DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Brodarica, 25.-28. travnja 2016.

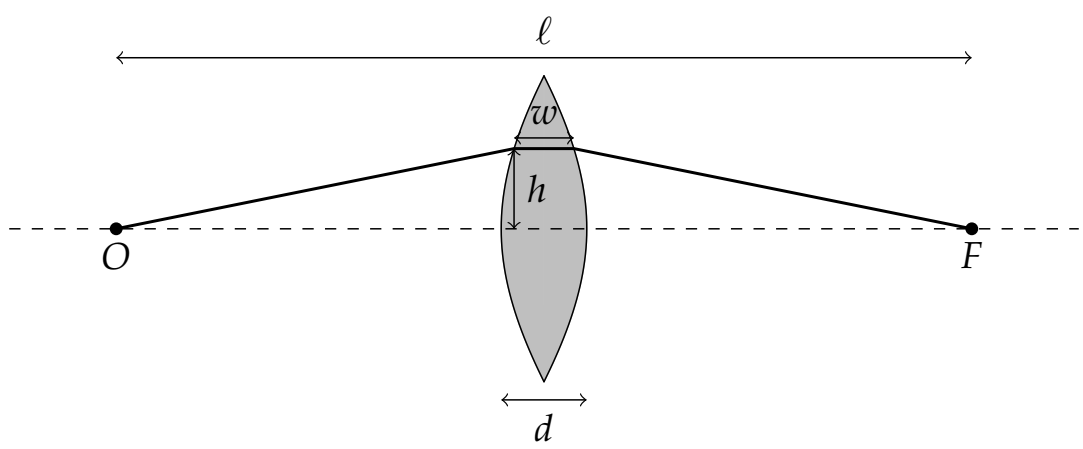
Srednje škole - 4. skupina

1. Kao rezultat testiranja nuklearnog oružja sredinom prošlog stoljeća, u atmosferi su stvorene znatne količine radioaktivnog izotopa vodika—tricija. Jezgra tricija, triton, sastoji se od jednog protona i dva neutrona te se standardno označava $^3_1\mathrm{H}$. Triton je nestabilna jezgra s vremenom poluraspada od 12.3 godine. Atomi tricija u atmosferi se brzo vežu u molekule vode i, nošeni kišom, završe u oceanu. Tamo dolazi do radioaktivnog raspada u kojem se triton $^3_1\mathrm{H}$ raspada na stabilnu jezgru helija $^3_2\mathrm{He}$ koju u normalnim okolnostima, kao niti triton, ne nalazimo u oceanu. Stoga je, mjerenjem relativnih udjela izotopa helija $^3_2\mathrm{He}$ i tricija $^3_1\mathrm{H}$ u uzorku morske vode, moguće odrediti koliko se dugo radioaktivan tricij nalazi u oceanu.

   - Kojeg je tipa raspad $^3_1\mathrm{H} \rightarrow {}^3_2\mathrm{He}$? Nastaju li još neke čestice u tom raspadu? Ako da, koje?
   - Mjerenja na uzorku morske vode iz 1952. godine su pokazala da je omjer izotopa helija naspram tricija 0.483 : 1. Ako sav tricij u oceanu pripišemo eksploziji jedne atomske bombe, koje je godine ta bomba eksplodirala?
   - Druga je atomska bomba na istom mjestu eksplodirala 1955. godine, a mjerenja uzorka morske vode iz 1956. godine pokazuju da je omjer izotopa helija naspram tricija tada bio 0.158 : 1. Pod pretpostavkom da je jačina atomske bombe proporcionalna količini stvorenog tricija u trenutku eksplozije, odredite koja je od atomskih bombi, prva ili druga, bila snažnija. Koliko puta?

[17 BODOVA]

2. Točkasti izvor svjetlosti se nalazi u točki O, a vi želite konstruirati leću koja bi svjetlost fokusirala u točku F, na udaljenosti $\ell = 1\,\mathrm{m}$ od izvora. U tu ćete svrhu koristiti komad stakla debljine $d = 2\,\mathrm{cm}$ i indeksa loma $n = 1.62$. Zbog jednostavnosti, napravit ćete simetričnu bikonveksnu leću i postaviti je točno između točaka O i F, kao na donjoj slici.



   - Prema Fermatovom principu, da bi se zrake svjetlosti, koje su istovremeno krenule iz točke O, fokusirale u točki F, one moraju tamo stići istovremeno. Koliko je vremena potrebno svjetlosti da dođe iz točke O do točke F, ako prolaze kroz gore spomenutu leću?
   - Zbog simetrične konstrukcije, svjetlost se unutar leće giba paralelno optičkoj osi. Koristeći tu činjenicu, kao i Fermatov princip, odredite kako debljina leće w mora ovisiti o visini h tako da leća ima tražena svojstva.
   - Jednom kad ste izbrusili leću da bude traženog oblika, koliko je ta leća velika? To jest, gledano iz smjera optičke osi, koliki je njen polumjer R?
   - Ukoliko izvor emitira svjetlost u svim smjerovima, koliki je udio emitirane svjetlosti fokusiran u točki F?

[19 BODOVA]

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Brodarica, 25.-28. travnja 2016.

3. Uzorak idealnog crnog tijela temperature $T = 1000\,\mathrm{K}$ stavi se u laboratorijsku centrifugu kraka $r = 1\,\mathrm{m}$ i zavrti do kutne brzine ω. U središtu centrifuge, na samoj osi rotacije, nalazi se optički spektrometar pomoću kojeg se mjeri temperatura uzorka u gibanju.

   - Hoće li izmjerena temperatura biti veća ili manja od stvarne temperature uzorka?
   - Pri kojoj će se kutnoj brzini ω izmjerena temperatura razlikovati za $\Delta T = 1\,\mathrm{K}$ od stvarne?

   [14 BODOVA]

4. Je li foton stabilna čestica? Ovaj će nam zadatak dati odgovor na to pitanje. Pretpostavite da se foton energije E_γ giba u vakuumu i, u nekom trenu, spontano raspadne. Budući da je foton nositelj elektromagnetske interakcije, za očekivati je da su produkti raspada fotona neke nabijene čestice. Najlakše nabijene čestice su elektron i njegova antičestica, pozitron. Zbog zakona očuvanja naboja, među produktima raspada mora biti isti broj čestica i antičestica. Uzmimo, stoga, da se foton spontano raspada na elektron-pozitron par: $\gamma \to e^+e^-$.

   - Napišite zakone očuvanja energije i količine gibanja za gornji raspad, te iz njih odredite izraze za kutove raspršenja elektrona i pozitrona u odnosu na smjer upadnog fotona. Pokažite da se kut raspršenja $e^\pm$ može izraziti samo kao funkcija količina gibanja $e^\pm$ i njegove mase. Što nam dobiveni rezultati govore o spontanom raspadu fotona?

   Promotrimo sad drugu mogućnost raspada fotona. Foton upada upada u mirujući olovni blok i sudari se s jezgrom olova N[1] uslijed čega dolazi do raspada $\gamma N \to N e^+ e^-$. Dakle, u sudaru se foton raspadne na elektron-pozitron par, a jezgra se odbije, bez raspada. Ovaj se proces naziva *dezintegracija fotona u materijalu*.

   - Odredite kojom minimalnom energijom E_γ (u MeV-ima) foton mora udariti u mirujuću jezgru olova da dođe do raspada. Masa jezgre olova je $M = 207.2u$.

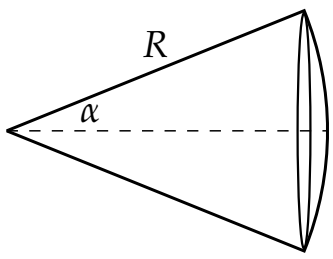
   Prilikom računa koristite relativističke izraze za energiju i količinu gibanja te zanemarite elektrostatsko privlačenje/odbijanje među nabijenim česticama.

   [20 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: $m = 9.11 \times 10^{-31}\,\mathrm{kg}$;
- unificirana atomska jedinica mase: $u = 1.66 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$.

Formula za oplošje kugline kape polumjera R i polukuta α: $2\pi R^2(1 - \cos\alpha)$.



[1] *Nucleus* = jezgra.

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Brodarica, 25.-28. travnja 2016.

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.
   - Prilikom raspada ${}^3_1\mathrm{H} \to {}^3_2\mathrm{He}$, jedan se neutron pretvori u proton što znači da se radi o β^- raspadu. Puni raspad glasi
   $$ {}^3_1\mathrm{H} \to {}^3_2\mathrm{He} + e^- + \bar{\nu}_e, \qquad [3 \text{ BODA}] $$
   i u njemu još nastaju elektron i (elektronski) (anti)neutrino.
   - Označimo $t = 0$ trenutak u kojem je eksplodirala prva atomska bomba i pretpostavimo da je sav tricij odmah završio u oceanu. Zbog radioaktivnog raspada, količina tricija i helija se u vremenu mijenja na način
   $$ N_{\text{tricij}}(t) = N_1\, 2^{-t/T}, \qquad [1 \text{ BOD}] $$
   $$ N_{\text{helij}}(t) = N_1(1 - 2^{-t/T}), \qquad [1 \text{ BOD}] $$
   gdje je N_1 količina početnog tricija oslobođena u eksploziji prve bombe, a $T = 12.3$ godina vrijeme poluživota tricija. Odavde je relativni omjer helija naspram tricija
   $$ \eta_1(t) = \frac{N_{\text{helij}}(t)}{N_{\text{tricij}}(t)} = 2^{t/T} - 1. \qquad [2 \text{ BODA}] $$
   Ako izvrnemo ovu relaciju, dobijemo
   $$ t = \frac{\ln(1+\eta_1)}{\ln 2} T. \qquad [1 \text{ BOD}] $$
   Uvrštavanjem $\eta_1 = 0.483$ dobivamo $t \approx 7$ godina, što znači da je prva atomska bomba eksplodirala 1945. godine. [1 BOD]
   - Neka je $\tau = 10$ godina, vrijeme proteklo između eksplozija dviju atomskih bombi. Količina tricija i helija nakon eksplozije druge bombe, $t \geq \tau$ se mijena u vremenu na način
   $$ N_{\text{tricij}}(t) = N_1\, 2^{-t/T} + N_2\, 2^{-(t-\tau)/T}, \qquad [2 \text{ BODA}] $$
   $$ N_{\text{helij}}(t) = N_1(1 - 2^{-t/T}) + N_2(1 - 2^{-(t-\tau)/T}), \qquad [2 \text{ BODA}] $$
   gdje je N_2 količina tricija nastala u eksploziji druge bombe. Relativni omjer ovih elemenata sad postaje
   $$ \eta_2(t) = \frac{N_{\text{helij}}(t)}{N_{\text{tricij}}(t)} = \frac{2^{t/T} - 1 + k(2^{t/T} - 2^{\tau/T})}{1 + k\, 2^{\tau/T}}, \qquad [2 \text{ BODA}] $$
   gdje je $k = N_2/N_1$ omjer količina tricija oslobođenih u drugoj, odnosno, prvoj eksploziji. Odavde možemo izraziti k kao
   $$ k = -\frac{1 - (1+\eta_2)2^{-t/T}}{1 - (1+\eta_2)2^{-(t-\tau)/T}}. \qquad [1 \text{ BOD}] $$
   Uvrštavanjem $t = 11$ godina imamo
   $$ k \approx 4. \qquad [1 \text{ BOD}] $$
   Druga je bomba, dakle, bila četiri puta snažnija od prve.

2. • Budući da, prema Fermatovom principu, sve zrake koje krenu iz točke O dođu u fokus F za isto vrijeme, dovoljno je izračunati potrebno vrijeme samo za jednu zraku. Najjednostavnije je uzeti zraku koja se giba uzduž optičke osi. Za nju imamo

$$t = \frac{l-d}{c} + \frac{d}{c/n} = \frac{l+(n-1)d}{c} \qquad \text{[2 BODA]}$$
$$= 3.37 \times 10^{-9}\,\text{s}. \qquad \text{[1 BOD]}$$

• Zraci koja upada na leću na visini h, potrebno je

$$t = \frac{2\sqrt{h^2 + ((l-w)/2)^2}}{c} + \frac{nw}{c} \qquad \text{[2 BODA]}$$

vremena da dođe do točke F. Međutim, prema Fermatovom principu, to vrijeme mora biti isto onom prethodno izračunatom. Dakle,

$$\frac{2\sqrt{h^2 + ((l-w)/2)^2}}{c} + \frac{nw}{c} = \frac{l+(n-1)d}{c}. \qquad \text{[2 BODA]}$$

Sređivanjem, dobijemo kvadratnu jednadžbu za w,

$$(n^2-1)w^2 - 2(n-1)(\ell+nd)w + d(n-1)(2\ell+(n-1)d) - 4h^2 = 0. \qquad \text{[1 BOD]}$$

Rješenja ove jednadžbe su

$$w_{1,2} = \frac{\ell+nd}{n+1} \pm \frac{\sqrt{(n-1)\left[(n-1)(\ell-d)^2 + 4(n+1)h^2\right]}}{n^2-1}. \qquad \text{[1 BOD]}$$

Predznak rješenja biramo uvjetom $w(h=0) = d$. Uz ovo, oblik leće $w(h)$ je

$$w(h) = \frac{\ell+nd}{n+1} - \frac{\sqrt{(n-1)\left[(n-1)(\ell-d)^2 + 4(n+1)h^2\right]}}{n^2-1}. \qquad \text{[1 BOD]}$$

• Veličinu leće određujemo iz uvjeta $w(h=R) = 0$, odnosno—debljina leće na njenom rubu mora, po definiciji, biti jednaka nuli. [2 BODA]

Uvrštavanje $w = 0$ vodi na izraz za polumjer leće

$$R = \frac{1}{2}\sqrt{(n-1)[2\ell+(n-1)d]d} \qquad \text{[1 BOD]}$$
$$= 7.90\,\text{cm}. \qquad \text{[1 BOD]}$$

• U fokusu F će završiti sve zrake koje upadaju na leću. A to su upravo one zrake koje su iz točke O emitirane pod kutom

$$\varphi \in [-\alpha, +\alpha] \qquad \text{[2 BODA]}$$

u odnosu na optičku os, gdje je $\cos\alpha = (\ell/2)/(R^2 + (\ell/2)^2)^{1/2}$. Prema tome, ako zamislimo da se iz točke O širi sferna fronta svjetlosnog vala polumjera $(R^2 + (\ell/2)^2)^{1/2}$, zrake koje će biti fokusirane se nalaze na sfernoj kapici polumjera R. Zaključujemo, udio fokusiranih zraka jest omjer oplošja te sferne kapice i oplošja cijele sfere

$$\eta = \frac{2\pi(R^2 + (\ell/2)^2)(1-\cos\alpha)}{4\pi(R^2 + (\ell/2)^2)} = \frac{1-\cos\alpha}{2} = \frac{(n-1)d}{\ell+(n-1)d} \qquad \text{[2 BODA]}$$
$$= 1.22\,\%. \qquad \text{[1 BOD]}$$

3. Optički spektrometar, kao što mu ime kaže, mjeri optički spektar uzorka. Pod pretpostavkom da mjereni spektar odgovara spektru crnog tijela, temperaturu uzorka možemo odrediti iz Wienovog zakona

$$\lambda_{\max} T = b, \qquad \text{[2 BODA]}$$

gdje je $\lambda_{\max}$ valna duljina zračenja najvećeg intenziteta, a b Wienova konstanta. Dakle, ako će spektrometar mjeriti temperaturu T' različitu od prave temperature uzorka T, to mora biti zato jer mjeri drugačiju maksimalnu valnu duljinu $\lambda'_{\max}$. [2 BODA]

Valna je duljina zračenja povezana s frekvencijom preko

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \qquad \text{[1 BOD]}$$

odnosno s periodom τ preko

$$\lambda = c\tau. \qquad \text{[1 BOD]}$$

Dakle, do promjene u mjerenju valne duljine može doći jedino ako za uzorak i mjerni instrument drugačije teče vrijeme. No, ovo je poznat efekt koji se manifestira pri relativističkim brzinama—radi se, naime, o dilataciji vremena. [1 BOD]

- Ako se uzorak u laboratorijskom sustavu giba brzinom v konstantnog iznosa, no ne nužno i smjera, tada je veza između proteklog vremena τ u sustavu uzorka i laboratorijskom sustavu τ' dana relacijom

$$\tau' = \gamma\tau, \qquad \text{[1 BOD]}$$

gdje je $\gamma = 1/\sqrt{1-(v/c)^2}$ Lorentzov faktor. Budući je $\gamma > 1$, to je $\tau' > \tau$. Ako uzmemo da je τ upravo period zračenja, imamo vezu između emitirane $\lambda = c\tau$ i detektirane valne duljine $\lambda' = c\tau'$

$$\lambda' = \gamma\lambda. \qquad \text{[1 BOD]}$$

Ova relacija vrijedi za sve valne duljine, pa i one maksimalnog intenziteta. Prema tome, veza između prave temperature uzorka $T = b/\lambda_{\max}$ i one mjerene u laboratorijskom sustavu $T' = b/\lambda'_{\max}$ je

$$T' = \frac{1}{\gamma} T. \qquad \text{[1 BOD]}$$

Dakle, spektrometar će mjeriti manju temperaturu od prave temperature uzorka.

- Iz prethodne relacije možemo odrediti brzinu gibanja uzorka, ako znamo T i T'

$$v = c\sqrt{1-\left(\frac{T'}{T}\right)^2}. \qquad \text{[2 BODA]}$$

Uzmajući u obzir za se radi o kružnom gibanju, imamo

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{c}{r}\sqrt{1-\left(\frac{T'}{T}\right)^2}. \qquad \text{[1 BOD]}$$

Uvrštavajući $T = 1000\,\mathrm{K}$ i $T' = 999\,\mathrm{K}$, dobivamo potrebnu kutnu brzinu

$$\omega = 1.34 \times 10^7\,\mathrm{rad/s}. \qquad \text{[1 BOD]}$$

4. • Polazimo od zakona očuvanja

$$E_\gamma = E_+ + E_-, \qquad [1 \text{ BOD}]$$
$$\vec{p}_\gamma = \vec{p}_+ + \vec{p}_-. \qquad [1 \text{ BOD}]$$

Ovdje smo indeksom γ označili energiju i količinu gibanja upadnog fotona, a indeksima $\pm$ energiju i količinu gibanja nastalog elektrona $(-)$ i pozitrona $(+)$. Ove ćemo jednadžbe kvadrirati, donju pomnožiti s c^2 i oduzeti od gornje. Na taj način dolazimo do

$$E_\gamma^2 - (\vec{p}_\gamma c)^2 = (E_+^2 - (\vec{p}_+ c)^2) + (E_-^2 - (\vec{p}_- c)^2) + 2(E_+E_- - c^2\vec{p}_+ \cdot \vec{p}_-).$$

Izraze u zagradama možemo pojednostaviti koristeći

$$E_\gamma^2 = (\vec{p}_\gamma c)^2, \qquad [1 \text{ BOD}]$$
$$E_\pm^2 = (\vec{p}_\pm c)^2 + (mc^2)^2, \qquad [1 \text{ BOD}]$$

gdje je m masa elektrona (pozitrona). Ovim manipulacijama dolazimo do izraza

$$0 = (mc^2)^2 + E_+E_- - c^2\vec{p}_+ \cdot \vec{p}_-. \qquad [1 \text{ BOD}]$$

Ako sad u gornju relaciju stavimo npr. $E_- = E_\gamma - E_+$ i $\vec{p}_- = \vec{p}_\gamma - \vec{p}_+$, te opet iskoristimo vezu između relativističke energije i količine gibanja dolazimo do

$$E_+E_\gamma = c^2\vec{p}_+ \cdot \vec{p}_\gamma. \qquad [1 \text{ BOD}]$$

Ako je θ_+ kut raspršenja pozitrona, tada gornja relacija postaje

$$E_+E_\gamma = c^2 p_+ p_\gamma \cos\theta_+. \qquad [1 \text{ BOD}]$$

Koristeći $E_\gamma = p_\gamma c$ i $E_+ = \sqrt{(p_+c)^2 + (mc^2)^2}$, imamo traženi izraz za θ_+.

$$\cos\theta_+ = \frac{E_\gamma}{p_\gamma c}\frac{E_+}{p_+ c} = \sqrt{1 + \left(\frac{mc}{p_+}\right)^2}. \qquad [1 \text{ BOD}]$$

Potpuno analogno bismo dobili izraz za kut raspršenja elektrona

$$\cos\theta_- = \sqrt{1 + \left(\frac{mc}{p_-}\right)^2}. \qquad [1 \text{ BOD}]$$

Iz dobivenih rezultata vidimo da su kosinusi kutova raspršenja nastalih čestica veći od jedinice, odakle zaključujemo da do takvog raspršenja ne može doći. Drugim riječima, foton se ne može spontano raspasti na elektron-pozitron par. [2 BODA]

• Da bismo odredili minimalnu potrebnu energiju za raspršenje $\gamma N \to Ne^+e^-$, najlakše je zamisliti taj sudar u sustavu centra mase. Tada foton i jezgra jure jedan prema drugom, sudaraju se i foton se pretvori elektron-pozitron par. Ako je početna energija minimalna moguća, tada će, nakon sudara, svi produkti naprosto mirovati. Drugim riječima, među njima neće biti relativnog gibanja. To pak znači da će se u bilo kojem drugom referentnom sustavu, pa i u laboratorijskom, tj. onom u kojem olovni blok miruje, produkti sudara Ne^+e^- gibati kao jedna čestica mase $M^* = M + 2m$. [3 BODA]
S ovim razmatranjem možemo napisati zakone očuvanja

$$E_\gamma + Mc^2 = E^*, \qquad [1 \text{ BOD}]$$
$$\vec{p}_\gamma = \vec{p}^*, \qquad [1 \text{ BOD}]$$

gdje su E^* i $\vec{p}^*$ energija i količina gibanja čestice mase M^*. Ponavljanjem računa kao u prethodnom zadatku, te koristeći $E^{*2} = (\vec{p}^* c)^2 + (M^* c^2)^2$ dolazimo do relacije

$$(Mc^2)^2 + 2E_\gamma Mc^2 = (M^* c^2)^2, \qquad [2 \text{ BODA}]$$

odakle je

$$E_\gamma = 2mc^2\left(1+\frac{m}{M}\right). \qquad [1\ \text{BOD}]$$

minimalna energija koju mora imati upadni foton da bi se raspao na zadani način. Numerički,

$$E_\gamma = 1.02\,\text{MeV}. \qquad [1\ \text{BOD}]$$

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Brodarica, 25.-28. travnja 2016.

Srednje škole – 4. skupina

EKSPERIMENTALNI ZADATAK

Pribor:

- izvor svjetlosti
- metar
- ravnalo
- pomična mjerka
- karton
- škare
- selotejp
- plastelin
- bijeli papir A4
- dva kutomjera
- milimetarski papir

Zadatak:

1. Istražite ovisnost osvijetljenosti o udaljenosti od izvora svjetlosti i kutu upadanja zraka svjetlosti tako da:

I. a) primijenite odgovarajuću eksperimentalnu metodu i nacrtate odgovarajući grafički prikaz s minimalno 5 eksperimentalnih točaka kojim ćete dokazati kakva je ovisnost osvijetljenosti o udaljenosti od izvora ……... 3 boda

b) opišete teorijsku osnovu eksperimentalnog postupka …… 2 boda

c) napravite odgovarajuću skicu s naznačenim fizikalnim veličinama …. 1 bod

d) ukratko opišete način vršenja mjerenja …….. 1 bod

e) tablično prikažete rezultate mjerenja ..…… 2 boda

f) ponovite postupak, mjerenja i grafičku analizu za drugu udaljenost prvog zastora od izvora svjetlosti ..…… 4 boda

II. g) primijenite odgovarajuću eksperimentalnu metodu i nacrtate odgovarajući grafički prikaz s minimalno 5 eksperimentalnih točaka kojim ćete dokazati kakva je ovisnost udaljenosti o kutu upadanja zrake svjetlosti …… 3 boda

h) opišete teorijsku osnovu eksperimentalnog postupka …… 2 boda

i) napravite odgovarajuću skicu s naznačenim fizikalnim veličinama …. 1 bod

j) ukratko opišete način vršenja mjerenja …….. 1 bod

k) tablično prikažete rezultate mjerenja ..…… 2 boda

l) ponovite postupak, mjerenja i grafičku analizu za drugu udaljenost drugog zastora od izvora svjetlosti ..…… 4 boda

III. m) analizirate dobivene eksperimentalne rezultate tako da navedete što sve utječe na preciznost dobivenih eksperimentalnih rezultata …. .. 1 bod

n) zaključno povežite dobivene grafičke prikaze sa odgovarajućim algebarskim izrazom vezanim za osvijetljenost i definirate odgovarajuću mjernu jedinicu ……. 3 boda

---

Ukupno: …….**30 bodova**

Natjecateljima želimo uspješan rad!

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Brodarica, 25.-28. travnja 2016.

Srednje škole – 4. skupina

EKSPERIMENTALNI ZADATAK – rješenje i smjernice za bodovanje

1. **Istražite ovisnost osvijetljenosti o udaljenosti od izvora svjetlosti i kutu upadanja zraka svjetlosti tako da:**

I.

a) primijenite odgovarajuću eksperimentalnu metodu i nacrtate odgovarajući grafički prikaz s minimalno 5 eksperimentalnih točaka kojim ćete dokazati kakva je ovisnost osvijetljenosti o udaljenosti od izvora ……... 3 boda

Na milimetarskom papiru nacrtati dijagram kojemu je na x-osi (apscisi) veličina r^2 - kvadrat udaljenosti drugog zastora na kojem promatramo osvijetljenu površinu od prvog zastora s pravokutnim otvorom - s odgovarajućom mjernom jedinicom prema SI sustavu, a na y-osi (ordinati) veličina A - osvijetljena površina – s odgovarajućom mjernom jedinicom prema SI sustavu.

Tri boda odnose se po jedan za svaku pravilno označenu koordinatnu os i jedan za pravilno označene pomoćne linije koje vode do eksperimentalnih točaka.

b) opišete teorijsku osnovu eksperimentalnog postupka …… 2 boda

Osvijetljenost ili iluminacija određene površine predstavlja omjer svjetlosnog toka ϕ na površinu ploštine A koja je okomita na svjetlosne zrake:

$$E = \frac{\phi}{A} \qquad (1)$$

Mjerna jedinica za osvijetljenost E je luks (oznaka 'lx'), a za svjetlosni tok je lumen (oznaka 'lm'). Osvijetljenost neke površine je jedan luks ako na svaki kvadratni metar te površine upada svjetlosni tok od jednog lumena. Ako okomica na površinu ploštine A zatvara kut α sa zrakama iz izvora, tada je

$$E = \frac{\phi \cos\alpha}{r^2} \qquad (2)$$

Osvijetljenost neke površine ovisi o jakosti svjetlosnog izvora I, kutu upada svjetlosti na površinu α i udaljenosti svjetlosnog izvora od površine:

$$E = \frac{I \cos\alpha}{r^2} \qquad (3)$$

Izraz (3) dobili smo tako što smo uzeli u obzir svjetlosni tok ϕ kojeg izvor jakosti I emitira u prostorni kut Ω:

$$\Phi = \Omega\, I \qquad (4)$$

pri čemu smo za prostorni kut koristili izraz:

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \qquad (5)$$

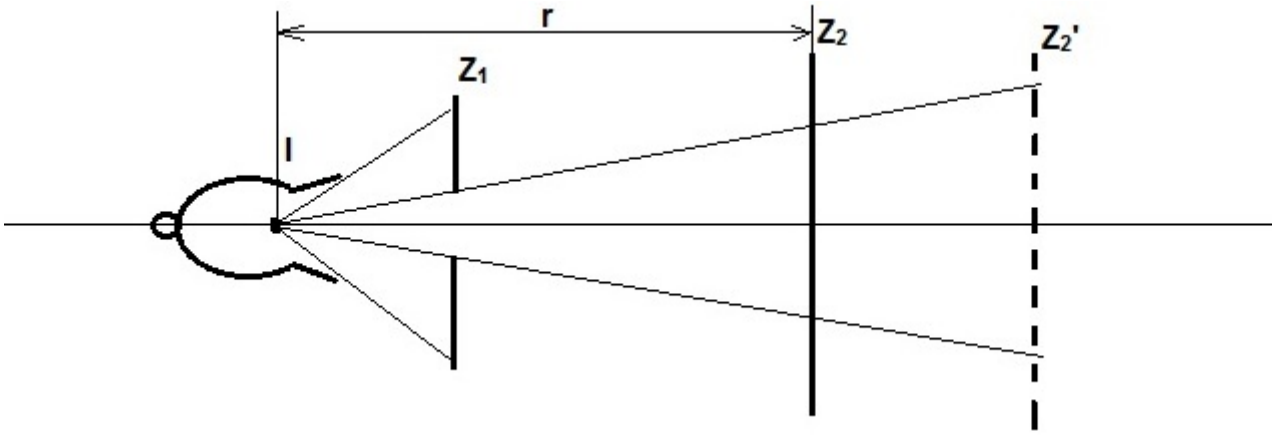
Izraz (5) definira prostorni kut pod kojim je vidljiva površina A na kugli polumjera r u čijem se središtu nalazi izvor svjetlosti.

Za dva boda u ovom dijelu zadatka dovoljno je riječima povezati osvijetljenost s kvadratom udaljenosti (1 bod) i/ili raspisati odgovarajući algebarski izraz iz kojeg je to vidljivo (1 bod):

$$E \sim \frac{1}{r^2} \qquad (7)$$

c) napravite odgovarajuću skicu s naznačenim fizikalnim veličinama …. 1 bod

Skica treba sadržavati jednostavni prostorni plan izvođenja pokusa, tj. postavljanja eksperimentalnog seta:

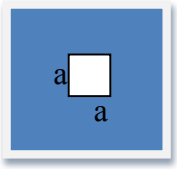


Slika 1. Izvor svjetlosti – prvi zastor – drugi zaslon u prvom i u novom položaju – oznaka udaljenosti r od I do Z_2 –

d) ukratko opišete način vršenja mjerenja …… 1 bod

Obzirom da se u zadatku traži eksperimentalni dokaz za ovisnost osvijetljenosti o udaljenosti, ovdje je potrebno kratko opisati kako su pripremljeni prvi i drugi zastor:

- na prvom zaslonu preporuča se napraviti mali pravokutni otvor (bit će priznat i neki drugi oblik čija je površina zadovoljavajuće precizno mjerljiva) kroz koji svjetlost prolazi do drugog zaslona:



Slika 2. Pravokutni otvor u prvom zaslonu

- drugi zaslon može ostati komad kartona umetnut u valjak od plastelina koji služi kao držač, ili može biti pripremljen kao bijeli papir zalijepljen na kartonski okvir.

e) tablično prikažete rezultate mjerenja …… 2 boda

Tablica sadrži redni broj mjerenja, udaljenost zastora i odgovarajuću veličinu iz koje se može izračunati osvijetljena površina na drugom zaslonu:

- duljina stranice za oblik kvadrata,
- promjer za oblik kruga.

Radi bolje preglednosti moguće je u istoj tablici prikazati i rezultate mjerenja za drugu udaljenost drugog zaslona, što se traži pod f) dijelom zadatka.

f) ponovite postupak, mjerenja i grafičku analizu za drugu udaljenost prvog zastora od izvora svjetlosti …… 4 boda

Eksperimentalni set ostaje postavljen na isti način (Slika 1):

Izvor svjetlosti – prvi zaslon – drugi zaslon, koji je sada pomaknut za određeni iznos u odnosu na položaj pri prvoj seriji mjerenja.

Prema izmjerenoj veličini računa se osvijetljena površina i zatim crta dijagram ovisnosti osvijetljene površine o kvadratu udaljenosti drugog zaslona od izvora svjetlosti.
Grafički prikaz veze tih veličina trebao bi biti pravac, što pokazuje kako je osvijetljena površina A upravno proporcionalna s r^2. Obzirom da je A obrnuto proporcionalna s osvijetljenošću, to znači i da je osvijetljenost (stari naziv rasvjeta) obrnuto proporcionalna s r^2, što je i potrebno eksperimentalno dokazati.

U grafičkom prikazu dobivenom na temelju eksperimentalnih mjerenja nikada sve točke neće činiti točno pravac zbog mogućih pogrešaka u procesu mjerenja, ali mogu biti zadovoljavajuće blizu. Za veći broj mjerenja primjenom metode najmanjih kvadrata kroz eksperimentalne točke moguće je provući pravac i odrediti jednadžbu tog pravca.

II. g) primijenite odgovarajuću eksperimentalnu metodu i nacrtate odgovarajući grafički prikaz s minimalno 5 eksperimentalnih točaka kojim ćete dokazati kakva je ovisnost udaljenosti o kutu upadanja zrake svjetlosti …… 3 boda

Na milimetarskom papiru nacrtati dijagram kojemu je na jednoj osi vrijednost 1/A, gdje je A osvijetljena površina – i cos α, gdje je α kut za koji je zakrenut drugi zaslon.
Na taj način izmjereni parovi površine A i kuta α su točke kroz koje se može provući pravac i dokazati linearna ovisnost veličina na koordinatnim osima.

Tri boda odnose se po jedan za svaku pravilno označenu koordinatnu os i jedan za pravilno označene pomoćne linije koje vode do eksperimentalnih točaka.

h) opišete teorijsku osnovu eksperimentalnog postupka …… 2 boda

U ovom dijelu praktičnog zadatka ispituje se ovisnost kuda α i osvijetljenosti E. Ako smo nacrtali grafički prikaz s osima 1/A i cos α i dobili eksperimentalne točke koje približno leže na pravcu (približno zbog mogućih nepreciznosti u procesu mjerenja), to znači da je osvijetljena površina A obrnuto proporcionalna s cos α:

$$1/A \sim \cos\alpha \qquad (8)$$

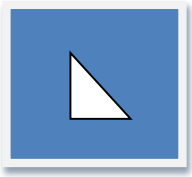
Prema I. dijelu praktičnog zadatka i dobivenim eksperimentalnim rezultatima možemo tada iz relacije (8) zaključiti:

$$E \sim \cos\alpha \qquad (9)$$

Izraz (8) eksperimentalni je dokaz definicije osvijetljenosti (1), a izraz (9) odnosi se na relacije (2) i (3).
Za dva boda dovoljno naznačiti relacije (8) i (9).

i) napravite odgovarajuću skicu s naznačenim fizikalnim veličinama …. 1 bod

Eksperimentalni set ostaje postavljen na isti način kao i u I. dijelu, samo što je sada sugestija za izmjenom oblika otvora prvog zaslona – to bi sada trebao biti pravokutni trokut – i kod drugog zaslona, obzirom da je potrebno nekoliko puta promijeniti kut, potrebno je mjeriti taj kut kutomjerom.



Slika 3. Prijedlog otvora u obliku pravokutnog trokuta na prvom zaslonu

Za 1 bod treba uz skicu u I. dijelu praktičnog rada (Slika 1) prikazati i koje su promjene vršene na prvom i drugom zaslonu, tj. koji zaslon treba rotirati pri svakom mjerenju.

j) ukratko opišete način vršenja mjerenja …… 1 bod

Uz određenu jakost izvora svjetlosti I i određene iste udaljenosti oba zaslona od izvora svjetlosti mjerenja započinjemo tako da je drugi zaslon okomit na optičku os. Izmjerimo veličine pomoću kojih možemo odrediti osvijetljenu površinu. Ako je u pitanju trokut, tada površinu trokuta možemo izračunati na poznati način pomoću baze i visine trokuta.
Tijekom I. i II. dijela praktičnog rada pomoću krojačkog metra kojeg smo selotejpom pričvrstili na stolu možemo dobiti pravac na kojeg zatim postavljamo dijelove eksperimentalnog seta: izvor svjetlosti, prvi i drugi zaslon.
Zatim drugi zaslon zakrenemo za određeni manji kut i ponovimo mjerenje veličina pomoću kojih ćemo odrediti osvijetljenu površinu.
Oba zaslona, kao i u I. dijelu praktičnog rada, treba jednostavno učvrstiti u valjak plastelina koji služi kao stalak i koji se po potrebi može pažljivo zakretati za određeni kut. Kutomjerom mjerimo kut zakretanja drugog zaslona Z_2 u odnosu na optičku os.
Priznaje se i svaki drugi način rada koji dovodi do pravilnog fizikalnog zaključivanja.

k) tablično prikažete rezultate mjerenja …… 2 boda

Za dva boda treba biti jasno organizirana struktura tablice iz koje je vidljiv redni broj mjerenja, kut zakretanja drugog zaslona i mjerene veličine pomoću kojih se određuje osvijetljena površina.

l) ponovite postupak, mjerenja i grafičku analizu za drugu udaljenost drugog zastora od izvora svjetlosti …… 4 boda

Drugi zaslon pomaknemo na drugu udaljenost i ponovimo postupak kojemu je krajnji cilj crtanje grafičkog prikaza ovisnosti 1/A o cos α.

III. m) analizirate dobivene eksperimentalne rezultate tako da navedete što sve utječe na preciznost dobivenih eksperimentalnih rezultata …... 1 bod

Prema stečenom eksperimentalnom iskustvu, potrebno je navesti barem dvije komponente koje su utjecale na preciznost mjerenja i crtanja grafičkog prikaza.
Ovdje je moguće istaknuti kako za mjerenja nije bila potrebna pomična mjerka, osim u slučaju kad je pomoću nje moguće preciznije odrediti udaljenost od zaslona izvora svjetlosti do same točke od koje počinje put svjetlosti, no to se manje precizno može odrediti i pomoću ravnala.

n) zaključno povežite dobivene grafičke prikaze sa odgovarajućim algebarskim izrazom vezanim za osvijetljenost i definirate odgovarajuću mjernu jedinicu ……. 3 boda

Na kraju svakog eksperimentalnog rada potrebno je izvesti zaključke, tj. povezati eksperimentalne rezultate sa teorijskom podlogom.
Po jedan bod odnosi se na dobivene eksperimentalne relacije ovisnosti mjerenih i određenih veličina u I. i II. dijelu praktičnog rada: (7) i (8), te zatim za treći bod povezati sve sa nekim od oblika definicije osvijetljenosti (1), (2) ili (3) i na taj način dokazati zadovoljavajuću preciznost primijenjene eksperimentalne metode i izvršenih mjerenja.

Ukupno: ……**30 bodova**