

Delci s Sonca

(Skupne točke: 10)

Fotoni, ki prihajajo do nas s Sončeve površine, in nevtrini, ki prihajajo iz Sončeve sredice, nam pripovedujejo o temperaturi Sonca, ter hkrati potrdijo, da energijski tok s Sonca izvira iz jedrskih reakcij.

Pri tej nalogi povsod, kjer je treba, privzemi, da je masa Sonca $M_{\odot} = 2,00 \times 10^{30}$ kg, razdalja med Soncem in Zemljo $d_{\odot} = 1,50 \times 10^{11}$ m, polmer Sonca $R_{\odot} = 7,00 \times 10^8$ m in energijski tok (energija, ki jo Sonce izseva v časovni enoti) $L_{\odot} = 3,85 \times 10^{26}$ W.

Opomba:

$$(i) \int x e^{ax} dx = \left(\frac{x}{a} - \frac{1}{a^2} \right) e^{ax} + C$$

$$(ii) \int x^2 e^{ax} dx = \left(\frac{x^2}{a} - \frac{2x}{a^2} + \frac{2}{a^3} \right) e^{ax} + C$$

$$(iii) \int x^3 e^{ax} dx = \left(\frac{x^3}{a} - \frac{3x^2}{a^2} + \frac{6x}{a^3} - \frac{6}{a^4} \right) e^{ax} + C$$

A Sevanje s Sonca

A1	Predpostavi, da Sonce seva kot idealno črno telo. S to predpostavko izračunaj temperaturo Sončeve površine.	0.3
-----------	---	------------

Spekter oddane svetlobe približno, a dobro opiše spodnji porazdelitveni zakon. Po njem je energija Sončevega sevanja, ki vpada na neko površino na Zemlji v enoti časa s svetlobo v določenem območju frekvenc ν (na frekvenčni interval) podana z $u(\nu)$,

$$u(\nu) = A \frac{R_{\odot}^2}{d_{\odot}^2} \frac{2\pi h}{c^2} \nu^3 \exp(-h\nu/k_B T_s),$$

kjer je A ploščina površine, na katero to sevanje vpada pravokotno.

V nadaljevanju obravnavaj sončno celico s ploščino ploskve A , narejeno iz tanke plasti polprevodnika in postavljeno pravokotno na sončne žarke.

A2	Uporabi zgornji porazdelitveni zakon in izrazi skupni energijski tok P_{in} , ki vpada na sončno celico, s parametri A , R_{\odot} , d_{\odot} , T_s in osnovnimi konstantami c , h , k_B .	0.3
-----------	---	------------

A3	Izrazi število fotonov $n_{\nu}(\nu)$ v določenem območju frekvenc, ki v časovni enoti vpadajo na sončno celico s parametri A , R_{\odot} , d_{\odot} , T_s , ν in osnovnimi konstantami c , h , k_B .	0.2
-----------	--	------------

Širina prepovedanega energijskega pasu v polprevodniku, iz katerega je sončna celica, je E_g . Predpostavi, da vsak foton, ki ima energijo $E \geq E_g$, vzbudi enega od elektronov iz valenčnega čez prepovedan pas v prevodni pas. Ta elektron zato prispeva k uporabni energiji točno E_g , višek energije pa se izgubi (sončna celica se greje).

A4	Vpelji $x_g = h\nu_g/k_B T_s$, kjer je $E_g = h\nu_g$. Izrazi uporabno moč sončne celice P_{out} s parametri x_g , A , R_{\odot} , d_{\odot} , T_s in osnovnimi konstantami c , h , k_B .	1.0
-----------	---	------------

A5	Izrazi izkoristek sončne celice η s parametrom x_g .	0.2
-----------	---	------------

A6	Shematično nariši graf η v odvisnosti od x_g . Vrednosti izkoristka pri $x_g = 0$ in $x_g \rightarrow \infty$ morata biti jasno nakazani. Kolikšni sta strmini grafa $\eta(x_g)$ pri $x_g = 0$ in $x_g \rightarrow \infty$?	1.0
-----------	---	------------

A7	Naj bo x_0 tista vrednost x_g , pri kateri je η največji. Izpelji kubično enačbo, ki določa x_0 . Približno oceni vrednost x_0 z natančnostjo $\pm 0,25$. Iz te vrednosti izračunaj $\eta(x_0)$.	1.0
-----------	---	------------

A8	V siliciju je širina prepovedanega pasu $E_g = 1,11$ eV. Izračunaj izkoristek silicijeve sončne celice η_{Si} .	0.2
-----------	--	------------

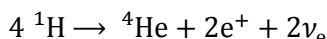
V poznem 19. stoletju sta Kelvin in Helmholtz (KH) predlagala hipotezo, ki naj bi pojasnila, od kod Soncu energija za sevanje. Iz začetnega stanja Sonca, ki naj bi bilo zelo velik oblak s skupno maso M_{\odot} in zanemarljivo gostoto, naj bi se Sonce zvezno počasi krčilo. Pri tem krčenju naj bi se sproščala gravitacijska potencialna energija Sonca v obliki sevanja.

A9	Predpostavi, da je gostota snovi povsod v Soncu enaka. Izrazi skupno gravitacijsko potencialno energijo Ω , ki jo ima Sonce danes, s parametri G , M_{\odot} in R_{\odot} .	0.3
A10	Približno oceni največjo možno starost Sonca τ_{KH} (v letih) po KH hipotezi. Predpostavi, da je bil energijski tok, ki ga je Sonce sevalo v vsem tem času in še danes, stalen.	0.5

Izračunana starost Sonca τ_{KH} se ne sklada z oceno starosti Sonca, pridobljeno iz raziskav meteoritov. To neujemanje kaže na to, da energija, ki jo Sonce seva, ne more izvirati le iz gravitacijske potencialne energije.

B Nevtrini s Sonca:

Leta 1938 je Hans Bethe predlagal razlago, po kateri energija Sončevega sevanja izvira iz jedrskih reakcij, ki potekajo v Sončevi sredici: zlivanja vodikovih v helijeva jedra. Celotna reakcija je:



Predpostavimo, da so elektronski nevtrini ν_e , ki nastajajo pri tej reakciji, brez mase. S Sonca priletijo tudi do Zemlje, kjer jih detektiramo. Detekcija nevtrinov potrjuje, da v sredici Sonca poteka zlivanje jeder. Glede na celotno energijo, ki se pri zlivanju jeder v Soncu sprosti, je energija, ki jo s Sonca odnesejo nevtrini, zanemarljiva.

B1	Izračunaj, koliko nevtrinov prileti na Zemljo v enoti časa na enoto površine, pravokotne na smer njihovega gibanja Φ_{ν} , v enotah $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Pri eni reakciji, zapisani zgoraj, se sprosti energija $\Delta E = 4,0 \times 10^{-12}$ J. Predpostavi, da vsa energija, ki jo Sonce seva, izvira iz reakcije, zapisane zgoraj.	0.6
----	---	-----

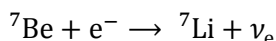
Med potovanjem iz sredice Sonca do Zemlje se del elektronskih nevtrinov ν_e spremeni v druge oblike nevtrinov ν_x . Izkoristek detektorja za detekcijo ν_x je $1/6$ izkoristka detektorja za detekcijo ν_e . Če se elektronski nevtrini ne bi spreminjali v druge oblike, bi jih v povprečju v enem letu zaznali N_1 . Ker pa se deloma spreminjajo, detektor v enem letu v povprečju zazna N_2 nevtrinov (obojih, ν_e in ν_x).

B2	Izračunaj in s parametroma N_1 in N_2 izrazi delež f nevtrinov ν_e , ki se spremenijo v ν_x .	0.4
----	---	-----

Detektorji nevtrinov so veliki hrani, polni vode. Čeprav nevtrini zelo redko interagirajo s snovjo, tu in tam vseeno izbijejo kak elektron iz posamezne vodne molekule v detektorju. Izbiti elektron se giblje skozi vodo z veliko hitrostjo, se ustavlja in pri tem seva svetlobo. Dokler je hitrost elektrona v vodi večja od hitrosti svetlobe v vodi, elektron to sevanje, imenovano Čerenkovo, oddaja v prostorski kot, omejen s stožcem. Lomni količnik vode je n .

B3	Predpostavi, da izbiti elektron med gibanjem skozi vodo izgublja energijo s stalno močjo α . Pri tem seva Čerenkovo sevanje čas Δt . Izrazi energijo E_{imparted} , ki jo je ta elektron prejel od nevtrina, s parametri α , Δt , n , m_e in c . (Predpostavi, da je elektron pred trkom z nevtrinom miroval.)	2.0
----	---	-----

Zlivanje jeder H v He poteka na več načinov in v več procesih. Jedro berilija ${}^7\text{Be}$ (z mirovno maso m_{Be}) nastopa v enem od procesov. Ko absorbira elektron, nastaneta jedro litija ${}^7\text{Li}$ (z mirovno maso $m_{\text{Li}} < m_{\text{Be}}$) in nevtrino ν_e :



Ko absorbira elektron, ki pred reakcijo miruje, jedro Be ($m_{\text{Be}} = 11,65 \times 10^{-27}$ kg), ki pred reakcijo tudi miruje, odda nevtrino z energijo $E_{\nu} = 1,44 \times 10^{-13}$ J. V resnici se jedra Be naključno termično gibljejo, ker so v Sončevi sredici s temperaturo T_c , in so zato gibajoči se viri nevtrinov. Zato je energija izsevanih nevtrinov razmazana okoli vrednosti E_{ν} s standardnim odmikom (rms, root mean square) ΔE_{rms} .

B4	Vzemi $\Delta E_{\text{rms}} = 5,54 \times 10^{-17}$ J in izračunaj koren povprečnega kvadrata hitrosti (rms) jedra Be, V_{Be} , in iz te hitrosti oceni T_c . (Namig: ΔE_{rms} je odvisna le od rms vrednosti komponente hitrosti v smeri opazovanja).	2.0
----	---	-----