

DRŽAVNA SMOTRA I NATJECANJE MLADIH FIZIČARA
8. – 11. svibnja 2023.

Srednje škole – 4. grupa

EKSPERIMENTALNI ZADATAK - RJEŠENJE

Zadatak:

1. Koristeći navedeni pribor pripremite Rumfordov i Riccijev optički fotometar tako da:

- a) definirate osnovni princip rada optičkog fotometra i navedete odgovarajući algebarski izraz; 2 boda

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

$$E = (I \cos \alpha) / r^2 \quad (1)$$

Osvijetljenost površine smanjuje se s kvadratom udaljenosti od izvora svjetlosti.

Fotometri (svjetlomjeri) su instrumenti kojima određujemo osvjetljenost.

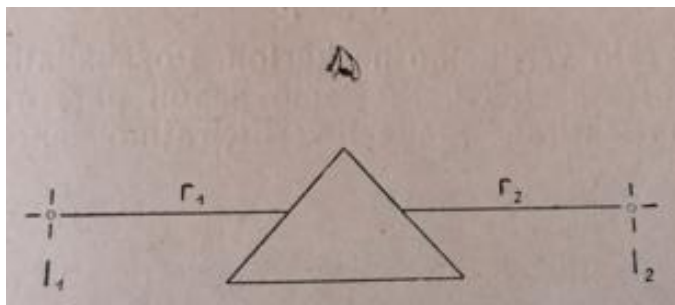
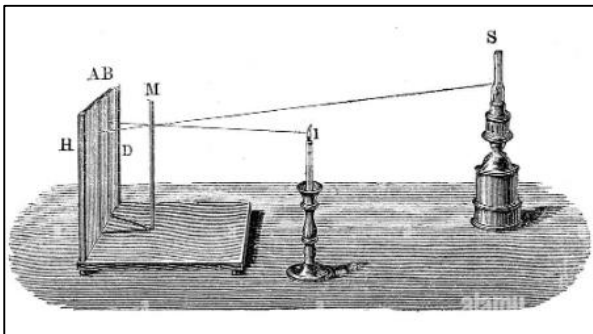
Kod optičkih fotometara uspoređujemo osvjetljenost (rasvjetu) na zastoru dobivenu od dva različita izvora svjetlosti. Poznata nam je jakost I_1 jednog od izvora koji je udaljen od ravnine zastora za r_1 i koji daje osvjetljenost E . Želimo li odrediti jakost drugog izvora I_2 , mijenjamo njegovu udaljenost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

Uz poznate veličine jakosti jednog izvora i udaljenost oba izvora od zastora, jakost drugog izvora ili omjer jakosti dva nepoznata izvora svjetlosti možemo odrediti prema relaciji:

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

U fotometriji su razvijene mjerne tehnike uspoređivanja različitih svjetlosnih podražaja koji dolaze do oka i definirane su svjetlosne veličine: jakost izvora svjetlosti I [1cd], svjetlosni tok Φ [1lm] i osvjetljenost E [1lx].

- b) skicom i riječima objasnite sličnosti i razlike Rumfordova i Riccijeva optičkog fotometra; 4 boda



Slika 1. Rumfordov fotometar, povijesni prikaz*

Slika 2. Riccijev fotometar prema stručnoj literaturi**

Sličnosti: oba fotometra rade na istom principu usporedbe dva izvora svjetlosti, prema izrazu (2).

Razlike: kod Rumfordova fotometra na zaslonu uspoređujemo sjene vertikalnog štapa od dva izvora i pomičemo izvore (ili jedan držimo na istoj udaljenosti a drugi pomičemo) dok na zaslonu ne dobijemo jednako osvjetljene sjene; kod Riccijeva fotometra uspoređujemo osvjetljenost ploha prizme kojoj je baza pravokutan istokračan trokut i pomičemo izvore (tj. jedan držimo na istoj udaljenosti a drugi pomičemo) dok ne dobijemo jednako osvjetljene plohe prizme.

* izvor slike 1.: <https://antikstock.com/product/rumford-photometer-for-the-intensity-of-light/>

**izvor slike 2.: dr. Branimir Marković: Pokusi iz fizike, Nakladni zavod Hrvatske, Zagreb, 1950., str. 57

- c) **odredite omjer jakosti dva izvora svjetlosti koji se oba sastoje od samo jedne lučice;** 2 boda

Omjer jakosti dva izvora svjetlosti odredit ćemo primjenom izraza (2):

$$I_1 / I_2 = r_2^2 / r_1^2 \quad (3)$$

Prema izrazima (2) i (3) jasno je da će primjenom oba fotometra za dva ista izvora omjer na bilo kojim udaljenostima biti broj 1.

- d) **odredite omjer jakosti dva izvora svjetlosti koji se sastoje od jedne i od dvije lučice;** 2 boda

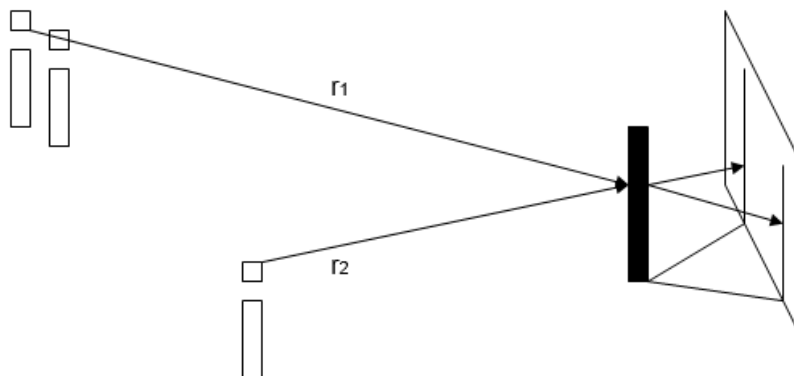
- e) **odredite omjer jakosti dva izvora svjetlosti koji se sastoje od jedne i od tri lučice;** 2 boda

Zapis srednjih vrijednosti pod h) za oba fotometra i dvije kombinacije izvora svjetlosti donosi po 2 boda za d) i e).

- f) **eksperimentalni rad pod c), d) i e) zorno opišite riječima i skicom za oba fotometra;** 4 boda

Sastavljanje Rumfordova fotometra (slika 3):

- zastor: bijeli papir selotejpom pričvrstimo za drveno postolje postavljeno okomito;
- predmet za sjenu: tanku bateriju od 1,5 V postaviti okomito na određenu udaljenost od zastora, prethodno određenu pomicanjem jednog ili dva ista izvora svjetlosti – ako je potrebno zbog stabilnosti, za postolje koristiti oblikovani plastelin ili zalijepiti bateriju pomoću otopljenog voska od lučice;
- podloga: bijeli papir na kojem je potrebno, radi lakšeg pozicioniranja lučica, označiti okomicu na zastor i pravce pod istim kutom (umjesto kutomjera koristiti iste stranice pravokutnog trokuta) s presjecištem u središtu predmeta za sjenu;
- izvori svjetlosti: na stranama kutija u kojima su lučice permanentnim markerom označiti dvije crte na istom pravcu koji prolazi kroz središte posudice i zatim lučice postavljati tako da se te crte podudaraju s pravcima nacrtanim na podlozi;
- pomicanjem jednog izvora svjetlosti - lučica namjestimo sjene štapa - baterije na zastoru tako da budu jednako tamne i zatim izmjerimo udaljenosti (pod d) i e) praktično je dvije, tj. tri lučice postavljene u nizu na pravcu držati na fiksnoj udaljenosti, a pomicati jednu lučicu);
- od kartona pripremiti bočni zaslon kojeg treba postaviti između izvora svjetlosti s dvije ili tri lučice i zastora, tako da njihova svjetlost ne utječe na sjenu od jednog izvora;
- mjeriti udaljenost od središta izvora svjetlosti do štapa koji baca sjenu (slika 3) – potrebno je komentirati kako je to napravljeno za više lučica u nizu;
- omjer jakosti izvora svjetlosti određujemo prema omjeru kvadrata njihovih udaljenosti (relacija 3).



Slika 3. Skica eksperimentalnog seta za Rumfordov fotometar

Sastavljanje Riccijeva fotometra (slika 2):

- savijanjem bijelog papira potrebno je napraviti prizmu i dobiveni oblik učvrstiti selotejpom, tako da nagibi na obje strane prema izvorima svjetlosti – lučicama budu jednaki;
- bijeli papir za podlogu potrebno je pripremiti tako da se na njemu označe pravci međusobno razmaknuti 1 cm i paralelni s obje strane ucrtanih položaja stranica prizme;
- lučice s oznakama na posudicama postavljaju se na pravce i pomiču s jedne strane, što omogućava točnije mjerenje udaljenosti; dvije i tri lučice mogu biti postavljene na jednu udaljenost koja se zadržava stalnom i zatim je potrebno s druge strane pomicati jednu lučicu dok obje plohe prizme pod kutom ne budu jednako osvijetljene – tada se od označenog položaja na posudici lučice koji ujedno označava i položaj plamena mjeri udaljenost okomito do plohe prizme (slika 2);
- potrebno je navesti je li pri mjerenu udaljenosti u obzir uzet i nagib na visini plamena lučice ili je mjerenje vršeno samo do baze prizme.

g) rezultate za minimalno tri mjerenja pod c), d) i e) za oba fotometra prikažite tablično;

..... 4 boda

Tablični prikaz treba precizno sadržavati naziv fotometra i 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 h), u istom tabličnom prikazu mogu biti dodani i stupci za relativno odstupanje od srednje vrijednosti i omjer intenziteta.

Primjer jednostavne tablice:

Fotometar / Kombinacija	Redni broj mjerenja	r_1 / cm	r_2 / cm	l_1/l_2	$(d_i - \bar{d})$ / cm
	1.				
	2.				
	3.				

h) provedite račun pogreške koji uključuje određivanje srednje vrijednosti, odstupanja pojedinačnih mjerenja od srednje vrijednosti, apsolutne vrijednosti maksimalnog odstupanja, relativne maksimalne pogreške i zapis točnog rezultata;

..... 4 boda

Određivanje srednje vrijednosti: $\bar{d} = \sum d_i / n$, n – broj mjerenja (4)

Apsolutna vrijednost maksimalnog pojedinačnog odstupanja: $|\Delta d_{\max}|$ (5)

Relativna maksimalna pogreška: $r_m = [(|\Delta d_{\max}| / \bar{d}) \cdot 100] \%$ (6)

Zapis točnog rezultata: $d = (\bar{d} \pm \Delta d_{\max})$ m (7)

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.

i) komentirajte dobivene relativne maksimalne pogreške;

..... 1 bod

Potrebno je na jednom mjestu sumirati sve dobivene r_m i kratko komentirati njihove vrijednosti – jesu li kod nekih mjerenja rezultati točniji nego kod drugih i slično, odgovor pod i) može se povezati s odgovorom pod k).

j) usporedite teorijske vrijednosti prema algebarskom izrazu pod a) s eksperimentalnim vrijednostima u tablicama pod g);

..... 2 boda

Primjenom izraza (3) jednostavno je izračunati omjere za dva i tri jednaka izvora, jer ovise o kvadratima udaljenosti – zatim je potrebno kratko usporediti vrijednosti koje su

dobivene u mjerenjima i iskazati odstupanja, što je ponovno dobro povezati s odgovorom pod k).

- k) prema stečenom eksperimentalnom iskustvu ukratko navedite što sve utječe na preciznost mjerenja; 1 bod**

Pravilno postavljanje lučica u određeni položaj i određivanje udaljenosti od početka posudice do njezine sredine gdje je plamen najviše utječe na mjerenje udaljenosti, čemu pomažu oznake na posudama lučica i oznake na podlogama za oba fotometra.

Na preciznost mjerenja utječe i pravilno postavljanje zaslona tako da izvori dnevne svjetlosti u učionici imaju jednak utjecaj, a dodatni zaslon od kartona onemogućava da svjetlost drugih lučica u nizu umanju jačinu sjene kod Rumfordova fotometra.

- l) odredite koliko biste ukupno kombinacija izvora svjetlosti mogli eksperimentalno provjeriti s dobivenim priborom? 1 bod**

Ako na raspolaganju imamo 8 lučica (svijeća), možemo uspoređivati jednu svijeću kao izvor svjetlosti s dvije, odnosno tri, četiri i sve do 7 svijeća, a također i dvije svijeće kao jedan izvor svjetlosti s tri, četiri i pet svijeća i tako dalje. Potrebno je dokazati i jednake udaljenosti za dva izvora od istog broja svijeća: po jedna, tj. po dvije, tri ili četiri svijeće u izvoru. Pri svim ovim kombinacijama treba uzeti u obzir veličinu postolja lučica, što će sigurno utjecati na mogućnosti postavljanja eksperimentalnog seta i na realan broj lučica koje je moguće koristiti.

- m) objasnite na koji biste način odredili jakost jedne lučice ako je drugi izvor žarulja poznatih vrijednosti otpora i napona. 1 bod**

Prema izrazu (2) jakost nepoznatog izvora određuje se preciznim mjerenjem udaljenosti:

$$I_1 = I_2 (r_1 : r_2)^2 \quad (8)$$

Obzirom da svijeća predstavlja svjetlosni izvor jakosti od približno jedne kande (jedna kandela je definirana 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 moguće je izravno prema relaciji (8) odrediti svjetlosnu jakost žarulje, a snagu žarulje primjenom Ohmova zakona prema poznatim vrijednostima napona i otpora.

Ukupno: 30 bodova