

Teran na Astronomskem tekmovanju treh dežel 2023



SIMON BUKOVŠEK IN VID KAVČIČ

→ Med 28. junijem in 1. julijem 2023 je v Zagrebu potekalo Astronomsko tekmovanje treh dežel, ki je pripravljala tekma astronomskih olimpijskih ekip Hrvaške, Madžarske in Slovenije pred Mednarodno olimpijado iz astronomije in astrofizike (MOAA).

Izjemen uspeh slovenske ekipe

Uspeh slovenske ekipe je bil letos izjemen. Na tekmovanju je **zmagal Peter Andolšek**, drugi je bil **Miha Brvar** in oba sta prejela **zlati medalji**. Tretji je bil **Alexander Gaydukov**, četrta pa **Marija Judež**. Oba sta prejela **srebrni medalji**. Sedmi je bil **Žan Arsov**, najmlajši član naše ekipe, ki je prejel **bron**. Ekipo sta vodila **Vid Kavčič** in **Simon Bukovšek**.

Ekipo se je na tekmovanje v Zagreb odpravila z vlakom. Nastanjeni smo bili v Domu Rdečega križa na vzpetini Sljeme nad mestom, daleč proč od pregretega asfalta in avtomobilskega renčanja. Medtem ko so po prihodu tekmovalke in tekmovalci z žičnico obiskali Zagreb ter si ogledali njegovo staro mestno jedro, so se mentorji potopili v razpravo o nalogah, ki so jih pripravili hrvaški kolegi.

Že prvi večer so se astronomke in astronomi lahko spopadli z opazovalnim delom tekmovanja, saj so bile vremenske razmere naravnost čudovite. Na opazovalnem delu, ki šteje eno četrtno skupnih točk, so morali izkazati svoje znanje orientacije po nebu ter dela z različnimi tipi teleskopov.

Po končanem opazovalnem delu so se mentorji posvetili zaključnim razpravam in prevajanju nalog. Prihodnje jutro je bilo tako vse pripravljeno za teoretični del tekmovanja, ki je trajalo tri polne ure in je zajemalo polovico vseh možnih točk. Medtem so mentorji uredili in prevedli tudi naloge iz obdelave podatkov astronomskih opazovanj, v katere so tekmovalci zagrizli popoldne. Tudi ta del tekmovanja je trajal tri polne ure, štel pa je četrtno vseh točk. Po napornem dnevu so se tekmovalci sprostili v igranju badmintona in drugih družabnih iger, mentorje pa je čakalo še popraviljanje izdelkov.

Zadnji dan so tekmovalci dobili še sklepni izziv, in sicer ekipno tekmovanje, na katerem so morali določiti merilo zagrebškega modela Osončja. Nato so organizatorji na zaključni slovesnosti v zagrebški Zvezdarnici podelili medalje, sledila pa je pogostitev z okusnimi picami. Po poslednjem prijetnem druženju s hrvaško in madžarsko astronomsko posadko smo se z vlakom odpravili proti Ljubljani, kamor smo prispeli v večernih urah.

Teran v Dobsonu

K prijateljskemu vzdušju na tekmovanju so prispevale tudi izjemno sveže in izvirne naloge. Med nalogami na teoretičnem delu je bila prav gotovo najbolj povezovalna naloga o teranu v Dobsonovem teleskopu, ki se je je domislil Andrej Guštin, dovršeno pa jo je spisal Simon Bukovšek.

Naloga sprašuje po tem, koliko terana moramo naliti v Dobsonov teleskop, da lahko z njim varno opazujemo Sonce. Pojasnimo naj, da je Dobsonov teleskop Newtonov zrcalni teleskop na alt-azimutalni montaži (slika 2).



SLIKA 1.

Astronomske divizije Slovenije, Hrvaške in Madžarske na vrhu observatorija hrvaške Zvezdarnice.

Ker opazovanje Sonca ni hec, saj lahko hitro pride do očesnih poškodb, moramo paziti, da se reševanja naloge lotimo premišljeno, hkrati pa moramo imeti v mislih tudi, da v tem primeru teran uporabljamo za znanstvene namene. V ta namen bomo najprej obnovili in oplemenitili svoje znanje o svetlobi, očesu in optiki.

Podatki in predpostavke

Interakcija svetlobe z očesom je zelo zapletena veja optike in biologije, težko je najti konsistentne pogoje za »varno opazovanje«. V namen te naloge so bili zbrani podatki iz različnih virov in zaradi varnosti namenoma nekoliko znižani. Tudi podatek o absorpcijskem koeficientu terana je zgolj spodnja ocena, saj je primerne podatke težko pridobiti.

Pogoja za »varno opazovanje« sta:

- nikjer na mrežnici ne sme gostota svetlobnega toka presegati $j_{mr} = 10 \text{ W/m}^2$,
- skupen svetlobni tok, ki pada v oko, ne sme presegati $P_{oko} = 10 \text{ mW}$,

Podatki o teleskopu:

- goriščna razdalja objektiva: $f_{ob} = 1,0 \text{ m}$,
- premer objektiva: $D_{ob} = 20 \text{ cm}$,
- goriščna razdalja okularja: $f_{ok} = 25 \text{ mm}$,
- navidezen premer vidnega polja za okular: $FoV_{nav.} = 52^\circ$,

Podatki o očesu:

- razdalja med lečo in mrežnico: $f_{oko} = 17 \text{ mm}$,
- v zelo močni svetlobi ima oko goriščno razmerje $f/8,5$,

Nekaj splošnih podatkov:

- gostota svetlobnega toka Sonca na površju Zemlje: $j_0 = 1,0 \text{ kW/m}^2$,
- navidezna velikost Sončeve ploskvice je $\varphi_\odot = 32'$,
- absorpcijski koeficient terana za sončno svetlobo je $\mu = 77,5/\text{m}$.

Predpostavili bomo, da Sonce opazujemo v zenitu. Zanimarili bomo odboj svetlobe na površini med vidnim in zrakom ter spremembo goriščne razdalje objektiva zaradi dodanega vina.

Rešitev naloge

Pri reševanju naloge moramo upoštevati dva kritična pogoja za »varno opazovanje«, in sicer kritično gostoto svetlobnega toka na mrežnici j_{mr} in skupni svetlobni tok P_{oko} . Najprej razložimo, zakaj sta oba tako pomembna.

Prvi pogoj lahko ponazorimo na primeru **laserja**. Vsem je znano svarilo »ne glej naravnost v laser«, ki pa nikakor ni nedolžno. Čeprav ima laser lahko relativno majhno moč, je gostota svetlobnega toka zelo velika in s tem nevarna za mrežnico.

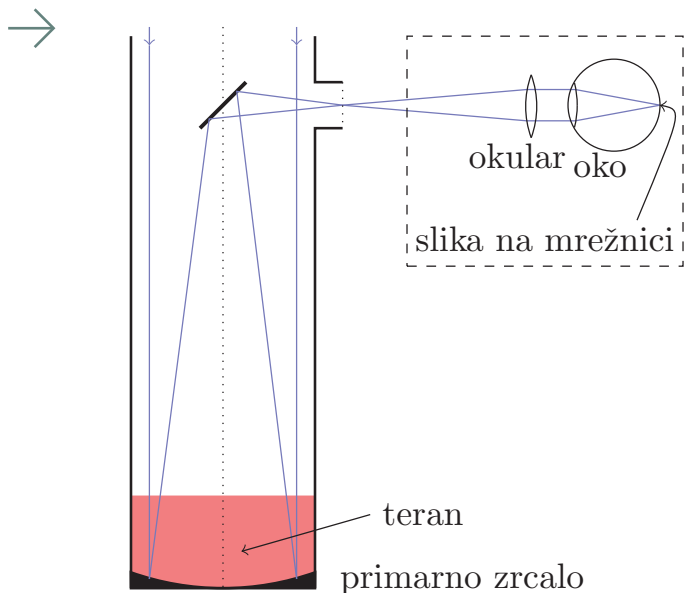
Nasprotno si za ponazoritev drugega pogoja predstavljajmo, da na sončen zimski dan hodimo po belo zasneženih hribih. V tem primeru nobena specifična točka (z izjemo Sonca) ni nevarno svetla, kljub temu pa lahko zaradi prevelike skupne moči svetlobe (še posebej UV) pride do poškodb očesa, na primer vnetja roženice. To očesno stanje imenujemo **snežna slepota**. Pred poškodbami se lahko zaščitimo z uporabo posebnih zaščitnih sončnih očal.

Pri reševanju naše naloge bomo tako morali izračunati mejno vrednost vpadle svetlobe v teleskop za oba pogoja »varnega opazovanja« in upoštevati tisto, ki je manjša.

Najprej si oglejmo pogoj za največjo gostoto svetlobnega toka na mrežnici. Vemo, da je premer Sončeve ploskvice na nebu enak $\varphi_\odot = 32'$. Povečavo p teleskopa izračunamo kot

- $p = \frac{f_{ob}}{f_{ok}} = 40.$





SLIKA 2.

Skica k nalogi.

Navidezna kotna velikost Sonca v vidnem polju okularja je tako enaka $\alpha_{\odot} = \varphi_{\odot} \cdot p = 21^{\circ}20'$. Ker je ta vrednost manjša od navidezne velikost vidnega polja ($\text{FoV}_{\text{nav.}} = 52^{\circ} > \alpha_{\odot}$), v okularju vidimo celo Sonce.

Poleg tega opazimo, da je izstopna zenica teleskopa D_{iz} večja od zenice očesa D_{oko} . Velja namreč:

$$\blacksquare D_{\text{oko}} = \frac{f_{\text{oko}}}{8,5} = 2 \text{ mm}, \quad D_{\text{iz}} = \frac{D_{\text{ob}}}{m} = 5 \text{ mm}.$$

Naj bo j_1 največja gostota svetlobnega toka, ki pride skozi teran, ki ustreza prvemu pogoju. Pri izračunu svetlobnega toka P_{oko} moramo upoštevati zgornjo ugotovitev $D_{\text{oko}} < D_{\text{iz}}$, saj se na ta račun med okularjem in očesom nekaj energije izgubi. Velja

$$\blacksquare P_{\text{oko}} = j_1 \cdot \frac{\pi D_{\text{ob}}^2}{4} \cdot \frac{D_{\text{oko}}^2}{D_{\text{iz}}^2}.$$

Tako izražena moč se razporedi po površini $S = \frac{\pi}{4} (\alpha_{\odot} \cdot f_{\text{oko}})^2$. Gostoto svetlobnega toka na mrežnici

tako izrazimo kot

$$\blacksquare j_{\text{mr}} = \frac{P_{\text{oko}}}{S} = \frac{j_1 \cdot \frac{\pi D_{\text{ob}}^2}{4} \cdot \frac{D_{\text{oko}}^2}{D_{\text{iz}}^2}}{\frac{\pi}{4} (\alpha_{\odot} f_{\text{oko}})^2} = j_1 \frac{4\pi D_{\text{ob}}^2 D_{\text{oko}}^2 p^2}{4\pi D_{\text{ob}}^2 f_{\text{oko}}^2 \varphi_{\odot}^2 p^2} = j_1 \frac{D_{\text{oko}}^2}{f_{\text{oko}}^2 \varphi_{\odot}^2}. \quad (1)$$

Opazimo, da je gostota svetlobnega toka na mrežnici popolnoma neodvisna od teleskopa, skozi katerega gledamo. Še več, za vsak netočkasti objekt je gostota svetlobnega toka na mrežnici ob gledanju skozi kateri koli teleskop manjša oziroma kvečjemu enaka, kot če bi ta objekt gledali s prostim očesom. Manjša bi bila v primeru, če bi bila izstopna zenica manjša od velikosti očesne zenice. Ta ugotovitev se zdi nekoliko neintuitivna. Hkrati pa zelo spominja na dejstvo, da z nobenim optičnim pripomočkom ne moremo segreti objekta na višjo temperaturo, kot jo ima svetlobni vir.

Zdaj iz enačbe (1) izrazimo j_1 in izračunamo njegovo numerično vrednost. Pri tem smo pozorni na to, da mora biti kót $\alpha_{\odot}$ izražen v radianih. Dobimo

$$\blacksquare j_1 = \frac{j_{\text{mr}} f_{\text{oko}}^2 \varphi_{\odot}^2}{D_{\text{oko}}^2} = 0,626 \text{ W/m}^2.$$

Posvetimo se zdaj drugemu pogoju za »varno« opazovanje, to je pogoju z maksimalnim svetlobnim tokom. Naj bo j_2 največja gostota svetlobnega toka, ki sme priti skozi teran, da je zagotovljen drugi pogoj. Podobno kot prej zapišemo

$$\blacksquare P_{\text{oko}} = j_2 \cdot \frac{\pi D_{\text{ob}}^2}{4} \cdot \frac{D_{\text{oko}}^2}{D_{\text{iz}}^2},$$

iz česar izrazimo j_2 in izračunamo njegovo numerično vrednost:

$$\blacksquare j_2 = \frac{4P_{\text{oko}} D_{\text{iz}}^2}{\pi D_{\text{ob}}^2 D_{\text{oko}}^2} = 1,99 \text{ W/m}^2.$$

Če želimo zagotoviti »varno« opazovanje, mora skozi teran prehajati največ toliko svetlobe, kot je manjša vrednost od j_1 in j_2 . Izračunali smo, da je $j_1 < j_2$, kar pomeni, da je pri opazovanju Sonca s teleskopom bolj kritična gostota svetlobnega toka na mrežnici kot pa skupen svetlobni tok. Zato za nadaljnje izračune vzamemo manjšo od teh dveh vrednosti, torej $j_1 = 0,626 \text{ W/m}^2$.

Nekaj odstavkov zgoraj smo ugotovili, da je gostota svetlobnega toka na mrežnici neodvisna od teleskopa, zdaj pa smo sklenili, da je pri opazovanju sonca kritična ravno slednja. Pozoren bralec bi se ob teh ugotovitvah vprašal, zakaj je kljub temu toliko nevarneje opazovati Sonce s teleskopom kot s prostim očesom. Odgovor najverjetneje tiči v tem, da se učinka gostote svetlobnega toka in skupnega svetlobnega toka seštevata.

Prebili smo se do zadnjega dela naloge. Zaradi absorpcije svetlobe v plasti terana z debelino x se mora gostota svetlobnega toka z j_0 zmanjšati na j_1 . Pri izračunu x uporabimo absorpcijski zakon:

$$j(x) = j_1 = j_0 e^{-\mu x},$$

iz česar izrazimo

$$x = \frac{\ln\left(\frac{j_0}{j_1}\right)}{\mu} = 9,52 \text{ cm.}$$

Ko sončna svetloba vstopi v teleskop, najprej potuje do primarnega zrcala, se tam odbije, nato pa svojo pot nadaljuje do sekundarnega zrcala in proti okularju. Pri tem po teranu napravi dvakrat isto pot. Zato višina h terana, ki ga moramo naliti v teleskop, ustreza ravno polovici optične poti x svetlobe po teranu:

$$h = \frac{x}{2} = 4,76 \text{ cm.}$$

Preostane nam izračunati le še prostornino V potrebnega terana. Dobimo

$$V = Sh = \frac{\pi D_{\text{ob}}^2}{4} h \approx 1,5 \text{ l.}$$

Zaključek

Izkaže se, da bi za astronomski eksperiment zadoštovali dve buteljki domačega kraškega terana. Seveda pa najbrž ni treba dodatno poudarjati, da praktične izvedbe tega poskusa ne svetujemo; domačega teleskopa bi bilo namreč neznansko škoda.

× × ×

Križne vsote

↓↓↓

→ Naloga reševalca je, da izpolni bele kvadratke s števki od 1 do 9 tako, da bo vsota števk v zaporednih belih kvadratih po vrsticah in po stolpcih enaka številu, ki je zapisano v sivem kvadratu na začetku vrstice (stolpca) nad (pod) diagonalo. Pri tem morajo biti vse številke v posamezni vrstici (stolpcu) različne.

	10	12			
16			7		
10				14	
		9			7
			10		
			5		

↓↓↓

REŠITEV KRIŽNE VSOTE

4	1	5			
3	7	10			
7	9	3	6		
	14	4	5	1	10
		7	7	6	16
			12	10	

× × ×