A)} - \frac{v}{c^2} x^{(A)} \right) \gamma, \quad (1)$$

$$x^{(B)} = \left(x^{(A)} - vt^{(A)} \right) \gamma, \quad (2)$$

pri čemer je γ Lorentzov faktor in je po definiciji:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3)$$

Za mirujoč opazovalni sistem $S^{(A)}$, se $x^{(A)}$ ne spreminja. Ker je $\gamma > 1$, iz enačbe (1) sledi, da se je v $S^{(B)}$ čas podaljšal. Slednje pomeni, da čas teče počasneje v gibajočem se opazovalnem sistemu. Težava nastopi, ker se lahko vsak opazovalec postavi v stacionaren opazovalni sistem.

Obstaja več pristopov za reševanje paradoksa dvojčkov [2,3]. V nadaljevanju si pogledjmo, kako se lahko lotimo reševanja.

Podaljšanje časa in krčenje dolžin

Vzemimo na primer, da se en od dvojčkov odpravi na potovanje z vesoljsko ladjo proti nebesnemu telesu, ki je od Zemlje oddaljeno $d = 3$ sv.l., in nazaj. V opazovalnem sistemu dvojčka na Zemlji $S^{(A)}$ se giblje dvojček, ki potuje po vesolju. Tekom potovanja se hitrost vesoljske ladje ne spreminja in je konstantno enaka $v = 0,6 c$, pri čemer smo zanemarili pospeševanje na začetku in zaviranje na koncu potovanja. Za dvojčka, ki je ostal na Zemlji, bo potovanje vesoljske ladje proti nebesnemu telesu in nazaj trajalo 10 let:

$$t = \frac{2 \cdot d}{v} = \frac{2 \cdot c \cdot 1 \text{ leto}}{0,6c} = 10 \text{ let.} \quad (4)$$

Zaradi podaljšanja časa po enačbi (1) izračunamo, da bi eno leto na Zemlji trajalo 1,25 let na vesoljski ladji. Po desetih letih na Zemlji bi na vesoljski ladji tako preteklo le 8 let. Slednje pomeni, da je dvojček, ki je potoval po vesolju, dve leti mlajši od dvojčka, ki je ostal na Zemlji.

Po drugi strani se za opazovalca v $S^{(B)}$ giblje opazovalni sistem $S^{(A)}$, med tem ko sam miruje. Posledično se opazovalcu v $S^{(B)}$ zdi, da teče čas

počasneje v $S^{(A)}$. Dvojček v vesolju sam sebe vidi v mirujočem opazovalnem sistemu, relativno glede na vesoljsko ladjo pa se gibljejo Zemlja in druga nebesna telesa. Po enačbi (2) izračunamo krčenje razdalje med Zemljo in nebesnim telesom, ki znaša 2,4 svetlobnih let. S hitrostjo $v = 0,6c$ bo potovanje v obeh smereh trajalo 8 let za dvojčka v vesolju:

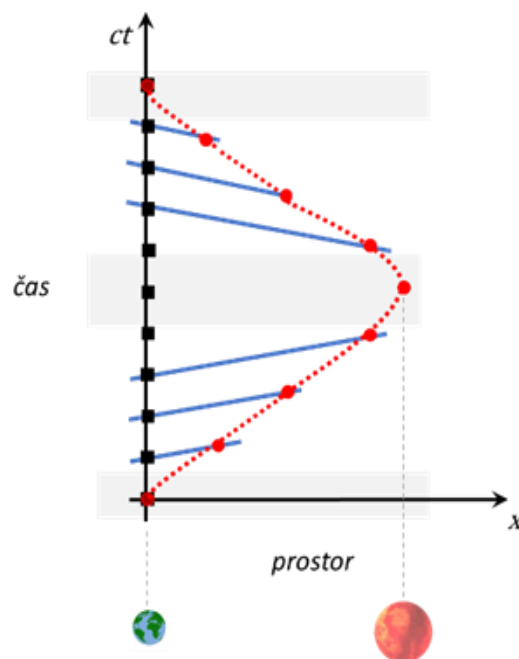
$$t' = \frac{2 \cdot d'}{v} = \frac{2 \cdot 2,4 \text{ sv.let}}{0,6c} = \frac{2 \cdot 2,4 \text{ c let}}{0,6c} = 8 \text{ let.} \quad (5)$$

Opazovalni sistemi

Poglejmo si podrobneje opazovalni sistem obeh dvojčkov. Dvojček, ki ostane na Zemlji, se ves čas nahaja v istem opazovalnem sistemu. Dogodke si lahko predstavimo v diagramu prostor-časa, kjer vsaka točka pripada dogodku, ki mu pripišemo čas in prostor [4]. Gibanje dvojčka na Zemlji v diagramu prostor-časa prikažemo s črnimi kvadrati (slika 1). Opazovalni sistem dvojčka, ki se odpravi na potovanje po vesolju, se najprej oddaljuje od Zemlje s hitrostjo $v = 0,6c$, nakar se smer gibanja spremeni in se z enako hitrostjo približuje Zemlji. V trenutku, ko vesoljsko plovilo spremeni smer gibanja, se spremeni opazovalni sistem. Pozicijo potujočega dvojčka v diagramu prostor-časa dvojčka na Zemlji prikažemo z rdečimi krožci. Z modrimi črtami so povezane točke v diagramu prostor časa, ki se zgodijo istočasno.

V nadaljevanju zanemarimo pospešeno gibanje vesoljske ladje. Za obravnavo brez pospeškov, si pogledimo samo prvo polovico poti, da izključimo pospešek zaradi spremembe smeri gibanja, vesoljska ladja pa naj se enakomerno giblje po vesolju že pred srečanjem z Zemljo. Iz diagrama prostor-časa (slika 2) opazimo, da za dvojčka na Zemlji preteče 5 let od trenutka srečanja z vesoljsko ladjo do trenutka, ko vesoljska ladja prispe do nebesnega telesa. Kot pričakovano je slednje točno polovica od rezultata, ki smo ga dobili pri izračunu po enačbi (4), saj opazujemo le prvo polovico potovanja. Iz diagrama (slika 2) razberemo, da v tem času za dvojčka na vesoljski ladji pretečejo 4 leta, kar je ponovno točno polovica izračunu po enačbi (5). Za opis druge polovice poti potrebujemo drug opazovalni sistem za vesoljsko ladjo, ki se bo približeval opazovalnemu sistemu dvojčka na Zemlji

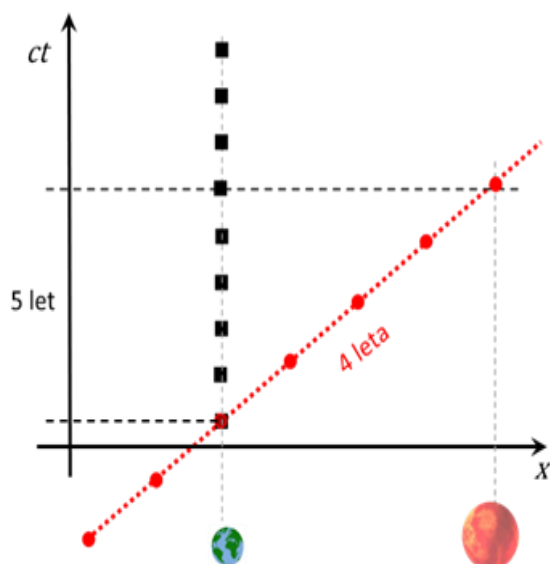
(ali obratno opazovalni sistem, kateremu se približuje opazovalni sistem dvojčka na Zemlji).



Slika 1: Diagram prostor-časa z vidika dvojčka na Zemlji. Dogodki dvojčka na Zemlji so predstavljeni s črnimi kvadrati, za dvojčka, ki potuje po vesolju, pa z rdečimi krožci. Modre črte povezujejo istočasne dogodke, sivo obarvana področja pa prikazujejo območje, kjer je gibanje pospešeno.

Da dva opazovalca lahko izmerita čas, ki preteče med potovanjem, si morata deliti dva dogodka (začetek in konec). V primeru, ko želimo potovanje predstaviti z vidika dvojčka v vesoljski ladji, imamo le en skupni dogodek na začetku. Le dvojček v vesoljski ladji se »sreča« z nebesnim telesom.

Težava pri relativnem gibanju dveh opazovalcev je v sočasnosti dogodkov. Opazovalca se v splošnem ne strinjata, če se dva dogodka zgodita istočasno ali ne. Trditvi obeh opazovalcev sta enakovredni in pravilni. Do podobne situacije pride pri Dopplerjevem pojavu, kjer dva opazovalca, ki sta v relativnem gibanju, izmerita različni frekvenci za enako valovanje, vendar sta obe meritvi pravilni. Sočasnost dogodkov je relativno in je odvisen od gibanja opazovalcev [4].



Slika 2: Diagram prostor-časa v primeru enakomernega gibanja. Vesoljska ladja se giblje enakomerno in za pot od Zemlje do nebesnega telesa potrebuje 4 leta. V tem času na Zemlji preteče 5 let.

Zaključek

V članku smo si ogledali, kako pristopiti k reševanju paradoksa dvojčka v okviru posebne teorije relativnosti, pri čemer upoštevamo nepospešene opazovalne sisteme. Pokazali smo, da bi se dvojček, ki potuje po vesolju v resnici staral počasneje in bi ob povratku na Zemljo bil mlajši. Pri tem pa se je potrebno zavedati, da so pri potovanju po vesolju z $v \lesssim c$ počasnejši vsi biološki procesi. Tako bi potnik v vesolju poleg počasnejšega staranja počasneje tudi razmišljal in se premikal, kar pomeni, da

podaljšanja časa ne bi mogel izkoristiti. Kot zanimivost naj še povemo, da so podaljšanje časa eksperimentalno izmerili že leta 1971, ko so primerjali čas cezijevih atomskih ur pri letu okrog Zemlje s časom cezijevih atomskih ur, ki so ostale v laboratoriju [5]. Pokazali so, da se je čas res podaljšal, čeprav le za približno 10^{-9} s, kar je v skladu s pričakovanji s teoretičnimi rezultati teorije relativnosti [6]. V zadnji letih z razvojem merilnih naprav in metod ter posledično izboljšanjem natančnosti prihaja do novih eksperimentalnih dokazov podaljšanja časa in potrditev teorije relativnosti [7].

Viri

- [1] J. Strnad, Fizika 3, DMFA.
- [2] R.C.Lasky, How does relativity theory resolve the Twin Paradox? Scientific American Inc. 2003.
- [3] The Science Asylum, *Twins paradox: The Complete explanation*, 2018.
- [4] D.Halliday, R.Resnick, J.Walker, *Fundamentals of Physics, 8th edition* (John Wiley & Sons, Hoboken, 2008).
- [5] J.C. Hafele, R.E.Keating, Around-the-World Atomic Clocks: Observed Relativistic Time Gains. *Science* 177 (4044), 168-170 (1972).
- [6] J.C. Hafele, R.E.Keating, Around-the-World Atomic Clocks: Predicted Relativistic Time Gains. *Science* 177 (4044), 116-168 (1972).
- [7] C.W.Chou, D.B.Hume, T.Rosenbad, D.J.Wineland, Optical Clocks and Relativity, *Science* 329, 1630-1632 (2010).

NOBELOVA NAGRADA ZA FIZIKO 2019

doc. dr. Milan Ambrožič in pom. akad. dr. Mitja Slavinec
Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru

Uvod

Prejemniki letošnje Nobelove nagrade za fiziko so bili James Peebles z univerze Princeton University (prva polovica nagrade) ter Michel Mayor in Didier Queloz z Univerze v Ženevi (druga polovica skupaj). Nagrada je bila podeljena za ključne prispevke k našemu razumevanju razvoja vesolja in mesta Zemlje v njem [1]. Ti raziskovalci so delali na različnih področjih kozmologije in astronomije, tako da je Peebles prejel nagrado za teoretična odkritja v fizikalni kozmologiji, Mayor in Queloz pa za prvo odkritje eksoplaneta, to je planeta v orbiti okrog Soncu podobne zvezde. Teoretično delo Peeblesa, predvsem 1960-tih letih, je bilo namreč osnova za preboj v kozmologiji, to je, za njen razvoj v teoretično in eksperimentalno podprto fizikalno vedo. Mayor in Queloz sta konec leta 1994 z izpopolnjeno opazovalno opremo na osnovi spektralne analize svetlobe in Dopplerjevega efekta odkrila masivni planet v orbiti okrog zvezde 51 Pegasi v ozvezdju Pegaz.

Veliki pok

Razvoj vesolja po velikem poku (VP) ali prapoku in posebej vpliv gravitacije nanj lahko razložimo v okviru splošne relativnostne teorije (SRT), ki jo je razvil Albert Einstein in objavil leta 1915 [2–4]. Zanimivo je, da je idejo o VP med prvimi izrazil ameriški pisatelj Edgar Allan Poe v epu *Eureka*: pisal je o eksploziji prvobitnega delca. To naj bi razložilo dilemo nemškega astronoma Heinricha Wilhelma Olbersa, zakaj je nebo videti temno. Če bi bilo vesolje statično in neskončno, bi bilo nebo v celoti obsijano s svetlobo zvezd. Prvo matematično teorijo širjenja vesolja v okviru SRT je leta 1922 izdelal ruski matematik in kozmolog Aleksander Friedman in jo dalje razvil leta 1924. Malo pozneje sta se s tem ukvarjala tudi belgijski katoliški duhovnik in astronom Georges Lemaître in švedski astronom Knut Lundmark. Einstein je nasprotno verjel v

statično vesolje, da pa bi ga lahko razložil, je v svojih enačbah vključil tudi kozmološko konstanto, ki je bila v skladu s teorijo.

Prvi resni preboj v kozmološki teoriji VP je bilo odkritje, da se oddaljene galaksije na splošno oddaljujejo od nas, torej da se vesolje res širi. Edwin Hubble je leta 1929 z opazovanjem rdečega premika valovnih dolžin v spektrih oddaljenih galaksij (Dopplerjev efekt) ugotovil, da je radialna hitrost v njihovega oddaljevanja od nas sorazmerna od njihove oddaljenosti r : $v = H r$. Pri tem je H Hubblova konstanta, njeno današnjo vrednost pa ocenjujejo na $(73,5 \pm 3,2)$ (km/s)/Mpc [4, 5]. Seveda omenjena enačba ne pomeni vrnitev k geocentričnemu pogledu na svet, saj ni neke središčne točke tega vesolja. Enota Mpc (megaparsek) je milijonkrat večja od enote pc (parsek), ki je poleg svetlobnega leta (sv. l.) pogosto uporabljena dolžinska enota v astronomiji in kozmologiji. Parsek je razdalja, pri kateri vidimo astronomsko enoto (povprečno oddaljenost Zemlje od Sonca, okrog 150 milijonov kilometrov) pod zornim kotom ene ločne sekunde. Račun pokaže: $pc = 3,26$ sv. l. $\approx 3 \cdot 10^{13}$ km. Zavedati se moramo, da kljub imenu Hubblova konstanta v resnici ni konstanta, ampak se v kozmološkem časovnem merilu postopno spreminja. Vendar gre tu obdobje milijard let. Inverzna vrednost Hubblove konstante ima namreč časovno enoto in nam daje grobo oceno starosti vesolja: okrog 14 milijard let. Znamenita Einsteinova izjava po odkritju širjenja vesolja je bila, da je s svojo uvedbo kozmološke konstante Λ naredil največjo znanstveno napako v svojem življenju. Kot kaže danes, pa je ta konstanta zares različna od nič – več o tem v nadaljevanju. Za prvi kvalitativni vpogled v pogoje širjenja vesolja lahko naredimo klasični račun, brez SRT in brez Λ , kot je to naredil že Friedman. Predpostavimo homogeno, razširjajoče se vesolje s trenutnim polmerom R in trenutno gostoto ρ . Testno telo z maso m pri modelu naj bo ravno na robu, pri

polmeru R . Energija E za telo je sestavljena iz pozitivnega kinetičnega in negativnega gravitacijskega člena. Kakšna bo nadaljnja usoda vesolja, je odvisno od predznaka skupne energije, torej od tega, ali prevladuje kinetična ali pa gravitacijska energija. Za napoved prihodnosti je dovolj preveriti energijo v sedanjem trenutku, ključni faktor pa je gostota ρ . Kritična gostota ρ_c , ko velja $E = 0$, je povezana s Hubblovo konstanto (oboje v današnjem trenutku):

$$\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G} \quad (1)$$

kjer je G gravitacijska konstanta. Osnovno vprašanje je, kolikšna je resnična gostota ρ v primerjavi s kritično gostoto ρ_c . Definirajmo njuno razmerje $\Omega = \rho/\rho_c$. Potem razlikujemo tri možnosti/scenarije:

- Odprto vesolje: $\Omega < 1$, $E > 0$, vesolje se širi v nedogled;
- Zaprto vesolje: $\Omega > 1$, $E < 0$, vesolje se širi do določenega polmera, potem pa se začne spet krčiti;
- Mejni primer (ravno vesolje): $\Omega = 1$, $E = 0$, vesolje se širi v nedogled, vendar počasneje kot v primeru odprtega vesolja.

Kot vidimo, preprosti klasični račun ne dopušča možnosti statičnega vesolja, vsaj ne končnega. Uvedba konstante Λ in račun v okviru SRT sicer omogočata kot rešitev enačb tudi statično vesolje, vendar je rešitev nestabilna. Danes opazovanja kažejo, da je vesolje (približno) ravno, vendar pa je snovi v vesolju, ki jo vidimo, npr. v obliki zvezd, veliko premalo za doseganje kritične gostote. Če namesto z masno gostoto računamo z energijsko gostoto, ugotovimo naslednje: vidna snov prispeva 5 %, temna snov (zaznamo je prek gravitacijskega učinka) 26 %, preostalih 69 % pa temna energija, povezana s Einsteinovo kozmološko konstanto. Obstoje temne snovi je na osnovi študija gibanja galaksij prvi predpostavil Knut Lundmark, nekaj let pozneje pa je prišel do podobnega sklepa Fritz Zwicky. Ena od idej, da so kandidati za temno snov

predvsem nevtrini, se je izkazala za napačno. Zato kaže, da pomeni temna snov nekaj bolj eksotičnega. K nadaljnji stopnji razvoja kozmologije v čvrsto fizikalno teorijo so prispevali v poznih 1940-tih letih raziskovalci Ralph Alpher, Robert Herman in George Gamov z grobim modelom vročega VP. Skušali so pojasniti nastanek elementov, medtem ko sta Evgeny Lifshitz in George Gamov naredila tudi prve korake k razumevanju nastanka galaksij. Na primer, leta 1948 je Gamov ugotovil, da večje strukture v vesolju ne morejo nastati, dokler nista energijski gostoti sevanja in snovi primerljivi; to pa se zgodi pri temperaturi nekaj tisoč kelvinov. V tem času je več raziskovalcev menilo, da se je pri primerni temperaturi sprostilo elektromagnetno valovanje (gl. naslednji razdelek), vendar je redko kdo mislil, da bi ga lahko danes še opazili.

Kozmično mikrovalovno ozadje in nadaljnji teoretični razvoj kozmologije

Po izračunih izvira kozmično mikrovalovno ozadje (KMO, ang. cosmic microwave background, CMB) iz časa okrog 400.000 let po VP. Takrat se je vesolje ohladilo na temperaturo okrog 3.000 K. Ta je bila dovolj nizka, da so se lahko osnovni delci povezali v nevtralne atome (predvsem vodik), ki niso več motili širjenja elektromagnetnega valovanja kot prej električno nabiti delci. To elektromagnetno valovanje kot KMO še danes napolnjuje celotno vesolje, le da se zaradi širjenja vesolja povečuje tudi njegova valovna dolžina, oziroma zmanjšuje temperatura: ta je danes le še okrog 2,7 K. KMO je danes pomembno opazovalno orodje za preverjanje teoretičnih napovedi v kozmologiji.

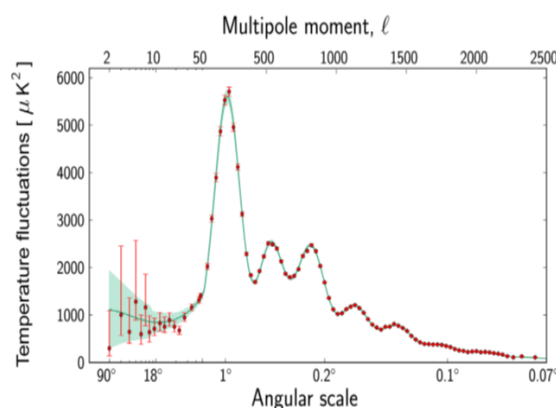
Leta 1965 sta Arno Penzias in Robert Wilson v reviji *The Astrophysical Journal Letters* objavila odkritje KMO in zanj leta 1978 dobila Nobelovo nagrado za fiziko. Odkritje je bilo slučajno in sta ga v začetku raziskovalca imela za motnjo kakega zemeljskega vira. Svojega odkritja sta se zavedla, potem ko sta prišla v stik z ekipo kozmologov: to so bili Robert Dicke, James Peebles, Peter Roll in David Wilkinson na Princeton University. To leto je bilo prelomno tudi zaradi objave dveh ključnih teoretičnih prispevkov v reviji *The Astrophysical Journal*, kjer je bil soavtor tudi Peebles.

Temperatura KMO ni popolnoma homogena. Temperaturno anizotropijo sta prva napovedala Rainer Sachs in Arthur Wolfe, povezala pa sta jo z variacijami globine gravitacijskega potenciala (SW efekt). Začetne fluktuacije v gostoti snovi pa so povzročile tudi akustične valove, katerih spektralno obliko, predvsem vrhove v odvisnosti od valovnega vektorja, je teoretično preučilo več znanstvenikov. K razumevanju akustičnih valov so najbolj prispevali Rashid Sunyaev, Yakov Zeldovich, James Peebles in Yer Ju. Slednja sta domnevala, da spekter akustičnih valov nima nobene karakteristične skale in je zato oblika vrhov odvisna predvsem od geometrije vesolja. Podobno sta razmišljala tudi Edward Harrison in Yakov Zeldovich.

Peebles je leta 1982 tudi izračunal temperaturno anizotropijo: $\delta T/T = 5 \cdot 10^{-6}$. Poznejše meritve (COBE) so potrdile pravilnost te ocene. Pomen dela Peeblesa je tudi v tem, da je leta 1984 ponovno izpostavil pomen kozmološke konstante Λ . Tako so bile tega leta dokončno rešene nekatere ključne težave kozmologije, npr. manjkajoča gostota energije za ravno vesolje ter primerjava starosti vesolja in prvih zvezd. Sredi 1990-tyh let so postali argumenti za kozmološko konstanto trdni, leta 1998 pa so ugotovili, da se vesolje celo pospešeno širi.

Omenimo še opazovanja KMO. COBE (Cosmic Background Explorer) je leta 1992 zares opazil termične anizotropije KMO. Ob koncu tisočletja, ko so potekali tudi opazovalni projekti TOCO, BOOMERanG in Maxima, pa se je ločljivost toliko izboljšala, da so lahko zaznali prvi vrh v spektru akustičnih valov. V teh projektih so opazovali samo majhne dele neba, leta 2001 pa se je začel devetletni projekt WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) za opazovanje celotnega neba. Prinesel je še natančnejša opazovanja in trdnejše sklepe o nadaljnji usodi vesolja. Leta 2009 so lansirali še Planckov satelit, ki je zbiral podatke 4,5 leta, deloval pri devetih frekvencah ter dosegel kotno ločljivost 10 ločnih minut in temperaturno relativno ločljivost 10^{-6} . S to natančnostjo so lahko izračunali zelo prepričljiv spekter akustičnih valov, kvalitativno podoben napovedim Peeblesa in drugih (slika 1). Primerjava višine vrhov nam daje

informacije o zgoraj omenjenih energijskih prispevkih h kritični gostoti vesolja. Med drugim smo dobili tudi dokaj natančno oceno starosti vesolja: 13,8 milijarde let, natančnost 1 %.



Slika 1: Temperaturna anizotropija, merjena kot odvisnost temperature KMO od opazovalnega kota; meritev Planckovega satelita [1].

Prvo odkritje eksoplaneta

Otto Struve je že leta 1952 napovedal mogoči obstoj planetov, ki krožijo okrog Soncu podobnih drugih zvezd (eksoplaneti). Menil je, da ni nobenega razloga, zakaj tudi večji planeti ne bi mogli krožiti po precej manjših tirnicah kot v našem Osončju. Če je velik planet bližje svoji zvezdi, potem je gravitacijska sila med obema nebesnima telesoma večja, to pa se bolj pozna pri kolebanju zvezde okrog njunega skupnega masnega središča. Opazovanja za odkrivanje teh planetov so začeli že v zgodnjih 1980-tyh letih.

Najprej ocenimo hitrost kroženja masnega središča zvezde okrog skupnega masnega središča T^* sestava zvezda – planet. Naj bosta masi zvezde in planeta M in m , predpostavimo pa lahko neenakost $m \ll M$. Vzemimo idealno krožna tira obeh objektov okrog točke T^* . Zaradi pogoja $m \ll M$ lahko najprej vzamemo, da je razdalja r planeta do točke T^* kar približno enaka razdalji med obema nebesnima telesoma.

Poistovetimo centripetalno in gravitacijsko silo na planet, da izračunamo njegovo hitrost v_p :

$$\frac{mv_p^2}{r} = \frac{GMm}{r^2}$$

$$v_p = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (2)$$

Iz enačbe (2) izračunamo še hitrost zvezde v_z . Zaradi pogoja, da je T^* pri miru, velja $mv_p = Mv_z$, tako da je hitrost zvezde:

$$v_z = v_p \cdot \frac{m}{M} = \sqrt{\frac{Gm^2}{Mr}} \quad (3)$$

Poglejmo si obe hitrosti za Sonce in Jupiter. Jupiter ima približno 1000–krat manjšo maso kot Sonce, od njega pa je oddaljen petkrat bolj kot Zemlja. Iz ustreznih astronomskih podatkov izračunamo $v_p = 13 \text{ km/s}$, $v_z = 13 \text{ m/s}$.

Z Zemlje lahko opazujemo hitrost zvezde zaradi gravitacijske motnje planeta na osnovi Dopplerjevega efekta. Z njim zaznamo radialno gibanje oddaljene zvezde: gibanje direktno proti nam ali proč od nas. Čeprav moramo Dopplerjev efekt za svetlobo v splošnem obravnavati relativistično, so hitrosti zvezd zaradi gravitacijskih motenj planetov toliko manjše od svetlobne hitrosti, da lahko napišemo podobno enačbo za navidezno frekvenco kot pri zvoku:

$$\nu' = \nu \cdot \left(1 - \frac{v_r}{c}\right) \quad (4)$$

Pri tem je ν svetlobe, ki jo odda zvezda v svojem lastnem opazovalnem sistemu, ν' pa je navidezna frekvenca, ki jo opazujemo na Zemlji. Svetlobno hitrost smo označili s simbolom c , radialno hitrost zvezde pa z v_r ; le–to vzamemo za pozitivno, ko se zvezda oddaljuje od nas. Tu z obema frekvencama, ν in ν' , mislimo frekvence posameznih diskretnih črt v emisijskem spektru zvezde. Iz enačbe (4)

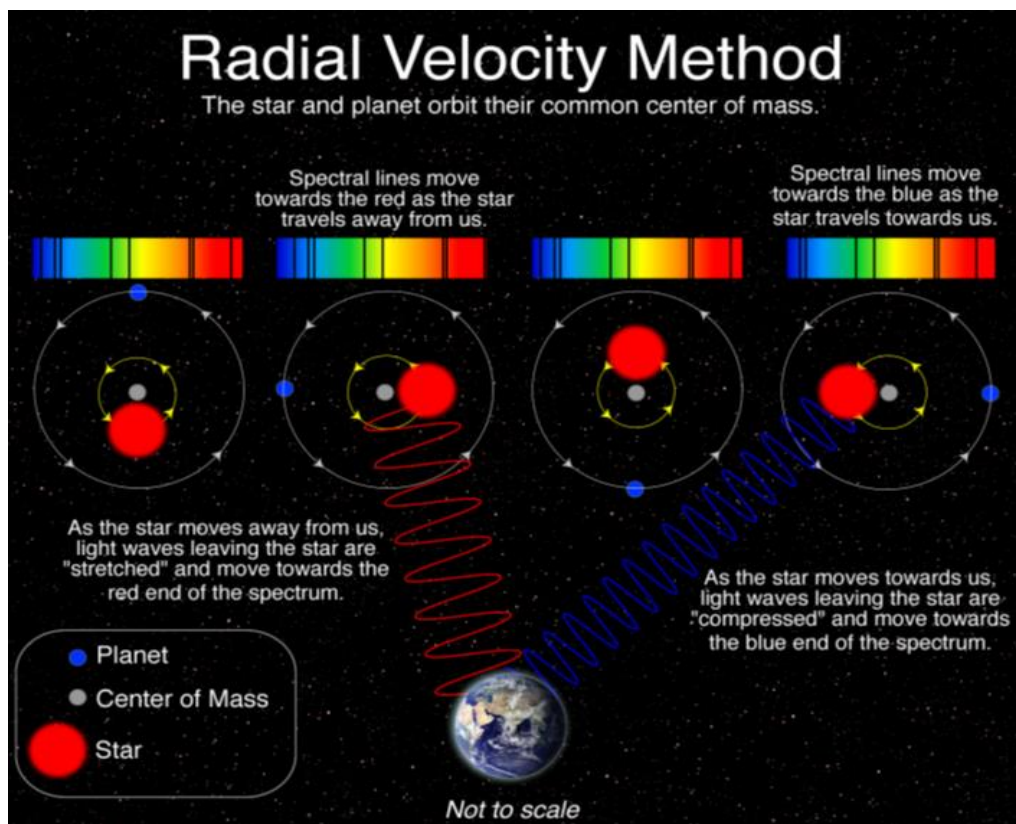
izračunamo ustrezne premike valovnih dolžin, ki jih navadno merimo:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c} \quad (5)$$

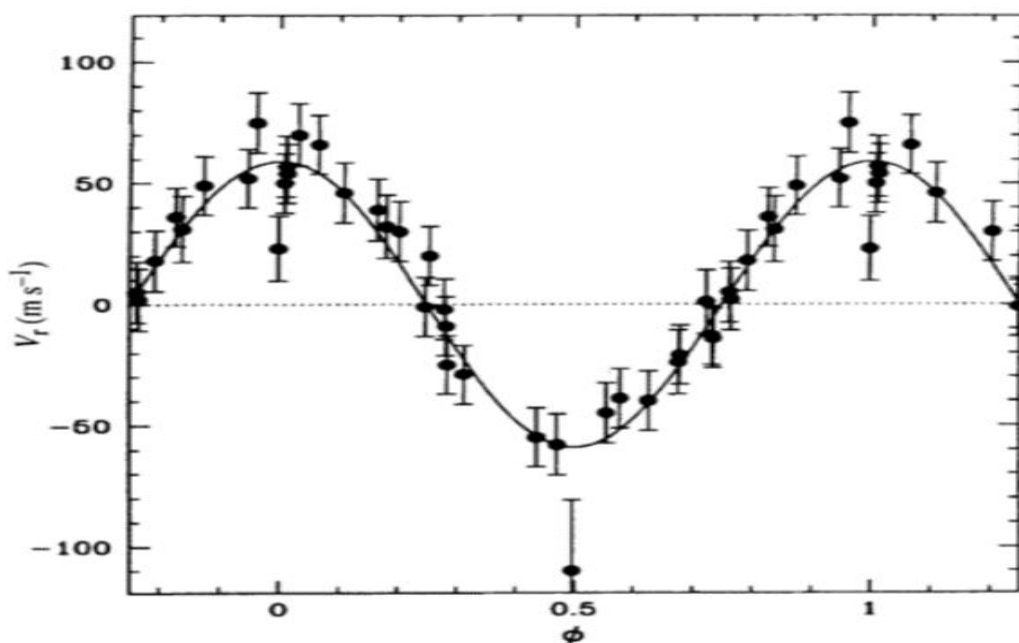
Podatek za $v_r = 13 \text{ m/s}$ za radialno hitrost našega Sonca zaradi gravitacijskega vpliva Jupitera in enačba (5) pokažeta, da bi oddaljeni inteligentni opazovalec potreboval ločljivost valovne dolžine velikostnega reda $\delta\lambda/\lambda = 10^{-8}$ ali boljše, da bi potrdil obstoj Jupitera. V resnici je dogajanje nekoliko bolj zapleteno, vseeno pa dovolj nazorno. Obravnavajmo samo idealni primer, ko leži Zemlja oziroma oddaljeni opazovalni sistem v isti ravnini, kot krožita zvezda in planet okrog skupnega masnega središča. Geometrija problema je prikazana na sliki 2. Radialna hitrost se spreminja med skrajnima vrednostma $-v_r$ in v_r približno kot sinusna funkcija časa (slika 3).

Če je ravnina gibanja sestava zvezda – eksoplanet nagnjena za nek kot α proti premici, ki povezuje Zemljo in opazovani sestav, se radialne hitrosti zvezde zmanjšajo za faktor $\cos \alpha$, s tem pa tudi navidezna masa krožečega eksoplaneta. V skrajnem primeru $\alpha = 90^\circ$ opazujemo gibanje sestava v pravokotni smeri, zato seveda ni nobene radialne komponente hitrosti zvezde glede na Zemljo. Ker kota α ne poznamo, lahko izračunamo samo navidezno maso planeta $m' = m \cos \alpha$. Resnično maso potem zapišemo kot $m = m'/\cos \alpha$.

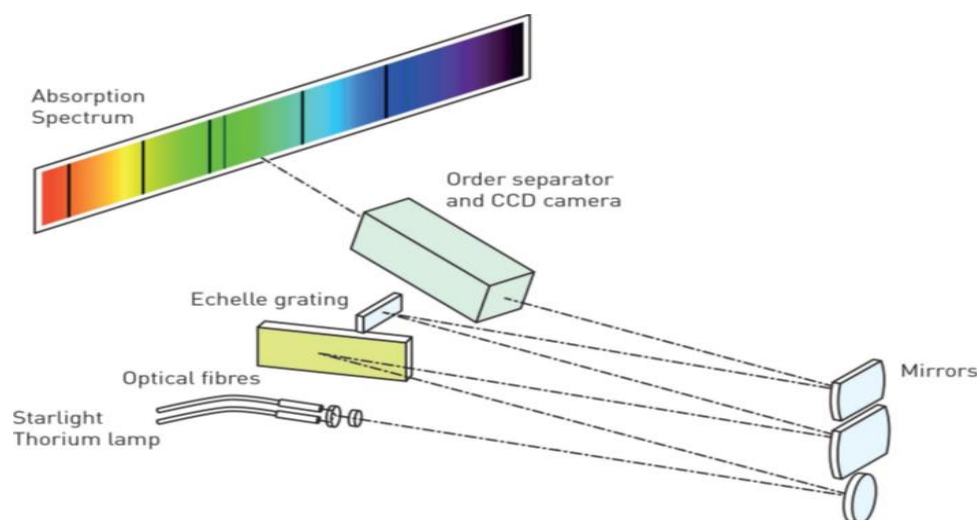
Da bi lahko odkrili eksoplanet, je bilo treba izboljšati natančnost opazovanja spektrov zvezd. Michel Mayor je preučeval zvezdne sisteme v observatoriju Haute–Provence v jugovzhodni Franciji. Tam je s sodelavci zasnoval nov spektrograf ELODIE, katerega bistveni sestavni del je bila tudi uklonska mrežica »échelle« (francoska beseda za lestev). To je dvojna uklonska mrežica, kjer je druga mrežica s svojimi režami postavljena pravokotno na prvo [6]. Tako se zelo izboljša ločljivost. ELODIE je imel tudi CCD-kamero s frekvenčnim območjem od 390 nm do 680 nm, umeritveno torijsko svetilko itd. (slika 4).



Slika 2: Model rdečega in modrega premika prejete svetlobe od oddaljene zvezde, ki kroži okrog skupnega masnega središča sestava zvezda – planet [1].



Slika 3: Sinusna odvisnost radialne hitrosti zvezde od faze (faza na vodoravni osi je podana namesto časa) [1].



Slika 4: Shema spektrografa ELODIE [1].

Mayor in Queloz sta opazovala 142 zvezd in ob koncu 1994 po periodičnem spreminjanju radialne hitrosti zvezde 51 Pegasi v ozvezdju Pegaz odkrila planet, ki so mu podali ime 51 Pegasi b. Zvezda je od nas oddaljena 50 svetlobnih let, njen planet, ki ima maso primerljivo z Jupitrom, pa kroži okrog nje z obhodnim časom samo okrog štiri dni. To pomeni, da je od zvezde oddaljen okrog osem milijonov kilometrov. Svoje odkritje sta razglasila na astronomski konferenci v Firencah 6. 10. 1995. Prilagajanje opazovalnih točk sinusni krivulji, ki se z njimi najbolj ujema, je prikazano na sliki 3. Amplituda v_r na sliki je 59 m/s. Kot zanimivost lahko omenimo, da je bila ločljivost spektrografa ELODIE takšna, da bi še zaznal radialno hitrost zvezde 13 m/s, to pa je prav naš zgornji podatek za sestav Sonce – Jupiter.

V začetku je bilo glede odkritja nekaj dvomov, predvsem zaradi tako majhne razdalje med zvezdo in velikim planetom. Vendar so lahko odkritje z opazovanji hitro potrdili tudi drugi astronomi. Že v naslednjih letih so začeli odkrivati druge eksoplanete. Natančnejši podatki za planet 51 Pegasi b so danes: obhodni čas $t_0 = 4,23$ dni, orbita

je skoraj krožna, masa $m = 0,47 m_J / \cos \alpha$, kjer je m_J masa Jupitra, površinska temperatura $T = 1.300$ K, približno desetkrat več kot pri Jupitru.

Pomen odkritij

Povečevanje napovedne in eksperimentalne natančnosti v kozmologiji lahko prinese nova fizikalna odkritja, ne samo razumevanja nadaljnega razvoja vesolja. Še vedno ni znano, kaj pomenita temna snov in temna energija. Morda tudi kozmološka konstanta ni zares konstanta, ampak se na dolgih časovnih skalah spreminja. Tudi to možnost je Peebles predvidel v svojih računih. Temna snov pa bi lahko vsebovala tudi nove delce – aksione, ki so supersimetrični partnerji znanih delcev. Ugotovili so tudi, da se zadnje meritve Hubblove konstante ne ujemajo popolnoma z napovedmi na osnovi opazovanja KMO.

Prvo odkritje eksoplaneta je prineslo presenečenje: nepričakovano majhno razdaljo med zvezdo in masivnim planetom. Zato je bilo treba dopolniti računske modele o nastanku planetov, ki so bili do takrat izpeljani na osnovi našega sončnega sestava. Poleg metode izračuna mase planeta z meritvijo

radialne hitrosti zvezde na osnovi Dopplerjevega efekta so razvili še nekaj drugih metod. Na primer, če je planet dovolj velik in če imamo srečo, da leži naša opazovalna smer zelo natančno v ravnini gibanja sestava zvezda – eksoplanet, potem lahko zaznamo majhen padec svetlosti zvezde, ko je planet med nami in njo. Danes poznamo že več kot 4.000 eksoplanetov, od tega jih je prek 2.300 zaznal Keplerjev vesoljski teleskop. Ameriški vesoljski teleskop TESS opazuje več kot 200.000 najbližjih zvezd in se predvsem fokusira na iskanje Zemlji podobnih planetov. Tehnika je toliko napredovala, da je to mogoče. Seveda, raziskovalce žene tudi staro vprašanje, ali je življenje, posebno inteligentno, tudi drugod v Galaksiji.

Viri

1. The Royal Swedish Academy of Sciences (2019). *The Nobel Prize in Physics 2019*. Dostopno na: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/>

2. Čadež, A. (2011). *Teorija gravitacije*, Matematika – fizika 49, DMFA – založništvo, Ljubljana.

3. Dolenc, S. (2007). Kako je nastal veliki pok. *Kvarkadabra*. Dostopno na: <https://kvarkadabra.net/2007/10/kako-je-nastal-veliki-pok/>

4. Rozmus, D. (2010/11). Veliki pok (Seminar, 4. letnik). Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani. Dostopno na:

http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2010_2011/veliki_pok.pdf

5. Wilkinson Microwave Anisotropy Probe. *Cosmology: The Study of the Universe*. Dostopno na:

https://map.gsfc.nasa.gov/universe/WMAP_Universe.pdf

6. Wikipedia. Echelle grating. Dostopno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Echelle_grating

PROJEKT IZGRADNJE RADIJSKEGA TELESKOPA ZA OPAZOVANJE RADIJSKEGA SIGNALA MOLEKULE OH

Rok Vogrinčič in Andrej Brešan

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

Uvod in cilji projekta

Astronomi vesolja ne opazujejo samo v vidni svetlobi z običajnimi optičnimi teleskopi, nebesna telesa namreč oddajajo tudi nam nevidno svetlobo. Primer take je infrardeča svetloba, ki je ne vidimo, jo pa občutimo kot toploto. Radijski valovi so svetloba, ki prav tako spada v našim očem nevidno območje. Področje astronomije, ki se s tovrstnimi opazovanji ukvarja imenujemo radijska astronomija.

Cilj tega projektak je vzpostavitev radijskih astronomskih opazovanj na univerzitetno raven, saj je področje radijske astronomije v Sloveniji zelo slabo zastopano in se z njim ukvarja le nekaj ljubiteljskih astronomov. Cilj bomo dosegli s postavitvijo (gradnjo) astronomskega radijskega teleskopa v sodelovanju s Fakulteto za matematiko

in fiziko Univerze v Ljubljani. Projekt zajema načrtovanje nosilne konstrukcije parabolične antene, sistema za usmerjanje le-te, nakup materiala (kovinski profili, nosilni steber, pogonski motorji z reduktorji, drugi gradbeni material) in izdelavo celotne konstrukcije. Poleg konstrukcijskega dela bomo potrebovali tudi ustrezne elektronske komponente za sprejemanje radijskih signalov (koaksialni kabli, material za izdelavo frekvenčnih filtrov, ojačevalcev signala, analogno-digitalni sprejemnik, računalnik in oprema za omrežno kartico). Lokacijo za postavitev teleskopa smo po posvetovanju s strokovnjaki (Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani) izbrali na Kraškem delu občine Miren-Kostanjevica, zaradi nizke elektromagnetne onesnaženosti

(oddaljenost od večjih naselij, daljnovodov, radijskih in televizijskih oddajnikov), kar bistveno prispeva h kakovosti opazovanj. Načrtovano konstrukcijo bomo izdelali samostojno, ker je vrednost že izdelane konstrukcije previsoka, hkrati pa je težko najti tako, ki ustreza dimenzijam naše parabole in zahtevam okolja kjer bo postavljena.

Primarna naloga tega teleskopa bo merjenje prisotnosti vode v vesolju z opazovanjem signala, ki ga oddaja molekula OH (molekula vode H_2O se v vesolju zaradi sevanja v molekulo OH) pri valovni dolžini 18 cm. Molekula OH je ena izmed najbolj pogostih molekul v vesolju in jo lahko najdemo v skoraj vseh vesoljskih objektih. Prisotna je tako v molekularnih oblakih plina, ki jih z optičnimi teleskopi vidimo kot meglice, v njihovi notranjosti pa nastajajo zvezde; kot tudi v ostankih najmočnejših eksplozij v vesolju znanih kot supernove. Najdemo jo v oblaku plina, ki nastane, ko se zvezda z velikostjo podobno našemu Soncu, bliža koncu svojega življenja. Njen signal je lahko tudi tako močan, da pripotuje do nas iz zelo oddaljenih galaksij. OH molekulo najdemo tudi v atmosferah velikih plinastih planetov našega Osončja, primer sta Jupiter in Saturn; v okolici največjih Saturnovih zaledenelih lun ter tudi v najmanjših telesih našega Sončnega sistema, kometih.

Opazovanje tega signala nam nudi informacijo o razmerah v opazovanem območju, kot so na primer temperatura, gostota, magnetno polje, hitrost in oddaljenost do opazovanega objekta. S pomočjo navedenih parametrov bomo dobili globlji vpogled v možnosti razvoja življenja drugod po vesolju, poleg tega pa nam bo bolj jasen izvor vode na našem planetu.

Projekt trenutno poteka v sodelovanju s Fakulteto za matematiko in fiziko v Ljubljani, Fakulteto za elektrotehniko v Ljubljani in Astronomskim društvom Kmica iz Murske Sobote. Doslej so nam sponzorstvo in donacije zagotovili občina Tišina (100 EUR), občina Miren-Kostanjevica (1.500 EUR), Elektro Ljubljana (100 EUR), Soške elektrarne (300 EUR), Elrad International d.d (100 EUR), Rotary Club Ljubljana (izdelava logotipa za projekt in promocija), E-potovanja d.o.o. (500 EUR). Skupna vrednost donacij (do vključno oktobra 2019) znaša 2.600 EUR.

Poleg raziskovalne dejavnosti se bo teleskop uporabljal tudi za usposabljanje študentov naravoslovnih študijev fizike, astronomije, elektrotehnike in računalništva. Omogočal bo interdisciplinarno povezovanje raznih tehniških smeri in izmenjavo idej ter znanja med različnimi ustanovami. Projekt združuje tudi sodelujoče iz različnih koncev Slovenije: Pomurska, Osrednjeslovenska, Primorska in Gorenjska regija. To in druga znanstvena in tehnična področja so v Sloveniji še v povojih ali jih sploh ni, potenciala za njihov razvoj pri nas pa je zelo veliko. Znanstvene raziskave in tehnološki razvoj so namreč bistvenega pomena za današnjo družbo in našo državo. To se bo v prihodnosti pokazalo na gospodarskem področju, nenazadnje pa tudi v mednarodnem ugledu Slovenije. Z izvedbo tega projekta bomo ponudili nove priložnosti mlajšim generacijam, ki bi sicer svoje pridobljeno znanje in iznajdljivost odnesli s seboj v tujino. Projekt bo služil tudi promociji in prepoznavnosti sodelujočih donatorjev.

Upravitelji teleskopa bomo organizirali dogodke na katerih bo širši javnosti predstavljena ta veja astronomije. Mogoč bo tudi vpogled v potek opazovanja saj bodo nadzorne točke pozicionirane na treh koncih Slovenije, prva v Prekmurju, druga na Primorskem in tretja na Gorenjskem. Za informacije javnega značaja bo na razpolago spletna stran, ki bo omogočala pregled nad aktivnostmi v povezavi z gradnjo teleskopa, kasneje pa nad izsledki meritev opravljenih s teleskopom. S širokim spektrom opazovanj z omenjenim teleskopom, bo mogoča tudi izvedba raziskovalnih nalog za mlade raziskovalce v sklopu Zveze za tehnično kulturo Slovenije.

Dosedanje delo v sklopu projekta

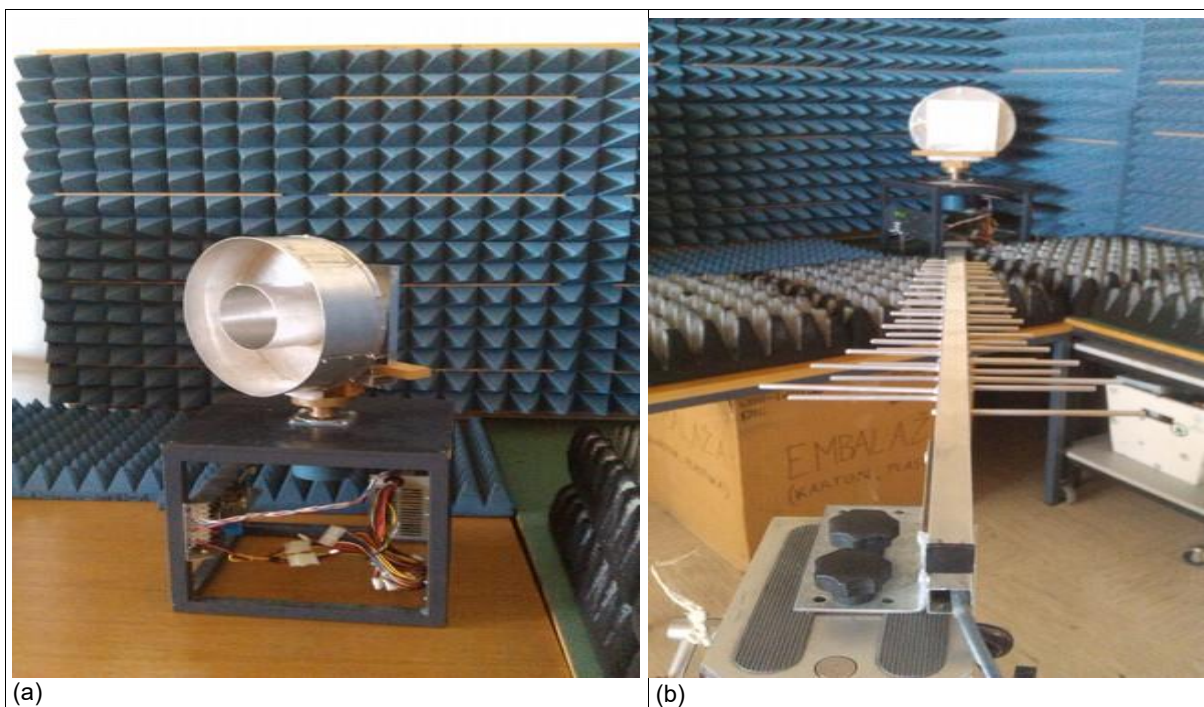
- Izdelan žarilec za gorišče parabole v katerem je nameščena sprejemna antena, preizkus in test le-tega v laboratoriju Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani;
- pridobljena parabola (krožnik premera 2,4 metra) in meritve njene mase za določitev tehničnih lastnosti nosilne konstrukcije;
- dokončani načrti za nosilno konstrukcijo in elektromehanskih premičnih delov;

- dokončani načrt električne sheme sprejemnika signala;
 - dokončani načrt za frekvenčni filter teleskopa;
 - najdena ustrezna lokacija za postavitev teleskopa;
 - pridobljena sredstva donatorjev, skupno 2.600 EUR (do vključno oktobra 2019);
 - povezovanje z univerzami in inštituti, ki so specializirani na področju radijske astronomije
- ter izobraževanje na tem področju z udeleževanjem na letnih konferencah italijanskih amaterskih radijskih astronomov;
 - pridobitev logotipa za projekt izgradnje radijskega teleskopa OH;
 - postavitev nove podstrani z naslovom »Radijska astronomija«, na spletni strani www.kmica.si

Fotografije v nadaljevanju predstavljajo dosedANJI potek projekta.



Slika 1: Izgradnja žarilca tipa Kumar-K4 za sprejem signala molekule OH pri valovni dolžini 18 cm, v katerem je vgrajena sprejemna antena. Žarilec bo postavljen v gorišču parabole.



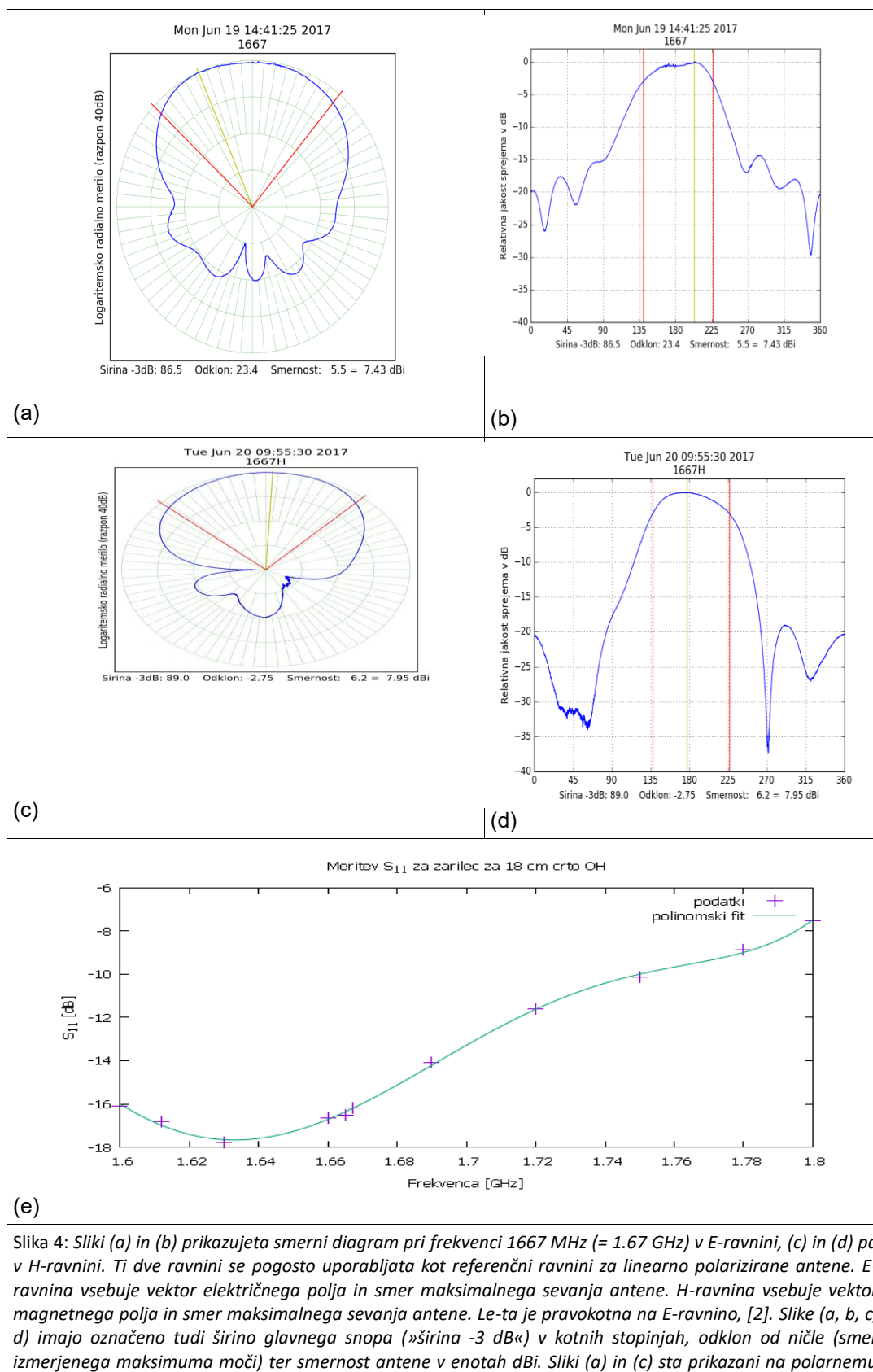
(a)

(b)

Slika 2: Testiranje žarilca v laboratoriju za sevanje in optiko na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Slika (b) prikazuje oddajno LPDA anteno (spredaj), ki je usmerjena proti žarilcu (zadaj). Le-ta je pritrjen na vrtiljaku. Tekom vrtenja sprejemna antena (žarilec) meri moč valovanja iz oddajne antene in po enem polnem obratu s pomočjo ustrezne računalniške programske opreme ustvari t. i. smerni sevalni diagram. Ta nam pove odziv sprejemne antene v odvisnosti od smeri pogleda antene ter širino glavnega snopa (»vidno polje«) antene.



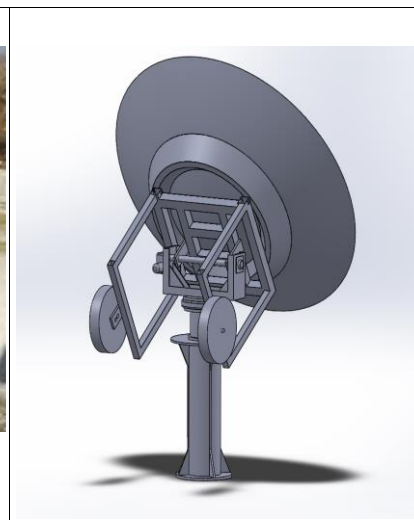
Slika 3: Celotna postavitve naprave za testiranje anten. Sprejemna antena (levo), oddajna LPDA antena (sredina) ter visokofrekvenčni generator in napajalnik (desno).



diagramu, kjer označujejo koncentrični krogi, ki izhajajo iz središča diagrama, moč sprejetega signala; črte v radialni smeri pa kažejo proti različnim azimutom. Sliki (b) in (d) sta prikazani v kartezičnem diagramu. Naša antena ima širino glavnega snopa okoli 90° in smernost v razponu med 7 in 8 dBi. Slika (e) prikazuje meritev parametra S_{11} za OH žarilec v odvisnosti od frekvence, v razponu med 1,6 in 1,8 GHz. S -parameter je funkcija frekvence, ki opisuje razmerje moči med priključki (vhod-izhod) v električnem sistemu. S_{11} predstavlja odbiti tok (moč), ki ga komunikacijski sistem (radio) poskuša dostaviti anteni, oziroma drugače povedano, koliko moči izgubimo pri odboju od antene. S_{11} je torej odbojni koeficient. Če znaša $S_{11} = 0$ dB, potem ni izgube moči (ves tok se odbije) in antena ne izseva ničesar. V primeru, da je $S_{11} = -10$ dB in če anteni dovedemo 3 dB moči, potem gre preostalih -7 dB moči v sevanje antene ali pa v izgube znotraj nje, [3]. Meritev S_{11} smo opravili z vektorskim mrežnim analizatorjem (VNA) v Laboratoriju za sevanje in optiko na Fakulteti za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani. Slika (e) nam pove, da je žarilec (sprejemna antena) najbolj občutljiv (oz. najbolj seva) pri frekvenci okoli 1,63 GHz. Z grafa lahko na grobo ocenimo tudi pasovno širino antene, ki je precej velika in znaša med 0,5 in 1 GHz. V našem primeru je to zaželeno, saj se emisije OH pojavljajo pri štirih frekvencah na območju med 1,61 GHz in 1,72 GHz, [4]. Pasovno širino lahko v nadaljevanju po potrebi zmanjšamo s frekvenčnim pasovnim filtrom.



Slika 5: Prenos 2,4 metrske parabole z Nanosa v dolino.



Slika 6: Načrt radijskega teleskopa.

Opazovalni predlogi

Ko načrtujemo gradnjo radijskega teleskopa, se moramo vprašati tudi ali smo sposobni izmeriti emisije, ki nas zanimajo. V nadaljevanju sta prikazana dva primera nebesnih objektov, na katerih bomo naš teleskop lahko preizkusili.

NML Cygni (OH 90.8 – 1.9)

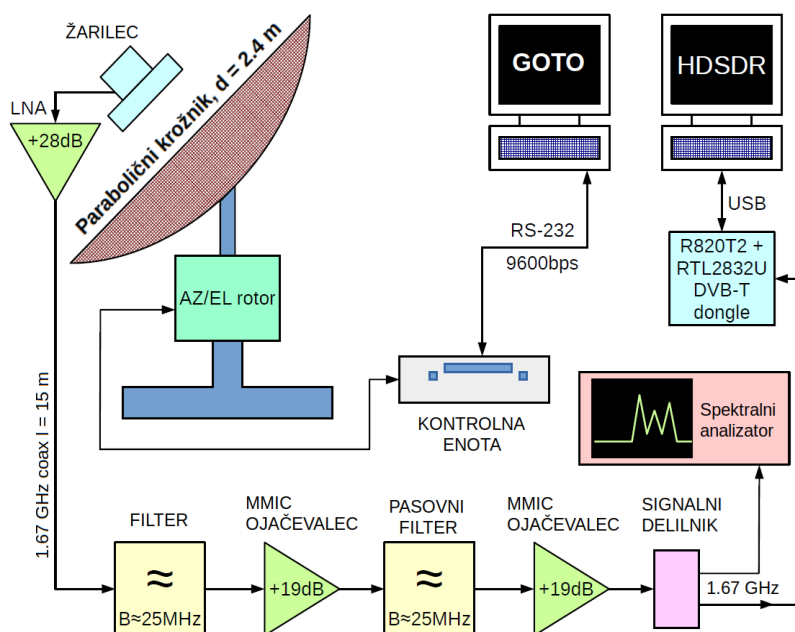
NML Cygni je rdeča hiper-orjakinja v ozvezdju Laboda (Cyg). Je ena izmed najsvetlejših in najmasivnejših hladnih hiper-orjakinj v Galaksiji. Oddaljenost te zvezde od Zemlje znaša okoli 1,6 kpc (5300 svetlobnih let). Zvezda je del OB2 asocijacije v Labodu, ki pokriva približno 2° na nebu, oziroma ~ 30 pc. Gre za delno-spemenljivo zvezdo s periodo 1280 ali 940 let, ki se nahaja v zgornjem desnem kotu HR diagrama. Bolometrični izsev zvezde znaša 500000

izsevvov Sonca, radij zvezde meri 3740 radijev Sonca. Trenutno ocenjena masa znaša med 25 in 50 mas Sonca. NML Cygni je v pozni fazi razvoja, njena atmosfera pa vsebuje težje elemente in molekule, predvsem OH in H_2O . Meglica, ki obkroža zvezdo kaže podolgovato asimetrično obliko, ki je v skladu s porazdelitvijo H_2O plinastega maserja (naravni izvor stimulirane emisije). Opazovanja kažejo, da ima zvezda dve diskretni optično gosti ovojnici plina in prahu. Nastanek prašnih ovojnic je posledica močnega zvezdnega vetra, ki ima hitrost okoli 23 km/s, vir [5].

Opazovanje bomo izvedli z 2,4 metrsko parabolo, s Kumar-K4 tipom žarilca v gorišču, izdelanega za frekvence med 1600 in 1700 MHz. Uporabili bomo filter s centralno frekvenco 1612 MHz, s pasovno širino 0.5 MHz. Integracijski (ekspozicijski) čas bo

znašal okoli 6 ur, pri čemer pričakujemo pojav dveh spektralnih črt okoli centralne frekvence. Vrh

najmočnejše črte ocenjujemo na okoli 520 Jy (Jansky, $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$), [6, 7].



Slika 7: Električna shema za radijski sprejemnik. Slika je povzeta iz [1] in je preurejena tako, da ustreza zahtevam tega projekta. OH radijske emisije lovimo z 2,4 metrskim paraboličnim krožnikom, ki je montiran na alt-azimutlani montaži in ima po en rotor na vsaki osi vrtenja. Rotorji komunicirajo z računalnikom preko kontrolne enote. Na računalniku uporabljamo programsko orodje, ki nam tekom opazovanja, z dovolj veliko frekvenco vzorčenja, računa pozicijo opazovanega objekta in prilagaja montažo tako, da je objekt ves čas v vidnem polju antene. Signal sprejmemo z žarilcem, od koder teče signal po koaksialnem kablu najprej na nizkošumni ojačevalec (LNA), potem pa na serijo pasovnih filtrov in MMIC ojačevalcev. Signal potem razdelimo s signalnim delilnikom na dva dela. Prvega vodimo na analogni spektralni analizator, ki nam pomaga pri direktnem opazovanju sprejetega signala. Drugi del potuje proti programsko definiranemu radijskemu sprejemniku (Software Defined Radio) RTL2832U, s pomočjo katerega sprejeti signal pozneje vizualiziramo.

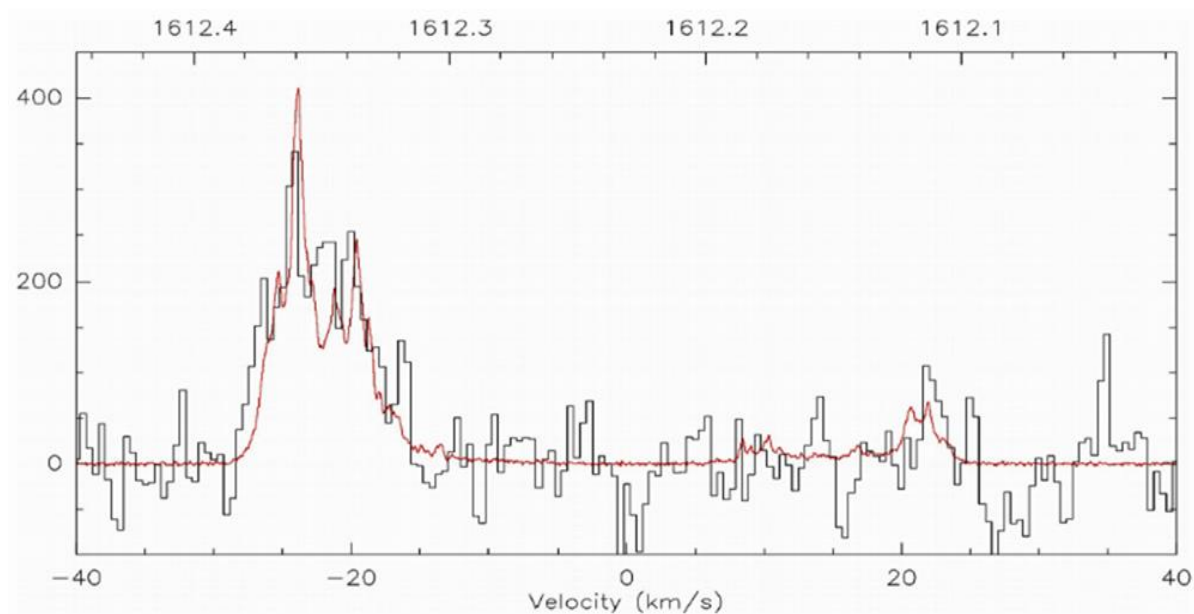
Namen opazovanja je poiskati vrhove in širine emisijskih črt ter oceniti hitrost približajoče in oddaljšajoče se ovojnice zvezde. Črti bomo med seboj primerjali in ocenili njuno medsebojno razmerje debelin. Meritve bomo opravili večkrat, vedno z enakim integracijskim časom. Opazovali bomo časovni zamik spremembe jakosti obeh črt ter poskusili oceniti tudi polmer plinaste OH ovojnice zvezde.

W3(OH)

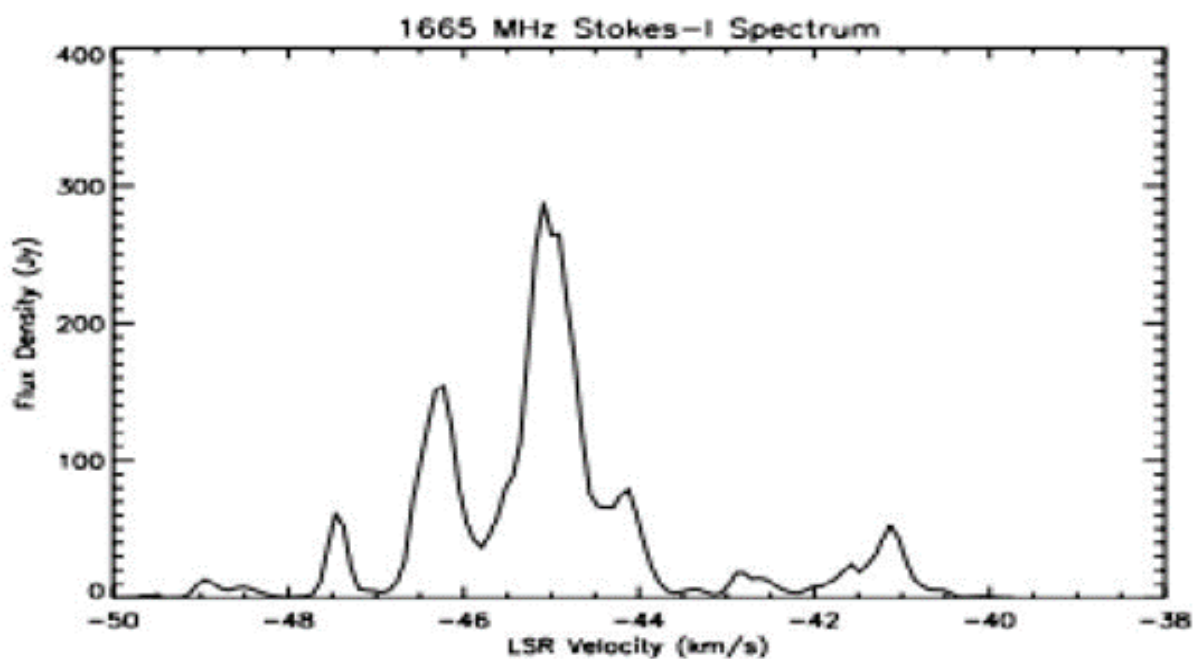
Gre za območje nastajanja zvezd, ki je od nas oddaljeno okoli 1,9 kpc (6200 svetlobnih let) in leži v spiralnih rokavih Galaksije. Območje meri približno 2° na nebu in leži v ozvezdju Kasiopeje (Cas). Glavna

zanimivost tega območja je študija novorojenih, masivnih zvezd, ki segrevajo prah in plin v njihovi okolici, [8].

Opazovanje bomo izvedli z 2,4 metrsko parabolo, s Kumar-K4 tipom žarilca v gorišču, izdelanega za frekvence med 1600 in 1700 MHz. Pri opazovanju bomo uporabili 2 različna filtra, prvega s centralno frekvenco 1612 MHz s pasovno širino 0,5 MHz in drugega pri centralni frekvenci 1667 MHz s pasovno širino 5 MHz. Opazovanje bomo izvedli v dveh nočeh, pri čemer bo znašal integracijski (ekspozicijski) čas za posamezni filter okoli 5 ur. Opazovali bomo emisijsko črto pri 1612 MHz ter črti pri 1665 in 1667 MHz, [9].



Slika 8: Slika prikazuje opazovanje NML Cygni pri centralni frekvenci 1612 MHz. S črno črto je prikazana meritev s 3 metrsko parabolo pri integracijskem času 2,5 ur; z rdečo črto je označena meritev s 25 metrsko parabolo podobnega integracijskega časa, [6].



Slika 9: slika prikazuje spekter molekularnega oblaka W3(OH), pri centralni frekvenci 1665 MHz. Vrh gostote toka znaša okoli 300 Jy. Meritev je bila opravljena s 25 metrsko parabolo, [10].

Namen tega opazovanja bo primerjati intenzitete in širine emisijskih črt ter ocenitev radialne hitrosti opazovanega območja. S pomočjo tega bomo lahko ocenili hitrost s katero se opazovani oblaki gibajo okrog središča Galaksije.

Zahvala

Projekt izgradnje radijskega teleskopa za opazovanje signala molekule OH poteka od januarja 2017. Ocenjujemo, da bo teleskop polno operativen v roku dveh let. Zahvaljujemo se vsem, ki ste nas finančno in strokovno podprli pri izvedbi tega projekta. Zahvala gre Astronomskemu društvu Kmica, Fakulteti za matematiko in fiziko v Ljubljani, Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani, občini Tišina, občini Miren-Kostanjevica, Elektru Ljubljana, Soškim elektrarnam, Elrad International d.d, klubu Rotary Club Ljubljana in podjetju E-potovanja d.o.o. V kolikor bi želeli finančno ali kako drugače podpreti ta projekt, nam prosimo pišite na e-poštni naslov:

rok.vogrincic@fmf.uni-lj.si

Za informacije o napredku gradnje teleskopa obiščite našo spletno stran: <http://www.kmica.si/> ali pa skenirajte QR kodo v nadaljevanju zgoraj. Najdete nas na podstrani »Radijska astronomija«.



Viri

- [1] SAJE, Tadeja. *Radioteleskop za vodikovo črto 21cm : magistrsko delo*. Ljubljana, 2017. Dostopno tudi na: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=88901>
- [2] E in H ravnina, dostopno na: https://en.wikipedia.org/wiki/E-plane_and_H-plane (23.10.2019)
- [3] S-parameter, dostopno na: <http://www.antenna-theory.com/definitions/sparameters.php> (24.10.2019)
- [4] OH emisija, dostopno na: <https://www.seti.org/seti-institute/project/details/seti-observations> (24.10.2019)
- [5] NML Cygni, dostopno na: https://en.wikipedia.org/wiki/NML_Cygni (24.10.2019)
- [6] Projekti opazovanja OH emisije, dostopno na: <http://parac.eu/projectmk15.htm> (24.10.2019)
- [7] Jansky, dostopno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Jansky> (24.10.2019)
- [8] W3(OH), dostopno na: <http://herschel.cf.ac.uk/results/w3-star-forming-region> (24.10.2019)
- [9] Projekti opazovanja OH emisije, dostopno na: <http://parac.eu/projectmk23.htm> (24.10.2019)
- [10] Opazovanje OH emisije, dostopno na: [https://groups.google.com/forum/?hl=en#!topicsearchin/sara-list/subject\\$3A0H/sara-list/OivTXjLjy1I](https://groups.google.com/forum/?hl=en#!topicsearchin/sara-list/subject$3A0H/sara-list/OivTXjLjy1I) (24.10.2019)

GRAVITACIJSKI SILA MED PODOLGOVATIMI TELES

doc. dr. Vladimir Grubelnik¹, prof. dr. Marko Marhl^{2,3,4} in doc. dr. Rene Markovič^{1,3}

¹Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, UM

²Pedagoška fakulteta, UM

³Fakulteta za naravoslovje in matematiko, UM

⁴Medicinska fakulteta, UM

Uvod

Z gravitacijskim zakonom krogelno simetričnih teles se srečamo na različnih stopnjah izobraževanja [1, 2, 3]. Newton je zakon izpeljal na podlagi Keplerjevega zakona, ki pravi, da je količnik med kubom daljše polosi eliptičnega tira planeta in kvadratom njegovega obhodnega časa enak za vse planete našega osončja [3,4]. Pri obravnavi gravitacijskega zakona v osnovni in srednji šoli spoznamo, da je gravitacijska sila sorazmerna z maso teles in obratno sorazmerna s kvadratom razdalje med njunima težiščema [1,2,3]. Na nižji stopnji izobraževanja zgolj poudarimo, da zakon v takšni obliki velja za majhna telesa v primerjavi z razdaljami med njimi in za razsežna krogelno simetrična telesa. Na višji stopnji izobraževanja to tudi dokažemo [3].

Vsi objekti v vesolju pa niso okroglih oblik, kar je pogojeno z njihovo maso in delovanjem gravitacijske sile med posameznimi deli objekta. Mejni objekti, ki zaradi zadostne mase še vzdržujejo krogelno simetrijo, so pritlikavi planeti. Ti so po definiciji Mednarodne astronomske zveze nebesna telesa, ki imajo pri kroženju okrog Sonca zadostno maso, da zaradi lastne gravitacije premagajo toge notranje sile in s tem prevzamejo približno okroglo obliko, katera je značilna za hidrostatsko ravnovesno obliko. Telesa z manjšo maso, kot so razni asteroidi in kometi, so lahko poljubnih oblik brez krogelne simetrije. Nasini strokovnjaki so poročali tudi o zelo podolgovatih objektih v vesolju, kot je medzvezdni asteroid Oumuamua [5], katerega dolžina je več kot 10-krat večja od premera (slika 1).

V prispevku bomo pokazali, kako izračunati gravitacijsko silo med takšnimi podolgovatimi telesi, ki se nahajajo v različnih medsebojnih položajih. Pri tem se bomo osredotočili na odstopanje od

gravitacijske sile, ki bi jo imeli točkasti oziroma krogelno simetrični telesi na razdalji težišč podolgovatih teles. Natančno poznavanje gravitacijske sile v bližini podolgovatih objektov ima velik pomen pri natančnem pristajanju sond, ki bi proučevale razmere na takšnih objektih.



Slika 1: Ilustracija asteroida »Oumuamua« [5].

Podolgovato in krogelno telo

Predpostavimo, da imamo opravka s podolgovatim telesom v obliki palice, katerega dolžina L_0 je precej večja od njegove debeline ($L_0 \gg d$). Majhno oziroma krogelno simetrično telo z maso m_2 postavimo na razdaljo L od težišča podolgovatega homogenega telesa z maso m_1 in dolžino L_0 v smeri dolžine podolgovatega telesa (slika 2a). Telo razrežemo na koščke dolžine dx z maso $dm_1 = \frac{m_1}{L_0} dx$. Gravitacijska sila $\vec{F}$ (enačba 1) je vsota posameznih prispevkov $d\vec{F} = Gm_2dm_1/x^2 \hat{x}$ med telesom z maso m_2 in koščkom palice z maso dm_1 :

$$\vec{F} = \int d\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{L_0} \int_{L-L_0/2}^{L+L_0/2} \frac{dx}{x^2} \hat{x},$$

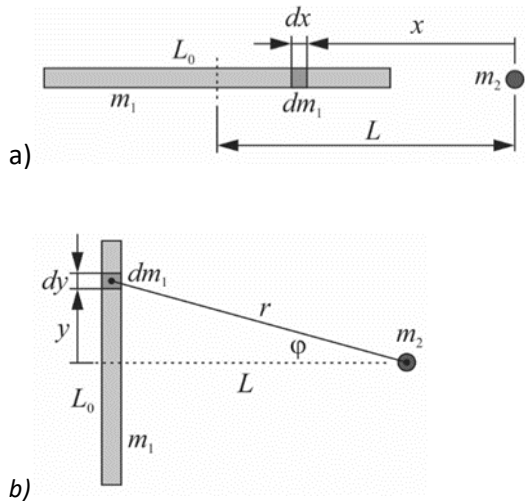
$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{L^2} \left[\frac{1}{1 - (L_0/2L)^2} \right] \hat{x}. \quad (1)$$

V naslednjem primeru postavimo telo z maso m_2 na razdaljo L od težišča homogene palice v smeri simetrale palice (slika 2b). Zaradi simetrije se prispevki $d\vec{F}$ v smeri y (vzdolž palice) izničijo. Celotna sila $\vec{F}$ (enačba 2) je torej vsota prispevkov $d\vec{F}$ v smeri osi x :

$$\vec{F} = \int d\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{L_0} \int_{-L_0/2}^{L_0/2} \frac{dy}{r^2} \cos(\varphi) \hat{x},$$

upoštevajmo, da je $\cos(\varphi) = \frac{L}{r} = \frac{L}{(L^2 + y^2)^{1/2}}$ in dobimo:

$$\begin{aligned} \vec{F} &= G \frac{m_1 m_2}{L_0} \int_{-L_0/2}^{L_0/2} \frac{L dy}{(L^2 + y^2)^{3/2}} \hat{x}, \\ \vec{F} &= G \frac{m_1 m_2}{L^2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (L_0/2L)^2}} \right] \hat{x}. \end{aligned} \quad (2)$$



Slika 2: Krogelno simetrično telo in tanka palica. **a)** Krogelno simetrično telo se nahaja vzdolž palice na razdalji L od težišča palice. **b)** Krogelno simetrično telo se nahaja na simetrali palice na razdalji L od težišča palice.

Dve podolgovati telesi

Obravnavajmo primer dveh tankih palic dolžine L_1 in L_2 (slika 3). Kot prvo predpostavimo, da palici ležita na isti premici (slika 3a). Razdalja med njunima težiščema je L . Za določitev gravitacijske sile obe

palici razrežemo na koščke dolžine dx_1 in dx_2 ter seštejemo prispevke sil $d\vec{F}$ med njimi. Pri tem integriramo x_1 v mejah od $-L_1/2$ do $L_1/2$ in x_2 v mejah od $L - L_2/2$ do $L + L_2/2$. Gravitacijska sila $\vec{F}$ med palicama je:

$$\vec{F} = G \iint \frac{dm_1 dm_2}{(x_2 - x_1)^2} \hat{x} = G \frac{m_1 m_2}{L_1 L_2} \iint \frac{dx_1 dx_2}{(x_2 - x_1)^2} \hat{x},$$

pri tem smo upoštevali, da je $dm_1 = \frac{m_1}{L_1} dx_1$ in $dm_2 = \frac{m_2}{L_2} dx_2$. Po integriranju dobimo:

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{L^2} \left[\frac{L^2}{L_1 L_2} \ln \left(\frac{1 - (L_2 - L_1)^2 / (2L)^2}{1 - (L_2 + L_1)^2 / (2L)^2} \right) \right] \hat{x}. \quad (3)$$

V primeru, da sta dolžini obeh palic enaki $L_0 = L_1 = L_2$, dobimo:

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{L^2} \left[\left(\frac{L}{L_0} \right)^2 \ln \left(\frac{1}{1 - (L_0/L)^2} \right) \right] \hat{x}. \quad (4)$$

V naslednjem primeru obravnavajmo dve pravokotno postavljeni palici (slika 3b). Podobno kot v drugem primeru (slika 2b) se zaradi simetrije prispevki $d\vec{F}$ v smeri y izničijo. Z upoštevanjem, da je $dm_1 = \frac{m_1}{L_1} dy$ in $dm_2 = \frac{m_2}{L_2} dx$ ter integracijo prispevkov $d\vec{F}$ v smeri osi x dobimo:

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{L_1 L_2} \iint_{y=-L_1/2}^{L_1/2} \int_{x=L-L_2/2}^{L+L_2/2} \frac{x dy dx}{(x^2 + y^2)^{3/2}} \hat{x}, \quad (5)$$

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{L^2} \left[2 \frac{L}{L_1 L_2} \ln \left(\frac{(1 + L_2/2L)(\sqrt{(2 - L_2/L)^2 + (L_1/L)^2} + L_1/L)}{(1 - L_2/2L)(\sqrt{(2 + L_2/L)^2 + (L_1/L)^2} + L_1/L)} \right) \right] \hat{x}.$$

primeru, da sta dolžini obeh palic enaki $L_0 = L_1 = L_2$, dobimo:

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{L^2} \left[2 \left(\frac{L}{L_0} \right)^2 \ln \left(\frac{(1 + L_0/2L)(\sqrt{(2 - L_0/L)^2 + (L_0/L)^2} + L_0/L)}{(1 - L_0/2L)(\sqrt{(2 + L_0/L)^2 + (L_0/L)^2} + L_0/L)} \right) \right] \hat{x}. \quad (6)$$

Nadalje obravnavajmo še primer, ko imamo dve vzporedni palici, katerih težišči ležita na skupni

simetrali (slika 3c). Tudi v tem primeru se zaradi simetrije prispevki $d\vec{F}$ v smeri y izničijo. Z upoštevanjem, da je $dm_1 = \frac{m_1}{L_1} dy_1$ in $dm_2 = \frac{m_2}{L_2} dy_2$ ter integracijo prispevkov $d\vec{F}$ v smeri osi y dobimo:

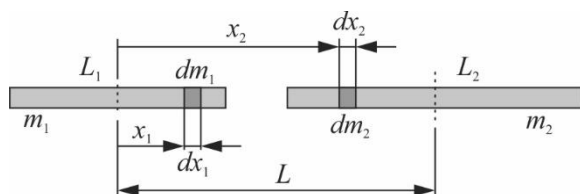
$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{L_1 L_2} L \iint_{y_1=-\frac{L_1}{2}, y_2=-\frac{L_2}{2}}^{\frac{L_1}{2}, \frac{L_2}{2}} \frac{dy_1 dy_2}{((y_1 - y_2)^2 + L^2)^{3/2}} \hat{x},$$

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{L^2} \left[2 \frac{L}{L} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{1}{2} \frac{L_1}{L} + \frac{1}{2} \frac{L_2}{L} \right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{1}{2} \frac{L_1}{L} - \frac{1}{2} \frac{L_2}{L} \right)^2} \right) \right] \hat{x}. \quad (7)$$

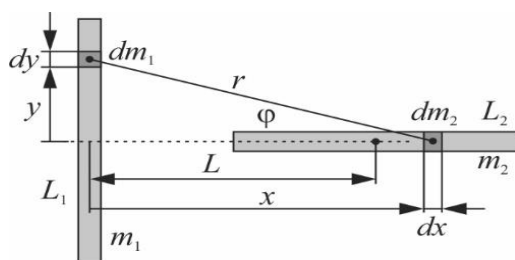
Ponovno prevzemimo, da sta dolžini obeh palic enaki $L_0 = L_1 = L_2$. Sila med palicama je v tem primeru:

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{L^2} \left[2 \left(\frac{L}{L_0} \right)^2 \left(\sqrt{1 + (L_0/L)^2} - 1 \right) \right] \hat{x}. \quad (8)$$

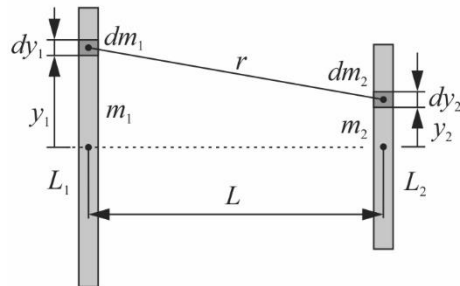
a)



b)



c)



Slika 3: Dve tanki palici v različnih medsebojnih položajih. a) Palici ležita na isti premici. b) Pravokotno postavljene palici. c) Vzporadni palici.

Razmerje gravitacijskih sil

Za obravnavane primere podolgovatih teles (slika 2 in 3) je na sliki 4 prikazano razmerje gravitacijske sile F z gravitacijsko silo F_0 , ki bi delovala med krogelno simetričnima telesoma m_1 in m_2 na razdalji težišč (L) obravnavanih teles:

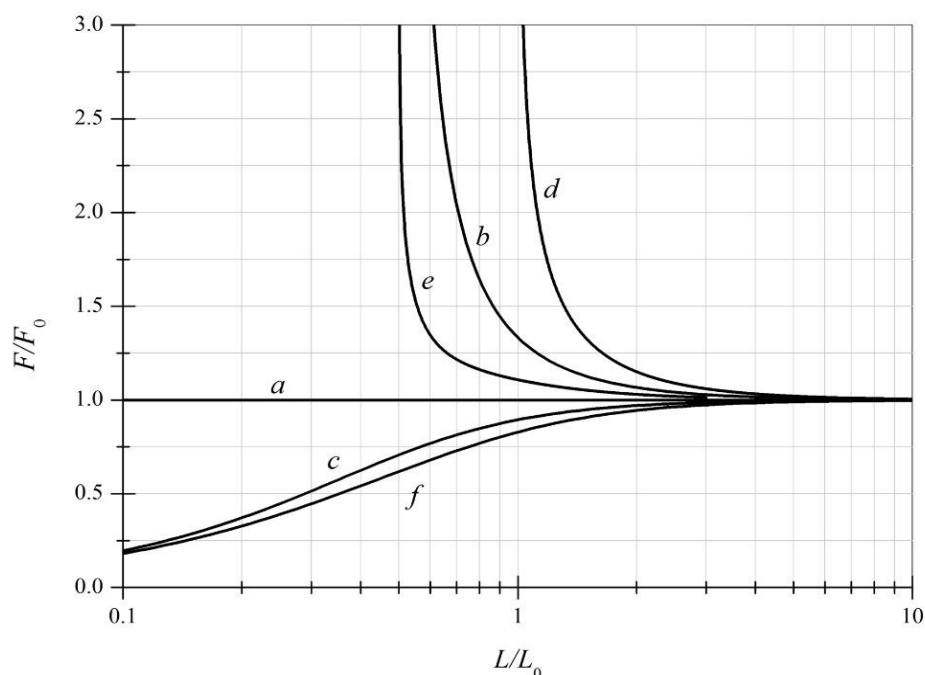
$$\frac{F}{F_0} = \frac{F L^2}{G m_1 m_2}. \quad (9)$$

Iz slike 4 vidimo, da v primeru tankih palic sila F naraste proti neskončnosti, ko se drugo telo dotakne roba palice (glej sliko 4b, 4d in 4e). Vzrok temu je, da smo pri izpeljavi gravitacijske sile obravnavali palice kot enodimenzionalna telesa. Temu približku se precej približamo v primeru, ko je polmer palice R precej manjši od njene dolžine ($R \ll L_0$ oziroma $R/L_0 \ll 1$), v nasprotnem primeru pa gravitacijska sila ob dotiku teles zavzame končno vrednost, kar bomo spoznali v nadaljevanju. Vidimo tudi, da v primeru c (slika 2b) in f (slika 3c) gre gravitacijska sila proti 0, ko se telesi približujeta med seboj. Vzrok temu je, da so posamezni prispevki gravitacijske sile $d\vec{F}$ vse bolj usmerjeni v smeri osi y , pri čemer pa se zaradi simetrije med seboj izničijo.

Razmerja F/F_0 (enačba 9) so za posamezne primere zbrana v tabeli 1.

Tabela 1: Razmerja F/F_0 za obravnavane primere tankih palic

primer	$\frac{F}{F_0} = \frac{F L^2}{G m_1 m_2}$	slika 4
krogelno simetrični telesi	1	a
slika 2a (en. 1)	$\frac{1}{1-(L_0/2L)^2}$	b
slika 2b (en. 2)	$\frac{1}{\sqrt{1+(L_0/2L)^2}}$	c
slika 3a (en. 4)	$\left(\frac{L}{L_0}\right)^2 \ln \left(\frac{1}{1-(L_0/L)^2}\right)$	d
slika 3b (en. 6)	$2 \left(\frac{L}{L_0}\right)^2 \ln \left(\frac{(1+L_0/2L)(\sqrt{(2-L_0/L)^2+(L_0/L)^2}+L_0/L)}{(1-L_0/2L)(\sqrt{(2+L_0/L)^2+(L_0/L)^2}+L_0/L)}\right)$	e
slika 3c (en. 8)	$2 \left(\frac{L}{L_0}\right)^2 (\sqrt{1+(L_0/L)^2} - 1)$	f


Slika 4: Razmerje F/F_0 za posamezne primere v odvisnosti od razmerja L/L_0 (glej tabelo 1).

Razsežna palica

Proučimo vpliv velikosti polmera palice na velikost gravitacijske sile. Zaradi kompleksnosti izračunov obravnavajmo le primer prikazan na slika 2a. Krogelno simetrično telo z maso m_2 postavimo na razdaljo L od težišča palice dolžine L_0 in polmera R (slika 5).

Zaradi osne simetrije palico razrežimo na tanke kolobarje s polmerom y , širino dy in debelino dx (Slika 5), pri čemer upoštevamo, da je masa takšnega kolobarja:

$$dm_1 = m_1 \frac{2\pi y dy}{\pi R^2} \frac{dx}{L_0} = 2 \frac{m_1}{L_0 R^2} y dy dx.$$

Zaključek

V prispevku smo obravnavali velikost gravitacijske sile med podolgovatimi telesi, ki se nahajajo v različnih medsebojnih položajih. Pri tem smo se osredotočili na odstopanje od gravitacijske sile, ki bi jo imeli točkasti oziroma krogelno simetrični telesi na razdalji težišč podolgovatih teles. Iz rezultatov smo ugotovili, da gravitacijska sila precej naraste, če se telo približa robu tankega podolgovatega telesa v smeri njegove dolžine. Velikost povečanja je odvisna od razmerja med premerom in dolžino podolgovatega telesa (R/L_0). Manjše je to razmerje, večja je gravitacijska sila. V primerjavi s krogelno simetričnimi telesi opazimo tudi zmanjšanje sile v primeru, ko se dve podolgovati telesi približujeta v smeri njunih krajših dimenzij. Omeniti velja še, da je ne glede na položaj podolgovatih teles gravitacijska sila med njimi primerljiva z gravitacijsko silo krogelno simetričnih teles, ko je razdalja med težišči teles približno 10-krat tolikšna, kot je njihova dolžina. Nadalje bi bilo smiselno proučiti gravitacijsko silo še za druge položaje razsežnih palic in druga razsežna telesa, kot so na primer kocka [6], kvader in druga telesa brez krogelne simetrije. Izračun gravitacijske sile nam daje možnost proučevanja medsebojnega gibanja in proučevanja

trkov med omenjenimi telesi. To je še posebej pomembno pri pristajanju sond na asteroidih nepravilnih oblik, kot je asteroid Eros [7], ki meri v dolžino okoli 33 km, njegov premer pa je v povprečju 13 km.

Viri

1. B. Beznec, B. Cedilnik, B. Černilec, T. Gulič, J. Longer, D. Vončina. *Moj prva fizika 2. Fizika za 9. razred osnovne šole*. Modrijan. Ljubljana 2010.
2. R. Kladnik, *Fizika za srednješolce 1 – Gibanje, sila, snov*, DZS, Ljubljana 1994.
3. R. Kladnik, *Visokošolska fizika 1. del – Mehanski in toplotni pojavi*, DZS, Ljubljana 1991.
4. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker: *Fundamentals of Physics*, 9th edition, John Wiley and Sons, New York, 2011.
5. NASA, Medzvezdni asteroid »Oumuamua«. Pridobljeno 20.9.2018 s strani: <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=7006>
6. J. M. Chappell, M. J. Chappell, A. Iqbal in D. Abbott. The Gravity Field of a Cube. *Physics International*, 2012, 3 (2), 50-57.
7. C. J. Hamilton. Eros. Pridobljeno 20.9.2018 s strani: <http://solarviews.com/eng/eros.htm>.

ENAJSTO DRŽAVNO TEKMOVANJE IZ ASTRONOMIJE

pom. akad. dr. Renato Lukač^{1,2}

¹Gimnazija Murska Sobota

²Ekonomška šola Murska Sobota, Višja strokovna šola

Na Gimnaziji Murska Sobota je bilo 11. 1. 2019 enajsto državno tekmovanje iz astronomije, ki je potekalo hkrati na treh lokacijah po državi. V Murski Soboti je naloge reševalo 139 osnovnošolcev in srednješolcev, ki so se pred mesecem dni najbolje izkazali na kvalifikacijskih šolskih tekmovanjih.

Tekmovalce in njihove mentorje so nagovorili ravnatelj Gimnazija Murska Sobota Roman Činč, vodja tekmovanja na šoli in podpredsednik AD Kmica dr. Renato Lukač ter predstavnik DMFA Krištof Skok.



Slika 1: Nepogrešljiva oprema za reševanje nalog. (Foto: Ivica Glavak).

Pri nas so se zbrali učenci in dijaki iz severne in severovzhodne Slovenije. Učenci osnovnih šol so tekmovali v treh skupinah: 25 učencev v skupini OŠ 7, 44 v skupini OŠ 8 in 38 v skupini OŠ 9. Letošnja novost je, da dijaki več niso tekmovali samo v eni skupini, ampak so se delili v dve skupini. 16 dijakov je tekmovalo v 1. skupini (1. in 2. letnik srednje šole), 17 dijakov pa je tekmovalo v 2. skupini (3. in 4. letnik srednje šole). Tekmovalce je spremljalo 56 mentorjev. Učenci in dijaki so imeli za reševanje nalog na voljo 120 minut. Podobno kot prejšnja leta so bile tudi letos naloge razdeljene v vseh skupinah na dva skopa. Sklop A je sestavljalo 10 nalog izbirnega tipa s štirimi možni odgovori. Za pravilnega je tekmovalec prejel 2 točki, za napačnega pa mu je bila odbita točka. Skupaj je bilo možno doseči v tem sklopu 20 točk. Vsak tekmovalec je prejel na začetku 10 točk z namenom, da ne bi slučajno pri komur na koncu bilo število točk negativno.

V sklopu B je bila v vseh skupinah naloga B1 sestavljena iz štirih problemov, ki jih je bilo potrebno rešiti z zvezdno karto. Pravilna rešitev vsakega problema je prinašala 3 točke. V nadaljevanju pa so imeli osnovnošolci še tri naloge, ki so prinašale še 42 točk. Naloge so pokrivalo orientacijo na nebu, lastno gibanje zvezd ter poznavanje pozicije Sonca in Jupitra glede na določena ozvezdja ob opozicijo Jupitra gledano iz določene perspektive. Srednješolci so imeli še štiri naloge, ki so prinašale skupaj 58 točk. Dve nalogi sta bili enaki v obeh skupinah in sicer iz področja orientacije na nebu ter preslikave s teleskopom. V prvi skupini so imeli še nalogo iz gravitacije in še eno nalogo iz orientacije na nebu. V drugi skupini so imeli še nalogo v zvezi z izsevom Sonca ter nalogo vezano na eksplozijo supernove in izračun magnitude.



Slika 2: Ekipa OŠ Turnišče - od leve spodaj Bor Zver in Maj Pintarič, zgoraj Jakob Ritlop in mentor Bojan Jandrašič. (Foto: Niko Draškovič).

Letos smo kot spremljevalno zanimivost za udeležence in mentorje pripravili razstavo »Preko vseh meja«, ki je nastala ob 100-letnici Mednarodne astronomske zveze. 12 posterjev razstave »Above and Beyond« je prevedenih v slovenščino in nanizajo po dekadah največje dosežke astronomije v zadnjih sto letih. Prostore Gimnazije Murska Sobota še vedno krasi tudi jubilejni plakat s praznovanja 25. letnice vesoljskega teleskopa Hubble.

Odlično so se odrezale pomurske osnovne šole, saj so osvojile 4 zlata priznanja. Kar dve sta osvojila učenca z OŠ Turnišče. Najbolje se je odrezal Maj Pintarič, OŠ Turnišče, ki je osvojil 3. mesto v državi v skupini 9. razred OŠ in osvojil poleg zlatega

priznanja še 3. nagrado. Njegov sošolec Jakob Ritlop si je delil 5. mesto v skupini 7. razred OŠ z Ješe Salnajs z OŠ II Murska Sobota. Poleg zlatega priznanja sta osvojila tudi pohvalo. Zlato priznanje je osvojil še Marcel Maier z OŠ Gornja Radgona.

Viri

[1] Komisija za tekmovanje v znanju astronomije, DMFA: <https://www.dmfa.si/Tekmovanja/As/>, uporabljeno 20.1.2020

[2] Portal v vesolje: IAU100 razstava »Preko vseh meja«: <http://www.portalvvesolje.si/index.php?view=article&id=1865:iau100-razstava-preko-vseh-meja>, uporabljeno 20.1.2020

OB DVAJSETI OBLETNICI SONČEVEGA MRKA

pom. akad. dr. Simon Ülen

Alma Mater Europaea

Ob dvajseti obletnici Sončevega mrka se je 13. septembra 2019, na pobudo pomurskega akademika dr. Simona Ülna, v Markovcih na Goričkem odvila prva konferenca z omenjenim naslovom. Konferenca je bila posvečena dvajseti obletnici Sončevega mrka, ki je bil viden prav s te lokacije. Vsebina je bila namenjena slušateljem, ki jih zanima astronomija, tako s pedagoškega kot ljubiteljskega vidika.

V plenarnem delu je pom. akad. dr. Andreja Gomboc, Prekmurka, ki je svetovno znana raziskovalka na področju astronomije, izvedla predavanje z naslovom Tekmovanje in raziskovalne naloge iz astronomije. Kot ena izmed pobudnic tovrstnih tekmovanj je predstavila zgodovino tekmovanj iz astronomije v osnovnih in srednjih šolah. Opozorila je tudi na spremembe koncepta tekmovanj v srednjih šolah, ki so se uveljavile v tekočem šolskem letu.

V nadaljevanju je pom. akad. dr. Mitja Slavinec skozi predavanje Astrofizika v osnovnih in srednjih šolah

predstavil situacijo v primeru, če bi Luna »padla« na Zemljo. A bi se tirnica Zemlje pri tem spremenila? Na takšna in podobna vprašanja smo dobili odgovore skozi omenjeno predavanje. V nadaljevanju je pom. akad. dr. Renato Lukač predstavil sončeve mrke skozi predavanje Sončevi mrki, nakar je pom. akad. dr. Simon Ülen prikazal koncept izdelave raziskovalne naloge iz astronomije v srednji šoli. Predavanja je zaključil Bojan Jandrašič, ki nas je skozi film, posnet l. 1999 na prizorišču ogleda mrka v Budincih, »vrnil« v leto 1999.

Po predavanjih in večerji je sledilo astronomsko opazovanje nočnega neba pod vodstvom Jurija Šumaka, sicer dijaka ljutomerske gimnazije in bodočega študenta astrofizike.

Glede na odzive učiteljev pomurskih šol in dijakov, ki so se konference udeležili, lahko konferenco ocenimo kot zelo uspešno. S tem so tlakovani dobri temelji, da v prihodnosti postane konferenca tradicionalna in odprta za še širši krog navdušencev za astronomijo.

POPOLN SONČEV MRK LETA 1999

pom. akad. dr. Renato Lukač

Gimnazija Murska Sobota in Ekonomska šola Murska Sobota, Višja strokovna šola

11. avgusta 1999 smo bili priča enemu največjih spektaklov narave. Popolni Sončev mrk je bil viden v Sloveniji le v najbolj severovzhodnem delu, to je v okolici vasi Budinci. Zadnji popolni Sončev mrk pred tem v bližini je bil viden iz Dalmacije leta 1961, naslednji pa bo v Sloveniji 2081. Ta velik časovni razpon je tudi prispeval za toliko večji interes za mrk v letu 1999. Letos mineva dvajset let od tega, zato smo tudi v AD Kmica nanizali aktivnosti, ki

spominjajo nanj. Tudi v letošnji publikaciji našega društva si zasluži, da mu posvetimo pozornost.

Na popolni Sončev mrk smo se v AD Kmica dobro pripravili. Že leto dni pred tem se je sistemsko delalo na pripravi. To se je odražalo tudi na astronomskem taboru v Fokovcih in v prispevku v naši prvi publikaciji [1]. Nikolaj Štrifof je opozarjal na izjemen pomen mrka in podrobnosti, ki jih lahko ob tem opazujemo ali doživimo. Podal je natančne

časovne okvire za serijo geografskih koordinat v naši bližini. Posebno pozornost je namenil zaščititi oči med opazovanjem. V zaključku je zapisal: »Nedvomno je mrk Sonca eden od pojavov, ki si ga bomo zapomnili za vse življenje.« Imel je prav.

Naša druga publikacija [2] je iz leta 1999, zato je primerno posvečena mrku. Tudi astronomski tabor je bil v času mrka. Že v uvodniku publikacije je predsednik AD Kmica dr. Mitja Slavinec izrazil zadovoljstvo glede dejavnosti, ki so se odvijale ob mrku. Menil je, da smo priložnost dobro izkoristili. Dr. Tomaž Zwitter je poleg osnovnih podatkov takrat aktualnega mrka podal dokaj obsežen zgodovinski pregled Sončevih mrkov in osnovne podatke za naslednji popolni Sončev mrk viden iz Slovenije. Objavljena je bila tudi pesem o mrku, na koncu publikacije pa so udeleženci tabora nanizali vtise z opazovanja mrka. Posebej posrečeno sta ta pojav opisala Samo Smrke in Urban Bernat: »To je bila najina najkrajša minuta in pol v življenju.«

Sončev 11. 8. 1999 je bil popolni v marsičem, tudi v nazivu. Do Sončevega mrka pride takrat, ko se nahaja Luna med Soncem in Zemljo. Luna sicer v manj kot mesecu dni zaokroži okoli Zemlje, vendar je ravnina tira potovanja Lune okoli Zemlje nagnjena za približno 5 stopinj glede na ravnino tira potovanja Zemlje okoli Sonca. Sončev mrk nastopi, ko se Luna nahaja v bližini presečišča teh ravnin in je ob mlaju. Ko je Zemlja v polsenci Lune imamo delni Sončev mrk, ki ga imamo večkrat možnost spremljati. Pri tem je le del ploskve Sonca zakrit z Luno. Kotna velikost Sonca se rahlo spreminja (Slika 1), saj orbita Zemlje okoli Sonca ni krožnica, ampak elipsa. Podobno je s kroženjem Lune okoli Zemlje. Položaj Zemlje in Lune na njunih tirih odloča o čas trajanja in o tem ali bo popolni ali kolobarjasti Sončev mrk. Če je kotna velikost Lune večja od kotne velikosti Sonca, imamo popolni Sončev mrk, sicer pa kolobarjasti (Slika 2). Poleg delnega, kolobarjastega in popolnega obstaja še redka kombinacija slednjih dveh, to je hibridni. Popolni Sončev mrk je daleč najlepši in tudi najbolj zanimiv. Tak je bil »naš« popolni Sončev mrk leta 1999.

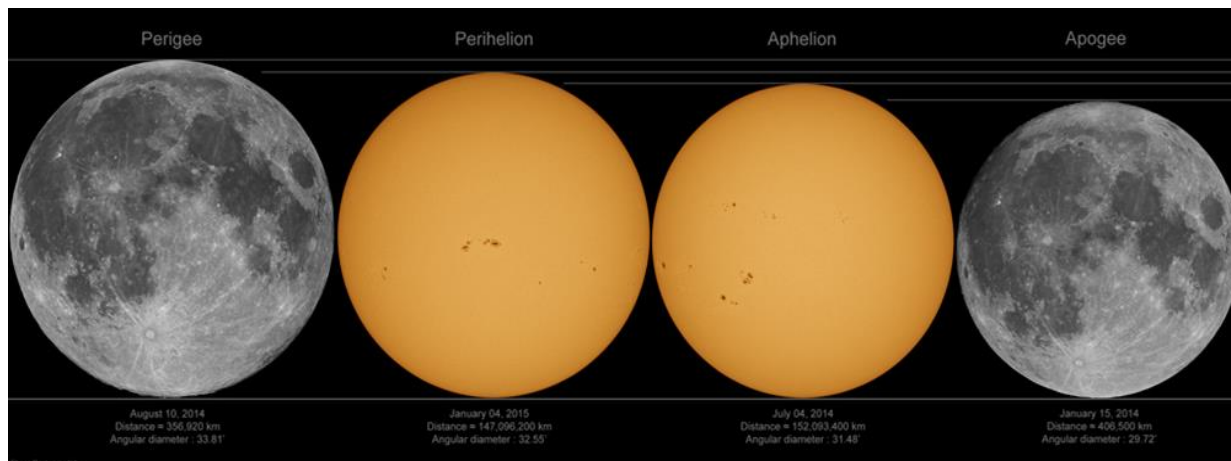
Popolni Sončev mrk leta 1999 je bil posebej atraktiven, saj je potekal počez po gosto naseljeni Evropi, ki večinoma že več kot dvajset let ni imela

možnosti doma spremljati tega pojava, za nameček pa še tudi napoved za naslednjih dvajset let ni obetala nobenega popolnega mrka. Po Evropi je tako potekal približno sto kilometrski pas območja popolnega Sončevega mrka. Imeli smo srečo tudi glede časa trajanja na centralni črti mrka, ker je bil eden najdaljših v stoletju v tem območju. Kot vidimo na Sliki 3, je bil le najbolj severovzhodni del Slovenije v območju popolnega mrka. Središčna črta je bila približno sto kilometrov severneje na Madžarskem.

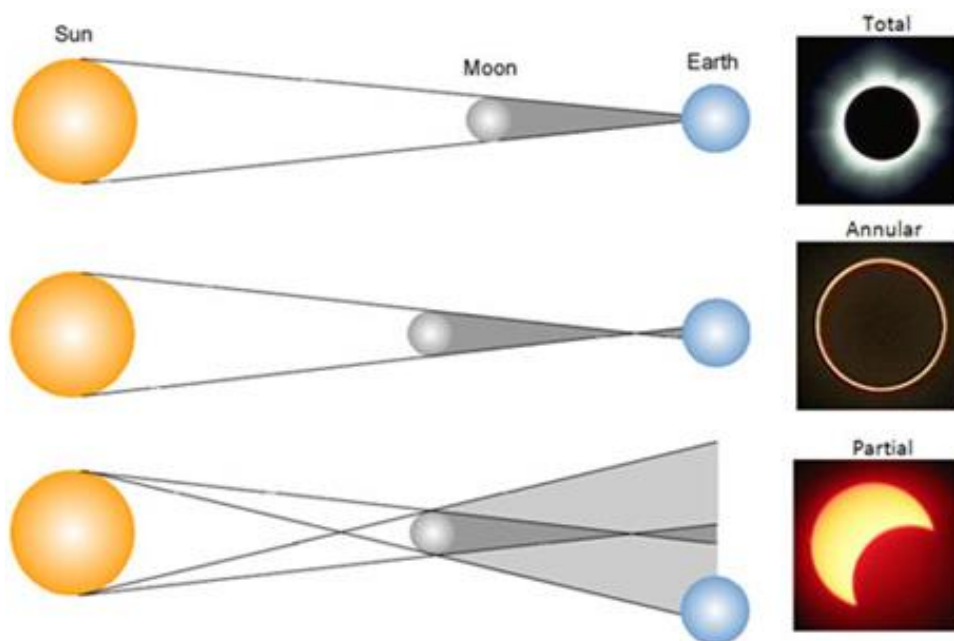
Takratni tabor, ki je potekal od 9. do 14. avgusta na OŠ Fokovci, je pridobil republiški status. Jasno, da je bila glavna tema tabora takratni mrk. Niza predavanj ob mrku v času tabora in pred njim se je udeležilo preko 300 obiskovalcev. Število udeležencev je bilo potrebno zaradi omejenih kapacitet omejiti na 43. Večina udeležencev je mrk opazovala vizualno s primerno zaščito oči s posebnimi očali. Mrk so tudi projicirali s teleskopom. Nekateri so mrk fotografirali. Na dan mrka so se nekateri udeleženci tabora in člani društva zgodaj zjutraj odpravili z avtobusom na Madžarsko, drugi pa so šli na Hodoš in Budince. Na Madžarskem je bil cilj mesto na centralni črti mrka Sombately, vendar je bilo oblačno, zato je sledil premik v smeri Blatnega jezera in potem zaradi slabega vremena obrat nazaj do vasi Janoshaza, prav tako na centralni črti mrka. Tam je bilo ob prihodu na parkirišče že mnogo turistov, ki so se pripravljali na opazovanje. Nebo se je razjasnilo in pogoji za doživljanje spektakla so bili perfektni. Tudi v Sloveniji je vreme ugodilo tisočem radovednejšem, ki so pridrveli na Goričko. Na krajih, kjer je AD Kmica organizirali javna opazovanja, je bila nudena strokovno pomoč pri komentiranju mrka. Pom. akad. dr. Melita Hajdinjak je komentirala v Trdkovi, Bojan Marušič na Hodošu, pom. akad. dr. Mitja Slavinec pa je sodeloval s TV Slovenija v Budincih, kjer je komentiral polurni direktni prenos mrka na TV Slovenija. Pri tem je bil predvajan tudi znak AD Kmica. Morda smo bili celo edini v Evropi, ki smo iz helikopterja posneli prihod in odhod sence. Društvo je izdalo videokaseto z zbranimi posnetki povezanimi z mrkom. O vtisih z opazovanj in doživljanju tega čudovitega mrka je najbolje brati

prispevke udeležencev tabora v zadnjem delu naše

publikacije tistega leta [2].



Slika 1: Primerjava ekstremnih kotnih velikosti Lune in Sonca [3].

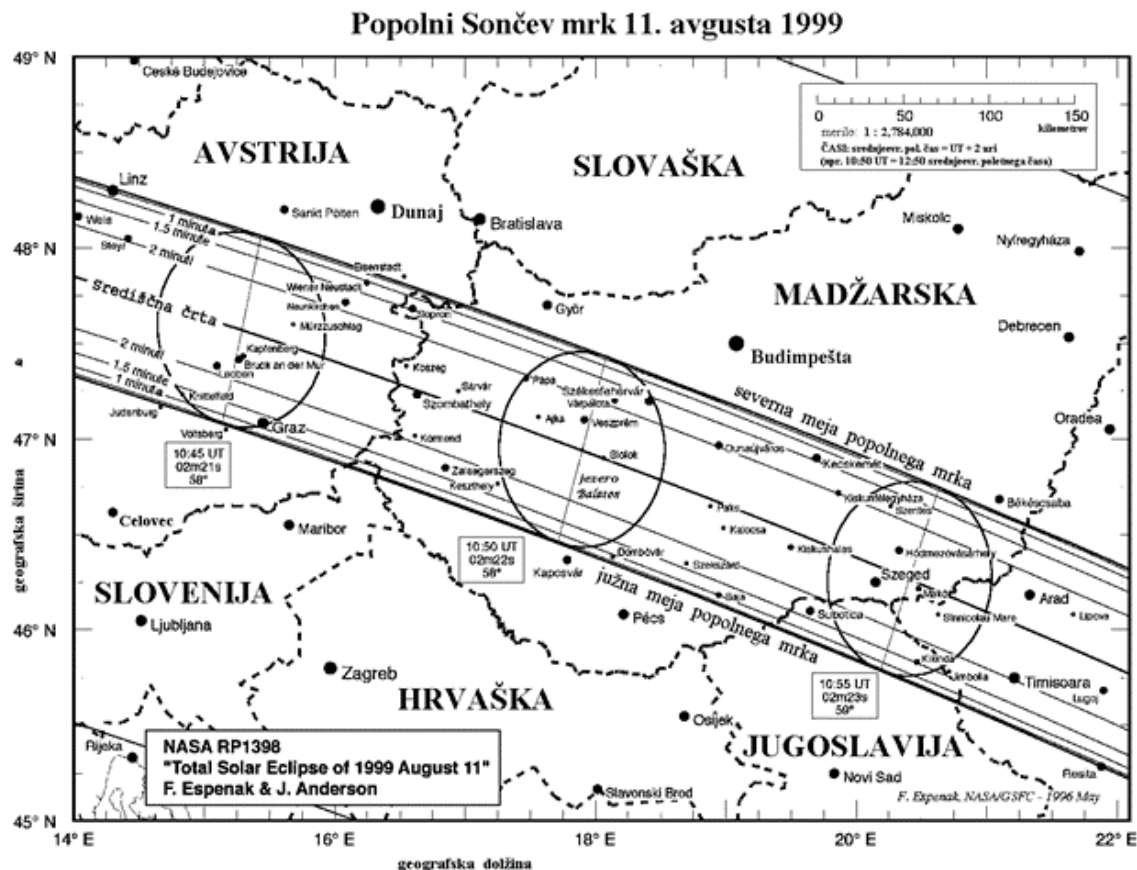


Slika 2: Različni Sončevi mrki: zgoraj popolni, v sredini kolobarjasti in spodaj delni. [4]

Narava nam je postregla s celotno paleto pojavov: senčnati pasovi, prihod sence od zahoda, Bailijevi biseri, diamantni prstan, rdeča kromosfera, korona, vidna je bila Venera in svetlejšje zvezde itd. Naše takrat še mlado društvo je občutno povečalo število članov. Zelo smo bili veseli, da ni bilo poškodb oči zaradi opazovanja mrka v Sloveniji, k čemer smo z nenehnimi opozorili preko vseh medijev nedvomno pripomogli tudi mi.

Zdaj ko je minevalo dvajset let od »našega« mrka, smo to dostojanstveno obeležili. V poletnih dneh, 8. avgusta sta Jelka Pšajd in Bojan Jandrašič v Pokrajinskem muzeju Murska Sobota predstavila priložnostno vitrino, dr. Renato Lukač pa je predaval o popolnem Sončevem mrku 1999. V sodelovanju s Fakulteto za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru je bila 13. 9. 2019 v Peterloughi v Markovcih strokovna konferenca in izobraževanje v

sklopu permanentnega izobraževanja učiteljev z naslovom »Ob dvajseti obletnici Sončevega mrka«.



Slika 3: Zemljevid z vrisanim območjem popolnega Sončevega mrka, centralno črto mrka in mejami trajanja eno, eno in pol ter dve minuti [5].

V Budincih je bilo postavljeno obeležje, za kar ima največ zaslug Bojan Jandrašič, AD Kmica pa se je vključila v lokalne dejavnosti z nagovorom predsednika pom. akad. dr. dr. Mitja Slavinca in vodenim opazovanjem Sonca Darka Kolarja.

Viri

- [1] Nikolaj Štritof: Mrk 11.08.1999, Astronomi v Kmici, prvič, 1998; dostopno tudi na spletu: <http://www.kmica.si/wp-content/uploads/2015/03/Bilten1998.pdf>, uporabljen 26.1.2020
- [2] Astronomi v Kmici, drugič, 1998; dostopno tudi na spletu: <http://www.kmica.si/wp-content/uploads/2015/03/Bilten1999.pdf>, uporabljen 26.1.2020

content/uploads/2015/03/Bilten1999.pdf, uporabljen 26.1.2020

[3] Comparison of angular diameter of the Sun and Moon: <https://www.skyandtelescope.com/online-gallery/comparison-of-angular-diameter-of-the-sun-and-moon/>, Sky & Telescope, uporabljen 26.1.2020

[4] SolarEclipse: <https://www.emaze.com/@ALILRQLF>, uporabljen 26.1.2020

[5] Popolni Sončev mrk 11. avgusta 1999: <https://vesolje.net/astro/mrk99/T99Fig9.gif>, Vesolje.net, uporabljen 26.1.2020

Urednik:

pom. akad. dr. Mitja Slavinec

Strokovni pregled:

pom. akad. dr. Milan Svetec

pom. akad. dr. Mitja Slavinec

Darko Kolar

Oblikovanje in prelom:

Sara Mičev

Jezikovni pregled:

Sara Mičev

Tisk:

AIP Praprotnik

Naklada:

250 izvodov

Založnik:

AD Kmica in ZOTKS, Murska Sobota, 2019

zanju: pom. akad. dr. Mitja Slavinec

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

520/524:379.825-053.6(497.4-18)(082)

ASTRONOMI v Kmici : dvaindvajsetič / [urednik Mitja
Slavinec]. - [Murska Sobota] : AD Kmica : ZOTKS,
2020

ISBN 978-961-92312-9-6 (AD Kmica)
1. Slavinec, Mitja
COBISS.SI-ID 98141697