



EUROPSKA UNIJA
„Ulaganje u budućnost“



EKSPERIMENTALNA FIZIKA

Priručnik nastavnih materijala za učenike
za predmet Eksperimentalna fizika
3. i 4. razred opće gimnazije

Priručnik je izrađen u sklopu projekta „HEUREKA – spoznajom do uspjeha“
kojeg je financirala Europska unija.



Autori:

dr.sc. Gorjana Jerbić-Zorc

Doc.dr.sc. Mihael Makek

Projekt je financirala Europska unija u 100%-om iznosu iz Europskog socijalnog fonda kroz Operativni program „Razvoj ljudskih potencijala 2007. - 2013.“, poziv na dostavu projektnih prijedloga HR.3.1.20 Promocija kvalitete i unaprjeđenje sustava odgoja i obrazovanja na srednjoškolskoj razini.

Sadržaj ove publikacije /emitiranog materijala isključiva je odgovornost Srednje škole Ivanec.

SREDNJA ŠKOLA IVANEC – nositelj projekta

Ravnateljica: mr.sc. Lidija Kozina dipl.oec

Eugena Kumičića 7, 42 240 Ivanec

Telefon: 042 782 344

Faks: 042 781 512

E-mail: info@ss-ivanec.hr

Web: <http://www.ss-ivanec.hr/>

SREDNJA ŠKOLA MATE BLAŽINE LABIN – partner na projektu

Ravnatelj: Čedomir Ružić, prof.

Rudarska 4, 52 220 Labin

Telefon: 052 856 277

Faks: 052 855 329

E-mail: ssmb@ss-mblazine-labin.skole.hr

Web: <http://www.ssmb.hr>

Posredničko tijelo razine 1

Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta

Ulica Donje Svetice 38, 10000 Zagreb

E-mail: esf@mzos.hr

Web: <http://public.mzos.hr>

Posredničko tijelo razine 2

Agencija za odgoj i strukovno obrazovanje i obrazovanje odraslih, Organizacijska jedinica za upravljanje strukturnim instrumentima

Radnička cesta 37b, 10000 Zagreb

E-mail: defco@asoo.hr

Web: <http://www.asoo.hr/defco>

Za više informacija o EU fondovima u RH:

www.mrrfeu.hr

www.strukturnifondovi.hr

PREDGOVOR

Priručnik nastavnih materijala namijenjen je učenicima koji pohađaju predmet *Eksperimentalna fizika*, čiji je osnovni cilj stjecanje ishoda učenja:

1. Složiti eksperimentalni postav koristeći popis pribora, fotografiju pribora i shemu
2. Koristiti mjerne instrumente
3. Izmjeriti nezavisne fizikalne veličine prema uputama
4. Izračunati zavisne fizikalne veličine iz mjerenjem dobivenih podataka
5. Provjeriti fizikalne zakone usporedbom s rezultatima mjerenja
6. Prikazati grafički dobivene rezultate
7. Statistički obraditi rezultate mjerenja
8. Koristiti programske pakete za grafičku i statističku obradu rezultata mjerenja
9. Sastaviti pisano izvješće o provedenom mjerenju prema uputama
10. Analizirati dobivene rezultate i njihove implikacije

Priručnik sadrži opis vježbi kroz koje ovaj cilj treba ostvariti. Sadržaj je podijeljen na 30 tema. Unutar svake teme su zadaci koje povezuje isti fizikalni problem i isti eksperimentalni postav za provođenje mjerenja.

Na početku svake tema ukratko su izneseni relevantni fizikalni zakoni, a zatim slijede eksperimentalni zadaci koji sadrže:

- opis eksperimentalnog postava (pribor i način uporabe)
- postupak mjerenja i obrade rezultata

Autori

SADRŽAJ

UVOD

1. Eksperimentalna fizika i teorija mjerenja 8
2. Upoznavanje i upotreba instrumenata 12

MEHANIKA

3. Jednoliko i nejednoliko gibanje po pravcu 18
4. Jednoliko ubrzano gibanje 20
5. Zakon očuvanja mehaničke energije 22
6. Kosi hitac 23
7. Koeficijent trenja 26
8. Moment inercije 29
9. Rotacija krutog tijela 32
10. Zakon očuvanja količine gibanja 34
11. Centripetalna sila 38
12. Arhimedov zakon 41

ELEKTROMAGNETIZAM

13. Ohmov zakon za istosmjernu struju 46
14. Wheatstoneov most 49
15. Ohmov zakon za izmjeničnu struju 51
16. Promjena otpora s temperaturom 54
17. Elektromagnetska indukcija 56

TOPLINA

18. Kalorimetrija 60
19. Plinski zakoni 64

OPTIKA, VALOVI I TITRANJE

20. Indeks loma 68
21. Leće i optički instrumenti 71
22. Optička rešetka 76
23. Ogib svjetlosti na pukotini 79
24. Elastična opruga 83
25. Matematičko njihalo 85
26. Dopplerov efekt 88
27. Rezonancija 91
28. Brewsterov zakon 94

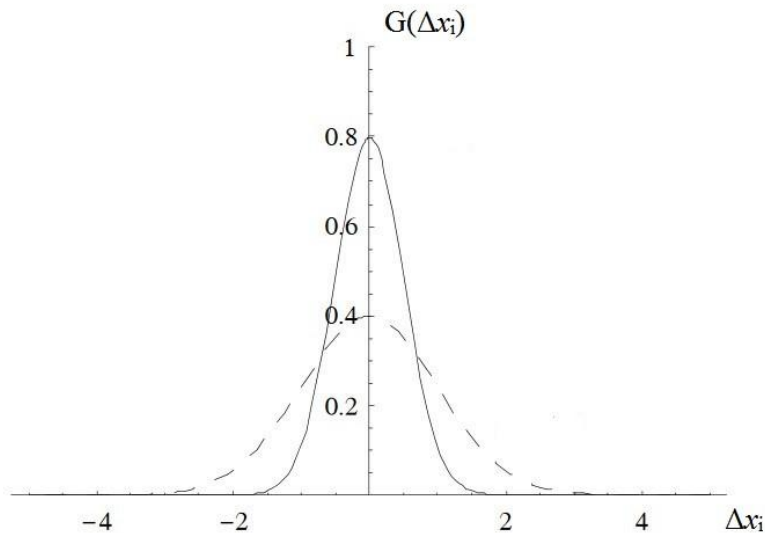
MODERNA FIZIKA

29. Fotometrija 100
30. Prirodna radioaktivnost 103

UVOD

1. EKSPERIMENTALNA FIZIKA I TEORIJA MJERENJA

Cilj je eksperimenta u fizici zabilježiti neku pojavu i naći brojčanu vrijednost neke fizičke veličine. Svako mjerenje je podložno vanjskim utjecajima koje nije moguće kontrolirati, a instrumenti i čovjek kao opažač također imaju svoja ograničenja. Posljedica je da se rezultati ponovljenih mjerenja neće podudarati. Ove pogreške pri mjerenju zovu se **slučajne pogreške** i slijede Gaussovu ili normalnu raspodjelu.



Slika 1. Gaussova raspodjela slučajnih pogrešaka

Gdje je $G(\Delta x_i)$ vjerojatnost da se izmjerena veličina x_i razlikuje od stvarne vrijednosti x za Δx_i (slučajna pogreška $\Delta x_i = x - x_i$).

Srednja vrijednost mjerene veličine

Ako je neka fizička veličina mjerena n puta i dobivene su vrijednosti $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ možemo izračunati srednju vrijednost (aritmetičku sredinu):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Maksimalna apsolutna pogreška

Najveće odstupanje pojedinog mjerenja od srednje vrijednosti zove se maksimalna apsolutna pogreška:

$$\Delta x = |x_i - \bar{x}|_{max}$$

Relativna pogreška

Relativna pogreška se definira kao omjer maksimalne apsolutne pogreške i srednje vrijednosti:

$$R_x = \frac{\Delta x}{\bar{x}} 100\%$$

Iskazivanje rezultata

Rezultat mjerenja piše se u obliku:

$$x = (\bar{x} \pm \Delta x)$$

uz obavezno navođenje mjerne jedinice iza brojčanih vrijednosti.

Sve veličine izražavaju se u SI sustavu jedinica (Međunarodni sustav jedinica - *Système International d'Unités*). Pritom fizičke veličine pišemo *kosim slovima* (kurziv), a mjerne jedinice uspravnim slovima.

Tablični prikaz rezultata mjerenja

Rezultati mjerenja uobičajeno se unose u tablicu. Stupci nose oznaku fizičke veličine koju mjerimo i iza kose crte pripadnu mjernu jedinicu.

Primjeri:

- Mjeri se put koji neki objekt prijeđe za 10 sekundi. Put se mjeri u metrima.
- Mjeri se promjer žice. Ukoliko je žica tanka koristimo instrument (npr. pomičnu mjerku) koji nam omogućava mjerenje do na desetinku milimetra.

	<i>s / m</i>
1	30,0
2	29,0
3	30,5
4	29,8
5	29,6
6	30,2

Primjer a)

	<i>2r / 10⁻³ m</i>
1	1,20
2	1,30
3	1,25
4	1,25
5	1,15
6	1,30

Primjer b)

Grafički prikaz rezultata mjerenja

Ako između dvije fizičke veličine postoji veza njihovu međusobnu ovisnost moguće je prikazati grafički.

Na apscisu (os *x*) nanose se vrijednosti nezavisne veličine (ona koju proizvoljno mijenjamo), a na ordinatu (os *y*) vrijednosti zavisne veličine (njen iznos ovisi o iznosu veličine na osi *x*).

Točke s tako dobivenim koordinatama se međusobno NE povezuju.

Na osima treba označiti fizičku veličinu i iza kose crte mjernu jedinicu.

Primjer:

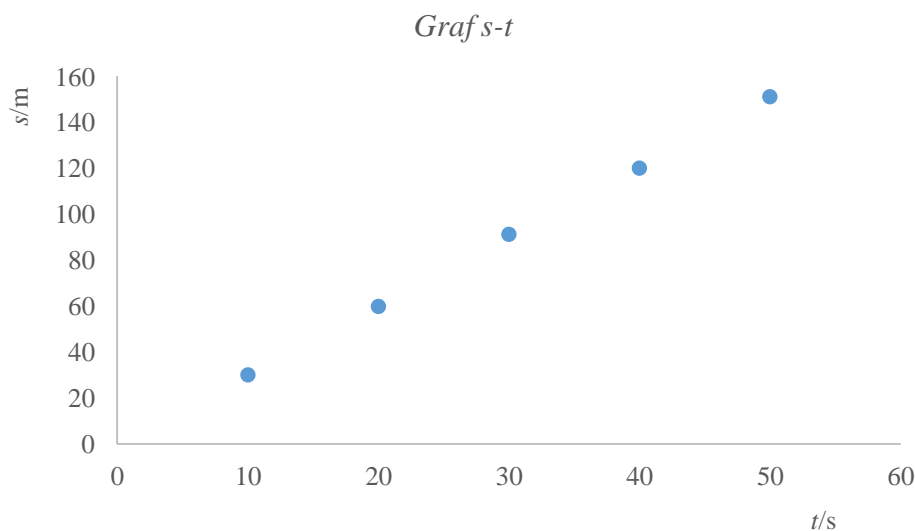
Objekt je prošao pokraj točke *A* u trenutku $t = 0$ (u tom trenutku počinjemo mjeriti vrijeme). Nakon t_1 sekundi nalazi se u točki udaljenoj od *A* za x_1 metara, nakon t_2 sekundi

od početka mjerenja nalazi se u točki udaljenoj od A za x_2 metara... Želimo grafički prikazati ovisnost prijeđenog puta o vremenu ($s - t$ dijagram ili $s - t$ graf)

Rezultate mjerenja unese se prvo u tablicu:

	t / s	s / m
1	10	30,0
2	20	59,8
3	30	91,2
4	40	120,0
5	50	151,1

Grafički prikaz:



Alati za obradu podataka

Za obradu podataka pogodno je koristiti računalo i programske pakete Excel i Geogebra.

Osnovne operacije koje treba upoznati su:

- unos podataka
- račun srednje vrijednosti
- grafički prikaz
- linearna regresija

Linearna regresija

Ako teorija predviđa linearnu vezu između dvije fizičke veličine tada točke na grafičkom prikazu moraju biti blizu nekog pravca. Matematička metoda kojom se pronalazi pravac najbliži tim točkama zove se linearna regresija.

Primjer je veza između prijeđenog puta i vremena za tijelo koje se giba jednoliko:

$$s = vt$$

Na apscisu (os x) nanosimo vrijeme, na ordinatu (os y) put pa graf $s - t$ treba biti pravac:

$$y = ax + b$$

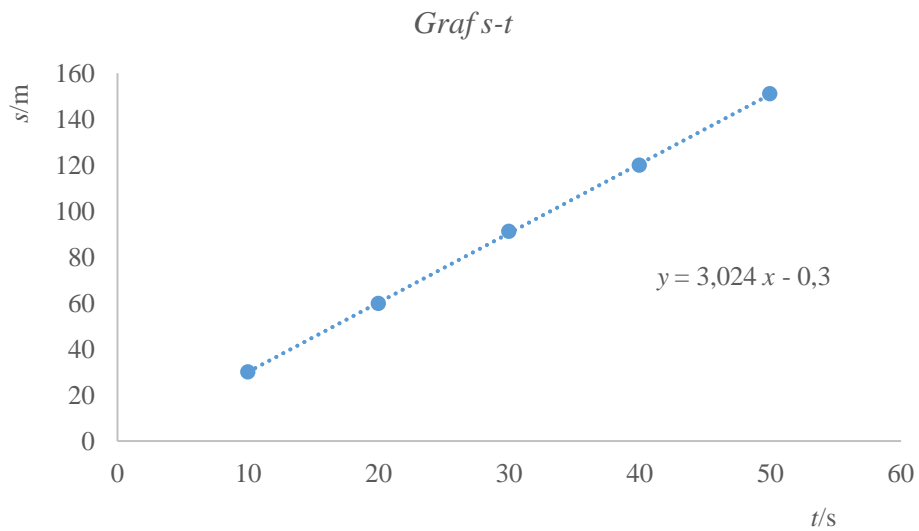
Uspoređujući ove dvije jednačbe vidimo da je koeficijent smjera jednak brzini tijela:

$$a = v$$

a odrezak na osi y (b) trebao bi biti $\cong 0$.

Za gornji primjer pravac najbliži izmjerenim vrijednostima je:

$$y = 3,02x - 0,3$$



Možemo zaključiti da se tijelo gibalo brzinom od 3 ms^{-1} .

2. UPOZNAVANJE I UPOTREBA INSTRUMENATA

Instrumenti koji se najčešće koriste u školskim mjerenjima, pa tako i u eksperimentalnim postavima opisanim u ovom Priručniku su:

- metar
- pomična mjerka
- digitalna vaga
- dinamometar
- termometar
- zaporna ura
- barometar, manometar
- unimer – ampermetar, voltmetar, ommetar
- jedinice za napajanje (izvori istosmjernog i izmjeničnog napona)

Preciznost mjernog uređaja

Preciznost mjernog uređaja je najmanja vrijednost koju možemo očitati. Za **analogne** instrumente (brojčana vrijednost mjerene veličine očitava se na skali) preciznost je određena podjelom skale. Za **digitalne** mjerne uređaje (instrument prikazuje broj) preciznost je određena najmanjom brojčanom vrijednosti koja se prikazuje.

Metar

“Metar” je uobičajeni naziv za svaku skalu pomoću koje se mjeri duljina. Najmanji podjeljak skale je najčešće 1 milimetar.

Pomična mjerka

Pomična mjerka je ručni mjerni uređaj za mjerenje duljine s pomičnim krakom (prikladno za mjerenje vanjskih i unutarnjih promjera, otvora i utora) i s klizačem na kojem je također ugravirana mjerna skala (nonius). Nonius omogućava očitavanje duljine s preciznošću od 0,1 mm; 0,05 mm ili 0,02 mm.

(https://hr.wikipedia.org/wiki/Pomi%C4%8Dna_mjerka#/media/File:Using_the_caliper_new_en.gif)

Digitalna vaga

Vaga je mjerni uređaj za određivanje mase. Preciznost digitalne vage određena je najmanjom brojčanom vrijednosti mase koju prikazuje, npr. 1 mg.

Dinamometar

Dinamometrom se mjeri težina tijela. Preciznost je određena podjelom skale, odnosno njenim najmanjim podjeljkom.

Termometar

Termometar, mjerni uređaj za mjerenje temperature, postoji i u digitalnoj izvedbi, ali u vježbama opisanim u ovom Priručniku koriste se termometri sa živom ili alkoholom. Vrijednost temperature (određena stupcem žive, odnosno alkohola) očitava se na skali.

Pritom je važno, kao i kod dinamometra, da su oči u ravnini površine čiji položaj očitavamo, tj. da gledamo bez paralakse.

Zaporna ura

Zaporna ura je uređaj za mjerenje vremenskog intervala. Može biti i u analognoj i u digitalnoj izvedbi.

Manometar

Manometar je mjerni uređaj za mjerenje tlaka plinova, para ili tekućina. Preciznost je određena podjelom na skali. Mjerno područje ovisi o namjeni instrumenta, tj. vrijednostima tlaka koje želimo mjeriti.

Barometar

Barometar je instrument (manometar) za mjerenje tlaka zraka. Preciznost je određena podjelom na skali.

Univerzalni mjerni instrument

Univerzalni mjerni instrument (unimer) može se upotrebljavati kao ampermetar ili kao voltmetar za istosmjernu i izmjeničnu struju te za mjerenje otpora (ommetar).

Izvedbe ovih instrumenata se razlikuju, ali osnovni principi rukovanja s njima i upotrebe su isti.

- Prvo treba odabrati odgovarajuće priključnice. Jedna je uvijek izlaz iz instrumenta (uz nju je najčešće oznaka COM ili oznaka za uzemljenje), a drugu odabiremo prema tome koju fizičku veličinu želimo mjeriti (uz ove priključnice nalaze se oznake mjernih jedinica).
- Zatim potražimo gdje se sve na uređaju bira mjerimo li u krugu istosmjerne (DC) ili izmjenične struje (AC).
- U slučaju istosmjerne struje smjer je od + pola prema – polu.
- Na kružnom prekidaču odabiremo mjerno područje. Prije početka mjerenja postavimo mjerno područje na najveću vrijednost (tada je osjetljivost instrumenta najmanja).
- Nakon uključivanja postupno se povećava osjetljivost radi točnijeg mjerenja (npr. u krugu istosmjerne struje s izvorom elektromotorne sile od 4 V odabiremo mjerno područje napona do 10 V).
- Na završetku svakog mjerenja prekidač na mjernom uređaju treba vratiti na najmanju osjetljivost i zatim isključiti napajanje (izvor).
- Za mjerenje otpora otpornik ne treba biti u strujnom krugu već njegove krajeve spajamo direktno na instrument (priključnica COM i priključnica s oznakom Ω).

Očitavanje skale

Analogni instrumenti obično imaju dvije skale: jedna nosi oznake od 0-10 ili 100, druga od 0-3, 30 ili 300. Kad odaberemo mjerno područje koristimo prikladnu skalu imajući na umu da najveća vrijednost odabranog područja ima maksimalni otklon kazaljke, a svaka crtica odgovarajući dio te vrijednosti (1/10, 1/100, 1/30 ...). Uz skalu, ispod vrha kazaljke

obično se nalazi zrcalo – skalu očitavamo točno kada se kazaljka poklapa sa svojom slikom u zrcalu.

Jedinica za napajanje (izvori istosmjernog i izmjeničnog napona)

Na jedinici za napajanje, koja je izvor istosmjernog napona, označeni su priključci za + pol i – pol . Naveden napon izvora i maksimalna struja koja krugom smije poteći, a da se izvor ne ošteti.

Na priključnicama izvora izmjeničnog napona označeno je koja je točka uzemljena, te napon, frekvencija i maksimalna dozvoljena vrijednost struje u krugu.

VJEŽBE

Način rješavanja: u grupi uz zajedničku diskusiju

- 1) Izmjeriti pomičnom mjerkom promjer žice (ili debljinu novčića) na 5-10 mjesta, unijeti podatke u tablicu, izračunati srednju vrijednost, maksimalnu i relativnu pogrešku te rezultat zapisati na odgovarajući način.
- 2) Izmjeriti masu utega na digitalnoj vagi, a težinu pomoću dinamometra. Usporediti dobivene vrijednosti. Komentirati preciznost vage i dinamometra.
- 3) Očitati vrijednost atmosferskog tlaka na barometru, odrediti preciznost barometra. Izraziti očitane vrijednosti u jedinicama: bar, hPa i mmHg.
- 4) Odrediti vrijednost jednog podjeljka na skali zaporne ure i usporediti sa preciznošću digitalne zaporne ure na mobitelu.
- 5) Na izvoru istosmjernog napona piše 3V; *max* 0,3A. Koje mjerno područje ćemo na univerzalnom mjernom instrumentu odabrati za mjerenje napona, a koje za mjerenje struje?
- 6) Izmjeriti napon baterije.
- 7) Izmjeriti otpor nekoliko otpornika.
- 8) Spojiti jednostavni strujni krug sa zadanim elementima (izvor istosmjernog napona, otpornik, ampermetar i voltmetar). Podesiti mjerne instrumente i očitati napon i struju.
- 9) Ponoviti sa analognim instrumentima.

10) Spojiti jednostavan krug izmjenične struje sa zadanim elementima (izvor izmjeničnog napona, zavojnica, ampermetar i voltmetar). Podesiti mjerne instrumente i očitati napon i struju.

11) U tablici su navedeni položaji tijela, koje se giba jednoliko po pravcu, zabilježeni u određenim trenucima.

Otvoriti na računalu programski paket Excel (ili Geogebra), unijeti podatke i grafički prikazati ovisnost puta o vremenu.

Označiti osi i unijeti naslov.

Odrediti pravac koji je najbliži dobivenim točkama na grafičkom prikazu (računski i grafički).

	<i>t / s</i>	<i>s / m</i>
1	10	29
2	20	53
3	30	90
4	40	120
5	50	160

MEHANIKA

3. JEDNOLIKO I NEJEDNOLIKO GIBANJE PO PRAVCU

Tijelo koje se giba jednoliko po pravcu ima brzinu, koja se određuje kao omjer puta s kojeg je tijelo prešlo u vremenu t :

$$v = \frac{s}{t}$$

Kada tijelo kreće iz mirovanja i dostiže konačnu brzinu v radi se o kombinaciji jednoliko ubrzanog i jednolikog gibanja po pravcu pa možemo pisati da je ukupna prijeđena udaljenost:

$$s = s_1 + s_2 = \frac{at_1^2}{2} + vt_2$$

gdje je vrijeme t_1 provedeno u jednoliko ubrzanom, a t_2 u jednolikom gibanju po pravcu, ($t_s = t_1 + t_2$), a s_1 i s_2 odgovarajući putovi. Ubrzanje pri jednoliko ubrzanom gibanju je dano izrazom:

$$a = \frac{v}{t_1}$$

Uvrštavanjem u izraz za put s dobivamo:

$$s = \frac{vt_1}{2} + v(t_s - t_1)$$

Iz čega slijedi:

$$t_1 = 2 \left(t_s - \frac{d}{v} \right)$$

Pribor:

- zaporna ura (mobitel)
- mobitel: aplikacija Metronom
- auto na daljinsko upravljanje
- metar traka
- milimetarski papir za crtanje grafova

ZADATAK 1.

Odrediti srednju brzinu kod jednolikog pravocrtnog gibanja

Način izvođenja: u paru

Mjerenje i obrada:

- Odrediti duljinu ($d = 5$ m) na igralištu ili u školskom hodniku.
- Pomoću zaporne ure izmjeriti vrijeme t koje je potrebno da se prehoda duljina d :
 - na metronomu zadati ritam (1 – 2 otkucaja u sekundi)
 - kako bi hodanje bilo jednoliko, stavljati jedno stopalo ispred drugog u zadanom ritmu
 - ponoviti mjerenje 5 puta

- c) Ponoviti zadatak b) uz malo izmjenjenu brzinu otkucaja metronoma. Pri tome se zamijene učenik koji hoda i učenik koji mjeri vrijeme. Svaki učenik dalje analizira podatke koje je izmjerio.
- d) Izračunati brzinu hodanja (v) za svako mjerenje izvedeno pod b)
- e) Izračunati srednju brzinu hodanja i maksimalno odstupanje od srednje vrijednosti.

ZADATAK 2.

Odrediti srednje ubrzanje kod nejednolikog pravocrtnog gibanja

Način izvođenja: u paru

Mjerenje i obrada:

- a) Odrediti udaljenost ($d = 5$ m) na školskom igralištu ili u školskom hodniku i postaviti oznake.
- b) Mjeriti vrijeme t koje je potrebno da auto prijeđe udaljenost d , tako da auto već pri dolasku na prvu oznaku ima punu brzinu (leteći start). Mjerenje ponoviti 5 puta.
- c) Mjeriti vrijeme t_s koje je potrebno da auto prijeđe duljinu d , tako da auto kreće iz mirovanja s prve oznake (stajaći start). Mjerenje ponoviti 5 puta.
- d) Odrediti srednje vrijeme gibanja s letećim startom (\bar{t}) i pomoću njega odrediti srednju brzinu jednolikog gibanja (\bar{v}).
- e) Odrediti srednje vrijeme gibanja sa stajaćim startom (\bar{t}_s) i izračunati ubrzanje a koje se javlja kod nejednolikog gibanja po pravcu.
- f) Nacrtati $v - t$ graf za izmjerene podatke na milimetarskom papiru.

ZADATAK 3.

Odrediti vrstu pravocrtnog gibanja iz grafičkog prikaza gibanja.

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) Na ulici ispred škole odrediti 6 fiksnih točaka (npr. stabla u drvoredu) i izmjeriti udaljenosti među njima pomoću metar trake.
- b) Pomoću zaporne ure izmjeriti vremena t_1, t_2, \dots, t_5 koja odgovaraju trenucima kada automobil ili bicikl prolazi pored zadanih točaka. Tijekom mjerenja ne zaustavljati zapornu uru već mjeriti „prolazno vrijeme“ pri prolasku pored zadanih točaka. Mjerenja ponoviti za 3 automobila ili bicikla.
- c) Nacrtati $s - t$ graf za sva tri slučaja
- d) Nacrtati $v - t$ graf za sva tri slučaja.
- e) Odrediti o kakvom tipu gibanja se radi.

4. JEDNOLIKO UBRZANO GIBANJE

Kada na tijelo mase m djeluje sila \vec{F} , ona mu daje ubrzanje \vec{a} :

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

U slučaju pravocrtnog gibanja tijelo će se gibati jednoliko ubrzano u smjeru djelovanja sile pa gornju relaciju možemo pisati kao:

$$F = ma$$

Na Zemlji djeluje gravitacijska sila koja je proporcionalna masi tijela i iznosi:

$$F_G = mg$$

gdje je g konstanta proporcionalnosti. Sila koja djeluje na tijelo u slobodnom padu je upravo gravitacijska sila pa možemo pisati:

$$F = F_g$$

$$ma = mg$$

Obzirom da se masa m javlja s jedne i druge strane jednadžbe jednaka, slijedi:

$$a = g$$

iz čega vidimo da je g zapravo ubrzanje sile teže.

Put kojim tijelo prolazi pri jednoliko ubrzanom gibanju s ubrzanjem a dan je relacijom:

$$s = \frac{1}{2}at^2$$

U slučaju slobodnog pada, put je jednak visini h s koje tijelo pada, dakle vrijedi:

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

Pribor:

- zaporna ura
- metar traka
- različite kovanice
- vaga

ZADATAK 1.

Odrediti ubrzanje sile teže

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- Odrediti mjesto na kojem je visina h najmanje 2,5 m i izmjeriti h pomoću metar trake.
- Pomoću zaporne ure mjeriti vrijeme t , koje je potrebno da kovanica padne se visine h . Mjerenje ponoviti barem 5 puta.
- Za svako izmjereno vrijeme odrediti ubrzanje sile teže (g), naći srednje ubrzanje, maksimalno odstupanje od srednje vrijednosti i relativnu pogrešku.

ZADATAK 2.

Provjeriti ovisnost ubrzanja sile teže o masi tijela

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- Uzeti 5 kovanica različitih iznosa i odrediti njihove mase m_k vaganjem.
- Pomoću zaporne ure mjeriti vrijeme t , koje je potrebno da kovanica padne se visine h . Mjerenje ponoviti barem 5 puta za svaku kovanicu i izračunati srednje vrijeme padanja (\bar{t}_k).
- Odredite ubrzanje sile teže za svaku kovanicu (\bar{g}_k), koristeći izmjereno srednje vrijeme (\bar{t}_k).
- Nacrtajte $\bar{g}_k - m_k$ graf. Što iz njega zaključujete?

5. ZAKON OČUVANJA MEHANIČKE ENERGIJE

U zatvorenom sustavu mehanička energija je očuvana:

$$E_{kin} + E_{pot} = konst.$$

Pribor:

- zaporna ura
- različita tijela
- metar
- vaga

ZADATAK 1.

Provjeriti zakon očuvanja energije

(promatrajući slobodan pad tijela)

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- izmjeriti visinu (h) s koje će se ispuštati tijelo
- izmjeriti masu (m) tijela
- pustiti tijelo da slobodno pada i mjeriti vrijeme (t) potrebno da lupi u podlogu
- ponoviti više puta

Provjeriti zakon očuvanja energije na jedan od sljedeća dva načina:

- izračunati srednju vrijednost vremena (\bar{t}) pada te njegovu maksimalnu ($\overline{\Delta t}$) i relativnu pogrešku ($\Delta t/\bar{t}$)
- izračunati kinetičku energiju tijela prilikom udara (E_{kin}) i usporediti je s početnom potencijalnom energijom (E_{pot})
ili
- za svako pojedino vrijeme pada izračunati kinetičku energiju tijela pri udaru o tlo
- naći srednju vrijednost kinetičke energije (\bar{E}_{kin}), maksimalnu (ΔE_{kin}) i relativnu pogrešku ($\Delta E_{kin}/\bar{E}_{kin}$)
- usporediti s početnom potencijalnom energijom \bar{E}_{pot}

6. KOSI HITAC

Kosi hitac možemo promatrati kao složeno gibanje koje se sastoji iz gibanja u horizontalnom smjeru (x) i gibanja u vertikalnom smjeru (y).

U horizontalnom smjeru ne djeluje sila pa je gibanje jednoliko po pravcu i određeno je početnom brzinom i kutom ispućavanja (α):

$$x(t) = v_0 \cos \alpha t$$

U vertikalnom smjeru uz početnu brzinu i kut, gibanje određuje i sila teža:

$$y(t) = v_0 \sin \alpha t - \frac{1}{2} g t^2$$

Vrijeme leta dobivamo iz uvjeta $y(t_d) = 0$ iz čega slijedi da je:

$$t_d = \frac{2v_0}{g} \sin \alpha$$

Domet definiramo kao: $d = x(t_d)$ iz čega (nakon sređivanja izraza) slijedi:

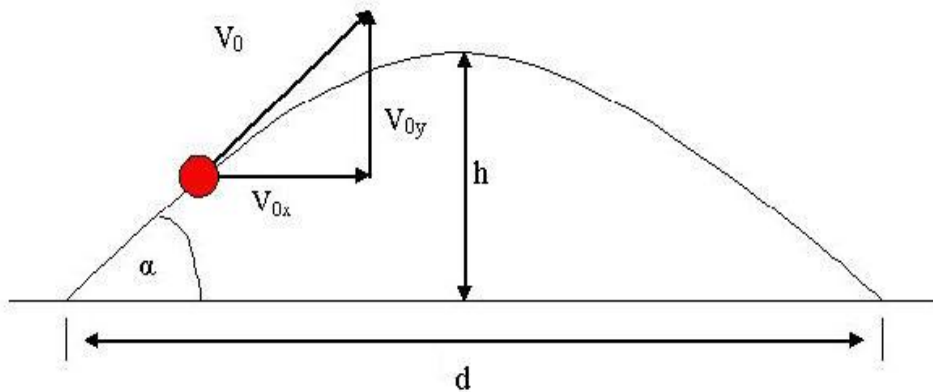
$$d = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

Pomoću formule za vrijeme leta (t_d) može se izraziti početna brzina (v_0):

$$v_0 = \frac{g}{2 \sin \alpha} t_d$$

Uvrštavanjem u izraz za domet dobivamo formulu koja povezuje domet i vrijeme leta:

$$d = ctg \alpha \frac{g}{2} t_d^2$$



Slika 1. Shematski prikaz kosog hitca.

Pribor:

- cijev s oprugom
- metalna kuglica
- metar traka
- pješčanik
- stalak sa štipaljka
- kutomjer
- zaporna ura
- računalo (Excel ili Geogebra)



Slika 2. Uređaj za izvođenje kosog hitca.

ZADATAK 1.**Odrediti početnu brzinu kuglice (1. način)**

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- Postaviti cijev koso prema gore i izmjeriti kut α u odnosu na horizontalnu ravninu.
- Postaviti pješčanik na istu visinu kao i vrh cijevi.
- Ispucati kuglicu u pješčanik i pomoću metra izmjeriti domet (d). Ponoviti 5 puta.
- Za svako mjerenje pod c) izračunati početnu brzinu (v_0) te odrediti srednju početnu brzinu i njenu maksimalnu pogrešku.

ZADATAK 2.

Odrediti početnu brzinu kuglice (2. način)

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- Postaviti cijev koso prema gore i izmjeriti kut α u odnosu na horizontalnu ravninu.
- Postaviti pješčanik na istu visinu kao i vrh cijevi.
- Ispucati kuglicu u pješčanik i pomoću zaporne ure izmjeriti vrijeme leta (t_d). Ponoviti 5 puta.
- Za svako mjerenje pod c) izračunati početnu brzinu v_0 te odrediti srednju početnu brzinu i njenu maksimalnu pogrešku.

ZADATAK 3.

Odrediti kut ispucavanja kuglice

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- Postaviti cijev na nepoznati kut α u odnosu na horizontalnu ravninu.
- Ispucati kuglicu i pomoću zaporne ure mjeriti vrijeme leta (t_d), a pomoću metra domet kuglice (d). Ponoviti 5 puta.
- Odrediti kut α za svako mjerenje pod b) te njegovu srednju vrijednost ($\bar{\alpha}$) i maksimalnu pogrešku ($\Delta\alpha$).

ZADATAK 4.

Odrediti ovisnost dometa o kutu ispucavanja kuglice

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- Postaviti cijev na kut $\alpha = 15^\circ$ u odnosu na horizontalnu ravninu.
- Ispucati kuglicu i pomoću metra izmjeriti domet (d) kuglice u pješčaniku. Ponoviti 5 puta.
- Ponoviti postupak pod a) i b) za još 4 kuta α i to: 30° , 45° , 60° i 75° .
- Za svaki kut α izračunati srednji domet $\bar{d}(\alpha)$.
- Nacrtati graf gdje je na apscisi kut α , a na ordinati domet $\bar{d}(\alpha)$.
- Odrediti iz grafa kut za koji se postiže maksimalan domet.

7. KOEFICIJENT TRENJA

Na tijelo na kosini djeluju tri sile: sila teža (G), sila reakcije podloge (N) i sila trenja (T). Rezultanta (F) ovih sila daje tijelu akceleraciju (a) usmjerenu niz kosinu

$$F = ma = G \sin \varphi - T$$

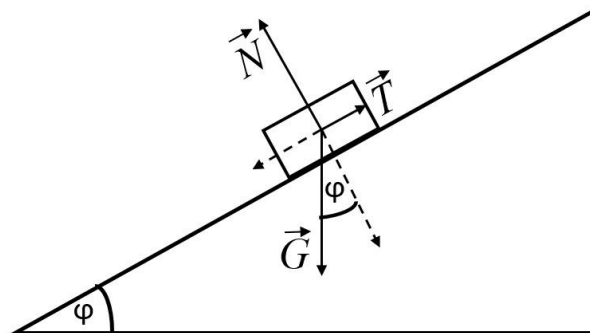
$$T = \mu mg \cos \varphi$$

$$F = ma = mg \sin \varphi - \mu mg \cos \varphi$$

$$a = g (\sin \varphi - \mu \cos \varphi)$$

Slijedi da je koeficijent trenja između tijela i kosine (μ) jednak:

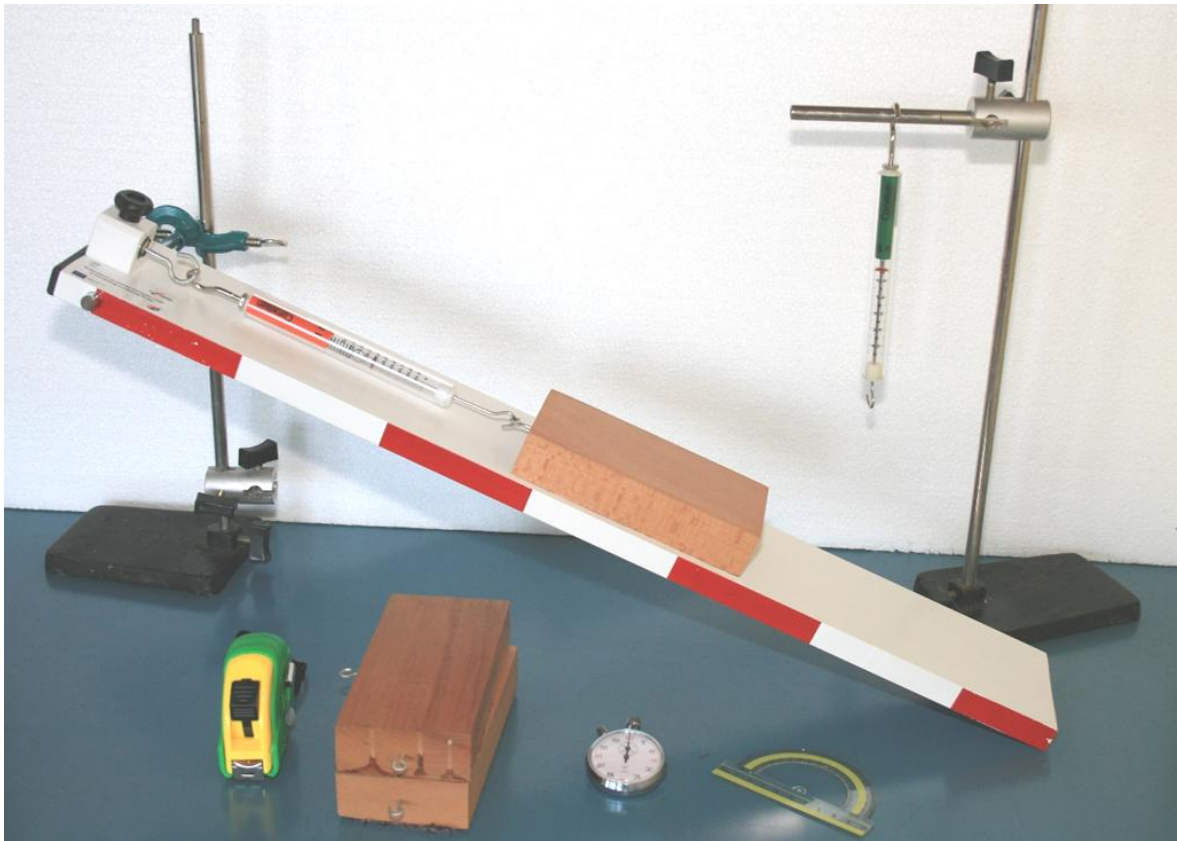
$$\mu = \operatorname{tg} \varphi - \frac{a}{g \cos \varphi}$$



Slika 1. Tijelo na kosini

Pribor:

- kosina
- kvadar (nekoliko tijela od različitih materijala)
- zaporna ura
- metar
- kutomjer
- dinamometar



Slika 2. Eksperimentalni postav

ZADATAK 1.

Odrediti koeficijent trenja

(za tijelo koje klizi niz kosinu)

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) pustiti tijelo (kvadar) da klizi niz kosinu
- b) mjeriti vrijeme (t) potrebno da tijelo stigne do podnožja
- c) izmjeriti duljinu prijeđenog puta (s)
- d) kutomjerom izmjeriti nagib kosine (φ)
- e) ponoviti više puta za isti nagib kosine i isti prijeđeni put
- f) izračunati srednju vrijednost vremena (\bar{t}), potrebnog da tijelo stigne s vrha do dna kosine
- g) izračunati koeficijent trenja (μ) između tijela i kosine
- h) usporediti rezultate dobivene za tijela od različitog materijala

ZADATAK 2.

Odrediti koeficijent trenja

(za tijelo koje "pridrđavamo" na kosini)

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) staviti tijelo na kosinu
- b) pričvrstiti dinamometar kao na Slici 2
- c) držeći dinamometar paralelno s kosinom pridržavati tijelo tako da miruje
- d) očitati silu F koju pokazuje dinamometar (ona uravnoteđuje silu zbog koje bi tijelo klizilo niz kosinu)
- e) dignuti tijelo s kosine i pomoću dinamometra izmjeriti njegovu težinu G
- f) pomoću kutomjera izmjeriti nagib kosine φ
- g) izračunati koeficijent trenja μ između tijela i kosine
- h) usporediti rezultat s vrijednostima za koeficijent trenja dobivenim u zadatku 1.

8. MOMENT INERCIJE

Moment inercije ili moment tromosti je fizička veličina koja iskazuje koliko se tijelo opire promjeni kutne brzine, tj. pokazuje njegovu tromost pri rotaciji. Moment inercije materijalne točke ovisi o njenoj masi (m) i udaljenosti od osi rotacije (r) te je dan izrazom:

$$I = mr^2$$

Za kruto tijelo, koje se može prikazati kao suma n malih elemenata mase Δm , moment inercije je dan izrazom:

$$I = \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2$$

dakle ovisi o prostornom rasporedu mase tijela u odnosu na os rotacije. Može se pokazati da se ovaj izraz pojednostavljuje za neka standardna tijela koja posjeduju rotacionu simetriju. Npr. za prsten radijusa R je moment inercije $I = mR^2$, za valjak radijusa R je $I = \frac{1}{2}mR^2$, a za kuglu radijusa R je moment inercije $I = \frac{2}{5}mR^2$.

Pri kotrljanju tijela niz kosinu njegova se gravitacijska potencijalna energija $E_p = mgh$ pretvara u kinetičku energiju translacije $E_t = \frac{mv^2}{2}$ i kinetičku energiju rotacije $E_r = \frac{I\omega^2}{2}$, gdje je ω kutna brzina tijela. Prema zakonu očuvanja energije vrijedi:

$$E_p = E_t + E_r$$

pa uvrštavanjem slijedi:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}$$

Za tijelo koje se kotrlja bez klizanja vrijedi da je njegova brzina $v = \omega R$ pa možemo eliminirati ω iz jednadžbe te dobivamo:

$$I = mR^2 \left(\frac{2gh}{v^2} - 1 \right)$$

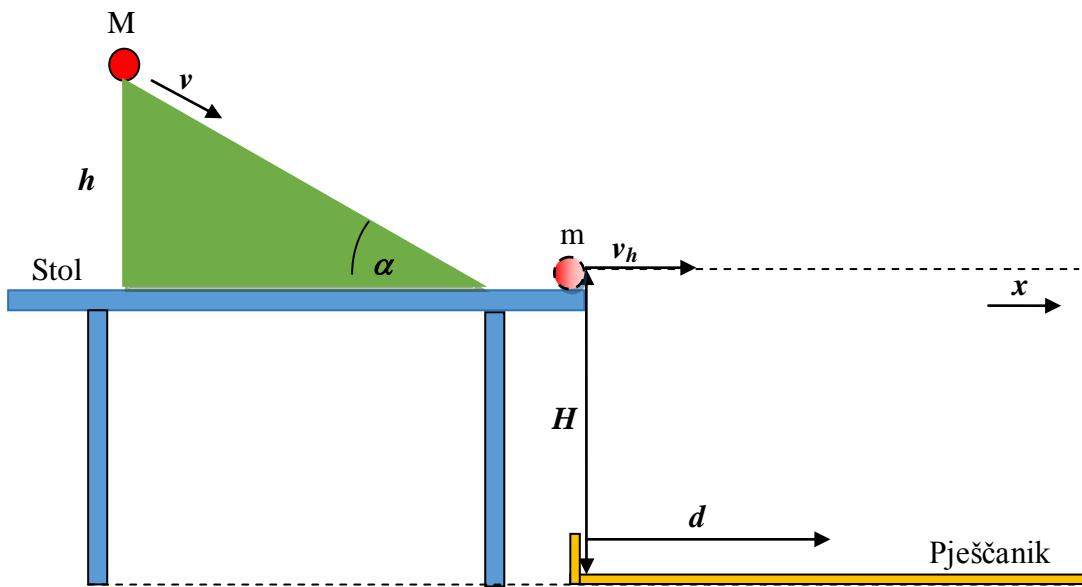
gdje je R radijus tijela koje se kotrlja.

Kada se tijelo koje se kotrlja niz kosinu s nagibom α sudari sa horizontalnom podlogom (stolom) ostaje samo horizontalna komponenta brzine $v_h = v \cos \alpha$. Kada potom tijelo dođe do ruba stola ono izvodi horizontalni hitac sa visine H , čiji domet (d) možemo odrediti iz izraza:

$$d = v_h \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

Uvrštavanjem v_h iz ovog izraza u izraz za moment inercije možemo iz njega eliminirati brzinu v , te moment inercije izražavamo kao:

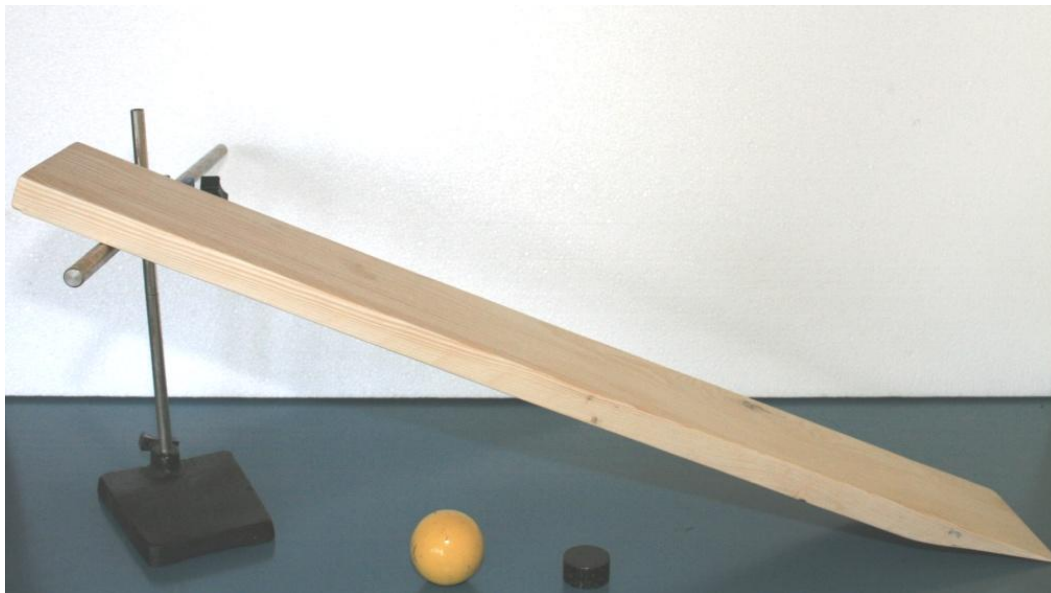
$$I = mR^2 \left(\frac{4hH \cos^2 \alpha}{d^2} - 1 \right)$$



Slika 1. Shema eksperimentalnog postava

Pribor:

- kosina
- stol
- kugla i valjak
- mjerna traka
- pješčanik



Slika 2. Pribor za izvođenje vježbe.

ZADATAK 1.

Odrediti moment inercije kugle

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- Postaviti kosinu na stol prema slikama te pripremiti pješčanik ispod stola.
- Izmjeriti visinu stola (H), visinu kosine (h) i odrediti nagib kosine (α).
- Izmjeriti masu (m) i radijus kugle (R).
- Odrediti domet kugle (d) mjereći udaljenost od mjesta pada u pješčaniku do ruba stola. Mjerenje ponoviti 10 puta.
- Odrediti moment inercije kugle (I_K) za svako od 10 mjerenja, izračunati njegovu srednju vrijednost i maksimalno odstupanje od srednje vrijednosti.
- Usporediti izmjereni moment inercije s očekivanim momentom inercije kugle $I_K = \frac{2}{5}mR^2$. Primjetiti da je dovoljno usporediti izraz u zagradi iz relacije za moment inercije, sa konstantom $2/5$.

ZADATAK 2.

Odrediti moment inercije valjka

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- Postaviti kosinu na stol prema shemi te pripremiti pješčanik ispod stola.
- Izmjeriti visinu stola (H), visinu kosine (h) i odrediti nagib kosine (α).
- Izmjeriti masu (m) i radijus valjka (R).
- Odrediti domet valjka (d) mjereći udaljenost od mjesta pada u pješčaniku do ruba stola. Mjerenje ponoviti 10 puta.
- Odrediti moment inercije valjka (I_V) za svako od 10 mjerenja, izračunati njegovu srednju vrijednost i maksimalno odstupanje od srednje vrijednosti.
- Usporediti izmjereni moment inercije s očekivanim momentom inercije valjka prema izrazu: $I_V = \frac{1}{2}mR^2$. Primjetiti da je dovoljno usporediti izraz u zagradi iz relacije za moment inercije, sa konstantom $1/2$.

9. ROTACIJA KRUTOG TIJELA

Uređaj za proučavanje rotacije krutog tijela prikazan je na slici 1. On se sastoji od obruča obješenog na vertikalnoj osovini sa vretenom radijusa b . Na vreteno je namotan konac čiji drugi kraj je prebačen preko koloture gdje je na njega obješena zdjelica za utege (Z).

Pri povlačenju konopa utegom obruč izvodi jednoliko ubrzano gibanje, budući da na njega djeluje konstantna sila težine utega i zdjelice F_G . Kut za koji se obruč zakrene pri jednoliko ubrzanom gibanju ϕ dan je relacijom:

$$\phi = \frac{\alpha}{2} t^2$$

gdje je α kutno ubrzanje, a t vrijeme. Za pune okrete obruča kut ϕ se može izraziti kao:

$$\phi = n 2\pi$$

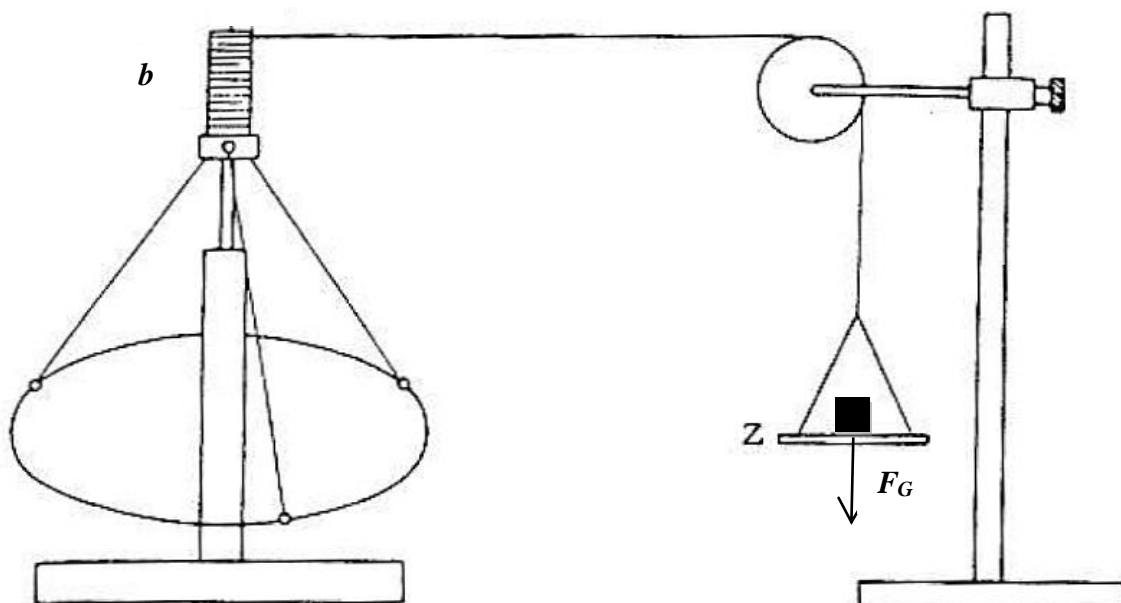
gdje je n broj punih okreta.

Moment sile na vreteno jednak je umnošku težine zdjelice i utega F_G i radijusa vretena b . S druge strane je moment sile jednak umnošku momenta inercije obruča I i kutog ubrzanja α . Dakle vrijedi:

$$M = F_G b = I \alpha$$

Kombiniranjem prvog i posljednjeg izraza dobivamo:

$$\phi = \frac{1 F_G b}{2 I} t^2$$



Slika 1. Shema uređaja za proučavanje rotacije krutog tijela

Pribor:

- obruč
- kolotura
- zdjelica i utezi
- zaporna ura
- računalo (Excel ili Geogebra)

ZADATAK 1.**Provjeriti zakon gibanja za rotaciju krutog tijela**

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) Postaviti mjerni uređaj prema slici 1.
- b) Postaviti uteg i zdjelicu u najviši položaj i pustiti da pada. Pri tom pomoću zaporne ure izmjeri vrijeme potrebno za $n = 1, 2, 3, \dots, 9$ punih okretaja obruča.
- c) Nacrtati $t^2 - n$ graf i pomoću računala linearnom regresijom odrediti pravac koji najbolje opisuje izmjerene točke.
- d) Odrediti moment inercije obruča I pomoću koeficijenta smjera pravca, promjera vretena b i F_G

ZADATAK 2.**Provjeriti ovisnost kutnog ubrzanja o momentu sile****Mjerenje i obrada:**

- a) Postaviti eksperiment kao na slici 1.
- b) Postaviti uteg mase m_u u zdjelicu mase m_Z i pustiti zdjelicu da pada iz najvišeg položaja. Pri tom pomoću zaporne ure izmjeri vrijeme potrebno za $n=5$ punih okreta obruča. Ponoviti mjerenja za još 4 utega različite mase.
- c) Nacrtati graf $\alpha - m_{uk}$ ($m_{uk} = m_Z + m_u$) i kroz točke pomoću računala (Excel ili Geogebra) odrediti pravac koji najbolje opisuje izmjerene točke. Da li pravac dobro opisuje opaženu ovisnost?

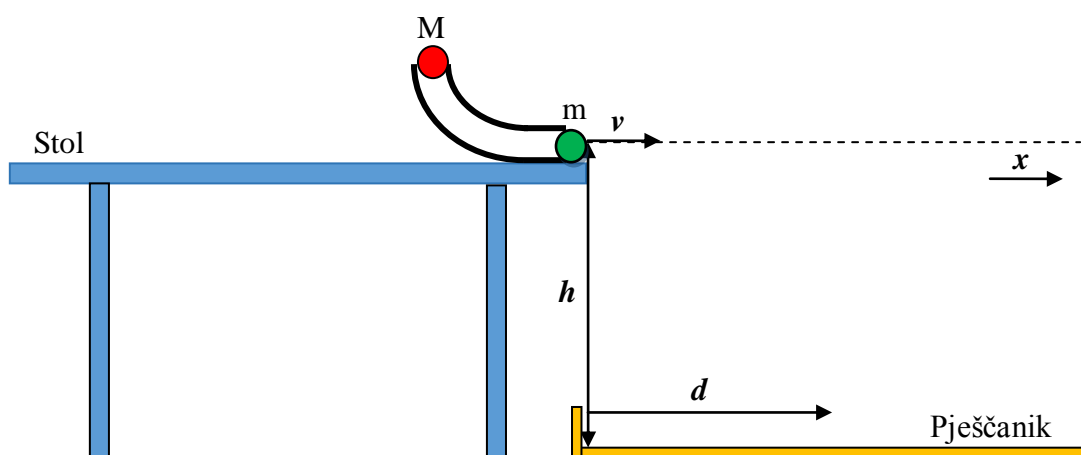
10. ZAKON OČUVANJA KOLIČINE GIBANJA

Zakon očuvanja količine gibanja kaže da je ukupna količina gibanja zatvorenog sustava stalna. Na primjer za tijela A i B koja se sudaraju vrijedi:

$$m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B = m_A \vec{v}'_A + m_B \vec{v}'_B$$

gdje su \vec{v}_A i \vec{v}_B brzine prije sudara, a \vec{v}'_A i \vec{v}'_B brzine nakon sudara.

U ovoj vježbi zakon očuvanja količine gibanja provjerava se pri sudaranju kuglica. Na rubu stola se nalazi šuplja zaobljena cijev pričvršćena stalkom i štipaljkama. Kroz cijev se pušta kugla mase M te se ona sudara s kuglom mase m na kraju cijevi kao što je prikazano na slici 1. Potom kugle padaju, a njihov domet d određuje se pomoću traga u pješčaniku.



Slika 1. Shema eksperimentalnog postava

Primjećujemo da svaka kugla izvodi horizontalni hitac te se njen domet (d) može odrediti preko formule za domet horizontalnog hitca:

$$d = v \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Iz toga dobivamo početnu brzinu kugle (na rubu stola):

$$v = d \sqrt{\frac{g}{2h}}$$

Količina gibanja slijedi iz brzine i mase te je ona za pojedinu kuglicu:

$$p = mv = md \sqrt{\frac{g}{2h}}$$

Pribor:

- šuplja zavinuta cijev
- kugle različite mase
- metar traka
- pješčanik
- stalak sa štipaljka
- vaga



Slika 2. Pribor za mjerenje

ZADATAK 1.**Odrediti količinu gibanja kugle**

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- Pričvrstiti cijev i namjestiti pješčanik kao na slici 1.
- Izmjeriti visinu (h) od dna pješčanika do polovice otvora cijevi.
- Odrediti masu metalne kuglice (M) vaganjem.
- Pustiti kuglu sa vrha cijevi i izmjeriti domet (d) u pješčaniku pomoću metar trake (ponoviti 5 puta).
- Za svako mjerenje pod d) izračunati početnu brzinu kugle u horizontalnom smjeru (v_M) i početnu količinu gibanja kugle (p_M).
- Odrediti srednju početnu količinu gibanja kugle ($\overline{p_M}$) i maksimalnu pogrešku (Δp_M).

ZADATAK 2.

Provjeriti zakon očuvanja količine gibanja u smjeru paralelnom s početnom količinom gibanja

Način izvođenja: individualno

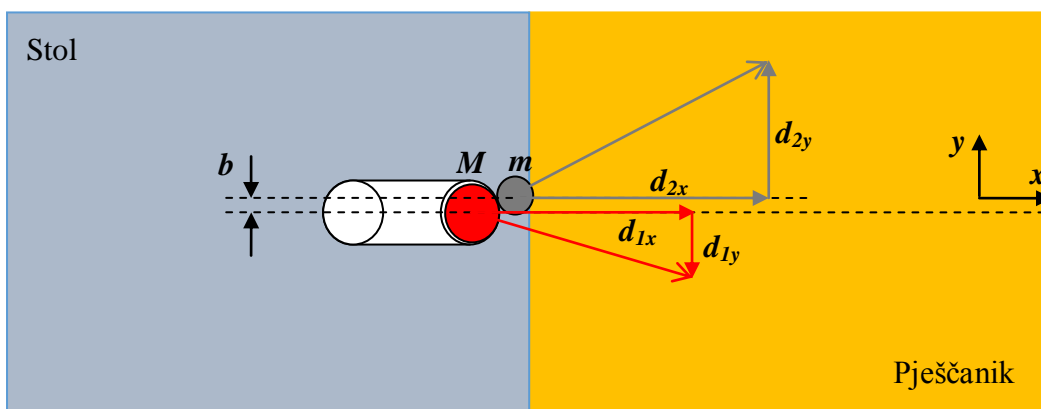
Mjerenje i obrada:

- Odrediti mase kuglice (m) i kuglice (M) vaganjem. (Preporuka je da je $M > m$.)
- Na horizontalni kraj cijevi postaviti kuglu mase m , kao na slici 1. Pri tome paziti da je kugla točno na sredini otvora cijevi. Pustiti kuglu mase M sa vrha cijevi i nakon sudara izmjeriti u pješčaniku domete obje kugle ($d_{m,x}$ i $d_{M,x}$) u smjeru okomitom na rub stola (x-smjer). Ponoviti ukupno 5 puta.
- Odrediti brzine u x-smjeru nakon sudara $v'_{m,x}$ i $v'_{M,y}$ te količine gibanja u x-smjeru nakon sudara $p'_{m,x}$ i $p'_{M,x}$, kao i ukupnu količinu gibanja u x smjeru p'_x , za svako mjerenje pod b)
- Odrediti srednju ukupnu količinu gibanja u x-smjeru nakon sudara \bar{p}'_x i pripadnu maksimalnu pogrešku $\Delta\bar{p}'_x$.
- Provjeriti zakon očuvanja količine gibanja uspoređujući ukupnu količinu gibanja određenu u zadatku 1 i zadatku 2.

ZADATAK 3.

Provjeriti zakon očuvanja količine gibanja u smjeru okomitom na početnu količinu gibanja

Kugla mase m postavi se na horizontalnom kraju cijevi, ali tako da je njeno središte pomaknuto za udaljenost b od središta cijevi, kao na slici 3.



Slika 3. Tlocrt eksperimentalnog postava

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) Odrediti mase kuglice (m) i kuglice (M) vaganjem. (Preporuka je da je $M \approx m$.)
- b) Pustiti kuglu mase M sa vrha cijevi i nakon sudara izmjeriti u pješčaniku domete obje kugle u y -smjeru ($d_{m,y}$ i $d_{M,y}$), mjereći udaljenost od osi cijevi, kao što je prikazano na slici 3 (ponoviti 5 puta).
- c) Odrediti brzine u y -smjeru nakon sudara $v'_{m,y}$ i $v'_{M,y}$ te količine gibanja kugli u y -smjeru nakon sudara $p'_{m,y}$ i $p'_{M,y}$, kao i ukupnu količinu gibanja p'_y , za svako mjerenje pod b).
- d) Odrediti srednju ukupnu količinu gibanja u y -smjeru nakon sudara \bar{p}'_y i pripadnu maksimalnu pogrešku $\Delta\bar{p}'_y$.
- e) Provjeriti zakon sačuvanja količine gibanja uspoređujući ukupnu količinu gibanja u y -smjeru, prije i poslije sudara.

11 . CENTRIPETALNA SILA

Eksperimentalni postav za ispitivanje centripetalne sile sastoji se od šuplje cijevi kroz koju prolazi tanka nit, na čijem je jednom kraju spojen čep mase m , a na drugom uteg mase M (slika 1). Pokus se izvodi tako da se čep jednoliko zavrtla (iznad glave) u horizontalnoj ravnini. U tom slučaju on izvodi kružno gibanje s radijusom r . Ako je radijus kružnog gibanja konstantan, to znači da na čep djeluje centripetalna sila F_{cp} , koja je u ovom slučaju jednaka težini utega (Mg). Pri tome zanemarujemo silu težu koja djeluje na čep, što je opravdano kada je masa čepa puno manja od mase utega.

Izraz za centripetalnu silu na tijelo mase m koje jednoliko kruži je:

$$F_{cp} = \frac{mv^2}{r}$$

Brzina tijela v je povezana s kutnom brzinom ω izrazom $v = \omega r$, stoga se centripetalnu silu može izraziti kao:

$$F_{cp} = m\omega^2 r$$

Kutna brzina povezana je s periodom kružnog gibanja T izrazom $\omega = 2\pi/T$ pa nakon uvrštavanja izražavamo centripetalnu silu kao:

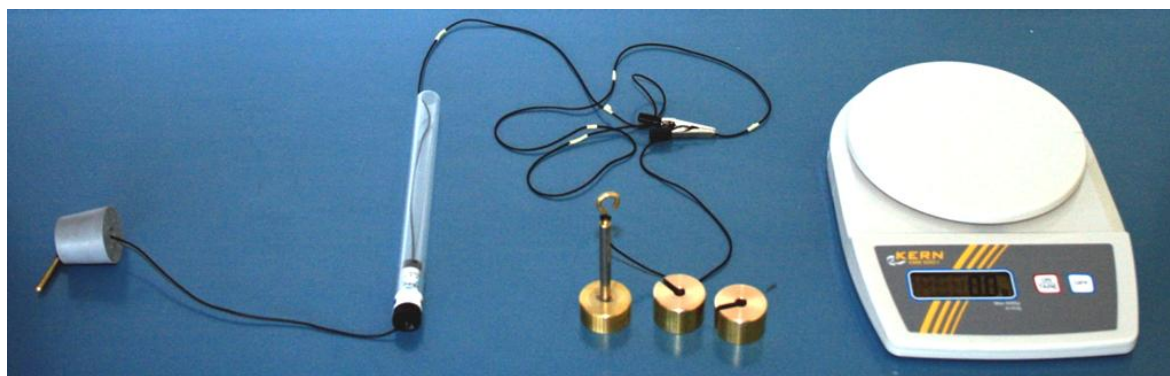
$$F_{cp} = mr \frac{(2\pi)^2}{T^2}$$

Centripetalna sila u ovom je pokusu rezultat težine utega (Mg) pa pišemo:

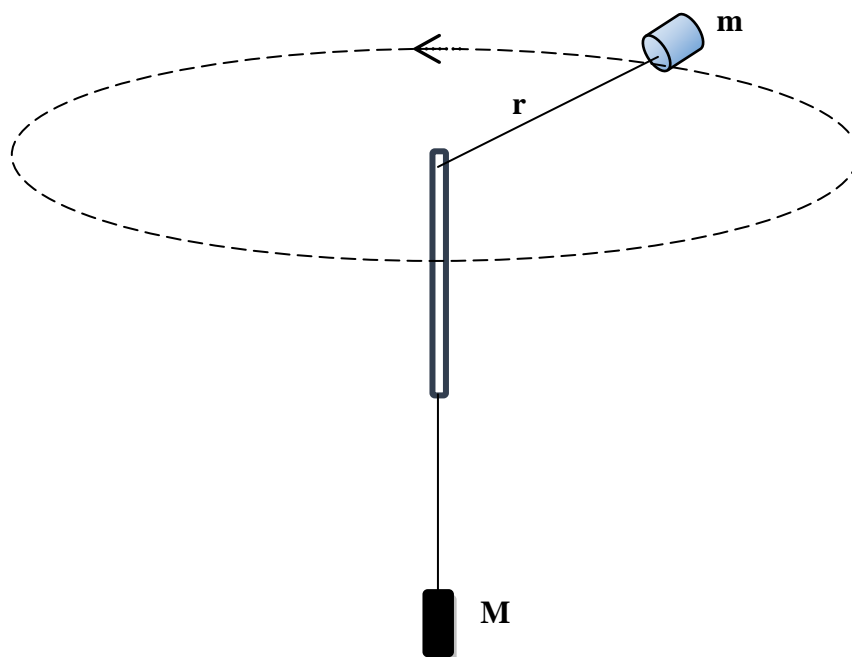
$$Mg = mr \frac{(2\pi)^2}{T^2}$$

Pribor:

- šuplja cijev
- gumeni čep na tankoj niti
- utezi
- zaporna ura
- metar traka ili ravnalo
- računalo (Excel ili Geogebra)



Slika 1. Pribor za izvođene pokusa.



Slika 2. *Skica izvođenja pokusa.*

ZADATAK 1.

Provjeriti ovisnost perioda kružnog gibanja o radijusu kružne putanje

Način izvođenja: u paru

Mjerenje i obrada:

- Na nit postaviti oznake tako da odgovaraju radijusima rotacije $r = 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110$ i 120 cm. Na jedan kraj niti pričvrstiti čep mase m , a na drugi kraj uteg mase M .
- Izmjeriti period rotacije za radijuse $r = 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110$ i 120 cm. Uputa: jedan učenik zavrta čep (iznad glave) i kada se dostigne željeni radijus rotacije drugi učenik izmjeri period okreta. Period izmjeriti tako da se izmjeri vrijeme potrebno za 5 okretaja i podijeli s brojem okretaja. Mjerenje se ponavlja za ostale zadane radijuse.
- Nacrtaj grafove $T - r$ i $T^2 - r$. Komentirajte rezultat.

ZADATAK 2.

Odrediti masu tijela koje rotira pomoću izraza za centripetalnu silu

Način izvođenja: u paru

Mjerenje i obrada:

- Izmjeriti masu utega M korištenog u zadatku 1.
- Koristeći mjerenja iz zadatka 1 nacrtaj graf $T^2 - r$
- Pomoću računala (Excel ili Geogebra) odredite pravac koji najbolje opisuje točke $T^2 - r$ grafa iz zadatka 1. Iz koeficijenta smjera pravca i poznate mase M odredite masu čepa m .

ZADATAK 3.

Odredi ubrzanje sile teže pomoću izraza za centripetalnu silu

Mjerenje i obrada:

- Vaganjem odrediti masu čepa m i tri utega M_1, M_2, M_3 .
- Postaviti oznaku za radijus rotacije $r = 90$ cm.
- Odrediti period rotacije T za tri različite mase utega M_1, M_2, M_3 . Uputa: jedan učenik zavrti čep (iznad glave) i kada se dostigne željeni radijus rotacije drugi učenik izmjeri period okreta. Period izmjeriti tako da se izmjeri vrijeme potrebno za 5 okretaja i podijeli s brojem okretaja.
- Pomoću izraza za centripetalnu silu odredi ubrzanje sile teže g za sva tri slučaja.
- Odredi srednju vrijednost ubrzanja, maksimalno i relativno odstupanje od srednje vrijednosti.

12. ARHIMEDOV ZAKON

Arhimedov zakon glasi:

Tijelo uronjeno u tekućinu gubi na težini za iznos jednak težini istisnute tekućine.

$$\vec{F}_T = \vec{F} - \rho_T \vec{g} V$$

Uzgon je sila po iznosu jednaka težini istisnute tekućine, a javlja se kao posljedica promjene hidrostatskog tlaka s dubinom:

$$\vec{U} = - \rho_T \vec{g} V$$



Slika 1. *Ekperimentalni postav*

Pribor:

- utezi (različita tijela, jedno koje pliva na vodi)
- menzura
- laboratorijske čaše
- dinamometar
- tekućina poznate gustoće (npr. voda)
- tekućina nepoznate gustoće

ZADATAK 1.**Provjeriti Arhimedov zakon**

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- izmjeriti dinamometrom težinu tijela u zraku (F)
- izmjeriti dinamometrom težinu tijela (F_T) uronjenog u tekućinu poznate gustoće (npr. vodu, $\rho_T = 10^3 \text{ kg m}^{-3}$)
- izmjeriti volumen istisnute tekućine (tekućina je u menzuri)
- izračunati težinu istisnute tekućine, tj. uzgon (U) i usporediti s razlikom izmjerenih težina tijela ($F - F_T$)
- ponoviti za nekoliko tijela, uključujući i ono koje pliva

ZADATAK 2.**Odrediti gustoću tekućine**

Način izvođenja: individualno, na jedan od sljedeća dva načina

Mjerenje i obrada (prvi način):

- izmjeriti težinu tijela u zraku (F) i tekućini (F_T)
- izmjeriti volumen (V) istisnute tekućine (očitati na menzuri)
- iz Arhimedovog zakona izračunati gustoću tekućine (ρ_T)
- ponoviti za nekoliko tijela uključujući ona koja plivaju na tekućini
- izračunati srednju vrijednost gustoće tekućine ($\overline{\rho_T}$), maksimalnu ($\Delta\rho_T$) i relativnu pogrešku ($\Delta\rho_T / \overline{\rho_T}$)

Mjerenje i obrada (drugi način):

- izmjeriti težinu tijela u zraku (F), vodi (F_V) i tekućini nepoznate gustoće (F_T)
- iz Arhimedovog zakona izračunati gustoću tekućine (ρ_T)
- ponoviti za nekoliko tijela

- d) izračunati srednju vrijednost gustoće tekućine ($\overline{\rho_T}$), maksimalnu ($\Delta\rho_T$) i relativnu pogrešku ($\Delta\rho_T / \overline{\rho_T}$)

ZADATAK 3.

Odrediti gustoću tijela nepravilnog oblika bez mjerenja volumena

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) izmjeriti dinamometrom težinu tijela u zraku (F)
- b) izmjeriti dinamometrom težinu tijela (F_T) uronjenog u tekućinu poznate gustoće (npr. vodu, $\rho_T = 10^3 \text{ kg m}^{-3}$)
- c) iz Arhimedovog zakona izračunati volumen tijela (V)
- d) izračunati gustoću tijela (ρ)
- e) ponoviti za tijela od različitih materijala
- f) pokušati odgovoriti o kojim se materijalima radi

ELEKTROMAGNETIZAM

13. OHMOV ZAKON ZA ISTOSMJERNU STRUJU

Prema Ohmovom zakonu:

$$U = R I$$

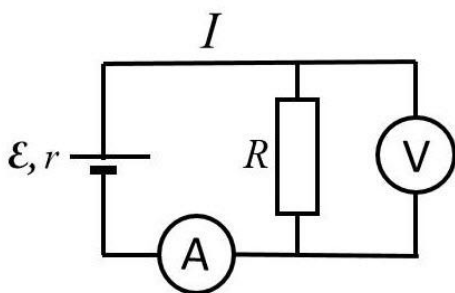
gdje je:

U – napon na krajevima otpora R

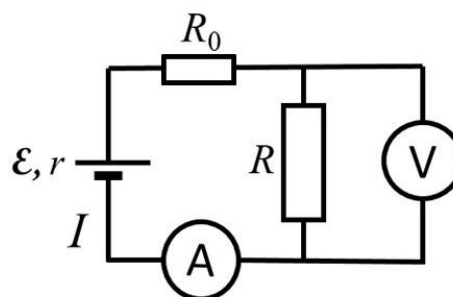
I – struja kroz otpor R

Za serijski spoj izvora elektromotorne sile \mathcal{E} , unutarnjeg otpora r i vanjskog otpora R vrijedi (Ohmov zakon za zatvoreni strujni krug):

$$\mathcal{E} = (R + r) I$$



Slika 1. Zatvoreni strujni krug



Slika 2. Krug sa zaštitnim otporom

Vrijednost zaštitnog otpora ovisi o karakteristikama izvora. Ukoliko je za neki napon izvora \mathcal{E} maksimalna dozvoljena struja I_{max} to znači da ukupan otpor u krugu mora biti veći od \mathcal{E}/I_{max} . Uključivanjem zaštitnog otpora $R_0 \approx \mathcal{E}/I_{max}$ osigurano je da struja u krugu neće prijeći tu vrijednost.

Otpor ovisi o vrsti i geometriji materijala. Za žicu duljine l i poprečnog presjeka S otpor je

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

ρ je specifičan otpor ili otpornost materijala.

Pribor:

- izvor istosmjernog napona (jedinica za napajanje s mogućnošću izbora napona)
- nekoliko poznatih otpornika (red veličine nekoliko oma)
- zaštitni otpor (oko 10-20 oma)
- žice nepoznatog otpora
- ampermetar
- voltmetar
- metar
- pomična mjerka



Slika 3. Pribor za jednostavni strujni krug

ZADATAK 1.**Provjeriti Ohmov zakon**

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- spojiti jedinicu za napajanje, otpornik (R_x), zaštitni otpor (R_0), ampermetar i voltmetar prema shemi na slici 2.
- odabrati napon izvora (\mathcal{E}), pročitati na jedinici za napajanje koja je maksimalno dozvoljena struja prema tome odabrati zaštitni otpor R_0

- c) izmjeriti napon i struju za nekoliko poznatih otpora (R_x)
- d) mjeriti napon (U) na krajevima otpornika i struju (I) koja prolazi otpornikom
- e) pomoću Ohmovog zakona izračunati otpor (R) i usporediti sa stvarnim vrijednostima otpora

ZADATAK 2.

Odrediti vrijednost nepoznatog otpora

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) spojiti jedinicu za napajanje, žicu nepoznatog otpora R , zaštitni otpor (R_0), ampermetar i voltmetar prema shemi na slici 2.
- b) odabrati napon izvora (\mathcal{E}), pročitati na jedinici za napajanje koja je maksimalno dozvoljena struja prema tome odabrati zaštitni otpor R_0
- c) izmjeriti napon (U) na krajevima žice i struju (I) koja prolazi žicom nepoznatog otpora
- d) izračunati otpor žice (R) iz Ohmovog zakona,
- e) izmjeriti promjer ($2r$) i duljinu (l) žice te izračunati otpornost (specifičan otpor) materijala (ρ).
- f) ponoviti za nekoliko žica
- g) ukoliko su žice od istog materijala izračunati srednju vrijednost otpornosti ($\bar{\rho}$), maksimalnu ($\Delta\rho$) i relativnu pogrešku ($\Delta\rho/\bar{\rho}$)
- h) za žice od istog materijala, istog presjeka S , a različite duljine l nacrtati ovisnost otpora R o duljini l

ZADATAK 3.

Odrediti unutarnji otpor izvora

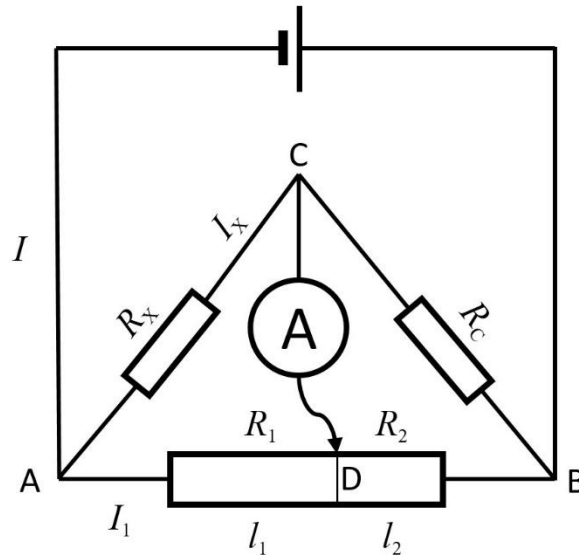
Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) odabrati napon izvora (\mathcal{E}), pročitati na jedinici za napajanje koja je maksimalno dozvoljena struja i prema tome odrediti zaštitni otpor R_0
- b) spojiti jedinicu za napajanje, otpornik ($R \geq R_0$), ampermetar i voltmetar prema shemi na slici 1.
- c) mjeriti napon (U) na krajevima otpornika i struju (I) koja prolazi otpornikom
- d) ponoviti za nekoliko različitih otpora (uz uvjet $R \geq R_0$)
- e) izračunati unutarnji otpor izvora (r), srednju vrijednost (\bar{r}), maksimalnu (Δr) i relativnu pogrešku ($\Delta r/\bar{r}$)

14. WHEATSTONEOV MOST

Wheatstoneov most je električki sklop koji se koristi za mjerenje otpora u krugu istosmjerne struje.



Slika 1. Shema Wheatstoneovog mosta

R_x – nepoznati otpor

R_c – poznati otpor

R – klizni otpornik ukupnog otpora $R = R_1 + R_2$

Most je u ravnoteži kada kroz ampermetar ne teče struja, tj. nema razlike potencijala između točaka C i D. Napon je razlika potencijala između dvije točke pa slijedi:

$$U_{AC} = U_{AD}$$

$$U_{CB} = U_{DB}$$

Odnosno, prema Ohmovom zakonu:

$$R_x I_x = R_1 I_1$$

$$R_c I_x = R_2 I_1$$

$$\frac{R_x}{R_c} = \frac{R_1}{R_2}$$

Slijedi da je nepoznati otpor:

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_c \quad \text{ili} \quad R_x = \frac{l_1}{l_2} R_c$$

gdje su l_1 i l_2 duljine otpora R_1 odnosno R_2 .



Slika 2. Pribor za Wheatstoneov most

Pribor:

- izvor istosmjernog napona
- nepoznati otpor (R_x)
- poznati otpor (R_C)
- klizni otpornik ukupnog otpora R ($R = R_1 + R_2$)
- ampermetar

ZADATAK 1.

Odrediti vrijednost nepoznatog otpora pomoću Wheatstoneovog mosta

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) priključiti, prema shemi na slici 1, otpornike ($R_C = 270 \Omega$, nepoznati otpor R_X i klizni otpornik) te ampermetar na izvor istosmjernog napona od 10 V
- b) pronaći na kliznom otporniku mjesto spoja (točka D) za koje je most u ravnoteži (struja kroz ampermetar je nula)
- c) izračunati vrijednost nepoznatog otpora (R_X)
- d) usporediti s vrijednosti dobivenom pomoću ommetra (R_0)
- e) ponoviti za nekoliko nepoznatih otpora

Primjedba: ako se na kliznom otporniku ne mogu direktno očitavati vrijednosti R_1 i R_2 , uočiti da je omjer R_1 / R_2 jednak omjer odgovarajućih duljina otpornika l_1 / l_2 .

15. OHMOV ZAKON ZA IZMJENIČNU STRUJU

Ukupni otpor (impedancija) za serijski spoj zavojnice, omskog otpora i kondenzatora u krugu izmjenične struje je:

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$$

$$Z = U_{ef} / I_{ef}$$

gdje je:

Z – impedancija

U_{ef} – efektivna vrijednost izmjeničnog napona

I_{ef} – efektivna vrijednost izmjenične struje

$Z_L = L\omega$ – induktivni otpor

$Z_C = 1/C\omega$ – kapacitivni otpor

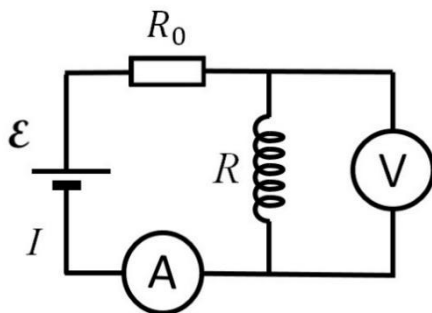
R – omski otpor



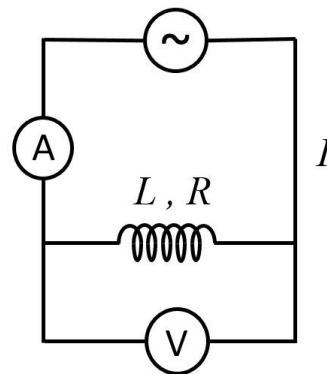
Slika 1. Pribor za krug izmjenične struje

Pribor:

- izvor izmjeničnog napona
- izvor istosmjernog napona
- zavojnice
- ampermetar
- voltmetar
- milimetarski papir ili računalo s programskim paketima Excel ili Geogebra



Slika 2. Shema 1



Slika 3. Shema 2

ZADATAK 1.**Odrediti induktivni otpor zavojnice**

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- spojiti zavojnicu omskog otpora R , zaštitni otpor R_0 ampermetar i voltmetar na izvor istosmjernog napona prema shemi (Slika 2.)
- prema uputama za mjerenje otpora u krugu istosmjerne struje (tema br.13, zadatak 1.) odrediti omski otpor zavojnice (R):
 - na jedinici za napajanje odabrati izlazni napon (npr. 5 V), pročitati kolika je maksimalno dozvoljena struja I_{maks}
 - odrediti koliki zaštitni otpor R_0 trebamo uključiti (Vrijednost zaštitnog otpora ovisi o karakteristikama izvora. Ukoliko je za neki napon izvora (\mathcal{E}) maksimalna dozvoljena struja I_{max} to znači da ukupan otpor u krugu mora biti veći od \mathcal{E}/I_{max} . Uključivanjem zaštitnog otpora $R_0 \approx \mathcal{E}/I_{max}$ osigurano je da struja u krugu neće prijeći tu vrijednost)

- izmjeriti napon (U) na krajevima zavojnice i struju (I) koja prolazi zavojnicom
 - izračunati omski otpor (R) zavojnice
 - ponoviti sa zavojnicama različitog broja namotaja (N)
 - prikazati grafički ovisnost otpora (R) o broju namotaja (na milimetarskom papiru ili na računalu koristeći Excel ili Geogebra)
- c) spojiti izvor izmjeničnog napona (odabrati napon npr. 3V), zavojnicu, ampermetar i voltmetar prema shemi (Slika 3.)
- d) izmjeriti efektivnu vrijednost napona (U_{ef}) na krajevima zavojnice i efektivnu vrijednost struje (I_{ef}) koja prolazi zavojnicom
- e) izračunati impedanciju (Z)
- f) ponoviti za nekoliko zavojnica različitog broja namotaja (N)
- g) izračunati koliki je induktivni otpor zavojnice ($Z_L = L\omega$)
- h) izračunati induktivitet zavojnice (L)
- i) prikazati grafički ovisnost induktivnog otpora (Z_L) o broju namotaja (N) (na milimetarskom papiru ili na računalu koristeći Excel ili Geogebra)

ZADATAK 2.

Odrediti impedanciju u krugu izmjenične struje

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) spojiti izvor izmjeničnog napona (odabrati napon npr. 3V), zavojnicu, ampermetar i voltmetar prema shemi (Slika 3.)
- b) izmjeriti efektivnu vrijednost napona (U_{ef}) na krajevima zavojnice i efektivnu vrijednost struje (I_{ef}) koja prolazi zavojnicom
- c) izračunati impedanciju (Z)
- d) ponoviti za nekoliko zavojnica različitog broja namotaja (N)
- e) prikazati grafički ovisnost induktivnog otpora (Z) o broju namotaja (N) (na milimetarskom papiru ili na računalu koristeći Excel ili Geogebra)

16. PROMJENA OTPORA S TEMPERATUROM

Promjena otpora s temperaturom (kod čistih metala i nekih poluvodiča) dana je relacijom:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

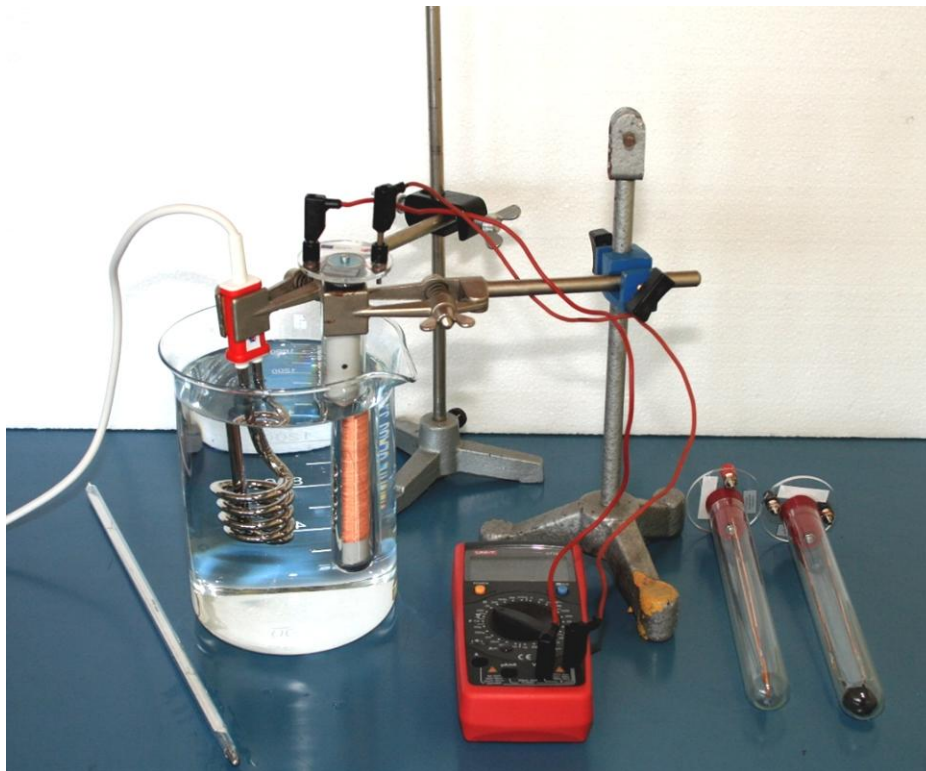
gdje je:

R_0 – otpor na 0°C

α – temperaturni koeficijent otpora

Pribor:

- ommetar
 - vodič u epruveti (npr. bakar ili neki drugi materijal koji ima veliki temperaturni koeficijent otpora)
 - kada
 - grijač
 - termometar
 - milimetarski papir
- ili
- računalo s programskim paketima Excel ili Geogebra



Slika 1. Eksperimentalni postav

ZADATAK 1.

Mjeriti promjenu otpora s temperaturom i izračunati temperaturni koeficijent otpora

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) vodič u epruveti uroniti u kadu s vodom i grijačem (epruveta i grijač ne smiju dodirivati stjenke posude, niti se dodirivati međusobno)
- b) grijati vodu, lagano miješati radi ravnomjernog zagrijavanja vode i epruvete s vodičem
- c) očitavati temperaturu (t) na termometru uronjenom u vodu
- d) pomoću ommetra mjeriti otpor vodiča (R),
- e) prikazati grafički promjenu otpora s temperaturom (koristiti Excel ili Geogebra)
- f) izračunati temperaturni koeficijent otpora (jednadžba pravca pomoću Excela ili Geogebra)
- g) ponoviti za nekoliko različitih materijala (ako je moguće, tj. ako je kada dovoljno velika, mjeriti paralelno)

17. ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA

Faradayev zakon elektromagnetske indukcije je osnovni zakon elektromagnetizma i glasi:

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Inducirana elektromotorna sila u zatvorenoj konturi jednaka je negativnoj promjeni obuhvaćenog magnetskog toka kroz konturu.

Ako se zavojnica od N zavoja, površine presjeka S , nađe u promjenljivom magnetskom polju B promjena magnetskog toka kroz ukupnu površinu zavoja biti će:

$$\Delta \Phi = N \Delta(\vec{B} \vec{S})$$

Na krajevima zavojnice inducirat će se elektromotorna sila:

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta(\vec{B} \vec{S})}{\Delta t}$$

Pribor:

- izvor izmjeničnog napona (s mogućnošću promijene napona)
- zavojnice različitog broja zavoja i promjera 25-45 mm
- velika zavojnica dovoljno velikog promjera da u nju možemo umetnuti male zavojnice
- transformator
- voltmetar
- ampermetar

ZADATAK 1.

Izmjeriti inducirani napon u zavojnici

Način izvođenja: individualno

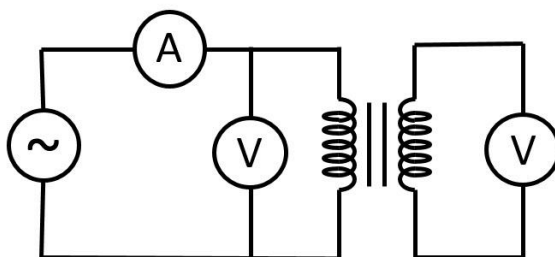
Mjerenje i obrada:

- a) veliku zavojnicu spojiti na izvor izmjeničnog napona
- b) odabrati malu zavojnicu, priključiti voltmetar na njene krajeve i umetnuti je u veliku zavojnicu
- c) mjeriti napon induciran u maloj zavojnici
- d) ponoviti za malu zavojnicu različitog broja zavoja
- e) grafički prikazati ovisnost induciranog napona o broju zavoja

ZADATAK 2.

Izmjeriti ovisnost induciranog napona u sekundaru transformatora o naponu u primaru transformatora i naći omjer transformacije napona

Način izvođenja: individualno



Slika 1. Shematski prikaz transformatora

Mjerenje i obrada:

- spojiti izvor izmjeničnog napona, transformator i mjerne instrumente kao na shemi
- mjeriti efektivnu vrijednost napona ($U_{1\text{ef}}$) u primarnom krugu
- mjeriti efektivnu vrijednost napona ($U_{2\text{ef}}$) na sekundaru transformatora
- izračunati omjer transformacije napona ($U_{2\text{ef}}/U_{1\text{ef}}$)
- ponoviti za nekoliko različitih vrijednosti napona izvora
- izračunati srednju vrijednost omjera transformacije ($\overline{(U_{2\text{ef}}/U_{1\text{ef}})}$), maksimalnu pogrešku ($\Delta(U_{2\text{ef}}/U_{1\text{ef}})$) i relativnu pogrešku (R)
- grafički prikazati ovisnosti napona ($U_{2\text{ef}}$) induciranog na sekundaru o naponu ($U_{1\text{ef}}$) na primaru (koristiti programske pakete Excel ili Geogebra)
- pomoću programskog paketa Excel (ili Geogebra) naći pravac najbliži točkama na grafu
- koeficijent smjera pravca jednak je omjeru transformacije napona

TOPLINA

18. KALORIMETRIJA

Toplinski kapacitet nekog tijela je količina topline koju treba predati tijelu da mu se temperatura povisi za 1 K:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

Specifični toplinski kapacitet nekog tijela je količina topline koju treba predati jedinici mase tijela da mu se temperatura povisi za 1 K:

$$c = \frac{1}{m} \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

gdje je:

ΔQ – količina topline predana tijelu izražena u J

m – masa tijela izražena u kg

ΔT – promjena temperature izražena u K

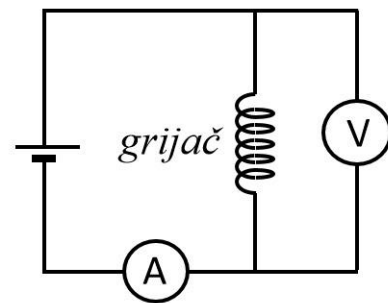


Slika 1. Kalorimetar s grijačem i termometrom

Pribor:

- kalorimetar s grijačem i termometrom
- termometar
- izvor istosmjernog napona ($\mathcal{E} = 10 \text{ V}$; $I_{max} = 4 \text{ A}$)

- ampermetar
- voltmetar
- zaporna ura
- kuhalo
- posuda za grijanje vode
- drvene rešetkice
- destilirana voda
- kruto tijelo
- vaga
- pinceta (hvataljka)
- računalo (programski paketi Excel ili Geogebra)



Slika 2. Spajanje grijača

ZADATAK 1.

Odrediti specifični toplinski kapacitet vode

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) 150 g destilirane vode uliti u kalorimetar
- b) grijač spojiti sa izvorom istosmjernog napona (5-10 V), ampermetrom i voltmetrom prema shemi (Slika 2.)
- c) zabilježiti početnu temperaturu (θ_0)
- d) uključiti jedinicu za napajanje pazeći da struja ne prelazi 4A (odnosno iznos I_{max} koji piše na uređaju)
- e) zabilježiti vrijednost napona (U) i struje (I)
- f) uključiti zapornu uru
- g) miješati vodu u kalorimetru
- h) u jednakim vremenskim razmacima (npr. svakih 60 sekundi) zapisati temperaturu (θ) vode u kalorimetru
- i) prikaži grafički porast temperature u ovisnosti o vremenu (graf $\Delta T - \Delta t$) prateći upute u točki j)
- j) iz dobivenih podataka odrediti specifični toplinski kapacitet vode na sljedeći način:

Količina topline koju grijač preda vodi u vremenu Δt je:

$$\Delta Q = UI \Delta t$$

Pri tom će se temperatura vode povećati za ΔT :

$$\Delta Q = mc \Delta T$$

Slijedi:

$$UI \Delta t = mc \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{UI}{mc} \Delta t$$

U gornjem mjerenju je:

$$\Delta t = 0; t_1; t_2; t_3 \dots \text{ (izraženo u s)}$$

Temperatura očitana u tim trenucima je:

$$\theta = \theta_0; \theta_1; \theta_2; \theta_3 \dots \text{ (izraženo u } ^\circ\text{C)}$$

A odgovarajući porast temperature je:

$$\Delta T = 0; (\theta_1 - \theta_0); (\theta_2 - \theta_0); (\theta_3 - \theta_0) \dots \text{ (izraženo K)}$$

Veza između porasta temperature i proteklog vremena je linearna ($y = ax + b$) pri čemu koordinati y odgovaraju vrijednosti ΔT , koordinati x vrijednosti Δt . Koeficijent smjera je:

$$a = \frac{UI}{mc} \Rightarrow c = \frac{UI}{ma}$$

ZADATAK 2.

Odrediti toplinski kapacitet vode

(drugi način)

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- 150 g destilirane vode uliti u kalorimetar
- grijač spojiti sa izvorom istosmjernog napona (5-10 V), ampermetrom i voltmetrom prema shemi (Slika 2.)
- zabilježiti početnu temperaturu (θ_0)
- uključiti jedinicu za napajanje pazeći da struja ne prelazi 4A (odnosno iznos I_{max} koji piše na uređaju)
- zabilježiti vrijednost napona (U) i struje (I)
- uključiti zapornu uru
- miješati vodu u kalorimetru
- nakon 5 do 6 minuta zabilježiti proteklo vrijeme (Δt) i temperaturu vode u kalorimetru (θ_1)
- iz dobivenih podataka odrediti specifični toplinski kapacitet vode na sljedeći način:

Količina topline koju grijač preda vodi u vremenu Δt je:

$$\Delta Q = UI \Delta t$$

Pri tom će se temperatura vode povećati za $\Delta T = \theta_1 - \theta_0$:

$$\Delta Q = mc \Delta T$$

Slijedi:

$$UI \Delta t = mc \Delta T$$

$$c = \frac{UI \Delta T}{m \Delta t}$$

ZADATAK 3.

Odrediti specifični toplinski kapacitet krutog tijela

Način izvođenja: individualno, kao nastavak zadatka 2.

Mjerenje i obrada:

- a) iz kalorimetra ukloniti grijač i otvor zatvoriti sa poklopcem
- b) na dno staviti drvenu rešetkicu
- c) uliti u kalorimetar 150 ml destilirane vode ($m_V = 150 \text{ g}$)
- d) izvagati kruto tijelo (m_T)
- e) u posudu za grijanje vode staviti vodu, drvenu rešetkicu i tijelo (uloga rešetkice je da tijelo ne dodiruje stjenke posude)
- f) posudu staviti na kuhalo i grijati dok voda ne zavrije, temperatura vode i tijela (θ_1) je tada $\approx 100 \text{ }^\circ\text{C}$
- g) izmjeriti temperaturu vode u kalorimetru (θ_0)
- h) isključiti kuhalo i hvataljkom oprezno tijelo prebaciti u kalorimetar
- i) kalorimetar brzo zatvoriti
- j) miješati vodu u kalorimetru i pratiti promjenu temperature, kada se više ne mijenja znači da je dosegnuta ravnotežna temperatura (θ_2)
- k) iz dobivenih podataka izračunati specifični toplinski kapacitet tijela (c_T) a za specifični toplinski kapacitet vode (c_V) uzeti vrijednost dobivenu u zadatku 2.

19. PLINSKI ZAKONI

Stanje idealnog plina opisano je jednačbom:

$$pV = nRT$$

$$n = m/M$$

gdje je:

p – tlak plina izražen u Pa

V – volumen plina izražen u m^3

n – količina (broj molova plina u volumenu V)

m – masa plina u izražena u g

M – molarna masa plina izražena u $g\ mol^{-1}$

R – plinska konstanta ($R = 8,314\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$)

T – temperatura plina izražena u K

Zrak možemo aproksimativno opisati jednačbom stanja idealnog plina u određenim granicama temperature i tlaka. Prosječna molarna masa zraka je $29\ g\ mol^{-1}$.

Pribor:

- cilindar sa zrakom spojen na manometar
- termometar
- barometar
- milimetarski papir
- računalo (programski paket Excel ili Geogebra za račun i crtanje grafova)



Slika1. Pribor za mjerenje promjene tlaka s volumenom

ZADATAK 1.

Provjeriti jednadžbu stanja plina

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) na termometru očitati temperaturu (T)
- b) na barometru očitati atmosferski tlak (p_0)
- c) klip na cilindru staviti na položaj za koji je manometar na nuli, tada je tlak zraka u cilindru (p) jednak atmosferskom tlaku (p_0)
- d) pomicanjem klipa mijenjati volumen (V) zraka u cilindru
- e) na manometru očitavati promjenu tlak u cilindru (Δp)
- f) nacrtati na milimetarskom papiru ili pomoću jednog od programskih paketa graf $p - V$
- g) izračunati produkt pV i usporediti s teorijskim predviđanjem ($pV = konst$)
- h) izračunati srednju vrijednost \overline{pV} , maksimalnu i relativnu pogrešku
- i) izračunati prosječnu gustoću zraka (ρ) u danim uvjetima

Plinska konstanta: $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Prosječna molarna masa zraka: $M = 29 \text{ g mol}^{-1}$

OPTIKA, VALOVI I TITRANJE

20. INDEKS LOMA

Snellov zakon loma svjetlosti glasi:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

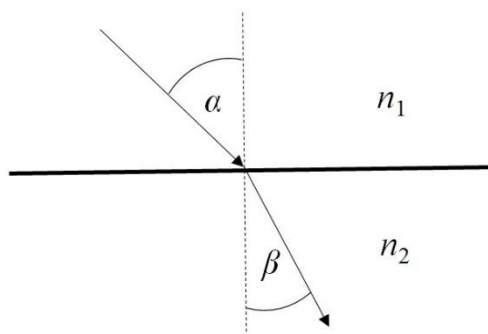
gdje je:

α – kut upada

β – kut loma

n_2 – indeks loma drugog sredstva

n_1 – indeks loma prvog sredstva



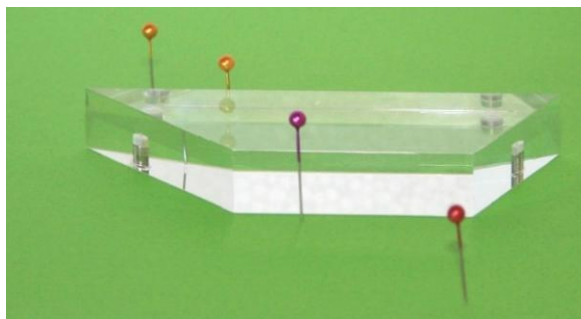
Slika1. Lom svjetlosti na granici medija

Ako je prvo sredstvo zrak tada je $n_1 \cong 1$ i indeks loma je:

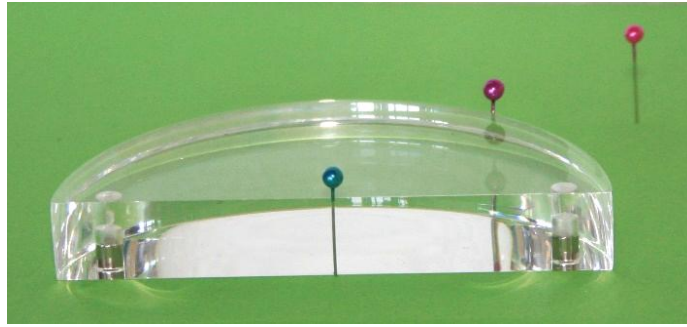
$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

Pribor:

- planparalelna ploča
- polukružna ploča
- pribadače
- ravnalo
- kutomjer
- olovka
- papir



Slika 2. Put zrake svjetlosti kroz planparalelnu ploču

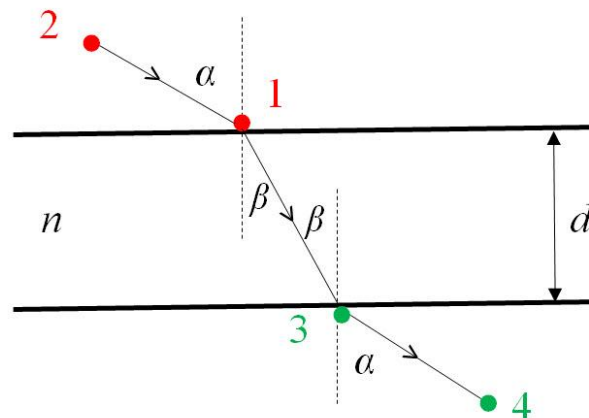


Slika 3. Put zrake svjetlosti kroz polukružnu ploču

ZADATAK 1.

Izmjeriti indeks loma planparalelne ploče

Način izvedbe: individualno



Slika 4. Prolaz zrake svjetlosti kroz planparalelnu ploču

Mjerenje i obrada:

- učvrstiti uglove planparalelne ploče pribadačama da se ne miče
- označiti olovkom paralelne rubove ploče
- postaviti pribadače na proizvoljno odabrane položaje 1 i 2 (Slika 4.)
- gledajući s druge strane ploče (oči su u ravnini stola) naći položaj 3 u kojem se sve tri pribadače preklapaju
- naći položaj 4 u kojem četvrta pribadača zaklanja prve tri
- nacrtati put zrake svjetlosti
- provjeriti da su izlazna i ulazna zraka paralelne

- h) izmjeriti kutomjerom kutove α i β
- i) izračunati indeks loma (n)
- j) ponoviti za nekoliko različitih kutova upada α
- k) izračunati srednju vrijednost indeksa loma (\bar{n}), maksimalnu (Δn) i relativnu pogrešku ($\Delta n / \bar{n}$)

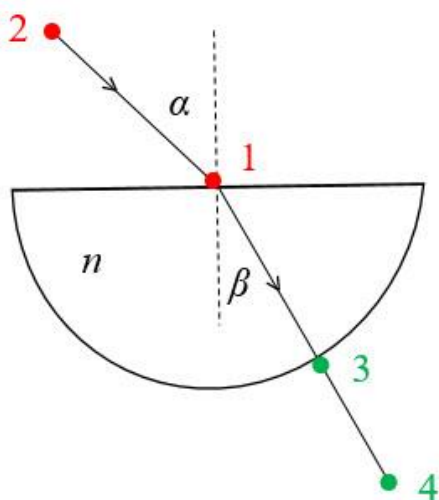
ZADATAK 2.

Izmjeriti indeks loma polukružne ploče

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) pričvrstiti uglove ploče da se ne miče
- b) označiti olovkom rubove polukružne ploče
- c) odrediti centar zakrivljenosti (točka 1, Slika 5) i postaviti pribadaču (položaj 1)
- d) postaviti pribadaču u proizvoljno odabran položaj 2 (Slika 5.)
- e) gledajući s druge strane ploče (oči su u ravnini stola) naći položaj 3 u kojem se sve tri pribadače preklapaju
- f) naći položaj 4 u kojem se sve četiri pribadače preklapaju
- g) nacrtati put zrake svjetlosti
- h) provjeriti da se izlazna zraka ne lomi, tj. da su točke 1, 3 i 4 na pravcu
- i) izmjeriti kutomjerom kutove α i β
- j) izračunati indeks loma (n)
- k) ponoviti za nekoliko različitih kutova upada α
- l) izračunati srednju vrijednost indeksa loma (\bar{n}), maksimalnu (Δn) i relativnu pogrešku ($\Delta n / \bar{n}$)



Slika 5. Prolaz svjetlosti kroz polukružnu ploču

21. LEĆE I OPTIČKI INSTRUMENTI

Jednadžba tanke leće glasi:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Gdje je:

a – udaljenost predmeta od leće

b – udaljenost slike od leće (negativna za virtualnu sliku)

f – žarišna udaljenost (negativna za rastresnu leću)

Povećanje dobiveno lećom dano je omjerom :

$$\Gamma = \frac{y'}{y}$$

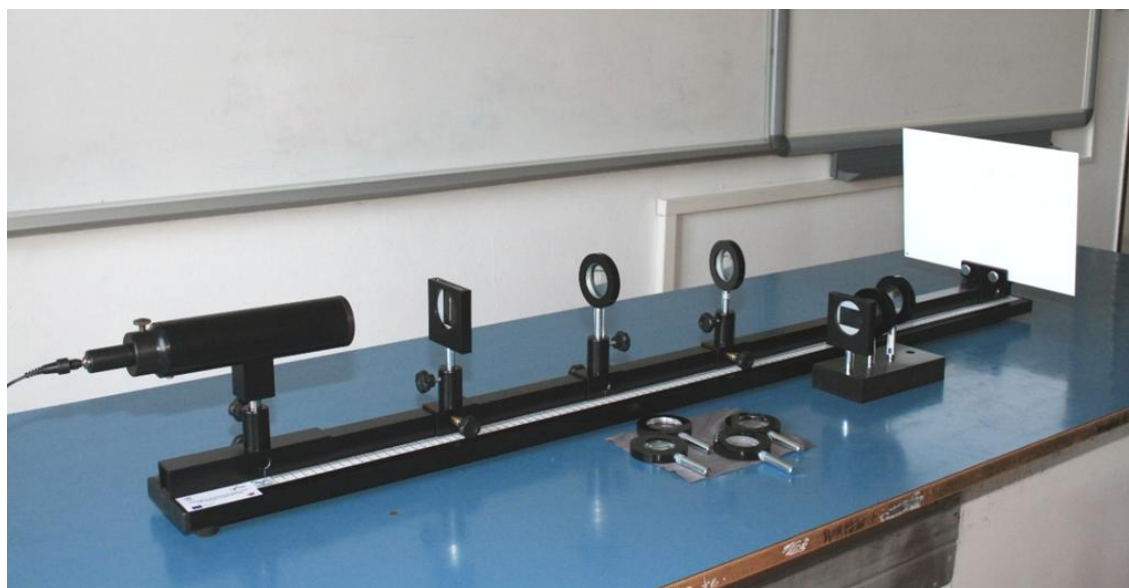
Γ – povećanje

y' - veličina slike

y – veličina predmeta

odnosno omjerom udaljenosti slike i predmeta od leće:

$$\Gamma = \frac{b}{a}$$



Slika 1. Eksperimentalni postav

Pribor:

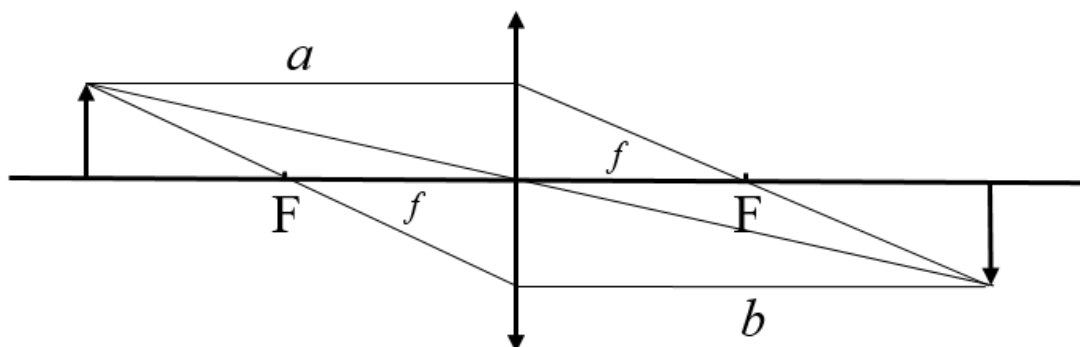
- optička klupa
- izvor svjetlosti (halogena lampa)
- kondenzor (leća pomoću koje dobivamo paralelan snop, npr. $f = 6$ cm)
- leće (npr. $f = 2$ cm, $f = 5$ cm, $f = 10$ cm, $f = -5$ cm, $f = -10$ cm)
- zastor
- različiti predmeti (križ, strelica, dijapozitiv....)
- milimetarski papir

ZADATAK 1.**Odrediti žarišnu daljinu sabirne (konvergentne) leće**

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- postaviti na optičku klupu izvor svjetlosti, kondenzor (provjeriti da li je potreban, tj. doprinosi li oštrom sliki), predmet (npr. strelicu), sabirnu leću i zastor
- za neku udaljenost (a) predmeta od leće naći oštru sliku na zastoru
- izmjeriti udaljenost (b) leće od zastora
- pomoću jednadžbe leće izračunati žarišnu daljinu (f)
- načiniti više mjerenja za različite udaljenosti predmeta od leće
- naći srednju vrijednost žarišne daljine (\bar{f}) te maksimalnu (Δf) i relativnu pogrešku ($\Delta f / \bar{f}$)
- na milimetarskom papiru nacrtati u odgovarajućem omjeru nastajanje slike za jedan izmjereni položaj (a i b) i iz konstrukcije očitati žarišnu daljinu (f)
- usporediti vrijednost dobivenu konstrukcijom slike sa izračunatom vrijednosti



Slika 2. Konstrukcija slike na sabirnoj leći

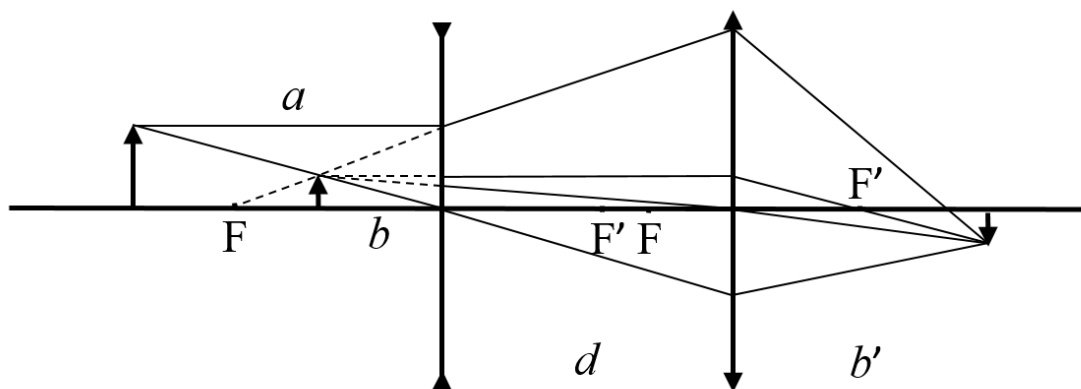
ZADATAK 2.

Odrediti žarišnu daljinu rastresne (divergentne) leće

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- postaviti na optičku klupu izvor svjetlosti, kondenzor, predmet (npr. strelicu), rastresnu leću nepoznate žarišne udaljenosti f , sabirnu leću poznate žarišne udaljenosti f' (npr. $f' = 10$ cm) te zastor
- izmjeriti udaljenost predmeta od rastresne leće (a)
- na udaljenosti d ($a + d > f'$) od rastresne leće postaviti sabirnu leću (f')
- naći oštru sliku na zastoru (slika na prvoj leći je predmet za drugu leću)
- izmjeriti (očitati) udaljenost druge (sabrne) leće od zastora (b')
- pomoću jednadžbe leće izračunati žarišnu daljinu rastresne leće (f)
- načiniti više mjerenja za različite udaljenosti predmeta od leće,
- naći srednju vrijednost žarišne daljine (\bar{f}) te maksimalnu (Δf) i relativnu pogrešku ($\Delta f / \bar{f}$)
- na milimetarskom papiru nacrtati u odgovarajućem omjeru nastajanje slike za jedan izmjereni položaj



Slika 3. Konstrukcija slike

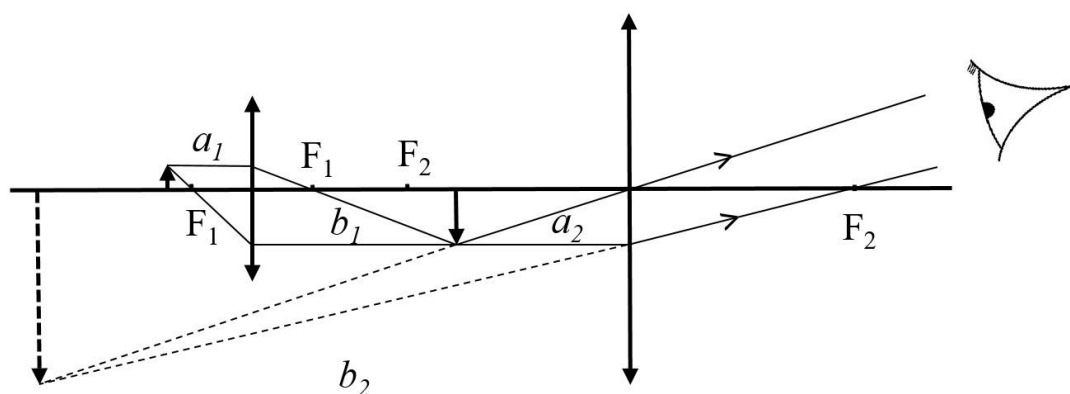
ZADATAK 3.

Složiti mikroskop

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- postaviti na optičku klupu izvor svjetlosti, kondenzor ($f = 6$ cm), sitan predmet, leće ($f_1 = 5$ cm i $f_2 = 10$ cm), zastor
- postaviti prvu leću (objektiv, $f_1 = 5$ cm) što bliže predmetu ($a_1 \geq 5$ cm)
- potražiti na zastoru realnu, oštru sliku i označiti položaj (slika na objektivu je predmet za okular)
- ukloniti zastor
- postaviti drugu leću (okular, $f_2 = 10$ cm) tako da je položaj slike na objektivu unutar žarišne daljine okulara
- izvor svjetlosti zakloniti bijelim papirom
- pogledati kroz sustav leća i pomicanjem okulara naći oštru sliku
- izmjeriti udaljenost objektivu i okulara (d)
- nacrtati na milimetarskom papiru u odgovarajućem omjeru konstrukciju virtualne slike na složenom mikroskopu
- izračunati povećanje mikroskopa



Ukupno povećanje mikroskopa (Γ) dano je umnoškom povećanja objektivu (γ_1) i kutnog povećanja okulara (Γ_2)

$$\Gamma = \gamma_1 \Gamma_2$$

$$\gamma_1 = \frac{b_1}{a_1}$$

$$\frac{1}{a_1} = \frac{b_1 - f_1}{f_1 b_1}$$

$$\gamma_1 = \frac{b_1}{f_1} - 1$$

$$b_1 = d - f_2$$

$$\gamma_1 = \frac{d - f_2}{f_1} - 1$$

$$\Gamma_2 = \frac{25 \text{ cm}}{f_2}$$

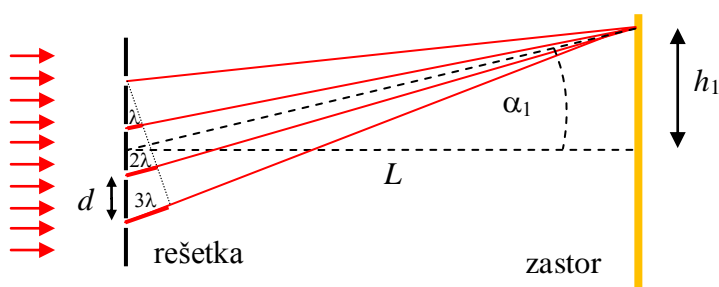
$$\Gamma = \left(\frac{d - f_2}{f_1} - 1 \right) \frac{25 \text{ cm}}{f_2}$$

22. OPTIČKA REŠETKA

Optičku rešetku čini niz pukotina sa jednakim razmakom d , kojeg nazivamo konstantom rešetke. Prilikom dolaska svjetla na optičku rešetku dolazi do ogiba (difrakcije) na svakoj od pukotina. Time se svaka pukotina ponaša kao zaseban izvor svjetlosti, a svjetlost iz pukotina će interferirati ovisno o putu kojeg prolazi. Shematski prikaz dan je na slici 1.

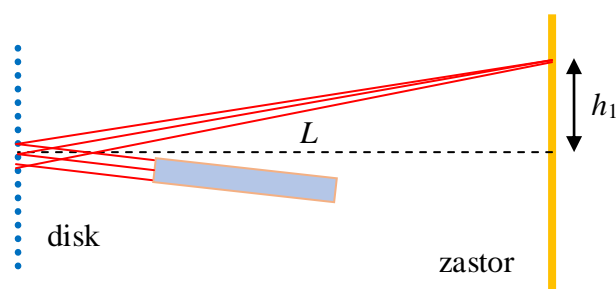
Ako se duljine putova koje prolazi svjetlost od pukotina do zastora razlikuju za cijeli broj valnih duljina $k\lambda$, doći će do pozitivne interferencije i na zastoru ćemo opaziti ogibni maksimum k -tog reda. Jednadžba optičke rešetke povezuje konstantu rešetke d , valnu duljinu svjetlosti λ i kut α_k pod kojim će se opaziti maksimum k -tog reda:

$$d \sin \alpha_k = k\lambda$$



Slika 1. Shematski prikaz difrakcije na rešetki.

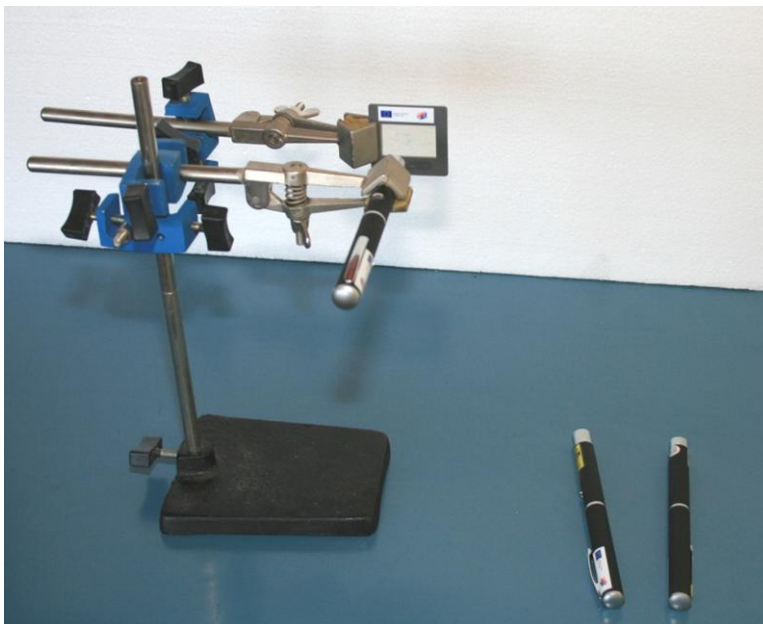
Optički diskovi CD ili DVD sadrže tanki optički film na kojem su laserski urezani zarezi, stoga i optički disk može poslužiti kao optička rešetka. Da bi se odredila njena konstanta laser se postavi tako da se njegov snop reflektira od diska na zastor, na kojem se dobiva difrakcijska slika, kao na slici 2.



Slika 2. Shematski prikaz difrakcije na optičkom disku.

Pribor:

- 3 lasera raznih valnih duljina
- zastor
- optičke rešetke
- stalak sa štipaljka
- CD, DVD



Slika 3. Pribor i postav za izvođenje vježbe.

ZADATAK 1.**Odrediti valnu duljinu svjetlosti lasera pomoću optičke rešetke****Mjerenje i obrada:**

- Postaviti laser i rešetku poznate konstante (d) kao na slici 3 te izmjeriti udaljenost optičke rešetke od zastora (L).
- Na zastoru ili zidu uočiti centralnu točku i dva prva maksimuma lijevo i desno. Izmjeriti udaljenost između 2 prva maksimuma ($2h_1$) i pomoću poznate konstante rešetke d , odrediti valnu duljinu svjetlosti (λ).
- Ako su vidljivi 2. i 3. maksimumi izmeriti udaljenosti među njima ($2h_2$ i $2h_3$), odrediti valnu duljinu svjetlosti (λ), srednju vrijednost valne duljine $\bar{\lambda}$ i maksimalno odstupanje od srednje vrijednosti $\Delta\lambda$.
- Ponoviti mjerenja b) i c) za još dva lasera drugačijih valnih duljina.
- Odrediti relativna odstupanja izmjerenih valnih duljina (λ) od vrijednosti navedenih na laserima (λ_0).

ZADATAK 2.

Odrediti konstantu optičke rešetke pomoću lasera

Mjerenje i obrada:

- Postaviti laser i rešetku nepoznate konstante (d) kao na slici 3 te izmjeriti udaljenost optičke rešetke od zastora (L).
- Na zastoru ili zidu uočiti centralnu točku i dva prva maksimuma lijevo i desno. Izmjeriti udaljenost između 2 prva maksimuma ($2h_1$) i pomoću poznate valne duljine lasera (λ_0) odredi konstantu rešetke (d).
- Ponoviti mjerenje b) sa još dva lasera drugačijih valnih duljina, izračunati srednju konstantu rešetke (\bar{d}), maksimalnu (Δd) i relativnu ($\Delta d / \bar{d}$) pogrešku.

ZADATAK 3.

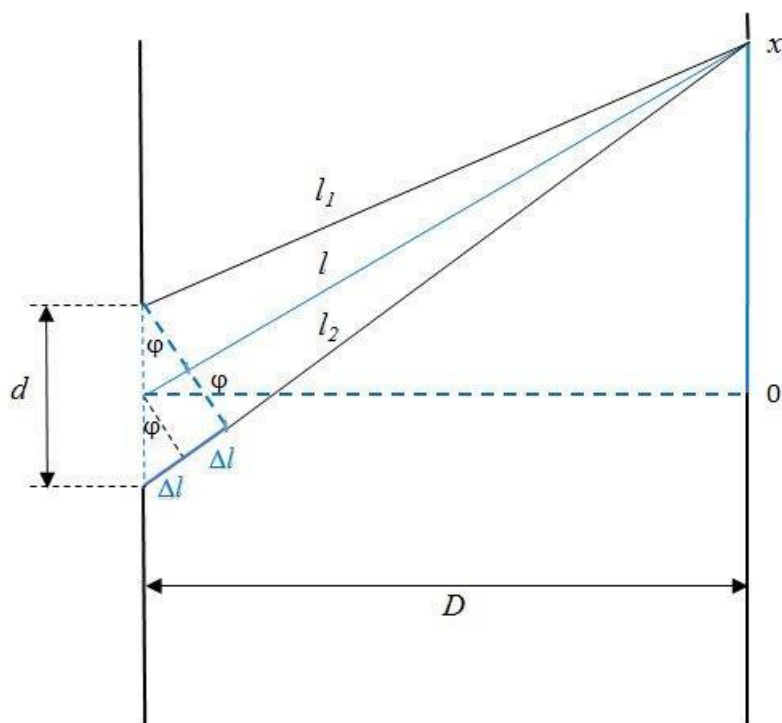
Odrediti udaljenost zareza na CDu i DVDu

Mjerenje i obrada:

- Postaviti laser i CD kao na slici 2 te izmjeriti udaljenost CD-a od zastora (L).
- Na zastoru ili zidu uočiti centralnu točku i dva prva maksimuma lijevo i desno. Izmjeriti udaljenost između 2 prva maksimuma ($2h_1$) i pomoću poznate valne duljine lasera (λ_0) odredi konstantu rešetke (d).
- Ponoviti mjerenje b) sa još dva lasera drugačijih valnih duljina, izračunati srednju konstantu rešetke (\bar{d}), maksimalnu (Δd) i relativnu ($\Delta d / \bar{d}$) pogrešku.
- Ponoviti mjerenja b) i c) sa DVD-om.

23. OGIB SVJETLOSTI NA PUKOTINI

Nakon prolaska kroz pukotinu svjetlost se širi kao da je svaka točka pukotine izvor novog sfernog vala (Huygensov princip).



Slika1. Ogib svjetlosti na pukotini

d – širina pukotine

D – udaljenost zastora od pukotine ($D \gg d$)

x – koordinata točke na zastoru, mjereno od centralnog maksimuma

l_1 – udaljenost gornjeg ruba pukotine od točke na zastoru

l_2 – udaljenost donjeg ruba pukotine od točke na zastoru

l – udaljenost središta pukotine od točke na zastoru

$\Delta l (= l_2 - l = l - l_1)$ – razlika u putu (razlika hoda) koji su do točke na zastoru prošle zrake s kraja i sredine pukotine

Na udaljenom zastoru ($D \gg d$) vide se svijetle i tamne pruge: centralni maksimum (svjetla pruga) i simetrično s lijeve i desne strane upola uži sporedni maksimumi. Rezultat interferencije (zbrajanja) svih valova koju stižu do neke točke na zastoru ovisi o razlici hoda (Δl) zraka s krajeva i sredine pukotine. Naime, svaka točka pukotine na gornjoj polovici ima točku na donjoj polovici koja se od nje razlikuje u hodu (optičkom putu) do točke x za Δl . Znači da ćemo u točki s koordinatom x dobiti minimum ako je Δl jednak

polovini valne duljine (tada se u točki x poklapaju brijeg jednog vala i dol drugog vala). To znači da će se zrake iz krajnjih točaka (l_1 i l_2) razlikovati u hodu za cijelu valnu duljinu.

Za tamne pruge

$$2\Delta l = l_2 - l_1$$

$$2\Delta l = n\lambda \quad ; n = 1, 2, \dots$$

λ – valna duljina svjetlosti

Iz slike se vidi da je

$$\Delta l = \frac{d}{2} \sin \varphi$$

$$\sin \varphi = \frac{x}{l} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + D^2}} \cong \frac{x}{D}$$

$$\Delta l = \frac{d}{2} \frac{x}{D}$$

$$x = 2 \Delta l \frac{D}{d}$$

Za n-ti minimum:

$$x_n^{min} = n\lambda \frac{D}{d} \quad ; n = 1, 2, \dots$$

Iz ogibne slike najlakše je očitati udaljenost dva susjedna minimuma:

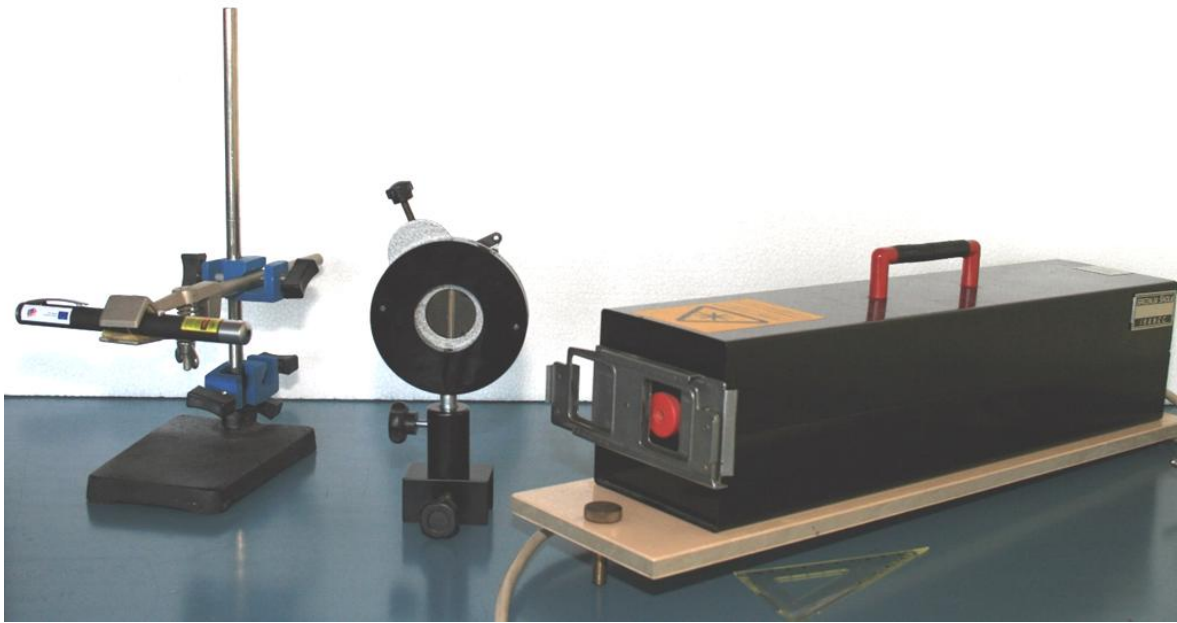
$$x_{n+1}^{min} - x_n^{min} = \lambda \frac{D}{d}$$

Ili udaljenost dva minimuma simetričan u odnosu na centralni maksimum

$$(x_n^{min})_{lijevo} + (x_n^{min})_{desno} = 2 x_n^{min} = 2n\lambda \frac{D}{d}$$

Pribor:

- izvor monokromatske svjetlosti (laser)
- pukotina
- zastor
- milimetarski papir
- metar



Slika 2. Pribor za ogib svjetlosti na pukotini

ZADATAK 1.

Odrediti širinu pukotine mjereći položaje ogibnih minimuma

Način izvedbe: individualno

Mjerenje i obrada:

- postaviti izvor svjetlosti (laser valne duljine λ), pukotinu i zastor tako da im se optičke osi podudaraju i da je zastor udaljen od pukotine $D \approx 2$ m
- izmjeriti međusobnu udaljenost dva susjedna minimuma ($x_{n+1}^{min} - x_n^{min}$)
- izračunati širinu pukotine (d)
- ponoviti za nekoliko susjednih minimuma
- izračunati srednju vrijednost širine pukotine (\bar{d}), maksimalnu (Δd) i relativnu ($\Delta d / \bar{d}$) pogrešku

Ili:

- mjeriti međusobnu udaljenost simetrično postavljenih minimuma ($(x_n^{min})_{lijevo} + (x_n^{min})_{desno}$)
- za svaki n izračunati širinu pukotine (d)
- izračunati srednju vrijednost širine pukotine (\bar{d}), maksimalnu (Δd) i relativnu ($\Delta d / \bar{d}$) pogrešku

ZADATAK 2.

Odrediti valnu duljinu lasera mjereći položaje ogibnih minimuma

Način izvedbe: individualno

Mjerenje i obrada:

- postaviti izvor svjetlosti nepoznate valne duljine (λ), pukotinu poznate širine (d) i zastor
- izmjeriti međusobnu udaljenost dva susjedna minimuma ($x_{n+1}^{min} - x_n^{min}$) ili dva simetrična minimuma $(x_n^{min})_{lijevo} + (x_n^{min})_{desno}$
- ponoviti za nekoliko n
- izračunati valnu duljinu lasera (λ)
- ponoviti za nekoliko lasera
- izračunati srednju vrijednost valne duljine ($\bar{\lambda}$), maksimalnu ($\Delta\lambda$) i relativnu ($\Delta\lambda/\bar{\lambda}$) pogrešku

24. ELASTIČNA OPRUGA

Prema Hookovom zakonu produljenje elastične opruge (Δd) proporcionalno je težini obješenog tijela (F):

$$\vec{F} = m\vec{g}$$

$$F = k\Delta d$$

Konstanta proporcionalnosti k naziva se *konstanta opruge*.
Period titranja opruge (T) na koju je obješen uteg mase m je:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Pribor:

- opruge
- utezi
- vaga
- metar
- zaporna ura
- računalo (Excel ili Geogebra za račun i crtanje grafova)



Slika 1. Eksperimentalni postav

ZADATAK 1.

Odrediti konstantu opruge (statičko mjerenje)

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- mjeriti produljenje opruge (Δd) ovisno o obješenoj masi (m), tj. težini utega ($F = mg$)
- ukoliko nije poznata, masu utega izmjeriti na digitalnoj vagi ili pomoću dinamometra odrediti njegovu težinu
- grafički prikazati vezu težine utega i produljenja opruge (graf $F - \Delta d$)
- pomoću Excela ili Geogebre izračunati pravac najbliži dobivenim točkama na grafu (koeficijent smjera pravca je konstanta opruge (k))
ili
- za svako produljenje (Δd) izračunati konstantu opruge (k), naći srednju vrijednost (\bar{k}), maksimalnu (Δk) i relativnu pogrešku (R_k)

ZADATAK 2.

Odrediti konstantu opruge (dinamičko mjerenje)

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- pomaknuti oprugu s utegom poznate mase (m) iz položaja ravnoteže i mjeriti vrijeme nekoliko titraja (t). Paziti da se titranje odvija po okomitom pravcu.
- izračunati period (T), npr. mjeriti vrijeme 5 titraja pa podijeliti sa 5 da se dobije period
- nacrtati graf $T^2 - m$ (na računalu uz pomoć Excela ili Geogebre)

Izračunati konstantu opruge na jedan od sljedećih načina:

- uz pomoć Excela ili Geogebre naći jednadžbu pravca najbližeg točkama na gornjem grafu
- iz vrijednosti koeficijenta smjera tako dobivenog pravca izračunati konstantu opruge ($a = (4\pi^2)/k$)

ili

- za titranje svake mase posebno izračunati konstantu opruge (k)
- izračunati srednju vrijednost (\bar{k}), maksimalnu (Δk) i relativnu pogrešku ($\Delta k/\bar{k}$)

25. MATEMATIČKO NJIHALO

Period titranja matematičkog njihala za proizvoljni kut otklona od položaja ravnoteže dan je izrazom:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} + \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{l}{g}} \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

a period titranja za male kutove otklona je:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

T – period titranja

l – duljina niti

α – kut otklona

g – akceleracija sile teže

Pribor:

- matematičko njihalo
- zaporna ura
- metar
- kutomjer



Slika 1. Eksperimentalni postav

ZADATAK 1.

Naći ovisnost kvadrata perioda titranja o duljini niti

(provjera izraza za period titranja matematičkog njihala za male kutove odklona)

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- izmjeriti duljinu niti matematičkog njihala (l)
- mjeriti vrijeme (t) trajanja više titraja (N) za male kutove odklona
- izračunati period ($T = t/N$) i T^2
- ponoviti za više različitih duljina njihala i isti broj titraja
- nacrtati graf T^2-l i pomoću Excela ili Geogebre naći odgovarajući pravac kroz točke grafa (očekujemo da je koeficijent smjera $4\pi^2/g$, a odrezak na osi y blizu 0)
- iz dobivenog koeficijenta smjera izračunati g

ZADATAK 2.

Odrediti akceleraciju sile teže

Način izvođenja: individualno, na jedan od sljedeća tri načina

Mjerenje i obrada (prvi način):

- izmjeriti duljinu niti matematičkog njihala (l)
- mjeriti vrijeme (t) više titraja (N) za male kutove odklona
- izračunati period (T)
- izračunati akceleraciju sile teže (g)
- ponoviti nekoliko puta za različiti broj titraja (N)
- izračunati srednju vrijednost akceleracije (\bar{g}), maksimalnu (Δg) i relativnu pogrešku ($\Delta g / \bar{g}$)

Mjerenje i obrada (drugi način):

- izmjeriti duljinu niti matematičkog njihala (l)
- mjeriti vrijeme (t) više titraja (N) za male kutove odklona
- izračunati period ($T = t/N$)
- ponoviti nekoliko puta za istu duljinu njihala i isti broj titraja
- izračunati srednju vrijednost perioda (\bar{T}), maksimalnu pogrešku (ΔT) i relativnu pogrešku ($\Delta T / \bar{T}$)
- izračunati srednju vrijednost perioda (\bar{T}), maksimalnu pogrešku (ΔT) i relativnu pogrešku ($\Delta T / \bar{T}$)
- izračunati akceleraciju sile teže (g)

Mjerenje i obrada (treći način):

- a) izmjeriti duljinu niti matematičkog njihala (l)
- b) mjeriti vrijeme t više titraja (N) za male kutove odklona
- c) izračunati period ($T = t/N$)
- d) izračunati akceleraciju sile teže (g)
- e) ponoviti za nekoliko različitih duljina njihala (l) i isti broj titraja
- f) izračunati srednju vrijednost akceleracije (\bar{g}), maksimalnu pogrešku (Δg) i relativnu pogrešku ($\Delta g / \bar{g}$)

ZADATAK 3.

Naći ovisnost perioda titranja o kutu odklona

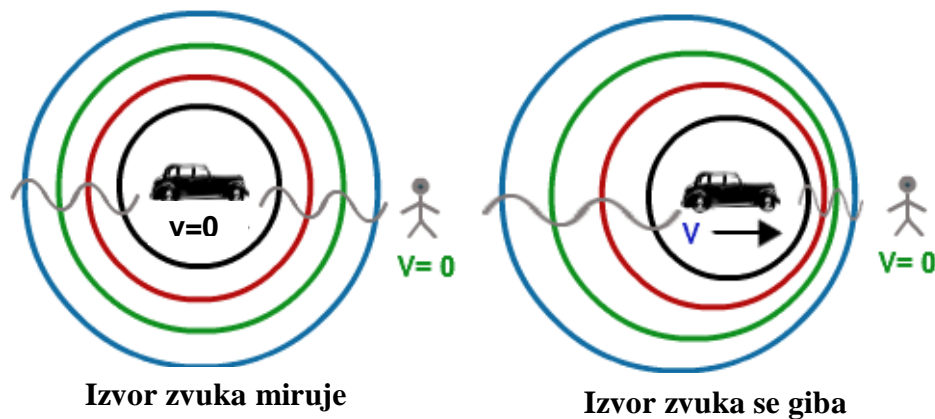
Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) izmjeriti duljinu niti matematičkog njihala (l)
- b) pomoću kutomjera izmjeriti kut odklona (α)
- c) mjeriti vrijeme (t) više titraja (N)
- d) izračunati period titranja ($T = t/N$)
- e) ponoviti za više različitih kutova odklona
- f) nacrtati graf $T - \sin^2(\alpha/2)$ koristeći Excel ili Geogebra
- g) naći pravac kroz dobivene točke

26. DOPPLEROV EFEKT

Dopplerov efekt je promjena frekvencije vala koja nastaje zbog gibanja izvora vala u odnosu na opažača. Primjer Dopplerovog efekta kod zvučnih valova je zvuk sirene (policija, vatrogasci, hitna pomoć) koje se kreće u odnosu na slušatelja.



Slika 1. Slikoviti prikaz Dopplerovog efekta. Lijevo: izvor zvuka miruje u odnosu na opažača. Desno: izvor zvuka se giba u odnosu na opažača.

Ako se izvor zvuka približava prema slušatelju koji miruje, čujemo zvučne valove više frekvencije nego kada izvor zvuka miruje. Ova promjena frekvencije opisana je formulom:

$$f_s = f_i \frac{v}{v - v_i}$$

gdje je f_s frekvencija zvuka koju čuje slušatelj, f_i frekvencija izvora, v brzina zvuka, a v_i brzina izvora.

Ako se izvor zvuka udaljava od slušatelja koji miruje, čujemo zvučne valove niže frekvencije nego kada izvor zvuka miruje, što je opisano je formulom:

$$f_s = f_i \frac{v}{v + v_i}$$

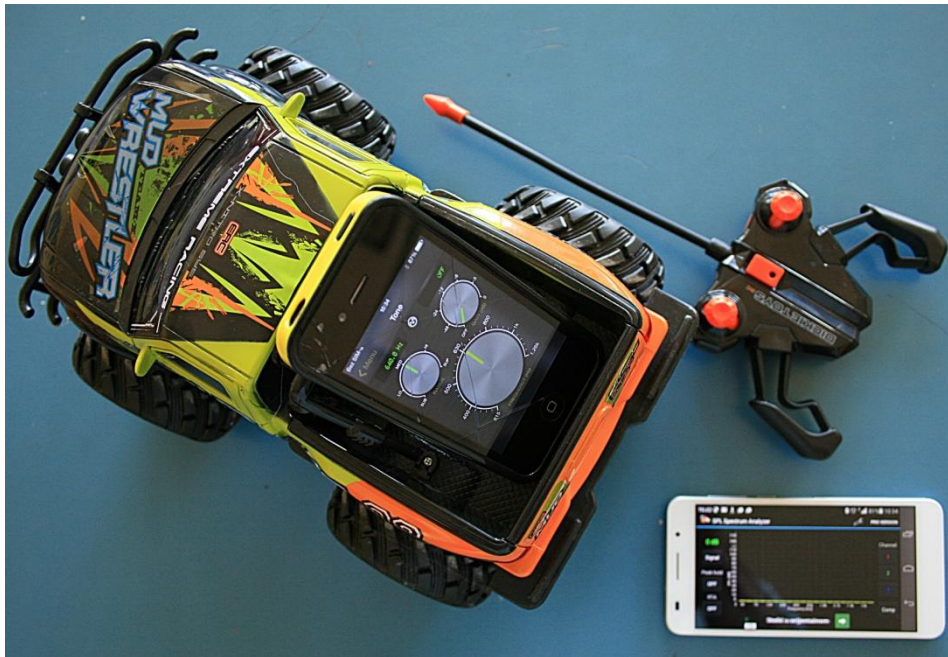
Za određivanje promjene frekvencije potrebno je znati brzinu zvuka. Empirijski je poznato da brzina širenja zvuka u zraku ovisi o temperaturi prema sljedećoj formuli:

$$v = 331 + 0.6t \text{ [m/s]}$$

gdje je temperatura (t) u stupnjevima Celzija.

Pribor:

- Auto na daljinsko upravljanje
- Mobitel 1 (aplikacija Signal Generator ili ekvivalentna za stvaranje signala u frekventnom području 100 Hz – 20 kHz)
- Mobitel 2 (preporučena aplikacija SPLSpectrum Analyzer)



Slika 2. Pribor za izvođenje vježbe.

ZADATAK 1.

Odrediti frekvenciju zvuka izvora u mirovanju

Način izvođenja: u paru

Mjerenje i obrada:

- Na mobitelu 1 pokrenite aplikaciju za generiranje zvuka na mobitelu te podesite na (sinusni) signal frekvencije u području 12-20 kHz i najveće glasnoće.
- Na mobitelu 2 pokrenite aplikaciju SPL Spectrum Analyzer. Program je prvo potrebno kalibrirati kako bi se povećala osjetljivost na zvuk signala, a smanjila osjetljivost na buku i šumove. U tu svrhu odaberite izbornik za postavke, zatim opciju *Calibration*. U ovom izborniku odaberite frekventno područje najbliže frekvenciji izvora i za to područje povećajte osjetljivost za +20 db. Za SVA ostala frekventna područja smanjite osjetljivost za -20 db.
- Na mobitelu 2 odaberite RTA (Real Time Analysis) te očitajte frekvenciju izvora zvuka (mobitela 1) u mirovanju ($f_{s,m}$).

ZADATAK 2.

Odrediti frekvenciju zvuka izvora u gibanju

Način izvođenja: u paru

Mjerenje i obrada:

- Zadržati sve postavke iz zadatka 1. Pričvrstiti izvor zvuka (mobitel 1) na auto na daljinsko upravljanje. Udaljiti auto otprilike 10 m od opažača, a zatim ga voziti izravno prema opažaču jednolikom brzinom. Opažać pri tome očitava frekvenciju zvuka na mobitelu 2 ($f_{s,in}$) nakon što auto dostigne jednoliku brzinu. Mjerenje ponoviti 5 puta, odrediti srednju frekvenciju te maksimalnu i relativnu pogrešku.
- Voziti auto tako da se udaljuje od opažača jednolikom brzinom. Opažać pri tome očitava frekvenciju zvuka na mobitelu 2 ($f_{s,out}$) nakon što auto dostigne jednoliku brzinu. Mjerenje ponoviti 5 puta, odrediti srednju frekvenciju te maksimalnu i relativnu pogrešku.

ZADATAK 3.

Odrediti brzinu izvora zvuka u gibanju

Mjerenje i obrada:

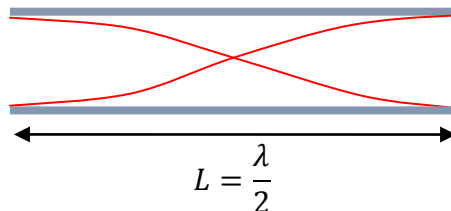
- Izmjerite temperaturu zraka u prostoriji i odredite brzinu zvuka (v).
- Pomoću podataka izmjerenih u zadacima 1 i 2 odredite brzinu automobila kada se približava (v_{in}) i udaljava (v_{out}).
- Odredite srednju brzinu auta ($\overline{v_a}$) kao srednju vrijednost v_{in} i v_{out} te odstupanje od srednje vrijednosti (Δv_a).

27. REZONANCIJA

Rezonancija je pojava koja se može javiti kada vanjska pobuda tjera sustav da prisilno titra. Obzirom da svaki sustav ima svoju vlastitu frekvenciju titranja, odgovor sustava na vanjsku pobudu, tj. njegov intenzitet, bit će to veći što je frekvencija vanjske pobude bliža vlastitoj frekvenciji sustava. Kada je frekvencija vanjske pobude točno jednaka vlastitoj frekvenciji sustava, intenzitet njegovog titranja je maksimalan, a tu pojavu zovemo rezonancijom.

Pojavu rezonancije možemo promatrati ako pobuđujemo, npr. pomoću zvučnika, stupac zraka u šupljoj cijevi. Tada šuplja cijev može poslužiti kao rezonantna kutija za stupac zraka koji u njoj titra. Razlikujemo dva slučaja: cijev s dva otvorena kraja te cijev s jednim otvorenim i jednim zatvorenim krajem.

- 1) Titranje stupca zraka u cijevi s dva otvorena kraja možemo prikazati kao:



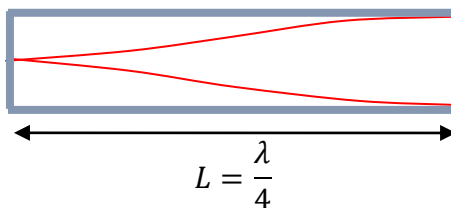
Do rezonancije dolazi kada duljina cijevi odgovara polovici valne duljine zvučnog vala.

Stupac zraka pojačano odgovara na pobudu i za kraće valne duljine za koje je zadovoljen uvjet:

$$L = n \frac{\lambda}{2}, \quad (n > 1)$$

tj. za one kod kojih se oba maksimuma vala podudaraju s rubovima cijevi. Ove frekvencije odnosno valne duljine nazivaju se višim harmonicima.

- 2) Titranje stupca zraka u cijevi s jednim otvorenim i jednim zatvorenim krajem prikazujemo kao:



Do rezonancije dolazi kada duljina cijevi odgovara četvrtini valne duljine zvučnog vala.

Stupac zraka pojačano odgovara na pobudu i za kraće valne duljine (više harmonike) za koje je zadovoljen uvjet:

$$L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4}, \quad (n > 1)$$

tj. za one kod kojih se minimum vala podudara s zatvorenim, a maksimum s otvorenim krajem.

Brzina širenja zvučnog vala (v_z) povezuje njegovu frekvenciju (f) i valnu duljinu (λ):

$$v_z = \lambda f$$

Empirijski je poznato da brzina širenja zvuka u zraku ovisi o temperaturi ($t / ^\circ C$) kao:

$$v_z = 331 + 0.6t \quad [m/s]$$

Pribor:

- šuplja cijev s otvorenim krajevima
- šuplja cijev s jednim zatvorenim krajem
- mobitel (aplikacija Signal Generator)
- zvučnik
- sobni termometar
- metar traka

ZADATAK 1.

Odrediti rezonantnu frekvenciju cijevi s otvorenim krajevima

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) Na mobitelu pokrenuti aplikaciju Signal Generator (ili ekvivalentnu koja može generirati zvuk frekvencije 40 – 2000 Hz). Mobitel spojiti na zvučnik, a zvučnik prisloniti na jedan kraj cijevi s otvorenim krajevima.
- b) Mijenjati frekvenciju zvuka u području 40 Hz – 2000 Hz i zabilježiti svaku frekvenciju pri kojoj se čuje maksimum intenziteta.
- c) Nacrtati $f_n - n$ graf, gdje je $n=1,2,3\dots$ redni broj opaženog maksimuma, a f_n pripadajuća frekvencija.
- d) Odrediti omjere $\frac{f_n}{n}$ za svaki n i nacrtajte $\frac{f_n}{n} - n$ graf.
- e) Odrediti rezonantnu frekvenciju (f_r) kao srednju vrijednost svih omjera $\frac{f_n}{n}$ te pripadnu maksimalnu i relativnu pogrešku.
- f) Usporediti određenu rezonantnu frekvenciju sa teorijski izračunatom vrijednošću.

ZADATAK 2.

Odrediti rezonantnu frekvenciju cijevi s jednim zatvorenim krajem

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- Na mobitelu pokrenuti aplikaciju Signal Generator (ili ekvivalentnu koja može generirati zvuk frekvencije 40 – 2000 Hz). Mobitel spojiti na zvučnik, a zvučnik prisloniti na otvoreni kraj cijevi.
- Mijenjati frekvenciju zvuka u području 40 Hz – 2000 Hz i zabilježite svaki puta frekvenciju pri kojoj čujete maksimum intenziteta.
- Nacrtajte $f_n - n$ graf, gdje je $n=1,2,3\dots$ redni broj opaženog maksimuma, a f_n pripadajuća frekvencija.
- Odredite omjere $\frac{f_n}{2n-1}$ za svaki n i nacrtajte $\frac{f_n}{2n-1} - n$ graf.
- Odredite rezonantnu frekvenciju kao srednju vrijednost svih omjera $\frac{f_n}{2n-1}$ te pripadnu maksimalnu i relativnu pogrešku.
- Usporedite određenu rezonantnu frekvenciju sa teorijski izračunatom vrijednošću.

ZADATAK 3.

Odrediti nepoznatu frekvenciju zvuka

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- Umetnuti zatvoreni kraj unutarne, manje cijevi u veću cijev s dva otvorena kraja. Pri tome paziti da unutarnja cijev svojim zatvorenim krajem zatvara stupac zraka u vanjskoj cijevi.
- Na otvoreni kraj vanjske cijevi prisloniti zvučnik povezan s mobitelom. Nastavnik zadaje ton nepoznate frekvencije (f_1).
- Unutarnju cijev gurnuti do kraja i zatim je polako pomicati prema van te svaki puta kada se čuje maksimum intenziteta izmjeriti duljinu šupljeg dijela vanjske cijevi (L_n).
- Nacrtati $L_n - n$ graf, gdje je $n=1,2,3\dots$ redni broj opaženog maksimuma.
- Maksimum će se pojaviti svaki puta kada je $L_n = (2n - 1) \frac{\lambda}{4}$. Odrediti valnu duljinu $\lambda = \frac{4L_n}{2n-1}$ i pripadnu frekvenciju $f = \frac{v_z}{\lambda}$ za svaki n .
- Odrediti srednju vrijednost nepoznate frekvencije f te njenu maksimalnu i relativnu pogrešku.

28. BREWSTEROV ZAKON

Svjetlost se može opisati kao elektromagnetski val, u kojem električno i magnetsko polje titraju okomito na smjer širenja, stoga kažemo da je pojedina svjetlosna zraka transverzalno polarizirana.

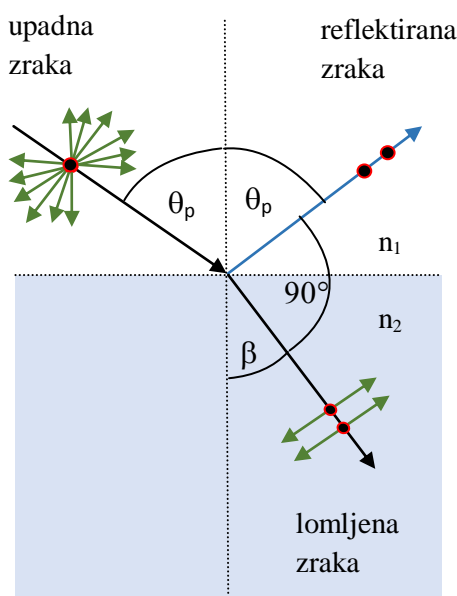
Svjetlost emitirana iz izvora poput žarulje sastoji se od mnoštva zraka čije su polarizacije nasumično usmjerene unutar zamišljene kružnice okomite na smjer širenja snopa. Rezultat je da svjetlost koja dolazi do promatrača djeluje nepolarizirano.

Kada nepolarizirana svjetlost upada na granicu dva optička sredstva (1 i 2), dio se lomi a dio se reflektira, kao što je prikazano na Slici 1. Kada lomljena i reflektirana zraka zatvaraju kut od 90° stupnjeva, tada je reflektirana zraka potpuno polarizirana u smjeru paralelnom s dodirnom površinom sredstava 1 i 2, kao što je prikazano na slici. U tom slučaju vrijedi:

$$\operatorname{tg} \theta_p = n_2/n_1$$

što je izraz poznat kao *Brewsterov zakon*. Pri tome su n_1 i n_2 indeksi loma sredstava 1 i 2. U slučaju da je sredstvo 1 zrak, tada je $n_1=1$ pa se Brewsterov zakon pojednostavljuje:

$$\operatorname{tg} \theta_p = n_2$$



Slika 1. Shematski prikaz loma svjetlosti na granici dvaju sredstava.

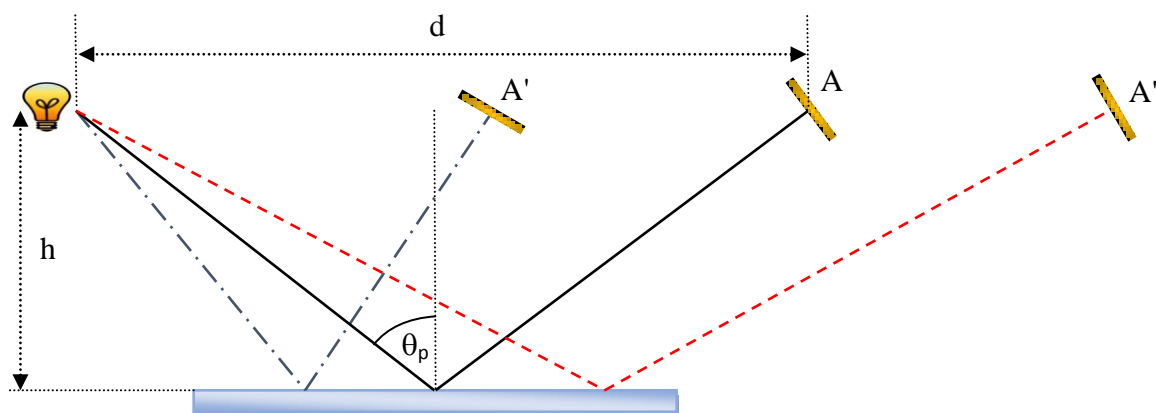
Pribor:

- halogena žaruljica
- izvor istosmjernog napona
- analizator
- stalci sa štipaljka
- staklo, pleksiglas
- plitka posuda s vodom
- metar traka



Slika 2. Pribor za izvođenje vježbe.

Eksperimentalni postav prikazan je na slici 3 i sastoji se od žaruljice priključene na napajanje, analizatora, optičkog medija kojeg ispitujemo i potrebnih stalaka. Analizator je optičko sredstvo koje propušta svjetlost polariziranu u jednom određenom smjeru, dok svjetlost čija je polarizacija zakrenuta u odnosu na taj smjer propušta smanjenim intenzitetom. U slučaju da je upadna polarizacija zakrenuta za točno 90° u odnosu na smjer propusnosti analizatora, svjetlost će biti u potpunosti zaustavljena u njemu.



Slika 3. Shema eksperimentalnog postava.

ZADATAK 1.

Izmjeriti kut polarizacije svjetla za staklo, vodu i pleksiglas

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) Složiti eksperimentalni postav prema shemi.
 - spojiti žaruljicu na napajanje. Odabrati relativno slabi napon pri kojem žaruljica ne blješti, već se samo nazire žarna nit.
 - postaviti žaruljicu na visinu $h=25$ cm.
 - postaviti analizator tako da je njegova sredina na visini h .
 - na stol postaviti staklo, a ispod stakla staviti tamni papir radi bolje vidljivosti reflektirane svjetlosti
- b) Stalak s analizatorom približiti izvoru (položaj A') tako da se slika žaruljice vidi na dijelu stakla najbližem izvoru. Zakretati analizator oko osi reflektirane zrake, dok intenzitet svjetlosti ne bude minimalan.
- c) Pomicati analizator iz položaja A' prema položaju A'' , dok se ne nađe položaj A , na kojem svjetlost žaruljice nestaje. Pri pomicanju paziti da je os analizatora paralelna s reflektiranom zrakom i po potrebi zakretati analizator oko osi, dok svjetlost žaruljice ne nestane.
- d) Odrediti kut polarizacije pomoću udaljenosti d i visine h . Ponovi mjerenje za još 4 različite visine $h=25, 20, 30$ i 35 cm.
- e) Odrediti srednji kut polarizacije i maksimalno odstupanje od srednje vrijednosti.
- f) Ponoviti korake a)-e) zamijenivši staklo tankim slojem vode u posudi ili pleksiglasom.

ZADATAK 2.

Odrediti indeks loma optičkog medija pomoću Brewsterovog zakona

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- a) Pomoću Brewsterovog zakon odredi indeks loma *stakla* za 5 različitih visina h iz zadatka 1. Odredi srednju vrijednost indeksa loma, maksimalno i relativno odstupanje od srednje vrijednost.
- b) Pomoću Brewsterovog zakon odredi indeks loma *vode* za 5 različitih visina h iz zadatka 1. Odredi srednju vrijednost indeksa loma i maksimalno i relativno odstupanje od srednje vrijednosti.
- c) Pomoću Brewsterovog zakon odredi indeks loma *pleksiglasa* za 5 različitih visina h iz zadatka 1. Odredi srednju vrijednost indeksa loma i maksimalno i relativno odstupanje od srednje vrijednosti.
- d) Usporedi dobivene vrijednosti za indekse loma s vrijednostima poznatima iz literature.

ZADATAK 3.

Odrediti brzinu svjetlosti u optičkom mediju indeksa loma

Način izvođenja: individualno

Indeks loma povezuje brzinu svjetlosti u optičkom mediju i brzinu svjetlosti u vakuumu pomoću relacije:

$$n = \frac{c}{v}$$

gdje je c brzina svjetlosti u vakuumu, a v brzina u danom optičkom mediju.

Mjerenje i obrada:

- Iz podataka dobivenih u zadatku 2 odredi brzinu svjetlosti u *staklu* za svaku visinu h te srednju vrijednost i maksimalno odstupanje od srednje vrijednosti.
- Iz podataka dobivenih u zadatku 2 odredi brzinu svjetlosti u *vodi* za svaku visinu h te srednju vrijednost i maksimalno odstupanje od srednje vrijednosti.
- Iz podataka dobivenih u zadatku 2 odredi brzinu svjetlosti u *pleksiglasu* za svaku visinu h te srednju vrijednost i maksimalno odstupanje od srednje vrijednosti.

MODERNA FIZIKA

29. FOTOMETRIJA

Fotonaponski (fotovoltaički) efekt je pojava pobuđenja elektrona u vodiču pod utjecajem svjetlosti. Kada foton energije $E_f = h\nu$ upada na metal dolazi do prijelaza elektrona iz valentne u vodljivu vrpcu (polu)vodiča. Elektroni pri tome dobivaju energiju:

$$E_e = E_f - E_g$$

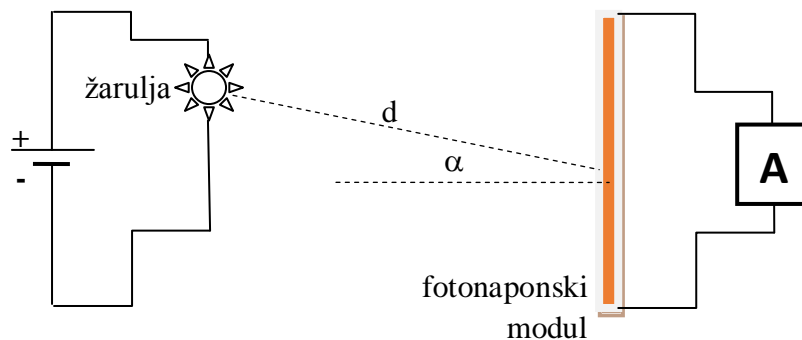
gdje je E_g energija potrebna da se elektron pobudi iz valentne u vodljivu vrpcu. Pod utjecajem difuzije ovi elektroni se gibaju kroz vodič, što stvara razliku potencijala odnosno napon. Ako se strujni krug zatvori, npr. pomoću ampermetra spojenog na krajeve fotonaponskog modula, kroz njega teče struja I_f , koja se može mjeriti.

Svjetlost iz žarulje može se promatrati kao snop fotona, a svaki foton je mali paket energije. Svjetlost se od izvora širi jednako u svim smjerovima i možemo reći da u svakom trenutku obasjava površinu sfere $S_1 = 4R_1^2\pi$. Kako se svjetlost širi radijus sfere se povećava, no ukupna energija mora biti očuvana pa će ona biti raspoređena na veću površinu $S_2 = 4R_2^2\pi$. Iz toga slijedi da je energija koja upada na jedinicu površine obrnuto proporcionalna kvadratu udaljenosti od izvora. Isto tako ako svjetlost na površinu A upada pod kutom α , ona će obasjavati površinu $A/\cos\alpha$. Kako energija mora biti očuvana to znači da je energija po jediničnoj površini proporcionalna $\cos\alpha$. Ove pojave opisuje Lambertov zakon:

$$E = I \frac{\cos\alpha}{d^2}$$

On kaže da je osvijetljenost E tj. energija svih fotona koji u jedinici vremena upadaju na jedinicu površine, obrnuto proporcionalna kvadratu udaljenosti d površine od izvora i proporcionalna kosinusu kuta upada (α) svjetlosti na površinu, gdje konstantu proporcionalnosti I nazivamo svjetlosnim intenzitetom.

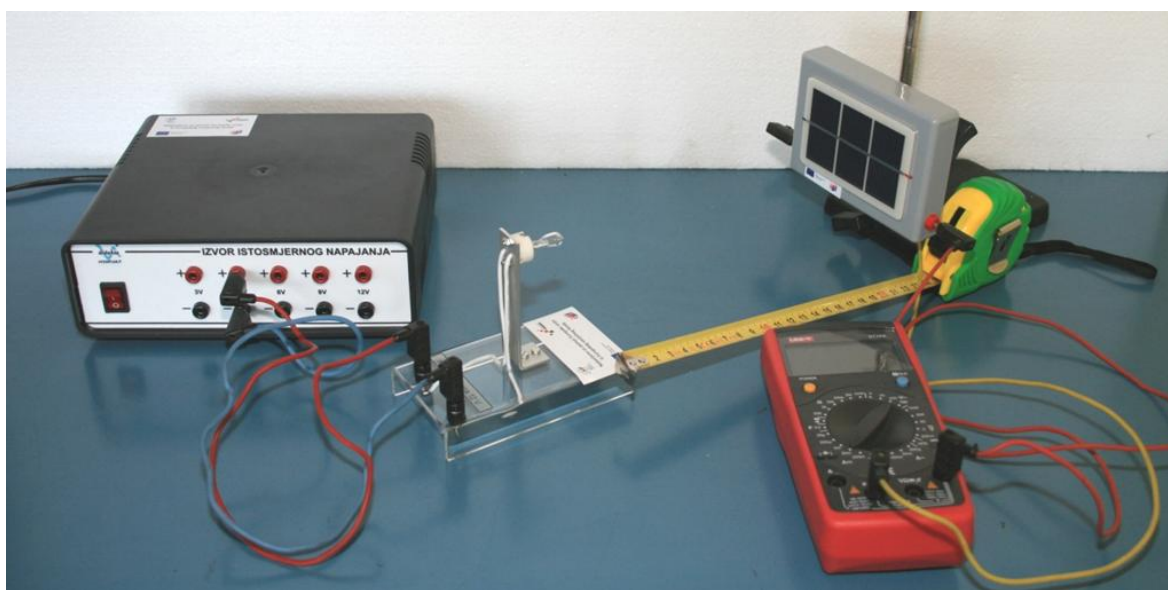
Iz opisa fotonaponskog efekta vidimo da će broj elektrona nastalih u nekom vremenu, tj. foto-struja, biti proporcionalna broju fotona koji u tom vremenu upadaju na površinu fotonaponskog modula, tj. ovisit će o udaljenosti od izvora i kutu upada prema Lambertovom zakonu.



Slika 1. Shema eksperimentalnog postava

Pribor:

- fotonaponski modul
- izvor istosmjernog (do 12 V)
- ampermetar
- spojne žice
- halogena žarulja
- metar traka
- kutomjer



Slika 1. Pribor za izvođenje vježbe.

ZADATAK 1.

Odrediti ovisnost fotostruje o udaljenosti izvora

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- Postaviti fotonaponski modul tako da je usmjeren prema dijelu prostorije s najmanje svjetlosti i izmjeriti fotostruju ampermetrom (I_0).
- Uključiti izvor svjetlosti i ostaviti ga 1 minutu da dosegne radnu temperaturu. Postaviti izvor svjetlosti ispred fotonaponskog modula (kut $\alpha = 0^\circ$).
- Izmjeriti struju na ampermetru (I_{f^*}) za udaljenosti $d=20$ cm do $d=100$ cm u koracima od 10 cm i pri tome pazite da kut α ostane 0° .
- Odrediti fotostruju izvora (I_f) tako da se od izmjerene struje (I_{f^*}) oduzme podazina (I_0).
- Grafički prikazati ovisnost struje I_f o udaljenosti d te o $1/d^2$.

ZADATAK 2.

Odrediti ovisnost foto struje o upadnom kutu svjetlosti

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- Postaviti fotonaponski modul tako da je usmjeren prema dijelu prostorije s najmanje svjetlosti i izmjeriti fotostruju ampermetrom (I_θ).
- Postaviti izvor svjetlosti na udaljenost $d=50$ cm od fotonaponskog panela i ostaviti ga 1 minutu da dostigne radnu temperaturu.
- Izmjeriti struju na ampermetru za kuteve α od 0° do 90° u koracima od 10° , pri tome pazite da udaljenost d ostane konstantna.
- Ponoviti mjerenje mjenjajući kut na drugu stranu (od 0° do -90°).
- Odredite foto struju od izvora (I_θ) tako da od izmjerene struje (I_f^*) oduzmete podazinu (I_θ).
- Grafički prikažite ovisnost struje I_f o kutu upada α , te ovisnost struje o $\cos \alpha$.

30. PRIRODNA RADIOAKTIVNOST

Jezgre nekih atoma nisu stabilne već se raspadaju emitirajući zračenje u obliku α , β ili γ čestica. Takve jezgre, odnosno izotope nazivamo radioaktivnima. Radioaktivnost je prirodna pojava i radioaktivni elementi se javljaju u mnogim materijalima i spojevima, a na Zemlji ima oko 50 prirodno radioaktivnih izotopa. Najveći izvori prirodne radioaktivnosti na Zemlji su plin radon koji se nalazi u zraku, zatim uranijevi i torijevi spojevi, koji se nalaze u zemlji, stijenkama ili ugljenu. Tako neke vrste ugljena ovisno u udjelu navedenih spojeva mogu imati povećanu radioaktivnost.

Također su radioaktivni i neki izotopi kalija i ugljika koji se nalaze u organskoj materiji, tj. ugrađeni su u žive organizme. Na primjer voće i povrće koje sadrži puno kalija (poput rajčice, banana, idr.) može imati povećanu radioaktivnost. Osim navedenih izvora zračenja, na površinu Zemlje pristiže i velika količina kozmičkog zračenja. Živi organizmi su dakle prirodno okruženi radioaktivnišću i evolucijski su razvili mehanizme obrane protiv njenih eventualno štetnih utjecaja.

Osim prirodnih izvora radioaktivnosti postoji i ona izazvana ljudskim djelovanjem, a prije svega se odnosi na radiološke dijagnostičke metode poput Roentgena, kompjuterizirane tomografije (CT), mamografije, pozitronske emisijske tomografije (PET) i slično.

Aktivnost nekog uzorka definira se kao broj radioaktivnih raspada koje se dogode u 1 sekundi, a jedinica je 1 Bq (Becquerel). Apsorpcija zračenja u nekom materijalu i njegov utjecaj karakterizira se pomoću veličine koju nazivamo „Apsorbirana doza“ i označavamo s D . Ona je jednaka omjeru energije absorbirane putem zračenja i mase tijela koje ga apsorbira, a jedinica je 1 Gy (Grey). Snagu doze definiramo kao apsorbiranu dozu primljenu u jedinici vremena, a najčešće se izražava u jedinicama Gy/h.

Ako neka osoba mora biti izložena zračenju, npr. zbog posla koja obavlja, bitno je znati kolikoj dozi zračenja je ona izložena u određenom vremenskom periodu. Naime poznato je da zračenje u malim količinama ima zanemariv utjecaj na žive organizme, no u slučaju veće izloženosti potrebno je biti informiran i poduzeti odgovarajuće mjere.

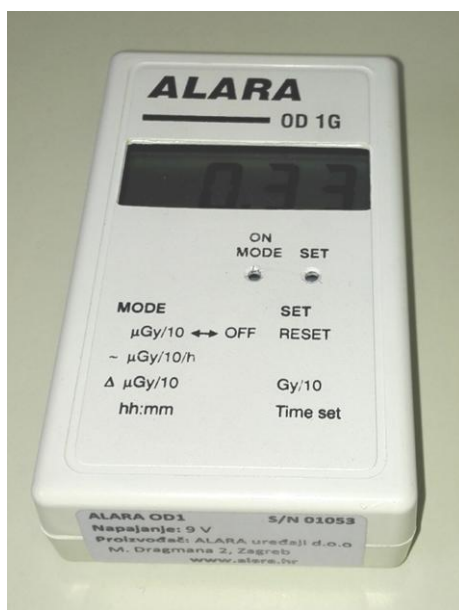
Uređaj za mjerenje apsorbirane doze zračenja naziva se *dozimetar*. Dozimetar može mjeriti snagu doze i ukupnu apsorbiranu dozu. Najčešće su dozimetri podešeni tako da im je povećana osjetljivost na određeni tip radioaktivnog zračenja. ALARA dozimetar koji se koristi u ovoj vježbi podešen je za opažanje gama čestica, dakle doza koju opažava dolazi dominantno od gama raspada u okolini.

Apsorbirane doze zračenja se zbrajaju. Na primjer ako sa D_o označimo dozu iz zračenja okoline, a sa D_u dozu iz uzorka, ukupa doza D_{tot} će biti:

$$D_{tot} = D_o + D_u$$

Pribor:

- ALARA OD 1G brojač radioaktivnosti
- uzorci: banane, rajčice, ugljen, mrežica za plinsku lampu, elektroda za varenje
- vaga



Slika 1. Fotografija dozimetra.

ZADATAK 1.**Odrediti dozu radioaktivnog zračenja uzorka**

Način izvođenja: individualno

Mjerenje i obrada:

- Pripremiti mjesto za brojač čestica. Ne premještati uređaj za vrijeme čitavog trajanja mjerenja (4-5 dana), obzirom da količine zračenja mogu lokalno varirati. Na brojaču odabrati način rada brojanja apsorbirane doze (pritiskom na tipku MODE).
- Izmjeriti dozu prirodne radioaktivnosti okoline: poništiti brojač (resetirati) malo dužim pritiskom na tipku SET dok se na ekranu ne pojavi 0,00. Zapisati točan datum i vrijeme i ostaviti brojač da radi do sljedećeg dana. Očitati brojač nakon otprilike 24h i zabilježiti točno vrijeme. Odrediti apsorbirano dozu po satu.
- Izmjeriti dozu prirodne radioaktivnosti okoline i uzorka: poništiti brojač (resetirati) i u njegovu neposrednu blizinu staviti uzorak. Zabilježiti točan datum i vrijeme i pustiti brojač da radi. Očitavati brojač nakon otprilike 48h, zabilježiti vrijeme i izračunati apsorbiranu dozu po satu.

- d) Izmjeriti dozu prirodne radioaktivnosti okoline: poništiti brojač (resetirati) te udaljiti uzorak. Pokrenuti novo mjerenje pozadine i zapisati vrijeme. Očitati brojač nakon otprilike 24h i zabiježiti vrijeme. Odrediti apsorbiranu dozu po satu.
- e) Iz mjerenja b) i d) odrediti srednju apsorbiranu dozu po satu zračenja okoline (D_o).
- f) Odrediti apsorbiranu dozu zračenja uzorka (D_u) po kg uzorka.