

# ASTRONOMI V KMICI



osemnajstič

## KAZALO

<b>ASTRONOMIJA IN ASTROFIZIKA .....</b>	<b>3</b>
<b>KAJ, ČE BI SE ZEMLJA NEHALA VRTETI? .....</b>	<b>4</b>
<b>GIBANJE TREH TELES POD VPLIVOM GRAVITACIJSKE SILE.....</b>	<b>9</b>
<b>VODA NA MARSU .....</b>	<b>12</b>
<b>VROČI VELIKI POK ALI POČASNO TALJENJE?.....</b>	<b>15</b>
<b>TABOR KMICA .....</b>	<b>16</b>
<b>ŠESTO DRŽAVNO TEKMOVANJE IZ ASTRONOMIJE .....</b>	<b>18</b>
<b>PLAKAT ESA/HUBBLE – WESTERLUND 2 .....</b>	<b>20</b>
<b>HOMOLOGNE RELACIJE .....</b>	<b>22</b>
<b>TRADICIONALNI KMICIN TABOR.....</b>	<b>25</b>
<b>RAZDALJA MED ZEMLJO IN SONCEM.....</b>	<b>27</b>
<b>SANKTPETERBURŠKA ASTRONOMSKA OLIMPIJADA.....</b>	<b>29</b>
<b>UTRIPANJE ZVEZD .....</b>	<b>30</b>
<b>NAVIDEZNO GIBANJE SONCA PO NEBU .....</b>	<b>33</b>

## ASTRONOMIJA IN ASTROFIZIKA

Astronomsko društvo Kmica svoje poslanstvo popularizacije astronomije med čim širšimi množicami, še posebej med mladimi, udejanja preko različnih aktivnosti, med katerimi je ena vodilnih nedvomno publicistična dejavnost. Tudi letos marsikatero steno krasi Kmicin astronomski koledar, ki nas tekom leta opozarja na najzanimivejše astronomske dogodke. Strokovne prispevke pa smo že osemnajstič zbrali v tradicionalni publikaciji Astronomi v Kmicu.

Publikacija je že od samega začetka imela veliko večje ambicije od društvenega biltena, v katerem bi zbrali zanimivosti, povezane s članskimi aktivnostmi. Zato smo ustvarili svojevrsten prostor v katerem članicam in članom ter drugim strokovnjakom, omogočamo predstaviti marsikatero zanimivost s področja astronomije in astrofizike.

Ves čas skrbimo za ustrezen strokovni nivo, zato so prispevki tudi letos strokovno pregledani in recenzirani. Hkrati pa so zapisani na način, da ostajajo dobrodošlo dodatno izobraževalno gradivo dijakinjam in dijakom v srednjih šolah ter motivacija učenkam in učencem v osnovnih šolah.

Že bežen pogled na kazalo, kaže na raznolikost prispevkov, sprehod skozi njihovo vsebino pa nas popelje od hipotetičnih napovedi razmer (Kaj, če bi se Zemlja nehala vrteti), do povsem astrofiziklanih predstavitev zakonitosti narave v članku Gibanje treh teles pod vplivom gravitacijske sile.

Morebitno življenje na drugih planetih je nenehno burilo duhove in Mars je bil za to zmeraj eden najprimernejših kandidatov. Pogoj za nastanek življenja je voda, zato so zadnja raziskovanja povezana z odkrivanjem vode na Marsu še toliko bolj zanimivo branje. Sledi sprehod v davno zgodovino, v čas nastanka vesolja in predstavitev morebitnega modela takratnih razmer.

Vsakoletni osrednji dogodek Astronomskega društva je Mladinski astronomski tabor, ki ga organiziramo v sodelovanju z Zvezo za tehnično kulturo Slovenije. Prav predstavitvi tabora zato namenimo posebno pozornost. Tabor je valilnica naših bodočih kadrov, učilnica za že uveljavljene ljubiteljske astronome in prostor, ki ga negujejo tudi naši uveljavljeni profesionalni astronomi. To nas še posebej veseli, saj takšna strokovna vertikala krasi tudi celotno Astronomsko društvo Kmica. Marsikdo se je prav preko društva seznanil z astronomijo, jo kot mentor podrobneje spoznal in si nabiral tiste pomembne izkušnje, ki so mu pomagale in koristile v času študija, sedaj pa je kot uveljavljen in mednarodno priznan astronom, eden najboljših motivatorjev mladih. Posebej spodbudno je to, da nit ni prekinjena in imamo tudi zdaj v društvu tiste, ki so že prečkali polovico omenjene poti in so pred njimi zelo obetavne kariere.

Za motivacijo mladih so zelo pomembna tudi tekmovanja. Veseli nas, da je Kmica vsako leto prisotna organizacijsko in da naši mladi astronomi dosegajo zmaraj boljše tekmovane rezultate. Na tem mestu gre zato iskrena zahvala in čestitke vsem mentorjem, ki mladim na tej poti stojite ob strani.

Lansko leto je bila tudi 25. letnica delovanja vesoljskega teleskopa Hubble. Vesoljska agencija vsako leto izbere posebej lepo in pomembno fotografijo. Jubilejna 25. je imela posebno vlogo in s ponosom smo jo po zaslugi AD Kmica in Gimnazije Murska Sobota, lahko opazovali tudi v Pomurju.

Sledita še zaninimiva prispevka povezana z astrofiziko, kateri v Astronomih v Kmicu zmeraj dajemo poseben pomen, saj je prav to tista osnova za nadaljevanje tradicije astronomije kot najstarejše znanosti in za zaključek sledi še predstavitev razmer v našem sončnem sistemu.

Želim vam prijetno branje in čim več lepih astronomskih noči.

pom. akad. dr. Mitja Slavinec  
predsednik AD Kmica

## KAJ, ČE BI SE ZEMLJA NEHALA VRTETI?

doc. dr. Robert Repnik, Uroš Gašpar in Magdalena Savič  
Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko

*Ste že pomislili, kaj bi se zgodilo, če bi se naš planet prenehal vrteti?*

*Kaj bi ta sprememba pomenila za človeštvo?*

*Bi ljudje to preživel?*

*Kako dolgo bi takrat trajal dan, oziroma noč?*

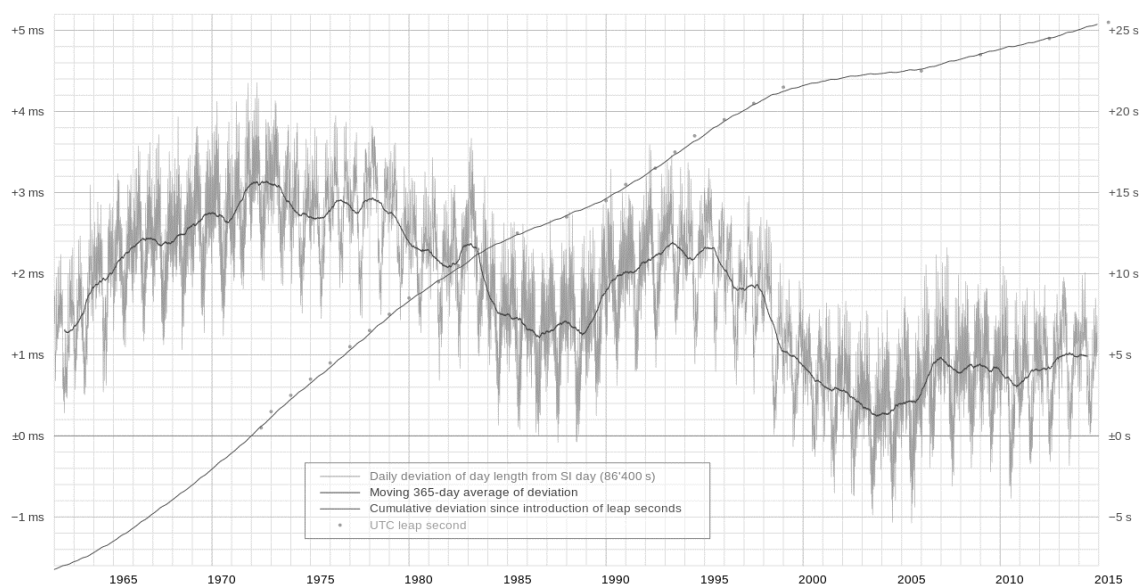
Dolžina dneva Zemlje se meri s kombinacijo različnih merilnih metod, na primer s posebno vrsto interferometrije, ki jo koordiniramo z GPS sistemom in drugimi metodami, ki vključujejo različne vrste satelitov. Na ta način zelo natančno določamo univerzalni čas, precesijo in nutacijo Zemlje. Presenetljivo pa je, da čas enega dneva ni povsem konstanten (Slika 1) [1].

Uvodoma smo nanizali nekaj vprašanj v zvezi s hipotetično situacijo, če bi se naša Zemlja pričela ustavljati in bi se dolžina dneva postopoma daljšala. Na ta vprašanja bomo poskušali odgovoriti v tem prispevku. Če za en dan upoštevamo trajanje 86400 s, ugotovimo, da je razhajanje med atomskim in solarnim

dnevom tekom enega leta že okoli 1 s, kar občasno izravnavamo s t.i. prestopnimi sekundami. Tudi letos smo 30. junija dodali eno sekundo in s tem izenačili oba časa [2]. Že ena sekunda je prinesla več težav, saj so imele težave različne spletne strani, kot so: Mozilla, Reddit, Foursquare, Yelp, LinkedIn, StumbleUpon.

Zemlja postopoma potrebuje za en obrat okoli svoje osi vse daljši čas. Kaj pa, če bi Zemlja močno »pritisnila na zavoro« in bi se dan podaljšal za nekaj ur, dni, mesecev [3,4]? Najprej bi težave opazili na letališčih, kjer bi vladal kaos in zmeda. GPS naprave ne bi pravilno delovale. Spremenila bi se tudi razporeditev kopnega in morja, temperatura zraka in morja. Prav tako pa bi se tudi razredčil zrak v atmosferi. Pogledjmo si nekaj podrobnosti.

Teoretiki napovedujejo, da se Zemlja ne bi takoj ustavila, ampak bi to trajalo 5 let. Predstavili bomo, kaj se bi dogajalo s planetom



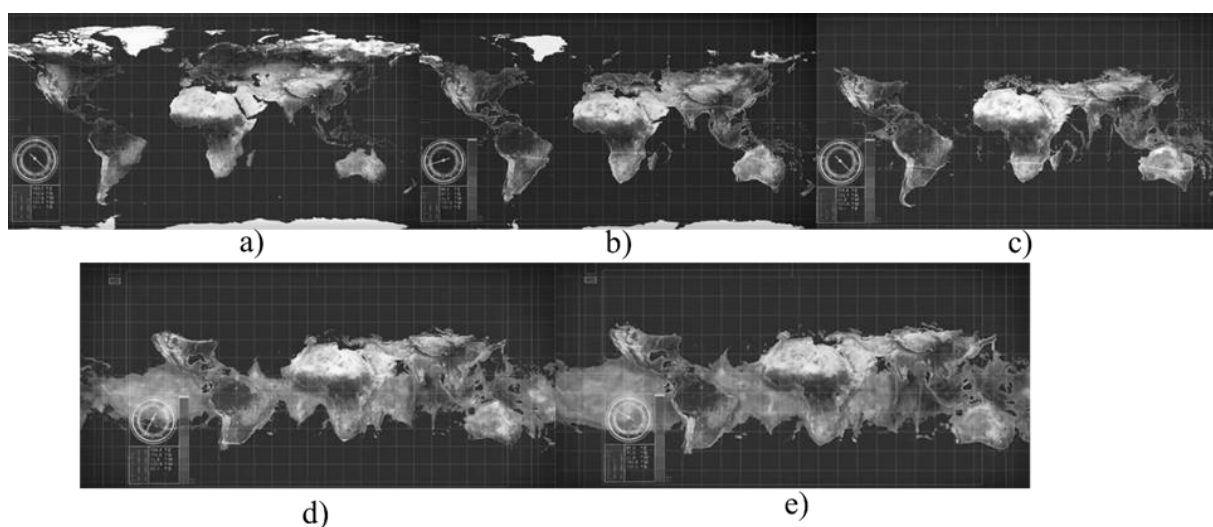
Slika 1: Na sliki so prikazana drobna dnevna odstopanja od trajanja dneva 86400 s za obdobje od leta 1962 do 2015, čez nihanja vrisana krivulja predstavlja letno povprečno odstopanje, točke na vzpenjajoči krivulji pa ponazarjajo leta, v katerih smo dodali prestopno sekundo za izravnavo atomskega in solarnega dne [1].

in življenjem na njem v različnih obdobjih ustavljanja [5] ter kako bi se njena današnja podoba (Slika 2a) spremenila.

Po 4 mesecih po začetku ustavljanja bi bil dan dolg 27 ur in 48 minut. Obodna hitrost vrtenja Zemlje na ekvatorju bi se zmanjšala iz sedanjih 1674 km/h na 1449 km/h, s tem bi se vsi trije sloji Zemlje (jedro, plašč in skorja) vrteli z različnimi hitrostmi. Posledica tega bi bili potresi. Zemlja bi se dobesedno raztrgala. Velike razpoke, ki bi nastale na morskem dnu, bi povzročile segrevanje vode. Topli tokovi morja bi se dvigovali proti površju in to bi povzročilo pomore rib. Upočasnjevanje Zemlje bi prineslo katastrofalne geološke posledice. Zaradi manjše centrifugalne sile, če opazujemo vodo v neinercialnem sistemu, bi se oceani začeli pomikati proti polom [6]. Globina morja na Arktiki bi iz 4500 metrov narasla na 13000 metrov. Plitka območja, kot je Angleški kanal, pa bi se izsušila. Prvič v zgodovini bi Velika Britanija in Islandija postali del celinske Evrope. Povezali bi se tudi Kuba in Florida, Mehika pa bi postala kar za tretjino večja. Zmanjševanje rotacije Zemlje pa bi poleg pomikanja oceanov povzročilo slabenje atmosfere v ekvatorialnem pasu. Edino območje, ki bi bilo primerno za življenje, bi bila področja bližje polom, kakor

naši kraji in tudi New York, London in Toronto. Zaradi vse večjega tanjšanja atmosfere bi bilo v 1600 metrov visokem Denverju čutiti, kot da bi bil danes na nadmorski višini 5000 metrov. Zračni tlak bi bil podoben kot na pol poti na Mount Everest. Poplave bi se širile iz severa, atmosfera bi se šibila iz juga in primerno mesto za preživetje bi postala srednja Severna Amerika. Nov katastrofalni problem bi bila uničena cesta infrastruktura po celem svetu in ljudje bi težko prišli na varna območja. Medtem ko bi potresi uničevali srednji zahod, pa bi umikajoči oceani povzročili izsušitev glavnih obalnih mest. Nekoč obalna mesta, kakor New York, Boston in Halifax, bi bila globoko v notranjosti kopnega, pristaniško mesto Hong Kong bi bilo suho, Avstralija pa bi se preoblikovala v novo skupno celino z Indonezijo (slika 2b).

Nova grožnja bi bila sončno sevanje [7]. Nevidni električni ščit okoli našega planeta, ki mu pravimo magnetosfera, odbija sončno sevanje. Upočasnjevanje vrtenja Zemlje, pa bi predvidoma povzročilo njeno slabenje. Tropska mesta, kot je na primer Miami, ne bi bila v nevarnosti zaradi poplav, ampak zaradi sevanja. Kljub zraku, ki je tukaj primeren za



Slika 2: Na sliki je razporeditev kopnega in morja a) danes, b) po 4 mesecih od začetka ustavljanja Zemlje, c) po 1 letu od začetka ustavljanja Zemlje. Prikazan je novonastali megakontinent po d) 4 letih in e) 5 letih od začetka ustavljanja Zemlje [4].

dihanje, bi bilo sonce tisto, ki bi bilo smrtonosno [8].

Po enem letu od začetka ustavljanja bi se Zemlja vrtela že 340 km/h počasneje, kot smo vajeni. Prej so se plitka območja okoli Evrope izsušila, sedaj pa bi jih polarno morje poplavelo, kakor Veliko Britanijo in večino Evrope. Mesta Severne Evrope, kot so London, Berlin in Moskva bi bila na dnu morja (slika 2c). Ljudje bi se preselili na območja, kjer bi bile minimalne poplave in potresi, zrak pa bi bil najbolj primeren za preživetje.

Po dveh letih in pol od začetka ustavljanja bi bila dolžina dneva že 124 ur. Zemlja bi se vrtela samo še s 320 km/h, kar je dejansko 1354 km/h počasneje kot sedaj. Preživali bi se srečevali z drugimi uničujočimi posledicami. Vsak dan in noč bi trajala dva dni in pol, zato bi največjo težavo ljudem, ki bi živeli v še nepoplavljenih mestih s še primernim zrakom za dihanje, predstavljal spanec.

Zemlja bi bila sedaj tako drugačna, da je to skoraj nemogoče dojeti in to bi povzročalo težave tudi vsem živalskim vrstam. Ker bi se oceani še naprej premikali na pole, bi v ekvatorialnem pasu nastal nov, velik kontinent. Po dveh letih in pol postopnega spreminjanja vrtenja bi se svet dokončno preoblikoval. Vendar najslabše kljub temu šele prihaja.

Po štirih letih od ustavljanja bi se Zemlja vrtela le še z nekaj več kot 60 km/h, Sonce bi tako ostalo na nebu 13 dni, nato pa bi sledilo 13 dni teme. Na tej točki letni časi ne bi več obstajali, podnebje bi bilo definirano kot cikel svetlega in vročega ter temnega in hladnega. V dolgih nočeh bi temperatura padla tudi do  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ljudje bi se temu težko prilagodili. Prav tako bi tudi živali, četudi bi jim uspelo preživeti poplave in najti zrak, primeren za dihanje, uničil oster mraz. Pri tem bi imele večjo možnost za preživetje živali, ki hibernirajo, saj so te živalske vrste lahko dlje časa brez hrane. Vendar bi tudi njihova prihodnost bila negotova, saj so njihovi naravni habitati ali poplavljeni ali pa brez zraka. Zelo ogrožene bi bile tudi rastline, predvsem

prehrambne rastline, kot sta pšenica in koruza, saj bi te potrebovale za rast veliko sončne svetlobe. Pri tem mrazu bi zamrznili tudi tropski gozdovi in si nikoli več ne bi opomogli. Borealni gozdovi Kanade in severnih ZDA bi komajda preživeli mraz in temo, večina njih pa bi tako že bila pod vodo.

Mesta v Severni Ameriki bi bila potopljena. Milijonov ljudi v Kanadi in severnih ZDA bi ne bilo več. New York bi postal zaliv novega združenega oceana, vendar bi bila voda tukaj samo do višine 100 metrov, kar pomeni, da bi bili nekateri nebotičniki potopljeni samo do polovice.

Smrtonosno redko zrak bi povzročil, da bi skoraj celotna Afrika, Južna Amerika in Avstralija bila nenaseljena območja. V bližini ekvatorja je zrak takšen, kot bi se nahajali 10 km višje od vrha Mount Everesta danes. Ob ekvatorju bi nastal megakontinent (slika 2d) in na nekaj območjih bi bil zrak še vedno dovolj gost, da bi bilo omogočeno življenje. V tem divjem svetu bi postalo vreme še bolj nepredvidljivo. Vrtenje Zemlje danes povzroča stalnost vzhodno gibajočega se vetra na severni polobli in zahodno gibajočega vetra na južni polobli, ta pojav se imenuje Coriolisov efekt. Z upočasnjevanjem vrtenja Zemlje bi ti vetrni modeli postali nestabilni in bi se tvoril nov sistem visokih zračnih tlakov. Tako bi nastale divje morske nevihte, ki bi se hitro širile in bi ena nevihta lahko trajala tudi več tednov. Življenje bi po vsem svetu postajalo vse težje [9-11].

Po štirih in pol letih od začetka ustavljanja bi se Zemlja vrtela samo še s hitrostjo 16 km/h. Sonce bi pri tem ostalo na nebu 16 dni skupaj, čemur bi sledila enako dolga noč. Z upočasnjevanjem vrtenja Zemlje bi se oceani pomaknili proti poloma in na primer v mestu Kansas, ki bi bil sedaj na obali novonastalega oceana, bi bila globina ocena ob obali kar 16 km. V ZDA bi bila naseljena samo desetina sedanje površine države. Naseljenci bi si morali ustvariti habitate za gojenje rastlin, potrebnih



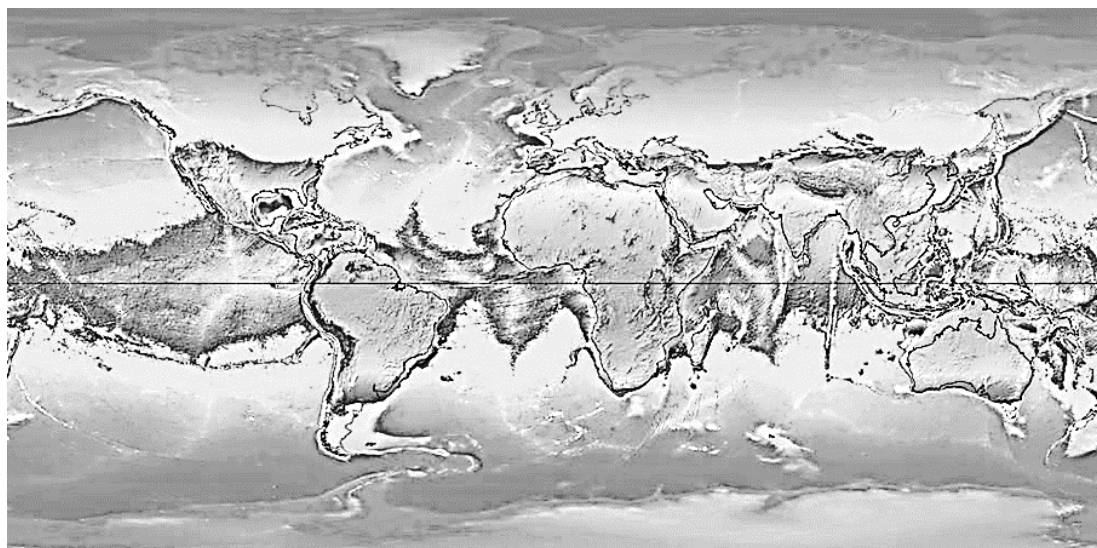
za prehrano ter narediti zaščite pred ostrim podnebjem z izredno vročino in mrazom. Pri tem pa bi jim nova oceana nudila najboljše možnosti za zagotavljanje hrane, saj bi zaradi poplavljenih kontinentov bila bogata s hranili in polna rib. Morska bitja, ki so živela v toplih vodah, bi izumrla. Vendar pa bi mnoge hladnovodne vrste rib preživele. Ljudje bi se namesto obdelovanja zemlje, kar so počeli nekoč, sedaj ukvarjali z ribolovom.

Zmanjšano vrtenje Zemlje bi povzročilo bolj stabilen model vremena, nevihte bi bile vedno bolj predvidljive. Vseeno pa bi bilo površje še vedno izpostavljeno ogromnim temperaturnim razlikam med vročimi dnevi in mrzlimi nočmi. To stabilno vreme bi pomenilo manj padavin. Dež bi večinoma padal daleč nad oceanom, vendar ne bi bilo vetrov, ki bi ga prignali na celino. Vroče dneve bi ljudje nekako lažje preživel kot mrzle noči, kjer bi bilo njihovo življenje ogroženo. To pomeni preživeti več kot 16 dni ledenih temperatur z minimalnim zavetjem na odprtem megakontinentu.

Po petih letih po začetku ustavljanja bi se Zemlja popolnoma ustavila. Pri tem bi se oceani, atmosfera in podnebje ustalili. Dva ogromna oceana bi potekala od polov proti nekdanjemu ekvatorju, ločil bi ju le megakontinent, ki bi neprekinjeno obkrožal planet (slika 2e in 3) [12]. Celina bi bila na

sredini smrtonosna, saj bi bila brez zraka. Tako bi bila več kot polovica novega kontinenta neprimerne za naselitev. Čeprav se Zemlja več ne bi vrtela okrog svoje osi, bi še vedno krožila okrog Sonca, zato bi bil na Zemlji pol leta dan in pol leta noč. Stari koncept dneva in noči bi izginil. Zora in dan ter sončni zahod in noč bi si sledili v obdobju, ki je enako današnjemu enem letu. Sonce bi metalo uničujoče žarke na Zemljo, pod katerimi bi se temperature dvignile »opoldne« tudi do 55 °C. Vse na njihovi poti bi bilo uničeno zaradi močnih vetrov. Na robovih teh območij bi bili učinki tega manj nevarni. Na novem megakontinentu bi v bližini Havajev neprenehoma deževalo več mesecev, kar bi zagotovilo zaloge vode za preostali del leta. Na drugi strani v bližini Kansasa pa ne bi več deževalo, tamkajšnji naseljenci bi bili pogubljeni. Svet bi imel samo en vremenski model, ki ga nadzoruje Sonce, saj ni nič več vetrov in sistemov razlik v zračnih tlakih. Z nastopom dolge noči pa pride usodni udarec. Nočna temperatura bi padla celo na -55 °C, kar je 20 °C manj kot je povprečna temperatura današnje arktične zime. Novi polarni ocean bi zamrznil in tak ostal skozi celotno leto.

Ko bi minilo leto dni, bi bilo več kot 6,5 milijarde ljudi mrtvih. Ostalo bi le še toliko predstavnikov naše vrste, kot jih je živelo približno v času Galilea. Nekateri tavajoči preživeli bi našli pot



Slika 3: Ko bi se Zemlja ustavila bi nastal megakontinent z oceanoma na polih, napovedujejo teoretiki [12].

do zadnjih področjih na Zemlji, kjer bi ljudje še lahko dihali zrak in preživel kljub neprijaznemu podnebjju. Cikli teme in svetlobe, hladnega in vročega ter mokrega in sušnega bi se ponavljali in nadaljevali vse do konca časov, ki bi bil pogojen z usihanjem »življenja« Sonca.

Na srečo smo raziskali le hipotetično situacijo, ki pa nam lahko služi za nadaljnje raziskovanje in ustrezno razumevanje vpliva sploščenosti sferoida (Zemlje). Naš planet ima namreč danes zaradi razmeroma konstantne rotacije okoli svoje osi mnoga področja na svojih kontinentih primerna za življenje ljudi, živali in rastlin. Ravno zaradi rotacije pa ima različna polmera v smeri proti poloma v primerjavi s polmerom na ekvatorju, pa tudi na vodo na različnih geografskih širinah delujejo različne sile in posledično ima Zemljino površje takšno podobo, kot jo poznamo danes.

#### VIRI

[1] The International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS), *Deviation of day length from SI-based day*. Pridobljeno 22.11.2015, iz [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5b/Deviation\\_of\\_day\\_length\\_from\\_SI\\_day.svg/1280px-Deviation\\_of\\_day\\_length\\_from\\_SI\\_day.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5b/Deviation_of_day_length_from_SI_day.svg/1280px-Deviation_of_day_length_from_SI_day.svg.png).

[2] S. Dolenc, *Darwinova nevarna ideja* (Studia humanitatis, Ljubljana, 2006).

[3] A. Watts, *Science spin of the worst kind: National Geographic's 'When The Earth Stops Spinning'*. Pridobljeno 22. 11. 2015, iz <http://wattsupwiththat.com/2012/12/02/science-spin-of-the-worst-kind-national-geographics-when-the-earth-stops-spinning/>.

[4] F. Witold, *If the Earth stood still*. Pridobljeno 22. 11. 2015, iz <http://www.esri.com/news/arcuser/0610/nospin.html>.

[5] *What if the Earth stops spinning*. Pridobljeno 9. 11. 2015, iz <https://www.youtube.com/watch?v=nH3bmG-KjvU>.

[6] F. Witold, *Mean sea level, GPS and the Geoid*. ESRI Applications Prototype Lab, 36-41 (2003).

[7] M. I. Budyko, *The effect of solar radiation variations of the climate of the Earth*. Tellusa XXI, 611-619 (1969).

[8] M. Volwerk idr., *Interplanetary magnetic field rotations followed from L1 to the ground: the response of the Earth's magnetosphere as seen by multi-spacecraft and ground-based observations*, Ann. Geophys. 29, 1549-1569 (2011).

[9] J. Park in P. Brillant, *Instabilities and waves on a columnar vortex in a strongly stratified and rotating fluid*. Physics of Fluids, American Institute of Physics, 25 (2013).

[10] *How Earth's rotation affects vortices in nature, such as hurricanes and ocean currents*. Pridobljeno 22. 11. 2015, iz <http://www.sciencedaily.com/releases/2013/10/131015093740.htm>.

[11] *Changes in the Earth's rotation are in the wind*. Pridobljeno 22. 11. 2015, iz <http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2003/0210rotation.html>.

[12] M. Tomšič, *Kaj če bi se zemlja prenehala vrteti?* Pridobljeno, 22. 11. 2015, iz [http://www.siol.net/novice/znanost\\_in\\_okolje/2015/10/vrtenje\\_zemlje.aspx](http://www.siol.net/novice/znanost_in_okolje/2015/10/vrtenje_zemlje.aspx).



## GIBANJE TREH TELES POD VPLIVOM GRAVITACIJSKE SILE

doc. dr. Vladimir Grubelnik

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

### UVOD

Opis gibanja teles pod vplivom gravitacijske sile lahko zasledimo na različnih stopnjah izobraževanja. S pojmom gravitacijske sile se učenci srečajo že v osnovni šoli pri pouku fizike. Pri enakomerno pospešenem gibanju obravnavajo prosti pad kot posledico delovanja teže [1-2]. V srednji šoli to nadgradijo z vodoravnim metom in kroženjem nebesnih teles v gravitacijskem polju [3].

V prispevku se osredotočimo na model gibanja treh teles pod vplivom gravitacijske sile, ki je bil v zgodovini, vse od zapisa Newtonovih enačb, gibanja velikokrat predmet obravnave. Šele po desetletjih napora so uspeli pokazati, da problem treh teles, za razliko od problema dveh teles, analitično ni rešljiv [4].

Na začetku zapišemo splošen model gibanja več teles, ki se gravitacijsko privlačijo med seboj. Nato za konkreten primer določimo rešitev matematičnega modela z numerično integracijo diferencialnih enačb. Pri tem uporabimo preprosto Eulerjevo metodo [5], ki je razumljiva tudi učencem na nižji stopnji izobraževanja. Iteracijo diferenčnih enačb izvedemo s pomočjo tabelarično orientiranih računalniških programov, kot je MS Excel, oziroma z grafično računalniškimi programi [6-8], ki na pregleden in enostaven način omogočajo izgradnjo in simulacijo dinamičnih sistemov. Na koncu opozorimo še na težave numeričnega preračuna pri daljših integracijskih časih.

### MATEMATIČNI MODEL

Zapišimo matematični model, ki opisuje gibanje teles pod vplivom gravitacijske sile. Izhajamo iz sile, ki deluje na telo z maso  $m_i$  zaradi privlaka s telesom z maso  $m_j$ :

$$\vec{F}_{ij} = \frac{Gm_i m_j}{r_{ij}^2} \hat{r}_{ij}, \quad i=1\dots N, j=1\dots N, i \neq j. \quad (1)$$

Pri tem je  $N$  število teles, ki se gravitacijsko privlačijo (glej sliko 1a). V enačbi 1 je  $G$  gravitacijska konstanta, katere vrednost je  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$ ,  $r_{ij}$  je razdalja med težiščema teles in  $\hat{r}_{ij}$  je enotski vektor, ki kaže v smeri od telesa  $i$  do telesa  $j$ .

Zaradi delovanja rezultante sil:

$$\vec{F}_i = \sum_j \vec{F}_{ij}, \quad (2)$$

ki deluje na telo z maso  $m_i$ , se telo giblje s pospeškom:

$$\vec{a}_i = \vec{F}_i / m_i. \quad (3)$$

Ob znanem pospešku telesa lahko iz definicije pospeška in hitrosti:

$$\vec{a}_i = d\vec{v}_i / dt, \quad \vec{v}_i = d\vec{r}_i / dt, \quad (4a,b)$$

določimo tir gibanja telesa  $\vec{r}_i(t)$ .

Z namenom numeričnega reševanja diferencialnih enačb in z uporabo preproste Eulerjeve metode [5], zapišemo enačbi 4a in 4b v diferenčni obliki:

$$\vec{v}_i(t + \Delta t) = \vec{v}_i(t) + \vec{a}_i(t) \cdot \Delta t, \quad (5a)$$

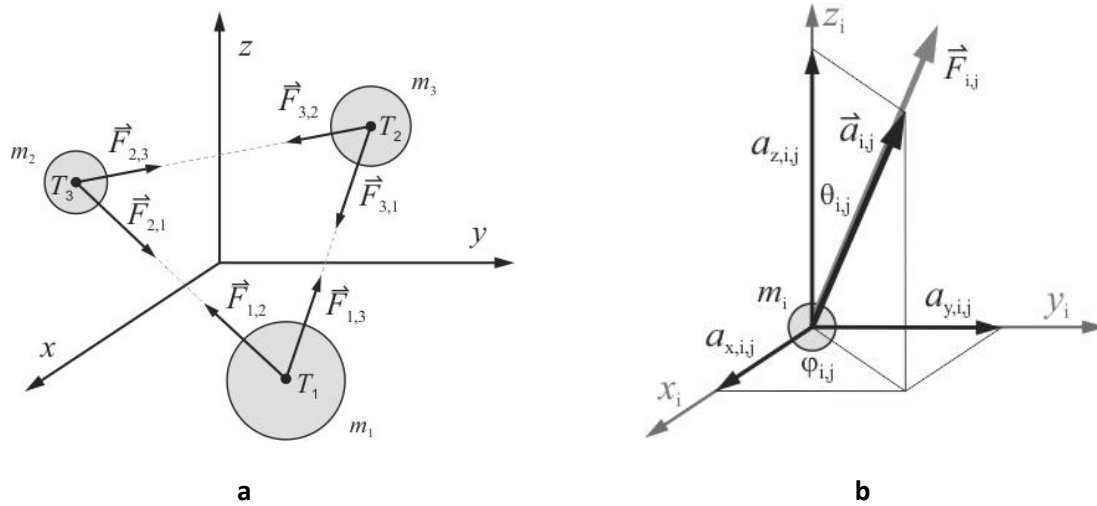
$$\vec{r}_i(t + \Delta t) = \vec{r}_i(t) + \vec{v}_i(t) \cdot \Delta t. \quad (5b)$$

Ob izbiri ustreznih začetnih pogojev:

$$\vec{v}_i^0 = \vec{v}_i(0) \text{ in } \vec{r}_i^0 = \vec{r}_i(0) \quad (6a,b)$$

ter zapisu enačb (5a,b) po posameznih komponentah, lahko z numerično iteracijo določimo spreminjanje lege posameznega telesa:

$$\vec{r}_i(t) = (x(t), y(t), z(t)). \quad (7)$$



Slika 1: a) Prikaz delovanja gravitacijske sile med tremi telesi. b) Komponente pospeška po posameznih koordinatah.

Za komponente pospeškov ( $a_{x,i}, a_{y,i}, a_{z,i}$ ) velja (glej sliko 1b):

$$a_{x,i} = \frac{1}{m_i} \sum_j F_{i,j} \cos(\varphi_{i,j}) \sin(\theta_{i,j}) = G \sum_j m_j \frac{x_j - x_i}{r_{ij}^3}, \quad (8a)$$

$$a_{y,i} = \frac{1}{m_i} \sum_j F_{i,j} \sin(\varphi_{i,j}) \sin(\theta_{i,j}) = G \sum_j m_j \frac{y_j - y_i}{r_{ij}^3}, \quad (8b)$$

$$a_{z,i} = \frac{1}{m_i} \sum_j F_{i,j} \cos(\theta_{i,j}) = G \sum_j m_j \frac{z_j - z_i}{r_{ij}^3}, \quad (8c)$$

pri čemer je razdalja med telesi:

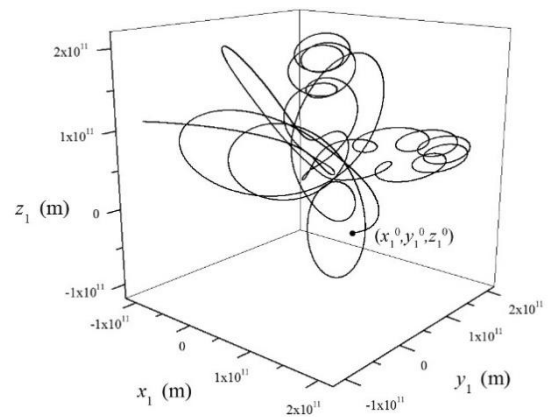
$$r_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2} \quad (9)$$

Zapisani matematični model je z vidika razumevanja zapisa enačb (5-9) enak primeru ravninskega gibanja dveh teles ( $N = 2$ ), saj so enačbe 5-9 za vsako telo ( $i$ ) identične.

## REZULTATI

Sistemov zvezd, ki se gravitacijsko privlačijo, v vesolju najdemo kar precej [9]. Kot primer vzemimo sistem treh zvezd z enakimi masami. Masa posamezne zvezde naj bo enaka masi Sonca ( $m = 2 \cdot 10^{30}$  kg). Za dane začetne pogoje je na sliki 2 prikazan tir gibanja ene izmed zvezd. Vidimo lahko, da zvezda ostaja v določenem območju prostora, pri čemer je tir

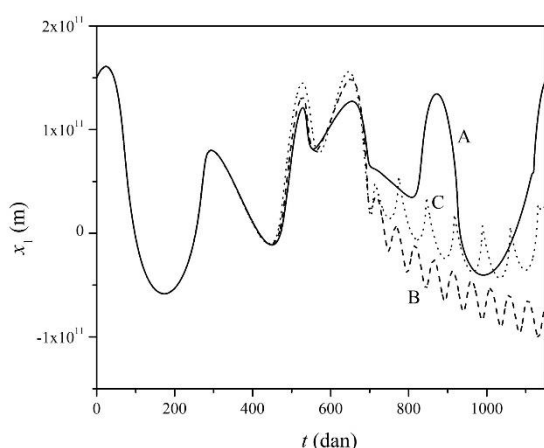
gibanja precej zavito. Podobno zavito obliko tira lahko opazimo tudi pri drugih dveh zvezdah.



Slika 2: Tir gibanja prve zvezde ( $x(t), y(t), z(t)$ ),  $t < 2 \cdot 10^8$  s,  $m_1 = m_2 = m_3 = 2 \cdot 10^{30}$  kg,  $d_0 = 1,5 \cdot 10^{11}$  m,  $v_0 = 1 \cdot 10^4$  m/s.  $(x_1^0, y_1^0, z_1^0) = (d_0, 0, 0)$ ,  $(x_2^0, y_2^0, z_2^0) = (0, d_0, 0)$ ,  $(x_3^0, y_3^0, z_3^0) = (0, 0, d_0)$ ,  $(v_{1,x}^0, v_{1,y}^0, v_{1,z}^0) = (v_0, v_0, 0)$ ,  $(v_{2,x}^0, v_{2,y}^0, v_{2,z}^0) = (0, -v_0, v_0)$ ,  $(v_{3,x}^0, v_{3,y}^0, v_{3,z}^0) = (-v_0, 0, -v_0)$ .

V nadaljevanju si oglejmo še občutljivost sistema na začetne pogoje. Slika 3 prikazuje spreminjanje lege prve zvezde v  $x$ -smeri. Krivulja A je podana za enake začetne pogoje, kot so na sliki 2, krivulji B in C pa za nekoliko

spremenjeno začetno razdaljo med zvezdami ( $d_0$ ). Iz rezultatov prikazanih na sliki 3 lahko vidimo, da je sistem občutljiv na začetne pogoje. Če razdaljo  $d_0$  spremenimo samo za okoli 0,1 %, začnejo po dobrem letu dni, tiri zvezde vidno odstopati. Po nekaj letih pa so tiri popolnoma drugačni (glej tiri A, B in C). Takšno obnašanje je značilno za kaotične sisteme. Če bi želeli ugotoviti, ali gre v tem primeru res za kaotično gibanje, bi morali uporabiti druge metode [4], kar pa presega obseg tega prispevka.



Slika 3: Občutljivost na začetne pogoje. A)  $d_0 = 1,500 \cdot 10^{11}$  m, B)  $d_0 = 1,499 \cdot 10^{11}$  m, C)  $d_0 = 1,498 \cdot 10^{11}$  m. Ostali podatki so enaki kot na sliki 2.

## DISKUSIJA

V prispevku smo predstavili splošen matematični model, ki opisuje gibanje  $N$  teles pod vplivom gravitacijske sile. S predstavljenim modelom bi lahko obravnavali številne primere, kot so: gibanje kometov in planetov okoli zvezd, gibanje lun in satelitov okoli planetov, pospeševanje vesoljskih sond s pomočjo planetov itd. Osredotočili smo se na gibanje treh teles in pokazali, da je sistem občutljiv na začetne pogoje, kar je lastnost kaotičnih sistemov. Pri tem velja, da moramo pri obravnavi takšnih sistemov biti pozorni na relevantnost numeričnih izračunov. Numerični

korak lahko namreč zaradi občutljivosti sistema bistveno vpliva na napako izračuna, kar se še posebej pozna, ko je v sistem vključenih večje število teles. K sreči imamo pri gibanju teles pod vplivom gravitacijske sile veliko primerov, ko se številna telesa na relativno velikih razdaljah gibljejo okoli precej masivnejšega telesa. Kot primer lahko omenimo gibanje planetov in kometov okoli zvezd ali gibanje lun okoli planetov. V teh primerih običajno upoštevamo le gravitacijske sile, ki delujejo med masivnejšim telesom in telesi, ki se gibljejo okoli njega, medtem ko lahko gravitacijske sile med telesi, ki se gibljejo okoli masivnejšega, zanemarimo. Matematični model se v tem primeru precej poenostavi in je z vidika numeričnega preračuna preprost in precej manj občutljiv.

## REFERENCE

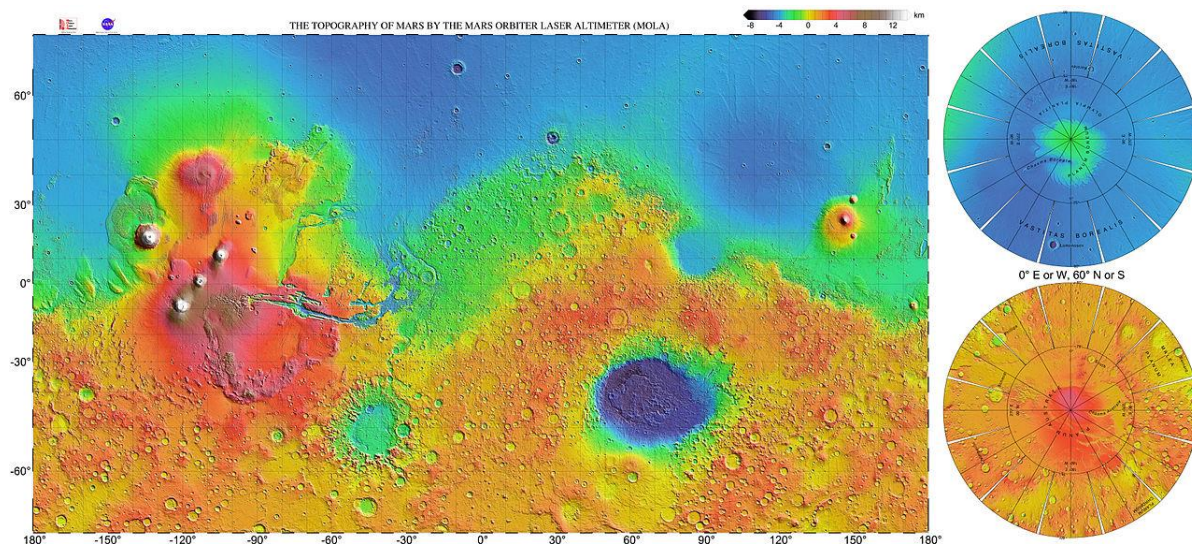
- [1] A. Demšar, *Zakaj se dogaja? Sile in energija 8*, Založba Rokus Klett, Ljubljana 2009, st. 31-53.
- [2] A. Demšar, *Zakaj se dogaja? Gibanje in elektrika 9*, Založba Rokus Klett, Ljubljana 2010, st. 22-25.
- [3] R. Kladnik, *Fizika za srednješolce 1 – Gibanje, sila, snov*, DZS, Ljubljana 1994, st. 111-113.
- [4] Strogatz H S 1994 *Nonlinear dynamics and chaos* (Perseus Books)
- [5] Euler method [http://en.wikipedia.org/wiki/Euler\\_method](http://en.wikipedia.org/wiki/Euler_method)
- [6] Macea R and Oster G 2014 *Berkeley Madonna* (University of California at Berkeley) <http://www.berkeleymadonna.com>
- [7] Isee Systems 2014 Stella [www.iseesystems.com/](http://www.iseesystems.com/)
- [8] Powersim Software 2014 AS Powersim [www.powersim.com/](http://www.powersim.com/)
- [9] Star system [http://en.wikipedia.org/wiki/Star\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Star_system)

## VODA NA MARSU

*pom. akad. dr. Primož Kajdič  
Evropska vesoljska agencija*

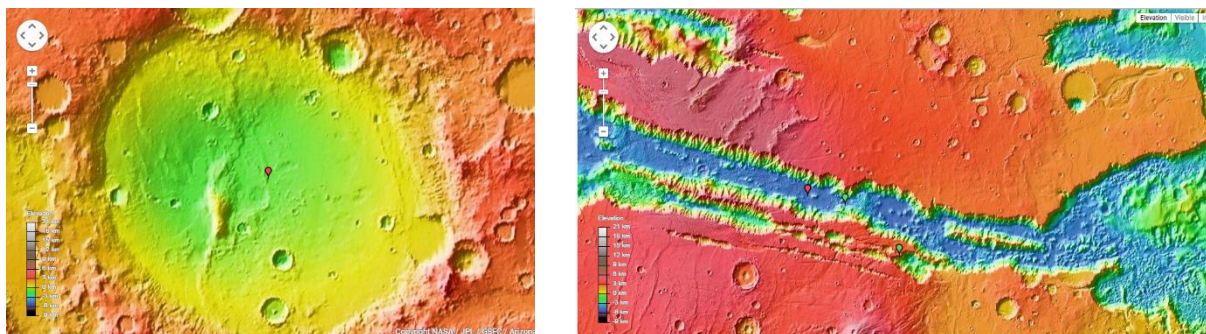
Moderna opazovanja Marsa segajo v začetek 17. stoletja, ko je italijanski astronom Galileo Galilei prvokrat obrnil svoj preprost teleskop proti temu planetu septembra 1610. Galilejev teleskop še ni bil dovolj močan, da bi z njim lahko razločil kakšne podrobnosti na planetovem površju. Prvi je o tem poročal leta 1644 Daniello Bartoli, ki je opazil dve temni lisi na Marsovem površju. Nizozemski astronom Christiaan Huygens je novembra leta 1659 naredil prvo skico Marsovega površja na kateri je bilo prikazano temno območje danes poznano kot Syrtis Major Planum, verjetno pa je videl tudi polarne kapice. Huygens je še istega leta izmeril rotacijski čas Marsa, ki znaša približno 24 ur. Pozneje je med leti 1777 in 1784 William Herschel poročal, da se velikosti polarnih kopic spreminjata s časom. To je pripisal temu, da se vsaka kapica približno pol leta nahaja v temi (to je ekvivalent polarne noči na Marsu) in v tem času njeno površje naraste.

Kakšno stoletje pozneje, leta 1862, je angleški astronom Normal Lockyer prvokrat opazoval oblake na Marsu. Angelo Secchi je leta 1863 naredil prve barvne skice Marsa in poročal o linearnih strukturah na njegovem površju, ki jih je krstil za kanale. Leta 1877 je Giovanni Schiaparelli spet opazil podobne strukture. Že leta 1895 je angleški astronom Edward Maunder posumil, da je šlo za optično prevaro zaradi zelo omejene ločljivosti Schiaparellijevega teleskopa. Te "kanale" je opazilo še nekaj astronomov, med drugimi Percival Lowell, ki je leta 1864 izdal knjižno uspešnico o življenju na Marsu. Število "kanalov" se je nato zmanjševalo nekako sorazmerno z rastjo teleskopov in po letu 1909 jih več niso opazili.



*Slika 1: Globalni zemljevid Marsa. Barve pomenijo različno nadmorsko višino površja. Modra barva pomeni nizko ležeče predele, rdeča ter bela pa visoke strukture. Severna polobla je večinoma nizko ležeča z malo kraterji, kar kaže na to, da je površje tam sorazmerno mlado. Južna polobla je prekrita s kraterji. Štiri območja označena z belo barvo (na levi strani) so Vulkan Olimp, ki je najvišji vulkan v našem Osončju, ter trije vulkani Gorovja Tarsis: Arsia Mons (spodaj), Pavonis Mons (na sredi) ter Ascraeus Mons (zgoraj).*





Slika 2: Levo: velik krater, znotraj katerega se nahaja manjši krater Horowitz (označen s križem) kjer so bile najdene linearne strukture RSL. Desno: območje imenovan Coprates Chasma, kjer so bile prav tako najdene RSL.

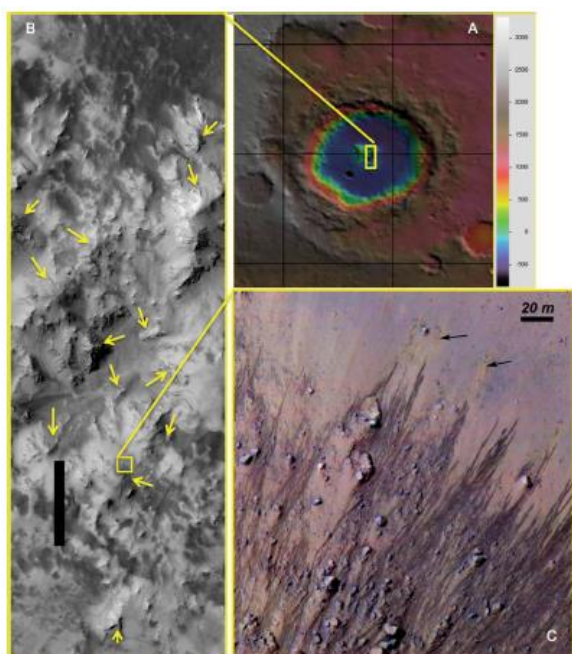
Ugibanja o tem, ali je na Marsu prisotna voda obstajajo že od takrat, ko so prvič opazili polarne kapice na njem. Cassini je predpostavil, da kapice sestavlja vodni led. Konec 19. stoletja so astronomi že govorili o tem, da gre za zamrznjen ogljikov dioksid, CO<sub>2</sub>. Danes vemo, da je to pretežno res, čeprav na severnem polu obstaja permanenten vodni led.

Kar malo ironično je, da so vesoljske sonde, ki so bile poslana na Mars dejansko odkrile nekakšne kanale, le da ti niso narejeni umetno, temveč so struge, po katerih je nekoč tekla voda. Mariner 9 nam je leta 1971 poslal slike Marsovega površja, na katerih so bile globoke doline, ki jih je izdolbla voda, jezera ter rečne delte. Obstajajo celo dokazi o tem, da je na južni Marsovi polobli nekoč deževalo in da je verjetno obstajal celo globalen ocean. Seveda so znanstveniki takoj posumili na možnost, da je nekoč na Marsu obstajalo tudi življenje, saj je bil v preteklosti izpolnjen osnovni pogoj zanj, tekoča voda.

Naslednje veliko vprašanje pa je bilo, ali na Marsu še danes obstaja tekoča voda. Nihče sicer ni pričakoval rek, jezer ali morij. Čista voda na Marsu ne more obstajati v tekoči obliki, saj so temperature tam prenizke, pa tudi atmosfera je preredka, kar bi povzročilo takojšnje izparevanje vode (sublimacijo). Toda, če bi tališče vode na tem planetu nekako znižali za nekaj deset stopinj, bi tekoča voda lahko bila realnost.

Zgodba o dokazih o vodi na Marsu se začne leta 2011, ko je skupina znanstvenikov iz ZDA predložila prve dokaze o njej na podlagi posnetkov narejenih s sondo Mars Reconnaissance Orbiter (MRO). Znanstveniki so poročali o ponavljajočih se linearnih strukturah (recurring slope lineae, RSL), ki so jih opazili na določenih predelih na Marsu. To so bila območja, ki so na posnetkih bila do 40 % temnejša od površja v okolici. Te strukture v dolžino merijo do nekaj 100 metrov, v širino pa med 0.5 metra do 5 metrov. Pojavljajo se na strmih pobočjih (> 25 %) in sicer takrat, ko je na Marsu pozna pomlad ali poletje in se temperature gibljejo med -23 do +27 stopinj Celzija. Na nekaterih posnetkih je bilo lepo vidno, da se lahko posamezna struktura razcepi v dve ali več struktur in obratno, da se nekatere strukture združijo v eno samo. Njihove dolžine lahko v enem dnevu narastejo za do 20 metrov. Največ jih je bilo najdenih na geografskih širinah med 18° južno in 19° severno in sicer na pobočjih, ki so obrnjena proti ekvatorju. Ameriški znanstveniki so v članku leta 2011 poročali le o 7 območjih na Marsu, kjer so bile te strukture zanesljivo identificirane. Njihova interpretacija je bila, da gre za vodno raztopino nekaterih soli, predvsem magnezijevega, natrijevega in kalcijevega klorata, pa tudi železovega sulfata. Te soli lahko znižajo tališče vode do 70 stopinj Celzija ter zmanjšajo sublimacijo vode za desetkrat.

Letos je taista skupina znanstvenikov objavila še ključni članek, v katerem so potrdili kemično sestavo struktur RSL. V tej študiji so se znanstveniki omejili na RSLje v treh kraterjih: Horowitz, Palikir in Hale, ter v območju Coprates Chasma. Slika 3 prikazuje RSL jev kraterju Horowitz. Znanstveniki so se svojem delu oprli tako na fotografije marsovega površja, ki jih je posnel inštrument High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE) kot tudi na spektroskopske podatke inštrumenta Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars (CRISM) na krovu sonde MSO.

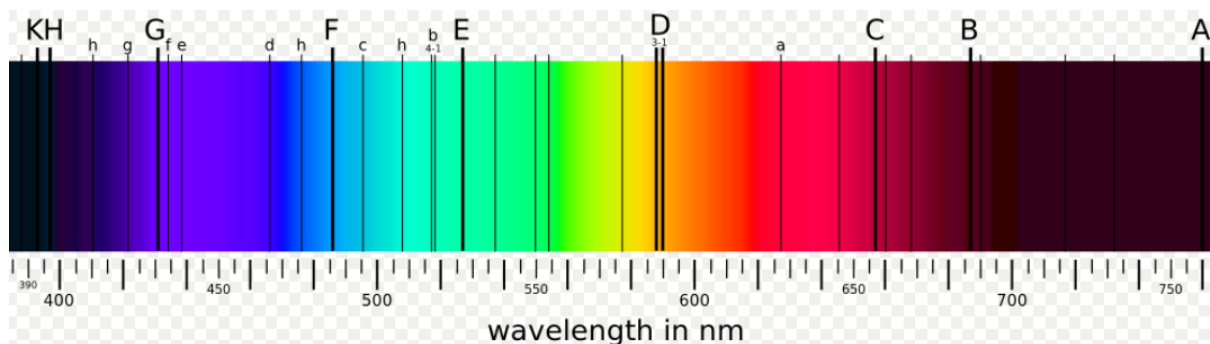


Slika 3: strukture RSL na pobočju kraterja Horowitz, ki jih je posnel inštrument HiRISE na krovu sonde MSO.

Metoda, ki so se je poslužili, se imenuje spektroskopija. Le-ta deluje po sledečem principu:

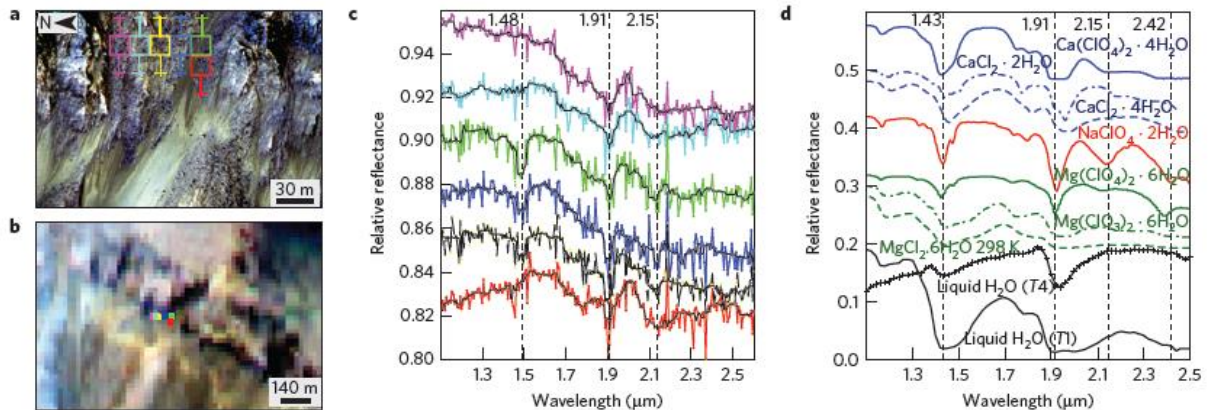
če svetlobo, ki prihaja z nekega telesa razcepimo na različne valovne dolžine, temu pravimo svetlobni spekter. Če analiziramo spekter svetlobe, ki se odbije z neke površine, lahko določimo kemično sestavo odbojnega površja. Vsaka snov namreč nekoliko spremeni lastnosti svetlobe, ki se od nje odbije. Po navadi različne kemične spojine oz. elementi absorbirajo del svetlobe pri natančno določenih valovnih dolžinah. V spektru pri teh valovnih dolžinah svetloba manjka in to opazimo kot temne lise v drugače bolj ali manj zveznem spektru, ki jim pravimo absorpcijske črte (primer svetlobnega spektra z absorpcijskimi črtami je prikazan na sliki 4). Če izmerimo valovne dolžine pri katerih se te črte pojavijo, lahko rezultate meritev primerjamo s primerjalnimi spektri, ki so bili narejeni v laboratoriju in tako ugotovimo za katero snov gre.

Znanstveniki so bili na lovu za absorpcijskimi črtami v spektrih CRISMA in sicer v razponu med približno  $1.4\mu\text{m}$  ter  $2.5\mu\text{m}$ . Čista voda ter solne raztopine namreč absorbirajo pri valovnih dolžinah  $\sim 1.4\mu\text{m}$ ,  $\sim 1.9\mu\text{m}$  (tanke absorpcijske črte) in  $\sim 3.0\mu\text{m}$  (široka absorpcijska črta). Same solne raztopine pa še dodatno absorbirajo v razponu valovnih dolžin med  $\sim 1.7\mu\text{m}$  in  $\sim 2.4\mu\text{m}$ .



Slika 4: Primer spektra z absorpcijskimi črtami.





Slika 5: Levo: območja v kraterju Palikir, kjer so bile zaznane absorpcijske črte vodne raztopine magnezijevega, kalcijevega ter natrijevega klorata. Na sredini: izmerjeni spekter ter valovne dolžine absorpcijskih črt. Desno: primerjalni spekter iz laboratorija.

Slika 5d prikazuje odbojnost delov površja, ki so označeni na sliki 5a in se nahajajo v kraterju Palikir. Tam, kjer se ta odbojnost nenadoma zmanjša, bi v spektru opazili absorpcijske črte. Le-te so bile izmerjene pri valovnih dolžinah  $\sim 1.48\mu\text{m}$ ,  $1.91\mu\text{m}$  ter  $\sim 3\mu\text{m}$  in sicer proti koncu južnega poletja. Te črte nakazujejo na obstoj vodnih raztopin magnezijevega, kalcijevega ter natrijevega klorata. Podobne spektre so znanstveniki izmerili še na preostalih treh območjih. S tem so nedvomno potrdili tezo, da strukture RSL nastanejo zato, ker se v toplih obdobjih po njih pretaka slanica, torej vodna raztopina različnih soli, to pa pomeni obstoj tekoče vode na Marsu.

Na koncu se lahko vprašamo, kam vodi to odkritje. Avtorji v svojih člankih omenjajo, da

na enem najbolj suhih predelov na Zemlji, v puščavi Atacama, obstajajo območja, kjer se pretakajo podobne slanice v katerih živijo mikroorganizmi. To daje upanje, da bi se na Marsu lahko dogajalo isto. Seveda obstaja ena pomembna razlika med Marsom in Zemljo. Na Marsu so temperature dovolj visoke le nekaj mesecev v letu, potem pa padejo globoko pod ničlo. Ni še jasno, če bi mikrobi lahko preživel pri tako nizkih temperaturah in v zelo redkem Marsovem ozračju. Odgovore na ta vprašanja vodo morale dati misije, ki se bodo na Mars odpravile v bodoče, med njimi se bo na planetovo površje leta 2020 spustil rover ExoMars.

## VROČI VELIKI POK ALI POČASNO TALJENJE?

*pom. akad. dr. Milan Svetec*  
PAZU

Christof Wetterich, fizik z Univerze v Heidelbergu, je objavil teoretično delo, v katerem se spopada s samim začetkom nastanka vesolja. Vse kaže, da o tej temi še nismo rekli zadnje besede.

V svoji teoriji postavi alternativo že 100 let staremu modelu kozmološkega raztezanja. V njegovi teoriji se prapok ni zgodil pred 13,8 milijardami let, začetek vesolja se razteza skozi neskončno dolgo časovno obdobje v preteklosti. Pri tem se masa vseh delcev

sčasoma povečuje. Namesto ekspanzije, se v daljših časovnih obdobjih vesolje krči.

Bližje smo velikemu poku, tem bolj se ukrivljata prostor in čas, dokler ukrivljenost ne postane neskončno velika. Pri tej singularnosti, fizikalne zakonitosti niso več definirane. Kmalu po velikem poku, je bilo vesolje zelo vroče in gosto. Po besedah omenjenega znanstvenika, je tukaj možna še druga razlaga: »Če se mase vseh elementarnih delcev skozi čas povečujejo in se gravitacijska sila zmanjšuje, je lahko začetek vesolja tudi zelo hladen in počasen.«

To pomeni, da je vesolje obstajalo že od nekdaj in je bilo zgodnje stanje skoraj statično. Veliki pok se razteza skozi neskončno dolgo obdobje v preteklosti. Prvi danes le posredno opazljivi dogodki, bi se naj zgodili pred 50 milijardami let in ne v zelo kratkem času po velikem poku. Singularnosti pri taki razlagi nastanka vesolja ni več.

Wetterichova hipoteza temelji na modelu, kjer temno snov in inflacijsko rast vesolja, razloži z enim samim časovno, spremenljivim skalarnim poljem. V tem modelu naraščajo vse mase s spreminjanjem tega skalarnega polja. To nas spominja na pred kratkim odkrit Higgsov

bozon. To odkritje je potrdilo, da je masa delcev odvisna od vrednosti polja in s tem tudi spremenljiva. V prej omenjenem modelu so vse mase sorazmerne vrednosti t.i. kozmnskega polja, ki se v okviru evolucije vesolja povečuje. Posledica tega modela je vesolje, ki se razvije iz ekstremno hladnega stanja in se v toku dolgih časovnih obdobj zmanjšuje, namesto povečuje.

Dosedanje gledanje na veliki pok se s tem ne spreminja. Wetterich trdi, da se njegov model lahko ekvivalentno opiše tudi v okviru dosedanje slike nastanka vesolja. To je zelo prikladno predvsem s stališča preverjanja nekaterih napovedi, ki sledijo kot posledica nove teorije.

#### VIRI

C. Wetterich: Variable gravity Universe, Phys. Rev. D 89, 024005 (2014); DOI: 10.1103/PhysRevD.89.024005

C. Wetterich: Universe without expansion, Physics of the Dark Universe 2, 4, 184-187 (2013); DOI: 10.1016/j.dark.2013.10.002

## TABOR KMICA

*Andrej Hanžekovič*

*Univerza v Ljubljani Akademija za likovno umetnost in oblikovanje*

Poleti 2015 je na osnovni šoli v Gornjih Petrovcih potekal že tradicionalni tabor astronomskega društva Kmica. Udeležilo se ga je veliko mladih različnih starosti iz vse Slovenije. Na taboru smo, kot že vsakič do sedaj, seznanjali mlade z vesoljem na takšen ali drugačen način.

V sklopu tabora so se nekateri udeleženci prvič srečali z opazovanjem nebesnih pojavov, nekateri pa so imeli iz tega področja že precej

izkušenj, zato smo program prilagodili različnim nivojem predznanja. To nam je omogočalo, da smo v dogajanje vključili vse posameznike. Pomemben cilj tabora je bila izdelava raziskovalne naloge, s pomočjo katere bi udeleženci dobili vpogled v raziskovalno delo in dobili navdih za nadaljnje raziskovanje. V uvodnem delu tabora smo na kratko predstavili in raziskali različne tematike potencialnih raziskovalnih nalog. Ker so bila tudi področja

zanimanja pri udeležencih zelo različna, smo se potrudili, da smo za vsakega našli temo, ki ga je zanimala.

Udeleženci tabora so se po izbirah tem, posvetovali z mentorji, kateri so jih napotili v pravo smer. Tako je sledilo samostojno raziskovalno delo s katerim so mladi nadobudneži iskali uporabne informacije glede posameznih tematik. Seveda se je včasih tudi kje zataknilo in mentorji smo priskočili na pomoč, ter rešili težavo. Tako so mladi vse informacije zbrali pravočasno in se pripravili na praktični del raziskovalne naloge. Čeprav so bile tematike različne, je praktični del pri večini nalog zahteval opazovanje ali fotografiranje nočnega neba. Pred opazovanji so udeleženci pripravili krajše predstavitve o svojih temah, ki so jih na ta način predstavili svojim vrstnikom.

Pri opazovanju nočnega neba so nam jo kar nekajkrat zagodli oblaki, zato smo morali del tega časa preživeti v dodatnem razvijanju teoretičnega dela naloge. Ko smo videli, da je vremenska napoved dobra, smo se odpravili v bližino na kraj, primeren za astronomska opazovanja. Ta je moral biti v čim večji temi in oddaljen od uličnih svetilk, da nas te ne bi motile pri našem delu. Ob opazovanju, štetju in fotografiranju objektov, ki so bili pomembni za raziskovalne naloge, smo pogledali tudi različne planete, Luno in temnejše objekte vidne na poletnem nebu. Za nekatere udeležence je bilo to prvo srečanje s teleskopom in takšno vrsto opazovanja, zato je bila to za njih prav posebna izkušnja. Vsi so svoje delo pridno opravljali, marsikdo pa je proti zgodnjim jutranjim uram tudi zadremal na toplih tleh naše opazovalnice. Po nočni malici, smo naša opazovanja dokončali, pospravili vso astronomsko opremo in se odpravili na počitek nazaj v šolo.

Nekaj učencev je moralo za pridobitev relevantnih rezultatov opazovati Sonce, njegovo površje in spremljati njegovo gibanje po nebu. S primerno zaščitno opremo za opazovanje Sonca smo poskrbeli, da so tudi ti prišli do potrebnih rezultatov. Raziskovali smo



*Slika 1: Opazovanje s teleskopom.*

tudi nastanek kraterjev na Luni z metanjem kamenja v moko, kar se je prelevilo v zabavno igranje in sproščujočo zabavo.

Da bi učenci lahko svoje rezultate obdelali in analizirali, ter jih uredili v sistematično obliko, smo poskrbeli tudi za strokovna predavanja na različne tematike. Predavanja so vodili ugledni gostje iz različnih delov Slovenije, zajete teme pa so učencem dale ogromno informacij o osnovah fizike in astronomije. Ob vsem tem, so učenci izvedeli tudi kako pripraviti raziskovalno nalogo, primerno za tekmovanja na visokih nivojih.



*Slika 2: Priprava raziskovalne naloge.*

Da delavnice na taboru nebi bile preveč naporne, smo mentorji poskrbeli da so učenci dobili dovolj prostega časa. Na voljo so imeli športne pripomočke in družabne igre, nekaj se jih je pa zadržalo kar v računalniški učilnici.

Ob koncu našega druženja, so učenci predstavili svoje raziskovalne naloge mentorjem in zunanjim obiskovalcem, ki so jih nagradili z bučnim aplavzom.

Na taboru je bilo veliko raziskovanja in učenja, pa tudi zabave ni manjkalo. Skozi tedensko druženje smo učence veliko naučili o fiziki, astronomiji in raziskovalnem delu. Raziskovalne naloge so učenci lahko dokončali

na svojih šolah in jih s svojimi učitelji tudi prijavili na razna tekmovanja. Udeleženci so Gornje Petrovce zapustili zadovoljni in nasmejani, zato lahko z gotovostjo rečemo, da je bil tabor uspešen.

## ŠESTO DRŽAVNO TEKMOVANJE IZ ASTRONOMIJE

*pom. akad. dr. Renato Lukač*

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

Na Gimnaziji Murska Sobota je bilo 9.1.2016 sedmo državno tekmovanje iz astronomije, ki je potekalo hkrati na treh lokacijah po državi. V Murski Soboti je naloge reševalo 144 osnovnošolcev in srednješolcev, ki so se pred mesecem dni najbolj izkazali na kvalifikacijskih šolskih tekmovanjih. Tekmovalce in njihove mentorje so nagovorili pomočnica ravnatelja Gimnazija Murska Sobota Alenka Stvarnik, vodja tekmovanja na šoli in podpredsednik AD Kmice pom. akad. dr. Renato Lukač ter predsednica nacionalne tekmovalne komisije pom. akad. dr. Andreja Gomboc.



*Slika 1: Začetek reševanja nalog v fizikalni učilnici (Foto: Ivica Glavak).*

Tekmovalci so imeli za reševanje nalog na razpolago 120 minut. Podobno kot prejšnja leta, so bile tudi letos naloge za srednješolce razdeljene na dva skopa. Sklop A je sestavljalo 10 nalog izbirnega tipa s štirimi možni odgovori. Za pravih je tekmovalec prejel 2 točki, za napačnega pa mu je bila odbita točka. Vsak

tekmovalec je prejel na začetku 10 točk, da ne bi pri komur na koncu bilo število točk negativno.

Letos ni bilo možno pridobiti statističnih podatkov o uspešnosti reševanju nalog v sklopu A, zato bomo izpostavili le dve najbolj zanimivi nalogi.

»A2. Luna nam kaže vedno isto lice, kljub temu pa lahko z Zemlje v daljšem časovnem obdobju vidimo približno 59 % njenega površja. Posledica katerega astronomskega pojava je to?

(A) Refrakcije. (B) Lunacije. (C) Solarizacije. (D) Libracije.« [1]

Pravilen odgovor je (D). Libracija Lune je počasno zibanje Lune naprej in nazaj, zaradi česar lahko vidimo 59 % Lune.

»A8. Kaj velja za rjave pritlikavke?

(A) Mnogo več sevajo v ultravijoličnem delu spektra elektromagnetnega valovanja kot Sonce.

(B) Mnogo več sevajo v rentgenskem delu spektra elektromagnetnega valovanja kot Sonce.

(C) Mnogo več sevajo v infrardečem delu spektra elektromagnetnega valovanja kot Sonce.

(D) Za razliko od Sonca oddajajo tudi sevanje gama.« [1]

Pravilen odgovor je (C). »Rjave pritlikavke imajo nižjo površinsko (efektivno) temperaturo



od Sonca, zato po zakonu o sevanju teles sevajo več v infrardečem delu spektra elektromagnetnega valovanja kot Sonce.« [1] Sklop B sestavlja pet nalog, s katerimi je tekmovalec lahko osvojil največ 40 točk. **Prva naloga** zastavlja štiri probleme, ki jih je treba rešiti s pomočjo **zvezdne karte**. Vsak pravilno rešen problem prinaša dve točki, skupaj osem točk. **Druga naloga** je ovrednotena s 6 točkami. Sprašuje po času, v katerem se Luna pojavi na istem mestu na nebu naslednji dan. Čas lahko ocenimo iz razlike kotnih hitrosti potovanja Sonca po nebu ( $15^\circ/\text{h}$ ) in kotne hitrosti Lune glede na Sonce ( $0,5^\circ/\text{h}$ ). Ta razlika pomnožena z iskanim časom mora dati  $360^\circ$ , če želimo, da je Luna naslednji dan na istem mestu na nebu. Dobimo 24,83 ure. **Tretja naloga** je ovrednotena z največ točkami, to je 10. Podaja zgodovinske ugotovitve Christiaana Huygensa, ki je prvi izmeril navidezne premere planetov, iz česar se je dalo narediti prvo realno oceno oddaljenosti bližnjih zvezd. Predpostavil je, da so zvezde po fizikalnih lastnostih podobne Soncu. Navidezni sij svetlih zvezd na nebu je enak kot navidezni sij Saturna ob opoziciji, ko je zorni kot Saturna  $20''$ . Saturn kroži okoli Sonca po krožnici polmera približno 10 a.e. Predpostavimo lahko, da je albedo Saturna 1. Iz podatkov lahko izrazimo svetlobni tok Saturna na Zemlji in ga izenačimo z izrazom za svetlobni tok zvezd ter nato izvedemo oceno za oddaljenost zvezd 292000 a.e. **Četrta naloga** je ovrednotena z 8 točkami in sprašuje po hitrosti Zemlje glede na prasevanje, če je zaradi gibanja Zemlje glede na prasevanje v smeri gibanja temperatura prasevanja navidezno višja za 0,005 K od povprečne vrednosti 2,670 K, v nasprotni smeri pa za enako vrednost navidezno nižja. Podana je še hitrost svetlobe in namig, da si je treba pomagati z Wienovim zakonom. Pri reševanju naloge upoštevamo, da je navidezno zmanjšanje oz. povečanje temperature prasevanja posledica

Dopplerjevega pojava zaradi gibanja Zemlje glede na prasevanje. Zapišemo Wienov zakon za mirujočega opazovalca in Wienov zakon za opazovalca v gibanju. Iz obeh zapisov izrazimo valovno dolžino vrha spektralne gostote sevanja črnega telesa kot funkcijo temperature. Razliko teh valovnih dolžin uporabimo v zvezi za Dopplerjev pojav in določimo hitrost gibanja Zemlje glede na prasevanje 563 km/s. Tudi **peta naloga** je vredna 8 točk. Podaja sliko zaporedja posnetkov popolnega Luninega mrka, na kateri je viden tudi Jupiter in sprašuje po času, po katerem bo Jupiter v opoziciji s Soncem. Z nekaj poenostavitvami se lahko hitro prebijemo do rezultata. Izmerimo premer Lune in razdaljo med središčem Lunine ploskvice in Jupitrom. Upoštevamo, da je zorni kot Lune  $0,5^\circ$  in iz izmerjenih podatkov določimo kotno razdaljo  $4,7^\circ$  med središčem Lune in lego Jupitrom. Iz podatka, da se Zemlja premakne za  $1^\circ/\text{dan}$  in da je kotna razdalja  $4,7^\circ$  izračunamo čas 4,7 dneva, ko bo Jupiter v opoziciji.

Posebej smo lahko veseli, ker se je že tradicionalno uspešnim šolam na tem področju pridružilo kar nekaj novih osnovnih šol iz naše regije. Zlato priznanje so osvojili kar trije naši osnovnošolci:

- 7. razred OŠ: **Ajša Dobrijevič** (OŠ Fokovci, mentor **Simon Hozjan**),
- 8. razred OŠ: **Jan Lorenčič** (OŠ Veržej, mentor: **Samo Zanjko**) in
- 9. razred OŠ: **Zala Janža** (OŠ Beltinci, mentorica: **Stanka Rajnar**).

Tudi naslednje leto se bomo potrudili, da bo državno tekmovanje potekalo pri nas in da bomo kot regija uspešni.

#### VIRI

[1] Komisija za tekmovanje v znanju astronomije: <https://www.dmfa.si/Tekmovanje/As/>, uporabljeno 27.1.2016

## PLAKAT ESA/HUBBLE – WESTERLUND 2

Prevod: Rok Vogrinčič

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

Nov posnetek vesoljskega teleskopa Hubble prikazuje bleščečo tapiserijo rojevanja mladih zvezd, ki spominjajo na ognjemet. Gre za sliko zvezdne kopice Westerlund 2, ki je bila izbrana za praznovanje Hubblovega 25. leta delovanja v orbiti okrog Zemlje ter hkrati tudi četrtni stoletja novih odkritij, čudovitih posnetkov in izvrstnih dosežkov v znanosti.

Teleskop Hubble je bil 24. aprila 1990 na krovu vesoljskega raketoplana Discovery, izstreljen v Zemljino orbito, kot prvi teleskop takega tipa. Nudil je nov pogled v vesolje in je po 25 letih presejal vsa pričakovanja. Podatki, ki jih je posredoval, so znanstvenikom omogočili boljše razumevanje vesolja, javnosti pa je postregel z dih jemajočimi posnetki.

Na sliki 1, ki je bila izbrana za središče praznovanja srebrne obletnice, je prikazana orjaška kopica z imenom Westerlund 2 [1], ki vsebuje okoli 3000 zvezd. Kopica se nahaja v 20 000 svetlobnih let oddaljeni porodnišnici zvezd, znani pod imenom Gum 29, ki leži v ozvezdju Gredelj.

Zvezdno porodnišnico je težko opazovati, ker je obdana s prahom. Toda Hubblova kamera s širokim poljem (Wide Field Camera 3) s pomočjo opazovanja v bližnji IR svetlobi, vidi skozi prašno tančico ter daje astronomom jasen pogled na dogajanje v kopici. Hubblov oster vid razloči posamezne zvezdne gruče v centralni kopici, ki meri le okoli 10 svetlobnih let.

Starost te orjaške kopice ocenjujejo na okoli 2 milijona let, kljub svoji »mladosti« pa vsebuje nekaj najsvetlejših, najbolj vročih in masivnih zvezd, kadarkoli odkritih. Nekatere izmed najmasivnejših zvezd s svojo UV svetlobo in z zvezdnimi vetrovi visoko energijskih nabitih delcev ustvarjajo velike votline v svoji okolici.

Te zvezde »jedkajo« ovojnico vodikovega oblaka, v katerem so se rodile, in s tem ustvarjajo čudovite podobe oblakov plina in prahu, ki jih lahko vidimo na sliki.

Slika razkriva fantazijsko pokrajino stebrov, slemen in dolin. Gosti oblaki plina in prahu v obliki stebrov, se upirajo eroziji zaradi močnega sevanja in zvezdnih vetrov bližnjih masivnih zvezd. Ti plinasti monoliti so visoki nekaj svetlobnih let in so usmerjeni proti centralni kopici. Plinaste velikane ponekod obdajajo tudi gosti oblaki plina in prahu, v obliki temnih filamentov.

Poleg oblikovanja plinastega terena, te prečudovite zvezde pomagajo pri ustvarjanju novih generacij zvezd. Ko zvezdni veter zadane gost oblak plina, povzroči udarne valove, ki vzdolž sten votline ustvarijo nov val nastajanja zvezd. Rdeči madeži, raztreseni po plinastem terenu, so bogate skupine zvezd v nastajanju, ki so še vedno ovite v oblake plina in prahu. Pri teh zvezdnih zarodkih se vodik v jedru še ni prižgal. Kljub zastrtosti zvezdnih zarodkov z gostimi plinskimi in prašnimi ovojnicami, je teleskop Hubble s pomočjo opazovanja v bližnji IR svetlobi sposoben videti skozi njih, astronomom pa to omogoča, da identificirajo še nerojene zvezde. Blesteče modre zvezde, ki so posejane po vsej sliki, ležijo večinoma v ospredju oziroma pred kopico.

Osrednji del slike prikazuje zvezdno kopico, ki jo združujejo podatki dobljeni v vidni svetlobi, z Napredno kamero za raziskave (Advanced Camera for Surveys), ter v infra rdeči svetlobi, pridobljeni s Kamero širokega polja 3 (Wide Field Camera 3). Preostali del slike je sestavljen iz opazovanj v vidni svetlobi.

Slika priča o Hubblovi veličastni moči opazovanja vesolja in dokazuje, da kljub 25



letom raziskav njegova zgodba še zdaleč ni zaključena. Hubble je tako pripravil podij za svojega naslednika, teleskop James Webb, katerega izstrelitev v orbito je načrtovana leta 2018. Sedaj, po 25 letih delovanja, pa je čas, da proslavimo Hubblov potencial v bodočnosti, kot tudi njegov izredno pomemben doprinos k zgodovini raziskovanja vesolja.

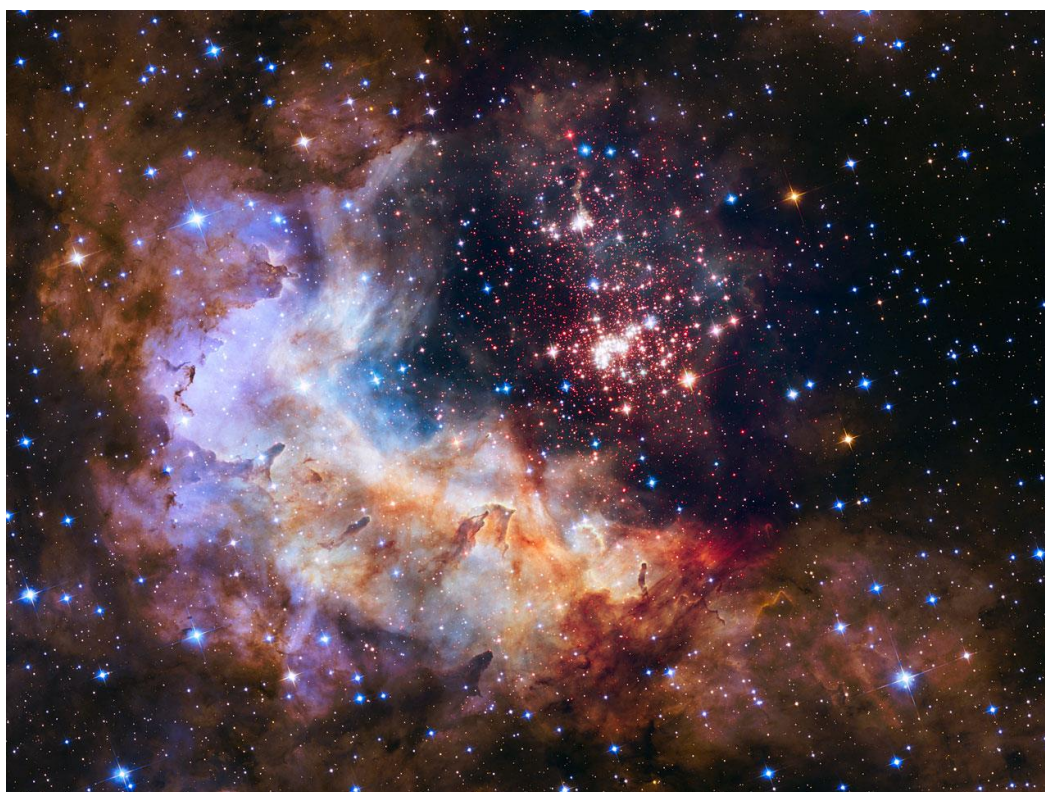
Vsako leto je objavljena nova jubilejna slika; lani je Hubble posnel nebesno meglico Opičja glava (heic1406). Leta 2013 je postregel z zelo delikatnim pogledom na meglico Konjska glava (heic1307), Hubblovo 22. obletnico pa je zaznamoval ogromen mozaik sijajnega nebesnega pajka (heic1206). Ostale slike vsebujejo večbarvni pogled na Saturn (opo9818a), »tolkienovski« posnetek meglice v ozvezdju Gredelj (heic1007a) in čudovito kozmično vrtnico narejeno iz prepletenih galaksij (heic1107a). Tukaj lahko vidimo še več slik. Westerlund 2 je poimenovana po Švedskem astronomu Bengtu Westerlundu, ki je v 60. letih prejšnjega stoletja odkril grupiranje zvezd v kopicah.

Vesoljski teleskop Hubble je projekt mednarodnega sodelovanja med ESA in NASA. Avtorstvo slike: NASA, ESA, Hubble Heritage Team (STScI/AURA), A. Nota (ESA/STScI) in Westerlund 2 Science Team.

Originalna opazovanja Westerlund 2 je pridobila znanstvena ekipa: Antonella Nota (ESA/STScI), Elena Sabbi (STScI), Eva Grebel in Peter Zeidler (Astronomisches Rechen-Institut Heidelberg), Monica Tosi (INAF, Osservatorio Astronomico di Bologna), Alceste Bonanos (National Observatory of Athens, Astronomical Institute) in Selma de Mink (University of Amsterdam). Naslednja opazovanja je opravila skupina Hubble Heritage team: Zoltan Levay (STScI), Max Mutchler, Jennifer Mack, Lisa Frattare, Shelly Meyett, Mario Livio, C. Christian (STScI/AURA) in Keith Noll (NASA/GSFC).

#### VIR

[1] <http://www.spacetelescope.org/images/heic1509a/>



Slika 1: Westerlund.

## HOMOLOGNE RELACIJE

Rok Vogrinčič

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

Reševanje enačb zvezdne strukture po navadi vodi v zelo zahtevne numerične izračune. Kljub temu pa za različne zvezde včasih obstaja podobnost med numeričnimi rešitvami. Te lahko aproksimiramo s preprostimi analitičnimi razmerji, ki jih imenujemo homologne relacije. Potrebno je vedeti, da so te relacije zelo omejene in se le redko nanašajo na resnične zvezdne modele. Vseeno pa predstavljajo grobo osnovo za interpretacijo bolj podrobnih numeričnih rešitev. Homologne relacije se nanašajo na zvezde, ki ležijo na glavni veji ter na homologno krčenje.

Primerjajmo 2 zvezdi, prva (zvezda 1) naj ima maso  $M_1$  in radij  $R_1$ , druga (zvezda 2) pa maso  $M_2$  in radij  $R_2$ . Vse količine znotraj zvezde 1 naj vsebujejo indeks 1, vse količine znotraj zvezde 2 pa indeks 2. Obravnavajmo sedaj homologno masno ovojnico, ki ima enako relativno masno koordinato,  $x = \frac{m}{M}$ . Drugače povedano, delež mase znotraj tega radija  $x$ , je enak za obe zvezdi.

$$x = \frac{m_1}{M_1} = \frac{m_2}{M_2}$$

Zvezdna modela sta homologna, če imata enako relativno porazdelitev mase in če sta homologni masni ovojnici na enakih relativnih radijih  $\frac{r}{R}$ . Slednjo izjavo lahko zapišem v tej obliki:

$$\frac{r_1(x)}{R_1} = \frac{r_2(x)}{R_2}$$

Zgornja zveza mora veljati za vsak  $x$ .

Homologne relacije morajo ustrezati enačbam zvezdne strukture tako, da ima prehod med enim in drugim modelom, posledice na vse ostale spremenljivke. Pokažimo, da to zares velja. Začnimo z enačbo:

$$\frac{dr}{dm} = \frac{1}{4\pi r^2 \rho}$$

Za prvo zvezdo lahko zgornjo enačbo zapišemo v obliki:

$$\frac{dr_1}{dx} = \frac{M_1}{4\pi r_1^2 \rho_1},$$

kjer smo uporabili diferencirano zvezo za relativno masno koordinato  $x = \frac{m_1}{M_1}$ . Če sta torej zvezdi homologni, lahko nadomestim  $r_1 = r_2 \left(\frac{R_1}{R_2}\right)$  in dobim:

$$\frac{dr_2}{dx} = \frac{M_1 R_2^3}{4\pi r_2^2 R_1^3 \rho_1} \quad (1)$$

Celotno enačbo pomnožim z  $\left(\frac{M_2}{M_1}\right) * \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$ . Pri tem leva stran enačbe ostane enaka, na desni pa se sedaj skriva enačba za 2. zvezdo, in sicer:  $\frac{dr_2}{dx} = \frac{M_2}{4\pi r_2^2 \rho_2}$ . Enačba (1) je sedaj oblike:

$$\frac{dr_2}{dx} = \frac{dr_2}{dx} * \left[ \left(\frac{M_1}{M_2}\right) \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right) \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^3 \right].$$

Da je enačbi zadoščeno, mora biti izraz znotraj oglatega oklepaja enak 1. Tako dobimo relacijo za gostoti dveh homolognih zvezd, in sicer:

$$\frac{\rho_2(x)}{\rho_1(x)} = \left(\frac{M_2}{M_1}\right) \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{-3}.$$

Izraz velja pri vsaki homologni masni ovojnici, tudi v središču zvezde. Izraz lahko splošneje zapišemo kot:

$$\rho(x) \propto \rho_c \propto \bar{\rho}. \quad (2)$$

Tukaj  $\bar{\rho}$  označuje povprečno gostoto zvezde,  $\rho_c$  pa centralno gostoto zvezde. Pridemo do pomembne posledice, ki pravi, da sta dve zvezdi homologni, če imata enako relativno porazdelitev gostote.

Podoben postopek naredimo na enačbi hidrostatičnega ravnovesja:

$$\frac{dP}{dm} = -\frac{Gm}{4\pi r^4}$$

Tokrat želimo dobiti zvezo za tlak  $P$ . Zapišemo enačbo hidrostatičnega ravnovesja za 1. zvezdo in jo poskušamo prevesti na enačbo za 2.

zvezdo. Enačbo za 1. zvezdo pomnožimo z  $\left(\frac{M_2^2}{M_1^2}\right)$ , tako, da bo del nje ustrezal enačbi za 2. zvezdo  $\left(\frac{dP_2}{dx}\right)$ . Dobimo:

$$\frac{dP_1}{dx} = \frac{dP_2}{dx} * \left[ \left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^4 \right].$$

Člen v oglatem oklepaju je pravzaprav konstanten. Označimo ga s  $C$ . Če zgornjo enačbo integriramo, dobimo:

$$P_1(x) = CP_2(x) + B,$$

kjer je  $B$  integracijska konstanta. Ker gre na površju zvezde  $x \rightarrow 1$  in tlak za obe zvezdi  $P \rightarrow 0$ , je  $B = 0$ . Dobimo:

$$\frac{P_2(x)}{P_1(x)} = \frac{1}{C} = \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{-4},$$

za vsak  $x$ . Izraz spet velja pri vsaki homogni masni ovojnici, torej tudi v središču. Splošen izraz za tlak je potem:

$$P(x) \propto P_C \propto \frac{M^2}{R^4}. \quad (3)$$

Enačbi (2) in (3) lahko povežem preko radija  $R$ , saj za obe velja homolognost. Tako dobim še zvezo med tlakom  $P$  in gostoto  $\rho$ :

$$P(x) \propto M^{2/3} \rho(x)^{4/3}.$$

Poglejmo si še homolognost za sevalne zvezde, sestavljene iz idealnega plina. Najprej predpostavimo enačbo stanja idealnega plina:

$$P = \frac{\zeta \rho T}{\mu}, \quad (4)$$

kjer so  $(P, \rho, T)$  tlak, gostota in temperatura plina,  $\zeta$  splošna plinska konstanta,  $\mu$  pa povprečna molekulska masa. Naj bo zvezda homogena, tako da je  $\mu$  konstanten za obe zvezdi (ni nujno enak!). Poiščemo razmerje med temperaturama za homogni ovojnic. Iz zgornje enačbe (4) izrazimo  $T$  in zapišemo razmerje temperatur kot:

$$\frac{T_2(x)}{T_1(x)} = \frac{P_2(x) \mu_2 \zeta \rho_1(x)}{\zeta \rho_2(x) P_1(x) \mu_1}. \quad (5)$$

Uporabim prej izpeljani homologni relaciji za  $P(x)$  (glej enačbo 3) in  $\rho(x)$  (glej enačbo 2), ki ju vstavim v zgornjo enačbo (5) ter dobim:

$$T(x) \propto \mu \frac{M}{R} \propto T_C, \quad (6)$$

kjer je  $R$  radij,  $T_C$  pa centralna temperatura zvezde.

Naredimo sedaj predpostavko, da so zvezde v sevalnem ravnovesju, to pomeni, da prenašajo energijo izključno s sevanjem. Enačba, ki opisuje termično strukturo zvezde pri sevalnem prenosu:

$$\frac{dT}{dm} = -\frac{GmT}{4\pi r^4 P} \nabla,$$

kjer je  $G$  gravitacijska konstanta,  $\nabla$  temperaturni gradient. Velja tudi, da je

$$\nabla = \frac{3\kappa l P}{16\pi a c G m T^4},$$

kjer je  $\kappa$  neprozornost,  $l$  lokalni izsev,  $a$  radiacijska konstanta,  $c$  hitrost svetlobe in  $m$  masa ovojnice v kateri poteka sevalni prenos. Za zvezdo 1 lahko zapišemo enačbo sevalnega prenosa:

$$\frac{dT_1}{dm_1} = -\frac{3\kappa l}{4T_1^3 \pi^2 r_1^4 16ac}.$$

Člen  $4T_1^3$  nesemo na levo stran ter uporabimo relacijo  $dm_1 = M_1 dx$  in dobimo:

$$\frac{d(T_1^4)}{dx} = -\frac{3\kappa l M_1}{16\pi^2 a c r_1^4}. \quad (7)$$

Ta enačba vsebuje 2 neznani funkciji odvisni od  $x$ , to sta  $\kappa$  in  $l$ . Naredimo dodatno predpostavko za neprozornost. Zaradi preprostosti vzemimo, da je  $\kappa$  kar konstantna čez celotno zvezdo (ta ni nujno enaka za obe zvezdi). Rešimo enačbo (7) ter jo zapišemo v obliki razmerij temperatur za homogni zvezdi.

$$\left(\frac{T_2(x)}{T_1(x)}\right)^4 = \left(\frac{M_2 \kappa_2 l_2(x)}{r_2^4}\right) \left(\frac{r_1^4}{M_1 \kappa_1 l_1(x)}\right).$$

Levi člen nadomestim s prej izpeljano zvezo za temperaturo (enačba 6) ter zapišem razmerje izsevov  $l$ :

$$\frac{l_2(x)}{l_1(x)} = \left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)^4 \left(\frac{\kappa_2}{\kappa_1}\right)^{-1} \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^3, \quad (8)$$

kjer upoštevamo tudi  $r_1 = r_2 \left(\frac{R_1}{R_2}\right)$ . Enačba (8) velja tudi na površju zvezde, kjer je izsev enak  $L$ . Zapišemo enačbo v splošnejši obliki:

$$l(x) \propto L \propto \frac{1}{\kappa} \mu^4 M^3. \quad (9)$$

Ta enačba predstavlja  $M - L$  (masa - izsev) relacijo za sevalno, homogeno zvezdo s konstantno neprozornostjo  $\kappa$  in tlakom idealnega plina. Dobili smo jo brez privzetkov o proizvodnji energije v zvezdi. Privzamemo lahko, da relacija velja za katero koli zvezdo v sevalnem ravnovesju. Pove nam tudi, da je izsev v večini odvisen od tega, kako učinkovito se energija prenaša s sevanjem: višji  $\kappa$  nam da manjši  $l$ , ker je tedaj zvezda manj prosojna.

Poglejmo si še homolognost glavne veje. Za zvezde v termičnem ravnovesju (zvezda, ki je v stacionarnem stanju, pri kateri se izseva s površja toliko energije, kot se je proizvede v notranjosti; se ne krči in ne razteza ter vzdržuje konstantno temperaturo) uporabimo enačbo energijske strukture zvezde:

$$\frac{dl}{dm} = \varepsilon_{nuc}, \quad (10)$$

kjer je  $\varepsilon_{nuc}$  proizvodnja jedrske energije. Za njo privzamemo posebno obliko:

$$\varepsilon_{nuc} = \varepsilon_0 \rho T^\nu, \quad (11)$$

kjer je  $\nu$  stopnja proizvodnje jedrske energije. Če povežemo zadnji dve enačbi (10, 11) in pri tem upoštevamo  $\frac{dl}{dm} \rightarrow \frac{dl}{dx}$ , lahko zapišemo celoten izraz z razmerji izsevov

$$\frac{l_2(x)}{l_1(x)} = \frac{M_2}{M_1} \left(\frac{\rho_2(x)}{\rho_1(x)}\right) \left(\frac{T_2(x)}{T_1(x)}\right)^\nu$$

ter vpeljemo prej izpeljano zvezo za izsev (9). S tem se znebimo razmerja izsevov ter po krajši izpeljavi dobimo relacijo  $R - M$  (radij - masa):

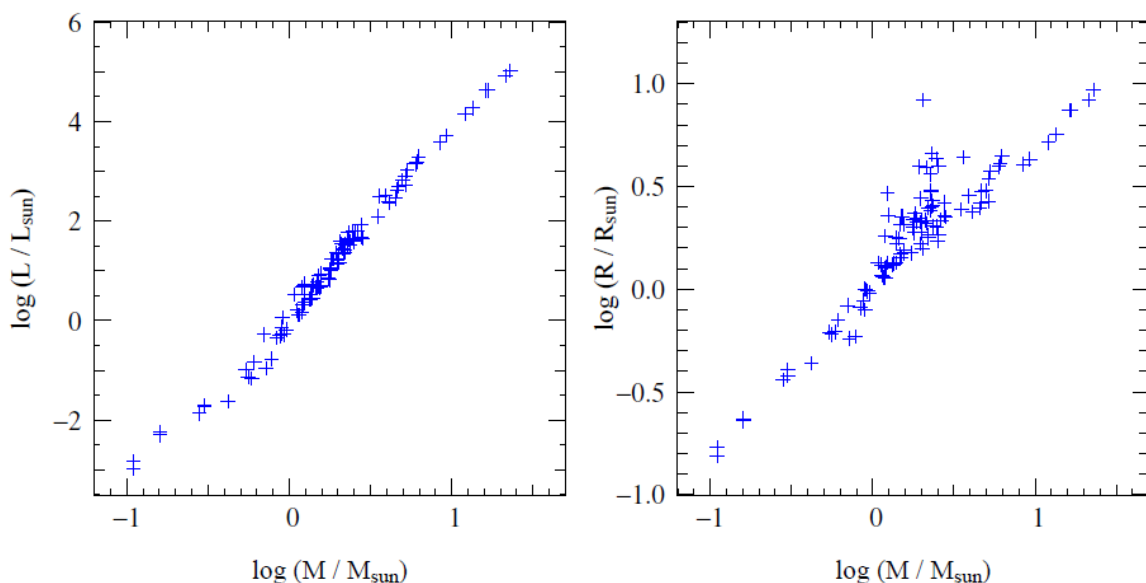
$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)^{(\nu-4)/(\nu+3)} \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^{(\nu-1)/(\nu+3)}.$$

Oziroma v splošni obliki:

$$R \propto \mu^{\frac{\nu-4}{\nu+3}} M^{\frac{\nu-1}{\nu+3}}. \quad (12)$$

Relacija velja za homogeno sevalno zvezdo s konstantno neprozornostjo, ki je sestavljena iz idealnega plina. Strmina  $R-M$  relacije je očitno odvisna od načina proizvodnje jedrske energije, preko vrednosti  $\nu$ .

Za konec naredimo še oceno za centralno gostoto in centralno temperaturo zvezde. Te dobimo, če povežemo enačbo za radij  $R$  (enačba 12) z enačbami za gostoto (enačba 2) in temperaturo (enačba 6).



Slika 1: Relacija masa-izsev ( $M-L$ ) na levi strani ter relacija masa-radij ( $M-R$ ) na desni strani, za prekrivalne dvojne zvezde, katerih  $M$ ,  $R$  in  $L$  so natančno določene z opazovanji.

$$\rho(x) \propto \rho_C \propto \mu^{\frac{3(4-\nu)}{\nu+3}} M^{\frac{2(3-\nu)}{\nu+3}},$$

$$T(x) \propto T_C \propto \mu^{\frac{7}{\nu+3}} M^{\frac{4}{\nu+3}}.$$

Za zvezde na glavni veji je izvor jedrske energije zlivanje vodika. Obstajata dve možnosti, to sta pp-veriga ( $\nu \approx 4$ ) ter CNO cikel ( $\nu \approx 18$ ).

Dobljene relacije lahko predstavimo v spodnji tabeli.

Relacije M-L (masa – izsev) ter M-R (masa – radij) lahko primerjamo z opazovanimi

relacijami za zvezde na glavni veji, za katere velja  $L \propto M^{3.8}$  in  $R \propto M^{0.7}$ .

#### LITERATURA

[1] O.R. Pols, Stellar Structure and Evolution, Astronomical Institute Utrecht, September 2011

[2] R. Kippenhahn & A. Weigert, Stellar Structure and Evolution, 1990, Springer-Verlag, ISBN 3-540-50211-4 (Kippenhahn; K&W)

Tabela 1: Homologe relacije za radij  $R$ , centralno temperaturo  $T_C$  in centralno gostoto  $\rho_C$ , za zvezde na glavni veji.

pp-veriga	$R \propto M^{0.43}$	$T_C \propto \mu M^{0.57}$	$\rho_C \propto M^{-0.3}$
CNO cikel	$R \propto \mu^{0.67} M^{0.81}$	$T_C \propto \mu^{0.33} M^{0.19}$	$\rho_C \propto \mu^{-2.0} M^{-0.25}$

## TRADICIONALNI KMICIN TABOR

Sonja Kepe<sup>1</sup> in Darko Kolar<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

<sup>1</sup>OŠ Beltinci

Na OŠ Gornji Petrovci je od 30. junija do 4. julija 2015 potekal tradicionalni Kmicin tabor, ki so se ga udeležili učenci in dijaki iz cele Slovenije.

Znanje udeležencev je bilo sila različno, kar je za nas mentorje predstavljalo velik izziv. Na taboru so bili udeleženci, ki so na tekmovanjih za Dominkovo priznanje že osvajali bronasta, srebrna in zlata priznanja, kot tudi tisti, ki še nikoli niso slišali za zvezdno karto ali pogledali skozi daljnogled ter teleskop. Vendar smo mentorji **Andrej Hanžekovič**, **Sonja Kepe** in **Darko Kolar** pogumno sprejeli ta izziv.

Udeležence smo razdelili v dve skupini. V 1. skupino sva z Andrejem razvrstila udeležence, ki se z astronomijo še niso srečali ali pa so imeli le malo astronomskega znanja, v 2. skupini pa

je Darko združil učence, ki so si z astronomijo bolj domači.

Tabor je potekal po že ustaljenem urniku preteklih Kmicinih predavanj: prebujanje ob 12. uri, zajtrk, priprava ogrodja za raziskovalne naloge, kosilo, predavanja mentorjev, priprava na nočna opazovanja, večerna predavanja priznanih strokovnjakov ter nočno opazovanje na Pindži. Seveda nismo pozabili na športne aktivnosti ter prosti čas.

Tabor so obogatila večerna predavanja priznanih strokovnjakov. **Pom. akad. dr. Mitja Slavinec** je udeležence poučil o izdelavi raziskovalnih nalog, **dr. Renato Lukač** je predstavil osnovne pojme astronomije, **doc. dr. Robert Repnik** nam je s predavanjem Kaj nam svetloba pove o vesolju? predstavil opazovanje



vesolja in nebesnih teles s pomočjo teleskopov in drugih naprav, **pom. akad. dr. Primož Kajdič** pa nam je predstavil našo zvezdo Sonce.



Slika 1: Predavanja.

Udeleženci 1. skupine so se naučili rokovati s teleskopi in daljnogledi, spoznali zvezdno karto, se "poglobili" v prostranstva Osončja, podrobneje spoznali Luno, njene značilnosti ter kako nastajajo kraterji na Luni, kako varno opazovati Sonce ter gibanje sence čez dan.

V 2. skupini smo z udeleženci, ki so že imeli nekaj predznanja iz astronomije poskušali to znanje nadgraditi. Na začetku smo se lotili rokovanja s tremi različnimi tipi teleskopov, ugotovili njihove prednosti in slabosti ter jih preizkusili na Pindži. Vsak udeleženec se je odločil za enega izmed teleskopov in ga pripravil za opazovanja, ki jih je do konca tedna lahko že samostojno vodil. Poleg opazovanja nočnega neba, pa smo se naučili, kako lahko na varen način opazujemo Sonce in izdelali Sončno uro.



Slika 2: Opazovanje Sonca s projekcijo.

Tabor je potekal v času pred, med in po polni Luni, ki je pošteno osvetlila nebo. Kljub temu pa je bil čas zelo pisan na kožo udeležencem začetnikom, saj bile na nebu vidne le najsvetlejšje zvezde, kar je udeležencem pomagalo pri "sestavljanju" ozvezdij. Ponagajali so nam tudi oblaki, ki se niso zmenili za dobre vremenske napovedi in že okoli polnoči začeli skrivati skrivnosti vesolja. Kljub vremenskim nevšečnostim pa nam je uspelo ujeti nekaj utrinkov ter Iridium satelitov.

Čas polne Lune smo izkoristili za spoznavanje njega površja. Nastanek kraterjev smo simulirali s pomočjo moke in kakava v katera smo metali različne predmete. Raziskali smo tudi vplive raznih dodatnih snovi, kot so recimo voda, pesek in zemlja.



Slika 3: Kraterji.

Lepo vreme je na začetku tabora omogočilo opazovanje konjunkcije med Venero in Jupitrom na večernem nebu, ko sta bila oba planeta med seboj oddaljena le 20 ločnih sekund. Oba sta bila zelo svetla - Venera je imela magnitudo -4,4, Jupiter -1,8.

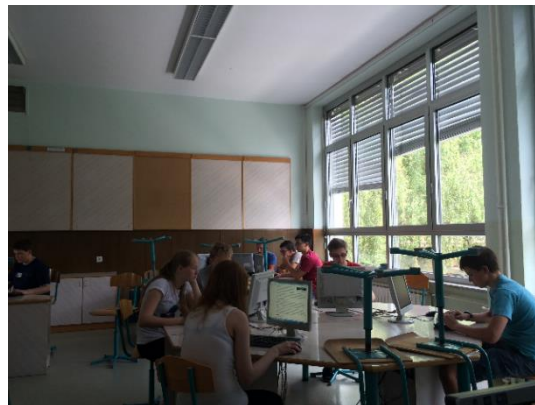




Slika 4: Opazovanje konjunkcije med Venero in Jupitrom na večernem nebu, ko sta bila oba planeta med seboj oddaljena 20 ločnih minut.

Sestavni del aktivnosti na Kmicinem mladinskem raziskovalnem taboru so tudi priprava raziskovalnih nalog. Udeleženci so si lahko izbrali eno izmed predlaganih tem s področja astronomije, ki so jo v dvojicah ali samostojno pisali med taborom.

Ob koncu tabora so rezultate predstavili ostalim udeležencem. Raziskovalna naloga narejena na taboru, pa je hkrati tudi dobra osnova za nadgraditev, s katero lahko sodelujejo na Srečanju mladih raziskovalcev.



Slika 5: Pisanje raziskovalnih nalog.

Specifika astronomskega tabora je, da udeleženci ostanejo pokonci dolgo v noč in lahko posledično spijo do poldneva.

Udeležencem je bil tabor zelo všeč, pohvalili so delo predavateljev in mentorjev ter kuharjev, ki sta nas razvajala z odlično prehrano, pograjali vreme in obljubili, da se bodo udeležili tudi prihodnjih taborov.

## RAZDALJA MED ZEMLJO IN SONCEM

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

*Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko*

### UVOD

V astronomih v Kmici smo že lahko brali, kako se zaradi bibavice spreminja razdalja med Zemljo in Luno [1]. Zaradi gibanja planetov okrog Sonca se nenehno spreminja njihova medsebojna oddaljenost. Ker se planeti gibljejo po elipsah, se odvisno od sploščenosti elipse spreminja tudi razdalja med planetom in Soncem (ali eksoplanetom in matično zvezdo). Planet in Sonce sta si najbližje v periheliju in najdlje v afeliju.

Na oddaljenost planeta od zvezde vpliva več dejavnikov, med njimi tudi njuna masa. Masa zvezde se ves čas zmanjšuje. Zvezda lahko maso izgublja zaradi Sončevega vetra, kar pa je v primeru Sonca majhen efekt, saj bo Sonce po tej poti izgubilo približno 0,01% svoje mase. Masa zvezde se ves čas zmanjšuje tudi zaradi sevanja. Oglejmo si v kolikšni meri to vpliva na oddaljenost planeta od matične zvezde?

## GIBANJE PLANETOV OKROG ZVEZDE

Velikosti Zemlje in Sonca sta majhni v primerjavi z njuno medsebojno oddaljenostjo, zato ju lahko obravnavamo kot točkasti telesi. Zemlja in Sonce se gibljeta okrog njunega skupnega težišča. Masa Sonca je približno milijon krat večja od mase Zemlje. Izračun pokaže, da je njuno skupno težišče v notranjosti Sonca zato lahko gibanje Sonca zanemarimo. V tem približku se Zemlja giblje okrog mirujočega Sonca.

Med Soncem in Zemljo deluje privlačna gravitacijska sila, katere velikost je odvisna od mase Sonca  $m_s$  in mase Zemlje  $m_z$  ter njune medsebojne oddaljenosti  $d_{SZ}$  [2,3]:

$$F_{SZ} = G \frac{m_z m_s}{d_{SZ}^2}, \quad (1)$$

kjer je  $G$  gravitacijska konstanta. Sploščenost Zemljine tirnice:

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}, \quad (2)$$

kjer sta  $a$  dolga polos in  $b$  kratka polos elipse, je relativno majhna ( $e_z = 0,02$ ). Razdaljo med Soncem in Zemljo zato običajno podajamo kar s povprečno razdaljo, ki je približno  $d_{SZ} = 1,5 \cdot 10^{11}$  m, kar imenujemo tudi ena astronomska enota (1 a. e.).

V ravnovesju je gravitacijska sila enaka radialni sili:

$$F_R = m_z \frac{v^2}{d_{SZ}}, \quad (3)$$

kjer je  $v$  obodna hitrost Zemlje okrog Sonca. Med gibanjem Zemlje okrog Sonca se Zemlji ohranja vrtilna količina  $\Gamma_z$ :

$$\Gamma_z = m_z v d_{SZ}. \quad (4)$$

Če enačbi (1) in (3) izenačimo ter rezultat predelamo tako, da ga izrazimo z vrtilno količino, dobimo zvezo:

$$\Gamma_z^2 = G m_s m_z^2 d_{SZ} \quad (4)$$

ali:

$$d_{SZ} = \frac{\Gamma_z^2}{G m_s m_z^2}. \quad (5)$$

Iz enačbe (5) vidimo, da sta si razdalja med Soncem in Zemljo  $d_{SZ}$  ter masa Sonca  $m_s$  obratno sorazmerni.

Ocenimo, kako velike so bile v preteklosti ali še bodo v prihodnosti te spremembe?

## SPREMINJANJE MASE SONCA

Na Soncu se vodik zliva v helij pri čemer se v skladu z znano Einsteinovo enačbo:

$$E = mc^2, \quad (6)$$

kjer je  $m$  masa, ki se pretvori v energijo  $E$ , in  $c$  svetlobna hitrost v praznem prostoru, enaka približno  $3 \cdot 10^8$  ms<sup>-1</sup>. Pri jedrskih reakcijah se lahko le majhen delež celotne mase pretvori v energijo. Masi, ki se pretvori v energijo (to je razlika med skupno maso delcev, ki v jedrsko reakcijo vstopajo in skupno maso produktov po jedrski reakciji) pravimo tudi *masni defekt*.

Pri zlivanju vodika, kot poteka na Soncu, se v energijo pretvori manj kot 1 % mase snovi, ki je vključena v reakcijo. Na Soncu se ne bo ves vodik zlil v helij, ampak le približno 10%. Po zlivanju vodika v helij se bodo sicer pričele druge jedrske reakcije, kljub temu pa bo delež mase, ki se bo pretvoril v energijo ostal reda velikosti 0,01%. Ker za Sonce velja ocena, da bo izguba mase zaradi Sončevega vetra dosti manjša od te vrednosti (ni nujno, da ta ocena velja za vse zvezde), se bo masa Sonca zmanjšala za približno 0,1%. Iz enačbe (5) razberemo, da bo tega reda velikosti tudi relativna sprememba razdalje med Soncem in Zemljo. Ker je po ocenah Sonce sedaj približno na polovici življenjske dobe, lahko iz tega sklepamo, da je bilo tudi ob nastanku masivnejše kvečjemu za desetinko odstotka.

## ZAKLJUČEK

Na oddaljenost med planeti in matično zvezdo vpliva masa zvezde. V zvezdah potekajo jedrske reakcije, ki zagotavljajo energijo za njihovo sevanje, zato se masa zvezd nenehno zmanjšuje. Izkaže pa se, da je masni defekt kvečjemu reda velikosti tisočinke mase zvezde, kar pomeni da se na račun jedrskih reakcij v celotni življenjski dobi posamezni zvezdi masa zmanjša za tisočinko. Tega reda velikost je posledično tudi sprememba razdalje med posameznim planetom in zvezdo (če ni močnega zvezdnega vetra).

Razdalje med planeti in zvezdo se zaradi spreminjanja mase zvezde ne spreminjajo

omembe vredno. Se pa tekom življenjskega cikla zvezde v njej dogajajo druge spremembe, ki pa lahko vplivajo na planete. Naše Sonce se bo v zaključnih fazah napihnilo do te mere, da bo segalo vse do svojih bližnjih planetov.

## LITERATURA

- [1] M. Slavinec, Astronomi v Kmici sedemnajstič: *Bibavica*.
- [2] H. Goldstein, *Classical Mechanics*, Addison-Wesley, 1981
- [3] J. Strnad, *Fizika 1*, DMFA.

# SANKTPETERBURŠKA ASTRONOMSKA OLIMPIJADA

*pom. akad. dr. Simon Ülen<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Gimnazija Franca Miklošiča Ljutomer, <sup>2</sup>Alma Mater Europaea – Evropski center, Maribor

## UVOD

Astronomija in pojavi, povezani z astronomijo, so od nekdaj zanimali tako znanstvenike kot laično populacijo. Astronomija je v zadnjem desetletju pridobivala na popularnosti in veljavi tudi v slovenskem šolskem prostoru, na kar nenazadnje kažejo vsakoletna državna tekmovanja iz znanja astronomije. Najboljši na državnem tekmovanju sodelujejo v izbirnem postopku za uvrstitev na mednarodno tekmovanje iz astronomije in astrofizike, ki bo letos potekala v mestu Bhubaneswar, Indija. Uspeh na državnem tekmovanju v izbirnem postopku prinaša 35% vseh možnih točk. Eden izmed kriterijev za uvrstitev v slovensko ekipo za olimpijado pa je tudi t.i. Sanktpeterburška astronomska olimpijada, ki dijaku prinaša 10% točk. Slednjo v nadaljevanju podrobno predstavljamo.

## SANKTPETERBURŠKA ASTRONOMSKA OLIMPIJADA

Sanktpeterburško astronomsko olimpijado organizira Peterburška šolska astronomska organizacija, naši dijaki jo rešujejo pri nas, preko spleta. K olimpijadi so povabljeni dijaki z najboljšimi rezultati na državnem tekmovanju. Tekmovanje poteka tako, da organizatorji pošljejo naloge našima organizatorjema tega tekmovanja in sicer Andreju Guštinu, ki pokriva srednješolski del in Bojanu Jandrašiču, ki skrbi za izvedbo tega tekmovanja med osnovnošolci. Tekmovanje je razdeljeno na dva dela – 1. Izbirni del in 2. Finale – teoretični in praktični del. V prvem, izbirnem delu, tekmovalci rešujejo naloge in najboljši se uvrstijo v drugi del, v finale. Lansko finale je za osnovnošolce potekalo na OŠ Turnišče, za srednješolce pa na Fakulteti za aplikativne vede Univerze v Novi Gorici. Na sliki 1 je fotografija iz finalnega tekmovanja v Novi Gorici [2].



Slika 1: Dijaki pri reševanju nalog v finalu Sanktpeterburške astronomske olimpijade.

### PRIMERI NALOG

Indijanec Modra Sova je od doma odpotoval ob mlaju, da bi v bližnjem mestu prodajal kože. Svoji ženi, Prijazni Lisici, je obljubil, da se bo vrnil ob naslednji polni Luni. Koliko časa je Modra Sova nameraval biti odsoten od doma? 15. oktobra 2014 so mladi astronomi opazovali nočno nebo. Učitelj je uperil laserski kazalnik proti zvezdi Sirij. Katerega leta bo ta laserska svetloba dosegla

Sirij, če predpostavimo, da se zvezda ne premika? Razdalja med Zemljo in Sirijem je 80 000 000 000 000 kilometrov [1].

### ZAKLJUČEK

Vesolje je neskončni prostor, katerega raziskovanje je in bo venomer vzpodbujalo človeško vedoželjnost. Spodbujanje vedoželjnosti med mladimi je ena izmed primarnih nalog učiteljev fizike v osnovnih in srednjih šolah, zato je tekmovanja, kot je tudi Sanktpeterburška astronomska olimpijada, gotovo korak v tej smeri. Na koncu velja še enkrat izpostaviti oba zanesenjaka – Bojana Jandrašiča in Andreja Guština, katerima gre vsa pohvala za idejo in samo izvedbo te olimpijade pri nas.

### LITERATURA

- [1] <http://school.astro.spbu.ru/?q=node>  
 [2] <http://www.ung.si/sl/studij/fakulteta-zararavoslovje/raziskave/tekmovanja/>

## UTRIPANJE ZVEZD

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

### UVOD

Na jasnem nočnem nebu vidimo okrog 6000 zvezd, ki jih lahko ločimo od planetov zaradi mežikanja oziroma utripanja. Utripanje je manj izrazito pri opazovanju nebesnih teles pod večjimi zornimi koti ali pri opazovanju s teleskopom. Ker so zvezde na večji oddaljenosti od planetov, je zorni kot opazovanja manjši. Zvezde delujejo kot točkasti izvor svetlobe in pojav utripanja je bolj izrazit. Svetlobo, ki jo odbijajo planeti, lahko opišemo kot skupek več točkastih izvorov svetlobe, zato se utripanje posameznih, izpovpreči [1].

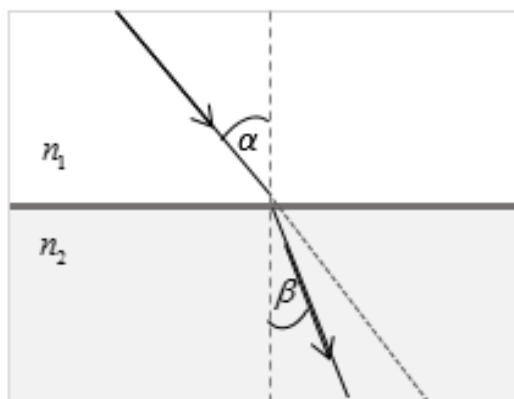
Navidezno utripanje zvezd je posledica loma svetlobe na gibajočih se zračnih plasteh Zemljine atmosfere. Ozračje ima pomemben vpliv na širjenje svetlobe in je vzrok za več drugih zanimivih pojavov zračnega zrcaljenja kot sta astronomska refrakcija, zaradi katere vidimo zvezde višje na nebu kot so v resnici, in fatamorgana [1].

### LOM SVETLOBE

Razmerje med hitrostjo razširjanja svetlobe v vakuumu ( $c_0$ ) in hitrostjo razširjanja v snovi ( $c$ ) podamo z lomnim količnikom  $n$  [2]:

$$n = \frac{c_0}{c} \quad (1)$$

Ko žarek svetlobe vpade na mejo dveh snovi z različnim lomnim količnikom, se spremeni hitrost razširjanja in s tem smer žarka. Pravimo, da se je žarek lomil (slika 1). Pri prehodu iz snovi z lomnim količnikom  $n_1$  v snov z lomnim količnikom  $n_2$  se žarek širi pod kotom  $\beta$ , ki je odvisen od vpadnega kota  $\alpha$  [2].



Slika 1. Lom svetlobe. Žarek vpada pod kotom  $\alpha$  na mejo dveh snovi z različnim lomnim količnikom  $n_1$  in  $n_2$ . Kot  $\beta$ , pod katerim se žarek lomi, je odvisen od vpadnega kota in razmerja lomnih količnikov.

Zvezo med vpadnim kotom  $\alpha$  in kotom  $\beta$  opisuje lomni zakon:

$$n_1 \sin(\alpha) = n_2 \sin(\beta) \quad (2)$$

Snov z večjim lomnim količnikom imenujemo optično gostejša snov, snov z manjšim lomnim količnikom pa optično redkejša snov [2].

### VPLIV GOSTOTE NA LOMNI KOLIČNIK

Lomni količnik je odvisen od gostote ( $\rho$ ) in s tem od temperature ( $T$ ) ter tlaka ( $p$ ) snovi [3, 4]. V primeru razširjanja svetlobe, ki jo sevajo zvezde, se omejimo na odvisnost lomnega količnika zraka. Po Gladstone – Dale relaciji je lomni količnik linearno odvisen od gostote zraka [3]:

$$n = 1 + k \rho, \quad (3)$$

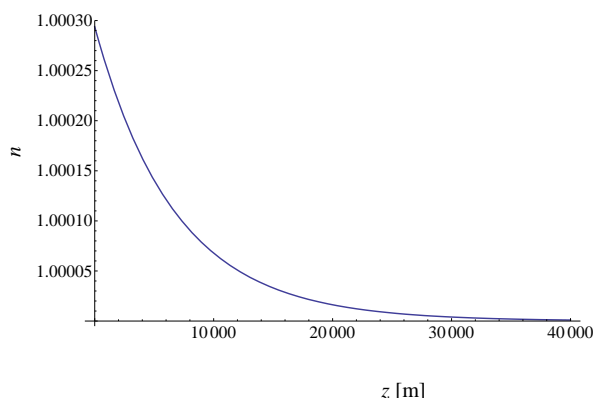
pri tem je  $k$  sorazmernostna konstanta, ki za zrak pri normalnih zračnih pogojih znaša  $23 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$ . Iz splošne plinske enačbe za idealni plin z molsko maso  $M$  lahko gostoto zapišemo kot [2]:

$$\rho = \frac{pM}{RT}, \quad (4)$$

kjer je  $R$  splošna plinska konstanta. Privzemimo najenostavnejši model, da tlak z višino  $z$  pojema po barometrični enačbi [2]:

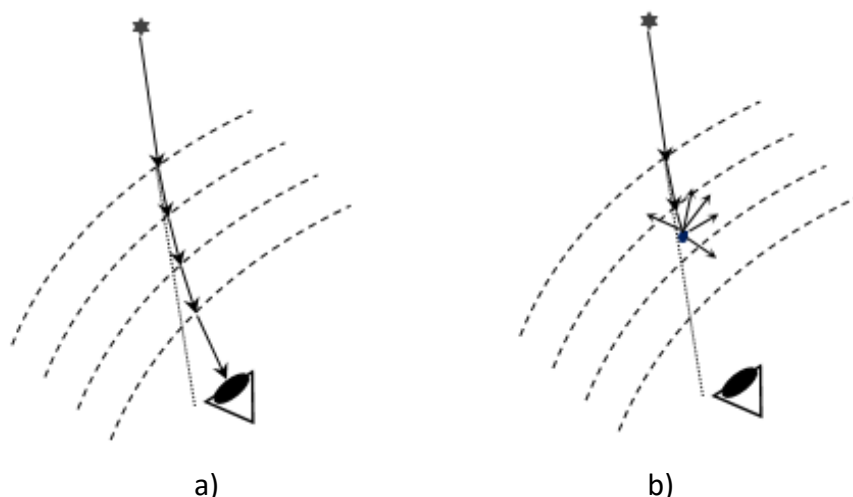
$$p = p_0 e^{-z/z_0}, \quad (5)$$

kjer je  $z_0 = \frac{Mg}{RT} = 8300 \text{ m}$ . Iz enačbe (4) in (5) sledi, da se gostota zraka z višino manjša, kar pomeni, da se manjša lomni količnik zraka (slika 2).



Slika 2. Odvisnost lomnega količnika zraka od oddaljenosti od površine Zemlje.

Ker so zvezde zelo oddaljene, jih dojemamo kot točkaste izvore svetlobe, kar pomeni, da do opazovalca na Zemlji pride posamezni žarek. Svetloba, ki jo oddajajo zvezde, potuje iz vakuuma z lomnim količnikom 1 v Zemljino atmosfero, kjer se med potjo lomi v optično gostejšo snov (slika 3a). Poleg loma se na poti skozi atmosfero lahko žarek razprši na molekulah plinov. V tem primeru žarek ne pride



Slika 3: Skiciran prikaz utripanja. a) Žarek svetlobe oddaljene zvezde se na zračnih plasteh (črtkane krivulje) z različno gostoto lomi. b) V atmosferi so različne molekule, na katerih se lahko žarek razprši in ne pride do očesa. Zvezde v tem trenutku ne vidimo, kar zaznamo kot utripanje.

do naših oči, kar zaznamo kot utripanje (slika 3b). Če bi zvezde opazovali nad atmosfero, utripanja ne bi opazili. Zaradi daljše poti svetlobe proti obzorju je utripanje bolj opazno pri zvezdah blizu obzorja in manj opazno za zvezde v zenitu. Utrpanje lahko opazimo tudi pri bližnjih svetlobnih telesih kot posledico temperaturnih razlik. Pri nižjih temperaturah je zrak gostejši in lomni količnik večji. Lokalno zračna plast z nižjo temperaturo deluje kot zbiralna leča – vir svetlobe vidimo povečan in svetlejši. Obratno velja za zračno plast z višjo temperaturo [1].

### KROMATIČNA DISPERZIJA

Spreminjanje lomnega količnika z valovno dolžino svetlobe  $\lambda$  imenujemo kromatična disperzija. Svetloba različnih valovnih dolžin, ki sicer vpade na mejo dveh snovi pod enakim kotom, se lomi pod različnimi koti in se pri tem razkloni na komponente. Posledica razklona svetlobe je nastanek mavrice in kromatična aberacija leč. Pri nekaterih zvezdah zaradi razklona svetlobe lahko opazimo, da utripajo z različnimi barvami [5].

### ZAKLJUČEK

Lastnost, da za razliko od planetov, svetloba ki prihaja od zvezd utripa, je zelo uporabna pri

orientaciji na nebu pri opazovanju neba. Zvezde utripajo, ker svetloba potuje skozi zemljino atmosfero, pri čemer se lomi. Lom svetlobe je odvisen od lomnega količnika, ki se v atmosferi spreminja z njeno gostoto. Gostota zraka v atmosferi se spreminja z višino, pa tudi zaradi termičnih fluktuacij in posledično vetrov. To povzroči fluktuacije lomnega količnika, zato svetloba skozi atmosfero ne potuje po isti poti, ampak se pot s časom nekoliko spreminja. Očesu se zdi, da svetloba ne prihaja zmeraj iz iste točke, kar zaznavamo, kot da zvezda poplesuje po nebu in to vidimo kot utripanje. Če si svetlobo ponazorimo z žarkom od zvezde do očesa, je utripanje zato, ker žarek včasih ne zadene očesa.

Utrpanje je tem bolj opazno, čim daljša je pot svetlobe skozi atmosfero, zato se nam zvezde na obzorju zdijo bolj utripajoče kot tiste v zenitu. Ker se različne valovne dolžine (barve) svetlobe lomijo različno, je lahko utripanje tudi v različnih barvah.

Enako se dogaja tudi s svetlobo, ki prihaja od planetov. Vendar so planeti veliko bližje in jih oko ne zazna kot eno točko, temveč kot množico točk. To svetlobo si lahko ponazorimo z množico žarkov. Zaradi utripanja tudi kakšen žarek od planetov včasih ne zadene očesa,



vendar vsi ostali žarki oko zadenejo, zato utripanja ne zaznamo.

### LITERATURA

- [1] Kvarkadabra - časopis za tolmačenje znanosti, *Lom svetlobe v ozračju*, pridobljeno dne 4. 2. 2016 iz <http://www.kvarkadabra.net/lom-ozracje>.
- [2] J. Strnad, *Fizika, 1. del* (DMFA, Ljubljana, 2009).

[3] J. H. Gladstone, T. P. Dale, *Researches on the Refraction, Dispersion, and Sensitiveness of Liquids*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 153, 317-343 (1863).

[4] J. C. Owens, *Optical Refractive Index of Air: Dependence on Pressure, Temperature and Composition*, Applied Optics 6(1), 51-59 (1967).

[5] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fundamentals of Physics, 8th edition* (John Wiley & Sons, Hoboken, 2008).

## NAVIDEZNO GIBANJE SONCA PO NEBU

*pom. akad. dr. Andreja Gomboc*

*Fakulteta za naravoslovje, Univerza v Novi Gorici*

### DNEVNO GIBANJE SONCA

Sonce tako kot zvezde zaradi vrtenja Zemlje navidezno kroži okoli nebesnega pola. Ko se mu zenitna razdalja v nekem kraju zmanjša pod  $90^\circ$ , vziče izza obzorja na vzhodnem delu neba. Nato se dviga na nebu in doseže najvišjo točko, ko prečka krajevni nebesni poldnevnik, po tem pa se prične spuščati in zaide na zahodnem delu neba, ko postane zenitna razdalja večja od  $90^\circ$ .

### LETNO GIBANJE SONCA

Ker se Zemlja giblje okoli Sonca, se nam zdi, da se Sonce med letom premika med zvezdami. Njegovi koordinati  $\alpha_\odot$ ,  $\delta_\odot$  se spreminjata. Zemlja se giblje okoli Sonca v ravnini, ki ji rečemo **ekliptika** in oklepa kot  $\varepsilon = 23^\circ 27'$  z ravnino Zemljinega ekvatorja. Gledano z Zemlje se nam zdi, da se Sonce med letom giblje po tej ravnini. Zato letni poti Sonca med ozvezdji prav tako rečemo ekliptika (slika 1). Približno v tej

ravnini oz. ozvezdijih najdemo tudi planete in Luno. Rektascenzija Sonca med letom narašča od  $0^h$  do  $24^h$ , deklinacija pa se spreminja med  $-\varepsilon$  in  $+\varepsilon$  (slika 2):

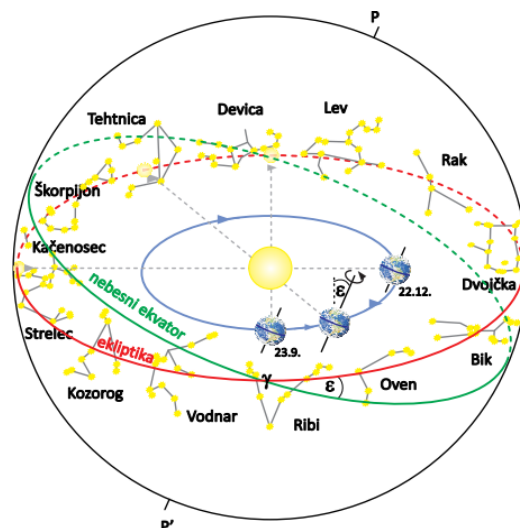
- Ob pomladnem enakonočju (21. 3.) se Sonce nahaja v točki  $\gamma$ , kjer se sekata ekliptika in nebesni ekvator. Deklinacija in rektascenzija Sonca sta:  $\delta_\odot = 0^\circ$ ,  $\alpha_\odot = 0^h$ . Ker je  $\delta_\odot = 0^\circ$  je Sonce povsod na Zemlji nad obzorjem  $12^h$  in je dolžina dneva enaka dolžini noči.<sup>1</sup> Največja višina Sonca nad obzorjem na Zemljini severni polobli je tega dne enaka  $90^\circ - \varphi$ , kjer je  $\varphi$  zemljepisna širina opazovališča (pri nas je približno  $\varphi = 46^\circ$  in je tega dne Sonce največ  $44^\circ$  visoko). Sonce vzhaja točno na vzhodu in zahaja točno na zahodu (glej sliko 3).
- Od pomladnega enakonočja se  $\delta_\odot$  povečuje do poletnega solsticija (21. 6.), ko je:  $\delta_\odot = +\varepsilon = +23,5^\circ$ ,  $\alpha_\odot = 6^h$ . Dan

obeh razlogov je ob enakonočju dan pravzaprav nekaj minut daljši od noči (na ekvatorju 14 minut, drugje še nekoliko več). Dan in noč sta enako dolga nekaj dni pred pomladnim in nekaj dni po jesenskem enakonočju. V nadaljevanju bomo ostali v enostavni sliki in omenjenih dveh razlogov ne bomo upoštevali.

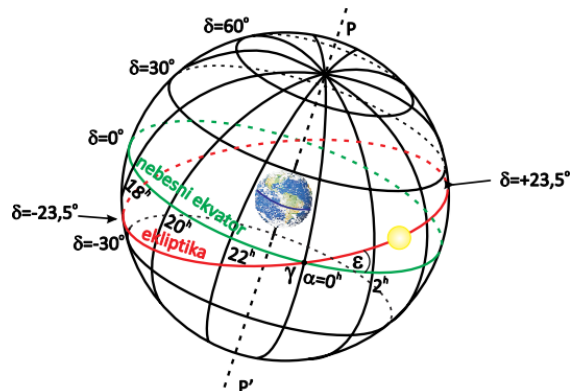
<sup>1</sup> Izraz enakonočje izhaja iz tega, da naj bi bila takrat dan in noč enako dolga, vsak po  $12^h$ . To ne drži povsem iz dveh razlogov. Prvič, začetek (konec) dneva ni takrat, ko vziče (zaide) središče Sončevega diska, ampak definiramo začetek (konec) dneva z vzidom (zaidom) zgornjega roba Sonca. Drugi razlog je atmosferska refrakcija, zaradi katere vidimo Sonce vziti (zaiti) nekaj minut prej (kasneje). Zaradi

na severni polobli je daljši od  $12^h$ , na ekvatorju enak  $12^h$ , na južni polobli pa krajši od  $12^h$ . Ob zgornji kulminaciji je na severni polobli Sonce na višini:  $90^\circ - \varphi + \varepsilon$  (pri nas  $67,5^\circ$ ). Sonce vzhaja na severo-vzhodu in zahaja na severo-zahodu.

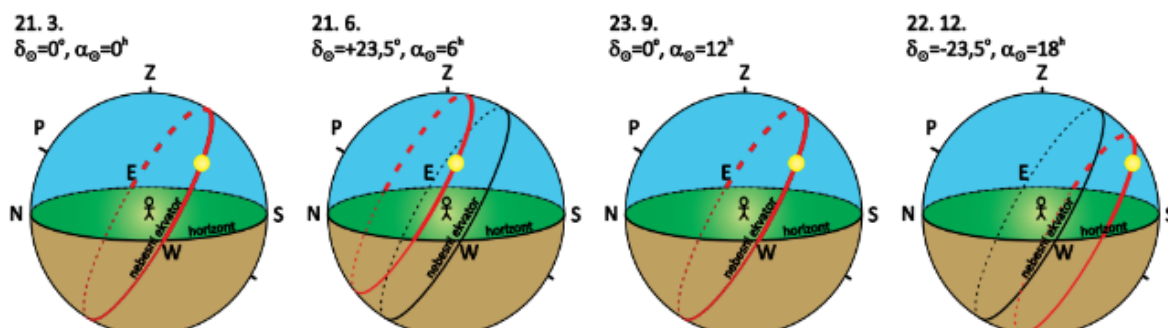
- Po poletnem solsticiju  $\delta_\odot$  pada in doseže ob jesenskem enakonočju (23. 9.) vrednost nič, saj Sonce spet prečka nebesni ekvator:  $\delta_\odot = 0^\circ$ ,  $\alpha_\odot = 12^h$ . Dan je povsod na Zemlji dolg  $\$$
- $12^h$ , Sonce pa na Zemljini severni polobli doseže najvišjo višino  $90^\circ - \varphi$ . Sonce vzhaja točno na vzhodu in zahaja točno na zahodu.
- Po jesenskem enakonočju  $\delta_\odot$  še naprej pada in doseže najnižjo vrednost ob zimskem solsticiju (22. 12.):  $\delta_\odot = -\varepsilon = -23,5^\circ$ ,  $\alpha_\odot = 18^h$ . Dan na severni polobli je krajši, na ekvatorju enak, na južni polobli pa daljši od  $12^h$ . Največja višina Sonca nad obzorjem na Zemljini severni polobli je tega dne enaka  $90^\circ - \varphi - \varepsilon$  (pri nas  $20,5^\circ$ ). Sonce vzhaja na jugo-vzhodu in zahaja na jugo-zahodu.
- Po zimskem solsticiju  $\delta_\odot$  spet narašča in doseže  $\delta_\odot = 0^\circ$  ob pomladnem enakonočju. Takrat je  $\alpha_\odot = 24^h$ , kar je enako polnemu krogu oz.  $0^h$ . Leto je naokrog.



Slika 1: Ekliptika je ravnina, v kateri se Sonce navidezno premika med zvezdami. Na sliki je označena z rdečo črto na nebesni sferi, z zeleno pa je označen nebesni ekvator. Ekliptika poteka skozi ozvezdja živalskega kroga ali zodiaka: Rib, Ove, Bik, Dvojčka, Rak, Lev, Devica, Tehtnica, Škorpiljon, Kačenošec, Strelec, Kozorog in Vodnar.



Slika 2: Rektascenzija in deklinacija Sonca se med letom spreminjata.

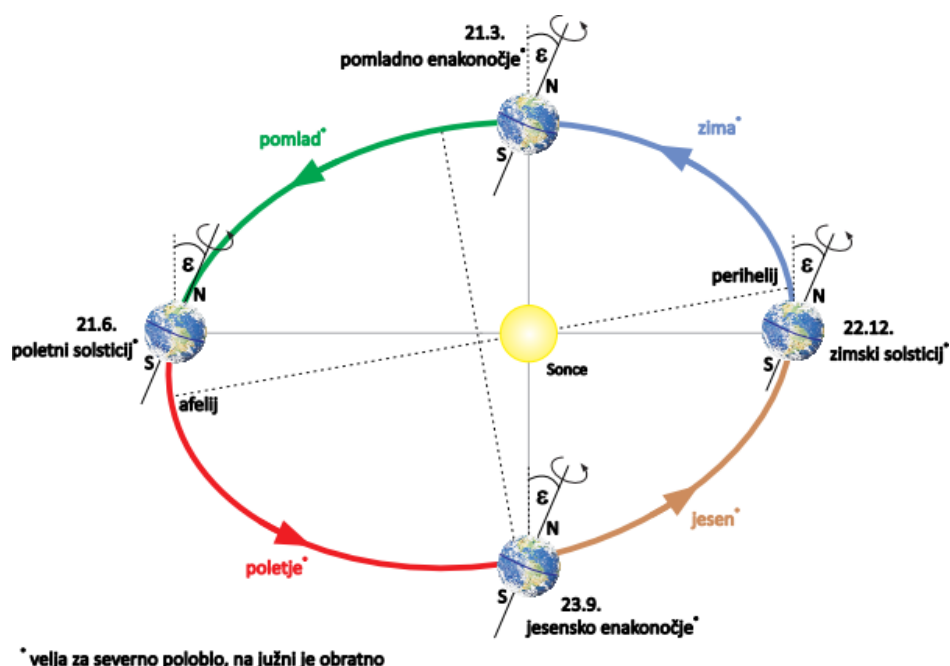


Slika 3: Dnevna pot Sonca po nebu v različnih letnih časih. Sončeva pot je prikazana z rdečo črto; odebeljena rdeča črta označuje del poti, ko je Sonce nad obzorjem. Primerjajmo dolžino loka nad in pod obzorjem v različnih letnih časih: ob enakonočjih, 21.3. in 23.9., sta oba loka enaka ( $12^h$ ) - dan in noč sta enako dolga. Poleti (21.6.) je lok nad obzorjem bistveno daljši od loka pod obzorjem - dan je daljši od noči. Pozimi, 22.12., je obratno. Iz slike lahko razberemo tudi kako se z letnimi časi spreminja največja višina Sonca nad obzorjem in smeri neba, v katerih vzhaja in zahaja.

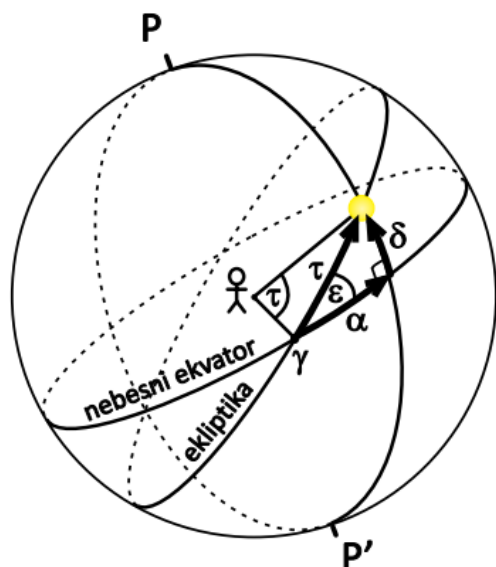
Posledica nagnjenosti Zemljine osi vrtenja glede na pravokotnico na ekliptiko za kot  $\varepsilon = 23^{\circ}27'$  (isti kot je kot med ravnino ekliptike in ravnino Zemljinega ekvatorja) so letni časi (glej sliko 4). Kot smo videli, je posledica tega kota različna višina Sonca nad obzorjem med letom in s tem različna dolžina dneva (slika 3). Ko je Sonce nizko nad obzorjem, njegovi žarki manj grejejo, kot takrat, ko je Sonce visoko nad obzorjem. Poleg tega pa je še dan takrat krajši. Okrog 22. 12. je Sonce na Zemljini severni polobli najnižje nad obzorjem, dan je kratek, na Zemljini južni polobli pa je Sonce najvišje, dan pa dolg - na severni polobli se pričinja zima, na južni pa poletje. Okrog 21. 6. je obratno: Sonce je na severni polobli najvišje, dan je dolg, na južni pa je najnižje, dan je kratek - na severni polobli se pričinja poletje, na južni pa zima.

Nekateri zmotno mislijo, da so letni časi posledica eliptičnosti Zemljinega tira okoli Sonca: da je poletje takrat, ko je Zemlja Soncu najbližje, zima pa takrat, ko je najdalj od njega. To ne drži. Če bi bilo to res, bi imeli vsi kraji na Zemlji istočasno poletje (okrog januarja) in zimo (julija), kar vemo, da ni res.

Poglejmo nekoliko natančneje, kako se  $\alpha_{\odot}$ ,  $\delta_{\odot}$  spreminjata s časom. Če bi bil Zemljin tir okoli Sonca krožnica, bi bila njena hitrost konstantna. V tem primeru bi se tudi Sonce navidezno gibalo z enakomerno hitrostjo po ekliptiki. Označimo kot, ki ga opisuje daljica med središčem nebesne krogle in točko na ekliptiki s  $\tau$ . Če bi se Zemlja gibala enakomerno po krožnici, bi  $\tau$  narastel vsak dan za malo manj kot  $1^{\circ}: 360^{\circ}/365, 25 \text{ dni} = 59'8''/\text{dan}$ .



Slika 4: Zemljina tirnica okoli Sonca in letni časi. Zemljina os vrtenja je nagnjena glede na njeno ravnino gibanja okoli Sonca (ekliptiko) in se med obhodom okoli Sonca ne spreminja. Ko severni del osi kaže proti Soncu, prejema severna polobla več svetlobe, južna pa manj - na severni polobli se začne poletje, na južni pa zima. Trenutku, ko os vrtenja kaže najbolj proti Soncu (med črto, ki povezuje Sonce in Zemljo, in osjo vrtenja je kot  $90^{\circ} - \varepsilon$ ), pravimo poletni solsticij in nastopi 20. ali 21. 6. Približno pol leta kasneje, 21. ali 22. 12., ko severni del osi vrtenja Zemlje kaže najbolj v stran od Sonca (med črto Sonce-Zemlja in osjo vrtenja je kot  $90^{\circ} + \varepsilon$ ), je zimski solsticij. Okrog tega datuma prejema severna polobla najmanj svetlobe, južna pa največ - na severni polobli se začne zima, na južni poletje. V dveh točkah na Zemljini poti okoli Sonca Zemljina os vrtenja ne kaže niti proti niti v stran od Sonca (med črto Sonce-Zemlja in osjo vrtenja je kot  $90^{\circ}$ ): ti točki ležita na nasprotnih straneh Sonca na premici, vzdolž katere se sekata ekliptika in ravnina ekvatorja. V eni točki je Zemlja 20. ali 21. 3., ko imamo pomladni ekvinokcij ali pomladno enakonočje. Okrog tega datuma sta severna in južna polobla enako osvetljeni, na severni se začne pomlad, na južni jesen. Podobno je, ko je Zemlja 22. ali 23. 9. v drugi točki - takrat je jesenski ekvinokcij ali jesensko enakonočje. Na severni polobli se začne jesen, na južni pomlad.



Slika 5: Sonce se giblje po ekliptiki, zato se mu spreminjata rektascenzija in deklinacija.

Vendar pa koordinati  $\alpha_{\odot}$ ,  $\delta_{\odot}$  ne bi naraščali sorazmerno s časom, ker se Sonce giblje po ekliptiki, ki je nagnjena glede na nebesni ekvator za kot  $\varepsilon$ . S pomočjo kosinusnega in sinusnega izreka iz sferne trigonometrije lahko dobimo zvezi (slika 5):

$$\tan \alpha_{\odot} = \cos \varepsilon \tan \tau \quad (1)$$

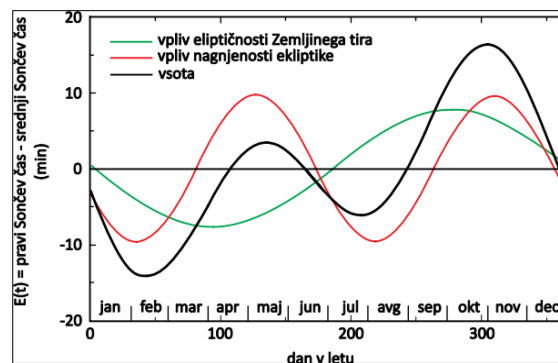
$$\sin \delta_{\odot} = \sin \varepsilon \sin \tau \quad (2)$$

ki nam kažeta, da tudi če bi  $\tau$  naraščal sorazmerno s časom,  $\alpha_{\odot}$  in  $\delta_{\odot}$  ne bi (razen če bi bil naklon ekliptike  $\varepsilon = 0$  - v tem primeru bi bilo:  $\alpha_{\odot} = \tau$ ,  $\delta_{\odot} = 0$ ).

Drugi razlog, zakaj  $\alpha_{\odot}$ ,  $\delta_{\odot}$  nista sorazmerni s časom, je, da Zemljin tir okoli Sonca ni krožnica, pač pa elipsa (z ekscentričnostjo  $e = 0,0167$ ). Iz

2. Keplerjevega zakona o ohranitvi ploščinske hitrosti sledi, da se hitrost Zemlje in s tem navidezna hitrost Sonca spreminjata. Okrog 3. januarja, ko je Zemlja najbližje Soncu, je hitrost največja, okrog 4. julija, ko je najdalj od njega, pa je najmanjša. Enkrat torej Sonce po ekliptiki prehitava, drugič zaostaja za svojim 'povprečnim gibanjem'.

Zaradi teh dveh razlogov (nagnjenost ekliptike, sploščenost tira)  $\alpha_{\odot}$ ,  $\delta_{\odot}$  ne naraščata linearno s časom, ampak je njuna odvisnost bolj zapletena. Nelinearnost  $\alpha_{\odot}$  je pomembna pri merjenju časa glede na Sonce oz. t.i. pravega Sončevega časa (na primer s sončnimi urami). Na sliki (6) vidimo razliko med njim in t.i. srednjim Sončevim časom, ki je povezan s tem, koliko kažejo naše ure. Vidimo, da je okrog 3. novembra pravi Sončev čas pred srednjim za 16 min 33 s (Sonce je na poldnevniku preden naša ura kaže poldne), okrog 12. februarja pa zaostaja za njim za 14 min 6 s (Sonce pride na poldnevnik 'prepozno').



Slika 6: Časovna enačba.

Urednik:

pom. akad. dr. Mitja Slavinec

Strokovni pregled:

pom. akad. dr. Milan Svetec

pom. akad. dr. Mitja Slavinec

pom. akad. dr. Andreja Gomboc

doc. dr. Robert Repnik

Oblikovanje in prelom:

Sabina Bernjak

Tisk:

AIP Praprotnik

Naklada:

250 izvodov

Založnik:

AD Kmica in ZOTKS, Murska Sobota, 2016

zanju: pom. akad. dr. Mitja Slavinec

CIP - Kataložni zapis o publikaciji  
Univerzitetna knjižnica Maribor

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

ASTRONOMI v Kmici : osemnajstič / [urednik Mitja  
Slavinec]. - [Murska Sobota] : AD Kmica : ZOTKS, 2016

250 izv.

ISBN 978-961-92312-6-5 (AD Kmica)

1. Slavinec, Mitja

COBISS.SI-ID 85902081