DRŽAVNA SMOTRA I NATJECANJE MLADIH FIZIČARA
Vinkovci, 5.-8. svibnja 2011.

Srednje škole - 4. grupa

1. zadatak (20 bodova)

Andrija Mohorovičić je uvodeći novost promatranja bliskih potresa došao do značajnih zaključaka, a nakon snažnog Pokupskog potresa 1909. g. definitivno je srušio dotadašnji nazor o kontinuiranosti gornjeg sloja Zemlje. Tomu u čast granica između kore (iznad) i plašta (ispod) nazvana je Mohorovičićevim diskontinuitetom. Kad se u hipocentru ispod površine Zemlje dogodi potres, nastaje prostorni val koji se širi u svim smjerovima. Brzina longitudinalnog vala veća je od brzine transverzalnog vala ($v_l > v_t$). Stoga do seizmološke stanice udaljene l od epicentra (točka na površini iznad hipocentra) dolaze dva dominantna poremećaja: P-val (*prima*-prvi, odgovara longitudinalnom) i S-val (*secunda*-drugi, odgovara transverzalnom). Polumjer Zemlje je R=6370 km.

a) Mohorovičić je uočio da na udaljenostima $l<l_{Max}$ dolaze po dvije S i dvije P faze istog vala, dok za $l>l_{Max}$ dolazi po jedna S i P faza. Rekonstruiraj (skicom i obrazloženjem) kako se pomoću uvođenja diskontinuiteta slojeva i skokovite promjene brzine između kore i plašta može objasniti ta pojava! Skiciraj putanje valova do seizmološke postaje koja je na $l<l_{Max}$ i do postaje koja je na $l>l_{Max}$!

b) Izračunaj dubinu Mohorovičićeva diskontinuiteta D ako je opaženo da na udaljenostima većim od l_{Max}=720 km od epicentra ne stižu dva para valova, nego samo jedan par! Radi geometrijskog pojednostavljenja uzmi da je hipocentar vrlo blizu površine Zemlje! U ovom podzadatku radi dobivanja rješenja što bližeg stvarnosti ne pretpostavljaj da se valovi šire pravocrtno, nego po zakrivljenoj putanji! Međutim, radi mogućnosti analitičkog rješavanja, uzmi da je polumjer zakrivljenosti putanja konstantan i iznosi r=2000 km! To u stvarnosti nije tako, ali ipak daje izvrsno poklapanje s uvelike kompliciranijim točnijim rješenjem.

c) Iz činjenice da se po dva para valova ne pojavljuju niti na udaljenostima manjim od l_{min}=300 km od epicentra, već se tu pojavljuje samo jedan par, izračunaj brzinu longitudinalnih i transverzalnih valova neposredno ispod Mohorovičićeva diskontinuiteta! Poznata je brzina tih valova neposredno iznad diskontinuiteta: v_l=5,68 km/s i v_t=3,32 km/s. Za dubinu diskontinuiteta uzmi rezultat iz prethodnog podzadatka, a hipocentar je također vrlo blizu površine. U ovom podzadatku pretpostavi da se valovi kroz koru šire pravocrtno, što daje rezultat prilično blizak stvarnom! Komentiraj kakav je stvarni skok brzine znajući da je putanja ipak zakrivljena.

2. zadatak (15 bodova)

C_{60}, tzv. fuleren, je loptasta molekula van der Waalsova promjera 1,1 nm, gdje su ^{12}C atomi smješteni po površini u vrhove peterokuta i šesterokuta raspoređenih baš kao polja na nogometnoj lopti. Prolaskom snopa fulerena kroz rešetku snimljena je 1999. godine difrakcijska slika, a rezultati objavljeni u časopisu *Nature* pokazuju da je to vrlo zanimljiv primjer makroskopske kvantne interferencije jedinki C_{60}.

a) Snop C_{60} dobiven je sublimacijom na temperaturi 900 K, a prolaskom kroz dva otvora širine 10 μm udaljenih 1 m on postaje prilično usmjeren. Zahvaljujući dobrom vakuumu, srednji slobodni put molekula je reda veličine 100 m. Usmjeren snop odmah upada na nanolitografski proizvedenu difrakcijsku rešetku perioda 100 nm. Na udaljenosti 1,25 m od rešetke nalazi se poseban laserski/ionizacijski detektor koji bilježi prispjele molekule s mikrometarskom prostornom razlučivosti, čak i u ovom slučaju kad dolazi samo nekoliko molekula po sekundi. Time je uspješno snimljena difrakcijska slika koja osim središnjeg maksimuma ima i maksimume udaljene 26 μm od njega. Kolika je brzina molekula C_{60} koje daju takvu difrakcijsku sliku? Obrazloži kako se ta brzina slaže s očekivanom u procesu sublimacije? Na temelju koje usporedbe možeš reći da se radi o makroskopskoj kvantnoj interferenciji?

b) Za snimanje difrakcijske slike važno je ne izgubiti koherentnost od rešetke do detektora, za što je preduvjet da nema međudjelovanja s okolinom i među molekulama. Temeljem kojih argumenata možemo reći da nema međudjelovanja molekula? Zatim, valna duljina snopa treba biti dovoljno manja od perioda rešetke. Je li to ispunjeno? Nadalje, molekule C_{60} zagrijane na 900 K zrače kao crno tijelo te temperature. Pod pretpostavkom da ona zrači kao kuglica danog polumjera i uz poznatu ukupnu emisivnost $\varepsilon=5\cdot10^{-5}$ izračunaj gubitak energije molekule pri gibanju od rešetke do detektora i kolikom broju fotona valne duljine 10 μm to odgovara?

3. zadatak (20 bodova)

Slojevito oslikavanje pozitronskom emisijom (PET, *positron emission tomography*) sve je raširenija metoda pretrage pacijenata. Najčešće korišten radiofarmaceutik pritom je fluorodeoksiglukoza (FDG), analog glukoze u koji je ugrađen fluor ^{18}F, čijim ulaskom u stanice raka (koje intenzivnije troše šećer) postaje moguće vidjeti gdje se te stanice uglavnom nalaze.

a) Jezgre ^{18}F emitiraju pozitrone. Vrijeme poluraspada jezgara je 109,77 minuta. Pripadne atomske mase su 18,0009377u za fluor (Z=9) i 17,9991604u za kisik (Z=8). Napiši jednadžbu nuklearne reakcije i izračunaj oslobođenu energiju! Kolika je masa FDG ubrizgana u tijelo pacijenta, ako je aktivnost ubrizganog FDG u početnom trenutku 400 MBq? Molarna masa FDG je 181,15 g/mol, a u svakoj molekuli je jedna ^{18}F jezgra. Za usporedbu, izračunaj kolika masa urana $^{235}U^{92}$ ima istu aktivnost kao i navedena količina FDG, ako mu je vrijeme poluraspada $7{,}13\cdot10^{8}$ godina. Koliko pozitrona po sekundi nastaje u tijelu kada osoba nakon 2 sata izlazi iz klinike?

b) Prošavši udaljenost od 1 mm pozitron uspori do vrlo malih brzina izgubivši veliku početnu energiju. Kad mu brzina postane usporediva s brzinama okolnih elektrona u tkivu, poništavanje pozitrona s elektronom postane jako vjerojatno. Jednim poništavanjem nastaju dva fotona. Kolike su energija i količina gibanja fotona i u kojem smjeru oni lete? Zašto ne nastaje samo po jedan foton? Ako se pozitron i elektron nađu blizu jedan drugome, ali ne toliko blizu da se ponište, može nastati njihovo vezano stanje slično vodikovu atomu, samo od drugih sastavnih elementarnih čestica, te kratkog trajanja. Takav atom – pozitronij, predvidio je Stjepan Mohorovičić 1934. g. Kolika je energija vezanja atoma pozitronija?

c) Mnogo detektora gama zraka smješteno je na prstenu koji se nalazi oko pacijenta, te se detekcijom parova fotona nastalih u desetak tisuća raspada odredi raspodjela zračenja u elementu tkiva. Detekcijom para fotona određuje se linija na kojoj se dogodio raspad. Ako je vremenska rezolucija detektora jako precizna, može se odrediti i na kojem dijelu linije je bio snimljeni raspad. Unutar kolike duljine se nalazi pojedini snimljeni raspad, ako se koriste napredni detektori u kojima je vremenska rezolucija 1 ns?

d) $^{18}F^{9}$ se dobiva u obližnjim akceleratorima sudaranjem protona energije 18 MeV s teškom vodom obogaćenom s $^{18}O^{8}$. Napiši jednadžbu reakcije i izračunaj kinetičku energiju nakon reakcije!

4. zadatak (15 bodova)

Grafen je oblik ugljika gdje su atomi ^{12}C poredani u ravnini na vrhovima jednakostraničnih šesterokuta koji se dodiruju svojim stranicama duljine 0,142 nm. On se može proizvesti i u jednoatomnim slojevima. Pretpostavi da zbog neobičnih elektronskih svojstava apsorbira približno sve elektromagnetsko zračenje u vidljivom dijelu spektra.

a) Izračunaj potreban intenzitet homogenog snopa svjetlosti valne duljine 550 nm usmjerenog vertikalno na donju stranu monoslojne grafenske plohe postavljene vodoravno u blizini Zemljine površine da bi ona lebdjela!

b) Grafenska monoslojna ploha u obliku kruga promjera 10 μm također lebdi u istom snopu. Za koliko vremena će ona ubrzati svoju vrtnju do 30000 okretaja u minuti od trenutka uključivanja kružno polarizirane svjetlosti? Svaki foton posiedu~~ie kutnu~~ ~~~~ ~~~~ ~~~~ gibanja $\hbar$. Takav eksperiment objavljen je 2010.g. u *Physical Review* B.

Konstante:

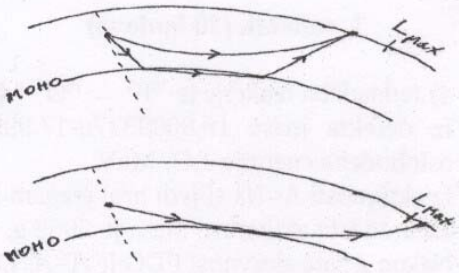
- brzina svjetlosti $c=3\cdot10^{8}$ m/s
- Planckova konstanta $h=6{,}626\cdot10^{-34}$ Js
- Boltzmannova konstanta $k_B=1{,}38\cdot10^{-23}$ J/K
- elementarni naboj $e=1{,}6\cdot10^{-19}$ C
- Stefan-Boltzmannova konstanta $\sigma=5{,}67\cdot10^{-8}$ W/m^{2}K^4
- masa elektrona $m_e=9{,}1095\cdot10^{-31}$ kg
- masa protona $m_p=1{,}67265\cdot10^{-27}$ kg
- masa neutrona $m_n=1{,}67495\cdot10^{-27}$ kg
- unificirana atomska jedinica mase $u=1{,}66056\cdot10^{-27}$ kg
- Avogadrova konstanta $N_A=6{,}022\cdot10^{23}$ /mol

DRŽAVNA SMOTRA I NATJECANJE MLADIH FIZIČARA

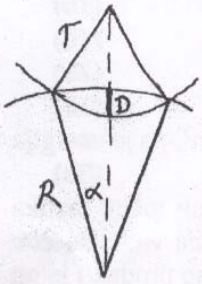
Vinkovci, 5.-8. svibnja 2011.

Srednje škole - 4. grupa – Rješenja

1. zadatak (20 bodova)



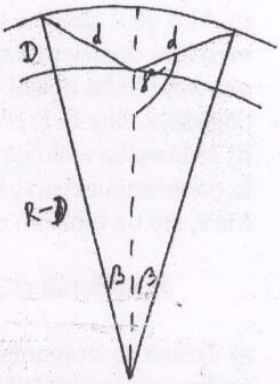
a) Jedan par S i P valova stiže od izvora do postaje direktno kroz koru, a drugi par prelaskom u plašt i nazad u koru. Bliže mogu doći oba para valova, a dalje samo jedan par, i to onih koji stižu direktno, dok oni čija bi putanja sjekla Mohorovičićev diskontinuitet, ne mogu stići do postaje. **(2b+2b)**



b) Očito je $D=R+r-d$. **(2b)**

Kosinusni poučak daje $2Rd\cos\alpha=R^2+d^2-r^2$, gdje je $2\alpha=l_{Max}/R$ kutna udaljenost postaje od epicentra , tj. $\alpha=l_{Max}/2R=3{,}24°$. **(3b)**

Smisleno rješenje je d=8327,1 km, što daje D=42,9km. **(2b)**



c) Dolazak valova kroz plašt bliže od l_{min}=300 km nije moguć jer bi tada val upadao prestrmo na plohu i zapravo otišao dalje od 300 km. **(1b+2b)**

Najbliža točka upada za koju se mora dogoditi potpuna refleksija odmaknuta je za kut β od epicentra dan izrazom $\beta=l_{min}/2R=1{,}35°$ **(1b)**

Primjena kosinusnog poučka daje $2R(R-D)\cos\beta=R^2+(R-D)^2-d^2$, iz čega slijedi d=155,6 km. **(1b)**

Sinusni poučak daje $\sin\gamma=R/d\ \sin\beta$, gdje je γ kut upada vala na plohu diskontinuiteta, što daje γ=74,67°. **(1b)**

Budući da je to granični kut upada za potpunu refleksiju, vrijedi $\sin\gamma=v_{iznad}/v_{ispod}$, što za transverzalni val daje $v_{t,ispod}$=3,44 km/s i za longitudinalni $v_{l,ispod}$=5,89 km/s. **(2b)**

Stvarni skok brzine je nešto veći jer zbog zakrivljenosti putanje vala on upada položenije nego je uzeto u rješenju. **(1b)**

2. zadatak (15 bodova)

a) Uvjet za prvi maksimum pri difrakciji je $d\sin\theta=\lambda$, gdje je d period rešetke, a kut je $\sin\theta=\mathrm{tg}\theta=\theta=a/l$, gdje je a=26 μm i l=1,25 m. **(1b)**

Valna duljina određena je deBroglievim izrazom $\lambda=h/Mv$, gdje je $M=60\cdot12\cdot u$ masa molekule C_{60}. **(2b)**

Iz uvjeta za maksimum dobije se $\lambda=2{,}08\cdot10^{-12}$m. **(1b)**

Iz deBroglieva izraza slijedi v=266 m/s. **(1b)**

Izjednačavanje toplinske i kinetičke energije daje srednju kvadratičnu brzinu 176,6 m/s. **(1b)**

Manja brzina bi se dobila za veći d, tj. čini se da veličina molekule promjera $2r$ efektivno smanjuje razmak među pukotinama. **(1b)**

O makroskopskoj kvantnoj interferenciji možemo govoriti jer je $2r>>\lambda$. **(1b)**

b) Srednji slobodni put je mnogo veći od daljina gibanja pa se molekule međusobno ne sudaraju, a osim toga molekule rijetko dolaze do detektora u usporedbi s vremenom putovanja. **(2b)**

$d>>\lambda$ je ispunjeno. **(1b)**

Izračena energija dana je Stefan-Boltzmannovim zakonom $\Delta E=\sigma T^4\cdot\varepsilon\cdot4r^2\pi\cdot\Delta t$, gdje je $\Delta t=l/v$. **(2b)**

Slijedi $\Delta E=3{,}32\cdot10^{-20}$J. **(1b)**

Uzimajući energiju fotona valne duljine 10 μm, slijedi da molekula izrači 1,7 fotona. **(1b)**

3. zadatak (20 bodova)

a) Jednadžba reakcije je $^{18}F^{9} \rightarrow {}^{18}O^{8} + \beta^{+} + \nu_e$. **(1b)**
Iz defekta mase $18{,}0009377u$-$17.9991604u+m_e-m_e$, jer F ima elektron više nego O, dobije se oslobođena energija 1,66 MeV. **(2b)**
Iz aktivnosti $A=N\lambda$ slijedi broj jezgara $N=AT/\ln 2=3{,}8\cdot 10^{12}$. Masa glukoze je $m=NM/N_A=1{,}14\cdot 10^{-9}$ g. **(3b)**
Za uran iste aktivnosti masa je 5066 g. **(1b)**
Nakon 2 sata aktivnost FDG je $A=A_0\cdot(1/2)^{t/T}=187{,}5$ MBq. **(1b)**
b) Nastaju dva fotona jer se s jednim ne bi mogla očuvati količina gibanja. **(1b)**
Iz $2m_ec^2=2E_f$ slijedi energija fotona $E_f=8{,}2\cdot 10^{-14}$J=0,512 MeV. **(2b)**
Količina gibanja fotona je $p=E_f/c=2{,}73\cdot 10^{-22}$ kgm/s, i jednom je suprotna od drugog. **(1b)**
Bohrov model atoma pozitronija iz $m_ev^2/r=ke^2/(2r)^2$ i $m_evr=nh/2\pi$ daje $E=-\pi^2k^2e^4m_e/4h^2n^2$, pa je energija vezanja -1,7 eV. **(3b)**
c) Ako je l duljina unutar koje se dogodio raspad, onda se usporedbom dvije rubne točke razlika vremena dolaska dvaju fotona do detektora od l/c promijeni na $-l/c$. Stoga je promjena vremena $2l/c$ ona koja treba upasti unutar vremenske rezolucije T_R da bi se dva fotona registrirala kao produkti istog događaja. Slijedi $l=cT_R/2=15$ cm. **(3b)**
d) Jednadžba reakcije je $^{18}O^{8} + p \rightarrow {}^{18}F^{9} + n$. **(1b)**
Iz povećanja mase (uzimajući i dodatni elektron u atomskoj masi) dobije se smanjenje energije od -3,47 MeV, što uz uloženu energiju od 18 MeV daje konačnu energiju 14,53 MeV. **(1b)**

4. zadatak (15 bodova)

a) Težina je uravnotežena silom tlaka svjetlosnog zračenja, tj. količinom gibanja koju fotoni predaju grafenu po jedinici vremena: $mg=S\cdot I/c$. **(2b)**
Površinska gustoća mase m/S uzimajući dva atoma po šesterokutu iznosi $\sigma=7{,}607\cdot 10^{-7}$ kg/m^2. **(2b)**
Stoga je $I=\sigma gc=2239$ W/m^2. **(2b)**
b) Osim količine gibanja h/λ, foton pločici predaje i kutnu količinu gibanja $h/2\pi$. **(1b)**
Iz $I=\Delta N/S\Delta t\cdot hc/\lambda$, gdje je $S=r^2\pi$, dobije se broj fotona ΔN. **(3b)**
Zbog očuvanja kutne količine gibanja je $mr^2\omega/2=\Delta N\cdot h/2\pi$, gdje je ω kutna brzina pločice. **(3b)**
Slijedi $\Delta t=r^2\pi\sigma\omega c/I\lambda = 29$ ms. **(2b)**

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE
Vinkovci, 5. - 8. svibnja 2011.

Srednje škole – 4. skupina

EKSPERIMENTALNI ZADATAK

Pribor:

- pet svijeća
- drveno postolje
- olovka
- bijeli papir
- bijeli hamer
- ravnalo
- metar
- selotejp
- plastelin
- šibice

Zadatak: Uporabom priloženih sredstava:

1. Odredite omjer jakosti dva izvora svjetlosti:
   a) koji se sastoje od jedne, tj. od dvije svijeće; ..... 2 boda
   b) koji se sastoje od jedne, tj. od tri svijeće; ..... 2 boda
   c) koji se sastoje od kombinacija svijeća po vašem izboru. ... 2 boda

   Riječima, skicom i algebarskim izrazom zorno opišite svoj eksperimentalni rad. ..... 5 bodova
2. Rezultate za minimalno tri mjerenja u svakom primjeru prikažite tablično. ..... 6 bodova

   Provedite račun pogreške. Komentirajte dobivene maksimalne relativne pogreške. Ispišite točan rezultat prema apsolutnoj vrijednosti maksimalnog odstupanja. ..... 6 bodova
3. Analizirajte dobivene eksperimentalne rezultate:
   a) definirajte osnovni princip rada optičkog fotometra; ... 2 boda
   b) objasnite na koji biste način odredili jakost jedne svijeće ako je drugi izvor žarulja poznatog napona i jakosti struje; ..... 2 boda
   c) koliko biste ukupno kombinacija mogli eksperimentalno provjeriti s dobivenim priborom? ..... 1 bod
   d) obzirom da postoji više vrsta optičkih fotometara (Bunsenov, Rumfordov, Bouguerov, Jollyjev, Riccijev), uz osnovni princip koji je kod svih isti, što može biti različito u eksperimentalnoj metodi? .. 2 boda

---

Ukupno: ..... **30 bodova**

Natjecateljima želimo uspješan rad!

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE
Vinkovci, 5. - 8. svibnja 2011.

Srednje škole – 4. skupina

Eksperimentalni zadatak - rješenje

1. *Odredite omjer jakosti dva izvora svjetlosti:*
   a) *koji se sastoje od jedne, tj. od dvije svijeće;* ..... *2 boda*
   b) *koji se sastoje od jedne, tj. od tri svijeće;* ..... *2 boda*
   c) *koji se sastoje od kombinacija svijeća po vašem izboru.* ..... *2 boda*

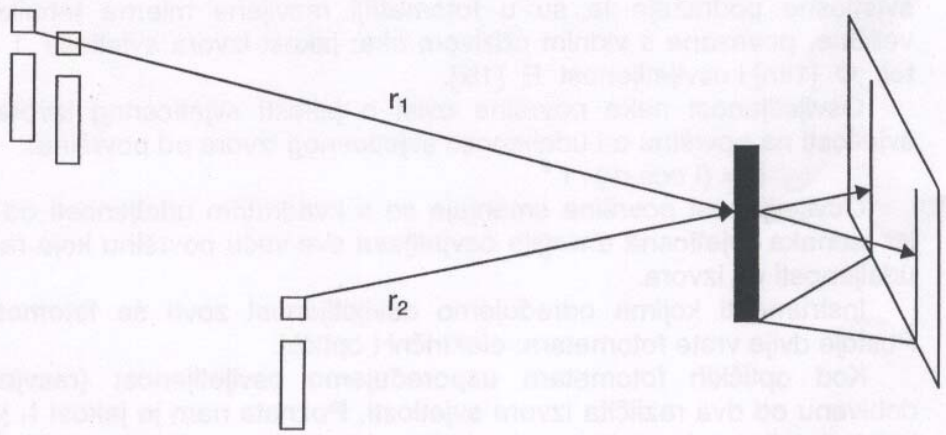
Prema eksperimentalnim rezultatima (točke 1 i 2) i razumijevanju fizikalnih osnova u eksperimentalnom zadatku (točka 3/a,b), potrebno je dobiti odgovarajuće omjere intenziteta (I_1 / I_2) i eksperimentalni rezultat za svaku kombinaciju izraziti kao broj bez mjerne jedinice (kako slijedi iz definicije omjera).

Riječima, skicom i algebarskim izrazom zorno opišite svoj eksperimentalni rad.
..... *5 bodova*

Prema danom priboru može se sastaviti Rumfordov fotometar (skica 1):

- pred vertikalni bijeli zastor (bijeli papir selotejpom pričvršćen za drveno postolje postavljeno okomito) postavimo vertikalni štap (olovka pričvršćena na hamer kao podlogu pomoću plastelina ili nakapane svijeće);
- pred taj štap namjestimo dva izvora svjetlosti (u zadanim primjerima jedan izvor je jedna svijeća, a drugi izvor predstavljaju dvije, tj. tri svijeće);
- pomicanjem jednog izvora svjetlosti namjestimo sjene štapa na zastoru tako da budu jednako tamne i zatim izmjerimo udaljenosti (u navedenom primjeru praktično je dvije, tj. tri svijeća držati na fiksnoj udaljenosti, a pomicati jednu svijeću);
- mjeriti udaljenost od središta izvora svjetlosti do štapa koji baca sjenu (skica 1);
- omjer jakosti izvora svjetlosti određujemo prema omjeru kvadrata njihovih udaljenosti (relacija 4).

Skica 1:



2. Rezultate za minimalno tri mjerenja u svakom primjeru prikažite tablično.

..... *6 bodova*

Tablični prikaz treba precizno sadržavati na koju se kombinaciju izvora svjetlosti odnosi (u samoj tablici ili u nazivu tablice), redni broj mjerenja, te izmjerene udaljenosti r_1 i r_2. Obzirom na točku 4, u istom tabličnom prikazu mogu biti dodani i stupci za relativno odstupanje od srednje vrijednosti i omjer intenziteta.
Primjer jednostavne tablice:

Kombinacija	Redni broj mjerenja	r_1 / cm	r_2 / cm
	1.		
	2.		
	3.		

Provedite račun pogreške. Komentirajte dobivene maksimalne relativne pogreške. Ispišite točan rezultat prema apsolutnoj vrijednosti maksimalnog odstupanja.

..... *6 bodova*

Određivanje srednje vrijednosti: $\bar{d} = \Sigma\, d_i / n$, n – broj mjerenja (1)

Apsolutna vrijednost maksimalnog pojedinačnog odstupanja: $|\Delta d_{max}|$

Relativna maksimalna pogreška: $r_m = [\,(|\Delta d_{max}| / \bar{d}\,) \cdot 100\,]\,\%$ (2)

Zapis točnog rezultata: $d = (\bar{d} \pm \Delta d_{max})$ m (3)

Napomena: $d \sim r_1$, tj. $r_2 \sim$ račun pogreške odnosi se na onu udaljenost koja je tijekom mjerenja bila varijabilna, ako je jedan od izvora svjetlosti ostavljen na istom položaju.

2. Analizirajte dobivene eksperimentalne rezultate:

a) *definirajte osnovni princip rada optičkog fotometra;* ... *2 boda*

Vidljiva svjetlost dio je elektromagnetnog zračenja koje emitiraju svjetlosni izvori; ako uđe u oko, ona uzrokuje osjet svjetlosti. Oko može uspoređivati različite svjetlosne podražaje te su u fotometriji razvijene mjerne tehnike za svjetlosne veličine, povezane s vidnim odzivom oka: jakost izvora svjetlosti I [1cd], svjetlosni tok Φ [1lm] i osvijetljenost E [1lx].

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

$$E = (I \cos \alpha) / r^2$$

Osvijetljenost površine smanjuje se s kvadratom udaljenosti od izvora svjetlosti jer jednaka svjetlosna energija osvjetljava sve veću površinu koja raste s kvadratom udaljenosti od izvora.

Instrumenti kojima određujemo osvijetljenost zovu se fotometri (svjetlomjeri). Postoje dvije vrste fotometara: električni i optički.

Kod optičkih fotometara uspoređujemo osvijetljenost (rasvjetu) na zastoru dobivenu od dva različita izvora svjetlosti. Poznata nam je jakost I_1 jednog od izvora koji je udaljen od ravnine zastora za r_1 i koji daje osvijetljenost E. Želimo li odrediti jakost drugog izvora I_2, mijenjamo njegovu udaljenost r_2 dok ne dobijemo jednaku osvijetljenost na istoj ravnini.

Osnovni princip rada optičkog fotometra:

- poznavajući jakost jednog izvora i udaljenost oba izvora od zastora, možemo odrediti jakost drugog izvora ili omjer jakosti dva nepoznata izvora, prema relaciji:

$$I_1 : r_1^2 = I_2 : r_2^2 \qquad (4)$$

b) objasnite na koji biste način odredili jakost jedne svijeće ako je drugi izvor žarulja poznatog napona i jakosti struje; ..... *2 boda*

Prema relaciji (3) jakost nepoznatog izvora određuje se preciznim mjerenjem udaljenosti:

$$I_1 = I_2 (r_1 : r_2)^2 \qquad (5)$$

Obzirom da svijeća predstavlja svjetlosni izvor jakosti od približno jedne kandele (jedna kandela se definira kao svjetlosna jakost izvora koji emitira svjetlost valne duljine 555 nm i kojemu je snaga po jediničnom prostornom kutu 1/683 W), prema zadanim parametrima mogla bi se odrediti jakost žarulje, pri čemu nije potrebno dodatno određivati snagu žarulje prema poznatim vrijednostima napona i jakosti struje kroz žarulju.

c) koliko biste ukupno kombinacija mogli eksperimentalno provjeriti s dobivenim priborom? ..... *1 bod*

Ako na raspolaganju imamo pet svijeća, možemo uspoređivati jednu svijeću kao izvor svjetlosti s dvije svijeće, odnosno tri i četiri svijeće, a također i dvije svijeće kao jedan izvor svjetlosti s tri svijeće: to su četiri osnovne kombinacije. Zanimljivo je dokazati i jednake udaljenosti za dva izvora od istog broja svijeća: po jedna, tj. po dvije svijeće u izvoru.

d) obzirom da postoji više vrsta optičkih fotometara (Bunsenov, Rumfordov, Bouguerov, Jollyjev, Riccijev), uz osnovni princip koji je kod svih isti, što može biti različito u eksperimentalnoj metodi? ..... *2 boda*

Stečeno eksperimentalno iskustvo pod točkama 1. – 5. daje odgovor na ovo pitanje: kod nabrojenih jednostavnih optičkih fotometara uvijek se uspoređuju dva izvora svjetlosti tako da se izvori pomiču dok se ne dobije jednaka osvijetljenost; **razlika je u načinu usporedbe** (uočava se nestanak 'masne' mrlje na zastoru postavljenom između dva izvora – Bunsenov, izvori se postavljaju tako da predmet na zastoru baca jednaku sjenu – Rumfordov, prati se osvijetljenost na zastoru uz dodatni pomični zastor – Buguerov, središnji predmet pomiče se između dva izvora dok ne bude jednako osvijetljen – Jollyjev i Riccijev fotometar).

1. zadatak:	11 bodova
2. zadatak:	12 bodova
3. zadatak:	7 bodova
Ukupno:	**30 bodova**