ASTRONOMI V KMICI

enaindvajsetič

KAZALO

ASTRONOMI V KMICI – TRETJE DESETLETJE

Redke so publikacije, ki se lahko pohvalijo z več kot dvajsetletno tradicijo. Še posebej če nastajajo ljubiteljsko, vsebina pa je povezana z obšolskimi in izvenšolskimi dejavnostmi. Mnogi, ki so kot srednješolci prispevali članke za prvo številko, so sedaj že vrhunski astronomi ali so si kariere zgradili na drugih področjih. Za njimi so prihajale naslednje generacije srednješolcev in študentov, ki jih je zanimala astronomija, navdušiti pa jih je bilo treba še za delo in sodelovanje v Astronomskem društvu Kmica. Nekateri ostanejo z društvom tesno povezani tudi kasneje, spet drugi na astronomske izkušnje ohranjajo le lepe spomine. Da slednje iztrgamo pozabi, vsako leto pripravimo pričujočo publikacijo, v kateri na kratko povzamemo aktivnosti tekom leta in vključimo čim več zanimivih astronomskih vsebin. S tem ohranjamo stik z avtorji iz prejšnjih generacij, hkrati pa ustvarjamo prostor in okolje za mlade, ki si prav tukaj lahko pridobijo pomembne prve izkušnje o pisanju člankov in publiciranju nasploh.

Vendar to ni le izkušnja pisanja, temveč so prispevki tudi strokovno pregledani in avtorji med tem postopkom pogosto pridejo tudi do koristnih in novih spoznanj. Bilten je nastal ob boku naših astronomskih taborov, zato se ta rdeča nit nadaljuje tudi v tej številki. Že nekaj časa pa to niso zgolj klasična poročila o delu na taborih, temveč prispevki na svojevrsten način predstavljajo tudi strokovni napredek samih taborov in njihovih udeležencev. Tudi v tokratni številki *Astronomi v Kmici* bomo zainteresirani in strokovni javnosti predstavili več kot deset zanimivih člankov, ki jih je na tako poljuden in strnjen način drugje težko najti. To je že ves čas tudi eno od naših vodil, da naj bo publikacija tudi dobrodošla pomoč šolarjem.

Posebej izpostavljamo poljuden opis merjenja gravitacijskih valov, za kar je bila lani podeljena Nobelova nagrada. Prav tako si posebno pozornost zasluži članek o radijskem teleskopu, ki smo ga postavili na letošnjem astronomskem taboru in je eden izmed zadnjih Kmicinih projektov. Ponosni smo, da je projekt plod našega znanja. Ob člankih, povezanih z astrofiziko, je zelo zanimiv tudi članek o astrofotografiji, kar je tudi ena od stalnih skupin na naših taborih.

Kmicin astronomski tabor je pomembna stalnica tudi v programu Zveze za tehnično kulturo Slovenije in prav temu primeru dobre prakse tesnega in dolgoletnega sodelovanja dveh sorodnih in prijateljskih organizacij se lahko zahvalimo, da vsako leto približno dvajsetim mladim podrobneje približamo astronomijo.

Drage članice in člani Astronomskega društva Kmica ter vsi drugi ljubitelji astronomije, ob tej priložnosti se vam lepo zahvaljujem za vaš prispevek k razvoju astronomije pri nas in širše. Želim vam prijetno prebiranje že enaindvajsete številke *Astronomov v Kmici* in seveda veliko lepih astronomskih doživetij.

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

LAGRANGEEVE TOČKE

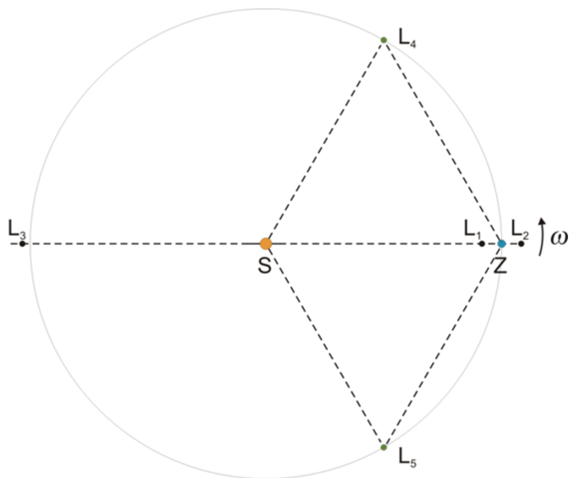
doc. dr. Milan Ambrožič
Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko

Uvod

Medtem ko je gibanje planetov in satelitov v enostavnih okoliščinah in modelih, na primer, problem gravitacijskega privlaka dveh teles, značilna tema tako v šoli kot v poljudni znanosti, so Lagrangeeve točke manj znane. Vendar pa so te točke zaradi nekaterih svojih značilnosti zanimive za vesoljske misije, med drugim za utirjenje opazovalnih postaj za raziskovanje Osončja in širšega vesolja, tudi gravitacijskih valov. Lagrangeeva točka je povezana s problemom gravitacijske sile med tremi telesi, natančneje, kako dve nebesni telesi z gravitacijo vplivata na tretje, neprimerno manjše telo. Značilen par velikih teles sta nebesno telo (npr. Sonce) in njegov naravni satelit (planet), tretje telo pa je npr. asteroid ali umetni satelit. Pri tem se Lagrangeeva točka giblje sinhrono z naravnim satelitom. Tu se bomo omejili na sistem Sonce – Zemlja in njune Lagrangeeve točke. Za nazorno obravnavo bomo privzeli kroženje Zemlje okrog Sonca po idealni krožnici. Obstaja pet Lagrangeevih točk tega para nebesnih teles, ki jih navadno označujemo od L_1 do L_5.

Lege Lagrangeevih točk para Sonce – Zemlja

Najprej opozorimo, da Lagrangeeva točka ni neko telo, temveč samo geometrijska točka v ravnini ekliptike sistema Sonce – Zemlja. Zaradi nazornosti obravnavajmo Sonce in Zemljo kot točkasti telesi. Vseh pet Lagrangeevih točk kroži okrog Sonca sinhrono z Zemljo, zato imajo enako kotno hitrost kot Zemlja: $\omega = 2\pi/t_0$, kjer je obhodni čas t_0 enak enemu letu. Prvi dve, L_1 in L_2, sta relativno blizu Zemlje, vsaj v primerjavi z razdaljo *d* med Soncem in Zemljo, ki je približno 150 milijonov kilometrov; Lagrangeeve točke L_3, L_4 in L_5 pa so veliko bolj oddaljene od nas. Njihove lege glede na trenutni položaj Zemlje so prikazane na sliki 1. Lagrangeeve točke L_1, L_2 in L_3 ležijo na premici, ki gre skozi Sonce in Zemljo. Točka L_1 leži med Soncem in Zemljo (a je neprimerno bliže Zemlji), L_2 je na nasprotni strani Zemlje kot L_1, L_3 pa na nasprotni strani Sonca glede na Zemljo. Točki L_4 in L_5 s Soncem in Zemljo tvorita enakostranični trikotnik, le da L_4 pri kroženju okrog Sonca prehiteva Zemljo, L_5 pa zaostaja za njo. Za vse te točke je značilno, da so nekakšne kvazi-ravnovesne točke: tam je vektorska vsota gravitacijske sile Sonca in Zemlje na manjše tretje telo (npr. umetni satelit ali kak asteroid) enaka centripetalni sili za kroženje s kotno hitrostjo ω. Vendar so točke od L_1 do L_3 metastabilne, pri točkah L_4 in L_5 pa gre za stabilno ravnovesje.



Slika 1: *Lege petih Lagrangeevih točk sistema Sonce in Zemlja.*

Izračun leg Lagrangeevih točk

Pri vseh računih upoštevamo gravitacijsko silo Sonca in Zemlje na tretje telo v Lagrangeevi točki, medtem ko vpliv tega telesa na lego Sonca in Zemlje povsem zanemarimo. Najprej hkrati obravnavajmo točki L_1 in L_2, saj je njuna interpretacija najenostavnejša. Celo v tem primeru bomo ugotovili, da enačba za njuni legi ni najbolj preprosta. Točno v eni ali drugi točki naj bo telo z maso m. Nanj delujeta gravitacijski sili Sonca $\vec{F}_{gS}$ in Zemlje $\vec{F}_{gZ}$: za L_1 v nasprotnih smereh, za L_2 pa v isti smeri. V obeh primerih kaže rezultanta obeh sil, to je centripetalna sila, proti Soncu. Zanima nas oddaljenost teh dveh točk od Zemlje. Bolj praktično je računanje z brezdimenzijskimi količinami, zato bomo za osnovno dolžinsko skalo vzeli kar razdaljo med Soncem in Zemljo (astronomsko enoto) in jo označili z d. Tako določimo razdaljo d_{LZ} med telesom oziroma Lagrangeevo točko in Zemljo z brezdimenzijsko spremenljivko x: $d_{LZ} = x\,d$. Razdalja med telesom in Soncem je potem: $d_{LS} = (1 - x)d$ v primeru L1 ter $d_{LS} = (1 + x)$ d v primeru L2. Izpeljimo torej enačbo za neznanko x za obe Lagrangeevi točki hkrati: kjer bo v enačbi simbol $\pm$, bo zgornji predznak veljal za točko L2 in spodnji za L1. Masi Sonca in Zemlje označimo z m_S in m_Z, gravitacijsko konstanto pa z G. Zapišimo enačbo za centripetalno silo na telo:

$$md_{LS}\omega^2 = \frac{Gm_S m}{d_{LS}{}^2} \pm \frac{Gm_Z m}{d_{LZ}{}^2} \qquad (1)$$

Maso telesa m lahko okrajšamo. Ker pa tudi Zemlja kroži okrog Sonca zaradi gravitacijske sile, lahko enačbo (1) zapišemo v precej nazornejši obliki, tako da hkrati odpravimo še faktorja ω^2 in G. Analogna enačba za kroženje Zemlje je:

$$m_Z d\omega^2 = \frac{Gm_S m_Z}{d^2} \qquad (2)$$

Kombinirajmo enačbi (1) in (2), pa dobimo:

$$\frac{m_S d_{LS}}{d^3} = \frac{m_S}{d_{LS}{}^2} \pm \frac{m_Z}{d_{LZ}{}^2} \qquad (3)$$

Uvedimo še razmerje mas Zemlje in Sonca $\alpha = m_Z/m_S$, razdalji d_{LS} in d_{LZ} izrazimo s spremenljivko x in astronomsko enoto d, okrajšajmo maso Sonca, odpravimo ulomke, pa predelamo enačbo (3) v povsem brezdimenzijsko obliko:

$$x^2(1 \pm x)^3 = x^2 \pm \alpha(1 \pm x)^2 \qquad (4)$$

To je enačba za ničle polinoma pete stopnje in lahko jo rešimo numerično. Ker pa sta tako parameter α kot spremenljivka x majhni števili v primerjavi z 1, lahko takoj dobimo približno rešitev. Člen x^2 je na obeh straneh enačbe in se izniči, zato moramo na levi strani enačbe vzeti še drugi člen v razvoju kuba dvočlenika v oklepaju, na desni strani pa je poleg člena x^2 čisto dovolj vzeti še največji člen α. Potem dobimo za obe Lagrangeevi točki dokaj enostavno rešitev:

$$x_{1,2} = \sqrt[3]{\frac{\alpha}{3}} \qquad (5)$$

Torej je približna razdalja med Zemljo in obema Lagrangeevima točkama:

$$d_{LZ} = \sqrt[3]{\frac{m_Z}{3m_S}} \cdot d \approx \frac{d}{100} \qquad (6)$$

Upoštevali smo, da je masa Zemlje okrog $6 \cdot 10^{24}$ kg, masa Sonca pa okrog $2 \cdot 10^{30}$ kg, tako da se da pri teh podatkih rezultat $d_{LZ} = d/100$ izračunati na pamet. Ker je d približno 150 milijonov kilometrov, je d_{LZ} približno 1,5 milijona kilometrov. Poudarimo, da nam pri obravnavi prvih dveh Lagrangeevih točk ni bilo treba upoštevati dejstva, da se zaradi gravitacijskega privlaka Zemlje nekoliko giblje tudi Sonce in da bi pri natančnejšem računu morali npr. na levi strani enačbe (1) namesto razdalje d_{LS} vzeti razdaljo točk L1 ali L2 do skupnega masnega središča sistema Sonce – Zemlja.

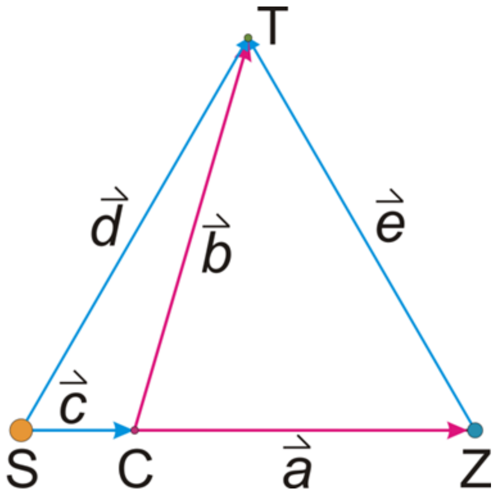
Pri tretji Lagrangeevi točki je račun podoben, vendar moramo biti previdnejši. Ta točka je na nasprotni strani Sonca kot Zemlja, zato je gravitacijski vpliv Zemlje na telo v njej zelo majhen. Telo zaradi enake kotne hitrosti kot pri Zemlji v tej točki kroži okrog Sonca praktično po istem tiru kot Zemlja. Vseeno poskusimo biti natančnejši in izračunati, kako gravitacijski vpliv Zemlje spremeni razdaljo med Soncem in točko L3 – ta razdalja je nekoliko manjša kot d. Spet si pomagamo s spremenljivko x: $d_{LS} = (1 + x)$d; izraz je takšen kot pri točki L2, samo da pričakujemo neprimerljivo manjšo vrednost parametra x. Razdalja med L3 in Zemljo je potem: $d_{LZ} = (2 + x)d$. Gravitacijska sila Sonca in Zemlje kažeta v isto smer. Upoštevati moramo tudi, da Sonce in

Zemlja krožita okrog skupnega masnega središča (gl. razlago za točko L4 spodaj). Iz zveze med gravitacijskima silama in centripetalno silo glede na masno središče sistema Sonce – Zemlja dobimo tale izraz za *x*:

$$x_3 = -\frac{7\alpha}{12} \tag{7}$$

Spet vstavimo podatke za m_Z, m_S in *d*, pa ugotovimo, da je tretja Lagrangeeva točka samo 260 km bližje Soncu kot Zemlja (če smo natančni in gledamo središča nebesnih teles).

Če pa hočemo z vidika sil in dinamike prav razumeti legi Lagrangeevih točk L4 in L5, moramo nujno upoštevati, da zaradi končne mase Sonca krožita tako Zemlja kot Sonce (natančneje njegovo središče) okrog skupnega masnega središča sistema Sonce – Zemlja. Zaradi enostavnejšega zapisa bomo to točko imenovali kar »center« in jo označili s točko C na sliki 2. Zaradi lažje predstave je na sliki razdalja med točkama S in C pretirano velika. Predstavimo gibanje Lagrangeeve točke L4 (točka T na sliki), ki sinhrono s Soncem (S) in Zemljo (Z) kroži okrog točke C v smeri nasprotno od urnega kazalca. Pri tem tvorijo točke S, Z in T natančno enakostranični trikotnik s stranico *d*. Pokazali bomo, da kaže rezultanta gravitacijskih sil Sonca in Zemlje na telo zares proti točki C in da se tudi kotna hitrost kroženja telesa okrog C ujema s kotno hitrostjo Sonca in Zemlje. Tako si lahko predstavljamo, da se enakostranični trikotnik SZT togo in enakomerno vrti okrog točke C.



Slika 2: *Trenutne lege Sonca (S), Zemlje (Z) in telesa (T) oziroma Lagrengeeve točke L4 pri kroženju okrog točke C. Osnovna vektorja pri računu sta $\vec{a}$ in $\vec{b}$, z njima pa izrazimo še pomožne vektorje $\vec{c}$, $\vec{d}$ in $\vec{e}$ Točke S, Z in T tvorijo enakostranični trikotnik s stranico d.*

Zaradi ravninske geometrije problema si je dovolj izbrati dva vektorja, ki določata vse druge. Naj bosta to vektorja $\vec{a}$ in $\vec{b}$, ki povezujeta center C s točkama Z in T. Veljata še zvezi $\vec{d} = \vec{b} + \vec{c}$ in $\vec{e} = \vec{b} - \vec{a}$, medtem ko je $\vec{c}$ vzporeden vektorju $\vec{a}$. Po definiciji masnega središča najprej zapišemo velikosti vektorjev $\vec{a}$ in $\vec{c}$:

$$a = \frac{m_S}{m_S + m_Z} d \tag{8 a}$$

$$c = \frac{m_Z}{m_S + m_Z} d \tag{8 b}$$

Zato je zveza med vektorjema $\vec{a}$ in $\vec{c}$ preprosta:

$$\vec{c} = \frac{m_Z}{m_S} \vec{a} = \alpha \vec{a} \tag{9}$$

Vektorja $\vec{d}$ in $\vec{e}$ sta potem:

$$\vec{d} = \vec{b} + \vec{c} = \vec{b} + \alpha\vec{a} \quad (10\ a)$$

$$\vec{e} = \vec{b} - \vec{a} \quad (10\ b)$$

Njuna velikost je kar *d*. Izrazimo zdaj gravitacijski sili Sonca in Zemlje na telo v točki T, ki ima maso *m*:

$$\vec{F}_{gS} = -\frac{Gm_Sm}{d^3}\vec{d} = -\frac{Gm_Sm}{d^3}\left(\vec{b} + \alpha\vec{a}\right) \quad (11a)$$

$$\vec{F}_{gZ} = -\frac{Gm_Zm}{d^3}\vec{e} = -\frac{G(\alpha m_S)m}{d^3}\left(\vec{b} - \vec{a}\right) \quad (11\ b)$$

Ko vektorsko seštejemo sili (11 a) in (11 b), takoj opazimo, da se člena z vektorjem $\vec{a}$ izničita. Zato je skupna gravitacijska sila res v nasprotni smeri vektorja $\vec{b}$:

$$\vec{F}_g = -\frac{G(m_S + m_Z)m}{d^3}\vec{b} \quad (12)$$

Poiskati moramo še kotno hitrost kroženja Lagrangeeve točke okrog centra C. Računamo podobno kot pri enačbah (1) in (2), tako da izenačimo velikosti centripetalne in gravitacijske sile. Pri tem pa nam sploh ni treba izračunati velikosti vektorja $\vec{b}$. Ustrezna enačba nam pove:

$$mb\omega^2 = \frac{G(m_S + m_Z)m}{d^3}b$$

$$\omega^2 = \frac{G(m_S + m_Z)}{d^3} \quad (13)$$

Pokažimo, da z enako kotno hitrostjo krožita tudi Zemlja in Sonce okrog točke C. Ne smemo uporabiti enačbe (2), ker moramo biti zdaj natančnejši:

$$m_Za\omega^2 = \frac{Gm_Sm_Z}{d^2}$$

$$\omega^2 = \frac{Gm_S}{d^2a}$$

Upoštevamo še enačbo (8 a) za razdaljo *a*, pa res pristanemo pri enačbi (13). Dokaz za pravilnost lege pete Lagrangeeve točke je podoben kot za L_4.

Za neko pojasnilo se vrnimo spet k točki L_3. V viru [3] je navedeno, da je ta točka zunaj Zemljine orbite in je za njeno oddaljenost od Zemlje podana približna enačba:

$$r = R\left(2 + \frac{5\alpha}{12}\right) \quad (14)$$

To ni v nasprotju z enačbo (7) in s trditvijo, da je L_3 bliže Soncu kot Zemlja. V enačbi (14) s količino $R = a$ mislimo polmer kroženja Zemlje okrog centra C na sliki 2. Preverimo enačbo (14):

$$r = (2 + x)d = \left(2 - \frac{7\alpha}{12}\right)d$$

Če upoštevamo še $R = a = d/(1 + \alpha)$ v enačbi (8 a), res ob zanemarjenem kvadratnem členu v α dobimo:

$$r = \left(2 - \frac{7\alpha}{12}\right)\cdot R\cdot(1+\alpha) \approx R\left(2 + \frac{5\alpha}{12}\right)$$

Ponovimo na videz nenavadno lastnost točke L_3: je bliže Soncu kot Zemlja, vendar je zunaj Zemljine orbite; to je mogoče zaradi razdalje *c* med središčem Sonca in skupnim masnim središčem sistema Sonce – Zemlja na sliki 2.

Stabilnost »ravnovesnih« leg v Lagrangeevih točkah

Kako vemo, da je v točkah L_1, L_2 in L_3 labilno in ne stabilno (kvazi)ravnovesje? Obravnava stabilnosti ravnovesne lege je preprostejša, če vzamemo, kot da so sile na telo v tej točki zares v ravnovesju. Namesto centripetalne sile, ki je rezultanta gravitacijskih sil Sonca in Zemlje, raje vzamemo sistemsko silo, ki je nasprotno enaka centripetalni sili (imenujemo jo tudi centrifugalna sila). Tedaj je vektorska vsota gravitacijskih sil in sistemske sile v Lagrangeevih točkah enaka nič. Dovolj je predvideti le majhne odmike telesa iz ravnovesja v smeri zveznice skozi vsa tri telesa in pokazati, da takšni odmiki povzročijo takšno neravnovesje sil, da še bolj potisne telo proč od ravnovesne lege. Velikosti gravitacijskih sil Sonca in Zemlje ter sistemske sile označimo z F_{gS}, F_{gZ} in F_{sist}, zato jih jemljemo za pozitivne količine, ne glede na smeri. Zaradi smeri odmikov telesa in sil na isti premici lahko namesto vektorskih enačb pišemo kar skalarne enačbe ali neenačbe za omenjene velikosti sil. V vseh primerih bomo tudi predpostavili, da se kotna hitrost kroženja telesa okrog Sonca pri premiku ne spremeni. Zato je centripetalna oziroma njej nasprotna sistemska sila F_{sist} odvisna samo od razdalje telesa od Sonca in je sorazmerna z njo.

Vzemimo najprej točko L_1. Zanjo lahko napišemo enačbo $F_{gS} = F_{gZ} + F_{sist}$. Premaknimo zdaj telo nekoliko proti Zemlji. Sila F_{gS} se tedaj zmanjša, ker je telo dlje od Sonca, sili F_{gZ} in F_{sist} pa se obe povečata. Zato velja $F_{gS} < F_{gZ} + F_{sist}$ in rezultanta vseh treh sil kaže proti Zemlji; torej še bolj potiska telo proč od L_1. V točki L_2 velja: $F_{sist} = F_{gS} + F_{gZ}$. Spet premaknimo telo nekoliko proti Zemlji in hkrati proti Soncu. Zaradi večje bližine obeh nebesnih teles se obe gravitacijski sili, F_{gS} in F_{gZ}, povečata, medtem ko se F_{sist} zmanjša. Zato velja: $F_{sist} < F_{gS} + F_{gZ}$. Rezultanta vseh treh sil kaže proti Zemlji in Soncu; torej še bolj potiska telo proč od L_2. Podoben sklep velja tudi za Lagrangeevo točko L3. Zares so ravnovesne lege telesa v vseh treh Lagrangeevih točkah nestabilne. Dokaz, da sta točki L_4 in L_5 stabilni, je veliko zahtevnejši, zato ga opustimo. Eden od načinov je npr. zapis Lagrangiana za telo v okolici točke L_4, izpeljava Euler-Lagrangeevih enačb in numerično iskanje trajektorij za različne začetne pogoje telesa.

Telesa okrog Lagrangeevih točk

Ker sta točki L_4 in L_5 stabilni, lahko ujameta številna manjša nebesna telesa. Točki L4 in L5 za sistem Sonce – planet sta npr. središči za kroženje številnih asteroidov, ki se gravitacijsko ujamejo vanju. Takšne asteroide imenujemo Trojanci po asteroidih Agamemnon, Ahil in Hektor sistema Sonce – Jupiter. Po znanih podatkih ima Trojance kar šest planetov: Zemlja, Venera in Uran po enega, Mars 7, Neptun 18 in Jupiter morda milijon. Zemljin Trojanec je asteroid 2010 TK7 s premerom 300 m, ki kroži okrog L_4. Odkrilo ga je Nasino plovilo NEOWISE, njegov tir pa je precej kaotičen. Okrog L_4 in L_5 so morda tudi oblaki prahu.

Kot zanimivost omenimo nekaj primerov današnje uporabe Lagrangeevih točk para Sonce – Zemlja za umetne satelite. Točka L_1 je optimalna za opazovanje Sonca, ker ga Zemlja ne zastira. Prvi satelit, ko so ga poslali tja, je ISEE-3 (International Sun Earth Explorer 3), njegova naloga pa je zgodnje opozarjanje na sončne motnje. Solarni veter namreč doseže točko L_1 približno eno uro prej kot Zemljo. Satelit je v halo orbiti okrog L_1, tako da se njegova oddaljenost od Sonca spreminja med 0,93 *d* (astronomskih enot) in 1,03 *d*. Znani plovili z orbito okrog te točke sta tudi SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) in Deep Space Climate Observatory. V bližino L_1 je dne 22. 1. 2016 prispelo tudi plovilo LISA Pathfinder (LISA = Laser Interferometer Space Antenna) z namenom detekcije gravitacijskih valov.

Še zanimivejša je točka L_2, ki je izjemno primerna za opazovanje vesolja. Tja so poslali npr. Herschel Space Telescope in Planck Space Observatory. Za to točko pa načrtujejo tudi plovilo James Webb Space Telescope. Ta bo deloval v infrardečem delu spektra, Zemlja kot ščit pred Sončevim segrevanjem pa bo omogočila ohladitev teleskopa na –225 °C. Zaradi nestabilnosti točk L_1 in L_2 morajo imeti plovila za ohranjanje halo orbit okrog teh točk raketne motorje za popravljanje odmikov od orbit. Točka L_3 pa ni primerna za vesoljske misije. Za L_4 in L_5 še ni bilo predvidenih orbit satelitov, morda pa bi bili v prihodnosti primerni za vesoljske kolonije. Razmišljajo tudi o uporabi Langrangeevih točk sistema Zemlja – Luna.

Literatura

[1] Goldstein, H. (1980) *Classical mechanics*, Addison-Wesley, Boston, ZDA.

[2] Ketiš, I. (2017) *Raziskovanje Sončnega sistema*, Založba obzorja d. d., Maribor.

[3] Wikipedia, Lagrangeeva točka, dostopno na: https://sl.wikipedia.org/wiki/Lagrangeeva_to%C4%8Dka

DOLOČANJE ČASA S SONČNIMI URAMI IN GEOGRAFSKE ŠIRINE Z VIŠINOMEROM

prof. dr. Matej Mencinger[1], Tanja Vajs[2], Nejc Novak[1], prof. dr. Robert Repnik[2]

[1]Univerza *v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo*

[2]*Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko*

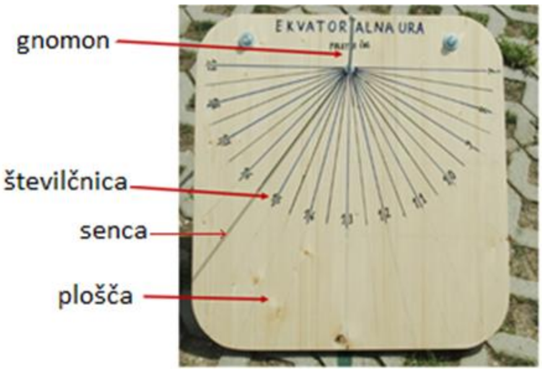
Uvod

Že v antiki so ljudje merili čas s sončnimi urami in določali geografsko širino s pomočjo preprostega astronomskega pripomočka, tako imenovanega višinomera.

Najstarejša znana sončna ura je bila najdena v neolitski grobnici na Irskem in bi naj izvirala iz obdobja 5000 pr. n. št. Druge ohranjene sončne ure iz starega Egipta in Babilona so iz okrog 1500 pr. n. št. Verjetno so ljudje čas pred iznajdbo bolj sofisticiranih sončnih ur merili z dolžino sence, kar pa je težko potrditi. Tudi Stari Grki so razvili več oblik sončnih ur, Rimljani pa so privzeli starogrške sončne ure. Z razvojem tehnologije in začetkom »hitrih« potovanj okoli sveta so sončne ure sčasoma začele izgubljati na pomenu. Danes služijo kot mestne zanimivosti predvsem na starejših objektih ali pa predstavljajo veličasten samostojni arhitekturni objekt [1].

Z določanjem geografske širine so se prav tako ukvarjale že predantične in antične civilizacije, ki so merile višino Sonca v različnih dneh med letom, predvsem v dneh solsticijev, ko je višina Sonca v zgornji kulminaciji najvišja in najnižja. V poznem 15. stoletju so pomorščaki določali geografsko širino za navigacijo. Od leta 1990 se za določanje geografske širine uporablja satelitski sistem GPS [1-6].

Vsaka sončna ura je sestavljena iz senčnika (gnomona) in številčnice (urnih črt) (slika 1). Ob sončnem vremenu senčnik meče senco na številčnico in kaže uro.

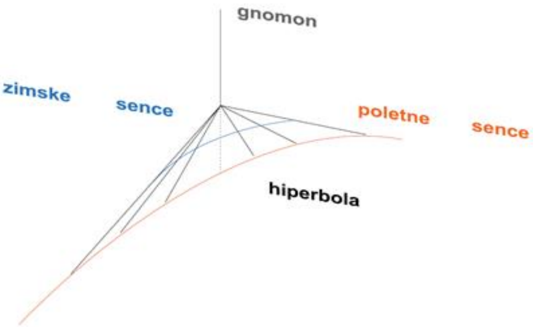


Slika 1: *Zgradba sončne ure.*

Sončne ure delimo na ure s fiksnim in na ure s premičnim gnomonom. Med ure s fiksnim senčnikom spadajo ekvatorialna sončna ura in ure, ki jih dobimo s projekcijami ekvatorialne ure: horizontalna (nastane s projekcijo ekvatorialne sončne ure na horizontalno ravnino) in vertikalna sončna ura (nastane s projekcijo ekvatorialne sončne ure na vertikalno podlago). Posebni različici teh ur sta tudi sončna ura ''kocka'' in sončna ura ''prizma''. Primer sončne ure s premičnim gnomonom je tako imenovana pastirska sončna ura [1-6].

Kako potuje senca?

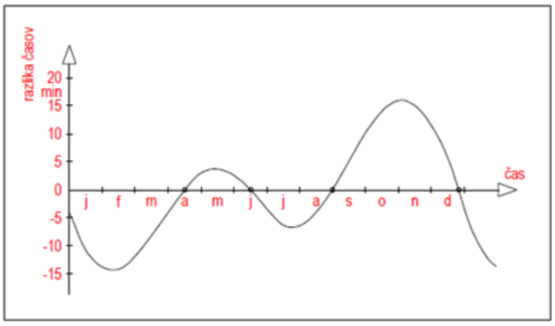
Zemlja potuje okrog Sonca, kar opazimo kot navidezno premikanje Sonca na nebu. Z navideznim premikanjem Sonca se spreminjata tudi dolžina in lega sence. Nižje, kot je Sonce, daljša je senca. Torej je zjutraj in zvečer senca najdaljša, opoldne pa najkrajša. Sonce navpičnega gnomona se čez dan giblje po hiperbolah od zahoda proti vzhodu po hiperboli (slika 2) [3, 6].



Slika 2: *Poletne in zimske sence navpičnega gnomona se tekom enega dneva gibljejo po hiperboli.*

Kaj izvemo iz časovne enačbe?

»Enačba časa« predstavlja graf, iz katerega lahko odčitamo, za koliko minut sončna ura zaostaja ali prehiteva dejansko uro (npr. ročno uro) (slika 3).



Slika 3: *''Enačba časa'' je graf, ki prikazuje razliko med sončno in ročno uro.*

Iz časovne enačbe izvemo tudi, kako se spreminja nastop kulminacije med letom. Na abscisni osi grafa enačbe so naneseni meseci (lahko tudi dnevi), na ordinatni osi pa razlika med sončno in ročno uro, kot kaže enačba (1). Ploščina grafa pod krivuljo abscisne osi je enaka ploščini nad krivuljo. Sončno uro lahko glede na zemljepisno dolžino priredimo (primerno zamaknemo številčnico) glede na veljavni lokalni čas, nikakor pa pri sončnih urah ekvatorialnega tipa ne moremo izničiti razlike (napake), ki jo opisuje enačba časa. Časovna enačba je posledica dveh vplivov: nagiba Zemljinega ekvatorja proti ekliptiki in neenakomerne hitrosti gibanja Zemlje okrog Sonca, saj tir poti Zemlje okrog Sonca ni krožnica, ampak elipsa (1. Keplerjev zakon). Na svoji poti okoli Sonca ima Zemlja različne hitrosti. Kadar je Soncu bliže, je njena hitrost večja, kadar je od njega bolj oddaljena, je hitrost manjša (2. Keplerjev zakon). Časovna funkcija (razlike) ima dva minimuma in dva maksimuma ter je štirikrat na leto enaka nič. Minimuma nastopita 12. februarja (-14,4 min) in 27. julija (-6,4 min). Maksimuma nastopita 15. maja (+3,4 minute) in 4. novembra (+16,4 minute). Čas, kjer je razlika med obema časoma enaka nič, nastopi 15. aprila, 14. junija, 1. septembra in 25. decembra. Enačba za izračun časa, ki ga kaže ročna ura, glede na čas sončne ure, je:

ročna ura = sončna ura – enačba časa (1)

Ko velja neenačba (graf na sliki 3 ima pozitivne vrednosti):

sončna ura – ročna ura > 0; (2)

sončna ura prehiteva ročno;

Ko velja neenačba (graf na sliki 3 ima negativne vrednosti):

sončna ura – ročna ura < 0; (3)

ročna ura prehiteva sončno.

Primer: Dne 6. 6. 2018 kaže sončna ura v Rušah čas 13:00. Popravek enačbe časa na ta dan je 3 min. Koliko kaže naša ročna ura, ko je Sonce v kulminaciji?

ročna ura = sončna ura – enačba časa

ročna ura = 13:00 – 3 min = 12:57

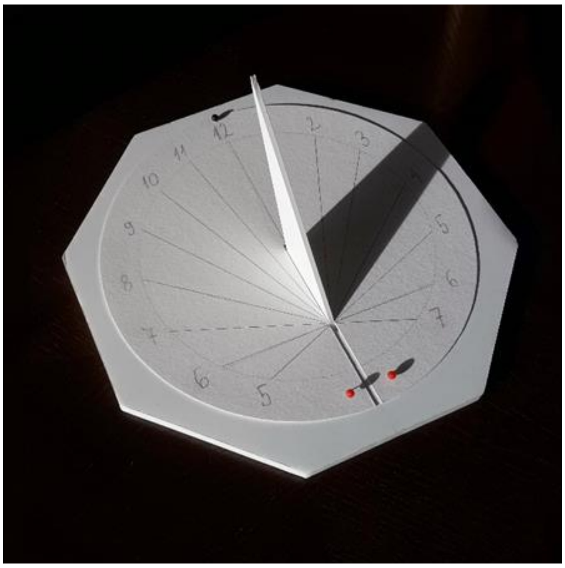
Pri tem se moramo zavedati, da je Sonce v kulminaciji opoldne, vendar moramo poleti upoštevati premik zaradi poletnega časa [1-6].

Značilnosti ekvatorialne ure

Gnomon ekvatorialne sončne ure je vzporeden z rotacijsko osjo Zemlje. Kót med gnomonom in številčnico znaša 90° (slika 1). Kót med horizontom in gnomonom je enak geografski širini kraja, na kateri se sončna ura nahaja [7].

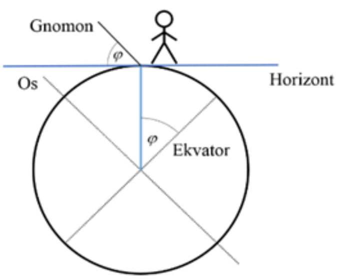
Kako konstruiramo horizontalno uro?

Horizontalna sončna ura nastane s projekcijo ekvatorialne sončne ure na horizontalno ravnino. Gnomon je vzporeden z Zemljino osjo vrtenja [7].



Slika 4*: Horizontalna sončna ura lastne izdelave. Fotografija je bila zajeta 11. 09. 2018 ob 17:25. Sončna ura v primerjavi z ročno zaostaja za eno uro zaradi zamika na poletni čas.*

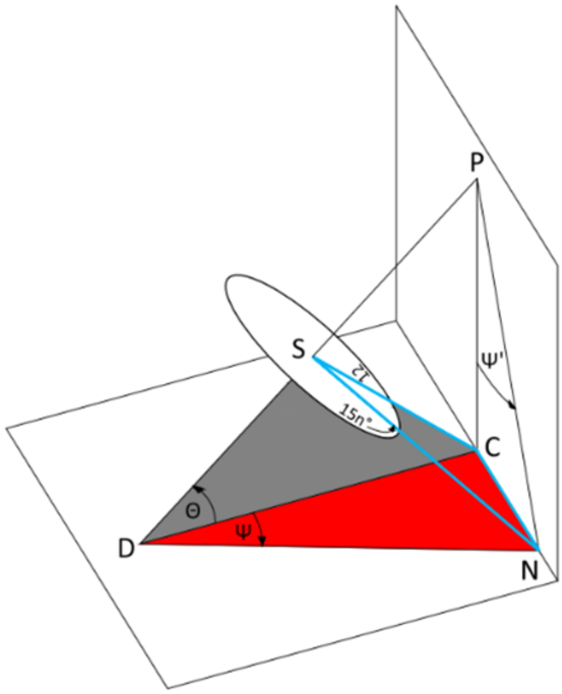
Glede na številčnico je gnomon nagnjen za kot ki je enak geografski širini na kateri se sončna ura nahaja [1-7]:



Slika 5: *Gnomon je vzporeden z Zemljino osjo vrtenja [7].*

Številčnica horizontalne sončne ure je projicirana iz ravnine, ki je nagnjena za kot $90° - \varphi$, na horizontalno (vodoravno) ravnino.

Gnomona horizontalne in ekvatorialne sončne ure sovpadata, zato si lahko hkrati predstavljamo konstrukciji obeh sončnih ur. Pri horizontalni sončni uri je krožna številčnica ekvatorialne sončne ure projicirana na vodoravno ravnino. Urni kót ψ horizontalne sončne ure je odvisen od časovnega kóta Sonca (od kóta na ekvatorialni uri 15n°) ter geografske širine ϑ, na kateri se sončna ura nahaja (glej sliko 6):



Slika 6: *Konstrukcija horizontalne sončne ure*.

Glede na zgornjo sliko lahko zapišemo naslednje matematične zveze:

- sivi trikotnik (SCD):

$$\sin\vartheta = {}^{CS}/_{CD}, \qquad (4)$$

iz česar sledi:

$$CS = CD \cdot \sin\vartheta; \qquad (5)$$

- modri trikotnik (SCN):

$$\tan 15n° = {}^{NC}/_{CS}, \qquad (6)$$

iz česar sledi:

$$NC = \mathrm{CS}\tan 15n°; \qquad (7)$$

- rdeči trikotnik (CND):

$$\tan\psi = {}^{NC}/_{CD}, \qquad (8)$$

iz česar sledi:

$$NC = CD\tan\psi. \qquad (9)$$

Če združimo zgoraj zapisane enačbe za vse tri trikotnike, dobimo:

$$CD\tan\psi = CD\sin\vartheta\tan(15n°), \qquad (10)$$

pri čemer vidimo, da se CD okrajša.

Urni kót horizontalne sončne ure zapišemo kot:

$$\tan\psi = \sin\vartheta\tan(15n°). \qquad (11)$$

Urni kót vertikalne sončne ure zapišemo kot:

$$\tan\psi' = \cos\vartheta\tan(15n°). \qquad (12)$$

V zgornjih enačbah je $15n^{\circ}$ urni kót ekvatorialne ure, ki ga kaže ekvatorialna ura. Na primer ob 12.00 (poleti ob 13.00) je $n = 0$. Ob 17.15 (poleti ob 18.15) je $n = 5{,}25$ in je urni kót ekvatorialne ure enak $78{,}75^{\circ}$. Ob 10.30 (poleti ob 11.30) je $n = -1{,}5$ in je urni kót ekvatorialne ure enak $-22{,}5^{\circ}$.

Izpeljava za vertikalno uro je podobna kot pri horizontalni uri, le da matematične zveze zapišemo iz trikotnikov ΔPSC, ΔPCN in ΔSCN.

Sončna ura kocka

Sončna ura v obliki kocke je sestavljena iz vertikalne in horizontalne sončne ure. Na zgornji ploskvi kocke opazimo horizontalno sončno uro, medtem ko na severni, južni, zahodni in vzhodni strani vidimo vertikalno sončno uro. Vzhodni in zahodni strani kocke je skupno to, da imata vzporedna gnomona, razlikujeta pa se v tem, da imata različni številčnici (slika 7).

Slika 7: *Sončna ura kocka.*

Stran kocke, obrnjena proti severu, je osvetljena le zgodaj zjutraj, po sončnem vzhodu in pozno zvečer pred sončnim zahodom. Medtem je stran kocke, ki je obrnjena proti jugu, osvetljena najdlje; poleti nekje med 6:00 in 18:00.

Podobno se lahko naredijo še sončne ure na drugih matematičnih telesih, posebej zanimiva je osemstrana prizma:

Slika 8: *Osemstrana prizma*.

Osemstrana prizma, prikazana na sliki zgoraj, ni pravilna osemstrana prizma. Koti med stranskimi ploskvami medsebojno namreč niso enaki, kot je to običajno za pravilno osemstrano prizmo, temveč so poševne stranice, ki bi sicer bile nagnjene pod kotom 45° glede na navpičnico, prilagojene geografski širini kraja, na kateri se nahajamo (v kraju Ruše, za katerega je bila omenjena sončna ura izdelana, je to 46° in 32'), zato na poševnih ploskvah dejansko nastopita klasična ekvatorialna ura in polarna ura.

Kako določamo geografsko širino s pomočjo Sonca v zgornji kulminaciji?

Za to metodo potrebujemo višinomer, stativ za pritrditev višinomera in polarizacijska stekla ali masko za varjenje, da preprečimo direktno gledanje v Sonce.

Slika 9: *Višinomer, pritrjen na stativ.*

Slika 10: *Del višinomera, kjer odčitamo kot, pod katerim gledamo nebesno telo, in polarizacijski stekli.*

Najprej pridobimo podatke o kulminaciji, ki jih izvajamo z meritvami v času zgornje kulminacije Sonca, lahko tudi pet minut pred ali po tem. Nato na nasprotno stran cevke višinomera, skozi katero bomo gledali v Sonce, pritrdimo polarizacijska stekla. Da preprečimo direktno gledanje v Sonce, lahko uporabimo tudi masko za varjenje. Nato skozi cevko višinomera pogledamo v Sonce in na višinomeru odčitamo kot, pod katerim gledamo v Sonce. Pri tem moramo Sonce videti čim bolj v središču premera cevke. Geografsko širino, na kateri se nahajamo, izračunamo po formuli:

$$\varphi = 90^\circ - h + \delta_S, \qquad (13)$$

kjer je h odčitana višina Sonca v njegovi zgornji kulminaciji in δ_S deklinacija Sonca na izbrani dan. Pri tem je potrebno poudariti, da je odčitana višina Sonca kót in ne razdalja, kot bi lahko napačno sklepali.

Nato izračunamo razliko med dejansko in izmerjeno geografsko širino (D):

$$D = \varphi - \varphi^*, \qquad (14)$$

pri čemer je φ^* dejanska in φ izmerjena geografska širina [8].

Kako upoštevamo odmik od poldnevnika 15*k*° na številčnici sončne ure ekvatorialnega tipa?

Zemlja se vrti v nasprotni smeri urinega kazalca, zato Sonce vzhaja na vzhodu. Zamislimo si, da se postavimo v nek kraj, kjerkoli na Zemlji. Za vse kraje, ki se bodo nahajali vzhodneje od našega izbranega kraja, tako velja, da bo Sonce v njih vzšlo prej, oziroma kasneje, če se kraji nahajajo zahodneje od nas. Na podlagi te ugotovitve pridemo do spoznanja, da če zanemarimo vpliv enačbe časa, bo v kraju, ki leži na ničelnem oziroma greenwiškem poldnevniku, Sonce v kulminaciji, torej bo najvišje na nebu, točno ob 12. uri. Takrat bo tudi sončna ura kazala sončev čas točno 12:00. Če se pomaknemo, denimo za 5 kotnih stopinj proti vzhodu, bo tam kulminacija nastopila prej, ob 11:40 po UCT (univerzalni koordinirani čas, angl. universal coordinated time). Takrat bo lokalni sončev čas kazal 12:00, saj bo Sonce takrat v kulminaciji, oziroma ob 12:00 uri po UCT bo sončev čas kazal 12:20. Če torej želimo, da bo ekvatorialna sončna ura kazala čas, enak UCT in sončevemu času, moramo njeno številčnico zavrteti "nazaj", torej za 5 stopinj naprej v smeri urinega kazalca. Za naše kraje znaša k≈-1, zato številčnica ekvatorialne sončne ure za 1 uro prehiteva UCT.

Isto je potrebno upoštevati še pri izpeljavah sončnih ur, nastalih s projekcijo ekvatorialne sončne ure. To velja, na primer, za horizontalno sončno uro, analematično sončno uro, polarno sončno uro in za vertikalno sončno uro, le da je pri slednji potrebno urne kote na številčnico nanašati v obratni smeri urinega kazalca zaradi njene drugačne konstrukcije. Vertikalna sončna ura namreč nastane s projekcijo številčnice ekvatorialne sončne ure vzdolž gnomona na vertikalno ravnino.

Konstrukcijo vzhodne in zahodne vertikalne sončne ure na poldnevniku 15*k*° na grafični način si najlažje zamislimo s postavitvijo krožnice – dejansko gre za številčnico ekvatorialne sončne ure – na navpično ploskev tako, da je urna črta za 6. uro na vzhodni vertikalni sončni uri oziroma za 18. uro na zahodni vertikalni sončni uri vzporedna s kotom geografske širine, izmerjenim glede na navpičnico ploskve. Na presečišču tangente na krožnico, zarisane pravokotno na urno črto za 6. oziroma 18. uro, in premice, sekajoče skozi središče krožnice in točko, ki jo opiše urni kót ob izbrani uri, dobimo ustrezne oddaljenosti za medsebojno vzporedne urne črte dotičnih tipov sončnih ur. Senčnik, postavljen pravokotno na podlago in na urno črto za 6. oziroma za 18. uro, je enako visok, kot sta med seboj oddaljeni urni črti za 6. in 9. oziroma med 15. in 18. uro [3].

Matematično se ta oddaljenost (enostavneje) opiše s formulo [1]:

$$P = \frac{a}{\tan H}, \qquad (15)$$

pri čemer je P oddaljenost urne črte od izhodišča na urni črti za 6. oziroma 18. uro po navidezni premici pod komplementarnim kotom geografske širine, a višina gnomona, pravokotnega na podlago, in *H* pripadajoči urni kot ekvatorialne sončne ure.

Če želimo upoštevati odmik od poldnevnika 15*k*° pri vzhodni vertikalni sončni uri, je potrebno krožnico na ekvatorialni sončni uri zavrteti v smeri gibanja urinega kazalca za odmik v stopinjah vzhodno od poldnevnika oziroma v nasproti smeri v slučaju odmika zahodno od poldnevnika. Negativne vrednosti oddaljenosti urnih črt tako nanašamo na številčnico desno od gnomona. Pri zahodni vertikalni sončni uri se krožnica zavrti na slično enak način, le da negativne vrednosti urnih črt nanašamo levo od senčnika.

Na podlagi prej izraženih formul in pravilnega upoštevanja odklona od poldnevnika lahko izračunamo vse urne kote za različne tipe sončnih ur. Na sliki 11 so prikazani urni kóti za ekvatorialno in horizontalno sončno uro. Podobne izračune lahko naredimo tudi za vse druge sončne ure, ki izhajajo iz ekvatorialne ure, tudi za vzhodno in zahodno. V celice tabele so bile vnesene ustrezne formule, ki izračunajo urni kot na številčnici na podlagi odvisnosti od vnesenih podatkov, torej geografske širine in geografske dolžine. Parametri geografske dolžine upoštevajo odmik od poldnevnika 15*k*°, po katerem se ravna pripadajoči časovni pas. Na številčnici ekvatorialne sončne ure namreč senca v času ene ure opiše kót točno 15°, kar ustreza razdelitvi polnega kroga, torej 360° na 24 enakih delov oziroma ur v dnevu.

HORIZONTALNA SONČNA URA

		EKVATORIALNA SONČNA URA		HORIZONTALNA SONČNA URA	
Čas t (ure)	Časovni odmik od poldneva (t -12 ur)	Urni kot v času t (°)	Urni kot v času t (RAD)	Urni kot v času t (RAD)	Urni kot v času t (°)
3	-9	-134,5	-2,347	-2,506	-143,567
4	-8	-119,5	-2,086	-2,233	-127,953
5	-7	-104,5	-1,824	-1,913	-109,623
6	-6	-89,5	-1,562	-1,559	-89,311
7	-5	-74,5	-1,300	-1,206	-69,077
8	-4	-59,5	-1,038	-0,889	-50,921
9	-3	-44,5	-0,777	-0,619	-35,482
10	-2	-29,5	-0,515	-0,389	-22,313
11	-1	-14,5	-0,253	-0,185	-10,625
12	0	0,5	0,009	0,006	0,363
13	1	15,5	0,271	0,199	11,374
14	2	30,5	0,532	0,404	23,136
15	3	45,5	0,794	0,636	36,433
16	4	60,5	1,056	0,908	52,047
17	5	75,5	1,318	1,228	70,377
18	6	90,5	1,580	1,583	90,689
19	7	105,5	1,841	1,936	110,923
20	8	120,5	2,103	2,253	129,079
21	9	135,5	2,365	2,522	144,518
22	10	150,5	2,627	2,752	157,687

Opomba: Pozitivne kote na številčnico nanašamo v smeri ure

URNI KOT NA HORIZONTALNI URI	GEOGRAFSKA ŠIRINA		GEOGRAFSKA DOLŽINA (odmik v ° od n*15°)	
	(°)	(RAD)	(°)	(RAD)
tanH=tanE*sinφ	46,5	0,811578102	0,5	0,008726646

Npr. za 14° je odmik -1°, za 16° pa +1°

Slika 11: *Urni koti ekvatorialne in horizontalne sončne ure v naših krajih.*

Literatura

[1] D. Savoie, *Sundials: Design, Construction, and Use.* Praxis, Chichester, 2009.

[2] B. Walpole in J. Ferbar, *Veselje z znanostjo: Svetloba.* Pomurska založba, Murska Sobota, 1990.

[3] Albert E. Waugh, *SUNDIALS, Their theory and construction*. Dover Publications, New York, 1973.

[4] R. R. J. Rohr, *History, Theory and Practice*. Dover Publications, New York, 1996.

[5] J. Strnad, *Svet merjenj: o razvoju fizike in merjenju osnovnih fizikalnih količin*. DZS, Ljubljana, 2001.

[6] M. Prosen, *Ukvarjanje s senco*. DMFA, Ljubljana, 2003.

[7] A. Šabeder, *Sončne ure pri poučevanju matematičnih in fizikalnih vsebin*, Magistrsko delo (Fakulteta za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru, Maribor, 2016).

[8] T. Vajs, *Določanje geografske širine s pomočjo sence gnomona, višine Sonca v zgornji kulminaciji, višine zvezde severnice in izbranih zvezd v njihovi zgornji kulminaciji*, Diplomski seminar (Filozofska fakulteta Univerze v Mariboru, Maribor, 2016).

[9] https://www.the-saleroom.com/en-us/auction-catalogues/woolley-and-wallis/catalogue-id-srwo10095/lot-0e1e113d-4423-4ed3-b626-a56b009980d3, pridobljeno 18. 9. 2018

OPAZOVANJE KOMETA IN MATEMATIKA ZA NJIMI

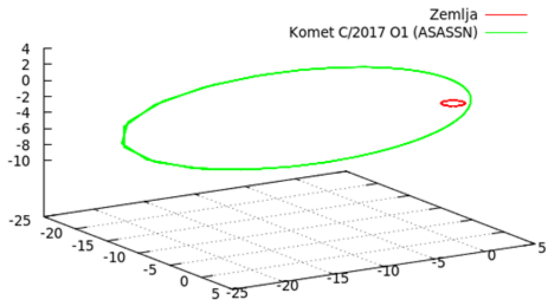
Jurij Šumak1[1], pom. akad. dr. Simon Ülen[1], Rok Vogrinčič[2], prof. dr. Robert Repnik[3]
[1] Gimnazija Franca Miklošiča Ljutomer
[2] Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
[3] Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko

Kaj so sploh kometi?

Kometi so majhna nebesna telesa iz plina, praha in kamna, ki krožijo okoli Sonca po eliptičnih orbitah. Potrebujejo od nekaj let, vse do več milijonov let, da naredijo en obhod. Kometi, ki prihajajo iz Kuiperjevega pasu imajo relativno krajši obhodni čas, kometi iz Oortovega oblaka pa imajo relativno daljši obhodni čas. Večina kometov kroži okoli Sonca v isti smeri kot planeti po elipsastih orbitah. Kometi so sestavljeni iz: jedra - premer jedra kometa je velik od približno 100 m pa vse do 40 km (komet z večjim premerom jedra kot 40 km ni znan), sestavljeno je iz kamnin, prahu, ledu in nekaterih plinov (ogljikov dioksid, ogljikov monoksid, metan, amonijak), kome (koma nastane, ko se komet približuje notranjemu delu Osončja, takrat pričnejo lahko hlapljive snovi izparevati na površini, pri tem se izloča prah, ki je vključen v zamrznjeno telo jedra kometa), repa (rep nastane iz prašnih delcev, ki odbijajo svetlobo in plinov, ki absorbirajo svetlobo in jo nato izsevajo). Repe delimo na tri različne vrste: prašni rep, plinski rep in anti-rep.

Teoretični del naloge

Keplerjeve orbite – V nebesni mehaniki je Keplerjeva orbita gibanje enega telesa glede na drugo v obliki elipse, parabole ali hiperbole, ki tvori dvodimenzionalno orbitalno ravnino v tridimenzionalnem prostoru. Upošteva samo gravitacijsko privlačnost dveh teles, in s tem zanemarja motnje zaradi gravitacijskih interakcij z drugimi telesi, atmosferskim uporom, pritiskom sončnega sevanja in nesferičnimi telesi. Keplerjeve orbite se lahko na različne načine parametrizirajo v šest orbitalnih elementov: velika polos – *a*, ekscentričnost – *e*, naklon (definira kot med ravninsko orbito in referenčno ravnino) – *i*, dolžina dvižnega vozla – *Ω*, argument periapsisa – *ω* in prava anomalija – *ν*. Na podlagi Keplerjevih orbit nato narišemo graf orbite kometa in Zemlje (slika 1).



Slika 1: Pot Zemlje in kometa.

Hitrost kometa in ločljivost kometa

Na kratko si poglejmo, kolikšna bi bila hitrost kometa v periheliju (najbližje Soncu), če bi privzeli, da ima komet parabolično orbito. Specifična orbitalna energija (ε) za parabolično orbito znaša 0, torej je kinetična energija enaka gravitacijski potencialni energiji. Tedaj, zaradi ohranitve orbitalne energije velja: $\varepsilon = \frac{v^2}{2} - \frac{\mu}{r} = 0$, kjer je v orbitalna hitrost kometa, r oddaljenost kometa od Sonca, μ pa je standardni gravitacijski parameter, ki znaša za Sonce: $\mu = GM = 1.327 \cdot 10^{20} \frac{m^3}{s^2}$, kjer je G gravitacijska konstanta, M pa masa Sonca. Iz enačbe sledi, da je hitrost kometa v periheliju:

$$v = \sqrt{\frac{2\mu}{r}} \approx 34.3 \, \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$$

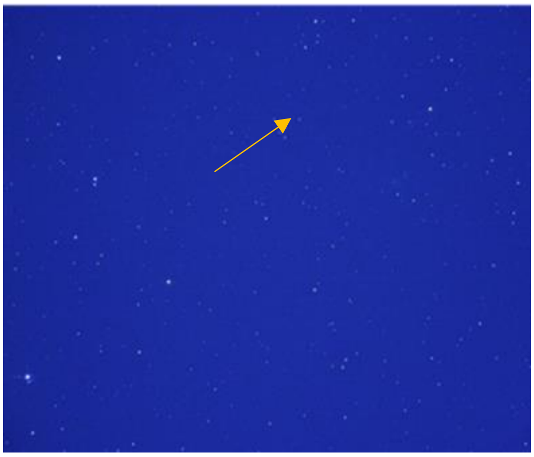
Ločljivost teleskopa (θ) izračunamo iz enačbe: $\theta = \frac{1.22\lambda}{D}$, kjer je λ valovna dolžina vidne svetlobe (~ 550 nm oziroma zelena svetloba), D premer optičnega instrumenta (teleskopa). Za teleskop STIGMA znaša ločljivost Θ≈ 0.7 ločne sekunde. Seveda smo pri zemeljskem opazovanju omejeni tudi z atmosfero, tako da je ta vrednost v resnici nekoliko višja, med približno 1 do 2 ločni sekundi. V efemeridah pogledamo, kolikšen kot opravi komet v časovni enoti. Za komet C/2017 O1 ASASSN znaša hitrost ~2.5 ločne sekunde/min. Naš fotoaparat mora zato delati osvetlitve krajše od 1 minute.

Efemeride

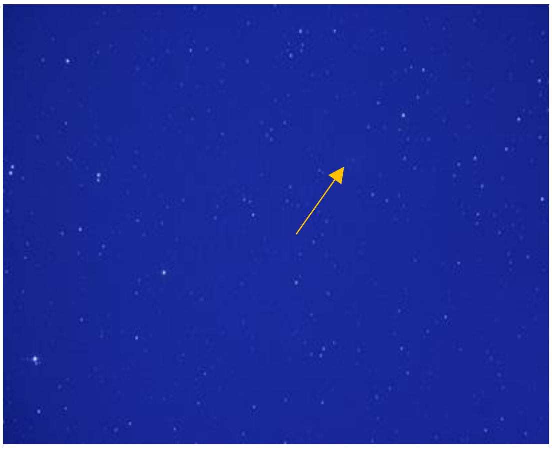
Efemeride so seznam izračunanih in napovedanih leg za nebesno telo. Z efemerid lahko odčitamo lego, deklinacijo, rektascenzijo, magnitudo in hitrost (večinoma kotno) nekega nebesnega telesa. Efemeride predstavljajo enega izmed ključnih delov fotografiranja kometa, saj se z njihovo pomočjo da oceniti najbolj ugoden čas opazovanja (na podlagi magnitude), poleg tega pa še položaj kometa (nebesne koordinate) in čas vidnosti na nebu.

Opazovanje kometa

Ob začetku opazovanja je bilo vreme povsem jasno, vendar so se čez čas pojavili oblaki. Zato smo v tem času komet poiskali s pomočjo Skymap pro, v katerega smo predhodno morali vnesti iz efemeride kometa, saj ga ni bilo v bazi kometov. Ko smo ga našli v Skymap pro, smo se najprej orientirali okoli okoliških zvezd, da smo ga našli s teleskopom in ujeli v 40 mm objektiv. Ko smo našli predpostavljeno pozicijo kometa glede na okoliške zvezde, smo poiskali komet. Nato smo namestili fotoaparat na 20 mm okular in začeli pridobivati posnetke z eno-minutno ekspozicijo. Zatem smo naredili posnetke s 5 minutno ekspozicijo. Ker se teleskop ni premikal točno tako kot zvezde, so bili posnetki premaknjeni in se je vse videlo v obliki črt. Drugo težavo je predstavljalo gibanje kometa, ki se je premikal v svojo smer. Zato smo uporabili originalno tehniko sledenja, pri čemer en opazovalec sledi kometu skozi iskalo, drugi pa uporablja kamero. Končni rezultat raziskovalne naloge sta fotografiji izbranega kometa. Na slikah 2 in 3 je prikazan položaj kometa ob dveh različnih časih, pri čemer je časovni zamik med obema položajema 74 minut (slika 2: 21h 22min, slika 3: 22h 36 min).



Slika 2: *21h 22min.*



Slika 3: *22h 36 min*.

OSNOVNI SLOVENSKI IZRAZI IZ PODROČJA KRAJEVNEGA IN ČASOVNEGA DOGAJANJA

Marijan Prosen

Opredelimo in pojasnimo osnovne izraze. Navedemo nekaj preprostih stavčnih zvez, to je zgledov, da pokažemo, kako te izraze ustrezno oziroma pravilno uporabimo. V okviru današnjega stanja našega astronomskega izrazoslovja s tem poskušamo tudi delček prispevati k čim boljšemu jeziku, tako pri ustnem kot pri pisnem izražanju.

Osnovni izrazi

vzid Sonca (Lune) – čas (trenutek), ko Sonce (Luna) vzide

Sončev (Lunin) vzid je enakovreden izraz, vendar ne sončni, solarni (lunski, lunarni) vzid

zaid Sonca (Lune) – čas (trenutek), ko Sonce (Luna) zaide

Sončev (Lunin) zaid je enakovreden izraz, vendar ne sončni, solarni (lunski, lunarni) zaid

Sončev – pridevnik, ki se nanaša na Sonce, pripadajoč Soncu

sončen, sončni – pridevnik, ki se nanaša na Sonce, ne pripadajoč Soncu

vzhajanje Sonca (Lune) – čas (trajanje), ko Sonce (Luna)vzhaja izza obzorja; pri nas oba izza vodoravnega obzorja vzhajata okoli 3 minute

Sončevo (Lunino) vzhajanje je enakovreden izraz, vendar ne sončno, solarno (lunsko, lunarno) vzhajanje

zahajanje Sonca (Lune) – čas (trajanje), ko Sonce (Luna) zahaja za obzorje; pri nas oba za vodoravno obzorje zahajata okoli 3 minute

Sončevo (Lunino) zahajanje je enakovreden izraz, vendar ne sončno, solarno (lunsko, lunarno) zahajanje

vzidišče (vzhajališče) – točka na obzorju, v kateri nebesno telo vzide (vzhaja); pri Soncu, Luni in planetih se spreminja, pri zvezdah ne

zaidišče (zahajališče) – točka na obzorju, v kateri nebesno telo zaide (zahaja); pri Soncu, Luni in planetih se spreminja, pri zvezdah ne

vzhod (vzhodišče) – glavna stran (smer) neba, točka na obzorju, v kateri Sonce vzide (vzhaja) ob enakonočju

zahod (zahodišče) – glavna stran (smer) neba, točka na obzorju, v kateri Sonce zaide (zahaja) ob enakonočju

jug (južišče) – glavna stran (smer) neba, točka na obzorju, ki pri nas leži natanko pod najvišjo točko, v kateri je Sonce opoldne nad obzorjem

sever (severišče) – glavna stran (smer) neba, točka na obzorju, ki pri nas leži natanko pod severnim nebesnim polom.

Stavčne zveze

Najprej poudarimo, da imata besedi vzid in vzhod različen pomen, prav tako tudi besedi zaid in zahod. Zato moramo te besede skrbno oziroma pravilno uporabljati. Vzid in zaid označujeta čas, vzhod in zahod pa kraj oziroma smer na opazovalčevem obzorju (obzornici). Ne smemo na primer reči vzhod Sonca (zahod Sonca), če mislimo na vzid Sonca (zaid Sonca), to je na čas, ko določenega dne Sonce vzide (zaide). Sami lahko presodite, kaj pomeni izraz vzhod Sonca, če sploh kaj pomeni, ali izraz sončni vzhod (to je od Sonca obsijan, osvetljen vzhod). Tudi izraz sončni vzid ne zdrži. Prizadevamo si, da enemu pojmu, če je le mogoče, pripada (priredimo) en sam izraz (izjemoma največ dva, recimo še primerno izbrana pridevniška oblika izraza, kot na primer: vzid Sonca = *Sončev vzid*).

Zjutraj lahko v sedanjiku mirne duše rečemo: Danes Sonce vzide (vstane, pride gor ...) ob ... in zaide (gre spat, gre dol) ob ... Ali: Vzid Sonca je (bil) ob ... zaid Sonca je (bo) ob ... Ali: Sončev vzid je (bil) ob ... Sončev zaid pa je (bo) ob ... Ali tudi, še najlepše: Danes je Sonce vzšlo ob ... in bo zašlo ob ... Ne pa: Danes Sonce vzhaja ob ... (to ni v redu povedano, saj Sonce vsak dan vzhaja okoli 3 minute izza obzorja; glagol vzhajati nakazuje trajanje, glagol vziti pa trenutek). Če rečemo ali zapišemo *vzhod Sonca* ali celo *sončni vzhod*, tak izraz nima nobene realne, povedne vrednosti, ni podatek, saj ne pove, ne označi časovne dimenzije izraza, kar je bistveno. Je neka neopredeljena besedna spaka. Še hujša je *Sončev vzhod*.

Še nekaj stavkov glede besed Sončev (besedo pišemo z veliko začetnico) in sončen in sončni.

Sončev polmer (= polmer Sonca) meri približno 700 000 km. Tropsko leto je v bistvu Sončevo leto (ne sončno leto). Sončev dan traja (je dolg) 86 400 sekund. Hiša je precej sončna, saj leži na sončnem pobočju hriba. V sončnih dneh nas rad obišče stric Janez, ki je zares sončni človek. Na sosedovi sončni trati rastejo sladke borovnice. Itn.

V našem matematičnem in astronomskem izrazoslovju imajo točke, ki nastanejo s presekanjem (presekom) dveh črt ali presekanjem črte in ploskve ali s presekanjem treh ploskev večinoma končnico -*išče*, npr. *presečišče* dveh premic, *prebodišče* premice in ravnine, *oglišče* kocke, podnožišče daljice (palice), *nadglavišče* nad nami, izhodišče koordinat-nega sistema (sestava), *opazovališče* (gledišče, stojišče) kot presekanje navpičnice in vodoravne ravnine oziroma obzorja, kjer smo v središču nebesne krogle itn.

Tudi izraze za glavne strani neba vzhod, zahod, jug in sever bi morali (kot so včasih) pravilneje pisati s končnico -*išče* (vzhodišče, zahodišče, južišče in severišče, saj so presečišča smeri z obzornico), a je zmagala ta verzija označb, verjetno zaradi poenostavitve pisave izrazov.

V Slovarju slovenskega knjižnega jezika (SSKJ) piše, da je vzhod glagolnik od vziti, potem pa je navedeno kar precej nepravilnih zvez – poglejte tja. Zapisana izjava, po moje, ne more držati. *Glagolnik od vziti je zame samo vzid*. Besede vzid ni v SSKJ, da bi jo tam definirali in relevantno pojasnili. Je preveč revolucionarna, preveč nenavadna, preveč bogaboječa, preveč zahtevna. Smo jo pa predstavili in na kratko pojasnili tukaj. Kar korajžni moramo biti, da smo se tega lotili, kajti te besede se slovenisti bojijo in izogibajo vse od Pleteršnika dalje. Vendar enkrat bo treba o tej besedi obširneje spregovoriti, saj je splošno uporabna in precej pomembna (vzid nebesnega telesa, vzid članka, vzid knjige, itn.)

Splošen vtis je, da se slovenski jezikoslovci pri natančni opredelitvi in strokovni razlagi osnovnih izrazov za pojme iz področja splošne orientacije in krajevnega in časovnega dogajanja na obzorju (obzornici) nikoli niso vzeli dovolj časa, da bi se poglobili in zelo potrudili glede njihove eksaktne in nedvoumne razlage. Še celo danes ne. Tako je v SSKJ pri zgledih precej napak (glede na današnja merila našega astronomskega izrazoslovja), novi izrazi, ki jih astronomi uporabljamo že 45 let, pa ne prodrejo in še čakajo na milost, da jih sprejmejo v SSKJ. To seveda zahteva trdo delo in precejšnje popravljanje (revidiranje) starih izrazov.

Na tem mestu smo zbrali nekaj drobnih misli v prid boljšega razumevanja in uporabljanja izrazov za navedene osnovne pojme. Treba pa bo še veliko narediti, da bodo ti izrazi ustrezno strokovno obdelani, primerno pojasnjeni in sistematično urejeni po današnjih zahtevah in merilih slovenskega astronomskega izrazoslovja.

TRI ZANIMIVOSTI IZ ZGODOVINE NAŠE ASTRONOMIJE, DA O ČETRTI NITI NE GOVORIMO

Marijan Prosen

Uvod

Povedali bomo nekaj drobcev o našem prvem astronomu, o prvem ljubljanskem astronomu, o prvem opazovanju Sončevega mrka iz naših krajev in o prvi kritiki astrologije našega astronoma. Poleg že prej znanih nekaj dejstev zvemo še kaj novega, o čemer prej nismo nič vedeli ali pa spregledali.

I. Herman Koroški (ok. leta 1100, ok. leta 1160)

Bil je naš najpomembnejši srednjeveški znanstvenik. Deloval je kot matematik, astronom, astrolog, meteorolog, filozof, metafizik, pisatelj, prevajalec in avtor različnih, predvsem matematično naravoslovnih del, izredni popularizator arabske znanosti in kulture. Sledi, da je bil tudi naš prvi astronom. Evropejcem je v latinščino prevedel in tako predstavil arabsko astronomijo. Odlično je obvladal jezike. Njegova jezikovna vsestranost mu je prinesla svetovno slavo. Lastijo si ga tudi Hrvati. Okoli leta 1985 sem o njem pisal geslo za Enciklopedijo Slovenije. Takrat je bilo še malo podatkov o njem, zdaj jih mrgoli. Iz vsega sem nekaj povzel za osnovno védenje o njem, in to za splošno izobrazbo, ne za kakšno strogo znanstveno revijo. Zato omenjam le njegova bistvena dela in prevode, vsega pa sploh ni mogoče našteti, saj je veliko njegovih spisov nepodpisanih ali izgubljenih.

Kje naj bi bil pravzaprav rojen naš Herman, so se v preteklosti odvijale številne polemike. To verjetno zato, ker se je v njegovem času Koroška zdela razmeroma obsežna dežela, ki je zaobjemala velik del osrednje Evrope, Slovenijo in del Hrvaške, in so jo radi celo primerjali z večjo Germanijo. Danes je dokazano, da je bil naš učenjak rojen v bližini kraja Sveti Peter v Lesu (Sankt Peter in Holz) na sedanjem avstrijskem Koroškem.

Že v rani mladosti je prišel v stik z različnimi jezikovnimi kulturami, predvsem s slovensko in nemško. Po vsej verjetnosti se je začel šolati v kakšnem benediktinskem samostanu, na primer v bližnjem Millstattu (Milje) ali pa pri Spittalu. V 20-tih je odšel v tujino. Živel je v južni Franciji in Španiji, kjer si je pridobil filozofsko in filološko izobrazbo in tudi izpopolnil v matematiki in astronomiji. Intenzivno se je učil jezike. Šolal se je po samostanih. Verjetno je bil menih. Od leta 1130 do leta 1134 se je učil pri Thierryju (Teodoriku) na napredni in znameniti katedralni šoli v Chartresu. Ko je Thierry odšel na katedralno šolo v Pariz, mu je Herman sledil in tam leta 1135 zaključil svoj študij. Med študijem je veliko slišal o dosežkih muslimanske kulture. Zelo si je zato želel spoznati arabsko kulturo pri njenih izvirih.

Tako je kmalu po univerzitetnem študiju s svojim sošolcem in prijateljem Robertom iz Kettona odpotoval na vzhod v arabske dežele. Prepotovala sta Francijo, severno Italijo in čez južno Hrvaško in Grčijo prispela v Carigrad in dalje v Damask. Tam sta se od blizu seznanila z arabsko znanostjo, posebno z arabskim pogledom na antično grško-rimsko kulturo, ki je bil dosti naprednejši od tedanjega evropskega. Herman je bil očaran nad dosežki Arabcev na polju matematike in astronomije. Vračala sta se po drugi poti in se mimo Sicilije leta 1138 vrnila v Španijo. Nato je Herman deloval v Španiji in južni Franciji, predvsem kot prevajalec. Ker je bil sholastik, sklepamo, da je tudi poučeval. Veliko njegovih del je ostalo nepodpisanih ali se je izgubilo. Kje in kdaj je zaključil svojo življenjsko pot, ni znano.

Okoli leta 1138 je iz arabščine prevedel delo *Liber sextus astronomiae* (*Šesta knjiga astronomije*). Prevod je obsegal razprave o planetih, njihovih medsebojnih legah in prerokovanja po gibanju kometov. Leta 1140 je iz arabščine prevedel knjigo *Introductorium in astronomian* (*Uvod v astronomijo*). V tem času je prevedel v latinščino tudi astronomske tablice al Hvarizma in iz arabščine Evklidove *Elemente geometrije*.

Leta 1142 je v Leonu Herman skupaj s kolegom sprejel ponudbo opata Petrusa Venerabilisa (Petra Častitljivega) za prevajanje Korana. Herman skrajno obsežnega dela ni uspel sam prevesti. Prevedel je le del, tako da je celoten prevod leta 1143 dokončal kolega.

Med matematičnimi deli je objavil razpravo o merah (*De mensura*). Problem mer je bil v Hermanovem času posebno pomemben v trgovini zaradi zmešnjave srednjeveških mer. Med astronomskimi deli je pisal še o uporabi astrolaba pri merjenju leg zvezd (*De utilitabus astrolabii*). Pripisujejo mu tudi meteorološko delo *Knjiga o padavinah* (*Liber imbrium*, 1140 do 1141) in astrološko delo *O raziskovanju srca* (*De indagatione cordis*, po 1140).

Njegov najbolj znani prevod (in to iz arabščine po grškem originalu) pa je bil Ptolemajev *Planispherium* (1143), ki se je ohranil v celoti le po tem prevodu. Prevedel naj bi tudi Ptolemajeve astronomske tablice in še nekaj drugih astronomskih spisov, ki pa jih poznamo le po naslovih (po vsej verjetnosti so se izgubili). Istega leta je izšla tudi njegova originalna filozofska razprava *O bistvih* (*De essentis*), kjer razpravlja o petih Aristotlovih kategorijah (vzrok, gibanje, prostor, čas, lastnost). To je bilo zadnje znano oziroma zadnje zabeleženo njegovo delo. Po letu 1143 se izgubi vsaka sled zanesljivih podatkov o Hermanovem življenju in delu. Ne vemo, kaj se je tega leta z njim zgodilo.

Mimogrede, kot zanimivost, povejmo tole, kar na splošno ni znano. Herman je podpiral in v svojo naravoslovno filozofijo vključil tudi možnost za geocentrični sistem, ki ga je zastopal že starogrški astronom Herakleid s Ponta (4. stol. pr. n. št.). V njem Merkur in Venera krožita okrog Sonca, vsi trije skupaj in ostali tedaj znani planeti (Mars, Jupiter in Saturn) pa okrog Zemlje.

Herman Koroški je odigral zelo pomembno vlogo pri evropskem spoznavanju in razumevanju arabske znanosti, posredno pa tudi pri spoznavanju in razumevanju antičnih grških znanstvenih dosežkov. Tako je veliko pripomogel k oblikovanju skupne evropske srednjeveške racionalne znanstvene misli. Je med najpomembnejšimi prevajalci arabskih astronomskih del v latinščino v 12. stoletju in izredni popularizator islamske znanosti in kulture na splošno. Vpliv njegovih prevodov na razvoj srednjeveške evropske astronomije in tudi na druga znanstvena področja je bil izjemno velik.

Slika 1: *Herman Koroški (Hermann(us) de Carinthia; Herman iz Karintije) – v roki drži astronomsko merilno napravo – astrolab; slika je iz 13. stoletja.*

II. Janez Lezicij (Johann(es) Lezicius, Ljubljana, 1242–?, ?)

V tem razdelku pripovedujem o tipičnem primeru vsebine nekega gesla o enem našem zelo zgodnjem astronomu (13. stoletje). Ena in ista, to je nespremenjena vsebina z vedno istimi stavki v enakem besednem zaporedju se po raznih astronomskih knjigah, zgodovinskih revijah, pregledih in priročnikih (npr. Zgodovina Kranjske), enciklopedijah (npr. Enciklopedija Slovenije) in navsezadnje tudi na svetovnem spletu, ponavlja in vleče tako rekoč vse od Valvazorjevega časa naprej. Nobene nove raziskave o njem ni bilo narejene. Vsi prepisujejo iste stavke. V to prepisovanje sem bil nujno udeležen tudi sam, ko sem okoli leta 1985 o njem pisal geslo za Enciklopedijo Slovenije. Ampak, roko na srce, drugih podatkov takrat o njem sploh ni bilo, jih nisem našel, čeprav sem jih zelo iskal. In zanimivo, tudi zdaj jih ni. Geslo bi bilo treba vsekakor poboljšati, posodobiti, z novimi raziskavami dopolniti. A kako? Tega ne znam pojasniti. Povem lahko le dobro staro resnico, da: če raziskav ni, podatkov tudi ni. Tako je. Še dobro, da toliko vemo o njem, kot vemo. Lahko tudi nič ne bi vedeli, navsezadnje razmišljam. Tu bom zdaj o njem na novo napisal kratko geslo, ki ne bo podobno prejšnjim, kopiranim drug od drugega. In novo geslo bo nenadoma prineslo neko informacijo, ki smo jo do zdaj povsem spregledali, je preprosto nismo videli, čeprav smo jo imeli ves čas pred nosom.

Rojen Ljubljančan in znanosti željan Kranjec se je izobraževal na severno italijanskih univerzah v Padovi, Vicenzi in Trevisu. Po vrnitvi v Ljubljano je v času vladanja koroškega in kranjskega deželnega vojvoda Ulrika III. Spanheimskega (1256–1269) deloval kot astronom in »zvezdni tolmač« (najbrž kot astrolog). Kot kranjskega znanstvenika ga je prvič navedel in opisal Valvasor v svoji *Slavi*. Tam je med drugim napisal, da je napovedoval prihodnost na preroški način (torej je prerokoval) in da se je uvrščal med najbolj izobražene in najodličnejše Ljubljančane tistega časa. Kje in kdaj je umrl, ni znano. To smo dodali sami.

Slika 2*: Ulrik III. Spanheimski (?, 1220–Čedad, 1269) (Če ni slike Lezicija, pa »portret« slavnega vojvode, ki je takrat vladal.)*

Kaj naj bi še rekli ali zapisali o njem? Mar ni to kar dovolj podatkov za enega časovno tako zelo odmaknjenega učenjaka. Ne, ni. Da bi bilo dovolj zanimivo, bi bilo treba še kaj novega ali kaj zanimivega dodati. Ja, kaj pa naj bi bilo tu zanimivega?

Zanimivost je treba videti, iskati, najti, odkriti. Da ne bom ovinkaril. No, tale je:

Janez Lezicij je bil vendar prvi ljubljanski zvezdoslovec, zvezdoznalec – prvi omenjeni, torej priznani ljubljanski astronom.

To pa je podatek, ki se zelo lepo sliši, ki zares nekaj velja. V tistem času – pa je Ljubljana že imela astronoma. Do zdaj tega sploh nismo registrirali, nikoli posebej poudarjali, od zdaj dalje pa bomo.

In tako napisano geslo o Leziciju je neprimerno bolj zanimivo, živahno in bogato kot vsa prejšnja. Dosti več pove. Mar ne?

III. Prvo dokumentirano poročilo o opazovanju delnega Sončevega mrka iz naših krajev

Tu pišemo o pisnem dokumentu opazovanja delnega Sončevega mrka, ki so ga opazovali menihi kapucini na naših tleh v Valvasorjevem času (sredina 17. stoletja). Zabeležili so potek mrka in napisali poročilo, kar je bilo pozneje natisnjeno na letaku (plakatu), ki se je ohranil do današnjih dni in tako tudi to zanimivo opazovanje.

Sedem kapucinskih menihov je pozimi potovalo iz Ljubljane v Vipavski Križ. Dne 28. 1. 1664 zjutraj in dopoldne so bili priča ali bolje rečeno so po svoje doživljali in doživeli (= prestali ali preživeli) delni Sončev mrk. Začel se je po 7 uri in 46 minut[1] zjutraj po njihovem času, ko so bili na svoji poti kakšne 4 km od Vrhnike proti Logatcu. Na mrk opozorjeni kapucini so se tam ustavili, se umirili, mrk do konca opazovali in pet njegovih faz, nenavadno doživetih, natančno zapisali.

Imena opazovalcev se niso ohranila. Ohranilo pa se je latinsko napisano poročilo o tem opazovanju. V Vipavskem Križu ga je napisal kapucinski provincial Krištof iz Čedada, ki je vodil skupino opazujočih kapucinov.

Dogodek se je zdel zelo zanimiv in hkrati dovolj pomemben, da so o njem pozneje natisnili posebni letak. To je realiziral Adam Boštjan Siezenheim[2].

[1] O tem, da so menihi morda imeli svojo uro ali da so tako natančno zabeležili (vedeli) čas začetka mrka, bi tu lahko razpravljali. Vendar to ni predmet obravnave spisa. O tem lahko sami razmislite.

[2] Adam Boštjan (Sebastian) Siezenheim (?–?), nekaj časa uradnik kranjskih deželnih stanov, sicer pa pisec vzgojnih del. Bil je odličen latinist. Ni bil Kranjec. V Ljubljani je bival od okoli leta 1650 do leta 1659, po letu 1660 ga več ne omenjajo, razen leta 1664, ko je prišel samo podpisat prevedeni letak o opazovanju Sončevega mrka. Verjetno se je pozneje preselil nekam na Štajersko. Kje in kdaj se je rodil in umrl, ni znano. Morda bi o njem kdo naredil kako raziskavo in bi potem o njem vedeli kaj več, kot vemo.

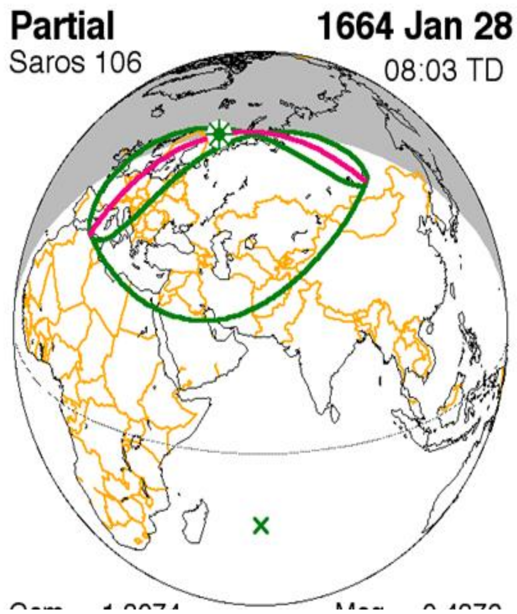
Krištofovo poročilo je še istega leta prevedel v nemščino in ga pri knjigotržcu Fürstu v Nürnbergu izdal kot letak z datumom, Vrhnika, 29. 1. 1664. Prevod v slovenščino je leta 1963 v reviji Proteus objavil Jože Stabej (r. 1932). Dva letaka s skico petih faz mrka in njihovo razlago hrani Narodni muzej Slovenije v Ljubljani.

V poročilu je zabeleženo eno najstarejših astronomskih opazovanj na Kranjskem, vsekakor prvo glede opazovanja Sončevega mrka. Ni pa to na splošno prvo opazovanje. Prvo je bilo opazovanje Velikega kometa leta 1577, o katerem je Jakob Strauss še istega leta napisal knjižico.

Slika 3: *Letak oziroma plakat (danes bi rekli poster) o delnem Sončevem mrku, ki so ga opazovali menihi kapucini dne 28. 1. 1664 med Vrhniko in Logatcem.*

Slika 4: *Povečane slike petih faz mrka (gl. letak, desno zgoraj); spodaj v tekstu pa je napisana njihova ustrezna razlaga (komentar) v nekakšni domišljijski zgodbi.*

Menihe je na njihovi poti spremljal nek popotnik. Opozoril jih je, da Sonce drugače izgleda. Zgodba o opazovanju Sonca od tega trenutka teče takole.
Ko so menihi pogledali navzgor, so na Sončevem površju opazili suhega visokega moža, ki so mu sledile tri manjše osebe. Poleg se je pojavila vojska pehote, ki je odpirala pot do dveh cerkvenih stolpov. Ta dva stolpa sta zamenjala »dva mogočna črna moška na konju« in številni drugi konjeniki, ki so vsi streljali. Ob tem so menihi "začeli vzdihovati, moliti, jokati in prositi boga za pomoč", dokler konjeniki niso izginili. Nazadnje se je pojavil še en konjenik, "ves bel in lahkoten", a močnejši in bolj zastrašujoč od prvih dveh. Prav tako je vodil četo konjenikov, ki so skoraj pokrili Sonce. Ti so se borili četrt ure, menihi pa so med tem poglobili svoje molitve. Ko so izginili, je bilo Sonce "modro v sredini in krvavo po vsem obrobju". Dve uri je slabše svetilo. Po tem dramatičnem opisu bi pričakovali, da bo pisec ponudil neke vrste razlago teh strahotnih vizij menihov, vendar pa preprosto pravi: "To je bila Luna, ki se je izgubila na Soncu". In tako konča svojo zgodbo. Pisec je kristalno jasno razumel bistvo pojava, ki ga je videla in opazovala skupina, vendar ga podajanje znanstvene razlage ni zanimalo, le alegorična. Tako se zdi, da je zgodba o opazovanju mrka vpeta med dva svetova: verovanje v znamenja in čudeže ter sprejemanje racionalnega znanstvenega mišljenja.
Morda pa obstaja razumna razlaga za vizije, ki so jih videli menihi. Danes vedno dobimo dobra navodila, kako naj varno opazujemo Sončev mrk, naši popotniki iz 17. stoletja pa so gledali neposredno v Sonce. S tem so tvegali resne poškodbe oči in so zato pred seboj videli razne črne pike, pege in zaznavali čudne razcefrane temne madeže, ki jih domišljija lahko spremeni v vizijo.



Slika 5: *Strokovni pogled na ta davni mrk.*
Slika prikazuje, v katerih krajih na Zemlji je bil viden delni Sončev mrk, ki so ga opazovali kapucini v ponedeljek, 28. 1. 1664. Maksimalna faza, ko je Luna zakrila 44 % Sončeve navidezne ploskvice, je bila ob 9. uri. Sonce je takrat nekaj časa nekoliko slabše sijalo, kar so menihi zaznali.

IV. Janez Krstnik Prešeren (Poljče pri Begunjah in Ljubljana, 1677–1735)

Prešeren je star slovenski kmečki rod z Gorenjske. Iz njega je izšlo veliko pomembnih osebnosti, med njimi naš največji pesnik. Precej Prešernov ima isto krstno ime. Dva med njimi sta posebno zanimiva. Eden je postal plemič, ljubljanski prošt in prvi predsednik ljubljanskih operozov, drugi pa uspešni profesor več predmetov na takratnih jezuitskih gimnazijah, tudi v Ljubljani. Oba sta rahlo povezana tudi z astronomijo. Prvi je menda pisal o njej v mladih letih (kar bo treba še trdno dokazati), drugi pa se ji je prikupil v zrelih letih s tem, da je v latinščino prevedel knjigo, v kateri je bila objavljena ostra kritika astrologije, in tako posredno podprl astronomijo kot znanstveno vedo.

V jezuitski red je vstopil okoli leta 1700. Postal je »utriusque facultatis doctor«, zelo učen mož, neke vrste dvakratni doktor znanosti (možno doktor dveh fakultet, tudi doktor dvojnega prava – cerkvenega in civilnega; so pa še druge možnost). Poučeval je filozofijo, fiziko, latinščino, teologijo in retoriko s poetiko na jezuitskih gimnazijah v Gorici, Zagrebu, Gradcu, spet v Gorici, Passauu, na Dunaju, v Trnovi in nazadnje v Ljubljani, kjer je bil tudi knjižničar-arhivar. Bil je odličen latinist.

Ko je bil v Gradcu, je izdal štiri knjige v latinščini, in sicer: Janua Philosophiae seu Controversia dialogistica de intrinsecis corporum generalium principiis, 1714; Exersitationes poeticae, 1714; Exercitationes rhetoricae, 1715 in Leges Impossibilium sive Regulae astrologicae de praedictionibus futurorum ad seducendos credulos, 1715, kar je prevod iz italijanščine, pisatelja Jožefa Petra Pinamontija*. V rokopisu je v Ljubljani zapustil še nekaj za tisk pripravljenih razprav.

Leta 1732 so v Ljubljani ponatisnili Prešernov latinski prevod gornjega italijanskega teološko - astrološkega dela (Op.: S tem, da je opravil ta prevod, še ni rečeno, da se je ukvarjal z astrologijo, da je bil astrolog, kakor eni navajajo!). V njem je Pinamonti ostro kritiziral astrologijo. Pinamonti je okoli petindvajset let sodeloval pri misijonarskem delu, potem pa je po smrti glavnega vodje misijona objavil svojo kritiko astrologije. Kot duhovnik je poudarjal, da astrologija zapeljuje lahkoverne ljudi in da ji ni verjeti. S tem stališčem je naredil uslugo astronomiji, ki jo je po svoje podprl glede njenih osnovnih načel v znanstvenem svetu. Prešeren pa se je kot prevajalec temu mnenju pridružil.

……………………………………………………………………………

* Jezuit Giovanni Pietro Pinamonti (1632–1703) je bil italijanski katoliški duhovnik, priljubljeni misijonar v osrednji in severni Italiji in pisatelj asketskih spisov.

Literatura:

S. Južnič in M. Prosen, *Astronomija na Slovenskem in slovenski astronomi na tujem (12.-21. stoletje),* Didakta, Radovljica 2008; slike so s svetovnega spleta.

ZGODNJA ASTRONOMSKA OPAZOVANJA NA SLOVENSKEM IN SLOVENCEV V TUJINI
(Kratek kronološki pregled, 16.–18. stoletje)

Marijan Prosen

Tega ni veliko. Vseeno pa je vredno zabeležiti, da vemo, pri čem smo.

1. Opazovanje velikega kometa leta 1577; po lastnem opazovanju Jakob Strauss (1533–1590) napiše knjižico, ki še istega leta izide v Ljubljani. Komet je na široko opazovan iz vse Evrope[3].

Slika 1: *Veliki komet leta 1577.*

2. Andrej Kobav (1593–1654) poroča o opazovanju kometa leta 1639 iz Gradca, in to z 10-cm daljnogledom; nariše del navideznega tira kometa.

3. Skupina menihov kapucinov iz Vipavskega Križa, dne 28. 1. 1664 dopoldne med Vrhniko in Logatcem, opazuje delni Sončev mrk; napišejo latinsko poročilo, ki izide še istega leta v nemščini kot plakat in tako se opazovanje ohrani do danes.

4. Ivan Dizma Florjančič de Grienfeld (1691 do 1757?) na lastni (potujoči) zvezdarni redno opravlja astronomska opazovanja, o katerih poroča od 1718 do 1757; opazuje Luno, Sonce, planete, celo mrk prvega Jupitrovega satelita.

5. Avguštin Hallerstein (1703-1774) poroča o daljnogledskem opazovanju kometa leta 1752 iz jezuitskega observatorija v Pekingu; dne 25. 4. 1748 skupaj s kolegom po opazovanju z 1,8 m dolgim refraktorjem odkrije komet (uradna oznaka C/1748 H1).

6. Janez K. Schoettl (1724–?) dne 6. 6. 1761 kot prvi na Slovenskem - iz Ljubljane - opazuje navidezni prehod planeta Venere čez Sončevo ploskev; o opazovanju zapusti pisno latinsko napisano poročilo, ki se ohrani.

7. Karel Tirnberger (1731-po 1780) iz Gradca z daljnogledom opazuje veliki svetli komet leta 1769 in o opazovanju zapusti zapis; leta 1770 iz Gradca opazuje tudi Jupitrove satelite, kar tudi objavi.

Slika 2: *Veliki komet leta 1769.*

Kakor je razvidno iz preglednice, so bili predmet zgodnjih opazovanj naših astronomov večinoma veliki in svetli kometi, kar se zdi povsem razumljivo. Kometi so nebesna telesa, ki na splošno vzbujajo veliko pozornost med ljudmi. Recimo, da so bili in da so še vedno najbolj popularni. Seveda veliki, svetli, košati.

---

[3] Andrej Perlah (1490-1551) je menda napisal *traktat o kometih iz leta 1531* (med njimi je bil tudi Halleyjev komet; op.: ta traktat pogosto navajajo, a ga v Perlahovi bibliografiji ni najti!). Naj bo kakorkoli, veliko vprašanje je, če je kakšen komet sploh opazoval. O tem ni dokazov, zato Perlaha na primer ne moremo šteti za prvega opazovalca kakšnega posebno pomembnega ali izrazitega astronomskega pojava (dogodka) med Slovenci. Tu prvenstvo drži le Jakob Strauss, čeprav je opazoval komet, ki ga je videla in opazovala vsa širna Evropa. A je o opazovanju zapustil pisni document. Je pa Perlah s svojimi inštrumenti (astrolabom, trikvetrom) opazoval planet Merkur, kar se je posrečilo redkim evropskim astronomom tedanjega časa. Vendar se opazovanje Merkurja za astronoma ne šteje za kaj posebnega.

Literatura

S. Južnič in M. Prosen, *Astronomija na Slovenskem in slovenski astronomi na tujem (12.-21. stoletje),* Didakta, Radovljica 2008.

Sliki kometov sta s spleta, skica tira kometa C/1748 H1 pa iz knjige M. Prosen, *Hallerstein in astronomija*, Jutro, Ljubljana 2008.

RADIJSKI TELESKOP ZA OPAZOVANJE JUPITRA IN SONCA PRI 20.1 MHz

Rok Vogrinčič

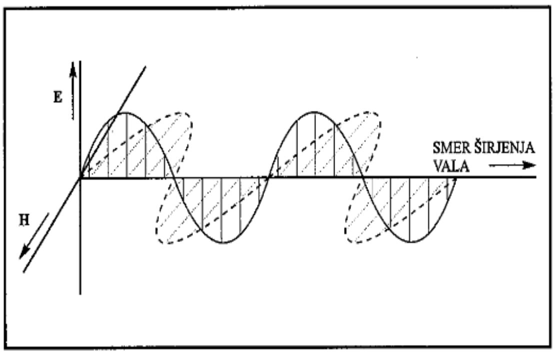
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

Uvod

Radijska astronomija je področje astronomije, ki se ukvarja z opazovanjem v radijskem delu elektromagnetnega spektra (svetlobe), za katerega so značilne dolge valovne dolžine, ki segajo od 1 mm pa vse do 100000 km in dlje. Radijski spekter je po navadi naveden kar v frekvencah in je razdeljen na različna frekvenčna območja. Zveza za pretvorbo med valovno dolžino in frekvenco je preprosta:

$$f = \frac{c}{\lambda}, \qquad (1)$$

kjer je *f* frekvenca svetlobe (enota 1/s oziroma Hz), *c* hitrost svetlobe v vakuumu (3×10^8 m/s), λ valovna dolžina svetlobe (enota m). V tem članku bo govora zgolj o visokih frekvencah (High Frequency, HF), katerih razpon je med 3–30 MHz. To območje je rezervirano za amaterske in komercialne radijske komunikacije [1]. Preden se spustimo v jedro tega članka, si poglejmo nekaj osnovnih lastnosti svetlobe. Prva je zagotovo ta, da je svetloba elektromagnetno (EM) valovanje, ki za svoje razširjanje ne potrebuje prenosnega medija kot ga potrebuje na primer zvok. EM valovanje se v praksi pogosto razširja tudi skozi atmosfero. Tam prihaja do odboja, loma in tudi absorpcije. Če po nekem vodniku (žici) spustimo električni tok, se v okolici tega vodnika ustvari EM polje, ki se širi stran od antene s hitrostjo svetlobe. EM valovanje sestavljata dve polji – električno (***E***) in magnetno (***H***). Električno polje je posledica potencialne razlike (napetosti) med dvema točkama, magnetno pa posledica gibanja nosilcev naboja (električnega toka). Ti polji sta med seboj vedno pravokotni, prav tako pa sta pravokotni na smer širjenja valovanja, glej sliko 1.



Slika 1: *Elektromagnetni val. Slika je povzeta iz [2].*

Jakost EM valovanja se zmanjšuje s kvadratom oddaljenosti od izvora. To pomeni, da bo jakost merjenega signala 2 km od izvora le še ¼ jakosti signala na razdalji 1 km od izvora. S preprosto zvezo bi jakost j zapisali kot:

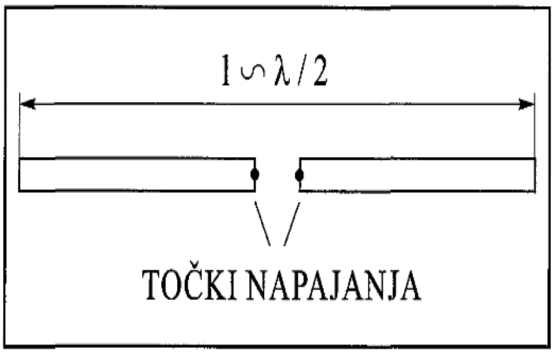
$$j = \frac{P}{4\pi r^2}, \qquad (2)$$

kjer je *P* moč izvora (enota W = J/s), *r* pa je oddaljenost od izvora (enota m). Kljub hitremu padanju jakosti z razdaljo pa to ne predstavlja velikega problema, saj so današnji radijski sprejemniki dovolj občutljivi, da zaznajo signale tudi z nekaj tisoč kilometrov oddaljenih radijskih oddajnikov. Da lahko signal sploh zaznamo pa potrebujemo kakovosten antenski sistem (antena in napajalni vod).

Antena je element, ki pretvarja električno moč iz oddajnika v EM valove in jih izseva v prostor. Velja pa tudi obratno – EM valovi, ki zadanejo anteno, povzročijo nihanje nosilcev naboja v anteni (kos žice), zaradi česar se pojavita električni tok in napetost, ki ju naš sprejemnik potem zazna. Da lahko antena svojo nalogo uspešno opravi, mora biti ravno prav dolga. Tedaj pravimo, da je antena resonančna. Tipične resonančne dolžine anten so celoštevilski večkratniki $\lambda/4$, kjer je λ valovna dolžina EM vala. Najbolj razširjen je polvalovni dipol, glej sliko 2. Že samo ime pove, da gre za dolžino polovice valovne dolžine, oziroma $\lambda/2$. Dolžino antene, ki bo resonančna pri neki poljubni frekvenci, izračunamo po tej enačbi:

$$l(m) = \frac{150}{f(MHz)} \cdot k, \qquad (3)$$

kjer je *l* dolžina antene v metrih, *f* frekvenca v enotah MHz, *k* pa je faktor vitkosti, ki se običajno giblje med 0.93 in 0.98 in je odvisen od razmerja med valovno dolžino in debelino vodnika (antene) [2].



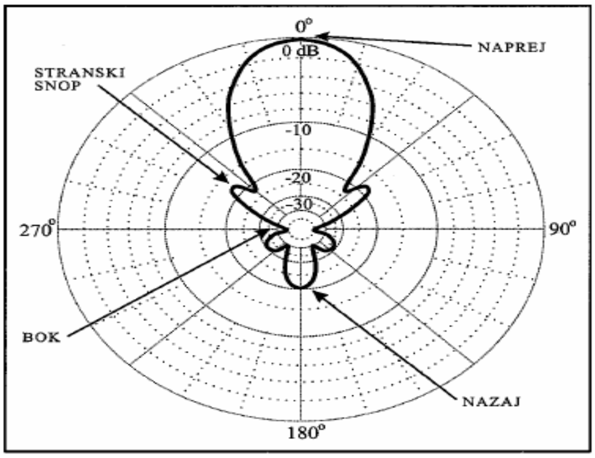
Slika 2*: Polvalovni dipol. Slika je povzeta iz [2].*

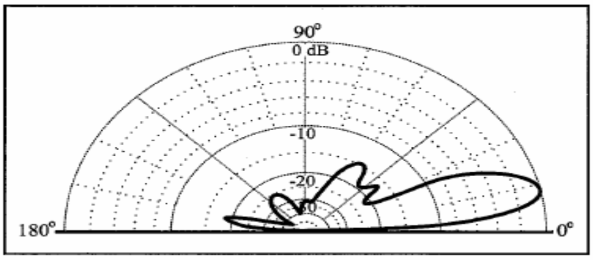
Ko EM valovanje prečka anteno, se v anteni pojavita električni tok in napetost. Njuna razporeditev na polvalovnem dipolu ima obliko stoječega vala in je približno sinusoidna vzdolž dolžine dipola. Tok ima na koncih antene vozle ter hrbet (maksimalen tok) v sredini. Obratno pa velja za napetost. Ta je maksimalna na koncih dipola in minimalna v sredini. Ta razporeditev nam na osnovi Ohmovega zakona podaja informacijo o navidezni upornosti (impe-danci) antene v vsaki točki dipola [3]. Če je antena resonančna, pravimo, da je impedanca čisto ohmska oziroma realna. Če je antena predolga ali prekratka pa se pojavi še dodaten, imaginarni člen. Za resonančno anteno velja preprosta enačba za izračun impedance:

$$Z = \frac{U}{I}, \qquad (4)$$

kjer je *Z* impedanca, *U* električna napetost in *I* električni tok. V sredini dipola imamo majhno napetost in velik tok, zato je impedanca majhna. Pod pojmom impedanca antene razumemo impedanco v točki, kjer priključimo napajalni vod (točki napajanja na sliki 2). Za dipolne antene znaša impedanca med 50 in 80 Ω (Ohm), kar ustreza impedanci standardnih antenskih priključkov. Zakaj pa pravzaprav izberemo polvalovni dipol? Razlog je v preprostosti izdelave antene in v enostavni prilagoditvi na napajalni vod [2].

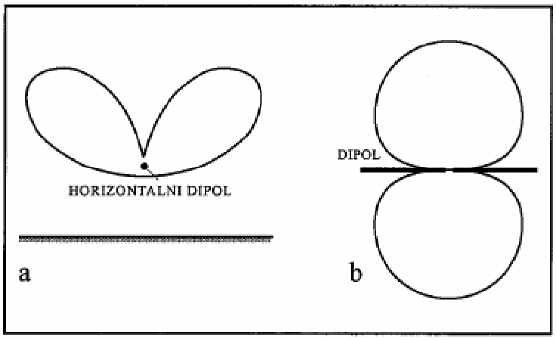
Vrnimo se nazaj na sevanje antene. Vsaka praktična antena seva usmerjeno, to pomeni, da seva v eni smeri močneje kot v ostalih. Kako izrazita je usmerjenost pa je odvisno od oblike antene. Karakteristiko sevanja antene podajamo s sevalnimi diagrami, ki so pogosto predstavljeni v polarnem koordinatnem sistemu. Tak sistem sestavlja mreža koncentričnih krogov in ravnih linij, ki se začenjajo v središču krogov. Linije določajo smeri sevanja, krogi pa predstavljajo intenziteto sevanja. V središču je intenziteta enaka 0. Iz sevalnega diagrama lahko določimo kot sevanja glavnega snopa antene, ki nam v grobem pove, kako antena »vidi«. Ta kot določimo tako, da poiščemo točki na obeh koncih glavnega snopa, kjer je intenziteta sevanja padla za 50 %, oziroma za 3 dB. Kot med točkama je iskani kot, glej sliko 3. Antene imajo pogosto poleg glavnega snopa še stranske snope, ki so v našem primeru nezaželeni, saj gledajo v druge smeri in vnašajo neželene motnje. Želimo si torej čim bolj usmerjene antene, s čim manj izrazitimi stranskimi snopi [2].





Slika 3: *Sevalni diagram usmerjene antene; (levo) horizontalni, (desno) vertikalni. Slika je povzeta iz [2].*

Kot vsaka praktična antena, tudi dipol ne seva na vse smeri enako. Način sevanja je odvisen od postavitve antene (horizontalno ali vertikalno) in od njene višine. Dobro je, da je dipol postavljen vsaj ½ valovne dolžine od tal, saj tla delujejo kot zrcalo in s tem popačijo sevalni diagram, glej sliko 4 [2].



Slika 4: *Sevalni diagram horizontalnega dipola na majhni višini; (a) vertikalni diagram, (b) horizontalni diagram. Slika je povzeta iz [2].*

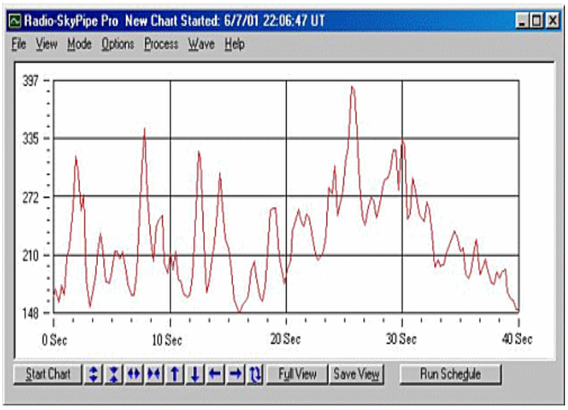
Magnetna aktivnost Jupitra in Sonca

Radijsko emisijo z Jupitra sta leta 1959 po naključju odkrila B. Burke in K. Franklin z raziskovalnega inštituta Carnegie Institution v Washingtonu, DC. Preizkušala sta namreč novo vrsto antene, ki je bila narejena za delovanje pri 20 MHz. Ko sta bila antena in sprejemnik priklopljena sta pobirala tako želene, kot neželene radijske signale, ki so prihajali iz znanih izvorov. Po skrbnem procesu eliminacije pa so še vedno ostali neznani moteči signali brez posebnega vzorca. Opazovalca sta za naključnost motenj najprej sumila vžigalne svečke v avtomobilskem motorju. Opazila sta, da se motnje pojavljajo samo v določenem delu dneva, kar je sum avtomobila izključilo. Neznane motnje sta posnela in analizirala, a pametne razlage za njih nista našla, zato sta jih pripisala izven-zemeljskemu izvoru. Šele leta 1963 se je izkazalo, da je bil izvor teh motenj planet Jupiter. Ta ima svoje lastno magnetno polje, ki je posledica konvekcijskih tokov tekočega kovinskega vodika v zunanjem jedru planeta. Sklopitev tega in hitre rotacijske periode Jupitra (manj kot 10 ur) ustvari močan dinamo efekt, ki ima magnetno polje do 20.000-krat močnejše od zemeljskega [1].

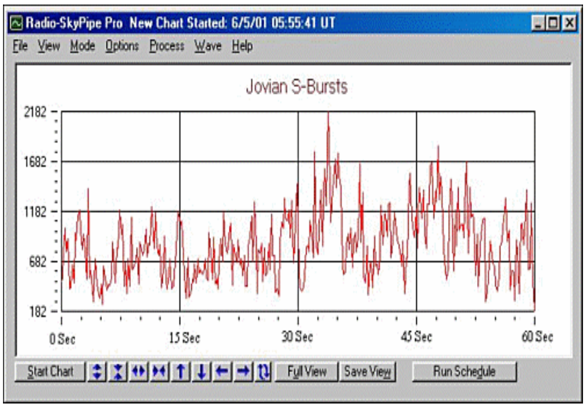
Radijske emisije z Jupitra prihajajo iz treh »nevihtnih« območij magnetnega polja, ki jih imenujemo A, B in C. Ta območja se vrtijo skupaj z Jupitrom, zato niso vedno v ugodni legi za opazovanje z Zemlje. Emisije lahko ustvarijo tudi nabiti delci s Sonca (Sončev veter), ko se ujamejo v Jupitrovo magnetosfero in se po spiralah gibljejo vzdolž magnetnih silnic in pri tem sevajo radijske valove. Omeniti velja tudi Jupitrovo najbližjo luno Io, ki kroži okoli Jupitra na razdalji, globoko znotraj njegovega močnega magnetnega polja. Učinek krožeče lune Io po magnetnem polju proizvede električne tokove v velikosti nekaj milijard amperov, ki (kot smo videli v uvodu) povzročijo znatne radijske emisije skoncentrirane v obliko stožca, podobno kot svetlobni snop s svetilnika. Če je Zemlja na poti tega stožca, lahko radijsko emisijo zaznamo. Te emisije delimo na dve vrsti. Prvi so L-izbruhi (dolgi, L = long), ki jih v radijskem sprejemniku slišimo, kot trkanje valov ob obalo. Drugi pa so S-izbruhi (kratki, S = short), ki zvenijo kot majhno kamenje, ki pada po strehi, glej sliko 5. Oboji vedno prihajajo skupaj z belim šumom, ki je posledica galaktičnega sevanja ozadja. Verjetnost za omenjeni emisiji pa se poveča, kadar luna Io prečka eno od nevihtnih območij. To ustvari nevihte znane pod imeni Io-A, Io-B in Io-C, ki so bolj intenzivne od neviht z ostalih območij. Pri opazovanju močnejših neviht, kot sta Io-B in Io-C pogosteje nastopijo S-izbruhi, pri vseh ostalih pa L-izbruhi [1].

Poglejmo si še Sonce. Radijske emisije s Sonca so prvič opazili Britanci leta 1942, tekom 2. Svetovne vojne. Za namene odkrivanja sovražnih letal so potrebovali občutljive radarje, ki pa jih je pogosto motil močen neznani signal. Sprva so menili, da uporablja sovražnik neko napredno napravo za ustvarjanje radijskih motenj, ki bi naredile britanske radarje neuporabne. Po daljši preiskavi pod vodstvom J. S. Heya pa so prišli do zaključka, da je za omenjeno motnjo krivo Sonce. Astronomi, ki so takrat opazovali Sonce, so sporočili, da so se na Soncu v času sprejema neznane motnje, pojavile velike skupine Sončevih peg. To je ustvarilo povezavo med Sončevo aktivnostjo in radijskimi emisijami s Sonca [1]. V nasprotju z Jupitrom, kjer lahko radijske emisije napovemo za daljše časovno obdobje z veliko mero gotovosti, je to pri Soncu veliko zahtevneje, saj je odvisno od njegove trenutne magnetne aktivnosti. Najmočnejši izvor radijske emisije s Sonca prihaja ravno s Sončevih peg, ki so številčnejše v času Sončevega maksimuma. Tu velja omeniti, da se magnetna aktivnost Sonca periodično ponavlja na približno 11 let. Magnetno polje Sonca je, podobno kot pri Jupitru, posledica dinamo efekta, pri katerem se kinetična energija v Soncu (konvekcijsko gibanje in diferencialna rotacija) pretvarja v električno in magnetno energijo. Magnetna polja ustvarijo tokovi ioniziranega plina v Sončevi notranjosti [4]. Emisije s Sonca prihajajo iz različnih izvorov na Soncu in sevajo pri različnih frekvencah. Te delimo na [1]:

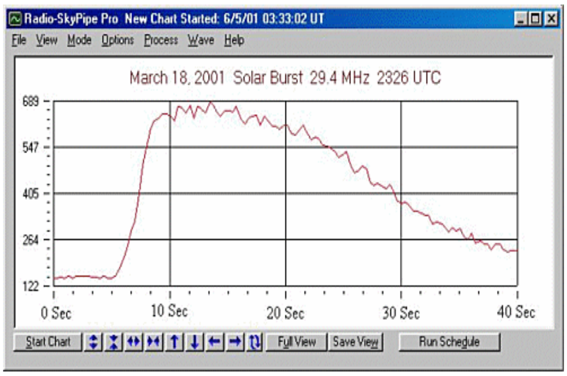
- Tiho Sonce: Nizka aktivnost tekom Sončevega minimuma
- Tip 1: Nevihta sestavljena iz kratkih izbruhov, ki trajajo od 0.1 s do 15 s.
- Tip 2: Počasni izbruhi, ki jih ustvarijo udarni valovi zaradi močnih bliščev. Imajo ozkopasovno emisijo in počasi spreminjajo frekvenco iz visoke v nizko, v roku nekaj minut.
- Tip 3: Hitri izbruhi so povezani z aktivnimi območji na površju Sonca (blišči in velike pege), imajo ozkopasovno emisijo in hitro spreminjajo frekvenco iz visoke v nizko, v roku nekaj sekund.
- Tip 4: Kontinuumska emisija, ki lahko traja nekaj ur in je povezana z močnimi blišči na Soncu. Ta doseže v zelo kratkem času po blišču svojo maksimalno vrednost, glej sliko 5.
- U-izbruhi: Lahko trajajo nekaj sekund, pri tem pa se jim frekvenca naglo spreminja. Po navadi jih povezujemo z aktivnimi območji na površju Sonca, podobno Tipu 3.



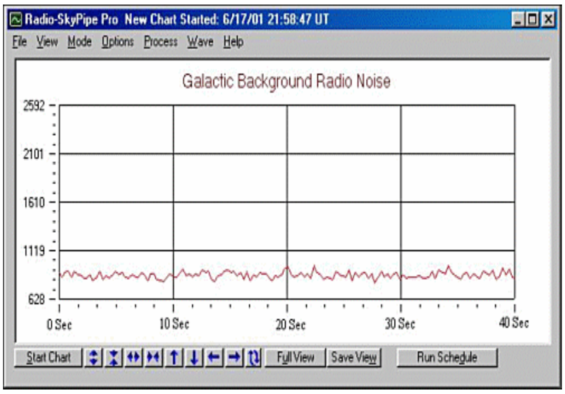
(a)



(b)



(c)



(d)

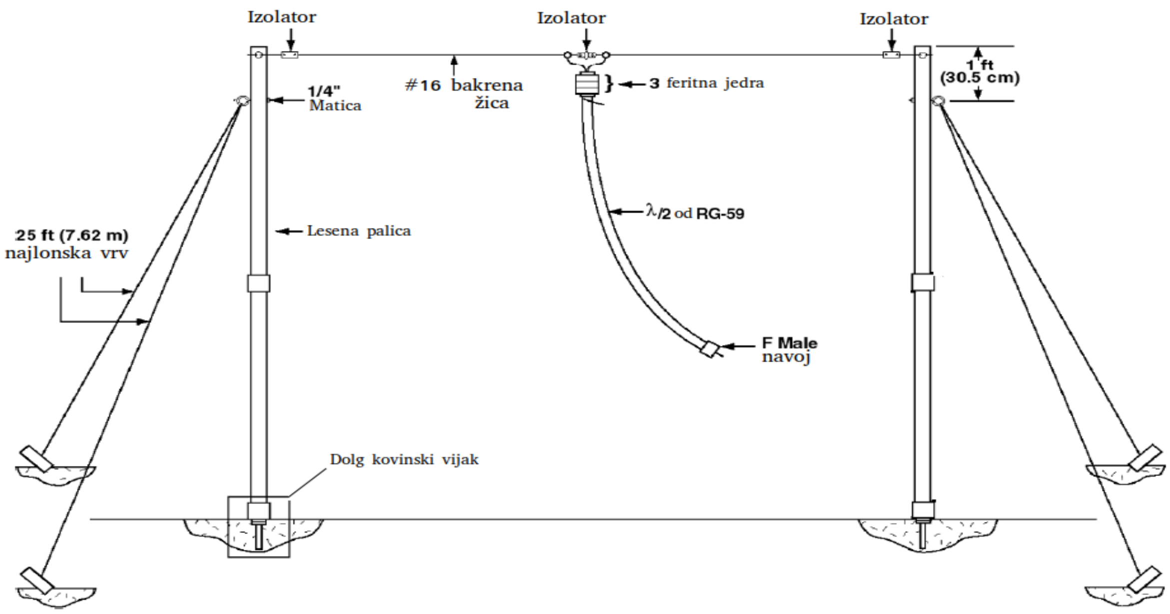
Slika 5: *Diagram izmerjene amplitude signala v odvisnosti od časa. Slika (a) L-blišči, (b) S-blišči, (c) izbruh na Soncu blizu frekvence 20 MHz (oblika plavuti), (d) galaktično sevanje ozadja. Slike so povzete iz [5].*

Gradnja radijskega teleskopa

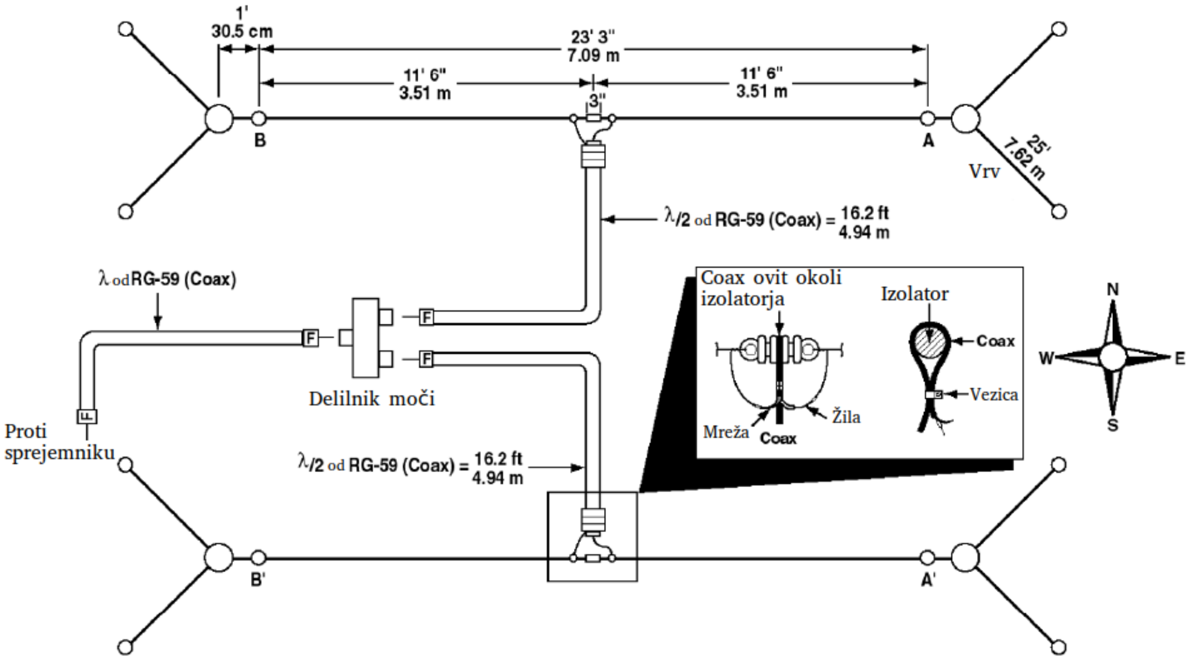
V začetku leta 2018 sem se domislil projekta gradnje radijskega teleskopa (antene), s katerim bo mogoče opazovati radijske emisije okoli frekvence 20 MHz. To mi je junija 2018 uspelo pod okriljem Astronomskega društva Kmica. Projekt je bil dokončan ob pravem času, saj smo ga že mesec kasneje preizkusili z udeleženci tradicionalnega mladinskega astronomskega tabora Kmica v Gornjih Petrovcih v Prekmurju, in je obsegal izdelavo dipolne antene ter nosilnega ogrodja zanjo, nakupa priključnih komponent in radijskega sprejemnika ter test delovanja antene z ustrezno računalniško programsko opremo.

Za opazovanje radijskih emisij z Jupitra in Sonca lahko uporabimo preprosto dipolno anteno in ustrezen radijski sprejemnik. Poleg tega potrebujemo tudi dovolj veliko ravno površino, na katero bomo anteno postavili. Ker je antena občutljiva na kakršnekoli elektromagnetne motnje iz okolice, je priporočljivo, da jo postavimo na bolj oddaljeno lokacijo, stran od motečih izvorov. Na spodnjih slikah 6 in 7 sta prikazana načrta (stranski pogled in pogled od zgoraj) antene za 20.1 MHz [6].

Začnimo najprej z anteno. Za opazovanje pri frekvenci 20.1 MHz, je za večjo občutljivost priporočljivo postaviti 2 paralelni dipolni anteni, ki sta na razmaku 7.6 m (glej sliko 7). Izračunajmo dolžino žic, ki jih bomo sestavili v dipolno anteno. Frekvenca pri kateri bi radi opazovali znaša f = 20.1 MHz. Tej frekvenci ustreza valovna dolžina λ = 14.925 m (glej enačbo 1). Spomnimo se enačbe (3), ki nam pove ustrezno dolžino dipolne antene pri neki frekvenci. Za faktor vitkosti k vzamemo 0.95. To nam da praktično dolžino ene dipolne antene l = 7.09 m. Iz te antene naredimo 2 kraka, ki sta dolga po 3.51 m, vmes pa damo izolator debeline približno 7 cm (2×3.51 m + 0.07 m = 7.09 m), glej sliko 7.



Slika 6: *Dipolna antena in priključki (stranski pogled). Slika je povzeta iz [5].*



Slika 7: *Dvojna dipolna antena in priključki (pogled od zgoraj). Slika je povzeta iz [5].*

Konca antene sta v točkah A in B vpeta na izolatorje, razdalja med A in B pa mora biti 7.09 m. Postopek ponovimo tudi za drugi dipol. Naslednji korak je priključitev koaksialnih kablov (coax). Njihov namen je prenos signala od antene do sprejemnika z zelo majhnimi izgubami. Koaksialni kabel je sestavljen iz centralne žile, ki je obdana z dielektričnim izolatorjem, nanj pa je navita bakrena mreža (oklop). Ker kabel ni idealni prevodnik, je hitrost pri kateri se signal propagira vzdolž žice odvisna od vrste dielektričnega izolatorja v kablu. Pri izračunu dolžine koaksialnega kabla moramo zato idealno dolžino kabla ($\lambda/2$) pomnožiti s hitrostnim faktorjem $V_f = 0.66$. Tako dobimo ustrezno dolžino, ki znaša v našem primeru l = 4.94 m (glej sliko 7). En konec koaksialnega kabla odpremo, odstranimo izolator ter ločimo žilo in mrežo. Žilo povežemo na konec prvega kraka dipolne antene (od B do osrednjega izolatorja), mrežo pa razpremo ter jo spletemo v ravno kito in jo povežemo na konec drugega kraka dipolne antene (od osrednjega izolatorja do A). Na preostali konec koaksialnega kabla montiramo F konektor, ki ga potem priklopimo na delilnik moči. Enako naredimo še za drugo dipolno anteno. Na delilnik moči na izhod preko F konektorja priključimo še en koaksialni kabel dolžine 9.85 m ($\lambda \times 0.66$). Ta nam pelje vsoto signalov iz obeh anten na sprejemnik.

Za izdelavo antene sem uporabil izolirani enožilni vodnik debeline AWG 16 (1.2908 mm), za prenos signala od antene do sprejemnika pa koaksialni kabel RG-59 s karakteristično impedanco 75 Ω. Na konec koaksialnega kabla, kjer pride do spoja z dipolno anteno, sem namestil tudi feritno jedro, ki skrbi za omejitev električnega toka po zunanji površini mreže koaksialnega kabla. To omogoča optimalnejši sprejem saj se s feritnim jedrom izboljša sevalni vzorec antene [6]. Sam antenski sistem je potrebno tudi dvigniti na določeno višino in ga pravilno usmeriti. Kot je bilo omenjeno v uvodu, je priporočljivo, da je višina vsaj $\lambda/2$. Ker je to v našem primeru previsoko (7.5 m), se omejimo na višino $\lambda/4$ (3.8 m). Za postavitev enega dipola potrebujemo 2 palici, na katerih konca vpnemo dipolno anteno. V dno posamezne palice privijemo dolg kovinski vijak in palico postavimo vertikalno tako, da kovinske vijake zapičimo v zemljo. Palice dodatno fiksiramo z vrvmi in klini na podoben način, kot pri postavljanju šotora. Enako naredimo še za drugi dipol.

Jupiter in Sonce sta na nebu najvišje, ko prečkata jug, zato je potrebno anteno postaviti v smeri vzhod-zahod (E-W). Sevalni diagram take antene ima tedaj glavni snop v smeri juga. Pri postavitvi anten je ključno, da sta ti enako usmerjeni (če je žila koaksialnega kabla povezana na krak prve antene v smeri B - izolator, potem mora enako veljati za drugo anteno, to je v smeri B' - izolator, glej sliko 7), sicer prideta signala v delilniku moči v protifazo, kar pomeni, da na sprejemniku ne zaznamo nič.

Pa smo pri zadnjem a hkrati nič manj pomembnem delu antenskega sistema, to je radijski sprejemnik. Za sprejem radijskih signalov pri 20.1 MHz sem uporabil RTL-SDR (RTL2832U) Dongle, ki deluje v frekvenčnem območju med 500 kHz in 1.75 GHz. Gre za programsko definiran radio (Software Defined Radio), ki ima namesto strojne opreme, kot so modulatorji, demodulatorji, tunerji, navedene komponente že programsko implementirane. To mu omogoča dokaj preprosto procesiranje signalov, poleg tega pa je tak sprejemnik tudi cenovno zelo ugoden. RTL-SDR se poleg radijske astronomije uporablja tudi za dekodiranje kratkih letalskih sporočil (ACARS), sprejem signalov z meteoroloških vremenskih balonov, gledanje analogne TV, poslušanje komercialnih radijskih postaj, itd. RTL-SDR ima vhodno impedanco 75 Ω na širokem frekvenčnem območju, maksimalno vzorčno frekvenco (sample rate) 2.4 MS/s (mega samples per second) ter pasovno širino 3.2 MHz. Analogno-digitalni pretvornik ima resolucijo 8 bitov. Kaj vse še ponuja ta sprejemnik? Uporablja natančen (<1 PPM) temperaturno kompenziran oscilator (TXCO); vhod v sprejemnik je preko SMA-F konektorja; omogoča direktno vzorčenje za frekvence pod 24 MHz; ima aluminijasto ohišje in pasivno hlajenje preko silikonske termične podloge [7].

Sprejeti signal lahko slišimo in vizualiziramo s preprostim brezplačnim programom SDR#, ki je napisan za operacijski sistem Windows (7 in novejše različice) [8]. Program omogoča pregled moči signala v odvisnosti od frekvence ter radio-frekvenčni "vodni slap" (RF Waterfall), ki prikazuje jakost črte pri neki frekvenci v odvisnosti od časa. Za opazovanje Jupitra sem snemal v načinu RAW IQ signal brez avtomatske kontrole dobitka (AGC). Postavil sem se na frekvenco 20.1 MHz ter vsakič naredil 2-minutni zvočni posnetek. Hkrati sem snemal tudi celoten spekter okoli te frekvence, saj se lahko signali z Jupitra pojavijo tudi pri višjih in nižjih frekvencah.

Test radijskega teleskopa in prvi rezultati

Delovanje radijskega teleskopa sem prvič preizkusil na domačem travniku, prve meritve pa smo z njim opravili na astronomskem taboru Kmica v Gornjih Petrovcih. Ker je zahtevala postavitev dovolj veliko travnato površino (vsaj 8 m × 11 m), stran od izvorov radijskih motenj, smo se s šole, kjer smo bivali, preselilli nekoliko stran, na domačijo g. Johanna Laca, ravnatelja OŠ Gornji Petrovci. Na spodnji sliki 8 je prikazan radijski teleskop in njegove kompo-nente. Opazovanje radijske emisije z Jupitra zahteva ugodno lego lune Io glede na njegovo magnetno polje, hkrati pa mora biti Jupiter dovolj visoko nad obzorjem nočnega neba (podnevi Jupitra ne moremo opazovati zaradi radijskih motenj s Sonca). Za pripravo na opazovanje smo uporabili pripraven brezplačni računalniški program Radio-Jupiter Pro 3, [9]. Ta omogoča napoved lege Jupitra in njegove lune Io, primerne ure za opazovanje določenih neviht, vidljivost Jupitra za naslednja leta, pogled smeri glavnega snopa antene, itd., glej sliko 9.

Radijski teleskop smo na taboru preizkusili v dveh nočeh. Prvi dan (2. 7. 2018) nam je nekoliko zagodlo vreme, a smo vseeno uspeli poslušati AM (amplitudna modulacija) radijske postaje v bližini 20 MHz. Neviht tisti dan nismo zaznali, smo pa posneli šum kozmičnega ozadja. To smo naredili tako, da smo se pomaknili na ozadje signala kjer ni bilo prisotnih radijskih postaj ter naredili minutni zvočni posnetek. Ta šum lahko slišite tudi z običajnim radiem, ko se pomaknete na "prazno" območje med dve radijski postaji. Uspešnejše je bilo drugo opazovanje (4. 7. 2018), ko smo uspeli detektirati nekaj motenj, ki so spominjale na radijske emisije z Jupitra. Tega sicer ne moremo potrditi z gotovostjo, saj bi za to potrebovali precej več opazovanj in izkušenj pri prepoznavanju določenih neviht. Detektirane emisije so se pojavile med 22h–23h po lokalnem času, ko je bila povečana aktivnost neviht A in C, glej sliko 9d. Emisije 4. 7. 2018 so vidne tako na radiofrekvenčnemu "vodnemu slapu" (glej sliko 10a), kot tudi na grafu amplitude signala v odvisnosti od časa (pridobljeno iz zvočnega posnetka), glej sliko 10b. Navpične ostre črte v RF "vodnemu slapu" predstavljajo različne AM radijske postaje, ki imajo fiksno frekvenco, glej sliko 10a. S črtkano rdečo črto je označeno eno od zanimivih območij, kjer se pojavi neznana emisija. Vidimo lahko, da se ob istem času pojavi vodoravna razmazanost po širokem delu spektra. Ta je omejen na frekvenčno območje od 19.2 MHz do 21.2 MHz. Slika 10b prikazuje časovno odvisnost amplitude signala zajetega zvočnega posnetka neznane emisije, pri frekvenci 19.935 MHz. Vidimo lahko, da se na kratkih časovnih skalah (~ sekunda) pojavljajo nenadne spremembe v amplitudi izmerjenega signala (nekaj 10 %). Zvočni posnetek tega spominja na S-izbruhe (kratki, S = short), ki zvenijo kot majhno kamenje, ki pada po strehi. Kako vemo, da ne gre tukaj zgolj za šum ozadja? Amplitudna nihanja so za šum na precej manjši skali (< 10 %).

Za bolj izčrpno analizo bomo morali opraviti več kot le dve opazovanji. Idealno obdobje za naslednje opazovanje Jupitra bo konec pomladi 2019. Naj za konec omenim še Sonce. Opazovanja emisij z njega so trenutno skoraj nemogoča. Sonce namreč leze proti globokemu minimumu magnetne aktivnosti, kar se kaže na zmanjšanemu številu aktivnih območij na Soncu (pege, blišči, izbruhi). Žal bomo morali na opazovanje počakati nekaj let, da se aktivnost poveča. Morda pa bomo imeli srečo in se bodo Sončeve pege pokazale prej, kot pričakujemo. Pustimo se presenetiti!

(a)

(b)

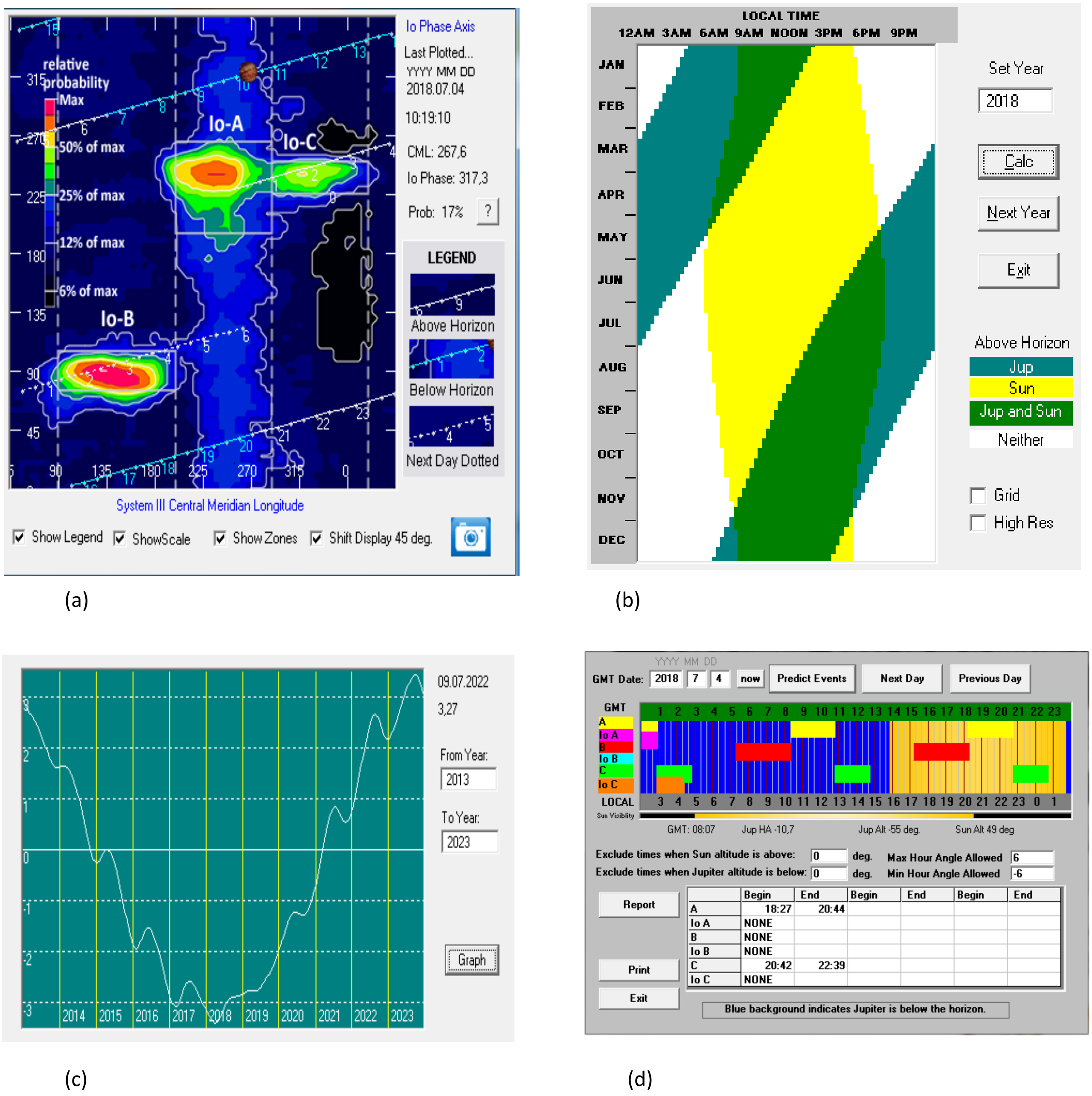
(c)

(d)

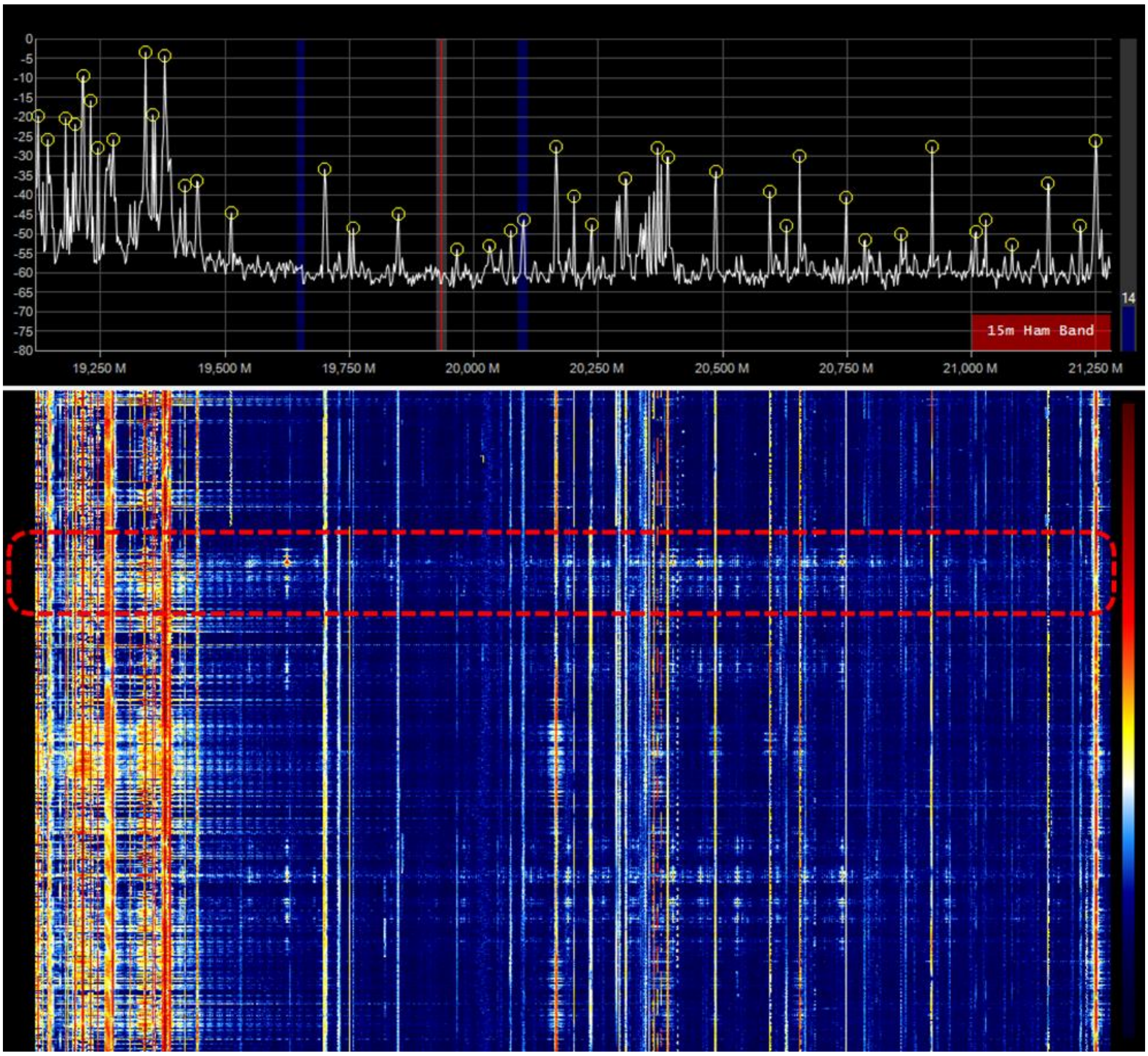
(e)

(f)

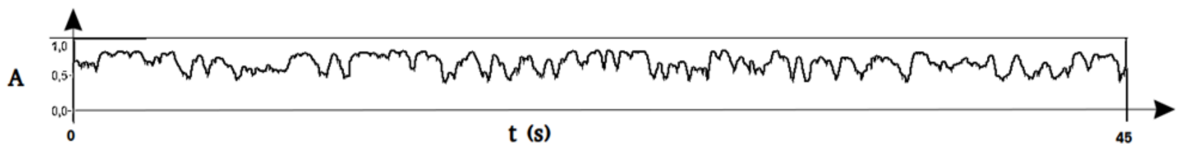
Slika 8: *Slike prikazujejo radijski teleskop in njegove komponente. Slika (a) prikazuje dvojno dipolno anteno, ki je postavljena na travniku v Gornjih Petrovcih; (b) Pogled na povezavo dipolne antene s koaksialnim kablom; (c) Delilnik moči – z desne prihaja signal z anten, ki potuje levo, proti sprejemniku; (d) SMA-M priključek na koncu koaksialnega kabla, ki gre v sprejemnik; (e) Udeleženci tabora izvajajo meritve pri frekvenci 20.1 MHz s pomočjo računalnika; (f) Radijski sprejemnik RTL-SDR (RTL2832U) – levo SMA-F vhod, desno USB izhod, slika je povzeta iz [7].*



Slika 9: *Program Radio-Jupiter Pro 3. Slika (a) prikazuje krivulje verjetnosti za pojav nevihte Io-A, Io-B in Io-C ter lego Jupitra; (b) Prikazuje vidljivost Jupitra in Sonca za določeni del dneva, za posamezni mesec v letu 2018. Najbolj ugodno je območje, ko je nad obzorjem samo Jupiter (turkizna barva); (c) Prikazuje Jovicentrično deklinacijo za obdobje 2013–2023. Trenutno je v najslabši legi, pri Jovicentrični deklinaciji -3°; (d) Tabela napovedi radijskih neviht na 4. 7. 2018. Največ pozornosti dajemo najmočnejšim nevihtam, Io-B in Io-C.*



(a)



(b)

Slika 10: *(a) prikazuje moč signala v odvisnosti od frekvence (zgoraj) ter radiofrekvenčni "vodni slap" (spodaj), ki prikazuje jakost črte pri neki frekvenci (vodoravna os), v odvisnosti od časa (navpična os). Navpične ostre črte v slapu predstavljajo različne AM radijske postaje, ki imajo fiksno frekvenco. S črtkano rdečo črto je označeno eno od zanimivih območij, kjer se pojavi neznana emisija. Vidimo lahko, da se ob istem času pojavi vodoravna razmazanost po širokem delu spektra. Ta je omejen na frekvenčno območje od 19.2 MHz do 21.2 MHz. Slika (b) prikazuje časovno odvisnost amplitude signala zajetega zvočnega posnetka neznane emisije, pri frekvenci 19.935 MHz. Na navpični osi je amplituda normalizirana. Zvočni posnetek je trajal 45 s. Vidimo lahko, da se na kratkih časovnih skalah (~ sekunda) pojavljajo nenadne spremembe v amplitudi (nekaj 10 %) izmerjenega signala. Zvočni posnetek tega spominja na S-izbruhe (kratki, S = short), ki zvenijo kot majhno kamenje, ki pada po strehi.*

Zahvala
Za logistično in finančno pomoč pri izvedbi projekta se zahvaljujem predsedniku Astronomskega društva Kmica, prof. dr. Mitji Slavincu ter Zvezi za tehnično kulturo Slovenije (Regionalni center v Murski Soboti). Zahvala gre tudi mojemu očetu za pomoč pri načrtovanju nosilne konstrukcije antene ter ravnatelju OŠ Gornji Petrovci, gospodu Johannu Lacu, ki nam je v času astronomskega tabora Kmica nudil domačo travniško parcelo, kamor smo anteno postavili.

Literatura

[1] Steven Arnold (2014). *Getting Started in Radio Astronomy, Beginner Projects for the Amateur*, Springer, New York.
[2] Grabenšek, D, Kulauzović, B, Souvent, A, Vraničar, J. (2004). *Priročnik za radioamaterje*, Zveza radioamaterjev Slovenije, Ljubljana.
[3] Dipolna antena, dostopno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Dipole_antenna (5. 11. 2018).
[4] Sončev dinamo, dostopno na: https://solarscience.msfc.nasa.gov/dynamo.shtml (5. 11. 2018).
[5] RadioJove, dostopno na: https://radiojove.gsfc.nasa.gov/observing/sample_data.htm (5. 11. 2018).
[6] Radio JOVE Project Team (1999). Radio JOVE RJ1.1 Antenna Kit and Manual, The Radio JOVE Project, NASA.
[7] RTL-SDR, dostopno na: https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/ (5. 11. 2018).
[8] SDR#, dostopno na: https://airspy.com/download/ (5. 11. 2018).
[9] Radio-Jupiter Pro 3, dostopno na: http://www.radiosky.com/rjpro3ishere.html (5. 11. 2018).

ALI JE TEMNA ENERGIJA SPLOH DOVOLJENA?

pom. akad. dr. Milan Svetec
PORA, razvoja agencija Gornja Radgona
Univerza v Mariboru, fakulteta za naravoslovje in matematiko

V teoriji strun se obetajo velike spremembe. Junija 2018 je namreč skupina teoretikov z Univerz Harvard in Caltech objavila trditev, da je temna energija v neskladju s teorijo strun. Prav temna energija pa je dandanes tisto kar nam omogoča razlago pospešenega širjenja vesolja. Temu so nasprotovali teoretiki z univerz na Dunaju, Heidelbergu in Univerze Columbia (New York). Trdijo namreč, da ob pravilnosti omenjene teorije, Higgsovi delci ne morejo obstajati (F. Denef, A. Hebecker & T. Wrase: de Sitter swampland conjecture and the Higgs potential, Phys. Rev. D 98, 086004 (2018)).

S teorijo strun je bilo do sedaj povezano upanje, da bo lahko razložila povezavo med gravitacijo in kvantno fiziko ter kako naj razumemo zakone narave, od njenih najmanjših delčkov, do največjih struktur v vesolju. Velikokrat teoriji strun očitajo veliko matematično abstraktnost in premalo napovedne vrednosti za eksperimentalno delo. Sedaj pa, kot smo opisali, se teoretiki spopadajo z »vročo« tematiko, ki je tesno povezana s kozmičnimi eksperimenti – širjenjem vesolja. Leta 2011 je bila podeljena Nobelova nagrada za fiziko za odkritje, da se vesolje ne samo širi, ampak se širi celo pospešeno. To lahko pojasnimo le, če upoštevamo še neznano temno energijo. Teorija strun pri tem predvideva, da obstajajo dodatni, do sedaj še neznani, delci, ki jih lahko opišemo kot polje. Ta polja so v stanju minimalne energije, oziroma z drugimi besedami, nahajajo se v lokalnem energijskem minimumu, ki pa ni enak nič. Harvardski teoretik Cumrun Vafa je junija objavil članek v katerem trdi, da tako »oblikovanih« polj s pozitivno energijo v teoriji strun ne more biti.

Če sledimo tej trditvi ugotovimo, da bi moralo imeti polje nekoliko drugačno obliko, podobno položnemu klancu po katerem se kotali kroglica, ki izgublja potencialno energijo. To pomeni, da se količina temne energije s časom spreminja in pospešek pri razširjanju vesolja bi se sčasoma izničil. Gravitacija bi potem lahko celotno materijo spet združila v eni točki, kakor ob velikem poku.

T. Wrase, eden izmed avtorjev članka, ki tej trditvi nasprotujejo je pokazal, da ima tudi Higgsovo polje vse karakteristike »prepovedanih« polj, vendar pa je bilo Higgsovo polje že eksperimentalno potrjeno in podeljena Nobelova nagrada za fiziko leta 2013.

Sedaj so praktično vsi teoretiki superstrun na sledi novim ugotovitvam, ki so v skladu ali pa nasprotujejo objavljenim trditvam konkurenčnih člankov in v bližnji prihodnosti se obeta zelo zanimivo dogajanje na tem področju fizike še posebej, ker nameravajo pospešeno širjenje vesolja še podrobneje raziskati.

Literatura

F. Denef, A. Hebecker & T. Wrase: de Sitter swampland conjecture and the Higgs potential, Phys. Rev. D 98, 086004 (2018).

O ASTROFOTOGRAFIJI

Andrej Hanžekovič

Univerza v Ljubljani, Akademiija za likovno umetnost in oblikovanje

Uvod

Astronomska fotografija je s tlemi povezana preko zemeljske tehnike in inovacije, vendar pa sega globoko v vesolje, dosti globlje od dosega našega očesa. Preko fotografij se nam razkažejo skrivnosti vesolja in tudi tisti njegovi najtemnejši delci postanejo vsaj malo svetlejši.

V tem kratkem sestavku je nesmiselno pisati podrobnosti o tehnikah astrofotografije, saj je na tem področju mnogo bolj učinkovit praktični pristop. Namesto tega bom zapisal lastno razmišljanje o tem kaj astrofotografija pomeni za mene in kakšne potenciale ima na globalni ravni.

Ko se zazremo v nočno nebo, se naše zenice razprejo in dosežejo maksimalno velikost približno 8 mm. Z zbiralno močjo slabega centimetra lahko vidimo svetlejše zvezde, planete, poleti tudi neostro belo stezo preko celotnega neba. Tej pravimo Rimska cesta. S pomočjo teleskopa lahko pogledamo globlje v temo. Zrcalni teleskop premera 25 cm nam omogoči, da gledamo skozi zenico, ki se ne razpre le do 8, ampak do 250 mm. Ta tehnologija nam omogoči, da pogledamo bližnje galaksije in meglice, čeprav le megleno in brez pretiranih detajlov v črno beli sliki. Potem lahko na teleskop zmontiramo fotografski aparat. Tukaj se zgodba zame zares začne.

S časom osvetlitve po nekaj sekund pa tja do nekaj minut, se vsi objekti, ki smo jih prej opazovali s prostim očesom, prikažejo v barvah in detajlih. Od modrih, zelenih pa do rdečih odtenkov, vse stvarstvo žari v neskončno širokem vesolju. Ta tehnologija nam omogoči vpogled v pravo naravo stvarstva. S pomočjo barv lahko razkrijemo sestavo teh teles, na podlagi svetlosti in velikosti na senzorju ter raznih lomov svetlobe lahko izračunamo kako daleč so objekti, kako so veliki in celo v katero smer se premikajo. Zaporedje posnetkov s pomočjo določenih znanstvenih programov omogoča avtomatizirano iskanje teles, kot so meteorji, kometi in drugi znani ter neznani objekti.

Osebna fascinacija nad tehnologijo in možnostmi, ki jih ponujajo že naprave, dosegljive navadnim potrošnikom, je na vrhuncu. Res lepo je živeti v času, ko je tehnologija iz dneva v dan cenejša in se vsakodnevno razvijajo nove rešitve, novi postopki in načini delovanja. Danes lahko že praktično vsakdo z nekaj znanja pogleda globlje v vesolje, kot kadarkoli v zgodovini.

TRADICIONALNI KMICIN TABOR

Sonja Kepe[1] in Andrej Hanžekovič[2]
[1]OŠ Beltinci
[2] Univerza v Ljubljani, Akademiija za likovno umetnost in oblikovanje

Od ponedeljka, 2. 7. 2018, do petka, 7. julija 2018, je na OŠ Gornji Petrovci potekal tradicionalni astronomski tabor v organizaciji Astronomskega društva Kmica in Zveze organizacij za tehnično kulturo Slovenije. Nočno vreme je udeležencem tabora, njihovim mentorjem in mentorici povzročilo kar nekaj preglavic, zato so zaklade daljnega in bližnjega vesolja spoznavali predvsem čez dan.

Slika 1: *Slika prikazuje udeležence tabora in njihovo delo.*

Delo v skupinah

Udeleženci so se prvi dan tabora razdelili v skupine glede na njihovo predznanje in zanimanja. Pod mentorstvom Andreja Hanžekoviča, Sonje Kepe, Darka Kolarja in Roka Vogrinčiča so znanje usvajali po skupinah na delavnicah astrofotografije, radijske astronomije, astrofizike in osnov astronomije. Astrofotografi so se učili postopka zajemanja in obdelave fotografij Jupitra, Saturna, Lune ter svetlejših meglic. Skupaj z mentorjem Andrejem Hanžekovičem so ustvarjali tudi video dogajanja na taboru. Astrofiziki so se pod mentorstvom Darka Kolarja podali v programiranje, radijski astronomi so z mentorjem Rokom Vogrinčičem merili nizkofrekvenčne bliske Jupitra, osnove astronomije in dela s teleskopi pa se pod mentorstvom Sonje Kepe učili v ločeni skupini.

Slika 2: *Slika prikazuje udeležence tabora in njihovo delo.*

Večerna predavanja in strokovna ekskurzija

V ponedeljek je večerno predavanje na temo o življenju v vesolju izvedel pom. akad. dr. Mitja Slavinec, v torek je orientacijo po nočnem nebu, astronomska opazovanja in delo s teleskopi predstavil Mario Pezer, v sredo pa so se udeleženci učili še o spektroskopiji, o kateri je predaval Darko Kolar. V četrtek smo se odpravili na strokovno ekskurzijo v Strehovce, kjer smo si ogledali učno pot Sonce in planet in se poučili o razsežnosti našega Osončja.

Slika 3: *Slika prikazuje udeležence tabora in njihovo delo.*

Zabavni del

Udeleženci tabora niso samo trdo delali, saj so se vendar začele počitnice, temveč so tudi tekmovali v zabavnih igrah, ki so na primer vključevale »papir, kamen, škarje«, kako se naredi papirnato letalo, izdelavo in spuščanje raket na vodni pogon, nogomet in še nekaj drugih iger.

Zaključek tabora

Petkov večer s predavanjem in slavnostnim zaključkom tabora je bil odprt za javnost. O gravitaciji je prisotnim predaval pom. akad. dr. Renato Lukač, tradicionalno sta mu sledila še predstavitev dela udeležencev tabora in slavnostna podelitev diplom.

Slika 4: *Slika prikazuje udeležence tabora in njihovo delo.*

Slika 5: *Skupinska slika udeležencev tabora in njihovih mentorjev.*

ČE BI ZEMLJA BILA ČRNA LUKNJA

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

Povzetek
V članku opisujemo hipotetične razmere na Zemlji v primeru, če bi bila pomanjšana na velikost črne luknje. V uvodu predstavimo fizikalne lastnosti Zemlje, kot so velikost, masa in ubežna hitrost. V klasičnem približku nato te količine ocenimo za primer črne luknje. Ker bi gostota Zemlje, stisnjene na velikost črne luknje krepko presegla gostoto atomskega jedra oz. nevtronske zveze, račun ponovimo še na primeru Sonca kot črne luknje. Zaključimo s predstavitvijo gostote kot kriterija za nastanek črne luknje.

Uvod
O črnih luknjah smo v biltenu *Astronomi v Kmici* že lahko brali [1-5]. Za črne luknje je značilno, da je njihova gravitacijska privlačnost tako velika, da je ubežna hitrost [1,2] enaka svetlobni hitrosti. To pomeni, da iz črne luknje ne more pobegniti nobeno telo, niti svetloba. Zato jo tudi imenujemo črna luknja, saj od tam ne prihaja nič svetlobe, ni pa ime v nikakršni zvezi z luknjami, kot jih poimenujemo običajno.
V nadaljevanju si bomo ogledali kako majhna bi morala biti Zemlja, da bi imela lastnosti črne luknje. Črne luknje lahko nastanejo le iz dovolj masivnih nebesnih teles. Masa Sonca je premajhna [1], da bi iz njega lahko nastala črna luknja (spodnja meja za nastanek črnih lukenj je približno tri mase Sonca), zato je seveda masa Zemlje še toliko bolj premajhna in pri opisu Zemlje kot črne luknje gre zgolj za hipotetičen izračun, ki pa nam bo pomagal razumeti omejitev glede mase za nastanek črnih lukenj.
Na črnih luknjah so razmere drugačne, kot smo jih vajeni na Zemlji oz. v »klasičnem« vesolju, tudi nekatere fizikalne zakonitosti so na črnih luknjah

drugačne. Kljub temu pa lahko v okviru klasične aproksimacije dobro ponazorimo splošne razmere in zakonitosti črnih lukenj. Računi so poučni in nazorno kažejo, katere fizikalne razmere vladajo v dejanskih črnih luknjah.

Osnovne fizikalne količine Zemlje

Polmer Zemlje R_z je približno $6.400\,km$ (bolj natančna vrednost v povprečju znaša $6.373\,km$) [6], njena povprečna gostota je približno $5.500\,kgm^{-3}$ iz česar lahko izračunamo, da je masa Zemlje m_z približno $6\cdot 10^{24}\,kg$. Težni pospešek na površini Zemlje g_0 je približno $10\,ms^{-2}$. Izračunamo ga lahko iz Newtonove gravitacijske enačbe tako, da pogledamo, s kolikšno silo teže F_g Zemlja na svoji površini privlači neko telo [7-9]:

$$F_g = G\frac{m\,m_z}{R_z^2} = mg_0, \tag{1}$$

kjer je G gravitacijska konstanta. S to silo Zemlja privlači telesa na svojo površino.

Ubežna ali druga kozmična hitrost

Telesa so s privlačno gravitacijsko silo vezana na Zemljo in jo lahko zapustijo le, če jim dovedemo dodatno energijo. Potencialna energija na površini nebesnih teles je negativna. Npr. raketi je treba dovesti energijo, da lahko odleti proč. Izhodišče potencialne energije je postavljeno v neskončnost, daleč proč v vesolju, kjer ni vezano na npr. Zemljo. Če torej želimo, da raketa zapusti Zemljo, ji moramo dovesti ravno toliko kinetične energije, kot je na površini negativne potencialne energije.

Iz enačbe (1) lahko izračunamo, da je potencialna energija na površini Zemlje enaka [7-9]:

$$W_p = -G\frac{m\,m_z}{R_z}. \tag{1}$$

Da bo neko telo lahko zapustilo Zemljo, mu moramo torej dovesti točno toliko kinetične energije:

$$W_k = \tfrac{1}{2}mv^2, \tag{2}$$

pri čemer je v hitrost telesa. Če gornji enačbi izenačimo, dobimo zvezo za **ubežno hitrost** ali **drugo kozmično hitrost v_{II}**:

$$\tfrac{1}{2}mv_{II}^2 = G\frac{m\,m_z}{R_z}, \tag{3}$$

iz česa sledi

$$v_{II} = \sqrt{\frac{2Gm_z}{R_z}}. \tag{4}$$

Iz enačbe (4) lahko izračunamo, da je ubežna hitrost za Zemljo enaka $v_{II} = 11{,}2\,kms^{-1}$. Nebesnim telesom, za katera je ubežna hitrost enaka svetlobni hitrosti $c = 3\cdot 10^8\,ms^{-1}$ pa pravimo črne luknje, saj s takih teles ne more uiti niti svetloba.

Iz enačbe (4) lahko razberemo tudi zvezo, da se pri stalni masi ubežna hitrost povečuje, če se polmer zmanjšuje, tj. če se gostota povečuje.

Schwarzschildov radij

Vprašajmo se, kako majhen bi moral biti radij Zemlje, da bi ubežna hitrost postala enaka svetlobni hitrosti. Če v enačbo (4) za v_{II} vstavimo c in izrazimo polmer, dobimo:

$$R_s = \frac{2Gm_z}{c^2}. \tag{5}$$

Gornjemu polmeru pravimo **Schwarzschildov radij** [2]. Če se neko nebesno telo skrči na velikost Schwarzschildovega radija, potem tega telesa ne more zapustiti niti svetloba in ima lastnosti črne luknje.

Iz enačbe (5) lahko izračunamo, da meri Schwarzschildov radij za Zemljo zgolj 9 mm. Tj. Zemljo bi morali stisniti na velikost manj kot dveh cm, da bi postala črna luknja. To je res nepredstavljivo majhno telo, katerega gostota bi bila približno $7\cdot 10^{29}\,kgm^{-3}$. To je kar 10^{26}-krat več od trenutne povprečne gostote Zemlje. Primerjajmo to gostoto z gostoto atomskih jeder oz. njihovih gradnikov.

Oglejmo si še, kako bi bilo, če bi se naše Sonce zmanjšalo do velikosti črne luknje. Masa Sonca je približno $2\cdot 10^{30}\,kg$ kar je približno milijon krat več od mase Zemlje. Iz enačbe (5) vidimo, da bo tudi Schwarzschildov radij Sonca približno tolikokrat večji. Natančnejši račun pokaže, da bi Sonce kot črna luknja imelo Schwarzschildov radij približno tri kilometre. Povprečna gostota tako skrčenega Sonca bi bila približno $2 \cdot 10^{16}\ kgm^{-3}$. To je še zmeraj nekoliko več, kot če bi atome stisnili na velikost jeder, vendar je s tem že primerljivo.

Nevtronske zvezde in mejna masa

V kolikor bi atome, katerih velikost je približno 10^5-krat večja od velikosti atomskih jeder (velikost atoma je približno $10^{-10}\ m$, velikost atomskih jeder pa približno $10^{-15}\ m$) stisnili na velikost atomskih jeder, bi se gostota take snovi povečala za $(10^5)^3 = 10^{15}$. Nebesna telesa, v katerih se atomi skrčijo na velikost atomskih jeder, imenujemo **nevtronske zvezde**. Ker so v nevtronskih zvezdah nevtroni tik drug ob drugem, je gostota nevtronskih zvezd tudi meja za največjo možno gostoto snovi v vesolju. Če se spomnimo, kolikšno gostoto bi morala imeti Zemlja, da bi postala črna luknja, vidimo, da bi morala biti kar 10^{11} (sto milijard) krat večja od gostote nevtronske zvezde. Zemlja torej zaradi omejitve največje možne gostote ne more biti tako stisnjena, da bi iz nje nastala črne luknja.

Izračunajmo, kolikšna mora biti masa telesa, da bo pri Schwarzschildovem radiju imela gostoto nevtronske zvezde ρ_{nz}:

$$\rho_{nz} = \frac{m_{čl}}{V_S} = \frac{m_{čl}}{\frac{4\pi}{3}R_S^3} \rightarrow m_{čl} = \rho_{nz}\frac{4\pi}{3}R_S^3\ . \quad (6)$$

Ta masa je groba ocena, koliko mase moraj zvezde imeti, da iz njih lahko nastanejo črne luknje. Natančnejši račun pokaže, da je mejna masa za nastanek črne luknje približno tri mase Sonca.

Zaključek

Za črne luknje je značilno, da je njihova ubežna hitrost enaka svetlobni hitrosti. Ubežna hitrost je odvisna od mase nebesnega telesa in njenega polmera, torej posredno od gostote. Račun tudi pokaže, da manjša kot je masa nebesnih teles, večja mora biti njihova gosta, da nastanejo razmere za nastanek črne luknje. Ker pa se gostota ne more poljubno povečevati, zgornja omejitev je, ko se atomi skrčijo na velikost atomskih jeder, tj. so nukleoni razporejeni drug ob drugem kot v nevtronski zvezdi. Sonce bi moralo imeti približno tri krat večjo maso, da bi v njenem končnem stadiju iz njega nastala črna luknja.

Literatura

[1] R. Repnik, *Astronomi v Kmici osmic*: Kozmične hitrosti, AD Kmica, 2005.

[2] M. Gomboc, *Astronomi v Kmici devetič*: Nastanek črnih lukenj, AD Kmica, 2006.

[3] M. Gomboc, *Astronomi v Kmici petnajstič*: Galaksije, AD Kmica, AD Kmica 2012.

[4] M. Gomboc, *Astronomi v Kmici šestnajstič*: Globok pogled v mikro-kvazar, AD Kmica, 2013.

[5] M. Ambrožič, *Astronomi v Kmici dvajsetič*: Nobelova nagrada za detekcijo gravitacijskih valov, AD Kmica, 2017.

[6] S. Mitton, J. Mitton, *Astronomija*, Didakta, 1994.

[7] H. Goldstein, *Clasical Mechanics*, Addison-Wesley, 1981.

[8] J. Strnad, *Fizika 1*, DMFA.

[9] L. D. Landau, E. M. Lifshitz, Statistical Physics, Pergamon Pres, 1993.

KVIZ IZ POZNAVANJA NEBESNIH MITOV, KI OPISUJEJO OZVEZDJA

Marijan Prosen

Pred kakšnimi petindvajsetimi leti, še v prejšnjem tisočletju, ampak že v naši Republiki Sloveniji, me je neko sončno sobotno popoldne obiskalo pet učiteljic, ki so v okviru Projekta Tempus iz vsebine Zemlja in vesolje izdelale seminarske naloge. Naloge so mi v pogled in oceno prinesle kar na dom in še *prošnjo za odgovore na nekaj vprašanj v zvezi s poučevanjem astronomskih vsebin v prvi triadi osnovne šole. Vse naloge so bile odlično narejene. Odgovore na zastavljena vprašanja pa smo tudi rešili.*

Velik strah med mitološkimi bitji na
zvezdnem nebu je vzbujal Škorpijon.
V peto je pičil najbolj spretnega
lovca Oriona, ki je potem umrl.
Na smrt je prestrašil tudi Fetona,
ki je preplašen spustil vajeti iz rok.
Sončni voz se je razletel in
Feton se je smrtno ponesrečil,
ko je goreč kot svetel utrinek
padel z neba v reko Eridan.

Ker so se učiteljice prvič srečale s strokovno razlago, kako bi v šoli poučevale na novo vpeljano vsebino Zemlja in vesolje, in bile tudi navdušene nad miti (pravljicami) o ozvezdjih, vedele pa so, da jih tudi jaz pišem, so mi predlagale, da bi naredili kviz ali kratko tekmovanje o poznavanju nebesnih mitov iz starogrškega bajeslovja. Ugotavljali bi, kateri miti in ozvezdja so med seboj povezani. Kviz naj bi trajal eno šolsko uro. Pristal sem. Dogovorile so se, da vsaka učiteljica pripravi (postavi) sedem vprašanj (7 kratkih stavkov) iz različnih nebesnih mitov (bajeslovnih zgodb), ostale pa ugibajo, za kateri mit in ozvezdje gre pri vsakem vprašanju, katero ozvezdje opisuje določen mit. Iz enega stavka je bilo treba ugotoviti mit in njemu pripadajoče ozvezdje, na primer: Neviden se je tiho približal Meduzi in ji z mečem bliskovito odsekal glavo; → mit o junaku Perzeju →ozvezdje Perzej, ali: Zaradi kačjega pika mu je umrla ljubljena žena Evridika; → mit o Orfeju in Evridiki → ozvezdje Lira, ali: Ko je Ariadna še spala, je nehvaležni in nezvesti Tezej s tovariši brez nje odplul v Atene. → mit o junaku Tezeju (ali tudi mit o princesi Ariadni) → ozvezdje Venec (Severna krona). Prav dobro smo se zabavali in se hkrati tudi nekoliko učili. Moram priznati, da so učiteljice zelo dobro poznale mitološke zgodbe glavnih ozvezdij.

Na to srečanje z učiteljicami sem že zdavnaj pozabil. Zdaj pa sem se spomnil in se odločil, da sestavim podoben kviz z 51. vprašanji, da se preskusite, kako poznate zgodbe o ozvezdjih iz grškega bajeslovnega sveta in katera ozvezdja so povezana z določenimi miti ali obratno. Ozvezdje je vedno na nebu, ozvezdju pripadajoči mit pa je ali pa ga ni. Na vprašanja poskusite odgovoriti tako, da najprej navedete mit (če obstaja), nato pa ozvezdje, ki ga mit opisuje. Sicer navedete le ozvezdje.

Vprašanja (en stavek):

1. Z verigami so jo prikovali na skalnato pečino in prepustili, da jo požre plavajoča pošast.

2. Dvorni astronom ji je svetoval, naj se svečano zaobljubi, da žrtvuje nekaj, kar ji je najdragocenejše.

3. Zevs, spremenjen v čudovito lepega snežno belega bika, je prišel z gore Olimp naravnost na cvetoči travnik, kjer se je sprehajala lepa deklica Evropa.

4. Na ladjin kljun je boginja Atena pritrdila kos hrastovega lesa, ki je imel čarobno moč, da je lahko govoril in tako opozarjal mornarje na nevarnosti.

5. Arion si je nadel najlepše oblačilo, se povzpel na krov ladje in pred mornarji zapel presunljivo žalostno.

6. Demetra je prosila vrhovnega in vsemogočnega boga Zevsa, naj ji pomaga, da dobi nazaj hčer, ki ji jo je ugrabil Had.

7. Ta dva brata - dvojčka sta bila neločljiva in ljubeča prijatelja.

8. Enajsto in verjetno eno najtežjih opravil je bilo, da je moral iti dol v podzemlje in nazaj na zemljo pripeljati pošastnega triglavega psa Kerberja.

9. Postal je čudežni zdravilec, ki je obljubil, da bo človeštvu omogočil nesmrtnost, kot jo imajo bogovi.

10. Lepa etiopska kraljica si je preveč domišljala, da je najlepša na svetu.

11. Njegovo podobo za ozvezdje so izbrali zato, ker je ta žival najbolj znana po svojih plezalskih sposobnostih.

12. Feton se je brezupno trudil, da bi očetove konje umiril.

13. Heraklej ga je zgrabil za vrat, ga dvignil v zrak in ga s svojimi izjemno močnimi rokami zadavil, junaški boj pa je trajal celih trideset dni, tj. čas, v katerem se Sonce navidezno zadržuje v tem ozvezdju.

14. Njegovo čudovito brenkanje na liro in petje je omehčalo celo kamnito srce vladarja podzemskega sveta, Hada.

15. Prometeja je rešil trpljenja šele veliki junak Heraklej, ki je s puščico iz svojega loka ubil nenasitnega jastreba, ki je vsako noč kljuval Prometejeva jetra.

16. Imela je nenavadno sposobnost, da je nobena žival ni mogla ujeti.

17. Na zvezdno nebo naj bi bil postavljen z nalogo, da budno pazi na Velikega medveda, da ne zaide iz smeri pri neprestanem kroženju okrog Severnice.

18. Volarju pomagata čuvati Velikega medveda, da ne skrene s poti.

19. Arkad, Zevsov sin, je hotel ustreliti medvedko, svojo začarano mater, Zevs pa je to preprečil in še njega spremenil v medveda.

20. Manjši od dveh priljubljenih lovskih psov, ki sta bila Orionova zvesta spremljevalca na zemlji in po njegovi smrti tudi na nebu.

21. Najljubša Zevsova ptica, ki je sedela ob Zevsovem tronu in mu pomagala vladati nad zemljo in nebom.

22. Največji lovec vseh časov v bujni grški mitologiji, ki ga spremljata zvesta lovska psa.

23. Verjetno je našel svoje mesto med zvezdami tudi zato, ker ga je tja postavil sam bog Zevs v zahvalo, ker je rešil otroka Helo in Friksa.

24. Po opravljeni nalogi je odletel na goro Olimp in tam postal najpriljubljenejši Zevsov konj.

25. Ko je tako letel nad deželo, kjer sta vladala kralj Kefej in kraljica Kasiopeja, je ob morski obali opazil na skalnati pečini z verigami prikovano lepo kraljevo hčer Andromedo in jo takoj rešil okov (dve možnosti).

26. Boginja Hera mu je na vse mogoče načine oteževala življenje, tudi tako, da je nadenj poslala nevarno žival s kleščama, a jo je veliki junak kar pohodil in zdrobil do smrti (dve možnosti).

27. Da bi ušla strašnemu stoglavemu Tifonu, sta se bogija lepote in ljubezni Afrodita in njen sin Eros potopila globoko v reko in se med seboj povezala z dolgo vrvjo.

28. Spominja na konja z dolgim zavitim rogom, ki raste iz sredine njegove glave in štrli daleč naprej.

29. Nemočen in prestrašen se je ponižno potuhnil ob lovčevih nogah.

30. Pravijo, da je pametni Hiron celo izdelal ozvezdje kot spomin nase.

31. Dneve in dneve je prežal nanj in nekega jutra mu je uspelo, nepremagljivega lovca je smrtno pičil v peto (skoraj dve možnosti).

32. Z mečem in skodelicama naj bi ljudem tehtala pravico.

33. In lepotico Kalisto je boginja Hera spremenila v nagnusno medvedko v poduk drugim deklicam, če se bodo pustile, tako kot se je Kalisto, zapeljati njenemu možu.

34. Nekoč je Prokridi prišlo na uho, da v gozdu Kefal kliče neko Nefelo.

35. Kot darilo je dobil čarobno kopje, ki nikdar ne zgreši, in silno zvestega lovskega psa Lelapsa, ki mu nobena žival ne uide, čim jo zavoha.

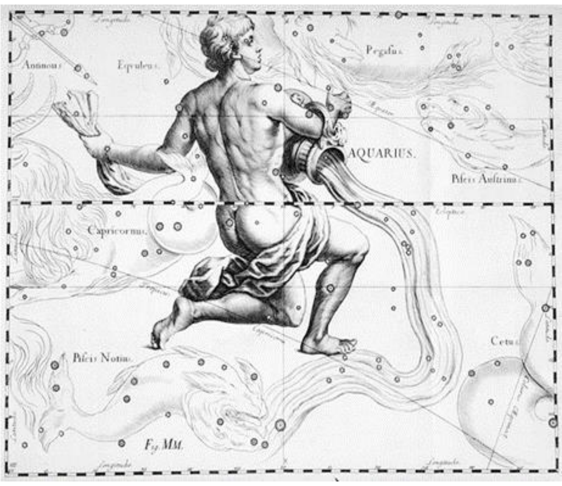
36. Za poročno darilo ji je bog Dioniz podaril zlat venček oziroma zlato krono s sedmimi svetlečimi diamanti.

37. Živela je v nekem močvirju v Grčiji in imela devet nevarnih strupenih kačastih ali zmajskih glav.

38. In Zevs je naravnost z njive mladeniča, še medtem ko je oral, z voli in plugom vred, ponesel visoko nad zemljo in ga postavil na nebo med zvezde.

39. Hčer Hipodamijo je obljubil tistemu snubcu, ki ga premaga v dirki na bojnem vozu.

40. Z glavno zvezdo tega ozvezdja je povezana zgodba, po kateri je bila koza Amalteja dojilja boga Zevsa v neki skalnati votlini na otoku Kreta.



41. Vesoljni potop sta preživela le tesalski kralj Devkalion in njegova žena Pira.

42. Boginja Hera ga je poslala varovat zlata jabolka na prelepem vrtu bogov na skrajnem zahodu sveta.

43. Slavni bel konj, ki je bil brat še slavnejšega krilatega konja Pegaza.

44. Heraklej jo je premagal tako, da je takoj, ko ji je osekal eno glavo, njen krvaveči vrat izžgal z gorečo baklo.

45. Starogrškemu kralju Akriziju so prerokovali, da ga bo ubil njegov vnuk, sin njegove hčerke.

46. Noč za nočjo jih je zalezoval, one pa so se ga bale in se zatekle v varno zatočišče na Bikovem hrbtu.

47. V njem ležijo Rimščice.

48. V ozvezdju je upodobljeno nenavadno čudno mitološko bitje, štirinožec - polčlovek in polkonj.

49. Da bi podaljšal življenje svojemu ljubljenemu vladarju, je sam sebe žrtvoval, utopil se je v reki Nil.

50. Sončno kočijo pa je spet poprijel bog Helij in jo mirno in varno pripeljal do zahoda.

51. Ta, na zvezdno nebo postavljena riba, naj bi ovekovečevala tisto ribo, ki naj bi po bajeslovni zgodbi pred utopitvijo rešila egipčansko boginjo plodnosti, Izido.

Želimo vam veliko užitka in veselja pri reševanju!

Urednik:
pom. akad. dr. Mitja Slavinec
Strokovni pregled:
pom. akad. dr. Milan Svetec
pom. akad. dr. Mitja Slavinec
pom. akad. dr. Renato Lukač
Rok Vogrinčič
Oblikovanje in prelom:
Sara Mičev
Tisk:
AIP Praprotnik
Naklada:
250 izvodov
Založnik:
AD Kmica in ZOTKS, Murska Sobota, 2018
zanju: pom. akad. dr. Mitja Slavinec

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

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

ASTRONOMI v Kmici : enaindvajsetič / [urednik Mitja Slavinec]. - Murska Sobota : AD Kmica : ZOTKS, 2018

ISBN 978-961-92312-8-9 (AD Kmica)
1. Slavinec, Mitja
298033408