

# ASTRONOMI V KMICI



**sedemnajstič**

## KAZALO

<b>ASTRONOMIJA V ŠOLAH .....</b>	<b>3</b>
<b>IZDELAVA HELIOSKOPA.....</b>	<b>4</b>
<b>TIRI GIBANJ TELES V BLIŽINI ZEMELJSKEGA POVRŠJA .....</b>	<b>7</b>
<b>OBISK NEKEGA KOMETA .....</b>	<b>10</b>
<b>»KEPLERJEVI ZAKONI« KONIČNEGA NIHALA .....</b>	<b>13</b>
<b>SNOV V NEVTRONSKIH ZVEZDAH .....</b>	<b>16</b>
<b>ČAS IN PROSTOR CARROLLOVE ALICE .....</b>	<b>18</b>
<b>ŠESTO DRŽAVNO TEKMOVANJE IZ ASTRONOMIJE .....</b>	<b>20</b>
<b>ZIMSKI ŠESTKOTNIK.....</b>	<b>21</b>
<b>BIBAVICA .....</b>	<b>23</b>
<b>BARVA ZVEZD.....</b>	<b>26</b>

## ASTRONOMIJA V ŠOLAH

S pričujočo publikacijo: »Astronomi v Kmici sedemnajstič« v Astronomskem društvu Kmica nadaljujemo že 17 letno tradicijo, s katero mladino in drugo zainteresirano javnost na strokoven, pa hkrati dovolj poljuden način, seznanjamo o zanimivostih z različnih področij astronomije.

Tudi letos so vsi prispevki strokovno pregledani. Recenzenti so skrbeli za strokovnost prispevkov, razumljiv jezik in poljudnost, da bodo dosegli kar se da širok krog bralcev. To publikaciji še naprej zagotavlja vlogo zanimivega in koristnega dodatnega branja in učne literature, ki je primerna tako za osnovnošolce, še bolj pa za tiste srednješolce, ki jih zanimajo astronomija, fizika in naravoslovje nasploh.

Članki se nanašajo na nekatere osnovne fizikalne zakonitosti, ki igrajo v vesolju pomembno vlogo. Razlagajo naravne in nebesne pojave, ki jih srečujemo v vsakdanjem življenju. Nekateri pa se tudi poglabljeno dotaknejo zahtevnejših astronomskih vsebin.

Leto 2015 je Mednarodno leto svetlobe, zato ni naključje, da prvi prispevek opisuje možnost izdelave helioskopa s katerim se da varno opazovati Sonce. Nasploh je skrb za varnost eno najpomembnejših poslanstev AD Kmica, kar smo zelo uspešno udeleževali, predvsem pri raznih opazovanjih sončnih mrkov. Eden najbolj aktualnih, je nedvomno članek v katerem Primož Kajdič iz prve roke opisuje obisk sonde na kometu. Gre za pomembno pionirsko odpravo in veseli nas, da so naši člani pri tako pomembnih dogodkih prisotni, še bolj pa, da o tem pišejo tudi v naši publikaciji.

Sledi zanimiv prispevek, v katerem je fizikalni poskus ne le poljudno razložen, temveč tudi vsebinsko zelo lepo povezan z astronomijo in astrofiziko.

Prispevku o razmerah v nevtronskih zvezdah, sledi še skok na področje iz katerega je astronomija v preteklosti pogosto črpala navdih za poimenovanja in klasifikacije.

V Astronomskem društvu Kmica smo smiselno zaokrožili naše letne aktivnosti in uveljavljeno publicistično dejavnost. Na tem mestu izpostavljamo še eno našo tradicionalno publikacijo. Veseli nas, da je astronomski koledar koristen opomnik zanimivih astronomskih dogodkov in priročen vodič pri njihovem opazovanju.

Naše dosedanje sodelovanje z osnovnimi in srednjimi šolami, ki je temeljilo predvsem na organizaciji astronomskih in naravoslovnih večerov, smo nadgradili z razvojem astronomskih pripomočkov in učil. V sodelovanju s podjetjem NtBrog smo razvili stensko zvezdno karto, ki jo bomo ponudili šolam, da jih izobesijo na stene hodnikov ali učilnic, od koder bodo mimoidoče učence ali dijake vabili k ogledu. S tem bomo astronomijo popularizirali na zelo inovativen način, saj jih bo stenska zvezdna karta opozarjala na astronomijo in zvezde okrog nas, hkrati pa se bodo na zanimiv in poljuden način seznanili z osnovnimi zakonitostmi gibanj in vrtenja nebesnih teles.

Z željo po čim več lepih in jasnih noči, primernih za astronomska opazovanja, vam želim prijetno branje.

pom. akad. dr. Mitja Slavinec  
predsednik AD Kmica

## IZDELAVA HELIOSKOPA

*doc. dr. Robert Repnik<sup>1</sup> in Roman Ocvirk<sup>2</sup>*

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

*<sup>2</sup>Osnovna šola Blaža Kocena Ponikva*

### UVOD

Opazovanje Sonca je zelo aktualna dejavnost v poučevanju astronomskih vsebin pri fiziki in izbirnih astronomskih predmetih. Je eno redkih, ki jih izvajamo podnevi - v času običajnega pouka. Pri opazovanju Sonca moramo biti izredno previdni, da ne pride do poškodb oči. Temo so obravnavali že številni avtorji [1], kljub temu smo se na OŠ Blaža Kocena Ponikva odločili sestaviti lastno opazovalno napravo (helioskop), s katero je opazovanje Sonca varno. S prispevkom predstavimo našo idejo o izdelavi lastne opazovalne naprave ter podamo napotke za varno opazovanje Sonca z njo. Slednje bo še posebej aktualno v Mednarodnem letu svetlobe 2015 [2].

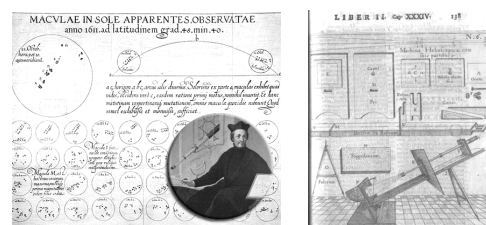
### ZAKAJ HELIOSKOP?

V šolskem letu 2012/2013 smo pri izbirnem predmetu Sonce, Luna in Zemlja posvetili največ časa Soncu. Ker na šoli nimamo naprave za opazovanje Sonca, smo se jo odločili izdelati sami. Po pregledu literature [1] smo ugotovili, da je Sonce najbolj varno opazovati s projekcijo slike Sonca na zaslon.

Izoblikovali smo naslednjo idejo: "Izdelali bomo opazovalno pripravo, ki bo z lečo zbirala žarke na zrcalu in zrcalo nam bo žarke projiciralo na zaslon". Napravo smo poimenovali helioskop, ki je poseben projektor za projiciranje slike Sonca na zaslon in je še posebej primeren za skupinska opazovanja pojavov na Soncu. To je pomembno pri pouku.

### NAČRTOVANJE IN RAZVOJ

Christoph Scheiner, nemški matematik in astronom, je kot Galilejev sodobnik opazoval pojave na Soncu. V ta namen si je na principu projekcije izdelal opazovalno pripravo helioskop [3] (slika 1). Odločili smo se, da na tem zgodovinskem dejstvu gradimo našo idejo.

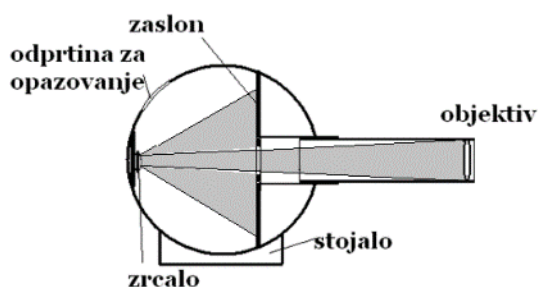


Slika 1: Christoph Scheiner in njegov helioskop.

Učencem smo predstavili idejo o samogradnji helioskopa, jim razložili princip delovanja ter jim dali nalogo narisati več možnih rešitev za izdelavo projektorja – helioskopa. Postavili smo si smernice za izdelavo. Helioskop naj omogoči popolnoma varno opazovanje Sonca, naj bo uporaben za raziskovanje pojavov na Soncu, izdelava naj bo enostavna, izdelan naj bo iz dostopnih materialov (po možnosti recikliranih), rokovanje s helioskopom in njegovo transportiranje naj bo enostavno, stroški izdelave naj bodo čim nižji. O predlogih smo se skupaj pogovorili, risali idejne skice ter skupno izbrali najboljšo rešitev [4].

## IZDELAVA HELIOSKOPA

Helioskop, ki smo ga sestavili in uporabili pri pouku, je bil sestavljen iz treh glavnih delov: optična os, zaslon in ohišje helioskopa (slika 2). Glede na idejne skice smo v nadaljevanju razmišljali o izbiri materialov, s katerimi bi lahko najenostavneje in najceneje izdelali helioskop. Našli smo kar nekaj recikliranih materialov oziroma odpadnih kosov pri različnih obrteh, ki so bili za naš namen uporabni.



Slika 2: Izoblikovana končna verzija skice izdelka.

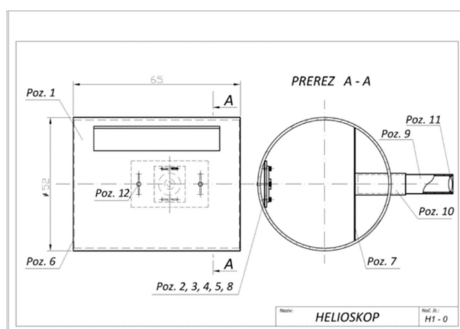
PVC cev  $\Phi 7,5/6,5 \times 37$  cm (odpadni odrezek od instalacijske cevi) smo uporabili za držalo optične cevi, kartonski valj  $\Phi 52/50 \times 65$  cm (krovstvo, odpadni valj na katerem je navita pločevina) nam je služil za telo helioskopa, vezano in iverno ploščo, (mizarstvo, odpadni odrezki) smo uporabili za zaslon in stojalo, kartonski valj  $\Phi 8,5/7,5 \times 30$  cm (fotokopirnica, rola na kateri je navit papir) smo uporabili kot optično cev in laminat (ostanki pri polaganju podov) za pritrditev zrcala.

Glavna optična elementa helioskopa sta vstopna konveksna leča in konveksno zrcalo. Prva zbere sončevo svetlobo na konveksnem zrcalu, ta pa jo odbije na zaslon. Na zaslonu dobimo ostro, povečano in obrnjeno sliko Sonca. Ker je na sredini zaslona odprtina, skozi katero potuje žarek, smo pri opazovanjih zrcalo pomaknili toliko izven geometrijske optične osi, da smo dobili na zaslonu celotno sliko Sonca. To jo pomembno pri določanju vrednosti Wolfovega števila. Zaradi eliptične slike Sonca (slika 3 levo) se pojavi težava pri določevanju koordinat peg, ki jih potrebujemo za izračun rotacije Sonca. To rešimo tako, da žarek središčno centriramo in dobimo sliko Sonca v obliki kroga (slika 3 desno).



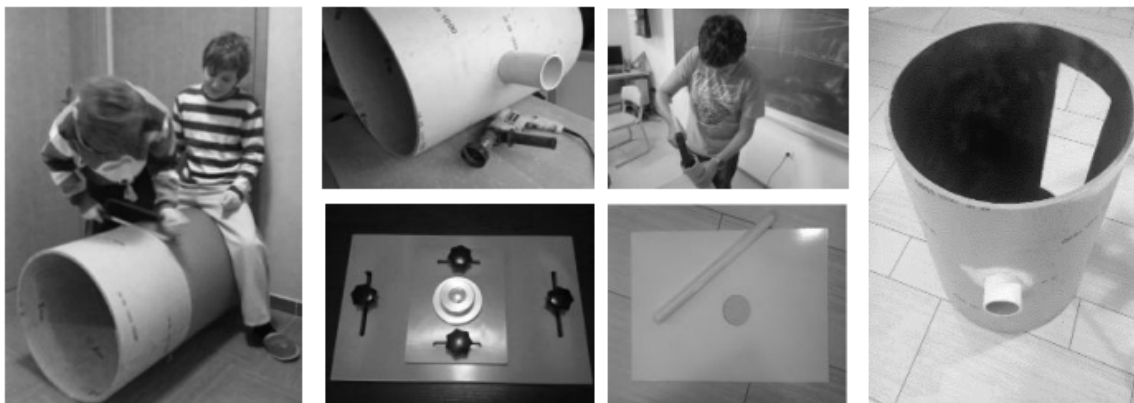
Slika 3: Eliptična in centrična slika Sonca.

Osnova za določitev zunanjih mer helioskopa je bila goriščna razdalja konveksne leče. To smo našli na osnovni šoli med pripomočki za praktično delo in eksperimentiranje, imela je



Slika 4: Sestavna risba s kosovnic.

12	Vijak, krilna matica, podl.	2		M5 x 3
11	Konveksna leča	1		$\Phi 6$ $f = 68$
10	Držalo cevi	1	Kartonski valj	$\Phi 8,5 \times 20$
9	Optična cev	1	Kartonski valj	$\Phi 7,5 \times 37$
8	Razpršilno zrcalo	1		$\Phi 1,8$ $f = -1$
7	Zaslon	1	Vezana plošč.	64 x 44 x 0,3
6	Stranska ploščica	2	Vezana plošč.	$\Phi 49,8 \times 0,3$
5	Nosilec zrcala	1	Laminat	$\Phi 1,8 \times 0,8$
4	Nosilec zrcala	1	Laminat	12 x 12 x 0,8
3	Nosilec zrcala	1	Laminat	30 x 18 x 0,8
2	Vijak, krilna matica, podl.	2		M5 x 4
1	Telo helioskopa	1	Kartonski valj	$\Phi 52 \times 65$
POZ	PREDMET	KOS	GRADIVO	MERE (v cm)



Slika 5: Izdelava helioskopa.

premer 6 cm. Konveksno zrcalo so nam izdelali optiki in je edini del helioskopa, katerega smo morali kupiti. Glede na praktično izmerjeno goriščno razdaljo konveksne leče smo dimenzionirali končne mere helioskopa in narisali načrte za izdelavo (slika 4) [5].

Samo delo je teklo brez večjih zapletov (slika 5). Bolj zahtevne delovne operacije (delo z električnimi orodji) smo v šoli izvedli ob nadzoru mentorja. Praktično delo smo uspešno zaključili ob koncu šolskega leta 2012/2013 in javnosti predstavila Helioskop v kraju Ponikva ob zaključku šolskega leta (slika 6).



Slika 6: Končni izdelek in javna predstavitev ob krajevnem prazniku Ponikva.

### OPAZOVANJE SONCA S HELIOSKOPOM

V šolskem letu 2012/2013 in 2013/2014 smo s pomočjo helioskopa redno spremljali sončevo aktivnost, računali Wolfovo število, risali pege na delovne liste ter določevali rotacijske čase za posamezne heliografske širine. Posebej priročno je, da ima fizikalna učilnica naše osnovne šole neposreden izhod na travnik ob šoli, zato nam postavitve helioskopa pri pouku ni vzela veliko časa (slika 7). Rezultate naših opazovanj smo primerjali z uradnimi rezultati satelita Soho in s pozitivnim presenečenjem ugotovili, da naši ne odstopajo v večji meri. S tem smo potrdili kvaliteto izdelave opazovalne priprave, ki bo tudi bodočim šolskim generacijam omogočila varno opazovanje Sonca.



Slika 7: Učenci pri izbirnem predmetu astronomije spremljajo sončevo aktivnost.

## LITERATURA

[1] Pišek, I. (2003). *Opazovanje Sonca (diplomska naloga)*. Maribor: Pedagoška fakulteta.

[2] <http://www.light2015.org/Home.html> (pridobljeno 2.12.2014)

[3] Priddey, R. (2011). *Zvezdni sel*. Ljubljana: DMFA.

[4] Repnik, R. in Gerlič, I. (2011). *Didaktični vidiki vnašanja sodobnih znanstvenih dognanj v osnovnošolski pouk fizike*. Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko.

[5] Papotnik, A. (1998). *S projektno nalogo do boljšega znanja*. Trzin.

## TIRI GIBANJ TELES V BLIŽINI ZEMELJSKEGA POVRŠJA

*doc. dr. Vladimir Grubelnik*

*Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko*

### UVOD

Pri obravnavi gibanja teles pod vplivom gravitacijske sile, običajno proučujemo tire gibanja nebesnih teles. Že učenci v osnovni šoli vedo, da se kamen, ki ga vržemo, giblje po paraboli, medtem ko so tiri planetov in satelitov krožnice, oziroma elipse. Ob zavedanju, da se tako kamen, kot satelit gibljeta pod vplivom gravitacijske sile, si v nadaljevanju pogledajmo kakšno je ujemanje omenjenih parabolčnih in eliptičnih tirov v bližini zemeljskega površja.

### PRIMERJAVA MED ELIPTIČNIM IN PARABOLIČNIM TIROM

Kot poseben primer gibanja teles v bližini zemeljskega površja, si oglejmo vodoravni met. Primer večkrat obravnavamo na področju izobraževanja, kjer predpostavimo homogeno gravitacijsko polje  $\vec{g} = (0, -g)$  in pokažemo, da je tir gibanja parabola [1]:

$$y = y_0 - \frac{g}{2v_0^2} x^2, \quad (1)$$

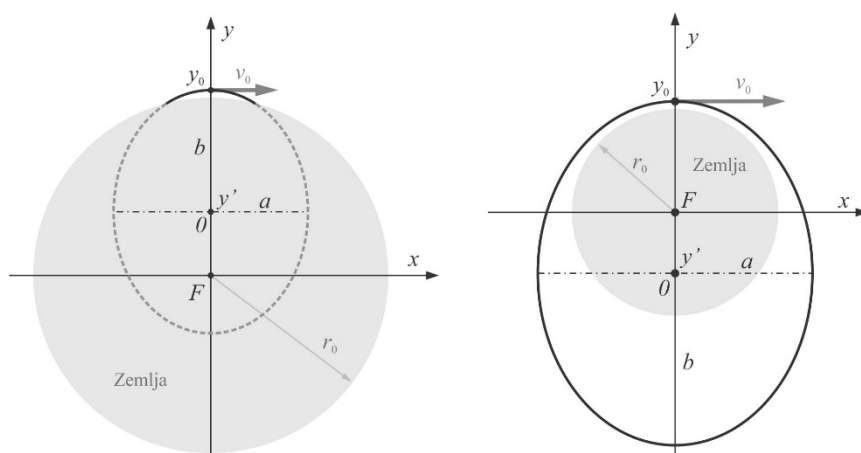
pri čemer je  $y_0$  začetna višina meta in  $v_0$  začetna hitrost, ki je usmerjena v smeri  $x$ -osi.

Ker vemo, da se telesa okoli Zemlje in drugih nebesnih teles v splošnem gibljejo po eliptičnih tirih [1, 2], si oglejmo, kakšno je v tem primeru ujemanje med parabolčnimi in eliptičnimi tiri v bližini zemeljskega površja.

Glede na izbiro začetne lege  $(x(0), y(0)) = (0, y_0)$  in smeri začetne hitrosti  $(v_x(0), v_y(0)) = (v_0, 0)$  imamo opraviti z elipso, katere daljša polos  $b$  je usmerjena v smeri  $y$ -osi, krajša polos  $a$  pa v smeri  $x$ -osi. Če koordinatni sistem postavimo v gorišče elipse  $F = (0, 0)$  in določimo lego središča elipse z  $O = (0, y')$  (slika 1), lahko enačbo elipse zapišemo kot:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{(y - y')^2}{b^2} = 1. \quad (2)$$

Na sliki 1a je prikazan primer gibanja telesa po delu eliptičnega tira, ki je nad zemeljskim površjem. V tem primeru je začetna hitrost manjša od krožilne hitrosti ( $v_0 < v_c$ ), ki jo mora imeti satelit, da se giblje po krožnici, na



Slika 1: Eliptični tir gibanja teles. **a)** Začetna hitrost je manjša od krožilne hitrosti ( $v_0 < v_c$ ). **b)** Začetna hitrost je večja od krožilne hitrosti ( $v_0 > v_c$ ).

določeni višini, nad površjem Zemlje. Slika 1b pa prikazuje primer eliptičnega tira, ko je  $v_0 > v_c$ .

Krožilno hitrost  $v_c$  lahko določimo relativno enostavno s poznavanjem srednješolske fizike. Ob upoštevanju, da je radialni pospešek krožečega satelita  $a_r = v^2/y_0$  enak gravitacijskemu  $g = g_0 (r_0/y_0)^2$ , pri čemer je  $y_0 > r_0$ , dobimo krožilno hitrost satelita:

$$v_c = \sqrt{g y_0} = v_1 \sqrt{r_0/y_0}, \quad (3)$$

ki kroži po radiju  $y_0$ . Pri tem je  $v_1 = \sqrt{g_0 r_0} = 7,9 \text{ km/s}$  krožilna hitrost tik nad površjem Zemlje s polmerom  $r_0 = 6378 \text{ km}$ , kjer je gravitacijski pospešek  $g_0 = 9,8 \text{ m/s}^2$ .

Z namenom primerjave paraboličnega in eliptičnega tira (enačbi 1 in 2) enačbo 2 razvijmo v Taylorjevo vrsto v okolici točke  $(0, y_0)$  ter upoštevajmo prva dva člena razvoja. Če člene v razvoju primerjamo z enačbo parabole (enačba 1), dobimo izraz, ki določa razmerje polosi elipse:

$$\frac{b}{a^2} = \frac{g}{v_0^2}. \quad (4)$$

V primeru, ko je  $a = b = y_0$ , dobimo znan izraz za krožilno hitrost (enačba 3), pri kateri se telo giblje po krožnici s polmerom  $y_0$ .

V splošnem primeru eliptičnega tira pa z upoštevanjem, da je  $y_0 = \begin{cases} b(1+\varepsilon), & v_0 \leq v_c \\ b(1-\varepsilon), & v_0 \geq v_c \end{cases}$  in

ekscentričnost elipse  $\varepsilon = (1 - a^2/b^2)^{1/2}$ , kjer je  $a < b$ , dobimo iz enačbe 4 izraza za velikost polosi elipse:

$$a = y_0 \left( \frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1/2}, \quad (5a)$$

$$b = \frac{y_0}{2} \left( \frac{1}{1-\alpha} \right), \quad (5b)$$

kjer je  $\alpha = (v_0/v_p)^2$ . Pri tem je  $v_p$  tako imenovana parabolična hitrost, ki je potrebna, da telo pobegne gravitacijskemu privlaku Zemlje. V primeru eliptičnih tirov mora torej biti  $v_0 < v_p$  in s tem  $\alpha = (v_0/v_p)^2 < 1$ .

Parabolično hitrost dobimo relativno enostavno ob upoštevanju ohranitve energije  $E = W_{k,0} + W_{p,0} = W_{k,\infty} + W_{p,\infty} = 0$ , pri čemer je začetna kinetična energija telesa  $W_{k,0} = m_1 v_0^2 / 2$  in začetna gravitacijska



potencialna energija  $W_{p,0} = -Gm_1m_2 / y_0$ .

Dobljena parabolična hitrost je:

$$v_p = \sqrt{2Gm_2 / y_0} = \sqrt{2gy_0} = v_{II} \sqrt{r_0 / y_0}, \quad (6)$$

kjer je  $v_{II} = \sqrt{2g_0r_0} = 11,2 \text{ km/s}$  hitrost, ki jo mora imeti telo na zemeljskem površju ( $y_0 = r_0$ ), da pobegne gravitacijski privlačnosti Zemlje.

Ob upoštevanju, da je  $\alpha = (v_0/v_p)^2 < 1$  in  $\alpha \neq (v_c/v_p)^2 = 1/2$ , dobimo iz enačb 5a in 5b pogoj, da je  $a < b$  (glej sliko 1). V primeru, ko je  $\alpha = (v_c/v_p)^2 = 1/2$ , pa dobimo že prej omenjeno gibanje po krožnici ( $a = b = y_0$ ).

Ujemanje paraboličnega in eliptičnega tira je prikazano na sliki 2. Prikazani so rezultati, ki jih za določene začetne pogoje dobimo z enačbo 2 in 5. Za primere II, III, IV in V na sliki 2a vidimo, da se tiri zelo dobro ujemajo, preden telo pade na tla, kljub temu da mečemo iz relativno velike višine ( $h = y_0 - r_0 = 0,01 \cdot r_0 \approx 64 \text{ km}$ ) na relativno velike razdalje.

Iz primerjave rezultatov na sliki 2b, kjer je  $v_0 > v_c$ , pa vidimo, da je prekrivanje parabole in elipse v vse večjem območju, če povečujemo

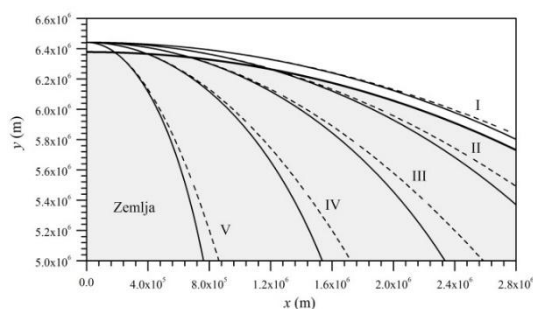
začetno hitrost vse do hitrosti  $v_p$ , ko telo pobegne gravitacijskemu privlaku Zemlje. Če upoštevamo, da je v enačbi 1 hitrost  $v_0 = v_p = \sqrt{2gy_0}$ , dobimo paraboličen tir gibanja:

$$y = y_0 - \frac{1}{4y_0} x^2, \quad (7)$$

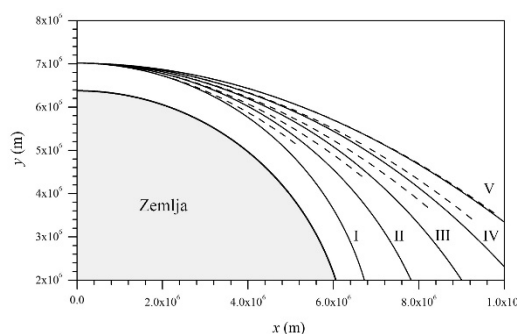
ki se ujema z dejanskim tirom telesa s hitrostjo  $v_p$  [2]. Seveda je potrebno pri tem opozoriti, da enaka oblika tira ne pomeni, da se telo giblje časovno identično kot bi se v primeru vodoravnega meta v homogenem gravitacijskem polju (enačba 1). O tem priča že preprost razmislek, da se pri vodoravnem metu telo giblje pospešeno le v  $y$  smeri, pri gibanju nebesnega telesa po paraboličnem tiru pa imamo pospešeno gibanje v obeh smereh.

## ZAKLJUČEK

Iz rezultatov na sliki 2 lahko vidimo, da pri opazovanju tirov v bližini zemeljskega površja popolnoma upravičeno predpostavimo homogeno gravitacijsko polje in posledično gibanje teles po paraboličnih tirih. Rezultati kažejo, da se za enake začetne pogoje paraboličen in eliptičen tir v bližini zemeljskega površja, zelo dobro ujemata na relativno velikem območju. Pri tem seveda ni odveč, če



a)



b)

Slika 2: Tiri gibanj (polna črta-elipsa, črtkana črta-parabola) za različne začetne pogoje:  $(x(0), y(0)) = (0, r_0 + h)$  in  $(v_x(0), v_y(0)) = (v_0, 0)$ . **a)**  $h = 0,01 \cdot r_0 \approx 64 \text{ km}$ . I)  $v_0 = v_c$ , II)  $v_0 = 0,8 \cdot v_c$ , III)  $v_0 = 0,6 \cdot v_c$ , IV)  $v_0 = 0,4 \cdot v_c$ , V)  $v_0 = 0,2 \cdot v_c$ . **b)**  $h = 0,1 \cdot r_0 \approx 640 \text{ km}$ . I)  $v_0 = v_c$ , II)  $v_0 = 1,1 \cdot v_c$ , III)  $v_0 = 1,2 \cdot v_c$ , IV)  $v_0 = 1,3 \cdot v_c$ , V)  $v_0 = 1,4 \cdot v_c$ .

opozorimo, da ima v bližini zemeljskega površja, pri gibanju znotraj atmosfere, bistven vpliv na tir gibanja tudi zračni upor, ki pa ga v tem primeru nismo obravnavali.

## VIRI

- [1] Kladnik R. *Visokošolska fizika, Mehanski in toplotni pojavi*, DZS, Ljubljana, 1985.
- [2] Kibble T. W. B. *Classical mechanics*, Longman Scientific & Technical, 1993.

## OBISK NEKEGA KOMETA

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

Leto 2014 bo v zgodovino zapisano kot prelomno, saj je človeštvu uspel naslednji velik korak v raziskovanju Osončja. Tokrat glavni akterji niso bili Američani, niti katera od na novo nastalih vesoljskih vesil, kot je na primer Kitajska, temveč mednarodna organizacija, ki združuje evropske države na področju raziskovanja vesolja – Evropska Vesoljska Agencija (European Space Agency, ESA). Gre seveda za pristanek sonde Philae, ki je del misije Rosetta, na kometu 67P/Churyumov-Gerasimenko.

Da vsaj delno dobimo občutek za kako velik dosežek gre, moramo vedeti, da se je ideja za pristanek na kometu prvič porodila pred tridesetimi leti in takrat se je zdelo misija nemogoče. Kometi so, za razliko od lun ter planetov, zelo majhna nebesna telesa, s tipičnimi velikostmi nekaj kilometrov, pretežno pa jih sestavlja voda. Posledica njihove majhnosti je njihov šibek gravitacijski privlak, zaradi česar je slednjega praktično nemogoče izkoristiti za preusmeritev sonde, korekcijo njene tirnice ali celo za pristanek.

Preteklo je dvajset let preden so znanstveniki ter inženirji razvili tehnologijo, ki je omogočila pristanek na kometu. Končno so Rosetta izstrelili 2. marca 2004 in sicer najprej v orbito okoli Sonca. Na poti do nekaj kilometrov velikega kometa je Rosetta prepotovala celih 10 milijard kilometrov. Rosettina pot je bila

izračunana na 30 milimetrov natančno. Sonda Rosetta proti kometu ni pospešila z lastnim gorivom, kar bi bilo predrago, temveč si je pri tem pomagala z gravitacijo Zemlje ter Marsa. Tako se je Zemlji približala kar trikrat, Marsu pa enkrat. Tekom drugega srečanja z Zemljo novembra 2007, jo je na posnetkih neba "odkril" nek astronom, ki je mislil, da gre za asteroid, ki se bo nevarno približal Zemlji. Na svoji poti se je nato Rosetta približala tudi asteroidoma 2867 Šteins (septembra 2008) ter 21 Lutetia (julija 2010). Ob srečanju z vsakim nebesnim telesom je sonda opravljala pomembne znanstvene meritve.

8. junija 2011 so znanstveniki izklopili vse sondine inštrumente, saj je bila Rosetta predaleč od Sonca, da bi lahko zagotavljala dovolj energije za njihovo delovanje. Sonda so iz hibernacije zbudili šele 20. januarja 2014. 6. avgusta se je sonda kometu 67P/Churyumov-Gerasimenko približala na vsega 100 kilometrov, njena relativna hitrost glede na komet pa se je zmanjšala na 1 m/s.

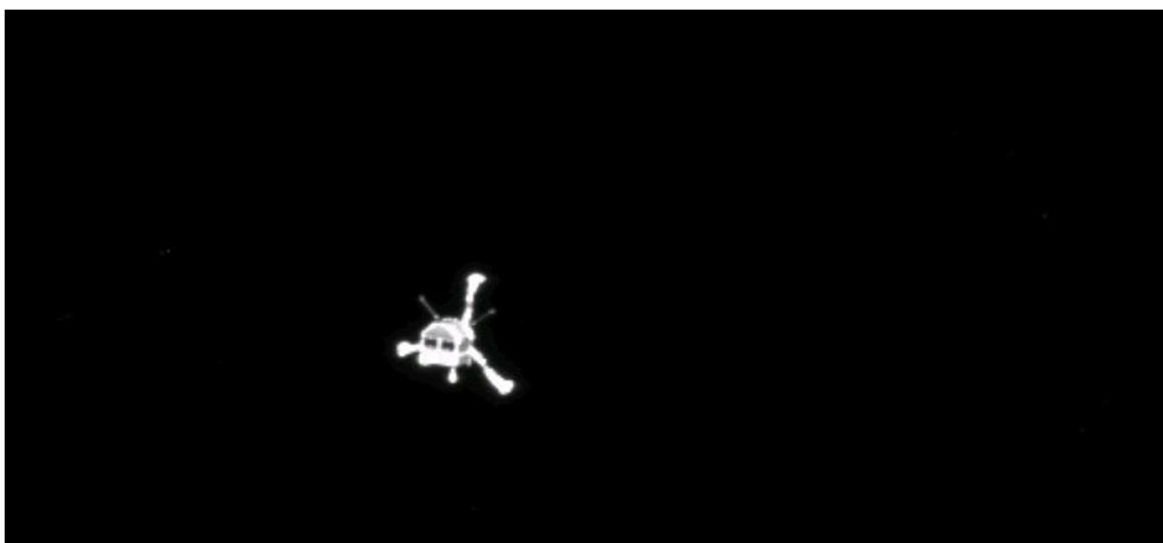
Pot tem datumu je Rosetta snemala površino kometa, saj je bilo potrebno izbrati primeren kraj za pristajanje. Pri tem je bilo treba poskrbeti, da je pristajalna površina dovolj velika, brez večjih skal, kraterjev ali lukenj, kar bi lahko onemogočilo varen pristanek modula Philae, hkrati pa je morala biti osvetljena ravno dovolj, da bi si Philae lahko napolnil baterije ter

zagotovil nemoteno delovanje znanstvenih inštrumentov. 12. novembra se je pristajalni modul odcepil od matičnega satelita, ter pričel sedemurno "padanje" proti kometu. Hitrost padanja je znašala 30 centimetrov na sekundo. Sam pristanek je bil za znanstvenike še en velik izziv. Uspeh pristanka je v veliki meri odvisen od trdote kometovega površja. Prav lahko bi se namreč zgodilo, da bi Philae odbilo od površja, kar bi ga odneslo nazaj v vesolje. Po drugi strani so se znanstveniki bali, da bi površje komet bilo tako mehko, da bi se Philae pogreznil v komet, kar bi mu onemogočilo nadaljnje delovanje. Philae je imel vgrajene kar tri različne mehanizme, ki bi mu omogočili varen pristanek: majhen motor na vrhu bi zagotovil, da se Philae ne bi odbil od kometovega površja, dve harpuni bi naj prikovali sondo na komet, trije vijaki na Phileovih pristajalnih nogah pa naj bi ga še dodatno pritrdili na površje.

Konstrukcija vesoljskih sond je izredno zapletena, zagotoviti, da bodo delovali vsi mehanizmi, pa je praktično nemogoče. Med drugim je to zaradi tega, ker je vsaka sonda unikum, se pravi, da se izdelata samo ena, zato se je včasih zelo težko pripraviti na vse morebitne tehnične težave, ki se lahko pojavijo (in to kljub temu, da znanstveniki vsakič opravijo na

stotine testov še ko je sonda v laboratorijih). Druga težava, ki je prišla do izraza pri misiji Rosetta, pa je ta, da je sonda za pot do komet potrebovala deset let, kar pomeni, da je bilo potrebno zagotoviti, da se v tem času ne pokvarijo razni mehanizmi in inštrumenti. Tako je bilo potrebno zagotoviti delovanje vseh kamer na Rosetti in Philaeu, vseh merilnikov magnetnega polja, plazme ter seveda manevrirnih ter pristajalnih mehanizmov.

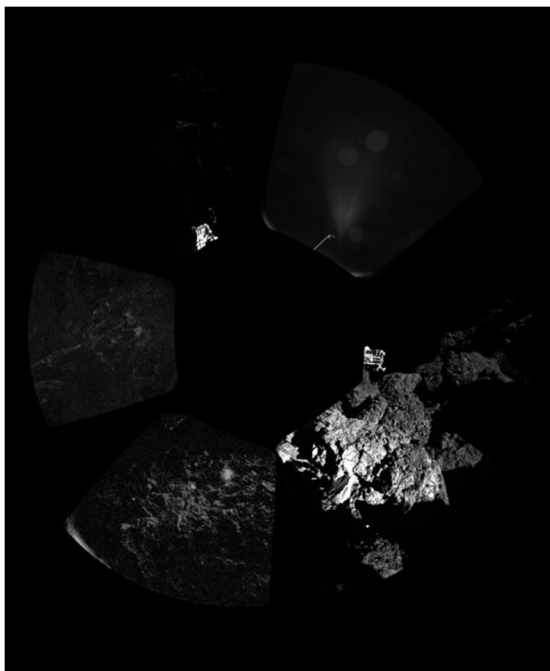
Na žalost so zatajili prav slednji. Philaev motor se ni prižgal, harpune se niso izstrelile, še vedno pa ni jasno, ali vijaki na nogah niso delovali ali pa preprosto niso bili dovolj, da bi modul pritrdili na komet. Philae je tako pristal natančno tam, kjer so znanstveniki želeli, vendar se je od površja odbil, se oddaljil od komet približno en kilometer, nato znova padel nanj ter se potem odbil še nekajkrat. Končno se je zagozdil med skale ob neki steni, kjer je obstal. Kljub vsem težavam je Philae postal prvi umetni satelit, ki je s kometovega površja poslal slike ter znanstvene podatke. Ker je pristal v senci skal, ki so ga obkrožale, Philae trenutno ne more napolniti svojih baterij, zato je opravil samo svojo nominalno misijo – s pomočjo notranjega izvora električne energije je deloval nekako dva dni. Philae je opravil



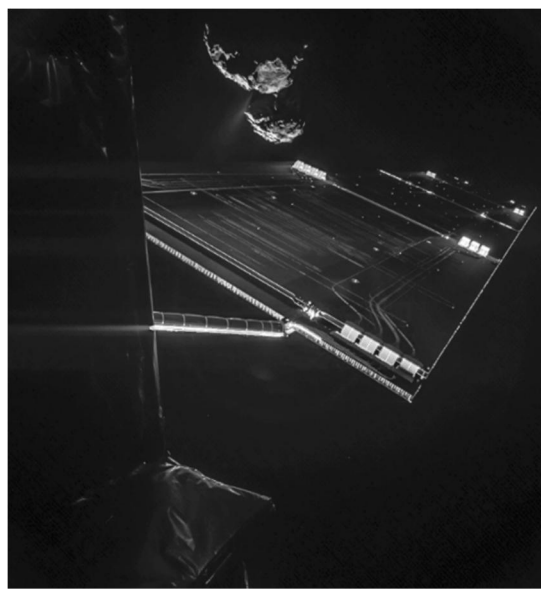
*Slika 1: Pristajalni modul Philae kmalu po tem, ko se je odcepil od matične sonde Rosetta. Vir: Evropska vesoljska agencija.*

veliko testov, med drugim je analiziral kemično sestavo kometovega površja, podatke pa je posredoval orbiterju Rosetta, ki jih je nato poslal znanstvenikom na Zemljo. Trenutno je Philae ugasnjen, čeprav obstaja upanje, da se bo iz hibernacije prebudil, ko bo komet bližje Soncu. Takrat bo namreč narasla jakost sončeve svetlobe, kar bo morda Phileu omogočilo, da bo svoje baterije napolnil v veliko krajšem času. Prav tako bodo kometovi plini ter prah, ustvarili koma, kar pomeni, da bo svetloba, ki bo pristajalni modul dosegla, bolj difuzna, tako da bodo morda na kometovem površju izginile sence, to pa bi lahko Philaeu dodatno omogočilo, da si napolni baterije.

Po drugi strani orbiter Rosetta deluje nemoteno in se pričakuje, da bo tako do decembra 2015, ko se bo končala misija. Tekom tega obdobja, se bo komet 67P/Churyumov-Gerasimenko 13. avgusta 2015 približal Soncu na vsega 1,24 astronomske enote, nato pa se bo oddaljil. Od decembra 2015 bo komet predaleč, da bi Rosetta še lahko dobila dovolj



Slika 3: Prvi panoramski posnetek s kometovega površja. Vir: Evropska vesoljska agencija.



Slika 2: Selfie sode Rosetta, na razdalji 50 km od komete, ki je prav tako viden na fotografiji. Opazni so že curki plinov ter prahi, ki izparevajo s kometovega površja. Vir: Evropska vesoljska agencija.



Slika 4: Komet 67P/Churyumov-Gerasimenko. Črka A označuje kraj pristanka modula Philae, ki so ga poimenovali Agilkia, po otoku na reki Nil. Vir: Evropska vesoljska agencija.

sončeve energije za napajanje svojih inštrumentov.

Tekom celotne misije, bo Rosetta znanstvenikom posredovala podatke, ki bodo pomagali odgovoriti na kar nekaj pomembnih

vprašanj. Kometi so namreč zelo "primitivna" nebesna telesa, ki nosijo informacijo o sestavi Osončja, ko se je le-to še komajda formiralo. Vedenje o zgodnji sestavi Osončja, nam poda informacijo o tem, kako se je osončje pozneje razvijalo. Kometi so tudi nebesna telesa, ki jih sestavlja voda ter kompleksne organske

molekule. Glede na to, da so v preteklosti kometi pogosto padali na Zemljo, je prav mogoče, da so prispevali znaten delež vode, ki se danes nahaja v Zemljinih oceanih. Organske molekule pa so morda celo prispevale k razvoju življenja na našem planetu.

## »KEPLERJEVI ZAKONI« KONIČNEGA NIHALA

*doc. dr. Milan Ambrožič*

*Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko*

### UVOD

Na Pedagoški fakulteti Univerze v Ljubljani sem pred časom videl zabaven in preprost poskus v zvezi z ohranitvijo ploščinske hitrosti v vodoravni ravnini pri eliptičnem kroženju na dolgi vrvi obešene uteži. Študent je pri tej vaji razprostrl na tla veliko polo papirja. Nad njim je potem primerno sunil nitno nihalo, da je med gibanjem nad papirjem opisovalo elipsasto krivuljo. Kot utež na vrvi je uporabil kar spodaj preluknjano majhno posodico s črnimolom.

Luknjica je bila majhna, tako da je črnilo kapljalo skoznjo v razmeroma kratkih (a ne prekratkih) enakomernih časovnih razmikih. Lege teh kapljic na papirju so skupaj s točko pod pritrdiščem vrvice (središče elipse), določale ozke trikotnike. Študent je izračunal ploščine teh trikotnikov in ugotovil njihovo enakost.

Ob tej vaji se takoj spomnimo na drugi Keplerjev zakon o ohranitvi ploščinske hitrosti glede na Sonce pri gibanju planeta po idealnem eliptičnem tiru. Primerjava gibanja koničnega nihala in planetov in ustrezna analogija Keplerjevim zakonom, bi utegnili biti koristna za didaktične namene. A najprej ponovimo Keplerjeve zakone:

1. Planet se giblje po ravninskem eliptičnem tiru in Sonce je v enem od gorišč elipse.
2. Ploščinska hitrost planeta (glede na Sonce v gorišču, ne glede na središče elipse) je konstantna.
3. Pri vseh planetih je količnik kuba velike polosi elipse in kvadrata obhodnega časa enak.

Izpeljava vseh treh Keplerjevih zakonov iz gravitacijskega zakona je zahtevna tudi za visokošolski nivo (Goldstein 1980, Repnik 2004). Pravzaprav je zares zahteven le dokaz, da je tir planeta res elipsa s Soncem v gorišču: izpeljava zahteva uporabo Euler-Lagrangeovih diferencialnih enačb. Drugi zakon (skupaj z ugotovitvijo, da je tir planeta ravninski) je namreč le preprosta posledica ohranitve vektorja tirne vrtilne količine planeta glede na izhodišče v Soncu. To velja zato, ker je navor središčne gravitacijske sile Sonca na planet enak nič. Tretji Keplerjev zakon pa izhaja neposredno iz prvih dveh in iz enačbe za ploščino elipse s polosema  $a$  in  $b$ :  $S = \pi ab$ .

## KONIČNO NIHALO

Pri nitnem nihalu obstajata dve skrajni možnosti gibanja uteži na vrvici. Pri prvi možnosti, ki nas tu ne zanima, gre za navadno nihanje v navpični ravnini in takšno nihalo obravnavamo kot matematično nihalo. Dobro je znano, da je nihanje harmonično (sinusno) samo pri majhnih kotnih amplitudah in da je v tem primeru nihajni čas odvisen le od dolžine vrvice. Pri drugi skrajni možnosti utež kroži po idealni krožnici v vodoravni ravnini, tako da je kot  $\theta$  med vrvico in navpičnico konstanten (slika 1). Pri vmesni možnosti med njima pa je tir gibanja tridimenzionalna (3D) krivulja. Z uporabo Euler-Lagrangeovih diferencialnih enačb se da pokazati, da je dvodimenzionalna (2D) projekcija tega tira na vodoravno ravnino približno (a ne natančno!) elipsa, če so kotni odmiki vrvice od navpičnice razmeroma majhni.

### KONIČNO NIHALO Z IDEALNO KROŽNICO

Dolžina vrvice nihala naj bo  $l$ . Pri enakomernem kroženju s kotno hitrostjo  $\omega$  je pri kotu  $\theta$  polmer krožnice enak razdalji uteži od navpične osi vrtenja:  $R = l \sin \theta$ . Obravnavajmo trikotnik sil na sliki 1: v smeri vrvice je sila vrvice, navpično navzdol teža, njuna rezultanta pa je vodoravna centripetalna sila. Iz trikotnika razberemo:

$$\tan \theta = \frac{F_c}{F_g} = \frac{mR\omega^2}{mg} = \frac{R\omega^2}{g} \quad (1)$$

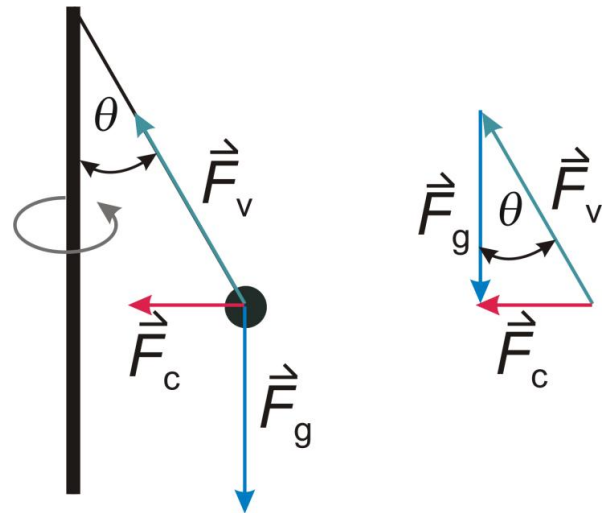
Če v enačbi upoštevamo še  $\tan \theta = \sin \theta / \cos \theta$ , se sinus kota krajša in izpeljemo naslednjo enačbo za kotno hitrost:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l \cos \theta}} \quad (2)$$

Tej kotni hitrosti ustreza obhodni čas:

$$t_0 = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{c}{g}} \quad (3)$$

Pri tem je  $c = l \cos \theta$  razdalja med pritrdiščem vrvice in središčem krožnice.



Slika 1: Sile pri vrtenju koničnega nihala z idealno krožnico.

### KONIČNO NIHALO V SPLOŠNEM

Geometrija nihala je prikazana na sliki 2. Na začetku ne naredimo nobene predpostavke o obliki 3D tira gibanja in njeni 2D projekciji na vodoravno ravnino ( $x, y$ ). Lego te ravnine iz praktičnih razlogov določimo z najnižjo lego uteži (točka B). Tej legi ustreza najkrajša razdalja med utežjo in osjo,  $b = OB$ . Najvišji legi uteži ustreza točka A z največjo razdaljo od osi vrtenja  $a = OA$ . Os  $x$  naj bo vzporedna z daljico  $OA$ , os  $y$  pa vsebuje daljico  $OB$ ; os  $z$  gre potem po osi vrtenja. Višinsko razliko med točkama A in B označimo s  $h = AB$ , višinsko razliko med pritrdiščem vrvice  $P$  in točko  $O$  pa označimo s  $c$ , kot smo naredili v primeru idealnega krožnega tira uteži. Zvezo med višinsko razliko  $h$ , razdaljama  $a$  in  $b$  ter dolžino vrvice ugotovimo s Pitagorovim izrekom. Velja:  $l^2 = c^2 + b^2 = (c - h)^2 + a^2$ , zato lahko izrazimo dolžini  $c$  in  $h$ :

$$c = \sqrt{l^2 - b^2} \quad (4)$$

$$h = \sqrt{l^2 - b^2} - \sqrt{l^2 - a^2} \quad (5)$$

Naprej si pomagamo s konceptoma energije in vrtilne količine. Zanimata nas ekstremni

vrednosti hitrosti  $v_A$  (najmanjša hitrost) in  $v_B$  (največja hitrost) v točkah A in B. Ker sta v teh točkah maksimum in minimum višine tira, je tam navpična komponenta vektorja hitrosti enaka nič. Vektorja hitrosti v točkah A in B sta torej vodoravna, hkrati pa tudi pravokotna na zveznici XA in OB. Oglejmo si navor sile vrvice na utež in sile teže nanjo, glede na središče krivulje O (izhodišče koordinatnega sistema). Ker je navor kot vektor pravokoten tako na silo kot na njeno ročico, leži navor obeh omenjenih sil na utež v vodoravni smeri. To pa pomeni, da nima navpične ( $z$ ) komponente. Navpična komponenta tirne vrtilne količine uteži glede na os O se torej ohranja, kar ustreza konstantni ploščinski hitrosti projekcije gibanja telesa na ravnino ( $x, y$ ). Različica drugega Keplerjevega zakona za konično nihalo in z njo poskus na Pedagoški fakulteti sta tako razložena. Ta se od »astronomskega« Keplerjevega zakona razlikuje po tem, da gre za ploščinsko hitrost glede na središče krivulje (v približku elipse) in ne glede na gorišče elipse. Ploščinsko hitrost lahko preprosto izrazimo s hitrostma  $v_A$  in  $v_B$ :

$$\mu = \frac{dS}{dt} = \frac{1}{2}av_A = \frac{1}{2}bv_B \quad (6)$$

Hkrati pa zaradi ohranitve vsote kinetične in potencialne energije uteži velja:

$$v_A^2 + 2gh = v_B^2 \quad (7)$$

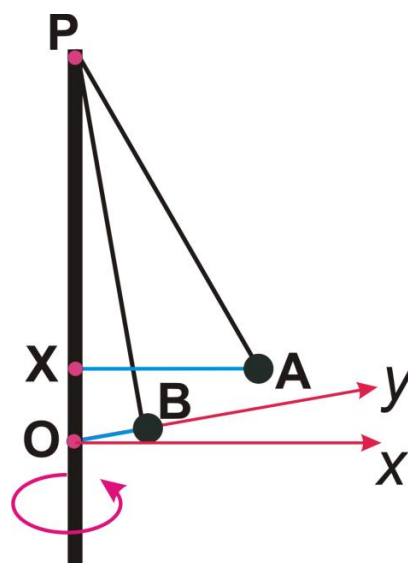
Iz enačb (6) in (7) izračunamo obe hitrosti:

$$v_A = b\sqrt{\frac{2gh}{a^2 - b^2}} \quad (8 \text{ a})$$

$$v_B = a\sqrt{\frac{2gh}{a^2 - b^2}} \quad (8 \text{ b})$$

Ploščinska hitrost nihala glede na ravnino ( $x, y$ ) je:

$$\mu = \frac{ab}{2} \cdot \sqrt{\frac{2gh}{a^2 - b^2}} \quad (9)$$



Slika 2: Gibanje koničnega nihala v splošnem.

### KONIČNO NIHALO S PRIBLIŽNO ELIPSO

Pri majhnih kotih vrvice glede na navpičnico so dolžine  $a, b$  in  $h$  veliko manjše od dolžine vrvice  $l$ . Zato lahko zgoraj izpeljane enačbe nekoliko poenostavimo, upoštevamo pa še, da je projekcija tira gibanja uteži na vodoravno ravnico elipsa s polosema  $a$  in  $b$  ter ploščino  $S = \pi ab$ . Najprej poenostavimo enačbo (5) za višinsko razliko  $h$ , tako da korensko funkcijo razvijemo do drugega člena:

$$h = l \left[ \sqrt{1 - (b/l)^2} - \sqrt{1 - (a/l)^2} \right]$$

$$h \approx l \left[ \left( 1 - \frac{1}{2}(b/l)^2 \right) - \left( 1 - \frac{1}{2}(a/l)^2 \right) \right] = \frac{a^2 - b^2}{2l}$$

Tedaj se poenostavita tudi enačbi (8) za ekstremni hitrosti:

$$v_A \approx b\sqrt{\frac{g}{l}} \equiv b\omega_{nih} \quad (10 \text{ a})$$

$$v_B \approx a\sqrt{\frac{g}{l}} \equiv a\omega_{nih} \quad (10 \text{ b})$$

kjer je  $\omega_{nih}$  krožna frekvenca nihanja matematičnega nihala pri majhnih kotnih amplitudah. Ploščinska hitrost nihala je:

$$\mu \approx \frac{ab}{2} \cdot \omega_{\text{nih}} \quad (11)$$

obhodni čas pa je neodvisen od razmerja polosi:

$$t_0 = \frac{S}{\mu} \approx \frac{\pi ab}{ab\omega_{\text{nih}}/2} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (12)$$

Kot je bilo pričakovati, se ta čas ujema z nihajnim časom matematičnega nihala. Če pri majhnih kotih  $\theta$  vzamemo še približek  $c \approx l$ , se seveda ujema tudi enačbi (3) in (12). Enačbo (12) zaradi primerjave s tretjim Keplerjevim zakonom zgoraj zapišemo še takole:  $l/t_0^2 = \text{konst.}$  Zapišimo torej analogne »Keplerjeve zakone« za konično nihalo pri majhnih kotih:

1. Utež koničnega nihala se giblje približno po ravninskem eliptičnem tiru.
2. Ploščinska hitrost uteži glede na središče elipse je konstantna.
3. Pri vseh nihalih je količnik dolžine vrvice in kvadrata obhodnega časa približno enak.

#### SKLEP

Primerjava zakonov gibanja planetov okrog Sonca in gibanja koničnega nihala je didaktično zanimiva. Podobnosti med zakoni izvirajo le

deloma iz tega, da gre v obeh primerih za gravitacijsko silo, saj jo med nebesnimi telesi obravnavamo drugače kot težo, s katero Zemlja privlači predmete na njenem površju. Razen tega na utež pri koničnem nihalu, poleg teže, deluje tudi sila vrvice in zato povzroča značilno gibanje nihala njuna rezultanta. Podobno zapisani »Keplerjevi zakoni« za oba fizikalna sistema so bolj posledica skupnega koncepta o ohranitvi energije in vrtilne količine (oziroma ene od njenih komponent pri koničnem nihalu).

#### VIRI

- [1] Goldstein, H. (1980) *Classical mechanics*, Addison-Wesley, Boston, ZDA.
- [2] Moore, P. (1999) *Atlas vesolja*, Mladinska knjiga, Ljubljana.
- [3] Repnik, R. (2004) *Keplerjevi zakoni*, Seminarska naloga (mentor Drago Bajc), Maribor; dostopno na: <http://fizika.pfmb.uni-mb.si/observatorij/projekti/virtualnasola/sola/kepler/kepler.htm>.
- [4] Rigutti, M. (1996) *Astronomija – Naravoslovni atlas*, Mladinska knjiga, Ljubljana.
- [5] Wikipedia, Johannes Kepler, dostopno na: [http://sl.wikipedia.org/wiki/Johannes\\_Kepler](http://sl.wikipedia.org/wiki/Johannes_Kepler).

## SNOV V NEVTRONSKIH ZVEZDAH

*pom. akad. dr. Milan Svetec*

*RRA Mura*

Nevtronske zvezde nastanejo, ko masivna zvezda porabi svoje notranje »gorivo« in se konča zlivanje atomskih jeder. Osrednji del zvezde se tedaj sesede v nevtronsko zvezdo. Istočasno pa zvezda »odvrže« zunanji del (ovojnico) in zasveti kot supernova.

Nevtronske zvezde so najgostejši poznani objekti na nebu. Zanimivo vprašanje je, kako je

strukturirana materija znotraj nevtronskih zvezd, da se lahko upira gravitaciji, saj nevtronska zvezda lahko (pre)živi celo na robu dogodkovnega horizonta črne luknje. Teoretični modeli, ki napovedujejo strukturo materije so odvisni od tega, kakšna je maksimalna masa nevtronske zvezde.



Večina znanih nevtronskih zvezd ima približno 1,4 Sončnih mas in polmer do 15 km. V zadnjih letih sta bili odkriti nevtronski zvezdi z maso okrog dveh mas Sonca. Če bodo odkrili masivna telesa tja do 2,4 mase Sonca, bo to sprožilo teoretične napovedi obstoja zelo eksotične materije v notranjosti nevtronskih zvezd.

Pod površjem nevtronskih zvezd se gravitacijski tlak zelo hitro povečuje in so zato atomska jedra zelo blizu skupaj. Za nevtronske zvezde z maso med eno in dvema masama Sonca in polmerom do 15 km, so srednje gostote med  $10^{14}$  in  $10^{15}$  g/cm<sup>3</sup>. Samo ena čajna žlička take materije bi tehtala toliko kot milijon vlakovnih kompozicij. Če primerjamo to gostoto z gostoto nukleonov, nevtronov in protonov v atomskem jedru, ki je enaka  $3 \cdot 10^{14}$  g/cm<sup>3</sup>, dobimo prvi približek strukture za nevtronsko zvezdo. Predstavljamo si jo lahko kot zelo veliko atomsko jedro v katerem dominirajo nevtroni. Nevtronsko zvezdo lahko v grobem razdelimo na dve območji: na skorjo in na jedro. Navadno ločimo še med zunanjo in notranjo skorjo, včasih pa tudi med zunanjim in notranjim jedrom. Podrobnosti lastnosti snovi v tipični

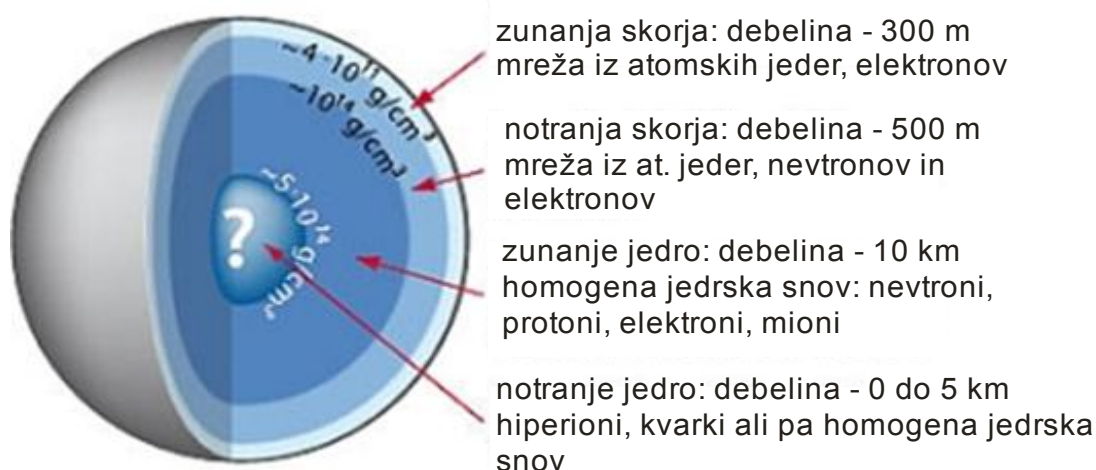
nevtronski zvezdi se dajo določiti do globine približno 200 m.

Za poznavanje globljih struktur, se moramo trenutno naslanjati na teoretične modele. Slednji so tem manj zanesljivi, čim globlje gremo.

V zunanji skorji tvorijo atomska jedra kristalno mrežo, ki jo obdaja plin prostih elektronov. Tukaj je snov podobna kovini. Zaradi tlaka, ki ga povzroča gravitacija, se protoni in elektroni v notranji skorji združujejo v nevtrone. Ti nevtroni se združujejo z atomskimi jedri v vedno bolj eksotične strukture. V končni fazi ti nevtroni ne najdejo atomskih jeter, s katerimi bi se lahko združili, zato tvorijo prost nevtronski plin v okolici jeter.

V tej točki je meja med zunanjo in notranjo skorjo. Atomska jedra se lahko povežejo v dolge, špagetom podobne, strukture, ki nato tvorijo lazanji podobne ploščate plasti znotraj nevtronskega in elektronskega plina. A so te strukture zaenkrat samo še teoretične napovedi.

Še globlje postane gravitacijski tlak tako velik, da po teoretičnih napovedih, nastane enotna



Slika 1: Zgradba nevtronskih zvezd s štirimi najpomembnejšimi plastmi, katerih debelina in sestava je prikazana na sliki. Podatki o gostoti se nanašajo na prehode med plastmi.

kvantna tekočina v katero se spremenijo jedrske strukture, ki so temu tlaku izpostavljene. V tej kvantni tekočini dominirajo nevtroni, čeprav lahko vmes najdemo še kakšen elektron in proton. Zaradi velikega tlaka je energijsko možno, da se elektroni spremenijo v mione, ki so nekoliko težji.

Za ekstremno visoke gostote (nad  $5 \cdot 10^{14} \text{ g/cm}^3$ ) obstaja množica teoretičnih modelov. To pomeni, da si znanstveniki niso enotni kakšna struktura snovi naj bi takrat obstajala. Pri nekaterih modelih obstaja notranje jedro. Od zunanega jedra bi se naj ločilo po tem, da poleg

nevtronov, protonov, elektronov in mionov, v njem nastopajo tudi eksotični delci. To bi lahko bili hiperioni, ki se od običajnih barionov, kot so nevtroni in protoni, ločijo po sestavi kvarkov. Druge teorije govorijo celo o prostih kvarkih, o tako imenovani kvarkovski snovi.

#### LITERATURA

[1] M. Hempel, Phys. *Unserer Zeit* 45, 12 (2014); DOI: 10.1002/piuz.201301352.

## ČAS IN PROSTOR CARROLLOVE ALICE

Andreja Časar  
AD Kmica

*Univerzumu, ki je sistem vseh sistemov ali nenormalna množica, ni mogoče pripisati nobene sedanjosti.* (Gilles Deleuze)

Ob besedni zvezi prostor-čas pomislimo na Einsteinovo splošno teorijo relativnosti, iz katere sledi kar nekaj idej, recimo da je gravitacija posledica deformacij prostora-časa, da čas v gravitacijskem polju teče počasneje itd. (Dolenc, 2000). Vendarle ideja prostora-časa vznikne tudi izven meja fizike. Dalekovidni Lewis Carroll je v svojem literarnem delu deklico Alico postavil v neobičajen prostor-čas ter spodbudil nešteto znanstvenih analiz svoje mojstrovine.

Charles Lutwidge Dodgson ali z umetniškim imenom Lewis Carroll je bil najverjetneje eden od najbolj zagonetnih ljudi in ustvarjalcev nonsensa (literarni pojav in žanr). Lahko bi rekli, da je imel možnost živeti dvojno življenje. Bil je profesor, matematik in znanstvenik, in bil je igrivi pisec prav posebnih leposlovnih del.

Njegova *Alica iz čudežne dežele* ne zaobide nobenega literarnega sladokusca kot tudi ne literarnega nepoznavalca.

Zgodba o *Alici v čudežni deželi* se prične nekega sončnega dne, ko zdolgočasena Alica postaja vedno bolj in bolj zaspala. Nenadoma na travniku pred seboj zagleda govorečega zajca, ki se mu nekam silno mudi. Zasleduje ga in se za njim celo spusti v zajčjo luknjo. Skoznjo pada zelo dolgo, ponavljajoč besedo »dol«. Aličino padanje, ki ni v skladu s pravili prostega pada, nas že na začetku vpelje v razvrstitev normalnega prostora-časa, ki ga poznamo in živimo.

Zohar Shavit (V Simoniti, 1997, str. 96) pravi, da je občutek trajnega padanja posledica Carrollove specifične obravnave časa in prostora. Carroll ustvari občutek počasi minevajočega časa, ko združi kategoriji časa in prostora. Tako je čas opisan s sredstvi prostora, prostor pa se od naše običajnosti odmika k

metonimičnim prehodom iz enega prostora v drugega.

Alica se po zasledovanju zajca znajde v podzemnem hodniku z nešteto vrati. Najde ključek, ki odklepa ena izmed vrat. Prevelika je, zato ne more zlesti skozi vrata. Na mizi zagleda stekleničko, popije iz stekleničke in se zmanjša. Sedaj se lahko poda skozi vrata, a je premajhna, da bi dosegla mizo, na kateri je ključ, ki odpira vrata. Poje košček piškota, kar jo zopet poveča, tako pride do ključa, seveda pa s takšno velikostjo ne more skozi vrata. Alica torej konstantno pije in je vse, kar najde na svoji poti. S tem se ji spreminja velikost, in sicer v skladu s ciklično miselnostjo mitičnega časa, ki v vsakem trenutku lahko priključuje že minulo. Tako je včeraj že jutri, oddaljevanje je obenem približevanje in večje je hkrati že manjše. Deleuze (1998, str. 14) se ustavlja ob sprevrčanju med Aličino rastjo in pomanjšanjem. Sluti, prav tako Alica, da gre za enakost ali kar hkratnost obeh smeri, zato bo protagonistka ostala enaka le še v nekakšnem optičnem triku. A vendarle, tako pravi Deleuze (str. 13), Alica ni hkrati večja in manjša, ampak to hkrati postaja: je večja, kot je bila prej, in obenem manjša v primerjavi s tem, kar postaja. Posledica takšne hkratnosti ali sočasnosti je, da se izmakne sedanjosti. A z izmikanjem sedanjosti se postajanje izogne razločevanju na preteklost in na prihodnost. Paradoks takega postajanja je »neskončna enakost dveh smeri hkrati, preteklega in prihodnjega, včeraj in jutri, več in manj, preveč in premalo, dejavnega in trpnega, vzroka in učinka« (str. 14).

Naslov nadaljevanja Aličine dogodivščine, *V ogledalu*, je simboličen in predstavlja mejo med običajnim in paralelnim svetom. Alica izza ogledala pričaka svet otroške domišljije, ki je soroden z logiko nonsensa. Že od padca v čudežno deželo je Alica postavljena v neobičajen svet, ki ga obvladuje nora logika. Ni vajena tega neobičajnega prostora kot tudi v



Slika 1: Lewis Carol.

tem novem prostoru niso vajeni otrok, kar apelira na viktorsko zadržanost do omenjenih.

Deleuze (1989, str. 11) pravi, da delo Lewisa Carrolla vsebuje neki kaotični univerzum. Temu univerzumu pa, »ki je sistem vseh sistemov ali nenormalna množica, ni mogoče pripisati nobene sedanjosti« (prav tam, str. 81). Gre za kaotičen sistem, v katerem je vzpostavljen red nonsensne logike, ki obvladuje jezik, čas in prostor. Red, ki v protagonistkini identiteti vzpostavi nered. Obenem pa odpira vedno nova vprašanja o tem, kdo smo (opazovalci ali opazovani, celi ali razkropljeni), kje smo (tukaj ali tamkaj) in kdaj pravzaprav smo v tistem trenutku (prej ali potem).

#### VIR

[1] Carroll, L. (1990). *Aličine dogodivščine v čudežni deželi in V ogledalu*. Ljubljana: Mladinska knjiga.

#### LITERATURA

[1] Deleuze, G. (1998). *Logika smisla*. Ljubljana: Krtina.

[2] Dolenc, S. (2000). *Prostor-čas in gravitacija: uvod v splošno teorijo relativnosti*. Kvarkadabra. Pridobljeno 4. 3. 2015 s <http://www.kvarkadabra.net/relativnost-splosna>.

[3] Simoniti, B. (1997). *Nonsens*. Ljubljana: Karantanija.

**SLIKA:**

[1] *Lewis Carroll Age 23*. Wikimedia Commons. (2015). Pridobljeno 4. 3. 2015 s [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lewis\\_Carroll\\_Age\\_23.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lewis_Carroll_Age_23.jpg).

## 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 10.1.2015 šesto državno tekmovanje iz astronomije, ki je potekalo hkrati na treh lokacijah po državi. V Murski Soboti je naloge reševalo 129 osnovnošolcev in srednješolcev, ki so se pred mesecem dni najbolje izkazali na kvalifikacijskih šolskih tekmovanjih. Tekmovalce in njihove mentorje sta nagovorila ravnatelj Roman Činč in podpredsednik AD Kmice dr. Renato Lukač. Oba sta govorila o majhnosti Zemlje v Vesolju, na kar se je navezal tudi predstavnik organizatorja DMFA Andrej Guštin, ki je z nekaj kratkimi vprašanji tekmovalcem pokazal, kako dobro znajo oceniti velikostne razrede razdalj. Tekmovalci so imeli za reševanje nalog na razpolago 120 minut. Podobno kot prejšnja leta, so bile tudi letos naloge za srednješolce razdeljene na dva sklopa. Sklop A je sestavljalo 10 nalog izbirnega tipa s štirimi možnimi odgovori. Za pravega je tekmovalec prejel 2 točki, za napačnega pa mu je bila odbita točka. Vsak tekmovalec je prejel na začetku 10 točk z namenom, da ne bi bilo na koncu število točk negativno. Dijakom je povzročala največ preglavic naloga A2.

»A2. Eden od načinov označevanja zvezd v posameznem ozvezdju je z grškimi črkami. Navadno je najsvetlejša zvezda v ozvezdju

označena z alfa, šibkejše pa po grški abecedi padajoče. Takemu označevanju zvezd pravimo: (A) grško; (B) Flamsteedovo; (C) Bayerjevo; (D) astronomsko.«

Pravilen odgovor (C) je zaokrožila le petina tekmovalcev, več kot polovica pa na to vprašanje sploh ni odgovorila. Največ napačnih odgovorov je bilo pri vprašanih A3 in A4.

»A3. Pred vzidom Sonca nad vzhodnim obzorjem je v jutranji zarji vidna Venera. V kakšni legi je Venera glede na Sonce?

(A) V zahodni elongaciji. (B) V vzhodni elongaciji. (C) V južni elongaciji. (D) V severni elongaciji.«



*Slika 1: Začetek reševanja nalog v fizikalni učilnici (Foto: Renato Lukač).*

Na to vprašanje je pravilen odgovor (A) zaokrožilo samo 2/5 tekmovalcev, malo manj pa jih je mimo udarilo z odgovorom (B).

»A4. Območje Sončeve atmosfere z najvišjo temperaturo je (A) Sončeva pega; (B) fotosfera; (C) kromosfera; (D) korona.«

Tudi na to vprašanje je bilo danih precej napačnih odgovorov, vendar so bili porazdeljeni čez vse tri napačne odgovore, pravilen odgovor (D) pa dala skoraj polovica tekmovalcev.

Sklop B so sestavljale štiri naloge, s katerimi je tekmovalec lahko osvojil največ 32 točk. Prva naloga ni delala večjih preglavic. Zastavljala je štiri probleme, ki jih je bilo treba rešiti s pomočjo zvezdne karte. Vsak pravilno rešen problem je prinašal dve točki, skupaj torej osem točk. Druga naloga je bila po točkah najbolj obsežna, saj je prinašala do 10 točk, nanašala pa se je na obravnavo opozicije Marsa. Tretja naloga je spraševala po času, ki ga je komet West porabil od Oortovega oblaka do perihelija in je bila ovrednotena s šestimi točkami. Zadnja naloga za osem točk je odprla

problem določitve razmerja polmerov dveh zvezd s približno enake razdalje z znanima efektivnima temperaturama in razliko v siju. Nobena izmed nalog iz sklopa B ni po zahtevnosti posebej izstopala.

Med srednješolci nas je spet razveselil Darko Kolar s šestim mestom, s čimer si je prislužil zlato priznanje in tretjo nagrado. Darko se je udeležil priprav na kvalifikacije za olimpijsko astronomsko ekipo in se uspešno kvalificiral na olimpijado iz astronomije, ki bo letos potekala med 26. julijem in 4. avgustom v Indonezijskem mestu Semarang.

Med osmošolci je prejel zlato priznanje Leon Jerebic (OŠ Turnišče), med devetošolci pa je bila Miša Zemljič (OŠ Gornja Radgona) odlična druga, tudi druga nagrada in zlato priznanje. V isti skupini sta osvojili zlato priznanje še Sara Baghrizabehi (OŠ Gornja Radgona) in Tanja Holc (OŠ Gornja Radgona).

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

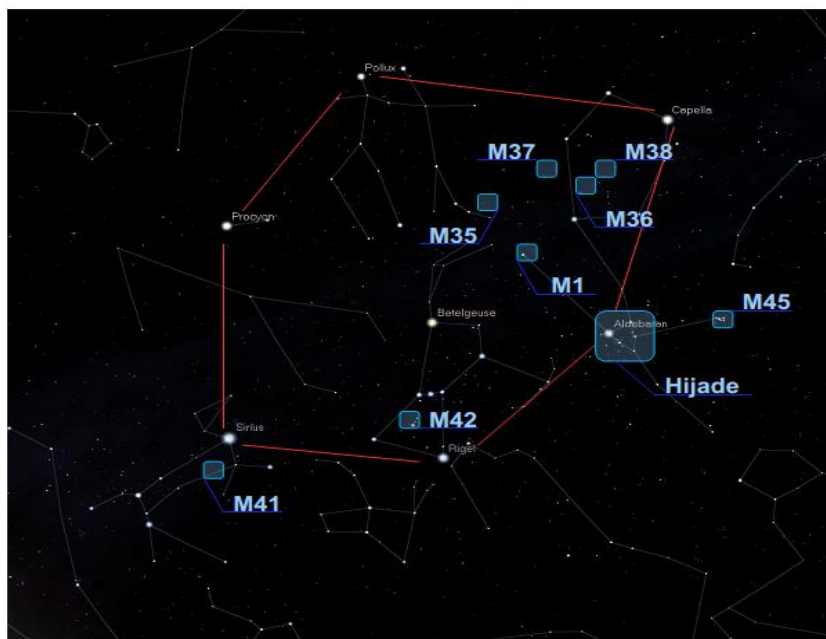
## ZIMSKI ŠESTKOTNIK

*Darko Kolar*

*Gimnazija Murska Sobota*

Zima je zagotovo najprimernejši čas za opazovanje nočnega neba in zanimivosti, ki nam jih le to ponuja. Poleg tega, da je v teh mrzlih nočeh nebo izredno mirno in jasno ter brez motenj v ozračju, ki nam lahko zelo pokvarijo opazovanje, je na določenem delu neba vidnih kar 8 zvezd, ki sodijo med 23 najsvetlejših zvezd, vidnih s prostim očesom. In sicer: Sirij (Veliki pes), Prokijon (Mali pes), Poluks in Kastor (Dvojčka), Kapela (Voznik),

Aldebaran (Bik) ter Betelgeza in Rigel (Orion). Slednje zvezde (brez Kastorja in Betelgeze) pa so tudi del asterizma (zvezde povezane v določeno obliko, znotraj enega ozvezdja ali iz več različnih ozvezdij) – zimskega šestkotnika. Poleg izredno svetlih zvezd, pa nam lahko ta asterizem, podobno kot poletni trikotnik, ponudi nekatere izmed najlepših meglic in ostalih



Slika 1: Zimski šestkotnik.

Messierjevih objektov, saj skozenj teče lok Rimske ceste. Na prvem mestu je zagotovo Orionova meglica ali M 42. Gre za eno izmed najlepših meglic na nebu, oddaljeno približno 1600 svetlobnih let. Zaradi velike površinske svetlosti jo že s prostim očesom vidimo, kot če bi bila srednja zvezda Orionovega meča, manjši daljnogled jo pokaže kot nežno liso na nebu, pogled vanjo z večjim optičnim pripomočkom pa nam razkrije še zvezde, ki nastajajo v tej sorazmeroma mladi „zvezdni porodnišnici“, stari okoli 30000 let. Med njimi je zagotovo najbolj slavna večkratna zvezda Theta-1 z imenom Trapez. V sistemu je 9 zvezd, od katerih lahko ločimo 4 najsvetlejše že z amaterskim teleskopom.

Za ogled s prostim očesom je zanimiva razsuta kopica Deževnice ali Hijade. Razteza se v obliki črke V zahodno od Aldebarana, pa vse do Game in do Epsilona, ki se nahaja v ozvezdju Bika. Kopica je zaradi svoje velikosti ( $6^\circ$ ) dobro vidna že s prostim očesom, najlepše pa v daljnogledu pri majhnih povečavah in velikem zornem polju. Z oddaljenostjo 130 svetlobnih let je to

ena nam najbližjih kopic. Bolj kot Hijade so opazni Gostosevci ali Plejade. To je še ena razsuta kopica v ozvezdju Bika. Nosi oznako M 45. Na približno eni stopinji lahko vidimo s prostim očesom kar sedem zvezd in ker je to ena najsvetlejših razsutih kopic, se je o njih že od nekdaj dosti pisalo. Če pa kopico pogledamo z daljnogledom, pa se najsvetlejšim zvezdam pridružijo še številne šibkejše, tako da je zorno polje dobesedno natrpano z njimi. Kopica je od nas oddaljena 380 svetlobnih let. Poleg obeh kopic, si v ozvezdju Bika lahko ogledamo še slavno Rakovo meglico ali M 1, ostanek supernove iz leta 1054. Samo meglico je zaradi majhne površinske svetlosti težko opaziti, najlažje jo opazimo v jasni in temni zimski noči, brez motenj in vlage v ozračju. Meglica je od nas oddaljena 6300 svetlobnih let.

Pri iskanju naslednje razsute kopice, ki se nahaja v Dvojčkih, si lahko pomagamo z zvezdo Eta, od katere je kopica M 35 oddaljena približno  $2^\circ$ . Je ena izmed najlepših kopic, ki jih lahko opazujemo na nebu. S prostim očesom jo kot nežno packo svetlobe lahko vidimo na

jasnem in temnem nebu. Skozi daljnogled je kopica videti kot velika in svetla meglena lisa, če pa so opazovalne razmere dobre, pa že vidimo nekaj najsvetlejših zvezd. Njeno oddaljenost so ocenili na 2800 svetlobnih let. Poleg najsvetlejših zvezd na našem nebu - Sirija v ozvezdju Velikega psa, najdemo tudi razsuto kopico M 41, ki je od Sirija oddaljena približno  $4^\circ$ . V jasni in temni brezmesčni zimski noči, jo lahko brez težav vidimo s prostim očesom kot nežno liso svetlobe, pogled nanjo z daljnogledom pa jo razdrobi na posamezne zvezde. Med amaterskimi astronomi je priljubljena predvsem zato, ker so v njej zvezde različnih barv. Omenjal jo je že

Aristotel (325 pr. n. št.). Od nas do M 41 je približno 2300 svetlobnih let.

Za konec našega potepa po zimskem šestkotniku, smo si pustili ozvezdje Voznika, kjer ležijo tri čudovite razsute kopice, ki jih zaradi majhne oddaljenosti na nebu ni težko najti: M 36, M 37 in M 38. Kot nežno liso svetlobe jih opazimo že z daljnogledom, pogled s teleskopom pa liso razdrobi na posamezne svetejšje zvezde, šibkejšje pa v ozadju ostanejo zlite v nežno meglico. Vse 3 kopice so od nas oddaljene dobrih 4000 svetlobnih let.

#### LITERATURA

[1] KAMBIČ, Bojan: *Raziskujmo ozvezdja z daljnogledom 10x50*, CAMBIO, Ljubljana, 2007.

## BIBAVICA

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

*Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko*

### UVOD

Luni in njenim vplivom na ljudi ter na pojave na Zemlji pogosto pripisujejo različne učinke. Izkaže se, da jih velika večina temelji na domišljiji ali pa niso preverljivi in dokazljivi. Fizikalno merljiva in dokazljiva učinka sta predvsem dva. Večja osvetljenost v nočnem času, ob polni Luni, in bibavica.

Ena najpogostejših zmot glede luninega vpliva je, da v času polne Lune ljudi »nosi Luna«. Hudomušna razlaga tega pravi, da so nenavadni dogodki enako verjetni v času polne Lune in mlaja, le da se jih ob večji osvetljenosti v času polne Lune bolj in več vidi. Tudi večja pogostost prometnih nezgod v času polne Lune je bila znanstveno obravnavana in ovržena [1].

### GRAVITACIJSKI VPLIV LUNE NA ZEMLJO

Med Luno in Zemljo deluje privlačna gravitacijska sila, katere velikost je odvisna od produkta mase Lune  $m_L$  in mase Zemlje  $m_Z$  ter njune medsebojne oddaljenosti  $d_{ZL}$ . Velikosti Zemlje in Lune nista zanemarljivi v primerjavi z njuno medsebojno razdaljo. Premer Zemlje je približno  $2R_Z=12.800$  km, povprečna medsebojna razdalja med Zemljo in Luno pa je  $d_{ZL}=380.000$  km, kar je približno 30 Zemljinih premerov. Zaradi tega je treba upoštevati razliko v velikosti gravitacijske sile do različnih krajev na Zemlji. V krajih na Zemlji, ki so obrnjeni proti Luni, je njena privlačna sila večja od sile v krajih na nasprotni strani Zemlje, obrnjenih proč od Lune. Ta razlika v silah, vpliva na ozračje, vode v morjih in oceanih ter seveda tudi na kopno. Vpliv na kopno je zaradi togosti Zemljine skorje zanemarljiv. Vpliva na ozračje

na površini Zemlje ne zaznavamo. Edini, v vsakdanjem življenju merljiv in zaznaven vpliv, je plimovanje. Bibavica (razlika med gladino morja ali oceana med plimo in oseko) je lahko od nekaj decimetrov pa vse do 10 m ali več. Velikost bibavice je odvisna od zemljepisne širine, geografskih značilnosti, lege Sonca glede na medsebojno razporeditev Zemlje in Lune, nekoliko pa tudi od vremenskih razmer [2,3].

Zaradi večjega Luninega privlaka v krajih bližje Luni, bi na prvi pogled lahko kdo pričakoval, da bo v teh krajih plima, v krajih na nasprotni strani pa oseka (slika 1 a). Dejansko pa je plima tako v krajih na Zemlji, ki so obrnjeni proti Luni in proč od Lune, oseka pa je v krajih ki so zamaknjeni za četrtr dneva (slika 1 b).

V nadaljevanju si oglejmo fizikalne osnove tega pojava. Luno bomo obravnavali kot točkasto telo in izračunali gravitacijsko silo, s katero deluje na različne točke na Zemlji. Slika 1 b) prikazuje presek Zemlje in Lune skozi ravnino po kateri se gibljeta druga okrog druge.

Gravitacijska sila med njunima težiščema je [4]:

$$F_0 = G \frac{m_Z m_L}{d_{ZL}^2}, \quad (1)$$

kjer je  $G$  gravitacijska konstanta,  $m_Z$  masa Zemlje,  $m_L$  masa Lune in  $d_{ZL}$  razdalja med težiščem Zemlje in Lune.

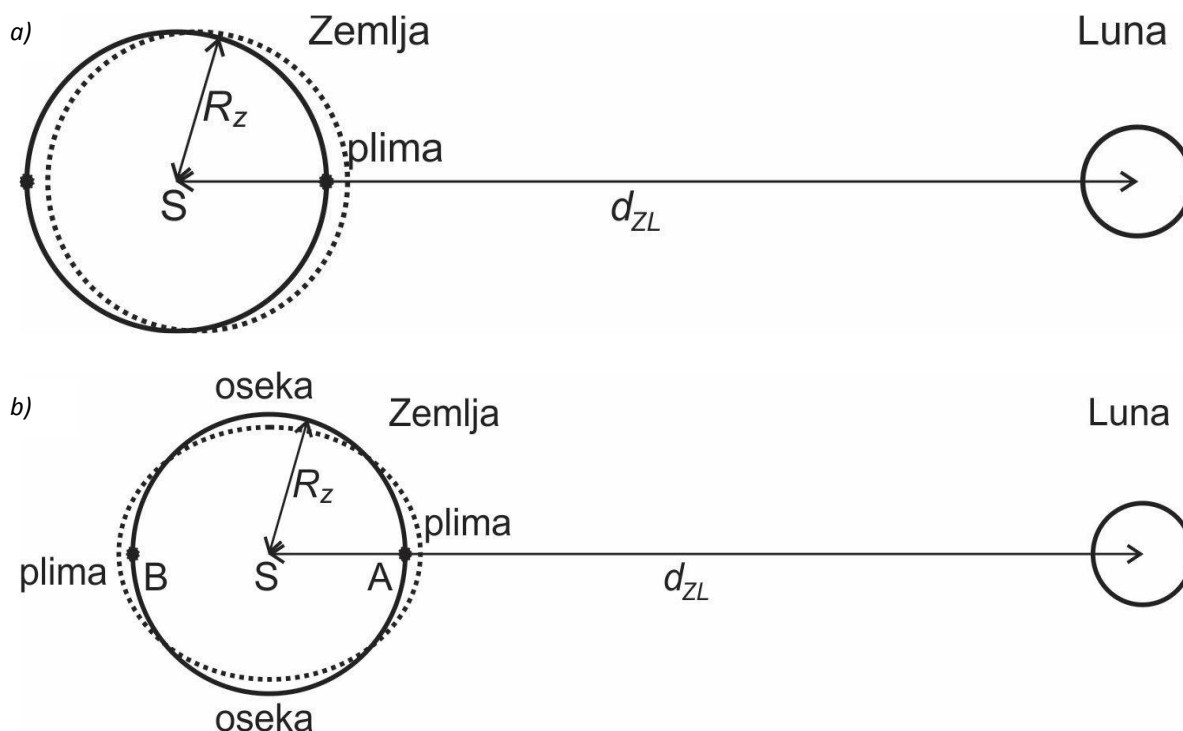
Velikost gravitacijske sile Lune do točke A, ki je na površini Zemlje in je obrnjena proti Luni je:

$$F_A = G \frac{m_Z m_L}{(d_{ZL} - R_Z)^2}, \quad (2)$$

kjer je  $R_Z$  polmer Zemlje. Velikost gravitacijske sile Lune do točke B, ki je na površini Zemlje, in je obrnjena proč od Lune je:

$$F_B = G \frac{m_Z m_L}{(d_{ZL} + R_Z)^2}. \quad (3)$$

Bibavica nastane, ker se privlačna sila Lune spreminja vzdolž površine Zemlje. Vpliv Lune v posameznih krajih na površini Zemlje lahko izračunamo kot razliko med povprečno silo Lune na Zemljo (enačba 1) in silo Lune v posamezni točki na površini Zemlje. Vpliv Lune v točki A je torej  $F_0 - F_A$ :



Slika 1: a) Luna točke na Zemlji, ki so bližje privlači z večjo silo. b) Plima nastane v točkah na Zemlji, ki so obrnjene proti Luni in na nasprotni strani Zemlje. Velikosti niso v naravnih razmerjih.



$$F_{RA} = G \frac{m_Z m_L}{d_{ZL}^2} - G \frac{m_Z m_L}{(d_{ZL} - R_Z)^2} = G \frac{m_Z m_L}{d_{ZL}^2} \left( 1 - \frac{1}{1 - \left(\frac{R_Z}{d_{ZL}}\right)^2} \right)^2 \cong 2G \frac{m_Z m_L}{d_{ZL}^2} \frac{R_Z}{d_{ZL}}. \quad (4)$$

Podobno je vpliv Lune v točki B razlika med silama  $F_0 - F_B$ :

$$F_{RB} = G \frac{m_Z m_L}{d_{ZL}^2} - G \frac{m_Z m_L}{(d_{ZL} + R_Z)^2} = G \frac{m_Z m_L}{d_{ZL}^2} \left( 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{R_Z}{d_{ZL}}\right)^2} \right)^2 \cong -2G \frac{m_Z m_L}{d_{ZL}^2} \frac{R_Z}{d_{ZL}}. \quad (5)$$

Velikost sil je v obeh primerih približno enaka, sili pa se razlikujeta po predznaku. V točkah bližje Luni, je prispevek pozitiven, torej usmerjen v smeri proti Luni. V točkah na nasprotni strani Lune pa je prispevek negativen, torej usmerjen v smeri proč od Lune. Na strani Zemlje, ki je obrnjena proti Luni nastane plima, ker je v teh krajih privlačna sila Lune večja od povprečne sile Lune. Na nasprotni strani Zemlje, pa je privlačna sila Lune manjša od povprečne sile Lune. To je enak učinek, kot če bi Luna v tistih krajih vodo potiskala proč od sebe. Plima na nasprotni strani Lune torej nastane, ker tam Luna vodo privlači z manjšo silo od povprečne privlačne sile Lune.

### VPLIV SONCA

Pri izračunu smo najprej raziskali vpliv Lune na Zemljo. Vpliv Sonca na bibavico na Zemlji izračunamo na enak način, le da namesto mase Lune uporabimo maso Sonca ( $m_S$ ), razdaljo med Zemljo in Luno pa nadomestimo z razdaljo med težiščema Zemlje in Sonca ( $d_{ZS}$ ). Masa Sonca je približno 27 milijonov krat večja od mase Lune, medsebojna razdalja od Zemlje do Sonca pa je približno 400 krat večja kot do Lune. Upoštevajte te podatke dobimo rezultat:

$$F_{SA} = G \frac{m_Z m_S}{d_{ZS}^2} - G \frac{m_Z m_S}{(d_{ZS} - R_Z)^2} \cong 2G \frac{m_Z m_L}{d_{ZL}^2} \frac{m_S}{m_L} \left(\frac{d_{ZL}}{d_{ZS}}\right)^3 \cong F_{RA} 0,46. \quad (5)$$

Vpliv Sonca na plimo je sorazmeren razmerju med maso Sonca in maso Lune ter obratno

sorazmeren tretji potenci razmerja razdalj med Zemljo in Soncem ter razdalje med Zemljo in Luno. Iz teh razmerij sledi, da je vpliv Sonca na bibavico manjši od vpliva Lune, ni pa zanemarljiv. To potrjujejo tudi meritve, saj je bibavica odvisna tako od lege Lune, kakor tudi od lege Sonca, glede na medsebojno lego Zemlje in Lune. Perioda plime, ki jo povzroča Luna je približno 12 ur in 26 minut, medtem ko je perioda plime, ki jo povzroča Sonce približno 12 ur. Ker sta periodi različni, se vpliva Lune in Sonca na bibavico včasih seštevata, spet drugič odštevata. To povzroča, da se velikost bibavice s časom spreminja.

### ZAKLJUČEK

Bibavica nastane zaradi različno velikih gravitacijskih sil med razsežnimi telesi, katerih medsebojna oddaljenost ni zanemarljiva glede na njihovo velikost. Velikost plimske sile je odvisna od razmerja mas teh dveh teles in od tretje potence razmerja velikosti planeta na katerem plimo opazujemo in medsebojne oddaljenosti obeh nebesnih teles.

Na Zemlji je bibavica v največji meri odvisna od privlačne sile Lune, v manjši meri pa tudi od privlačne sile Sonca. Plima se pojavi v krajih, obrnjenih proti Luni ali Soncu in na nasprotni strani Zemlje. Vpliva Lune in Sonca nista v fazi, zato se velikost bibavice s časom spreminja.

## LITERATURA

- [1] P. Kajdič, Anali PAZU, I.1, št.2, str. 113-121: *Prometne nesreče v Sloveniji-vpliv Luninih men.*
- [2] T. Parovel, *Bibavica*, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, 2007.

- [3] J. Strnad, *O plimi in oseki*, Obzornik za matematiko in fiziko, 32/2-3 (1985), str. 66-71.
- [4] J. Strnad, *Fizika 1*, DMFA.

## BARVA ZVEZD

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

*Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko*

### UVOD

Med opazovanjem zvezd med drugim opazimo, da imajo zvezde različne barvne odtenke. Večino zvezd vidimo bele barve, nekatere pa sijajo v bolj rumenkastih ali celo rdečkastih odtenkih. Čeprav rdečo, oranžno in rumeno barvo označujemo kot tople barve, so rdečkasti odtenki značilni za hladnejše zvezde, modro – beli pa za toplejše zvezde. Enako je pri ognju, kjer je temperatura modrega plamena višja od temperature rdečkastega plamena. Poleg temperature, na barvo zvezd vpliva tudi sestava zvezde.

Zvezde se rojevajo v različnih meglicah, ki so sestavljene iz medzvezdnega prahu in plinov. Gorivo za njihovo rojstvo je največkrat vodik, s staranjem pa v jedru zvezd pričnejo potekati reakcije, pri katerih izgorevajo težji elementi. Prispevek k barvi zvezd zaradi njene sestave je sicer zanemarljiv, vendar pomemben pri spektralni analizi.

### TEMPERATURA NA POVRŠINI ZVEZD

Zvezde lahko obravnavamo kot črno telo, ki absorbira vso vpadlo svetlobo. Segreto črno telo s temperaturo  $T$  seva svetlobo vseh valovnih dolžin ( $\lambda$ ). Spekter sevanja črnih teles je zvezen, gostota svetlobnega toka ( $j^*$ ) pa je

odvisna samo od njegove temperature. Zvezo opisuje Stefan – Boltzmannov zakon [1]:

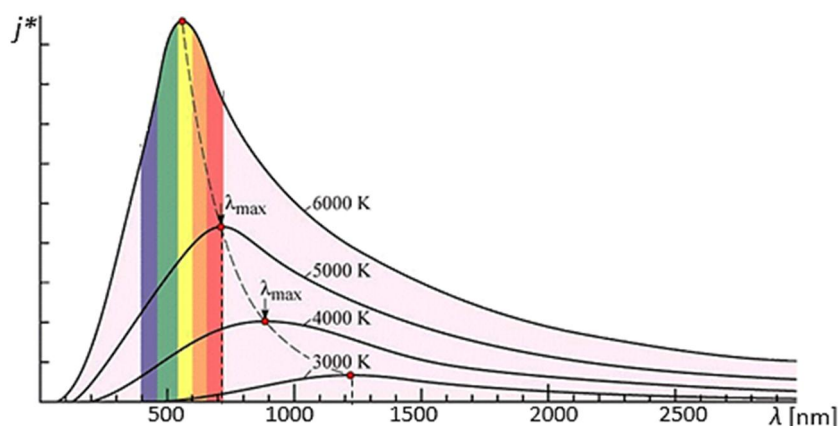
$$j^* = \sigma T^4, \quad (1)$$

kjer je  $\sigma$  Stefanova konstanta, ki znaša  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}^2/\text{m}^2\text{K}^4$ . Iz enačbe (1) vidimo, da je gostota svetlobnega toka odvisna od četrte potence temperature, zato majhna sprememba v temperaturi močno vpliva na izsevan svetlobni tok. Temperatura pa ne vpliva le na to, kolikšna je gostota svetlobnega toka, ki ga črno telo seva, ampak tudi na obliko sevalnega spektra. Z višanjem temperature na površini črnega telesa so v emisijskem spektru bolj zastopane vedno krajše valovne dolžine (slika 1). Valovna dolžina, pri kateri se izseva največ svetlobe ( $\lambda_{\text{max}}$ ), je odvisna od temperature na površini in jo določimo z Wienovim zakonom [1]:

$$\lambda_{\text{max}} T = k_w \quad (2)$$

kjer je  $k_w$  Wienova konstanta in znaša  $2,9 \cdot 10^{-3} \text{ Km}$ .

V 19. stoletju je skupina astronomov iz Harvarda, zvezde porazdelila v spektralne razrede glede na to, kako vodik absorbira svetlobo pri določeni valovni dolžini. Za zvezde, ki jih uvrstimo v posamezni spektralni razred, je značilna približno enaka barva. Standardni



Slika 1. Emisijski spekter sevanja črnega telesa pri različnih temperaturah. Z višanjem temperature črno telo izseva več svetlobnega toka pri krajših valovnih dolžinah [2].

spektralni razredi so: O, B, A, F, G, K in M. V tabeli 1 je za vsak spektralni razred podan temperaturni razpon, barva in primer zvezde [3].

S poznavanjem temperature zvezde, lahko z uporabo Wienovega zakona ocenimo njeno barvo. Izračunajmo valovno dolžino, pri kateri se izseva največ svetlobnega toka, za Sonce, zvezdo Spika in zvezdo Betelgeza. Spika je binarna zvezda oddaljena 262 svetlobnih let, katere temperatura na površini je ocenjena v razponu med 18500 K in 22400 K. Betelgeza je primer hladne zvezde, ki je oddaljena 430 svetlobnih let, in ima temperaturo v razponu med 3140 K in 3641 K. Temperatura na površini Sonca znaša približno 5800 K. Maksimalno valovno dolžino izračunamo iz enačbe (2) in pri

tem upoštevamo povprečno temperaturo za zvezdo Spika in Betelgeza:

$$\lambda_{\max}^{(Spica)} = \frac{k_w}{T} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3} \text{ Km}}{20450 \text{ K}} = 142 \text{ nm},$$

$$\lambda_{\max}^{(Sonce)} = \frac{k_w}{T} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3} \text{ Km}}{5800 \text{ K}} = 500 \text{ nm},$$

$$\lambda_{\max}^{(Betel.)} = \frac{k_w}{T} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3} \text{ Km}}{3390 \text{ K}} = 855 \text{ nm}.$$

Spika izseva večino svetlobnega toka v ultravijoličnem delu elektromagnetnega spektra, ki s prostim očesom ni viden. Manjši del svetlobe odda pri večjih valovnih dolžinah, ki ustrezajo vijolični in modri barvi. Po pričakovanju zvezda Betelgeza izseva največ v infrardečem delu spektra in jo vidimo v rdečkastih odtenkih. Presenetni pa nas morda ocenjena valovna dolžina za Sonce, ki znaša 500 nm. Svetloba pri 500 nm spada v vidni del

Razred	T [K]	Barva	Primer
<b>O</b>	$\geq 28000$	modra	Mintaka
<b>B</b>	10000 – 28000	modro bela	Spika
<b>A</b>	7500 – 10000	bela	Sirij
<b>F</b>	6000 – 7500	rumenkasto bela	Kanop
<b>G</b>	4900 – 6000	rumena	Sonce
<b>K</b>	3500 – 4900	oranžna	Aktur
<b>M</b>	$\leq 3500$	rdeča	Betelgeza

Tabela 1. Porazdelitev zvezd v spektralne razrede [3].

spektra in jo zaznamo kot modro – zeleno barvo. Kljub temu pa vsi vidimo Sonce belo ali kvečjemu rumeno. Zavedati se moramo, da Sonce izseva svetlobo tudi pri večjih in manjših valovnih dolžinah, ki se skupaj pomešajo v belo barvo.

### RDEČI PREMIK

Zaradi gibanja vira valovanja (naj bo to zvok ali svetloba), opazovalca ali obeh, pride do navidezne spremembe v frekvenci oziroma valovni dolžini valovanja, kar se imenuje dopplerjev pojav. Sprememba je odvisna od smeri in hitrosti izvora glede na opazovalca [4]. Primer iz vsakdana je sirena policijskega avtomobila s frekvenco  $\nu_0$ . Ko se policijski avtomobil približuje opazovalcu s hitrostjo  $v$ , opazovalec zazna večjo frekvenco. Z oddaljevanjem se frekvenca sirene navidezno zmanjša:

$$\nu = \nu_0 \frac{1}{1 \mp \frac{v}{c}}, \quad (3)$$

kjer je  $c$  hitrost valovanja. Predznak minus velja v primerih, če se sirena približuje, predznak plus pa ko se oddaljuje. Podobno določimo frekvenco, ko se opazovalec giblje s hitrostjo  $v$  glede na mirujoč vir valovanja [4]:

$$\nu = \nu_0 \left( 1 \pm \frac{v}{c} \right). \quad (4)$$

Predznak plus velja v primerih, ko se poslušalec približuje, minus pa ko se oddaljuje.

Enako velja tudi za svetlobo. Zaradi dopplerjevega pojava opazimo rdeči ali modri premik svetlobe. Valovna dolžina izsevane svetlobe ( $\lambda_0$ ) je enaka valovni dolžini svetlobe, ki jo zaznavamo na Zemlji ( $\lambda$ ), le če je medsebojna hitrost zvezde in opazovalca enaka nič. Če se zvezda oddaljuje od opazovalca, prejmemo svetlobo z manjšo frekvenco, to je večjo valovno dolžino. Pojav imenujemo rdeči premik in je dokaz za širjenje

vesolja. Relativni rdeči premik  $z$  je definiran kot [5]:

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}. \quad (5)$$

Z upoštevanjem zveze med svetlobno hitrostjo in frekvenco, lahko iz enačbe (3) za oddaljevanje vira valovanja od opazovalca izrazimo rdeči premik:

$$z \approx \frac{v}{c}. \quad (6)$$

Pri tem smo privzeli, da je hitrost oddaljevanja dosti manjša v primerjavi s svetlobno hitrostjo. Tipični rdeči premik galaksij oddaljenih 1 milijardo svetlobnih let znašajo  $z = 0.05$ , kar pomeni, da se od nas oddaljujejo z hitrostjo  $0,05c$ .

Ker se zvezde zaradi širjenja vesolja od nas oddaljujejo, svetlobo zaznavamo pri večjih valovnih dolžinah, kot jih zvezde dejansko izsevajo. Zaradi rdečega premika postanejo najbolj vroče zvezde manj belo-modre, zvezde z nižjo temperaturo pa dobijo bolj rdečkast odtonek [5].

Redkejši pojav v vesolju je modri premik svetlobe, pri katerem prejmemo svetlobo manjših valovnih dolžin. Modri premik je opazen pri Andromedini galaksiji, ki se približuje naši.

### ZAKLJUČEK

Največji vpliv na barvo zvezde ima temperatura na njeni površini. Od temperature je odvisna spektralna porazdelitev gostote izsevane svetlobnega toka in valovna dolžina, pri kateri se izseva največ svetlobnega toka. Zvezde z višjo temperaturo izsevajo več svetlobnega toka pri krajših valovnih dolžinah, kar pomeni, da jih vidimo bolj belo – modre.

Na barvo zvezd vpliva tudi rdeči premik, ki je posledica širjenja vesolja in s tem oddaljevanja zvezd. Valovne dolžine, ki jih prejmemo na Zemlji, so zaradi rdečega premika večje od valovnih dolžin izsevane svetlobe.

**LITERATURA**

[1] Incropera et al., *Fundamentals of heat and mass transfer – 6th ed.* (John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2007).

[2] Evolution of the Universe, *Radiation Laws and Big Bang*, pridobljeno dne 15. 3. 2015 iz <http://www.globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/universe/universe.html>.

[3] Hyperphysics, *Astrophysics*, pridobljeno dne 15. 3. 2015 iz <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/starlog/starcon.html#c1>.

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

[5] J. Strnad, *Fizika, 3. del* (DMFA, Ljubljana, 2009).

Urednik:

pom. akad. dr. Mitja Slavinec

Strokovni pregled:

pom. akad. dr. Milan Svetec

pom. akad. dr. Mitja Slavinec

Oblikovanje in prelom:

Sabina Bernjak

Tisk:

AIP Praprotnik

Naklada:

250 izvodov

Založnik:

AD Kmica in ZOTKS, Murska Sobota, 2015

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 : sedemnajstič / [urednik Mitja  
Slavinec]. - [Murska Sobota] : AD Kmica : ZOTKS,  
2015

ISBN 978-961-92312-5-8 (AD Kmica)

l. Slavinec, Mitja

COBISS.SI-ID 82060801



