

# Natjecanje i smotra iz fizike 2022./23. g.

---

**Poljak, Nikola**

Source / Izvornik: **Matematičko fizički list, 2023, 74, 113 - 129**

**Journal article, Published version**

**Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:919775>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



## Natjecanje i smotra iz fizike 2022./23. g.

Natjecanje iz fizike učenika osnovnih i srednjih škola organizira Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske u suradnji s Agencijom za odgoj i obrazovanje.

Ove godine natjecanje u znanju organizirano je u pet skupina: jedna za osnovne škole (7. i 8. razred) i četiri skupine za srednje škole. Natjecanje se kroz godinu odvija kroz tri razine: školska/općinska, županijska i državna.

Školska/općinska natjecanja održana su 10. veljače 2023. g. Na natjecanju u znanju sudjelovalo je 4392 učenika (2102 iz osnovnih škola i 2290 iz srednjih škola). Na temelju uspjeha na općinskom na županijsko natjecanje, održano 9. ožujka, pozvano je 1150 učenika (434 iz osnovnih i 716 iz srednjih škola). Zadatke koje je za obje razine pripremio državno povjerenstvo moguće je pronaći u jednom od prethodnih bojeva MFL-a.

Nakon što su županijska povjerenstva dostavila poretke i uskladila bodove od strane državnog povjerenstva, na državno natjecanje je pozvano 132 učenika (54 iz osnovnih i 78 iz srednjih škola). Uz natjecanje u znanju koje se odvija na spomenute tri razine učenici osnovnih i srednjih škola se natječu i u kategoriji eksperimentalnih radova. Ove je godine u kategoriji osnovnih škola prijavljeno 11, a u kategoriji srednjih 27 radova. Iz svake kategorije na državnom je natjecanju bilo po 6 radova. Na pojedinom eksperimentalnom radu sudjelovali su jedan ili dva učenika pod vodstvom mentora.

Državno natjecanje održalo se u Podgori od 8. – 11. svibnja. Domaćin natjecanja bila je Osnovna škola don Mihovila Pavlinovića u Podgori uz smještaj sudionika u obližnjem hotelu.

Na svečanom otvaranju okupljene natjecatelje i njihove mentore pozdravila je načelnica općine Podgora Petra Radić, ravnatelj škole domaćina Jakov Batinović, predstavnica Agencije za odgoj i obrazovanje Verica Jovanovski i predsjednik Državnog povjerenstva za provedbu natjecanja iz fizike izv. prof. dr. sc. Nikola Poljak. Natjecanje je svečano otvorio sudionik ovog natjecanja, učenik III. gimnazije u Splitu, Borna Perković. Prigodni glazbeno-dramski program otvaranja upriličili su učenici i nastavnici osnovne škole domaćina.

Dodatni detalji o natjecanju i sudionicima mogu se vidjeti na mrežnim stranicama <http://natjecanja-iz-fizike.net>.

Nagrade su dobili učenici kako slijedi:

### Osnovne škole

*Emanuel Vidović*, OŠ Lotrščak, Zagreb, *Borna Ćurić*, OŠ Jabukovac, Zagreb, *Gabriel Auguštin*, OŠ J. J. Strossmayera, Zagreb (I. nagrada); *Ivo Šimić*, OŠ Ivana Filipovića, Zagreb, *Luka Alar*, OŠ Lotrščak, Zagreb, *Gabriel Pryulović*, OŠ Vidikovac, Pula, *Niko Landeka*, OŠ Rapska, Zagreb, *Lucian Marco Postaj*, OŠ Remete, Zagreb, *Petar Brajković*, Poreč, Poreč, *Luka Cerruti*, OŠ Jure Kaštelana, Zagreb, (II. nagrada); *Andrija Lovaković*, OŠ Tina Ujevića, Zagreb, *Roko Baričević*, OŠ Alojzija Stepinca, Zagreb, *Wenhang Jiang*, OŠ Špansko, Oranice, Zagreb, *Fran Ozimec*, OŠ Milke Trnine, Križ, *Márton Guzsvány*, OŠ Pavleka Miškine, Zagreb, *Petar Krušelj*, OŠ Otok, Zagreb, *Fran Pilipović*, OŠ Alojzija Stepinca, Zagreb, *Noa Trtinjak*, VII. OŠ Varaždin, Varaždin, *Božo Kelava*, OŠ Davorina Trstenjaka, Zagreb, *Antoni Knez*, OŠ Bartula Kašića, Zadar, *Helena Štengl*, OŠ Davorina Trstenjaka, Zagreb, *Jure Azenić*, OŠ Prečko, Zagreb, *Jakov Crnov*, OŠ Vodice, Vodice (III. nagrada).

## Eksperimentalni radovi

*Izak Brnadić, Jednostavni zavojnični elektromagnetski top*, Prva katolička osnovna škola u Gradu Zagrebu, Zagreb (I. nagrada); *Ana Sekušak, Tena Čarnohorski, Šećeromjer*, OŠ Bartola Kašića, Zagreb (II. nagrada); *Mia Strazzobosco, Sara Trbojević, Mikrofon*, OŠ Vladimira Nazora, Daruvar (III. nagrada).

## Srednje škole

---

### 1. skupina

*Mauro Kritovac*, XV. gimnazija, Zagreb (I. nagrada); *Emil Missoni*, XV. gimnazija, Zagreb, *Mate Zrno Agoli*, XV. gimnazija, Zagreb (II. nagrada); *Maksimilijan Hergešić*, Tehnička škola Ruđera Boškovića, Zagreb, *Karlo Brčić*, XV. gimnazija, Zagreb, *Laura Vuljanić*, Gimnazija Karlovac, Karlovac (III. nagrada).

### 2. skupina

*Val Karan*, XV. gimnazija, Zagreb (I. nagrada); *Kim Radešić*, Gimnazija, Pula, *Karlo Ahel*, Gimnazija Andrije Mohorovičića, Rijeka (II. nagrada); *Mihael Bertetić*, Gimnazija i strukovna škola Jurja Dobrile, Pazin, *Luka Duplančić*, XV. gimnazija, Zagreb, *Tomislav Štefanac*, Gimnazija Andrije Mohorovičića, Rijeka (III. nagrada).

### 3. skupina

*Viktor Katić*, III. gimnazija, Osijek (I. nagrada); *Matija Krivec*, Gimnazija Sesvete, Sesvete, *Ivan Hegedić*, V. gimnazija, Zagreb (II. nagrada); *Luka Protulipac*, XV. gimnazija, Zagreb, *Benjamin Varžak*, Gimnazija, Požega, *Ilan Mihelja*, XV. gimnazija, Zagreb, *Petar Jukić*, XV. gimnazija, Zagreb (III. nagrada).

### 4. skupina

*Borna Perković*, III. gimnazija, Split (I. nagrada); *Lorena Komočar*, Prirodoslovna škola Vladimira Preloga, Zagreb, *Karlo Maksimović*, XV. gimnazija, Zagreb (II. nagrada); *Viktor Vuković*, XV. gimnazija, Zagreb, *Antonio Mamić*, Gimnazija, Karlovac, *Lucija Ražov*, XV. gimnazija, Zagreb (III. nagrada).

## Eksperimentalni radovi

*Marko Levanić, Noa Lipuš, Osjetljivi barometar*, Elektrostrojarska škola Varaždin, Varaždin (I. nagrada); *Ena Špoler, Usporedba širine različitih vlasi ljudske kose koristeći valnu optiku*, Gimnazija Požega, Požega, *Gita Poljaček, Gibanje sfernog tijela u tekućini*, XV. gimnazija, Zagreb (II. nagrada); *Donna Keran, Anja Boršić, LED kao SPAD*, Prirodoslovna škola Vladimira Preloga, Zagreb (III. nagrada).

Nikola Poljak

## Osnovne škole – zadatci

1. Da bismo na nastavi odredili debljinu jedne molekule, možemo se poslužiti oleinskom kiselinom. Ona je zanimljiva po tome da se, kad se kapne na površinu vode, po njoj raširi što je više moguće, tj. tako da dobijemo jednomolekulski sloj. Debljina mrlje oleinske kiseline u tom slučaju na površini vode jednaka je promjeru samo jedne molekule oleinske kiseline.

Budući da u jednoj kapljici oleinske kiseline ima jako puno molekula, ako bismo na površinu vode kapnuli samo oleinsku kiselinu, nastala mrlja bila bi ogromna i ne bismo to uspjeli napraviti u razredu. Stoga ćemo upotrijebiti 100 cm<sup>3</sup> otopine oleinske kiseline, u kojoj se nalazi 0.5 cm<sup>3</sup> oleinske kiseline. Ostatak te otopine je alkohol koji se, kad dođe u kontakt s vodom, pomiješa s njom. S pomoću kapaljke odredimo da 50 kapi otopine ima volumen od 1 mL.

Na površinu vode kapnemo samo jednu kapljicu te otopine. Na površini vode stvori se kružna mrlja promjera 40 cm.

Odredi visinu molekulskoga sloja kojega tvori oleinska kiselina. Kolika bi bila površina mrlje ako bismo na mirnu površinu mora kapnuli jednu takvu kap čiste oleinske kiseline?

2. Grijačem zagrijavamo vodu u posudi te se njezina temperatura mijenja kao što je prikazano na grafu. Istim tim grijačem nastavljamo zagrijavati tu vodu, nakon čega sva voda iz posude ispari. Grijač je sve skupa radio 52 minute, od početka grijanja vode pa sve dok voda nije isparila.

Ako pretpostavimo da je grijač zagrijavao samo vodu, te da nije bilo gubitaka topline na okolinu, odredi koliko je topline po kilogramu vode uloženo da bi sva voda iz posude isparila.

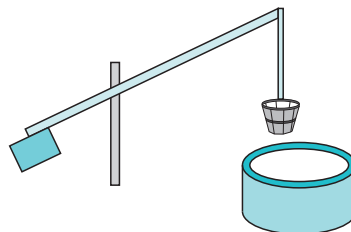
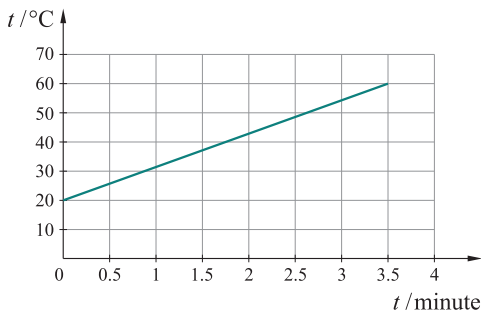
Specifični toplinski kapacitet vode iznosi 4200 J/kgK.

3. Loptica mase 50 g početno miruje na mirnoj površini reketa za ping-pong. Na lopticu potom djelujemo silom za 0.4 N većom od njezine težine prema gore u trajanju od tri četvrtine sekunde, zbog čega ona ubrza, te se počne gibati uvis. Do koje će se maksimalne visine iznad reketa loptica uspeti? Koliko će joj vremena trebati za to? U svojem proračunu zanemari utjecaj zraka na lopticu.

4. Đeram je naprava za vađenje vode iz bunara koji se može naći u Slavoniji. Sastoji se od duge pokretne grede koja je učvršćena na visoki stup. Na jednom kraju grede nalazi se vjedro, kojim se grabi voda, dok je na drugom kraju grede uteg, koji služi kao protuteža vjedru.

Vjedro ispunjeno vodom ima masu od 17 kg. Gređa đeramima izrađena je od homogenoga drveta u obliku kvadra, duljine 6 metara, širine 15 cm, visine 1 dm. Ako je gređa učvršćena na visoki stup tako da je hvatište utega 3 puta bliže osloncu od hvatišta vjedra, odredi koju je težinu utega potrebno staviti da bi cijeli sustav bio u ravnoteži.

Gustoća drvene gređe iznosi 500 kg/m<sup>3</sup>.



5. Četiri prijateljice Leonarda, Hrvojka, Rajka i Saša prijavile su se kao jedna natjecateljska ekipa na Festival robotike u svojem gradu. Zadatak je svim ekipama napraviti električni autić koji može prijeći najdulji ukupni put s novim baterijama dok se one ne isprazne. Ukupni put koji autić može prijeći testirat će mjereći put koji autić prevali na kružnoj stazi olimpijskog stadiona.

Rajka je nabavila sve potrebne dijelove za autić. Hrvojka i Leonarda sastavile su autić i priključile ga na napon od 27 V. Sastavljeni autić imao je masu od 2.5 kg. Pri pokusnom testiranju autić je vozio 5 minuta. Saša je odredila da između njegovih kotača i podloge postoji faktor trenja od 0.6 dok se autić vozi stalnom brzinom po horizontalnoj podlozi. Mjereći struju u autiću izmjerile su i da je baterijom tekla struja jakosti od 1.6 A. Saša je također na temelju testiranja odredila da je korisnost njihova autića 70 %.

Koliki je put prešao autić na testiranju? Koliki bi ukupni put autić prešao na natjecanju vozeći stalnom brzinom koja je jednaka brzini autića na testiranju ako na bateriji stoji i oznaka 600 mAh?

## Osnovne škole – eksperimentalni zadatci

1. Ako tijelo uronimo u tekućinu, na njega će ona djelovati silom uzgona. Na satu fizike učenici žele istražiti o kojim sve veličinama ovisi sila uzgona na tijelo, pa postavljaju različite hipoteze (početne pretpostavke o pojavi postavljene pri početku istraživačkoga procesa koje se trebaju eksperimentalno provjeriti).

Jedna od hipoteza koju su postavili je i ova: sila uzgona na tijelo ovisi o dubini  $h$  na kojoj se nalazi donja osnovica tijela. (Pritom treba paziti da je osnovica paralelna s površinom vode.)

- Opiši pokus koji bi učenici trebali provesti da istraže kako sila uzgona na tijelo ovisi o dubini na kojoj se nalazi donja osnovica tijela.
- Koji bi rezultat pokusa pokazao da je njihova hipoteza točna?
- Provedi pokus te tablično i grafički prikaži svoja mjerenja. Provedi pet mjerenja.
- Što na temelju svojih rezultata zaključuješ o hipotezi koju su učenici postavili? Je li ova hipoteza podržana?

*Uputa.* Volumen svojeg utega možeš povećati dodavanjem novčića i/ili plastelina.

2. Usporedi konačne temperature voda ako zagrijavaš 100 mL vode (proces  $A$ ) i 100 mL vode u kojoj se nalaze novčići od 50 centa (proces  $B$ ). Vodu i novčiće zagrijavaj na plamenu četiri svjeće.

- Jasno opiši svoj postupak.
- Za svaki opisani proces napravi po tri uzastopna mjerenja, svako u trajanju od dvije minute. Izmjerene podatke prikaži tablično te usporedi konačne temperature voda u procesu  $A$  i  $B$ .
- Odredi toplinski kapacitet novčića.

Specifični toplinski kapacitet vode je  $4200 \text{ J/kgK}$ , a gustoća vode  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

3. U ovom zadatku potrebno je odrediti najveći volumen tekućine koji stane na površinu jednoga novčića.

- Vodu dodaj na površinu novčića s pomoću kapljica koje stvaraš medicinskom špricom. Napravi po tri mjerenja, zapiši broj kapljica i ukupni volumen vode koji stane na

površinu novčića te odredi srednju vrijednost navedenih veličina. Jasno opiši kako mjeriš volumen tekućine koji stane na površinu novčića. Rezultate prikaži tablično

b) U 2 dL vode umiješaj jednu ravnu žlicu praška za pranje rublja. Provedi tri mjerenja te zapiši broj kapljica i ukupni volumen ove vodene mješavine koja stane na površinu novčića.

c) Napiši svoj zaključak o utjecaju vrste tekućine na najveću količinu tekućine koja stane na površinu novčića.

## Srednje škole – zadatci

### 1. skupina

1. Prijenos na biciklu sastoji se od prednjeg i stražnjeg zupčanika koji su povezani lancem. Bicikl može imati jedan ili više prednjih i stražnjih zupčanika. Zupčanici imaju različite promjere, odnosno različit broj zuba. Promotrimo situaciju s jednim prednjim zupčanikom i tri stražnja zupčanika. Prednji zupčanik ima 32 zuba, a stražnji zupčanici imaju 21-24-28 zuba. U najnižoj brzini prijenosa lanac je postavljen na onaj stražnji zupčanik koji daje najmanju brzinu kretanja bicikla za danu brzinu okretanja pedala. Promjer stražnjega kotača bicikla je 622 mm.



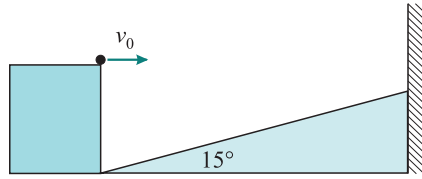
Gibanje bicikla podijeljeno je u tri etape:

- I. Jednoliko ubrzano gibanje od mirovanja do brzine okretanja pedala od 90 okretaja u minuti. Vrijeme ubrzavanja je 56 s. Biciklist vozi u najnižoj brzini.
- II. Jednoliko gibanje u sljedećoj višoj brzini. Brzina gibanja bicikla jednaka je brzini kojom se giba na kraju I. etape.
- III. Jednoliko gibanje u najvišoj brzini. Brzina gibanja bicikla jednaka je brzini u II. etapi.

Bicikl u sve tri etape prijeđe jednak put.

- a) Izračunaj ukupno vrijeme gibanja.
- b) Izračunaj srednju brzinu gibanja bicikla.
- c) Nacrtaaj graf ovisnosti brzine okretanja pedala o vremenu.

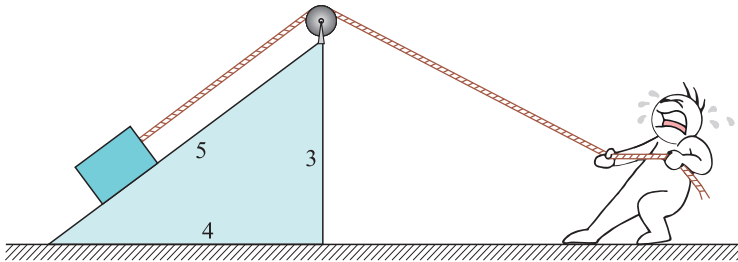
2. Mala loptica izbačena je početnom brzinom  $v_0$  u horizontalnom smjeru kao što je prikazano na slici. Loptica se najprije odbije od kosine, zatim se odbije od vertikalnoga zida te se vraća u početnu točku. Sudari s kosinom i zidom su elastični. Od početne točke do točke pada na kosinu loptica prijeđe vertikalnu udaljenost  $a$ . Vertikalna udaljenost početne točke i maksimalne visine loptice iznosi  $2a$ . Zanemari otpor zraka i efekte rotacije loptice.



- Izračunaj kut pod kojim loptica udara u kosinu.
- Izračunaj najmanju i najveću brzinu loptice za vrijeme gibanja. Rezultate izrazi s pomoću  $v_0$ .
- Izračunaj horizontalnu udaljenost početne točke i vertikalnog zida. Rezultat izrazi s pomoću  $a$  i gravitacijskoga ubrzanja  $g$ .

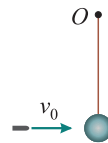
Koristi trigonometrijske formule  $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$ .

3. Cigla mase 1 kg nalazi se na kosini mase 2 kg. Na ciglu je privezano uže koje je prebačeno preko koloture. Čovjek povlači užu tako da je sila napetosti užeta stalna i iznosi  $F$ . Uža i kolotura imaju zanemarivu masu. Kosina se može gibati po horizontalnoj podlozi bez trenja. Koeficijent trenja između cigle i kosine iznosi 0.25. Gravitacijsko ubrzanje je  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .



- Izračunaj ubrzanje kosine.
- Izračunaj silu  $F$  tako da se cigla giba uz kosinu stalnom brzinom.

4. Kugla mase 1 kg pričvršćena je za nit duljine 90 cm. Drugi kraj niti učvršćen je u točki  $O$  koja se nalazi na visini 410 cm iznad tla. Metak mase 80 g dolijeće brzinom  $v_0$  u horizontalnome smjeru i prolazi kroz kuglu. Brzina metka neposredno nakon prolaska kroz kuglu iznosi 200 m/s. Nakon prolaska metka kugla se giba po kružnici u vertikalnoj ravnini. U trenutku kad se kugla nalazi u najvišoj točki svoje putanje, nit pukne. Horizontalna udaljenost položaja pada metka i kugle na tlo iznosi 168 m. Gravitacijsko ubrzanje je  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .



- Izračunaj početnu brzinu metka  $v_0$ .
- Izračunaj napetost niti neposredno prije pucanja.
- Izračunaj koliki se udio početne kinetičke energije metka pretvori u toplinu pri prolasku metka kroz kuglu.



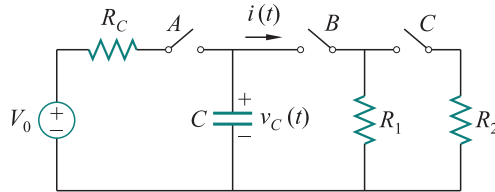
## 2. skupina

1. Tijelo načinjeno od materijala gustoće  $\rho_t = 5\rho_{\text{vode}}$  potpuno je uronjeno u posudu napunjenu vodom i pušteno je nultom početnom brzinom  $s$  visine  $h$  u odnosu na dno posude. Zbog sile viskoznog trenja (pretpostavi da je ona konstantna tijekom gibanja) tijekom spuštanja tijelo izgubi 8 % svoje početne energije stižući do dna brzinom  $v = 2 \text{ m/s}$ . Izračunaj vrijednost  $h$ . (Dimenzije tijela zanemarive su u odnosu na visinu  $h$ .)

2. Pozivajući se na strujni krug na slici, odredi izraze  $i(t)$  i  $v_C(t)$  (za  $-T/2 < t < 4T$ ) i grafički skiciraj njihov vremenski tijek. Izračunaj vrijednosti  $i(t)$  i  $v_C(t)$  u trenutku  $t = 2T$ . Redosljed rada prekidača  $A$ ,  $B$  i  $C$  je sljedeći:

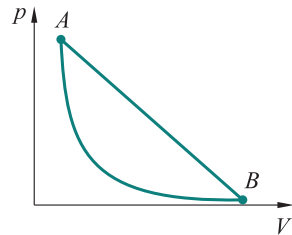
vrijeme	A	B	C
$-\infty < t < 0$	zatvoren	otvoren	otvoren
$0 \leq t < T$	otvoren	zatvoren	otvoren
$t \geq T$	otvoren	zatvoren	zatvoren

Vrijednosti su:  $V_0 = 5 \text{ V}$ ,  $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 580 \Omega$ ,  $C = 1 \text{ mF}$ ,  $T = 1 \text{ s}$ .



**Napomena.** Vremenska ovisnost napona na kondenzatoru kapaciteta  $C$ , koji je prethodno spojen na bateriju napona  $V_0$  i koji je nakon toga (bez baterije) spojen na otpornik  $R$ , glasi:  $v_C(t) = V_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ , pri čemu  $\tau$  predstavlja vremensku konstantu i vrijedi  $\tau = RC$ . U slučaju više otpornika u strujnome krugu  $R$  predstavlja ekvivalentni otpor spojenih otpornika prema kontaktima kondenzatora. I dalje vrijedi Ohmov zakon za  $RC$  strujni krug  $v_C(t) = \frac{i(t)}{R}$ .

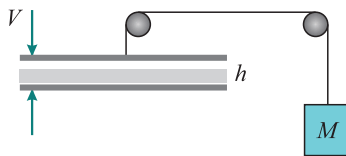
3. Jednoatomski plin prolazi kroz kružni termodinamički proces prikazan na slici. Svi su procesi kvazi-statični. Sustav je u početku u stanju  $A$  i prolazi kroz ekspanziju predstavljenu ravnom linijom u  $V$ - $p$  grafu dok ne dođe u stanje  $B$ . Odatle se vraća u početno stanje s pomoću adijabatske kompresije. Dane su sljedeće vrijednosti:  $V_A = 3 \text{ dm}^3$ ,  $p_A = 3.36 \text{ kPa}$ ,  $V_B = 24 \text{ dm}^3$ .



- Izračunaj vrijednost  $p_B$ .
- Odredi jednadžbu pravca koji opisuje proces od  $A$  do  $B$  pišući ga u obliku  $p = mV + q$ . Izračunaj vrijednosti  $m$  i  $q$ .
- Odredi volumen i tlak u stanjima u kojima sustav postiže maksimalnu i minimalnu temperaturu.
- U procesu  $A$  u  $B$  sustav prvo apsorbira toplinu do nekog međustanja  $Y$ , a zatim otpušta toplinu do  $B$ . Izračunaj  $V_Y$  i  $p_Y$ .
- Izračunaj učinkovitost toplinskoga stroja koji izvodi ovaj ciklus.
- Izračunaj učinkovitost koju bi isti sustav postigao da izvodi Carnotov ciklus s iste maksimalne i minimalne temperature.



4. Dvije ravne metalne ploče površine  $0.8 \text{ m}^2$  okrenute su jedna prema drugoj na udaljenosti  $h = 4 \text{ mm}$  i tako tvore ravni kondenzator. Kondenzator nabijemo naponom  $V$ . Donja ploča je nepomična, a gornju u mehaničkoj ravnoteži održava uteg mase  $M = 0.8 \text{ kg}$ , kao što je prikazano na slici. U početku između ploča nema dielektrika.

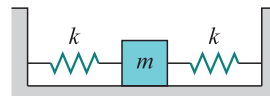


- Izračunaj kapacitet kondenzatora zanemarujući rubne efekte.
- Zanemarujući mase ploča, užeta i kolotura izračunaj napon  $V$  pri kojemu je sustav u ravnoteži.
- Ako se nakon blokiranja kolotura i spajanja kondenzatora na generator napona s konstantnim potencijalom  $V$ , između ploča umetne dielektrik debljine  $d = 2 \text{ mm}$  i relativne dielektrične konstante  $k = 2.5$ , izračunaj novi kapacitet.
- U ovome novom stanju odredi je li se sila između ploča promijenila i koliko.

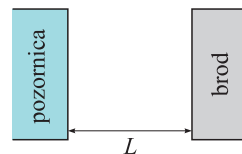
Fizikalne konstante:  $R = 8.31 \text{ J/Kmol}$ ,  $P_{\text{atm}} = 1 \text{ atm} = 101\,300 \text{ Pa}$ ,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ,  $\rho_{\text{voda}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ .

### 3. skupina

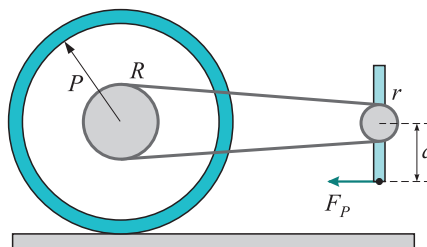
1. Kvadrat mase  $m = 0.6 \text{ kg}$  spojen je s dvije opruge kao na slici. Konstanta obje opruge je  $k = 10 \text{ N/m}$ . U početnom trenutku kvadrat se nalazi na koordinati  $x_0 = 3 \text{ cm}$  desno od ravnotežnog položaja s brzinom  $v_0 = 10 \text{ cm/s}$  u smjeru prema ravnotežnom položaju. Nađi maksimalni pomak, maksimalnu brzinu i vrijeme potrebno da se uteg vrati u ravnotežni položaj.



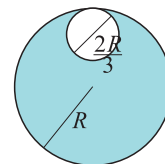
2. Rock koncert na kojem je naš protagonist održava se na otvorenom terenu. Velika pozornica, ispred koje je zid zvučnika, nalazi se na udaljenosti  $L$  od brda. Publika se na koncertu nalazi između pozornice i brda. Protagonist za vrijeme koncerta prođe pravocrtni put od pozornice do brda. Putem izbroji da se najdublji ton basa, frekvencije  $f = 20 \text{ Hz}$ , na 11 jednako udaljenih lokacija ne čuje. S obzirom na to da naš protagonist zna da se pozornica ponaša kao otvoreni, a brdo kao čvrsti kraj vala, on lako izračuna udaljenost  $L$  od pozornice do brda. Nađi udaljenost  $L$ , ako znaš da je brzina zvuka  $c = 343 \text{ m/s}$ . Skiciraj položaje gdje se najdublji bas ne čuje – koje su njihove udaljenosti od pozornice?



3. U ovom zadatku promatramo bicikl koji stoji na tlu. Na slici je prikazan stražnji kotač i lančasti prijenos s pedalama (ostali dijelovi bicikla nebitni su za zadatak). Djelujemo li povlačnom silom  $F_p$  izvana prema nazad na donju pedalu, npr. rukom povlačimo pedalu (pedala stoji potpuno okomito), nađi kako smjer kretanja bicikla ovisi o parametrima  $P$  – radijus kotača,  $R$  – radijus stražnjeg lančanika,  $r$  – radijus prednjeg lančanika i  $a$  – duljina pedale od osi vrtnje. U kojem će se smjeru gibati standardni bicikl sljedećih dimenzija:  $P = 36 \text{ cm}$ ,  $R = 5 \text{ cm}$ ,  $r = 6 \text{ cm}$  i  $a = 17.5 \text{ cm}$ ? Uloga lanca i lančanika je prijenos sile bez proklizavanja. Koeficijent trenja između kotača i tla jako je velik. Lanac je nerastezljiv.

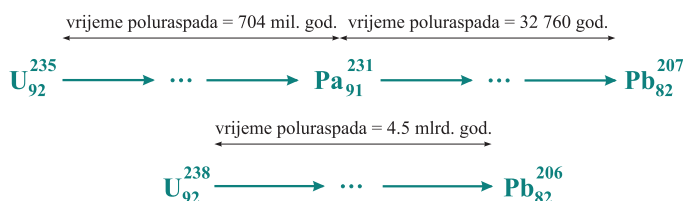


4. U homogenome disku, početne mase  $M$  i radijusa  $R$ , izbuši se rupa promjera  $\frac{2R}{3}$  kao na slici, koja dodiruje rub diska. Nađi moment inercije novonastaloga tijela oko osi koja prolazi središtem početnog diska i okomita je na ravninu u kojoj je disk. Nađi udaljenost centra mase od osi rotacije.



#### 4. skupina

1. Uranij-olovo datiranje je tehnika slična datiranju objekata s pomoću C-14 izotopa ugljika. Ta je metoda preciznija u nekim slučajevima, npr. datiranju cirkonskih stijena. Temelji se na određivanju koncentracija uranij-238, uranij-235, olovo-207 i olovo-206 izotopa. Pri formaciji cirkonskih stijena u njima je prisutno i nešto izotopa uranija, ali nema izotopa olova. S vremenom se izotopi uranija raspadaju (serijom  $\alpha$  i  $\beta^-$  raspada), a krajnji su produkti izotopi olova, kao što je prikazano na slici.



Prikaz serije raspada U-235 i U-238. Tri točke označavaju postojanje dodatnih raspada između početnog i konačnog izotopa, a dana vremena poluraspada su sume pojedinačnih vremena raspada u obuhvaćenom intervalu.

- Koliko se  $\alpha$  i  $\beta^-$  raspada treba dogoditi da od U-235 nastane Pb-207?
- Analizom je ustanovljeno da u određenom uzorku cirkona vrijedi

$$\frac{N(\text{U-235})}{N(\text{U-238})} = 3.86 \cdot 10^{-3} \quad \text{i} \quad \frac{N(\text{Pb-207})}{N(\text{U-235})} = 3.23.$$

Odredi starost uzorka i početni brojčani omjer izotopa U-235 i U-238.

- Koliki je maksimalni mogući brojčani omjer Pa-231 i U-235 u uzorku cirkona nepoznate starosti?

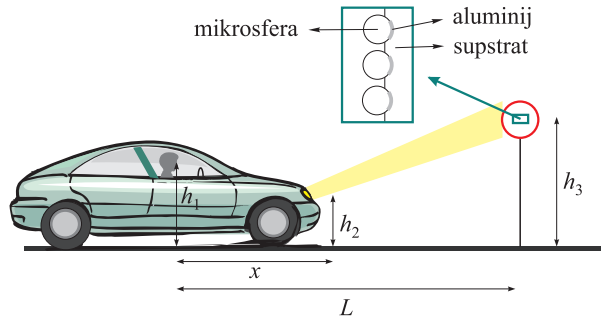
Vremena poluraspada U-235 i U-238 (i starost stijena) su znatno veća od vremena poluraspada ostalih izotopa u serijama raspada U-235 i U-238. Protaktinij-231 (Pa-231) se pojavljuje samo u seriji raspada U-235 te je njegovo vrijeme poluraspada znatno veće od vremena poluraspada ostalih izotopa u seriji U-235 (osim U-235 izotopa).

2. Retroreflektivni materijal reflektira većinu upadne svjetlosti nazad prema izvoru (tj. u neki mali prostorni kut oko izvora). Promotri automobil koji se kreće ravnom cestom po mraku (slika). Svjetla se vozila nalaze na visini  $h_2$ , oči vozača na visini  $h_1$ , a horizontalna je udaljenost između svjetla i očiju vozača  $x$ . Prometni se znak retroreflektivne površine nalazi na udaljenosti  $L$  od vozača i na visini  $h_3$ . Površina je znaka načinjena od velikog broja mikrosfera ugrađenih u supstrat. Mikrosfere su djelomično obložene reflektirajućim slojem aluminijske (koji se ponaša kao zrcalo) i načinjene su od materijala indeksa loma  $n_m$ .

- Promotri proces kad se zraka lomi na granici zrak-mikrosfera, zatim reflektira od aluminijske, te lomi na granici mikrosfera-zrak. Odredi jednadžbu koja opisuje kako upadni kut svjetlosti na granicu zrak-mikrosfera ovisi o  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ ,  $x$  i  $L$  tako da povratna zraka pogodi vozačeve oči. Pretpostavi da nakon prvog loma zraka uvijek upada na reflektirajući sloj aluminijske. Pojednostavi jednadžbu za slučaj velikih udaljenosti  $L$  koristeći

se aproksimacijama:  $\arcsin(\sin(x)/n) = x/n - (n^2 - 1)x^3/(6n^3)$  i  $\arctg(x) = x$ . Izračunaj taj upadni kut na mikrosferu za slučaj  $n_m = 2$ ,  $L = 40$  m,  $h_1 = 1.1$  m,  $h_2 = 0.6$  m,  $h_3 = 2.1$  m i  $x = 1.3$  m.

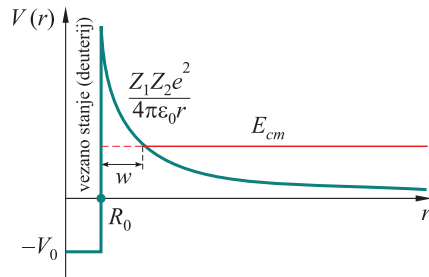
b) Za parametre iz dijela a) odredi najmanju udaljenost između mikrosfera  $d$  tako da intenzitet svjetlosti valne duljine 550 nm koju vozač vidi bude maksimalan (razmatrajući samo jedan vertikalni red mikrosfera). Koristi se  $(1 + x)^n \approx 1 + nx$  za  $x \ll 1$ .



Automobil osvjetljava retroreflektivni prometni znak.

3. Pretvorba se vodika u helij u Suncu događa u više koraka. Prvi je “pretvorba” dva protona u deuterij ( $pp$  reakcija). Da se protoni mogu dovoljno približiti, potrebno je nadvladati odbojnu elektromagnetsku silu.

Na slici je prikazana kulonska potencijalna energija, gdje je  $R_0$  polumjer deuterija (potrebna udaljenost na koju se protoni trebaju približiti kako bi se reakcija odvila). Ako je energija čestice klasično nedovoljna za nadvladavanje potencijalne barijere (tj. elektromagnetske sile), u kvantnome je svijetu proces i dalje moguć te je njegova vjerojatnost približno proporcionalna  $\exp(-a\sqrt{w})$ , gdje je  $w$  širina potencijalne barijere kroz koju čestica treba tunelirati. Na slici  $E_{cm}$  označava ukupnu kinetičku energiju obaju protona u sustavu u kojima njihov centar mase miruje.



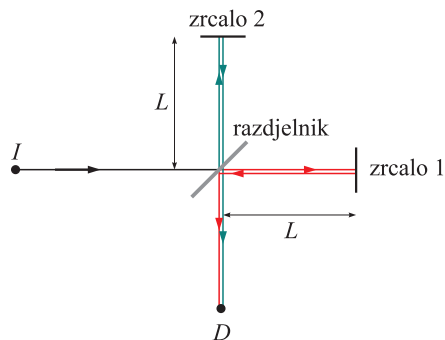
Ovisnost potencijalne energije o međusobnoj udaljenosti dvaju protona. Ako se protoni dovoljno približe i dođe do tuneliranja kroz potencijalnu barijeru ostvari se vezano stanje (deuterij).

a) Odredi kako vjerojatnost tuneliranja ovisi o  $E_{cm}$ . Uzmi da je energija protona puno manja od visine barijere, tj. da je  $R_0$  potpuno zanemariv naspram udaljenosti na koju se protoni mogu klasično približiti.

b) Na temperaturi  $T$  vjerojatnost da kinetička energija dvaju protona u sustavu centra mase iznosi  $E_{cm}$  je proporcionalna  $\exp(-E_{cm}/(kT))$ . Skiciraj (kvalitativno) kako brzina reakcije na temperaturi  $T$  ovisi o kinetičkoj energiji protona u sustavu centra mase  $E_{cm}$ . Odredi na kojoj je energiji  $E_{cm}$  brzina reakcije maksimalna u jezgri Sunca. Temperatura jezgre iznosi oko 15 milijuna kelvina, a konstanta  $a = 1.844 \cdot 10^7$  m<sup>-1/2</sup>. Vrijedi  $(1 + x)^n \approx 1 + nx$  za  $x \ll 1$ .

c) Odredi omjer brzine reakcije u jezgri Sunca s brzinom reakcije na polovici njegovog radijusa. Temperatura na polovici radijusa je oko 5 milijuna kelvina, a gustoća je 100 puta manja od gustoće jezgre. Pretpostavi da se reakcija odvija samo na energiji na kojoj je brzina reakcije maksimalna na temperaturi  $T$ .

4. Promotri interferometar na slici. Koherentni snop elektrona iz izvora (točke  $I$ ) upada na "razdjelnik" gdje se pola snopa reflektira, a pola transmitira. Zatim se dva snopa reflektiraju od "zrcala", reflektiraju/transmitiraju na razdjelniku te napokon upadaju na detektor. Kad je interferometar orijentiran tako da je ravnina koju zatvaraju dva snopa paralelna sa Zemljinom površinom, nema razlike u fazi između dvaju snopova kad dopijuju u detektor.



Skica interferometra. Snop se dijeli na dva na razdjelniku, te oba snopa dolaze na detektor (točka  $D$ ) nakon refleksije na zrcalu.

a) Odredi razliku u fazi za nerelativistički snop kada je interferometar zarotiran za kut  $\psi$  oko osi kroz koju prolazi upadna zraka iz izvora  $I$ .

b) Odredi razliku u fazi za ultrarelativistički slučaj, tj. kada je  $pc \gg mc^2 \gg mgL$ . U oba slučaja možeš koristiti  $(1+x)^n \approx 1+nx$  za  $x \ll 1$ .

c) Odredi koliko mora iznositi udaljenost razdjelnik-zrcalo  $L$  da se barem jednom ostvari uvjet destruktivne interferencije kada se kut  $\psi$  mijenja u rasponu između  $0^\circ$  i  $90^\circ$  za snop u kojemu je ukupna energija pojedinog elektrona 400 MeV.

*Fizikalne konstante:* permitivnost vakuumu  $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ A}^2\text{s}^4\text{kg}^{-1}\text{m}^{-3}$ , Boltzmannova konstanta  $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ m}^2\text{kg}\text{s}^{-2}\text{K}^{-1}$ , brzina svjetlosti  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ , masa elektrona  $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , gravitacijsko ubrzanje Zemlje  $g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$ , Planckova konstanta  $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ kgm}^2\text{s}^{-1}$ .

## Srednje škole – eksperimentalni zadatci

### 1. skupina

**Pribor:** Dva utega različitih masa, konac, mjerna traka (metar).

**Dodatni pribor** (po potrebi, koristi samo za predviđenu svrhu): škare za rezanje konca, papir, indigo papir i grafitna olovka za označavanje, gumica za brisanje, ljepljiva traka.

**Zadatak.**

a) Koristeći dani pribor odredite dinamički koeficijent trenja sa stolom za oba utega. Komentirajte dobiveni rezultat, slaže li se s vašim očekivanjima?

b) Koristeći dani pribor odredite omjer masa dvaju utega. Za ovaj dio zadatka zanemarite efekte konca.

**Napomene.**

- Sve što napravite, opazite ili pretpostavite detaljno evidentirajte. Ono što ne zapišete, ne može se bodovati.
- Obavezno objasnite fizikalne principe iza svakog mjerenja i izvedite relevantne izraze. Mjerenje mora biti teorijski smisleno i eksperimentalno provedivo.
- Provedite račun pogreške kad je moguće.
- Obratite pažnju da rješenja pišete čitko, jasno i razumljivo.

## 2. skupina

**Pribor:** 6 spojnih žica, 7 krokodilaca, otporna žica namotana na drveni štapić, otpornik otpora  $1\ \Omega$ , žaruljica, mjerni instrument (koristiti ga smijete isključivo kao voltmetar!), izvor napona (baterija) 4.5 V, milimetarski papir za crtanje grafova.

**Zadatak.** S pomoću priloženog pribora treba istražiti ovisnost električne struje  $I$  o naponu  $U$  i ovisnost električnog otpora  $R$  o električnoj struji  $I$ .

U sklopu zadatka potrebno je:

a) nacrtati shemu strujnog kruga te riječima objasniti strujni krug i postupke kojima ćeš precizno mjeriti električnu struju za različite vrijednosti napona na žaruljici;

b) napraviti niz mjerenja tako da kreneš od najmanjih napona 0.05 V do napona od 3 V (ukupno najmanje 20 mjerenja) i podatke prikazati tablično;

c) za svako mjerenje izračunati električni otpor žaruljice i vrijednosti prikazati u tablici iz prethodnoga zadatka;

d) grafički prikazati ovisnost električne struje  $I$  o naponu  $U$  na milimetarskom papiru (napon na horizontalnoj osi, a struja na okomitoj) i opisati riječima kako se struja mijenja s naponom;

e) grafički prikazati ovisnost električnog otpora  $R$  o električnoj struji  $I$  na milimetarskom papiru (električna struja na horizontalnoj, a električni otpor na okomitoj osi) i opisati riječima kako otpor  $R$  ovisi o struji  $I$ ;

f) teorijski prodiskutirati dobivene rezultate i objasniti zašto je takva ovisnost električne struje  $I$  o naponu  $U$  i ovisnost električnog otpora  $R$  o električnoj struji  $I$ .

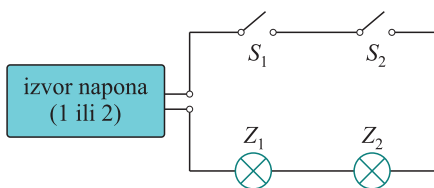
### Napomene.

- Između pojedinih mjerenja, dok namještaš strujni krug, isključi bateriju iz strujnoga kruga da ti se prebrzo ne potroši.
- Nakon završetka zadatka pribor uredno složi na stol.

## 3. skupina

**Pribor:** dvije žaruljice (6 V, 100 mA), dva grla za žaruljice, dvije sklopke, desetak ili više spojnih žica s krokodilskim štikaljkama, četiri “crne kutijice” (nepoznati elementi strujnoga kruga, kutijice su u obliku cjevčice), dvije “sive kutijice” (izvori napona, nepoznati detalji o njima, kutijice nisu sive boje!), dva multimetra, milimetarski papir, potenciometar (trimer)  $1\ k\Omega$ , odvijač, otpornik ( $10\ \Omega$  ili do  $100\ \Omega$ ), dvije svijetleće diode, otpornik  $1\ k\Omega$ .

**Zadatci.** Dvije jednake žaruljice i dvije sklopke spojene su u seriju na izvor napona.



	$S_1$	$S_2$	$Z_1$	$Z_2$
a)	0	0	0	0
b)	1	0	1	0
c)	0	1	0	1
d)	1	1	1	1

$S = 0$  sklopka otvorena,  $S = 1$  sklopka zatvorena,  $Z = 0$  žarulja ne svijetli,  $Z = 1$  žarulja svijetli.

Zadatak je da strujni krug, shematski prikazan na slici, daje rezultate, koji na prvi pogled možda nisu u skladu s očekivanjima prikazanima u tablici.

Ako je sklopka  $S_1$  zatvorena i  $S_2$  otvorena, svijetlit će žaruljica  $Z_1$ , a žaruljica  $Z_2$  ne svijetli. Otvori li se sklopka  $S_1$ , a sklopka  $S_2$  zatvori, žaruljica  $Z_1$  ne svijetli, a žaruljica  $Z_2$  svijetli. Ako su obje sklopke zatvorene, obje žaruljice svijetle.

Prema rezultatima iz tablice vjerojatno je da nisu svi potrebni elektronički elementi uključeni u strujni krug. Dodatno, raspoložete s četiri “crne kutijice” označene slovima  $A$ ,  $B$ ,  $C$  i  $D$ , od kojih svaka sadrži po jedan nepoznat elektronički element. Osim toga imate i dvije “sive kutije” označene brojevima 1 i 2. To su izvori napona 1 i 2.

Kutijice spajate u početni strujni krug prikazanom na slici.

### Napomene.

- Nije dozvoljeno otvarati “crne kutijice” niti “sive kutije”.
- Strujni krug koji sastavite možete istovremeno spajati samo na jedan od izvora napona (ili 1 ili 2).
- Spojne žice su predviđene samo za spajanje elemenata. Ne dolazi u obzir bilo kakvo “premoščivanje” ili kratko spajanje.
- Žaruljice nikada ne spajajte pojedinačno na izvore napona, one moraju biti isključivo serijski spojene.

### 1. dio

a) Nacrtajte skicu (shematski prikaz) ostvarenog strujnog kruga, a koji izvršava ono što je tablicom zadano. Opišite sastavljeni strujni krug.

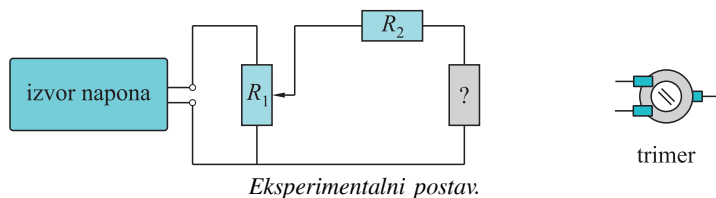
b) Obrazložite korekcije ili izmjene u strujnom krugu u odnosu na uvodni shematski prikaz strujnog kruga.

c) Obrazložite i opišite svoja eksperimentalna opažanja i zaključke, vezane uz izvor napona 1 i izvor napona 2.

### 2. dio

d) Istražite svojstva elektroničkih elemenata u kutijicama 1, 2, 3 i 4.

Kako bi za vrijeme mjerenja mogli mijenjati napone dodaje se promjenjivi otpornik  $R_1$  (trimmer od 1 k $\Omega$ ). Zakretanjem okretnog dijela s utorom na sredini trimera, mijenja se vrijednost napona na nepoznatom elementu. Koristite priloženi odvijač za zakretanje. Potrebno je dodati i otpornik  $R_2$  od 10  $\Omega$  (ili do 100  $\Omega$ ) u seriju.



Koji ste izvor napona odabrali za ova mjerenja? Obrazložite!

Prije mjerenja na multimetru treba odabrati željena mjerna područja na zakretnom dijelu multimetra. Spojne žice se spajaju na COM ulaz multimetra (–) i  $V\Omega mA$  ulaz (+). Ako slučajno očekujete veće jakosti struje od 200 mA tada spajate na ulaz 10 ADC ulaz (+) i COM ulaz. Uputno je da uvijek prvo odaberete najveće vrijednosti odabranog mjernog područja kako bi zaštitili mjerni instrument (na primjer 10 A ili 200 m DCA, 1000 DCV, 750 ACV i tako dalje). Ovaj instrument ne može mjeriti izmjenične struje (AC), već samo istosmjerne vrijednosti (DC).

Jedan multimetar koristite za mjerenja struje, a drugi za mjerenje napona.

Precrtajte skicu eksperimentalnog postava i označite kako ste spojili voltmetar, a kako ampermetar.

Mjerite parove vrijednosti napona i struje. Očitajte barem 10 parova napona i struje. Struja ne bi trebala premašiti 20 mA!

Mjerenja i rezultate prikažite tablično i grafički.

e) Usporedite dobivene grafove.

O kakvim se strujno naponskim karakteristikama radi?

Što ste zaključili o nepoznatim elektroničkim elementima?

### 3. dio

**Napomena.** Kada je sastavljen, strujni krug izvršava ono što je zadano tablicom. Zatražite od autora zadatka da provjeri vaše eksperimentalno rješenje.

f) Objasnite detaljno ulogu elemenata u crnim kutijicama koje ste spojili u početni strujni krug i ulogu odabranog izvora napona. Prikažite i shematski obrazložite rad sklopa.

g) U strujnom krugu zamijenite svaku žaruljica svijetlećom diodom. Na njezinom kućištu je negativan pol označen, tako da je kućište sa strane gdje je negativan pol lagano zaravnato. LED vodi kada joj je anoda spojena na pozitivni pol izvora, a katoda na negativni pol izvora. Ako se dioda spoji u suprotnom smjeru, neće svijetliti. Postavite svijetleće diode tako strujni krug ispunjava uvjete rada iz tablice. Obavezno dodajte u seriju sa svojim strujnim krugom i otpornik od 1 k $\Omega$ . Skicirajte strujni krug s diodama i obrazložite kako sastavljeni strujni krug radi.

### 4. skupina – svijetleće diode

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

a) Definirate osnovni princip rada optičkog fotometra i navedete odgovarajući algebarski izraz.

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

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}. \quad (1)$$

Osvijetljenost površine smanjuje se s kvadratom udaljenosti od izvora svjetlosti.

Fotometri (svjetlomjeri) su instrumenti kojima određujemo osvjetljenost.

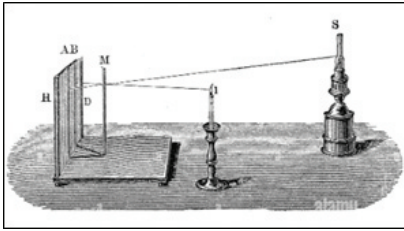
Kod optičkih fotometara uspoređujemo osvjetljenost (rasvjetu) na zastoru dobivenu od dva različita izvora svjetlosti. Poznata nam je jakost  $I_1$  jednog od izvora koji je udaljen od ravnine zastora za  $r_1$  i koji daje osvjetljenost  $E$ . Želimo li odrediti jakost drugog izvora  $I_2$ , mijenjamo 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:

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

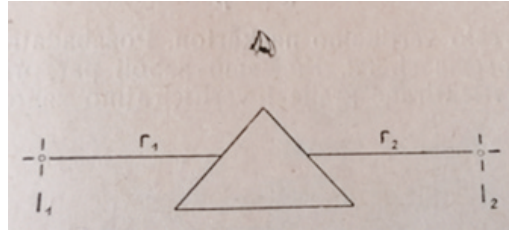
U fotometriji su razvijene mjerne tehnike uspoređivanja različitih svjetlosnih podražaja koji dolaze do oka i definirane su svjetlosne veličine: jakost izvora svjetlosti  $I$  [1 cd], svjetlosni tok  $\Phi$  [1 lm] i osvjetljenost  $E$  [1 lx].

b) Skicom i riječima objasnite sličnosti i razlike Rumfordova i Riccijeva optičkog fotometra.



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 osvijetljene sjene; kod Riccijeva fotometra uspoređujemo osvijetljenost ploha prizme kojoj je baza pravokutan istokračan trokut i pomičemo izvore (tj. jedan držimo na istoj udaljenosti, a drugi pomičemo) dok ne dobijemo jednako osvijetljene plohe prizme.

c) Odredite omjer jakosti dva izvora svjetlosti koji se oba sastoje od samo jedne lučice.

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

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}. \quad (3)$$

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.

e) Odredite omjer jakosti dva izvora svjetlosti koji se sastoje od jedne i od tri lučice.

f) Eksperimentalni rad pod c), d) i e) zorno opišite riječima i skicom za oba fotometra.

Sastavljanje Rumfordova fotometra (slika 3):

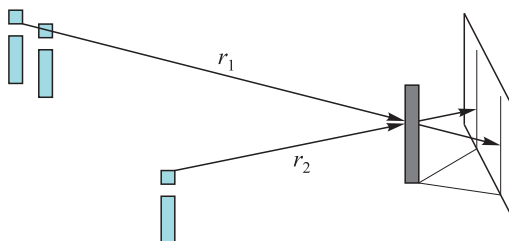
- zastor: bijeli papir selotejpom pričvrstimo za drveno postolje postavljeno okomito;
- predmet za sjenu: tanku bateriju od 1.5 V postaviti okomito na određenu udaljenost od zastora, prethodno određenu pomicanjem jednog ili dva ista izvora svjetlosti – ako je potrebno zbog stabilnosti, za postolje koristiti 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);

\* 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.



- 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 se-lotejpom, 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 mjerenju 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.

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	$r_1/\text{cm}$	$r_2/\text{cm}$	$\frac{I_1}{I_2}$	$(d_i = \bar{d})/\text{cm}$
	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.

Određivanje srednje vrijednosti:

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{n}, \quad n - \text{broj mjerenja.} \quad (4)$$

Apsolutna vrijednost maksimalnog pojedinačnog odstupanja:

$$|\Delta d_{\max}|. \quad (5)$$

Relativna maksimalna pogreška:

$$r_m = [(|\Delta d_{\max}|/\bar{d}) \cdot 100] \%. \quad (6)$$

Zapis točnog rezultata:

$$d = (\bar{d} \pm \Delta d_{\max}) \text{ m.} \quad (7)$$

**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.

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).

Primjenom izraza (3) jednostavno je izračunati omjere za dva i tri jednaka izvora, jer ovisi 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.

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?

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 žarulje poznatih vrijednosti otpora i napona.

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.