DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Pula, 17.–20. travnja 2018.

Srednje škole - 4. skupina

1. Tijelo miruje u ishodištu inercijalnog sustava $\mathcal{S}$ do trenutka $t = 0$ kad se počne gibati jednoliko ubrzano u pozitivnom smjeru osi x. τ sekundi kasnije tijelo dosegne brzinu $\frac{4}{5}c$, nakon čega se nastavi jednoliko gibati tom brzinom. Nazovimo početak ubrzanog gibanja događaj A, a završetak ubrzanog gibanja događaj B.

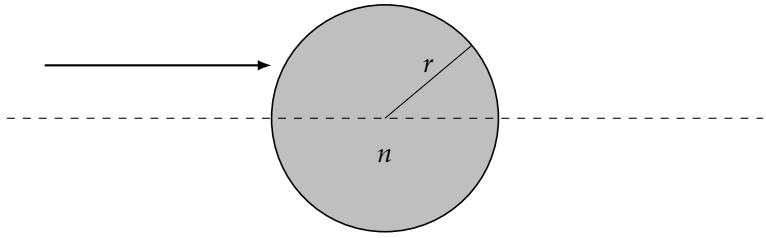
   - Odredite prostorno-vremenske koordinate (x', t') događaja A i B u inercijalnom sustavu $\mathcal{S}'$ koji se giba brzinom $\frac{4}{5}c$ u pozitivnom smjeru osi x u odnosu na $\mathcal{S}$.
   - Nađite kako položaj tijela ovisi o vremenu $x'(t')$ za promatrača iz $\mathcal{S}'$. Ograničite se na vremenski period između događaja A i B. Je li gibanje jednoliko ubrzano i u sustavu $\mathcal{S}'$?

   Odgovore zapišite preko zadanih veličina c, τ, te numeričkih faktora.

   [18 BODOVA]

2. Staklena kuglica polumjera $r = 5\,\text{cm}$ i indeksa loma $n = 1.45$ smještena je na optičkoj osi, kao na slici. Pokažite da se sve paraksijalne zrake koje upadaju na kuglicu sijeku u istoj točki nakon izlaska s druge strane kuglice. Drugim riječima, za takve zrake kuglica predstavlja konvergentnu leću. Odredite efektivnu žarišnu duljinu f kuglice za paraksijalne zrake.

   Napomena: paraksijalne zrake su zrake svjetlosti koje upadaju paralelno optičkoj osi, te dovoljno blizu nje da se mogu iskoristi aproksimacije malih kutova.



   [13 BODOVA]

3. U središtu metalne izolirane sfere nalazi se izvor monokromatskog zračenja snage $P = 100\,\text{W}$. Sfera na načinjena od srebra, čiji je izlazni rad $W = 4.5\,\text{eV}$.

   - Kolika mora biti minimalna frekvencija zračenja ν_0 da bi se sfera mogla ionizirati fotoelektričnim efektom?

   U nastavku zadatka uzmite da je frekvencija zračenja $\nu = 2\nu_0$ te da svaki emitirani foton izbaci jedan elektron.

   - Koliko dugo mora biti uključen izvor zračenja da se sfera nabije nabojem $Q = 1\,\text{C}$?
   - Kolika je ukupna kinetička energija svih izbačenih elektrona u tom slučaju?
   - Kojom se brzinom gibaju elektroni pri izlasku iz metala?

   Prilikom računa zanemarite elektrostatsko privlačenje pozitivno nabijene sfere i izbijenih elektrona.

   [15 BODOVA]

4. Hoyleova rezonanca pobuđeno je stanje jezgre ugljika ^{12}C s energijom pobuđenja $E^* = 7.7\,\mathrm{MeV}$. U laboratorijskom sustavu, Hoyleova rezonanca se, iz mirovanja, raspada na tri identične alfa-čestice, tj. jezgre helija ^{4}He,

$$^{12}\mathrm{C}^* \longrightarrow 3 \times {}^4\mathrm{He}.$$

U tročestičnim raspadima poput ovog, kinematika produkata nije jednoznačno zadana (za razliku od dvočestičnih raspada!) već postoji beskonačno različitih kombinacija energija i međusobnih kutova koju tri alfa-čestice mogu poprimiti. Međutim, postoji sustavan način za analizu tročestičnih raspada, putem tzv. Dalitzovog dijagrama.

- Za početak izračunajte Q vrijednost ove reakcije. Ukoliko je dobivena vrijednost puno manja ($<$ 1%) od energije mirovanja jezgre helija, dalje možete koristite formule nerelativističke kinematike, dok je u suprotnom potrebno koristiti formule relativističke kinematike.
- Uvedite kinematičke varijable $t_i = T_i/Q$, gdje je T_i kinetička energija i-te alfa-čestice, te θ_{ij} kao kut između i-te i j-te alfa-čestice. Koristeći zakone očuvanja, prikažite sve t_i varijable pomoću Dalitzovih varijabli x i y definiranih preko

$$x = \sqrt{3}(t_1 - t_2), \quad y = 2t_3 - t_1 - t_2.$$

  Osim toga, pokažite i da se svi kutovi θ_{ij} mogu izraziti preko kinetičkih energija t_i, pa, posredno, i preko x i y. Dakle, kinematika produkata tročestičnog raspada je u potpunosti određena parametrima x i y.
- Da biste odredili dozvoljene vrijednosti Dalitzovih parametara u xy ravnini, prisjetite se da kinetička energija svake alfa-čestice ne smije biti negativna, $t_i \geq 0$. Odredite kako ove nejednakosti ograničavaju dozvoljene vrijednosti Dalitzovih parametara u xy ravnini.
- Osim pozitivnosti kinetičkih energija, i međusobni kutovi među česticama moraju zadovoljavati određeni uvjet, $\cos\theta_{ij} \in [-1, +1]$. Kako ovaj zahtjev dodatno ograničava dozvoljene vrijednosti u xy ravnini? Dovoljno je samo promotriti kut θ_{12}.
- Označite područje na dozvoljenom dijelu dijagrama gdje vrijedi $t_1 = t_2$. Koje sve vrijednosti može poprimiti t_3 u tom slučaju?
- Označite područje na dozvoljenom dijelu dijagrama gdje vrijedi $\theta_{12} = \pi/2$. Koje sve vrijednosti može poprimiti t_3 u tom slučaju?

Energije mirovanja jezgri ugljika i helija su $m(^{12}\mathrm{C})c^2 = 11.178\,\mathrm{GeV}$ i $m(^4\mathrm{He})c^2 = 3.727\,\mathrm{GeV}$.

[24 BODOVA]

Vrijednosti fizikalnih konstanti:

- brzina svjetlosti: $c = 3.00 \times 10^8\,\mathrm{m/s}$;
- elementarni naboj: $e = 1.60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$;
- masa elektrona: $m = 9.11 \times 10^{-31}\,\mathrm{kg}$;
- Planckova konstanta: $h = 6.63 \times 10^{-34}\,\mathrm{m^2kg/s} = 4.14 \times 10^{-15}\,\mathrm{eV\,s}$;

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Pula, 17.–20. travnja 2018.

Srednje škole - 4. skupina, rješenja i smjernice za bodovanje

Upute za bodovanje: Ovdje je prikazan jedan način rješavanja zadataka. Ukoliko učenici riješe zadatak drugačijim, a fizikalno ispravnim načinom, treba im dati puni broj bodova predviđen za taj zadatak. Ako učenici ne napišu posebno svaki ovdje predviđeni korak, a vidljivo je da su ga napravili, treba im dati bodove kao da su ga napisali.

1. Veza između koordinata događaja u inercijalnim sustavima $\mathcal{S}$ i $\mathcal{S}'$ je dana standardnim Lorentzovim transformacijama

$$x' = \gamma(x - vt), \qquad t' = \gamma(t - vx/c^2),$$

gdje je v brzina $\mathcal{S}'$ u odnosu na $\mathcal{S}$, a $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$. Koordinate događaja A i B u sustavu $\mathcal{S}$ su

$$(x_A, t_A) = (0, 0), \qquad (x_B, t_B) = (2c\tau/5, \tau), \qquad \text{[3 BODA]}$$

jer se čestica gibala konstantom akceleracijom $a = \dfrac{4c}{5\tau}$ iz mirovanja pa je u vremenu τ prevalila put

$$s = \frac{1}{2}\frac{4c}{5\tau}\tau^2 = \frac{2}{5}c\tau.$$

- Koristeći gore navedene Lorentzove transformacije, uz $v = 4c/5$, imamo za koordinate događaja A i B u $\mathcal{S}'$

$$(x'_A, t'_A) = (0, 0), \qquad (x'_B, t'_B) = (-2c\tau/3, 17\tau/15). \qquad \text{[3 BODA]}$$

- Da bismo odredili vremensku ovisnost $x'(t')$, naprosto shvatimo putanju $x(t)$ u $\mathcal{S}$ kao niz događaja s koordinatama

$$(x(t), t) = \left(\frac{1}{2}\frac{4c}{5\tau}t^2, t\right), \qquad \text{[2 BODA]}$$

te iskoristimo gornje Lorentzove transformacije. Kao rezultat imamo

$$x'(t) = \frac{4}{3}\left(\frac{t}{2\tau} - 1\right)ct, \qquad t'(t) = \frac{5}{3}\left(1 - \frac{8}{25}\frac{t}{\tau}\right)t. \qquad \text{[4 BODA]}$$

Posljednju relaciju možemo invertirati rješavanjem kvadratne jednadžbe,

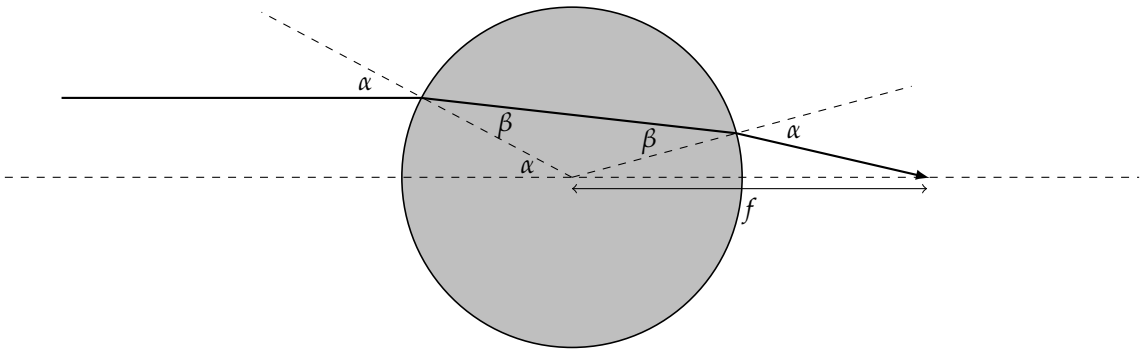
$$t(t') = \frac{25}{16}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{96}{125}\frac{t'}{\tau}}\right)\tau, \qquad \text{[2 BODA]}$$

gdje smo predznak ispred korijena odabrali tako da vrijedi $t(t' = 0) = 0$. Uvrštavanjem ove formule u formulu za $x'(t)$ i sređivanjem, imamo

$$x'(t') = -\frac{5}{4}\left[\frac{t'}{\tau} - \frac{15}{16}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{96}{125}\frac{t'}{\tau}}\right)\right]c\tau. \qquad \text{[2 BODA]}$$

Iz posljednjeg je izraza očito da se u sustavu $\mathcal{S}'$ ne radi o jednoliko ubrzanom gibanju. [2 BODA]

2. Promotrimo kako se lomi jedna paraksijalna zraka:



[2 BODA]

Veza između kutova α i β je dana Snellovim zakonom

$$\sin\alpha = n\sin\beta. \qquad \text{[2 BODA]}$$

S druge strane, žarišnu duljinu f možemo povezati s polumjerom kuglice r pomoću sinusnog poučka,

$$\frac{f}{r} = \frac{\sin(\pi-\alpha)}{\sin(2\alpha-2\beta)} = \frac{\sin\alpha}{\sin 2(\alpha-\beta)}. \qquad \text{[3 BODA]}$$

U paraksijalnoj aproksimaciji možemo pisati

$$\sin\alpha \approx \alpha, \quad \sin\beta \approx \beta, \quad \sin 2(\alpha-\beta) \approx 2(\alpha-\beta). \qquad \text{[3 BODA]}$$

Iz svega slijedi

$$f = \frac{r}{2(1-1/n)} \qquad \text{[2 BODA]}$$

$$= 8.06\,\text{cm}. \qquad \text{[1 BOD]}$$

3. • Emitirano zračenje frekvencije ν se sastoji od fotona energije $h\nu$, gdje je h Planckova konstanta. Prema tome, foton koji će izbaciti elektron iz metala mora imati barem toliko energije da savlada izlazni rad.

$$\begin{aligned} \nu_0 &= W/h && [2 \text{ BODA}] \\ &= 1.09 \times 10^{15}\,\text{Hz}. && [1 \text{ BOD}] \end{aligned}$$

• Izvor snage P kroz vrijeme Δt emitira ΔN fotona frekvencije $h\nu$, tako da vrijedi

$$P = \frac{\Delta N}{\Delta t} h\nu. \qquad [2 \text{ BODA}]$$

Ako svaki foton izbije jedan elektron, onda ΔN mora biti jednak broju elektrona koji (po iznosu) čine ukupni naboj Q,

$$\Delta N = \frac{Q}{e}, \qquad [1 \text{ BOD}]$$

gdje je e naboj elektrona. Odavde je

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{\Delta N}{P} h\nu = 2\frac{QW}{eP} && [2 \text{ BODA}] \\ &= 0.09\,\text{s}. && [1 \text{ BOD}] \end{aligned}$$

Ovdje smo iskoristili uvjet zadatka $\nu = 2\nu_0 = 2W/h$.

• Ukupna kinetička energija izbačenih elektrona je razlika ukupne energije fotona i izlaznog rada potrebnog da se svi elektroni izbace iz metala

$$\begin{aligned} E_\text{k} &= \Delta N(h\nu - W) = \frac{QW}{e} && [2 \text{ BODA}] \\ &= 4.5\,\text{J}. && [1 \text{ BOD}] \end{aligned}$$

• Brzina svakog elektrona se lako dobije iz poznate kinetičke energije pojedinog elektrona

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{2W}{m}} && [2 \text{ BODA}] \\ &= 1.26 \times 10^6\,\text{m/s}. && [1 \text{ BOD}] \end{aligned}$$

4. • Q vrijednost reakcije jednaka je razlici energije mirovanja početne jezgre i produkata. Budući da je raspad krenuo iz pobuđenog stanja, Q vrijednost reakcije je

$$\begin{aligned} Q &= m(^{12}\mathrm{C})c^2 + E^* - 3m(^4\mathrm{He})c^2 && \text{[2 BODA]} \\ &= 4.7\,\mathrm{MeV}. && \text{[1 BOD]} \end{aligned}$$

Dobivena Q vrijednost je pozitivna, što znači da dolazi do spontanog raspada, i manja je od jednog postotka vrijednosti energije mirovanja alfa-čestice, pa u nastavku koristimo nerelativističke izraze za kinetičku energiju alfa-čestica. [1 BOD]

• Zakon očuvanja energije, zapisan preko kinetičkih energija i Q vrijednosti glasi

$$T_1 + T_2 + T_3 = Q \quad \rightsquigarrow \quad t_1 + t_2 + t_3 = 1. \qquad \text{[1 BOD]}$$

Sve kinetičke energije možemo odmah izraziti u terminima Dalitzovih varijabli x i y,

$$t_1 = \frac{2+\sqrt{3}x-y}{6}, \quad t_2 = \frac{2-\sqrt{3}x-y}{6}, \quad t_3 = \frac{1+y}{3}. \qquad \text{[3 BODA]}$$

Zakon očuvanja količine impulsa glasi

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 = \vec{0}, \qquad \text{[1 BOD]}$$

jer se početna jezgra raspala iz mirovanja. Da bismo dobili kut između, npr. alfa-čestice 1 i 2, pišemo

$$-\vec{p}_3 = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 \quad \rightsquigarrow \quad p_3^2 = p_1^2 + p_2^2 + 2p_1p_2\cos\theta_{12},$$

odakle odmah imamo

$$\cos\theta_{12} = \frac{p_3^2 - p_1^2 - p_2^2}{2p_1p_2} = \frac{t_3 - t_1 - t_2}{2\sqrt{t_1t_2}}, \qquad \text{[2 BODA]}$$

te slično i za ostale kutove. Ovdje smo koristili vezu između kinetičke energije i iznosa količine gibanja $p = \sqrt{2mT}$.

• Uvjet na pozitivnost kinetičkih energija vodi na sljedeće uvjete

$$\begin{aligned} t_1 \geq 0 \quad &\Longleftrightarrow \quad y \leq 2+\sqrt{3}x && \text{[1 BOD]} \\ t_2 \geq 0 \quad &\Longleftrightarrow \quad y \leq 2-\sqrt{3}x && \text{[1 BOD]} \\ t_3 \geq 0 \quad &\Longleftrightarrow \quad y \geq -1 && \text{[1 BOD]} \end{aligned}$$

Dobiveno područje predstavlja jednakostraničan trokut u xy ravnini s vrhovima u točkama $(0,2)$, $(\pm\sqrt{3},-1)$, kako je prikazano na slici. [2 BODA]

• Za uvjet na kut imamo

$$|\cos\theta_{12}| \leq 1 \quad \Longleftrightarrow \quad (t_3 - t_1 - t_2)^2 \leq 4t_1t_2 \quad \Longleftrightarrow \quad t_1^2 + t_2^2 + t_3^2 \leq 2(t_1t_2 + t_2t_3 + t_3t_1), \qquad \text{[2 BODA]}$$

a zadnja se nejednakost, koristeći prethodne rezultate, može svesti na uvjet

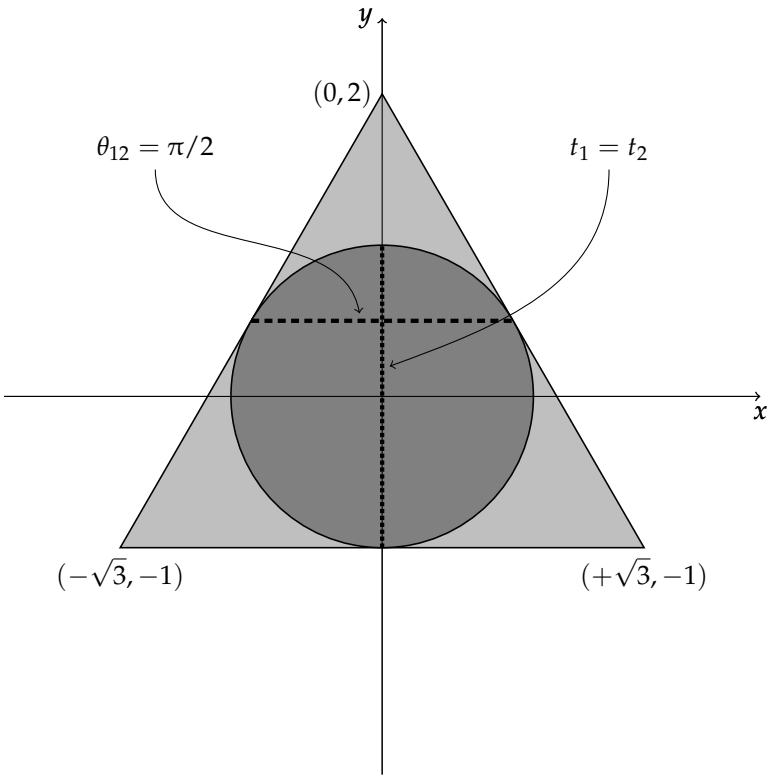
$$x^2 + y^2 \leq 1, \qquad \text{[2 BODA]}$$

što predstavlja jedinični krug u xy ravnini, prikazan na slici. Nije teško vidjeti da je dobiveni krug upisan u prethodno dobiveni trokut, i time smo dobili da je područje Dalitzovih parametara x i y koji su dozvoljeni zakonima očuvanja upravo jednični krug u xy ravnini. Valja napomenuti da je uvjet na kutove simetričan u varijablama t_i pa bismo isti rezultat dobili promatranjem bilo kojeg kuta θ_{ij}.

- Slučaj $t_1 = t_2$ odgovara području $x = 0$ unutar jediničnog kruga, kako je naznačeno na slici. Druga varijabla, y može poprimiti vrijednost $y \in [-1, +1]$, što znači da kinetička energija treće čestice može poprimiti vrijednosti
$$t_3 \in [0, 1].$$ [2 BODA]

- Slučaj $\theta_{12} = \pi/2$ daje $\cos\theta_{12} = 0$, odnosno $t_3 = t_1 + t_2$. Ovo pak, u kombinaciji s prethodnom izvedenim rezultatima znači da treća čestica ima fiksnu energiju u ovom slučaju
$$t_3 = \frac{1}{2}.$$ [1 BOD]

  Dalitzovi parametri poprimaju vrijednosti
$$x \in \left[-\frac{\sqrt{3}}{2}, +\frac{\sqrt{3}}{2}\right], \quad y = \frac{1}{2}.$$ [1 BOD]



Slika 1: Dalitzov dijagram

DRŽAVNO NATJECANJE MLADIH FIZIČARA
Pula, 17. – 20. travnja 2018.

Srednje škole – 4. grupa

EKSPERIMENTALNI ZADATAK

Pribor:

- staklena čaša
- tanki drveni štapić za roštilj
- spužva
- škare
- ravnalo
- pomična mjerka
- tanki flomaster
- bočica s vodom
- posuda s uljem
- papirnati ubrusi

Zadatak:

1. Odredite indeks loma za vodu i ulje tako da:
   a) opišete teorijsku osnovu eksperimentalnog postupka uz odgovarajuću skicu i algebarski izraz … 4 boda
   b) opišete način rada uz odgovarajuću skicu i korištene izraze … 6 bodova
   c) tablično prikažete rezultate za minimalno pet mjerenja za vodu i za ulje … 6 bodova
   d) provedete račun slučajnih pogrešaka uz zapis točnog rezultata i određivanje relativne maksimalne pogreške … 6 bodova
   e) ukratko komentirate preciznost mjerenja prema dobivenoj maksimalnoj relativnoj pogrešci … 2 boda
   f) usporedite dobivene rezultate indeksa loma za vodu i ulje … 1 bod
   g) navedete na koji ste način postigli što veću preciznost mjerenja … 2 boda
   h) prema stečenom eksperimentalnom iskustvu nabrojite minimalno tri čimbenika koji su utjecali na preciznost mjerenja … 2 boda
   i) navedete barem jedno područje u kojem je danas uspješna primjena teorijske osnove koja je omogućila određivanje indeksa loma … 1 bod

---

Ukupno: …….**30 bodova**

Natjecateljima želimo uspješan rad!

DRŽAVNO NATJECANJE MLADIH FIZIČARA
Pula, 17. – 20. travnja 2018.

Srednje škole – 4. grupa

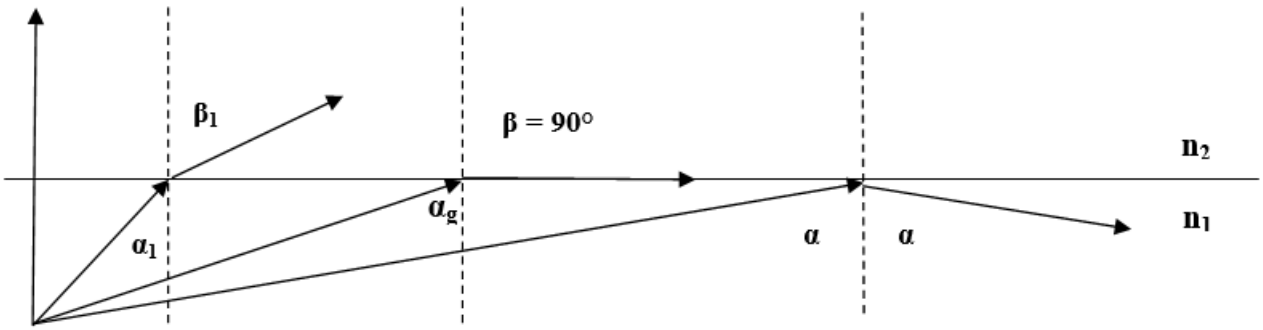
EKSPERIMENTALNI ZADATAK – rješenje

1. Odredite indeks loma za vodu i ulje tako da:

a) opišete teorijsku osnovu eksperimentalnog postupka uz odgovarajuću skicu i algebarski izraz … 4 boda

Eksperimentalni zadatak određivanja indeksa loma za vodu i ulje riješit ćemo primjenom totalne refleksije.

Totalna refleksija je pojava koja se javlja pri prijelazu svjetlosti iz optički gušćeg u optički rjeđe sredstvo. Kut loma za zrake koje prelaze iz optički gušćeg u optički rjeđe sredstvo postaje sve veći kako se povećava upadni kut (slika 1). Za određeni upadni kut α_g, kut loma β bit će jednak 90°. Taj upadni kut (α_g) nazivamo graničnim kutom. Daljnjim povećavanjem upadnog kuta ($\alpha > \alpha_g$), svjetlost ne može izaći iz gušćeg sredstva jer se potpuno odbija natrag u sredstvo po zakonu refleksije.



Slika 1. Skica uz objašnjenje totalne refleksije

Granični kut određujemo primjenom Snelliusova zakona loma:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \qquad (1)$$

Kut β iznosi 90° kada je $\alpha = \alpha_g$, te prema relaciji (1) slijedi:

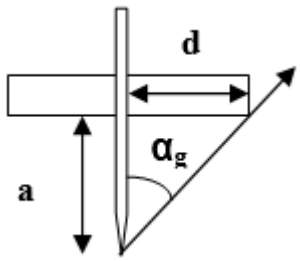
$$\sin \alpha_g = \frac{n_2}{n_1} \qquad (2)$$

Kada svjetlost prelazi iz sredstva apsolutnog indeksa loma n u vakuum, odnosno zrak, $n_2 = 1$, tada relacija (2) prelazi u:

$$\sin \alpha_g = \frac{1}{n} \qquad (3)$$

b) opišete način rada uz odgovarajuću skicu i korištene izraze … 6 bodova

Čašu do vrha napunimo sredstvom (voda ili ulje – preporuča se prvo napraviti sva mjerenja s vodom). Kroz sredinu spužve provučemo drveni štapić do veće duljine i zatim spužvu stavimo na čašu i izravno na sredstvo. Štapić zatim pomičemo prema gore kroz spužvu sve dok više ne vidimo vrh štapića – tada je došlo do totalne refleksije.



Prema slici 2 vidljivo je da mjerimo duljinu štapića u sredstvu (a) i udaljenost od ruba spužve (kut opažanja) do štapića. Granični kut odredimo prema izrazu:

$$\mathrm{tg}\, \alpha_g = d / a \qquad (4)$$

Prema Snelliusovu zakonu loma primijenjenom na totalnoj refleksiji i relaciji (3) dobijemo izraz za indeks loma:

$$n = \frac{1}{\sin \alpha_g} \qquad (5)$$

c) tablično prikažete rezultate za minimalno pet mjerenja za vodu i za ulje … 6 bodova

Organizacija podataka koje prikupljamo tijekom mjerenja značajan je dio svakog eksperimentalnog rada. Tablični prikaz povećava zornost i preglednost izmjerenih i izračunatih veličina (npr. pojedinačno odstupanje od srednje vrijednosti), te stoga tablica treba biti smisleno i svrsishodno organizirana sa svim potrebnim jasno određenim stupcima i redovima, a iznad tablice treba napisati odgovarajući naslov koji ukazuje na to koji se podaci u tablici nalaze.

Primjer tabličnog prikaza:

Tablica 1. Tablični prikaz rezultata određivanja indeksa loma za vodu

Redni broj mjerenja	d/m	h/m	α_g/ °	n_i	$n_i - \overline{n}$
1.					
…					
5.					

U istoj tablici, uz dobru organizaciju i jasno označavanje redaka i stupaca, mogu biti rezultati mjerenja i za vodu i za ulje.

d) provedete račun slučajnih pogrešaka uz zapis točnog rezultata i određivanje relativne maksimalne pogreške … 6 bodova

Računom slučajnih pogrešaka procjenjujemo točnost kojom smo izmjerili određenu veličinu, pri čemu određujemo:

- aritmetičku sredinu ili srednju vrijednost svih pojedinih mjerenja: $\overline{n} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{5} n_i$ (6)
- razlike između srednje vrijednosti i svakog pojedinačnog mjerenja: $\Delta n_i = (n - n_i)$ (7)
- apsolutnu vrijednost maksimalnog pojedinačnog odstupanja: $| \Delta n_{i\,max} |$ (8)
- zapis točnog rezultata: $n = (n \pm | \Delta n_{i\,max} |)$ (9)
- maksimalnu relativnu pogrešku koju najčešće izražavamo u postocima:

$$r_m = (\frac{| \Delta n_{i\,max} |}{\overline{n}} \cdot 100) \ \% \qquad (10)$$

Obzirom da se eksperimentalni zadatak odnosi na određivanje indeksa loma za dva različita sredstva, vodu i ulje, potrebno je posebno provesti navedeno za oba sredstva.

e) ukratko komentirate preciznost mjerenja prema dobivenoj maksimalnoj relativnoj pogrešci … 2 boda

Ovdje je potreban kratki komentar analize r_m u odnosu na srednje vrijednosti n za oba sredstva. Veća r_m znači i veću pogrešku, a moguće uzroke treba navesti pod g).

f) usporedite dobivene rezultate indeksa loma za vodu i ulje … 1 bod

Potrebna je konkretna usporedba dobivenih rezultata međusobno i zatim u odnosu na poznatu teorijsku vrijednost indeksa loma vode od 1,33. Obzirom na sve što utječe na preciznost mjerenja, uzet će se u obzir konkretno dobiveni rezultati indeksa loma korištenog ulja.

g) navedete na koji ste način postigli što veću preciznost mjerenja … 2 boda

Povezano s točkom e), veća r_m znači da je potrebno i više promišljanja o tome što je sve utjecalo na preciznost mjerenja. Svakako bi trebalo spomenuti uvjet opisan pod b) – da čaša mora biti potpuno ispunjena sredstvom, tako da spužva ide izravno na sredstvo i rub čaše, - da se koristi pomična mjerka za mjerenje duljine drvenog štapića u sredstvu s noniusovom skalom (desetinka milimetra), - da se flomasterom može označiti (točkica, duža crtica, cijeli opseg – razni načini za razna mjerenja) onaj dio štapića iznad kojeg se nalazi spužva i njegova pozicija na spužvi, tako da se štapić može izvaditi i zatim preciznije mjeriti pomičnom mjerkom.

h) prema stečenom eksperimentalnom iskustvu nabrojite minimalno tri čimbenika koji su utjecali na preciznost mjerenja … 2 boda

Ova točka je neizostavni dio svakog eksperimentalnog rada – uzet će se u obzir sve što je navedeno, a ima veze s organizacijom eksperimentalnog seta i vršenjem mjerenja.

i) navedete barem jedno područje u kojem je danas uspješna primjena teorijske osnove koja je omogućila određivanje indeksa loma … 1 bod

Primjena totalne refleksije: npr. - u optičkim instrumentima često se nalaze prizme za totalnu refleksiju; - vrlo velika primjena u telekomunikacijama, medicini i industriji: vodiči svjetlosti ili svjetlovodi.

Ukupno: ……**30 bodova**