

MJERENJE TOPLINE DOBIVENE SUNČEVIM ZRAČENJEM I ODREĐIVANJE SUNČEVE KONSTANTE

Realizirali: Vlatka Novaković i Saša Lugar
mentor: Vesna Kosanović, prof.

Zadaci

VJEŽBA 1. Mjerenje topline dobivene Sunčevim zračenjem

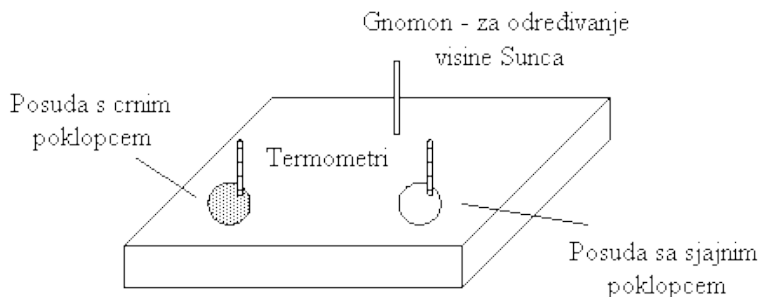
1. Pripremi dvije jednake posude (npr. plastične čaše od jogurta) i od aluminijske folije pripremi poklopce za posude. Jednu foliju oboji mat crnom bojom ili začađi pomoću svijeće. Od stiropora pripremi oblogu za izoliranje posuda od okoline takvu da su Sunčevu svjetlu izloženi samo aluminijski poklopci.
2. Napuni posude vodom do vrha i stavi u vodu termometre. Zatvori posude obojanim i nebojanim poklopcem, te stiroporom izoliraj posude.
3. Bilježi temperaturu vode (T) u obje posude i trenutak mjerenja (t) svakih nekoliko minuta. Kad primijetiš da se temperatura vode više ne mijenja, prekini mjerenja.
4. Ponovi postupak nekoliko puta u različita doba dana, tj. pri različitim visinama Sunca nad obzorom. Pri svakom mjerenju izmjeri visinu Sunca!
5. Odredi razliku temperatura vode u dvije posude (ΔT) u svakom mjerenju (t).
6. Izmjeri volumen vode i odredi njenu masu.
7. Koliko je primila topline posuda sa sjajnim poklopcem, a koliko posuda sa crnim poklopcem? Koliko je veću količinu topline primila voda u posudi sa crnim poklopcem?
8. Komentiraj:
 - a) O čemu sve ovisi dobivena toplina?
 - b) Kako visina Sunca utječe na mjerenja?
 - c) Nabroji sve razloge zbog kojih je dobivena toplina manja kada je Sunce niže.

VJEŽBA 2. Određivanje Sunčeve konstante

1. U VJEŽBI 1. mjerene su razlike temperatura vode u dvije posude ($\Delta T = T_a - T_r$, gdje su T_a i T_r temperature vode u posudi s crnim, odnosno sjajnim poklopcem) u ovisnosti o vremenu t . Nacrtaj graf $\Delta T(t)$, te na linearnom dijelu odredi nagib pravca $k = \Delta T / \Delta t$.
2. Nađi količinu topline koju je primila voda u posudi sa crnim poklopcem $Q_a = c_v m \Delta T_a$, te onu koju je primila voda u posudi sa sjajnim poklopcem $Q_r = c_v m \Delta T_r$. Razlika u primljenim energijama je energija dobivena Sunčevim zračenjem, $\Delta Q = Q_a - Q_r = c_v m \Delta T$ (c_v je specifični toplinski kapacitet vode, a m je masa vode).
3. Količina energije dobivena Sunčevim zračenjem u jedinici vremena je snaga $P = \Delta Q / \Delta t = c_v m \Delta T / \Delta t = c_v m k$. Kolika je količina energije koja padne u jedinici vremena na jediničnu površinu postavljenu okomito na smjer Sunčevih zraka (s')?
4. Nakon što si odredio s' , procijeni približnu vrijednost Sunčeve konstante, s , ako pretpostaviš da do Zemljine površine stigne svega 1/3 zračenja dok se ostalo ili reflektira od atmosfere, ili biva u atmosferi apsorbirano.
5. Izračunaj kolika je ukupna snaga zračenja cijelog Sunca ako znaš da je udaljenost od Sunca do Zemlje 150 milijuna kilometara.
6. Kolika je masa vodika koji se u središtu Sunca pretvara u helij u jednoj sekundi ako znaš da u tom procesu svaka jezgra vodikovog atoma (proton) oslobađa energiju jednaku 0.7% energije mirovanja (masa mirovanja protona je $1.69 \cdot 10^{-27}$ kg)?

IZVOĐENJE VJEŽBI

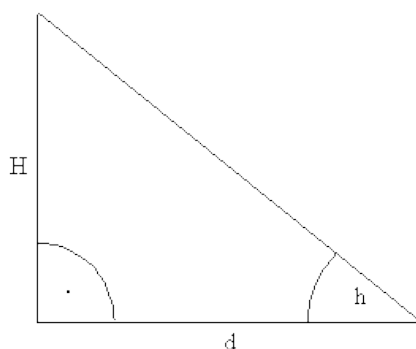
PRIPREMA:



Slika 1.

Od stiropora smo napravili kvadar dimenzija 0.25m x 0.22m x 0.12m, izdubili dvije valjkaste udubine u koje smo stavili dvije plastične čaše od jogurta. Čaše su sa svih strana izolirane stiroporom osim na otvoru. Napunili smo ih vodom do vrha, a zatim u posude stavili termometre (jedan sa skalom do 50°C, a drugi do 100°C). Od telefonske žice smo napravili stalke za termometre koje smo učvrstili u stiropor, a koji pridržavaju termometre da budu fiksni. Načinili smo i kartonske cjevčice kao izolatore za termometre. Jednu posudu smo zatvorili crnim, začađenim poklopcem od alu-folije, a drugu sjajnom alu-folijom. Na isti kvadar od stiropora smo postavili gnomon, odnosno vertikalni štapić duljine 0.1m za određivanje visine Sunca u trenucima mjerenja. Bilježili smo temperaturu vode (T_a i T_r) u obje posude kao i trenutak mjerenja (t) svakih nekoliko minuta sve dok nismo primijetili da se temperatura vode više ne mijenja. Također smo bilježili i duljinu sjene (d) pri svakom očitavanju temperature. Visina Sunca se određuje na slijedeći način pomoću gnomona:

GNOMON (sunčanik, vertikalno postavljen štap)



Slika 2.

gdje je:

H = visina gnomona (konstantna)

d = duljina sjene

h = visina Sunca (kut)

Kut h možemo odrediti pomoću kutomjera ili trigonometrijske funkcije tangens:

$$\text{tg } h = H/d$$

Naša mjerenja koja smo izvodili dva dana 18.04.2001., te 23.04.2001. zapisali smo u dvije tablice:

a) 18.04.2001.

t (h:min)	$T_a(^{\circ}\text{C})$	$T_r(^{\circ}\text{C})$	$\Delta T=T_a-T_r (^{\circ}\text{C})$	$H(\text{m})$	$d(\text{m})$	$h(^{\circ}')$
12:05	14	14	0	0.1	0.078	52°02'
12:13	15	14.2	0.8	0.1	0.076	52°46'
12:17	15.5	14.2	1.3	0.1	0.0755	52°56'
12:21	15.7	14.3	1.4	0.1	0.075	53°07'
12:28	16	14.5	1.5	0.1	0.074	53°30'
12:36	16.3	14.7	1.6	0.1	0.073	53°52'
12:45	16.3	14.8	1.5	0.1	0.072	54°14'
12:50	16.5	14.9	1.6	0.1	0.0715	54°26'
13:07	16.5	14.9	1.6	0.1	0.071	54°37'

Srednju visinu Sunca dobili smo tako da smo zbrojili sve dobivene vrijednosti, a zatim tu sumu podijelili sa brojem mjerenja: $\bar{h} = 53^{\circ}34'$

b) 23.04.2001.

$t(\text{h:min})$	$T_a(^{\circ}\text{C})$	$T_r(^{\circ}\text{C})$	$\Delta T=T_a-T_r (^{\circ}\text{C})$	$H(\text{m})$	$d(\text{m})$	$h(^{\circ}')$
15:51	18.5	18.5	0	0.1	0.104	43°52'
15:58	19.1	18.8	0.3	0.1	0.106	43°20'
16:07	19.7	18.9	0.8	0.1	0.107	43°03'
16:16	20.2	19	1.2	0.1	0.1075	42°56'
16:25	20.5	19	1.5	0.1	0.108	42°48'
16:32	20.5	19	1.5	0.1	0.108	42°48'
16:40	20.5	19	1.5	0.1	0.109	42°32'
16:48	20.5	19	1.5	0.1	0.1095	42°24'

Srednja visina Sunca je: $\bar{h} = 42^{\circ}44'$

Volumen vode izmjerili smo pomoću menzure tako da smo prvo napunili čašicu od jogurta do vrha vodom, a zatim ulili vodu u menzuru, te očitali volumen vode.

Volumen vode: 1 litra = $1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$

0.18 litara = $0.18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

$V = 1.8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Gustoća vode: $\rho = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3$

Masa vode: $m = V\rho = 1.8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

$$m = 0.18 \text{ kg}$$

Masa vode u svakoj posudi iznosi 0.18 kg.

Temperaturu vode u posudi s crnim poklopcem označili smo s T_a (indeks "a" znači apsorpcija), dok smo temperaturu vode u posudi sa sjajnim poklopcem označili s T_r (indeks "r" znači refleksija). Poznavanjem specifičnog toplinskog kapaciteta vode ($c_v = 4186 \text{ J/kgK}$) možemo izračunati koliku je količinu topline primila voda u posudi s crnim poklopcem, a koliku voda u posudi sa sjajnim poklopcem.

Toplina koju je primila voda u posudi s crnim poklopcem iznosi $Q_a = c_v m \Delta T_a$ dok je toplina koju je primila voda u posudi sa sjajnim poklopcem jednaka

$$Q_r = c_v m \Delta T_r.$$

Budući da sjajni poklopac reflektira većinu zračenja, smatrat ćemo da je toplina Q_r dobivena zagrijavanjem iz okoline, te da je ona jednaka za obje posude. Razlika u dobivenim toplinama je, dakle, energija koju je dalo direktno Sunčevo zračenje, $\Delta Q = Q_a - Q_r = c_v m \Delta T$.

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad Q_a &= c_v m \Delta T_a = 4186 \text{ J/kgK} \cdot 0.18 \text{ kg} \cdot 2.5 \text{ K} = 1883.7 \text{ J} \\ Q_r &= c_v m \Delta T_r = 4186 \text{ J/kgK} \cdot 0.18 \text{ kg} \cdot 0.9 \text{ K} = 678.132 \text{ J} \\ \Delta Q &= Q_a - Q_r = 1205.568 \text{ J} \end{aligned}$$

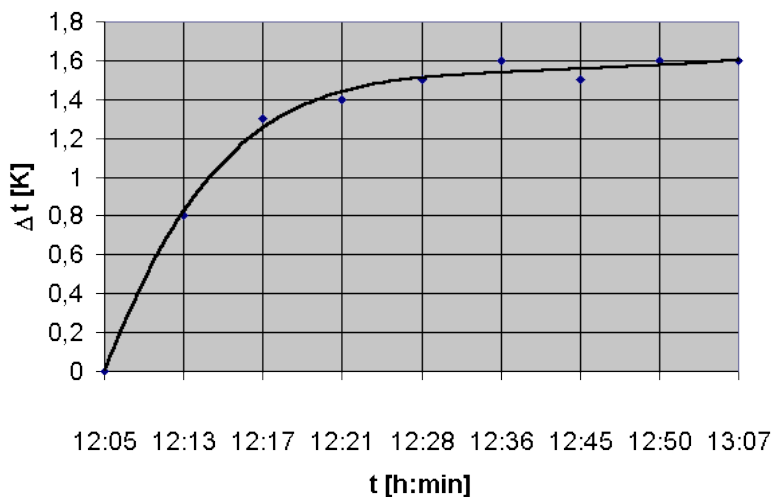
$$\begin{aligned} \text{b)} \quad Q_a &= c_v m \Delta T_a = 4186 \text{ J/kgK} \cdot 0.18 \text{ kg} \cdot 2 \text{ K} = 1506.96 \text{ J} \\ Q_r &= c_v m \Delta T_r = 4186 \text{ J/kgK} \cdot 0.18 \text{ kg} \cdot 0.5 \text{ K} = 376.74 \text{ J} \\ \Delta Q &= Q_a - Q_r = 1130.22 \text{ J} \end{aligned}$$

Nacrtali smo graf ovisnosti razlike temperature vode u dvije posude, ΔT , o vremenu t . Na linearnom dijelu grafa $\Delta T(t)$ odredit ćemo nagib pravca $k = \Delta T / \Delta t$:

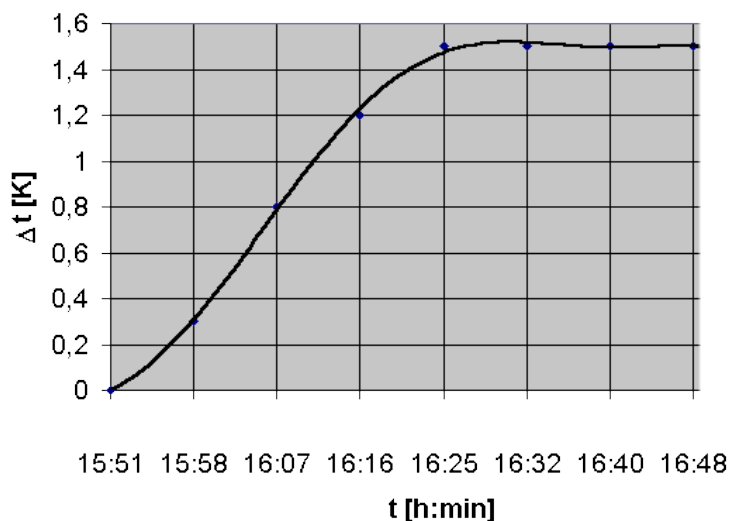
$$\begin{aligned} \text{a)} \quad \Delta T &= 0.65 \text{ K} \\ \Delta t &= 6 \text{ min} = 360 \text{ s} \quad k = \Delta T / \Delta t = 0.65 \text{ K} / 360 \text{ s} = 1.8 \cdot 10^{-3} \text{ K/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b)} \quad \Delta T &= 0.6 \text{ K} \\ \Delta t &= 8 \text{ min} = 480 \text{ s} \quad k = \Delta T / \Delta t = 0.6 \text{ K} / 480 \text{ s} = 1.25 \cdot 10^{-3} \text{ K/s} \end{aligned}$$

Grafovi ovisnosti razlike temperature vode u dvije posude, ΔT , o vremenu t :



a) 18.4.2001.



b) 23.4.2001.

Količina energije dobivena Sunčevim zračenjem u jedinici vremena, odnosno snaga, jednaka je:

- a) $P = \Delta Q / \Delta t = c_v m \Delta T / \Delta t = c_v m k = 4186 \text{ J/kgK} \cdot 0.18 \text{ kg} \cdot 1.8 \cdot 10^{-3} \text{ K/s}$
 $= 1.356 \text{ J/s} = 1.356 \text{ W}$
- b) $P = \Delta Q / \Delta t = c_v m \Delta T / \Delta t = c_v m k = 4186 \text{ J/kgK} \cdot 0.18 \text{ kg} \cdot 1.25 \cdot 10^{-3} \text{ K/s}$
 $= 0.942 \text{ W}$

Ako je u vrijeme mjerenja Sunce bilo na srednjoj visini \bar{h} , tada je Sunčevo zračenje padalo pod kutom \bar{h} na površine poklopca.

Površina poklopca iznosi:

$$2r = 6.6 \text{ cm} \Rightarrow r = 3.3 \text{ cm} = 3.3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A = r^2 \pi = (3.3 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2 \pi = 3.419 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Dok je efektivna površina poklopca:

- a) $A' = A \sin \bar{h} = 3.419 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \sin 53^\circ 34' = 2.751 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
- b) $A = A \sin \bar{h} = 3.419 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \sin 42^\circ 44' = 2.32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Količina energije koja padne u jedinici vremena na jediničnu površinu postavljenu okomito na smjer Sunčevih zraka jednaka je:

- a) $s' = P/A' = c_v m k / A' = 1.356 \text{ W} / 2.751 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 492.9 \text{ W/m}^2$
- b) $s' = P/A' = c_v m k / A' = 0.942 \text{ W} / 2.32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 406.03 \text{ W/m}^2$

Ako pretpostavimo da do Zemljine površine doprije svega 1/3 Sunčeva zračenja, dok se ostalo ili reflektira od atmosfere ili je u atmosferi apsorbirano, možemo na osnovu izračunate vrijednosti s' procijeniti približnu vrijednost Sunčeve konstante, s :

- a) $s = 3s' = 3 \cdot 492.9 \text{ W/m}^2 = 1478.7 \text{ W/m}^2$
- b) $s = 3s' = 3 \cdot 406.03 \text{ W/m}^2 = 1218 \text{ W/m}^2$

Budući da znamo da je udaljenost od Sunca do Zemlje 150 milijuna kilometara, ukupna snaga zračenja cijelog Sunca, odnosno luminozitet Sunca iznosi:

$$r = 150 \cdot 10^6 \text{ km} = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$\text{a) } L = 4\pi r^2 \cdot s = 4\pi(1.5 \cdot 10^{11} \text{ m})^2 \cdot 1478.7 \text{ W/m}^2 = 4.18 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

$$\text{b) } L = 4\pi r^2 \cdot s = 4\pi(1.5 \cdot 10^{11} \text{ m})^2 \cdot 1218 \text{ W/m}^2 = 3.44 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

Energija proizvedena u Sunčevoj jezgri prenosi se kroz Sunce prema površini Sunca na dva načina, zračenjem (radijativno), te miješanjem plina (konvekcijom). Znači, energija se prenosi kroz Sunce u mnogobrojnom nizu emisija, apsorpcija i raspršenja. Napredovanje fotona prema površini Sunca vrlo je sporo: "potomci" fotona nastalog u nekom trenutku u Sunčevoj jezgri napuštaju površinu Sunca više od milijun godina kasnije. Za nas je važno da se energija proizvedena u jezgri nigdje ne gubi, pa je možemo izračunati iz luminoziteta:

$$\text{a) } E = Lt = 4.18 \cdot 10^{26} \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 4.18 \cdot 10^{26} \text{ J}$$

$$\text{masa mirovanja protona: } m_0 = 1.69 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{energija mirovanja protona: } E_0 = m_0 c^2 = 1.69 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 1.521 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

svaka jezgra vodikovog atoma (proton) oslobodi 0.7% energije mirovanja: 0.7%

$$E_0 = 0.007 \cdot 1.521 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 1.065 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

broj vodikovih atoma proizlazi iz slijedećeg omjera: $N = E / 0.7\% E_0 = 4.18 \cdot 10^{26} \text{ J} / 1.065 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 3.925 \cdot 10^{38}$

$$\text{ukupna masa vodika: } m = Nm_0 = 6.63 \cdot 10^{11} \text{ kg}$$

$$\text{b) } E = Lt = 3.44 \cdot 10^{26} \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 3.44 \cdot 10^{26} \text{ J}$$

$$N = E / 0.7\% E_0 = 3.44 \cdot 10^{26} \text{ J} / 1.065 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 3.23 \cdot 10^{38}$$

$$M = Nm_0 = 5.46 \cdot 10^{11} \text{ kg}$$

Zaključak

Dokazali smo da za izvođenje praktičnog rada iz astronomije nije potrebno mnogo novca. Budući da nam je poznata vrijednost Sunčeve konstante koja iznosi 1370 W/m^2 , kao i luminozitet Sunca koji ima vrijednost $4 \cdot 10^{26} \text{ W}$, vidimo da smo dobili približno točne rezultate. Kada smo počeli raditi ovu vježbu, sumjali smo da ćemo dobiti rezultate koji će odgovarati poznatim vrijednostima. Ipak, uspjelo nam je da iz "ničega" dobijemo ono što smo samo mogli očekivati.

Literatura

V. VUJNOVIĆ: *Astronomija 2, Školska knjiga, Zagreb, 1994.*

D. ROŠA: *Opća astronomija 1&2, Zvezdarnica Zagreb, 1996.*

Web stranice e-škole za područje **astronomije**

Časopis ČOVJEK I SVEMIR; BOLID (Zvezdarnica Zagreb)