

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE 2023/2024

Srednje škole 4. grupa

VAŽNO: Tijekom ispita ne smiješ imati nikakav pisani materijal (knjige, bilježnice, formule...).

Za pisanje se koristi kemijskom olovkom ili naličkom. Ne smiješ imati mobitel ni druge elektroničke uređaje. Dopušteno je korištenje kalkulatorom.

1. zadatak (16 bodova)

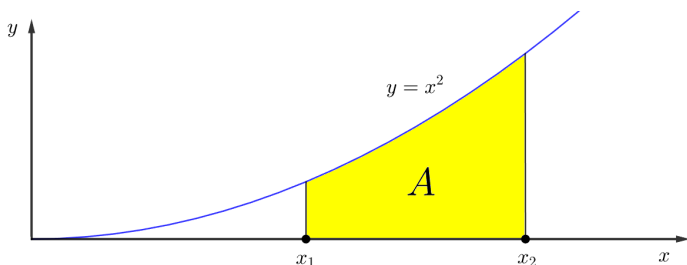
Svemirski teleskopi opremljeni detektorima koji mogu mjeriti zračenje u širokome spektru frekvencija visokom kutnom razlučivošću mogu se između ostaloga koristiti za proučavanje spektra zračenja zvjezdanih nakupina, ali i pojedinačnih zvijezda (u našoj galaksiji). Spektar zračenja zvijezda jako je dobra aproksimacija spektra zračenja crnoga tijela (uz dodatnu pojavu uskih apsorpcijskih ili emisijskih linija).

Teleskopom proučavamo plavu zvijezdu (plave zvijezde imaju površinsku temperaturu između 10 000 - 50 000 K) i uočavamo da ukupna snaga zračenja u frekvencijskom području od 2-10 THz iznosi samo $2 \times 10^{-5} \%$ od ukupne snage zračenja zvijezde (na svim frekvencijama).

a.) Odredi temperaturu površine zvijezde.

b.) Mjerenjem na višim frekvencijama od 230-280 THz uočavaju se dvije vodikove spektralne linije razmaknute za 40.2234 THz. Odredi relativnu radijalnu brzinu v (komponenta brzine duž spojnice zvijezde i teleskopa) između zvijezde i teleskopa. Pretpostavi $v \ll c$.

Korisne relacije:



Slika 1

$$P(f) = \frac{8R^2\pi^2h}{c^2} \frac{f^3}{\exp\left(\frac{hf}{k_B T}\right) - 1}, \quad (1)$$

$$\exp(x) \approx 1 + x, \quad x \ll 1, \quad (2)$$

$$A = \frac{x_2^3 - x_1^3}{3}. \quad (3)$$

$P(f) \times \Delta f$ je snaga zračenja zvijezde radijusa R za pojas jako male širine Δf oko frekvencije f , a A je površina ispod krivulje $y = x^2$ između x_1 i x_2 (slika 1).

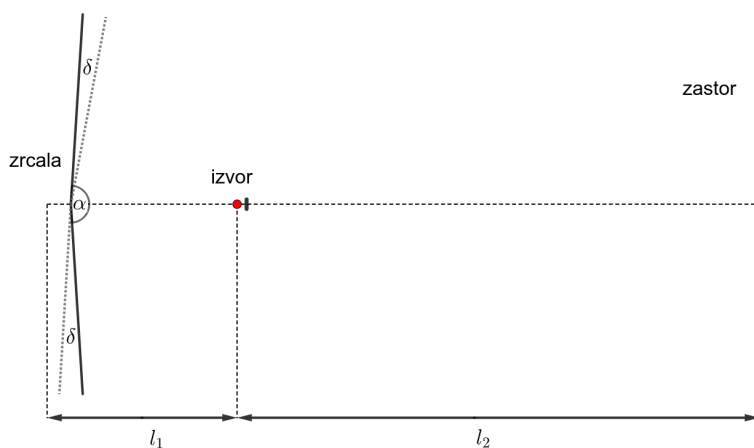
2. zadatak (17 bodova)

Izvor monokromatskoga zračenja valne duljine $\lambda = 632 \text{ nm}$ usmjeren je na dva zrcala koja međusobno zatvaraju kut $\alpha = 179.5^\circ$. Izvor je udaljen za $l_1 = 15 \text{ cm}$ od spojišta dvaju zrcala, te $l_2 = 3 \text{ m}$ od zastora do kojega monokromatsko zračenje može dospjeti samo indirektno, tj. nakon refleksije od zrcala.

a.) Odredi udaljenost uzastopnih maksimuma u interferencijskome uzorku na zastoru.

b.) Odredi koliko i u kojemu se smjeru središnji maksimum pomakne ako oba zrcala zarotiramo za kut $\delta = 0.2^\circ$ u smjeru kazaljke na satu.

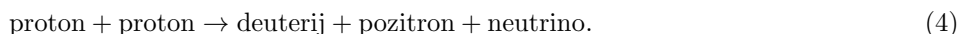
Napomena: Zaokruživanje vrijednosti u međukoracima može dovesti do značajnoga odstupanja u konačnome rezultatu.



Slika 2

3. zadatak (18 bodova)

Nuklearne reakcije u Suncu proizvode, između ostaloga, ogromnu količinu neutrina. Promotrimo reakciju:



Pretpostavi da jedan proton miruje, a drugi ima kinetičku energiju od 6 keV.

a.) Kolika je količina gibanja protona?

b.) Odredi energiju neutrina (u keV) koji je produkt takvoga procesa. Pretpostavi da najmanje jedan produkt reakcije koji nije neutrino miruje (tj. ima jako malu kinetičku energiju), a da se drugi kreće nerelativističkom brzinom po istome pravcu kao i neutrino.

c.) Izračunaj brzinu produkta koji se kreće. Je li bilo opravdano smatrati ga nerelativističkim?

d.) Neutrino se može neizravno detektirati opažanjem zračenja elektrona koji se kao posljedica međudjelovanja s neutrinom giba brže od brzine svjetlosti u mediju u kojemu se nalazi. Kolika mora biti minimalna energija neutrina da ga na taj način možemo detektirati u spremniku vode ($n = 1.33$ za vodu)? Pretpostavi da neutrino preda svu energiju elektronu i zanemari energiju vezanja elektrona u molekuli vode.

4. zadatak (19 bodova)

Dvolomac je kristal koji ima takvo svojstvo da je za zraku koja je polarizirana u smjeru njegove optičke osi (ekstraordinarna) indeks loma jednak n_1 , a za zraku koja je polarizirana u smjeru okomitome na njegovu optičku os (ordinarna) indeks loma jednak n_2 .

a.) Odredi razliku u fazi δ između ekstraordinarne i ordinarne zrake zbog prolaska kroz dvolomac u ovisnost o n_1 , n_2 , valnoj duljini upadne svjetlosti λ i debljini dvolomca d .

b.) Izvor linearno polarizirane svjetlosti intenziteta I_0 upada na dvolomac tako da smjer polarizacije upadne svjetlosti zatvara kut α s optičkom osi dvolomca. Svjetlost zatim dolazi na polarizator čija os polarizacije zatvara kut β s optičkom osi dvolomca. Iza polarizatora nalazi se detektor koji bilježi intenzitet svjetlosti nakon prolaska kroz polarizator. Izvor svjetlosti i dvolomac imaju parametre iz a.) zadatka. Odredi intenzitet svjetlosti koja dolazi na detektor u ovisnosti o α , β , δ i I_0 .

c.) Os polarizacije polarizatora može se mijenjati. Koliki moraju biti kut α i minimalna debljina d da je intenzitet svjetlosti koja upada na detektor jednaka za sve smjerove osi polarizacije polarizatora? Koliki je taj intenzitet? Uzmi $\lambda = 500 \text{ nm}$, $n_1 = 1.4215$, $n_2 = 1.4221$ i $I_0 = 50 \text{ W m}^{-2}$.

Korisne relacije: $\sin(x + y) = \sin x \cos y + \cos x \sin y$, $\cos(x + y) = \cos x \cos y - \sin x \sin y$.

Vrijednosti potrebnih fizikalnih konstanta:

Brzina svjetlosti $c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

Wienova konstanta $b = 2.89777196 \times 10^{-3} \text{ m K}$

Planckova konstanta $h = 6.62607015 \times 10^{-34} \text{ J s}$

Boltzmannova konstanta $k_B = 1.380649 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

Stefan-Boltzmannova konstanta $\sigma = 5.67037442 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

Rydberg $1Ry = 13.60569312 \text{ eV}$

Naboj elektrona $e = 1.60217663 \times 10^{-19} \text{ C}$

Masa elektrona/pozitrona $m_e = 9.1093837 \times 10^{-31} \text{ kg} \equiv 510\,998.95 \text{ eV}/c^2$

Masa protona $m_p = 1.67262192 \times 10^{-27} \text{ kg} \equiv 938\,272\,088 \text{ eV}/c^2$

Masa deuterija $m_d = 3.34358377 \times 10^{-27} \text{ kg} \equiv 1\,875\,612\,943 \text{ eV}/c^2$