LABORATORIJSKI PRAKTIKUM - FIZIKA

za generaciju 2026/27.

SPISAK LABORATORIJSKIH VEŽBI IZ FIZIKE

1. VEŽBA - a) **Određivanje ubrzanja Zemljine teže pomoću matematičkog klatna**
   b) **Određivanje Jungovog modula elastičnosti žice**

2. VEŽBA - a) **Određivanje momenta inercije tela pomoću torzionog klatna**
   b) **Određivanje momenta inercije tela primenom Štajnerove teoreme**

3. VEŽBA - a) **Određivanje koeficijenta trenja pomoću strme ravni**
   b) **Određivanje koeficijenta viskoznosti glicerina Štoksovom metodom**

4. VEŽBA - a) **Određivanje toplote isparavanja tečnosti**
   b) **Određivanje nepoznate temperature termoparom**

5. VEŽBA - a) **Određivanje brzine zvuka u vazduhu**
   b) **Primena zakona geometrijske optike i princip rada optičkih instrumenata**

UPUTSTVO ZA IZRADU LABORATORIJSKIH VEŽBI IZ FIZIKE

1. Pre početka rada pažljivo se upoznati sa napomenama iz ovog uputstva!

2. Na početku opisa svake vežbe nalazi se teorijski uvod sa kojim studenti moraju biti upoznati tokom izrade vežbe.

3. Prilikom merenja pratiti redosled stavki u uputstvu, a za sve nejasnoće obratiti se predmetnom asistentu.

4. Izveštaj o urađenoj laboratorijskoj vežbi sa izmerenim podacima, izračunatim vrednostima i graficima se piše ISKLJUČIVO u sveskama formata A4 koja služi SAMO za to!

5. Grafike sa izmerenim vrednostima crtati rukom (NE uz pomoć računara!) na milimetarskom papiru koji mora biti ZALEPLJEN na nekom logičnom mestu u okviru odgovarajućeg izveštaja.

6. U tabelama se, pored kolona u kojima se beleže izmereni podaci, popunjavaju i kolone u kojima se unose srednja vrednost i greške merenja.

U nastavku sledi jedan primer. Recimo, ukoliko su izmerene vrednosti neke dužine:

$s_1 = 0{,}010$ m, $s_2 = 0{,}0114$ m, $s_3 = 0{,}0975$ m, $s_4 = 0{,}1233$ m, $s_5 = 0{,}12$ m,

srednja vrednost merenja je:

$$s_{sr} = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + s_5}{5} = 0{,}11096 \text{ m}.$$

Sledeća kolona u tabeli predstavlja vrednosti apsolutnih odstupanja Δs, tj. apsolutne vrednosti razlike izmerene vrednosti i srednje vrednosti:

$$\Delta s_1 = |s_1 - s_{sr}| = 0{,}01096 \text{ m},$$

$$\Delta s_2 = |s_2 - s_{sr}| = 0{,}00304 \text{ m},$$

$$\Delta s_3 = |s_3 - s_{sr}| = 0{,}01346 \text{ m},$$

$$\Delta s_4 = |s_4 - s_{sr}| = 0{,}01234 \text{ m},$$

$$\Delta s_5 = |s_5 - s_{sr}| = 0{,}00904 \text{ m}.$$

U sledećoj koloni upisuje se relativno odstupanje koje se izražava u procentima δ_s (%). Relativno odstupanje predstavlja odnos apsolutnog odstupanja i srednje vrednosti, i izražava se u procentima:

$$\delta_{s1} = \frac{\Delta s_1}{s_{sr}} \cdot 100\% = 9,88\%$$

$$\delta_{s2} = \frac{\Delta s_2}{s_{sr}} \cdot 100\% = 2,74\%$$

$$\delta_{s3} = \frac{\Delta s_3}{s_{sr}} \cdot 100\% = 12,13\%$$

$$\delta_{s4} = \frac{\Delta s_4}{s_{sr}} \cdot 100\% = 11,12\%$$

$$\delta_{s5} = \frac{\Delta s_5}{s_{sr}} \cdot 100\% = 8,15\%\,.$$

U poslednjoj koloni unosi se vrednost standardne devijacije (srednje kvadratno odstupanje) σ:

$$\sigma_s = \pm\sqrt{\frac{(\Delta s_1)^2 + (\Delta s_2)^2 + (\Delta s_3)^2 + (\Delta s_4)^2 + (\Delta s_5)^2}{5-1}} = 0,01167 \text{ cm.}$$

Kada su završena merenja i računanja, popunjena tabela trebalo bi da izgleda ovako:

Redni broj merenja	s (m)	s_{sr} (m)	Δs (m)	δ_s (%)	σ_s (m)
1	0,10	0,11096	0,01096	9,88	0,01167
2	0,114		0,0304	2,74	
3	0,0975		0,01346	12,13	
4	0,1233		0,01234	11,12	
5	0,12		0,0904	8,15	

Na kraju, merena veličina se predstavlja kao srednja vrednost datog merenja i intervala vrednosti oko nje, sa obe strane, koji je određen srednjom kvadratnom greškom, u kome postoji najveća verovatnoća da se nađe tačna vrednost merene veličine:

$$s = (s_{sr} \pm \sigma_s) \text{ m} = (0,11096 \pm 0,01167) \text{ m.}$$

VAŽNE NAPOMENE:

1. Prilikom bilo kakvog računanja neophodno je jedinice izmerenih vrednosti prebaciti u osnovne, tj. minute u sekunde, grame u kilograme, itd.

2. Nakon što je vežba odrađena i izračunati su svi potrebni podaci, vežba se predaje predmetnom asistentu na pregled. Tek kada asistent proveri rezultate i potpiše (overi) vežbu, smatra se da je student uspešno završio vežbu.

3. Neophodno je da student ima overenih svih pet vežbi, kako bi imao uslov za izlazak na ispit.

1. VEŽBA

a) ODREĐIVANJE UBRZANJA ZEMLJINE TEŽE POMOĆU MATEMATIČKOG KLATNA

Teorijski uvod

Sva tela koja padaju sa relativno male visine u odnosu na površinu Zemlje kreću se, ako se zanemari trenje vazduha, konstantnim ubrzanjem *g*. Ovo ubrzanje je poznato pod nazivom ubrzanje Zemljine teže ili gravitaciono ubrzanje. Sila koja izaziva ovo ubrzanje naziva se sila teže ili sila gravitacije. Težina tela, kojom telo deluje na podlogu ili nit o koju je obešeno, može se izraziti na sledeći način $\vec{Q} = m\vec{g}$. Vektori $\vec{Q}$ i $\vec{g}$ imaju isti pravac i smer i orijentisani su prema centru Zemlje.

Matematičko klatno je telo obešeno o neistegljivu nit, čije dimenzije mogu da budu zanemarene u odnosu na dužinu niti i koje osciluje pod dejstvom sile Zemljine teže u vertikalnoj ravni. Masa tela ne može biti zanemarena. Period oscilovanja metematičkog klatna izračunava se po obrascu:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \tag{1}$$

gde je *l* – dužina klatna. Na osnovu ovog izraza ubrzanje Zemljine teže je moguće izračunati kao:

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}, \tag{2}$$

gde se uočava linearna zavisnost između dužine klatna i kvadrata perioda oscilovanja klatna.

Potrebno je znati: Šta je Zemljina teža? Šta je ubrzanje Zemljne teže? Zašto telo mora da ima masu da bi se koristilo kao matematičko klatno? Šta je masa, a šta težina tela? Definisati osnovne veličine kojima se opisuje oscilatorno kretanje: jedna puna oscilacija, period oscilovanja, frekvencija, amplituda i elongacija.

Uputstvo za rad:

1. Izmeriti rastojanje od vrha konca do vrha gornje tangencijalne površine kuglice (l_1) i rastojanje od vrha konca do donje tangencijalne površine (l_2). Naći srednju vrednost l_1 i l_2 kao $l = (l_1 + l_2) / 2$ i nju koristiti u daljem radu.

2. Izvesti kuglicu iz ravnotežnog položaja (voditi računa da se ne jave eliptične oscilacije klatna) i meriti τ - vreme trajanja određenog broja oscilacija.
3. Postupak ponoviti 5 puta za različite vrednosti broja oscilacija (između 30 i 50).
4. Izračunati ubrzanje Zemljine teže pomoću obrasca (2), u koji treba zameniti vrednosti perioda oscilovanja matematičkog klatna koje se izračunavaju korišćenjem obrasca $T = \tau / n$, gde je τ - vreme za koje telo izvrši n oscilacija i n - broj oscilacija. Dobijene podatke uneti u tabelu. Iznad tabele napisati vrednost dužine klatna l.

Izgled tabele za upisivanje rezultata:

$l =$ _____ m

Red. br. merenja	n	τ (s)	T (s)	g (m/s^2)	g_{sr} (m/s^2)	Δg (m/s^2)	δ_g (%)	σ_g (m/s^2)
1	30							
2	35							
3	40							
4	45							
5	50							

$$g = \left(g_{sr} \pm \sigma_g \right) \text{ ms}^{-2} = \left(_____ \pm _____ \right) \text{ ms}^{-2}$$

b) ODREĐIVANJE JUNGOVOG MODULA ELASTIČNOSTI ŽICE

Teorijski uvod

Sva tela pod uticajem sila, pored promene brzine, mogu promeniti svoj oblik i dimenzije, tj. mogu se deformisati. Deformacije mogu biti potpuno elastične i potpuno plastične. Potpuno elastična deformacija je ona kod koje se po prestanku dejstva sile telo vraća u prvobitni oblik i dimenzije. Ako to nije slučaj, deformacija je potpuno plastična. Realna tela su negde između ova dva granična slučaja.

Eksperimentalno je pokazano da je kod elastičnih tela naponσ (količnik sile i površine na koju ona deluje) proporcionalan relativnoj deformaciji δ:

$$\sigma = E\delta, \tag{1}$$

odnosno:

$$\frac{F}{S} = E\frac{\Delta l}{l}, \tag{2}$$

gde je F sila koja deluje normalno na poprečni presek žice, S površina poprečnog preseka žice, l dužina žice, Δl povećanje dužine žice prilikom istezanja (apsolutno istezanje žice). Koeficijent proporcionalnosti E naziva se modul elastičnosti i njegova vrednost zavisi od vrste materijala, a navedeni izraz predstavlja matematički oblik Hukovog zakona za elastičnu deformaciju tela. Ovaj zakon se može predstaviti i u obliku:

$$\Delta l = kF, \tag{3}$$

gde je k koeficijent koji zavisi od vrste materijala, prečnika i dužine žice. Sa tačke gledišta matematike, koeficijent k predstavlja koeficijent pravca tako dobijene prave, pa se za Jungov modul elastičnosti dobija:

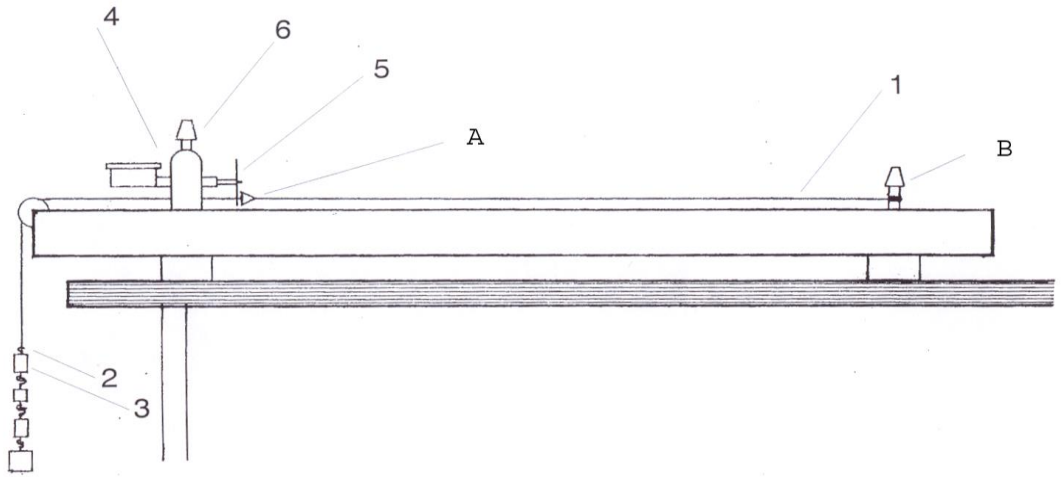
$$E = \frac{F \cdot l}{S \cdot \Delta l} = \frac{l}{S \cdot k}, \tag{4}$$

pri čemu za žicu prečnika d i dužine l, opterećenu tegom mase m, sila iznosi $F = mg$, $F = mg$, a površina poprečnog preseka $S = \pi d^2 / 4$, gde je prečnik žice $d = 0{,}5$ mm.

Potrebno je znati: Za koja tela kažemo da su elastična? Za koja tela kažemo da su plastična? Definisati Hukov zakon. Koja je jedinica za Jungov modul elastičnosti?

Uputstvo za rad:

Izmeriti metrom dužinu žice l od tačke A do tačke B, kada je o kuku (2) okačen samo teg za početno zatezanje žice (3). Na slici je prikazan uređaj za određivanje modula elastičnosti žice.



LEGENDA:

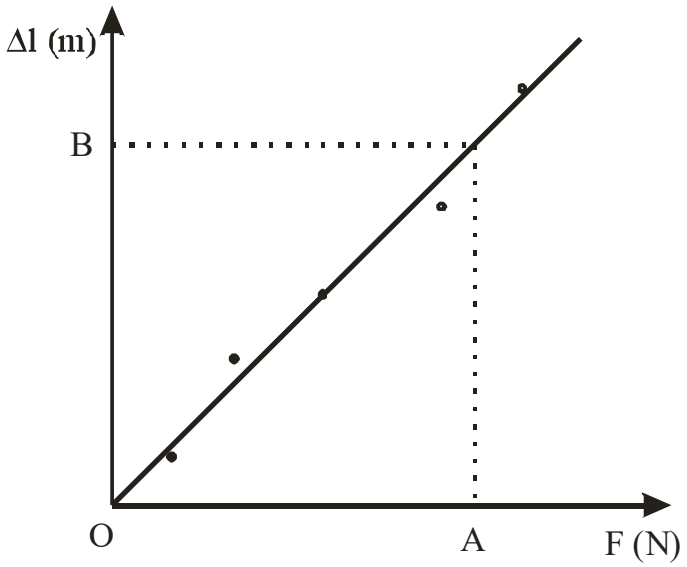
1- metalna žica
2- kuka za kačenje tegova
3- teg za zatezanje žice (500 g)
4- komparator
5- disk
6- zavrtanj za fiksiranje komparatora
A- tačka učvršćenja žice
B- tačka oslanjanja

Merenje Δl i određivanje k:

a) O teg (3) okačiti najmanji teg, sačekati par minuta, a zatim očitati pokazivanje komparatora, odnosno apsolutno istezanje žice. Na isti način odrediti apsolutno istezanje i za druga, veća opterećenja. Izvršiti 5 ovakvih merenja. Na raspolaganju su tegovi masa 500 i 1000 g. Izmerene vrednosti uneti u tabelu:

r. br. merenja	m (kg)	F (N)	Δl (m)
1	0,5		
2	1		
3	1,5		
4	2		
5	2,5		

b) Na osnovu dobijenih rezultata nacrtati grafik $\Delta l = f(F)$, gde je $F = mg$ težina tega po modelu



i odrediti koeficijent pravca k tako dobijene prave. Koristeći vrednosti iz tabele nacrtati grafik.

b) Na osnovu tako određene vrednosti koeficijenta k, izračunati Jungov modul elastičnosti E po obrascu:

$$E = \frac{l}{S \cdot k} = \frac{l}{S \cdot \mathrm{tg}\alpha} = \frac{l}{S}\frac{\mathrm{OA}}{\mathrm{OB}} = _____ \ \mathrm{Nm}^{-2}.$$

2. VEŽBA

a) ODREĐIVANJE MOMENTA INERCIJE TELA POMOĆU TORZIONOG KLATNA

Teorijski uvod

Moment inercije tela je veličina koja ima isti fizički smisao pri rotacionom kretanju kao masa pri translatornom. Dakle, pokazuje meru inertnosti tela pri rotacionom kretanju, i što je veća vrednost momenta inercije tela, to će biti teže zarotirano telo (što je veća masa tela, teže će biti pokrenuto). Međutim, kretanje tela koje rotira zavisi ne samo od njegove mase, već i od rasporeda mase tela u odnosu na osu rotacije.

Ako je telo homogeno (gustina tela je ista u svakom njegovom delu), moment inercije se može izračunati pomoću formule:

$$I = \int r^2 dm = \int r^2 \rho dV, \tag{1}$$

gde je r - rastojanje od ose rotacije, ρ - gustina tela, dm - elemenat mase i dV - elemenat zapremine.

Gore navedena formula se može iskoristiti za izračunavanje momenta inercije homogenih tela pravilnog geometrijskog oblika. U narednoj tabeli se mogu videti neke vrednosti momenata inercije izračunatih kada se osa rotacije preklapa sa težišnom osom datih tela:

disk, cilindar	$I = \frac{1}{2} mR^2$
sfera	$I = \frac{2}{5} mR^2$
prsten	$I = mR^2$

Kada se žica od elastičnog materijala uprede javlja se u njoj moment sprega M, koji teži da vrati žicu u prvobitni položaj. Ovaj spreg je proporcionalan uglu upredanja:

$$M = c\alpha, \tag{2}$$

gde je c – torziona konstanta žice, a α - ugao uvijanja.

Ovakav spreg uslovljava sinusne oscilacije torzionog klatna, čiji je period oscilovanja:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{c}}, \tag{3}$$

gde je I – moment inercije tela koje je obešeno na žicu. Na ovaj način se može izračunati torziona konstanta žice c, ako je poznat moment inercije tela I, a izmeri period oscilovanja T, tj.

$$c = 4\pi^2 \frac{I}{T^2}. \tag{4}$$

Dosadašnja razmatranja su važila kada se osa rotacije poklapa sa težišnom osom tela koje rotira. Međutim, kada telo rotira oko ose koja je paralelna težišnoj, za izračunavanje momenta inercije tela primenjuje se Štajnerova teorema, koja kaže da:

- moment inercije tela koje rotira oko ose koja paralelna težišnoj osi i nalazi se na rastojanju d od nje, jednak je zbiru momenta inercije tela oko ose koja prolazi kroz centar mase tela (I_0) i proizvoda mase tela i kvadrata rastojanja među dvema osama (md^2).

$$I = I_0 + md^2. \tag{5}$$

Na kraju, ako je telo nepravilnog oblika, moment inercije je teško izračunati, a ponekad i nemoguće, pa se moment inercije tada određuje eksperimentalno.

Potrebno je znati: Šta je moment inercije? Koja tela imaju moment inercije? Koja je analogna veličina momentu inercije kod translatornog kretanja? Kako se izračunava moment inercije homogenog tela? Kako se određuje moment inercije tela nepravilnog geometrijskog oblika? Kako glasi Štajnerova teorema?

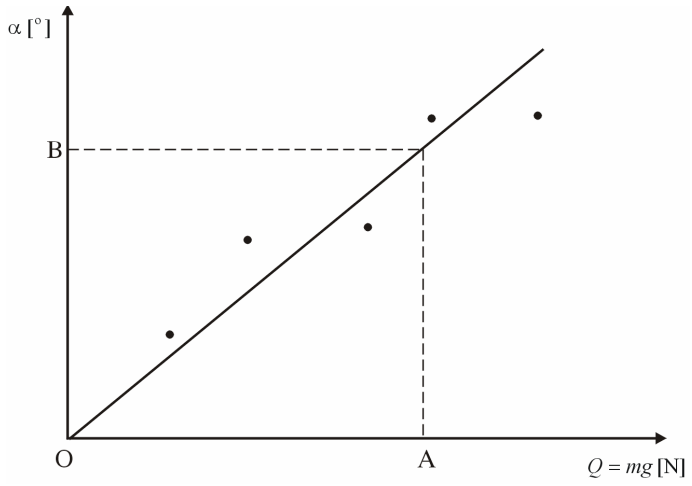
I) ***Određivanje torzione konstante žice***

1. Prečnik cilindričnog tega iznosi d = 4,2 cm.
2. Na donji kraj žice koja visi sa vrha drvenog rama pričvrstiti cilindrični teg pomoću zavrtnja. Kazaljka cilindričnog tega treba da bude okrenuta prema posmatraču.
3. Oko cilindričnog tega omotati nekoliko puta konac sa tasovima i krajeve prebaciti preko kotura.
4. Tasove opteretiti tegovima od po 10 g. Dolazi do pomeranja cilindra. Na gornjem kraju drvenog rama nalazi se pokretni crni točak sa graduisanom skalom. Pomeranjem točka dovesti kazaljke do ponovnog poklapanja i očitati položaj na skali. Očitana vrednost na skali predstavlja ugao upredanja α.
5. Merenje ponoviti sa vrednostima tegova: 20, 30, 50, 60, 80 i 100 g, a rezultate uneti u tabelu:

Redni broj	m (kg)	α (°)	$Q = mg$ (N)
1	0.01		
2	0.02		
3	0.03		
4	0.05		
5	0.06		
6	0.08		
7	0.1		

Za ubrzanje Zemljine teže uzeti $g = 9{,}81\ \mathrm{ms}^{-2}$.

Na osnovu tabele nacrtati grafik $\alpha = f(Q)$, i sa njega odrediti torzionu konstantu žice.



$$c = \frac{M}{\alpha} = \frac{Qd}{\alpha[\mathrm{rad}]} = \frac{180°}{\pi}\frac{Qd}{\alpha[°]} = \frac{180°d}{\pi}\frac{\mathrm{OA}}{\mathrm{OB}}.$$

$c =$ _____ Nm.

II) ***Određivanje momenta inercije tela***

1. Skinuti cilindrični teg i tasove i na donji kraj žice pričvrstiti pomoću zavrtnja priloženo telo nepravilnog oblika, čiji moment inercije treba odrediti.
2. Telo izvesti iz ravnotežnog položaja pomoću točka na ramu i hronometrom izmeriti vreme trajanja 30 oscilacija. Merenje ponoviti 5 puta.

Znajući torzionu konstantu žice c (koja je određena u prvom delu vežbe) i period oscilovanja T, odrediti moment inercije priloženog tela I:

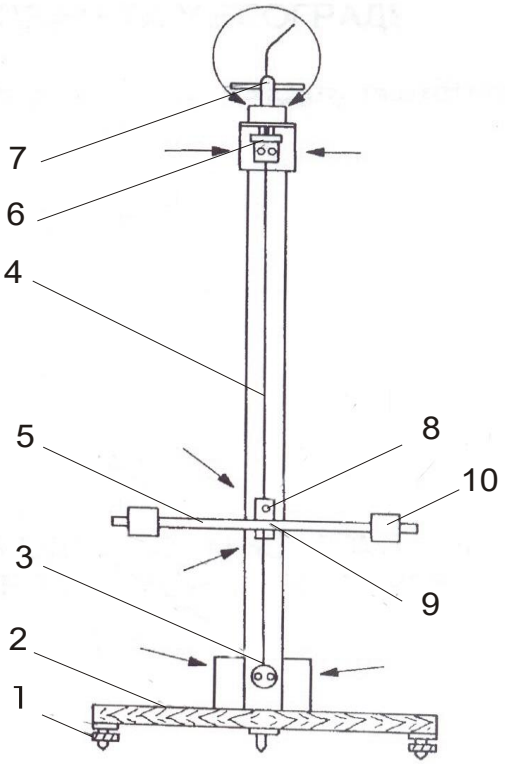
$$I = \frac{cT^2}{4\pi^2}.$$

R.br.	τ_{30} (s)	$T = \tau_{30} / 30$ (s)	I (kgm^2)	I_{sr} (kgm^2)	ΔI (kgm^2)	δ_I (%)	σ_I (kgm^2)
1							
2							
3							
4							
5							

$$I = (_____ \pm _____) \text{ kgm}^2.$$

b) ODREĐIVANJE MOMENTA INERCIJE TELA PRIMENOM ŠTAJNEROVE TEOREME

Uputstvo za rad:



LEGENDA:

1- nožice za nivelaciju postolja,
2- postolje,
3- stezač,
4- metalna žica,
5- uzorak,
6- otvor na stezaču,
7- ručica,
8- držač,
9- zavrtanj,
10- valjak.

1. Sa uzorka 5 skinuti jedan valjak 10 i izmeriti njegov unutrašnji D_1, spoljašnji prečnik D_2 i visinu valjka H. Masa valjka je m = 50 g.

2. Na osnovu izmerenih vrednosti izračunati vrednost momenta inercije I_0 valjka u odnosu na osu koja prolazi kroz centar mase valjka normalno na njegovu težišnu osu:

$$I_0 = \frac{m}{16}\left(D_1^2 + D_2^2 + 1{,}33H^2\right) = _____ \text{ kgm}^2.$$

3. Postaviti valjak na uzorak 5 tako da oba valjka budu podjedanko udaljena od zavrtnja 9.

4. Izmeriti rastojanje d od zavrtnja na valjku do držača 9.

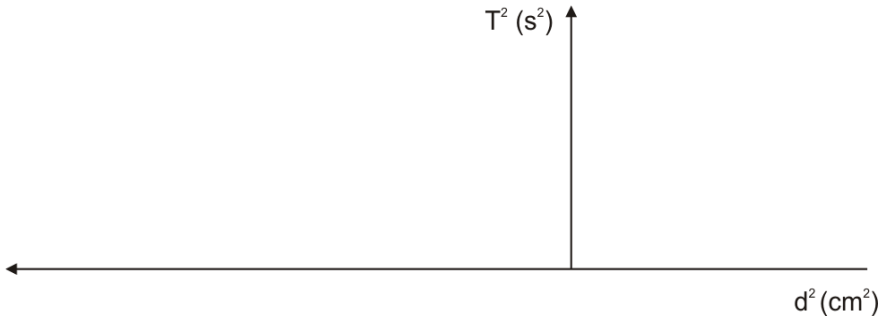
5. Uzorak 5 izvesti iz ravnotežnog položaja tako da počne da osciluje u horizontalnoj ravni i meriti vreme trajanja 30 oscilacija.

6. Vreme trajanja 30 oscilacija izmeriti za 5 različitih vrednosti d.

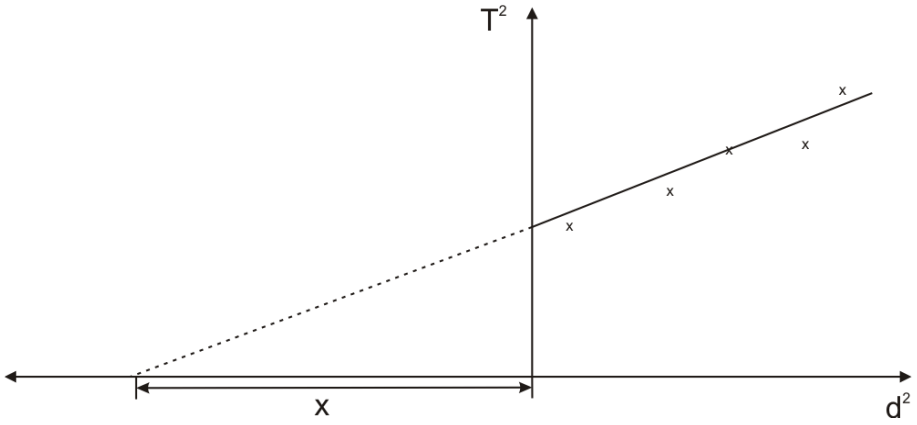
7. Izmerene vrednosti uneti u tabelu.

Redni broj	τ_{30} (s)	d (cm)	d^2 (cm^2)	T = τ_{30} / 30 (s)	T^2 (s^2)
1		13			
2		12			
3		11			
4		10			
5		9			

Zavisnost $T^2 = f(d^2)$ $T^2 = f(d^2)$ prikazati na grafiku.



U preseku dobijene prave sa d^2-osom očitati apsolutnu vrednost |x|. Na narednoj slici prikazan je postupak određivanja |x|.



Izračunati moment inercije šipke I_x u odnosu na osu oscilovanja koja se poklapa sa pravcem žice:

$$I_x = 2\left(|x|m - I_0\right) = _____ \text{ kgm}^2.$$

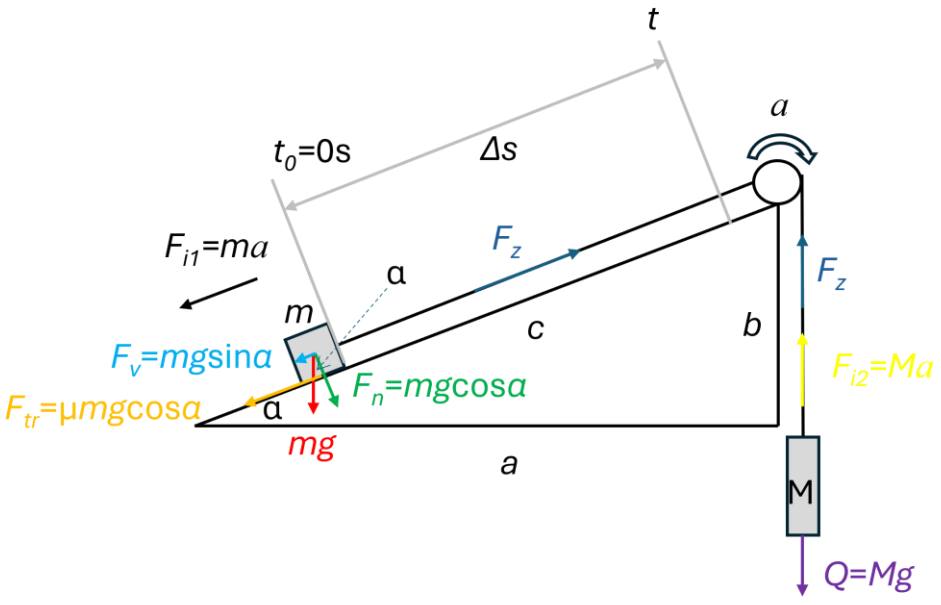
3. VEŽBA

a) ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA TRENJA POMOĆU STRME RAVNI

Teorijski uvod

Sila trenja je sila koja se suprostavlja kretanju tela, odnosno zaustavlja telo. Nastaje zbog neravnina na podlozi, ako je hrapavost podloge veća i sila trenja je veća. Trenje može biti: trenje mirovanja, trenje klizanja, trenje kotrljanja. Trenje ne zavisi od veličine dodirne površine, a zavisi od težine tela (sile koja normalno deluje na podlogu) i od materijala tela i podloge. Koeficijent trenja zavisi od osobina oba tela čije se površine dodiruju i od stepena uglačanosti njihovih dodirnih površina. Koeficijent trenja ne može biti veći od 1 i nema mernu jedinicu. Na primer, ako su materijali u dodiru lel-led, koeficijent trenja je između 0.02-0.09, dok je za drvo-drvo 0.25-0.5, ili za čelik-drvo 0.2-0.6.

Pod strmom ravni podrazumeva se ravna površina koja sa horizontalnom podlogom zaklapa ugao α, kao što je ilustovano na slici. U idealnom slučaju strma ravan visine b, osnove a i dužine c napravljena je od čvrstog materijala, a deformacije usled uzajamnog delovanja tela sa njom su zanemarljive.



Da bi eksperimentalno odredili koeficijent trenja između tela koje se kreće uz strmu ravan, konstantnim ubrzanjem a, i podloge strme ravni potrebno je pokazati od čega on zavisi. Na teg mase M deluje sila zemljine teže $Q = Mg$, kojoj se suprotstavljaju inercijalna sila $F_{i2} = Ma$ i sila zatezanja konca F_z, tako da se može napisati:

$$Q = F_{i2} + F_z. \tag{1}$$

Sa druge strane, telo mase m kreće se uz strmu ravan pod dejstvom sile zatezanja konca F_z, a suprotstavljaju joj se inercijalna sila $F_{i1} = ma$, vučna sila $F_v = mgsin\alpha$, koja je komponenta težine tela mg, kao i sila trenja $F_{tr} = \mu F_n$, gde je $F_n = mgcos\alpha$ normalna komponenta težine mg, tako da se može napisati:

$$F_z = F_{i1} + F_v + F_{tr}. \tag{2}$$

Pošto se inercija kotura zanemaruje, sila zatezanja konca je ista, pa se dobija:

$$Q - F_{i2} = F_{i1} + F_v + F_{tr}, \tag{3}$$

$$Mg - Ma = ma + mg\sin\alpha + \mu mg\cos\alpha, \tag{4}$$

odakle se dolazi do izraza za izračunavanje koeficijenta trenja:

$$\mu = \frac{M(g-a) - ma - mg\sin\alpha}{mg\cos\alpha}. \tag{5}$$

Potrebno je znati: Šta je sila trenja? Od čega zavisi, a od čega ne zavisi koeficijent trenja? Ako se telo nalazi na strmoj ravni, na koje komponente se može razložiti njegova težina i koliko iznose te sile? Kako se može smanjiti sila trenja?

Uputstvo za rad

1. Poznate su masa tega $M \approx 30$ g, masa tela $m = 33$ g, gravitaciono ubrazanje $g = 9{,}81$ ms^{-2}. Strma ravan postavljena je pod uglom $\alpha = 30°$.
2. Postaviti telo mase m u dnu strme ravni, povezano koncem, koji treba prebaciti preko kotura. Telo mase m treba da ka podlozi bude okrenuto svojom ***glatkom*** površinom. Na mesto za teg, postaviti teg, ukupne mase M. Pri tome pridržavati teg, tako da telo na strmoj ravni bude u stanju mirovanja.
3. Korišćenjem sistema za merenje izmeriti vreme potrebno da se telo mase m popne uz strmu ravan, prelazeći put $\Delta s = 76{,}5$ cm. Sistem startuje merenje prolaskom pored prve merne tačke, a završava merenje prolaskom pored poslednje merne tačke. Laganim puštanjem tega mase M, telo kreće da klizi uz strmu ravan, do graničnika, tj. pređe put Δs. Izmereno vreme sa displeja upisati u tabelu. Nakon upisa, resetovati sistem za merenje pritiskom tastera. Merenje ponoviti 5 puta.
4. Na osnovu izmerenog vremena odrediti ubrzanje sistema $a = 2\Delta s/t^2$.
5. Korišćenjem prethodno izvedene formule izračunati koeficijent trenja μ i greške pri merenju.

6. Okrenuti telo mase m na suprotnu stranu, tako da ka podlozi bude okrenuto svojom ***lakiranom*** površinom. Ponoviti eksperimentalni postupak iz tačaka 2-5.

Drvo-drvo:

Redni broj	t (s)	a (ms^{-2})	μ ()	μ_{sr} ()	$\Delta\mu$ ()	δ_μ (%)	σ_μ ()
1							
2							
3							
4							
5							

$\mu_{\text{drvo-drvo}}$ = (_____ ± _____)

Drvo-lak:

Redni broj	t (s)	a (ms^{-2})	μ ()	μ_{sr} ()	$\Delta\mu$ ()	δ_μ (%)	σ_μ ()
1							
2							
3							
4							
5							

$\mu_{\text{drvo-lak}}$ = (_____ ± _____)

b) ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA VISKOZNOSTI GLICERINA ŠTOKSOVOM METODOM

Teorijski uvod

Kada se neko telo kreće kroz idealni fluid ili se idealni fluid kreće oko nepomičnog tela, ne javlja se otpor sredine. Međutim, pri kretanju tela kroz realni fluid ili realni fluid struji oko tela, javlja se otpor sredine, koji zavisi od oblika i brzine kretanja tela i vrste fluida. Ako je strujanje laminarno, taj otpor je posledica viskoznosti, dok se pri turbulentnom kretanju otpor povećava usled obrazovanja vrtloga.

Kada se telo kreće u fluidu malom brzinom, otpor kretanju uslovljen je silom trenja. Kako je ustanovio Štoks, sila trenja je proporcionalna proizvodu viskoznosti sredine, linearnoj dimenziji tela i brzini. Za tela sfernog oblika ta sila se može izraziti kao:

$$F = 6\pi\eta r v, \tag{1}$$

gde je r - poluprečnik sfere, η - koeficijent viskoznosti, a v - brzina njenog kretanja u fluidu.

Određivanje koeficijenta viskoznosti se vrši merenjem brzine kretanja kuglice kroz ispitivanu tečnost, kada je poznat poluprečnik i težina jedne kuglice. Ova kuglica se pušta da pada kroz ispitivanu tečnost pod dejstvom svoje težine. Pošto je otpor sredine veliki, kretanje kuglice vrlo brzo postaje uniformno, čim se sila koja deluje na kuglicu izjednači sa silom trenja i silom potiska, odnosno:

$$Q = F_{tr} + F_p. \tag{2}$$

Pošto je $Q = \rho g V = 4r^3\pi\rho g / 3$, $F_{\text{tr}} = 6\pi\eta r v$ i $F_p = 4r^3\pi\rho_t g / 3$ zamenom u gornji izraz koeficijent viskoznosti se može izraziti kao:

$$\eta = \frac{2r^2 g\left(\rho - \rho_t\right)\Delta t}{9l}. \tag{3}$$

Potrebno je znati: Šta su fluidi? Šta je viskoznost? Kakvo je to laminarno strujanje, a kakvo turbulentno? Čemu je jednaka Štoksova sila? Kada će kuglica pri kretanju kroz glicerin početi da se kreće uniformno?

Metod merenja

1. Pomoću lenjira izmeriti rastojanje između dva zareza na cevi u kojoj se nalazi glicerin.

2. Pomoću mikrometarskog zavrtnja izmeriti prečnik kuglice. Spustiti kuglicu u glicerin po osi cevi (spuštanje vršiti neposredno iznad površine glicerina). Hronometrom meriti interval vremena za koji kuglica pređe put između dva zareza.

3. Postupak iz tačke 2. ponoviti 5 puta koristeći kuglice od stakla. Za izračunavanje koeficijenta viskoznosti koristiti formulu:

$$\eta = \frac{2r^2 g\left(\rho - \rho_t\right)\Delta t}{9l}.$$

Rezultate uneti u tabelu:

Redni br. merenja	Δt (s)	r (m)	η (Ns/m^2)	η_{sr} (Ns/m^2)	$\Delta\eta$ (Ns/m^2)	δ_η (%)	σ_η (Ns/m^2)
1							
2							
3							
4							
5							

$$\eta = (_____ \pm _____) \text{ mPa s.}$$

Potrebni podaci za izračunavanje koeficijenta viskoznosti glicerina:

- Gustina glicerina: $\rho_t = 1.27$ g/cm^3
- Gustina stakla: $\rho = 2.7$ g/cm^3

4. VEŽBA

a) ODREĐIVANJE TOPLOTE ISPARAVANJA TEČNOSTI

Teorijski uvod

Kada se nekoj tečnosti dovodi toplota, njena će temperatura rasti pri čemu se dovedena toplota troši na povišenje temperature tečnosti. Ako se toplota dovodi tečnosti i dalje, kad ona počne da ključa, njena temperatura se više neće povećavati dok tečnost potpuno ne ispari. Sada se toplota više ne troši na zagrevanje, već samo na isparavanje tečnosti (promenu agregatnog stanja).

Količina toplote koju je potrebno dovesti jedinici mase nekog tečnog tela da bi se isto prevelo iz tečnog u gasovito stanje na temperaturi ključanja i na normalnom pritisku naziva se toplota isparavanja. Pri kondenzovanju 1 kg pare u tečnost oslobađa se količina toplote koja je jednaka toploti isparavanja. Toplota kondenzovanja je ona količina toplote koja se oslobodi pri kondenzovanju jedinice mase gasovitog tela na temperaturi kondenzovanja u tečnost, pri čemu tečnost ostane na temperaturi kondenzovanja tj. ključanja.

Toplota isparavanja se može odrediti pomoću kalorimetra. Ako se para tečnosti, na temperaturi ključanja, uvede u kalorimetar sa nižom temperaturom, nastaće kondenzovanje pare. Pri tome će se osloboditi ista količina toplote, koja je utrošena na isparavanje tečnosti. Merenjem mase kondenzovane tečnosti i oslobođene toplote može se naći koliko toplote se oslobodilo u kalorimetru pri kondenzovanju 1 kg tečnosti, što predstavlja toplotu isparavanja tečnosti.

Ukupna količina toplote oslobođene u kalorimetru biće $Q = M(t_2 - t_1)$, gde je M -toplotni kapacitet kalorimetra, t_1 - temperatura vode u kalorimetru pre upuštanja pare i t_2 - temperatura vode u kalorimetru posle upuštanja pare. Od ove količine toplote treba oduzeti količinu toplote Q' koju preda kalorimetru kondenzovana tečnost mase m, usled rashlađivanja do temperature vode u sudu, pošto ista ne ulazi u definiciju toplote isparivanja. Prema tome je $Q' = mc(t_3 - t_2)$, gde je c -specifična toplota kondenzovane tečnosti, t_3 - temperatura ključanja tečnosti. Toplota isparavanja tečnosti q će prema tome biti:

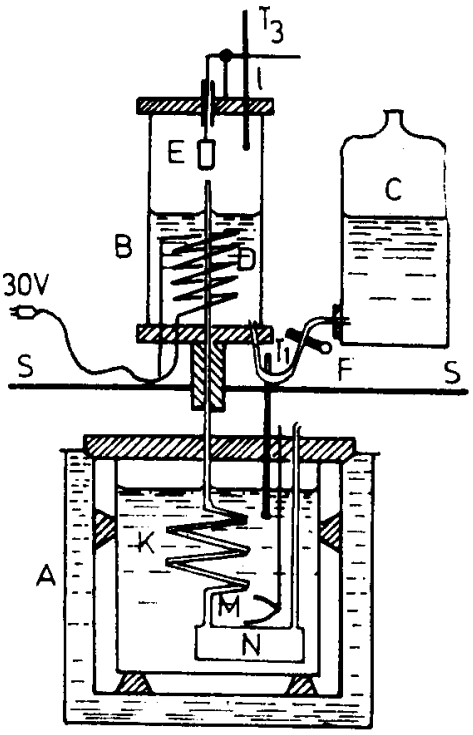
$$q = \frac{Q - Q'}{m} = \frac{M\left(t_2 - t_1\right) - mc\left(t_3 - t_2\right)}{m} \tag{1}$$

pri čemu treba uzeti da je toplotni kapacitet kalorimetra $M = 4718$ J/K, a specifični toplotni kapacitet vode $c = 4186{,}8$ J/kgK.

Potrebno je znati: Šta je toplota, a šta temperatura? Navesti moguće promene agregatnih stanja. Šta je toplota isparavanja? Šta je toplota kondenzovanja? Opisati šta se dešava kada se nekoj tečnosti dovodi izvesna količina toplote.

Opis aparature

Kalorimetar A ima unutrašnji sud u koji su smešteni kondanzator i mešalica (Sl.1). Kondenzator ima u donjem delu proširenje N u kome se skuplja kondenzovana tečnost. Jedan kraj kondenzatora vezan je gumenim crevom za cev iz koje dolazi para. Drugi kraj kondenzatora završava se slobodno i održava vezu sa atmosferom. Sud B služi za isparavanje tečnosti, a isparena tečnost se povremeno nadoknađuje iz suda C po principu spojenih sudova, otvaranjem štipaljke F. Zagrevanje tečnosti se vrši električnim grejačem D. Zatvarač E služi za upuštanje pare u kalorimetar. Kada je zatvarač u donjem položaju on naleže na cev i sprečava ulaz pare u kalorimetar, a istovremeno je preko cevi otvoren izlaz u atmosferu. U gornjem položaju zatvarača E otvara se ulaz pari u kalorimetar, a zatvara izlaz u atmosferu. Termometar T_3 pokazuje temperaturu ključanja tečnosti. Pregrada S-S štiti kalorimetar od toplotnih uticaja iz suda B.



Postupak pri merenju:

1. Izmeriti temperaturu vode u kalorimetru (t_1).
2. Uključiti ispravljač mrežnog napona u strujnu mrežu.
3. Kada zagrevana voda prokljuca otvoriti ventil za izlaz pare.
4. Paru kondenzovati 10 minuta i za to vreme stalno mešalicom mešati vodu u kalorimetru. Takođe izmeriti temperaturu pare (ključanja tečnosti) t_3.
5. Po isteku 10 minuta aparaturu isključiti prekidačem na ispravljaču iz mreže.
6. Nastaviti mešanje mešalicom dok temperatura vode u kalorimetru ne dostigne maksimum. To je temperatura t_2.
7. Zatvoriti ventil za izlaz pare i otkačiti crevo za dovod pare u kalorimetar.
8. Izvaditi poklopac kalorimetra, zajedno sa kondenzatorom i kondenzovanu tečnost isipati u menzuru. Izmeriti masu kondenzovane tečnosti m.
9. Odrediti toplotu isparavanja tečnosti prema datoj relaciji.

NAPOMENA: Obavezno zatvoriti štipaljku za dovod vode u grejani lonac!

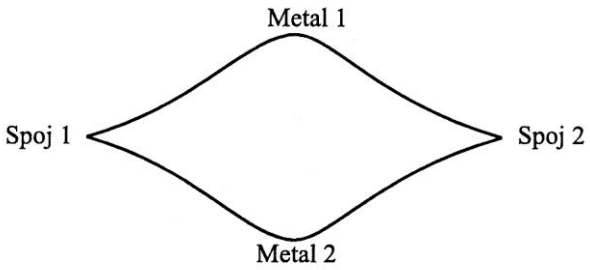
Rezultate merenja, kao i traženu vrednost toplote isparavanja vode upisati u tabelu:

t_1 (^{o}C)	
t_2 (^{o}C)	
t_3 (^{o}C)	
m (kg)	
q (J/kg)	

b) ODREĐIVANJE NEPOZNATE TEMPERATURE TERMOPAROM

Teorijski uvod

Temperatura je fizička veličina koja određuje stepen zagrejanosti nekog tela, a instrumenti za njeno merenje nazivaju se termometri. U okviru ove vežbe će biti opisano kako se za određivanje temperature tela može iskoristiti zavisnost elektromotorne sile spoja dva metala od temperature spoja, odnosno okoline u kojoj se on nalazi.



U slučaju spoja dva različita metala dolazi do razdvajanja naelektrisanja, pri čemu se ova naelektrisanja ne kreću, već su samo razdvojena. Ako u takav spoj vežemo galvanometar, on će pokazivati nulu. Međutim, ukoliko su temperature spojeva metala (t_1 za spoj 1, odnosno t_2 za spoj 2) različite, kroz kolo počinje da teče struja i to od spoja više temperature odnosno višeg potencijala, ka spoju niže temperature odnosno nižeg potencijala. Kretanje nosilaca naelektrisanja, odnosno proticanje električne struje pokazuje galvanometar, a elektromotorna sila je, u ovom slučaju, posledica pretvaranja toplotne energije u električnu. Pojava se naziva termoelektrični efekat, a ovakvo zatvoreno kolo sastavljeno od dva različita metala čiji spojevi imaju različite temperature, naziva se termoelement, termopar ili termospreg. Sama elektromotorna sila se naziva termoelektromotorna sila (obično je vrlo mala, reda veličine 10^{-6} - 10^{-3} V), a struja termostruja.

Veliki broj izvedenih eksperimenata je pokazao da je termoelektromotorna sila složena funkcija temparature, kao i da zavisi od prirode metala. Pokazalo se, takođe, da postoje spojevi kod kojih je termoelektromotorna sila u dovoljno širokom opsegu temperatura srazmerna razlici temperatura spojeva. Takvi su, npr. parovi metala *Fe – Cu*, *Pt – Fe*, *Bi – Cu*. Za njih, dakle, važi:

$$E = C\left(t_2 - t_1\right) = C\Delta t, \tag{2}$$

gde je C konstanta za dati par metala, koja predstavlja promenu termoelektormotorne sile termoelementa pri promeni temperaturne razlike spojeva za 1 ^{o}C.

Ovakvi termoelementi su pogodni za merenje temperature, pri čemu se jedan spoj termoelementa nalazi na konstantnoj temperaturi t_1, koja je poznata, a drugi u sredini čija se

temperatura t_2, meri. Merenje temperature termoelementom je veoma precizno, jer se termoelektromotorna sila može izmeriti sa velikom tačnošću, pa se tako termoelement može koristiti i kao instrument za baždarenje drugih termometara. Merenjem termoelektromotorne sile E određuje se temperaturna razlika Δt, a zatim se izračunava nepoznata temperatura t_2:

$$t_2 = t_1 + \Delta t, \tag{3}$$

ukoliko je poznata temperatura jednog spoja (sredine) t_1.

Potrebno je znati: Šta je termoelement (termopar)? Šta je temperatura? Objasniti pojavu termoelektričnog efekta. Čemu služi termoelement?

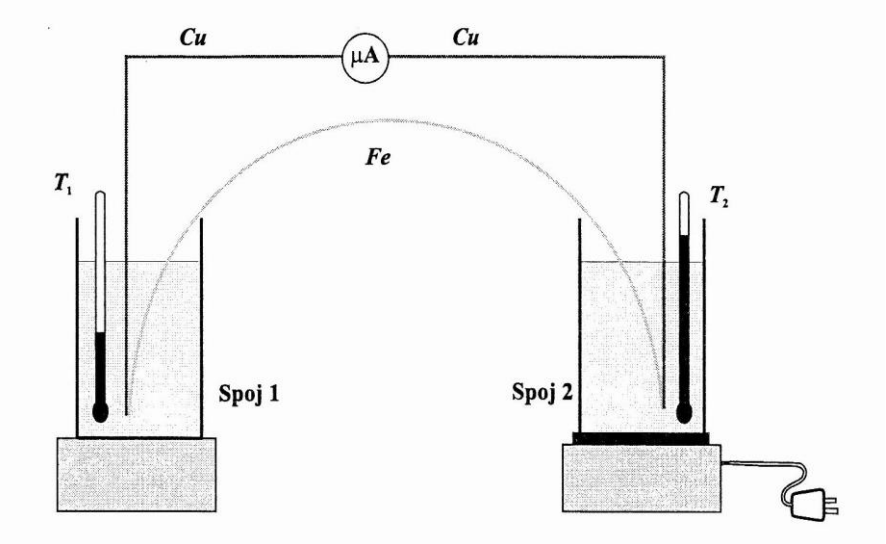
Opis aparature

Šema eksperimenta je prikazana na slici. Sastoji se od termoelementa od gvozdene i bakarne žice, dva termometra, dva staklena suda, mikroampermetra, električnog rešoa, vode i leda.

Metod merenja

Da bi pomoću termoelementa mogla da se određuje temperatura nekog tela, on se prvo mora kalibrisati. Taj postupak se izvodi na sledeći način. Jedan spoj termoelementa i termometar T_1 se stavljaju u sud sa vodom na sobnoj temperaturi t_1 (ili u sud u kome se nalazi mešavina vode i leda na 0°C), a drugi spoj i termometar T_2 u drugi sud sa vodom koji se zagreva na električnom rešou. Termoelement i mikroampermetar μA se vezuju u strujno kolo prema šemi sa slike.

Pre početka merenja treba proveriti nulu mikroampermetra, tako što se oba spoja termoelementa stavljaju u sud sa vodom na sobnoj temparaturi, jer su tada temperature spojeva jednake, a termoelektromotorna sila jednaka nuli. Ukoliko mikroampermetar registruje struju u kolu, potrebno je namestiti njegovu kazaljku na nulti podeok skale, ili očitati jačinu struje i kasnije, u toku merenja, sve merene vrednosti struje računati od te vrednosti.



Nakon podešavanja nule mikroampermetra, spoj 2 termoelementa se vraća u sud sa vodom i uključuje se električni rešo. Merenje se svodi na istovremeno čitanje temperature t_2 na termometru T_2 i jačine struje I na ampermetru. Merenje se ponavlja više puta, tako što se vrši čitanje vrednosti jačine struje pri svakom porastu temperature $\Delta t = (5 – 8)$ °C, sve dok temperatura vode u sudu ne dostugne vrednost (70 – 80) °C. Pre svakog čitanja jačine struje potrebno je skloniti sud sa rešoa i sačekati par minuta da se temperatura vode, odnosno spoja 2 termoelementa, stabilizuje.

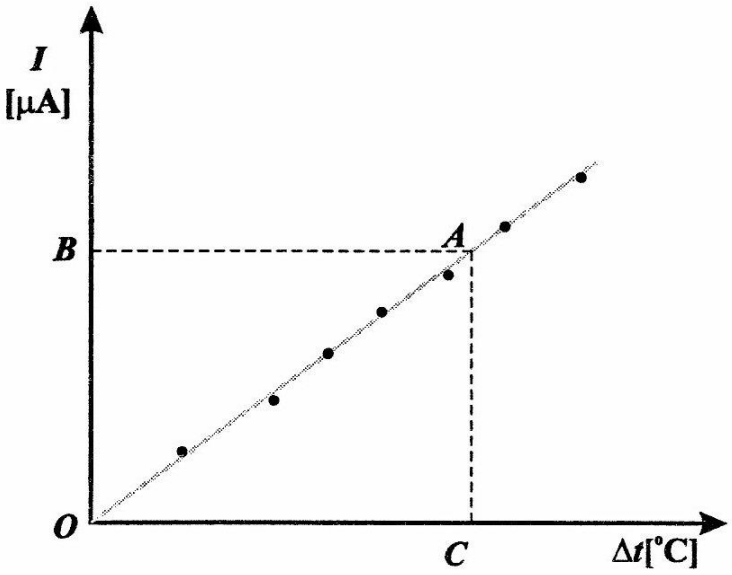
Dobijeni rezultati se unose u tabelu i crta se zavisnost jačine struje od temperaturne razlike. Ova zavisnost je, što se iz ranije iznetog može zaključiti, prava linija (slika) i naziva se kalibraciona linija termopara.

Zadatak vežbe: Određivanje nepoznate temperature

1. Izvršiti kalibraciju termopara na način opisan u metodama merenja.
2. Posle izvršenog postupka kalibracije, spoj 2 termoelementa se stavlja u sud sa vodom čiju temperaturu t_x treba odrediti i pročita se jačina struje I_x na mikroampermetru.
3. Naći tu vrednost jačine struje na grafiku (slika) i sa njega očitati vrednost temperaturne razlike Δt_x koja joj odgovara.
4. Tražena temperature t_x je $t_x = t_1 + \Delta t_x$.
5. Nepoznatu temperaturu vode izmeriti i termometrom i tu vrednost upotrebiti za određivanje i analizu grešaka merenja.

Redni broj	t_1 (°C)	t_2 (°C)	I (μA)	$\Delta t = t_2 - t_1$ (°C)
1		30		
2		40		
3		50		
4		60		
5		70		
6		80		
7		90		

Na osnovu tabele nacrtati grafik $I = f(\Delta t)$, i sa njega odrediti nepoznatu temperaturu vode.



$$t_x = t_1 + \Delta t_x = t_1 + \mathrm{OC} = _____ + _____ \ (°\mathrm{C}) = _____ \ °\mathrm{C}.$$

5. VEŽBA

a) ODREĐIVANJE BRZINE ZVUKA U VAZDUHU

Teorijski uvod

Kada se dva talasa iste talasne dužine prostiru istim pravcima, ali suprotnim smerovima javlja se poseban slučaj interferencije i kao rezultat ovakve superpozicije obrazuje se stojeći talas. Duž pravca prostiranja stojećeg talasa se naizmenično ređaju čvorovi (mesta gde se dva talasa međusobno maksimalno kompenzuju i, u idelnom slučaju, u čvoru stojećeg talasa nema rezultujućih oscilacija) i trbusi (mesta gde se oscilacije dva talasa maksimalno pojačavaju i daju maksimalne amplitude stojećeg talasa) na stalnom međusobnom rastojanju od polovine talasne dužine. Mesta gde se nalaze čvorovi i trbusi stojećeg talasa ne menjaju svoj položaj u prostoru, tj. ostaju na istom mestu. U specijalnom slučaju kada talas posle drugog odbijanja padne u fazu sa prvobitnim talasom nastaje samopojačavanje talasa pri njihovoj interferenciji. Tada stojeći talas dobija izraziti oblik i velike amplitude, a takav slučaj se naziva rezonancija. Štap ili vazdušni stub u cevi ograničene dužine se naziva rezonatorom. Kada nastupi specijalni slučaj da talas posle dva odbijanja pada u u fazu sa prvobitnim talasom javiće se izraziti stojeći talasi sa velikim amplitudama što odgovara procesu rezonancije, pa otuda i potiče naziv rezonancije, odnosno rezonatora.

U slučaju kada je rezonator vazdušni stub zatvoren na jednom kraju, ovakav specijalni slučaj rezonancije javiće se onda kada je dužina rezonatora jednaka celom neparnom umnošku četvrtine talasne dužine stojećeg talasa. Ako dužinu rezonatora označimoa sa l, važiće:

$$l = (2n+1)\frac{\lambda}{4} = (2n+1)\frac{c}{4\nu}, \tag{1}$$

gde je $n = 0, 1, 2, \ldots$, c brzina prostiranja talasa i ν frekvencija talasa. Pri tome je iskorišćena činjenica da je brzina zvuka povezana sa talasnom dužinom i frekvencijom relacijom:

$$c = \lambda\nu. \tag{2}$$

Pošto je n bilo koji ceo broj, onda se u jednom rezonatoru može javiti više slučajeva rezonancije. U ovom slučaju brzina zvuka se određuje merenjem talasne dužine iz uslova rezonancije zvučne viljuške poznate frekvencije i vazdušnog stuba u cevi.

Ako se postigne prva rezonancija (osnovni harmonik) pri dužini vazdušnog suba l_1, a sledeća pri dužini l_2 imamo da je $\lambda / 2 = l_2 - l_1$, pa je, na osnovu prethodne relacije:

$$c = 2\nu(l_2 - l_1), \tag{3}$$

gde je ν rezonantna frekvencija, koja je jednaka frekvenciji zvučne viljuške.

Potrebno je znati: Šta je stojeći talas? Šta je čvor, a šta trbuh stojećeg talasa? Kada nastupa rezonancija? Koji je uslov za rezonanciju stojećeg talasa koji se formira u vazdušnom stubu zatvorenom na jednom kraju? Koja je veza između brzine prostiranja talasa, talasne dužine i frekvencije? Šta je talasna dužina i koja je njena jedinica?

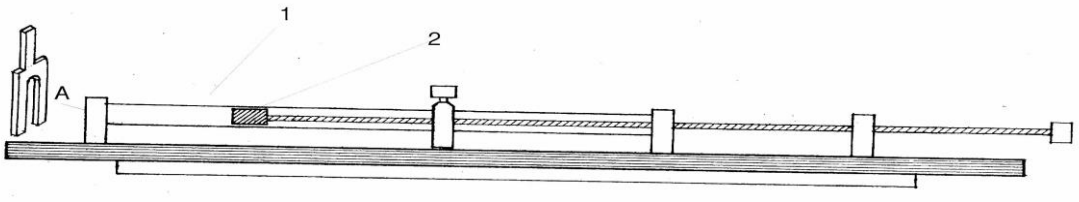
Metod merenja

a) Dovesti pokretni klip 2 u krajnji levi položaj, odnosno što bliže kraju A cevi 1. Udarcem gumenog čekića pobuditi na oscilovanje zvučnu viljušku, a zatim je prineti kraju A cevi 1.

b) Držeći jednom rukom zvučnu viljušku na gore opisani način, drugom rukom sporo pomerati klip udesno sve dok se prvi put ne čuje pojačan zvuk, koji pokazuje da je došlo do rezonancije zvučnih oscilacija vazduha u cevi i zvučne viljuške. Tada se izmeri dužina vazdušnog stuba l_1, koja je jednaka rastojanju od kraja A cevi do klipa 2. Ovaj postupak ponoviti najmanje 5 puta i sve vrednosti upisati u tebelu.

c) Ponoviti postupak pod a), a zatim nastaviti sa laganim pomeranjem klipa 2 udesno dok se ne čuje pojačan zvuk ali na većem rastojanju nego pri merenju l_1. To je dužina l_2, čije se merenje vrši na potpuno isti način kao i za l_1.

d) Nakon upisivanja rezultata merenja u tabelu, za svaku kombinaciju l_1 i l_2, korišćenjem obrasca $c = 2\nu(l_2 - l_1)$, izračunati vrednosti brzine zvuka u vazduhu, a zatim pristupiti određivanju grešaka merenja.



R.br	l_1 (m)	l_2 (m)	c (m/s)	c_{sr} (m/s)	Δc (m/s)	δ_c (%)	σ_c (m/s)
1							
2							
3							
4							
5							

$$c = (_____ \pm _____) \text{ m/s.}$$

b) PRIMENA ZAKONA GEOMETRIJSKE OPTIKE I PRINCIP RADA OPTIČKIH INSTRUMENATA

Teorijski uvod

Svetlost je elektromagnetni talas čija brzina zavisi od električnih i magnetnih osobina sredine kroz koju se prostire. Ljudsko oko može da registruje talasne dužine svetlosti u opsegu od 380 nm do 760 nm. Kada je talasna dužina svetlosti mnogo manja od dimenzija objekta, zakoni kojima se opisuje kretanje svetlosti mogu se formulisati preko geometrijskih zakona i ova grana optike se naziva geometrijskom optikom.

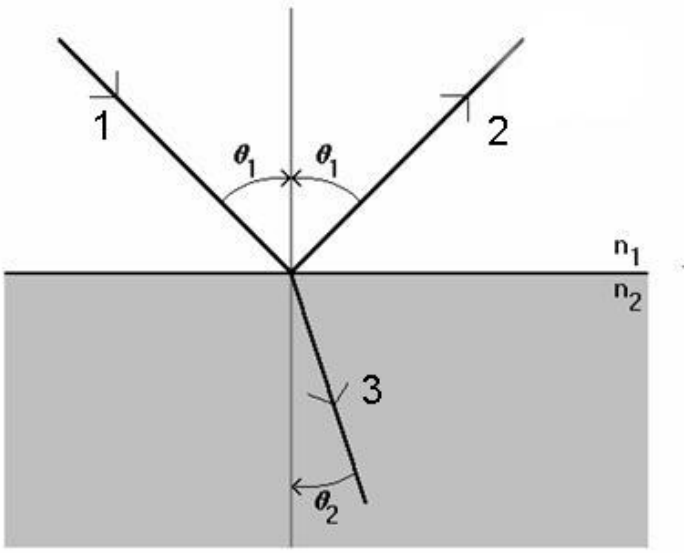
Osnovni zakoni geometrijske optike jesu:

1. zakon pravolinijskog prostiranja svetlosti
2. zakon nezavisnog prostiranja svetlosnih zraka
3. zakon odbijanja svetlosti
4. zakon prelamanja svetlosti.

1. U homogenim sredinama zraci se prostiru duž pravih linija. Zakon ne važi kada svetlost nailazi na male otvore i prepreke, tada se primenjuju zakoni talasne optike.

2. Svetlosni zraci ne utiču jedni na druge u mestima njihovog ukrštanja. Ovo ne važi za laserske zrake.

Pre formulisanja trećeg i četvrtog zakona neophodno je uvesti neke pojmove.



Pri prelasku svetlosti iz jedne u drugu sredinu, na granici te dve sredine, deo svetlosti se odbija ili reflektuje, a deo se prelama u drugu sredinu. Svetlost koja pada na granicu dve sredine

predstavljena je upadnim zrakom (1), dok je odbijena svetlost predstavljena reflektovanim zrakom (2). Svetlost koja je prešla u drugu sredinu se predstavlja prelomnim zrakom (3). Uglovi predstavljeni na slici su uglovi koje pravci zraka zaklapaju sa normalom na graničnu površinu dve sredine i to su: upadni ugao θ_1, reflektovani ugao θ_1 i prelomni ugao θ_2.

3. Zakon odbijanja za svetlosni zrak koji pada na graničnu površinu dve sredine različitih optičkih gustina glasi da je upadni ugao jednak odbojnom uglu.

Upadni, odbojni zrak i normala na graničnu povrčinu leže u istoj ravni.

4. Indeks prelamanja neke sredine predstavlja odnos brzine prostiranja svetlosti u vakuumu i nekoj sredini:

$$n = \frac{c_{\text{vakuum}}}{c_{\text{sredina}}}. \tag{1}$$

Zakon prelamanja (Snelijus-Dekartov zakon) glasi da kada svetlost pada na graničnu površinu dve transparentne sredine, indeksa prelamanja n_1 i n_2 (kao na slici), sinusi upadnog i prelomnog ugla se odnose kao:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2. \tag{2}$$

Potrebno je znati: Šta je svetlost? Navesti i objasniti osnovne zakone geometrijske optike. Šta je indeks prelamanja svetlosti? Objasniti optičarsku jednačinu sabirnog sočiva. Šta je žižna daljina i koja je njena jedinica? Šta je optička moć sočiva i koja je njena jedinica?

Uputstvo za rad:

NAPOMENA: <u>NIKAKO NE USMERAVATI LASERSKI SNOP KA OČIMA!!!</u>

1. Postaviti magnetnu tablu na radnu površinu stola.

2. Uključiti laser preko adaptera u struju. Dugme on/mode/off na laserskoj kutiji reguliše broj zraka koji izlazi iz kutije.

3. Na magnetnu tablu postaviti podlogu F tako da su nule na podlozi okrenute ka kraćim stranama table.

4. Na podlogu F staviti ravno ogledalo (RO) tako da se ivica duže strane poklapa sa pravcem na podlozi koji spaja nule (0-0).

5. Pritiscima na dugme laserske kutije obezbediti da iz kutije izlazi samo jedan laserski zrak i usmeriti ga na površinu ogledala tako da zrak udara u mesto gde se seku ravan ogledala i pravac (90-90) na podlozi.

6. Kakav je odnos upadnog i odbijenog zraka? (Zaokružite tačana odgovor)

a) upadni ugao je veći,

b) odbijeni je veći,

c) jednaki su,

d) ne važi nijedan od tri gore ponuđena odgovora.

7. Sa podloge skloniti ravno ogledalo i postaviti sabirno sočivo (2) tako da se njegova duža osa poklapa sa pravcem (0-0). Usmeriti svih pet laserskih zraka ka sočivu tako da su paralelni pravcu (90-90). Ponoviti postupak za rasipno sočivo (5). Kako se ponašaju zraci posle prolaska kroz jedno, a kako posle prolaska kroz drugo sočivo?

8. Skloniti sočiva sa podloge i na nju staviti konkavno ogledalo KO1 na isto mesto na kome su bila postavljena sočiva. Usmeriti laserske zrake ka ogledalu tako da su paralelni sa pravcem (90-90). Tačka u kojoj se seku odbijeni zraci se naziva žiža, a rastojanje do ogledala žižna daljina *f*. Izmeriti žižnu daljinu.

f =_____ cm.

Zakrivljena površina ogledala se može shvatiti kao deo velikog kružnog prstena čiji je poluprečnik *R* i naziva se poluprečnikom krivine ogledala. Poluprečnik krivine datog konkavnog ogledala je

$R = 2f$ =_____ cm.

9. Skloniti ogledalo sa podloge. Na podlogu staviti sočivo PS tako da mu se ravna strana poklapa sa pravcem (0-0). Lasersku kutiju postaviti tako da zraci padaju prvo na ravnu stranu i namestiti da kutiju napušta samo jedan zrak. Neka zrak pada na ravan sočiva PS u tački gde se seku pravci (0-0)

i (90-90) pod proizvoljno određenim upadnim uglom θ_1. Mogu se zapaziti upadni, odbojni i prelomni zrak. Izmeriti prelomni ugao θ_2. Na osnovu jednačine (1) i znajući da je indeks prelamanja vazduha $n_1 \approx 1$, izračunati indeks prelamanja materijala sočiva.

$\theta_1 =$ _____^{0}

$\theta_2 =$ _____^{0}

$n_2 =$ _____

10. Okrenuti sočivo PS tako da se ravna površina i dalje poklapa sa pravcem (0-0), ali da je sada zakrivljena strana okrenuta ka laserskoj kutiji. Neka laserski zrak po prolasku kroz zakrivljenu stranu sočiva pada na ravan kraj u tački preseka pravaca (0-0) i (90-90). Može se zapaziti da zrak napušta sočivo na drugom kraju. Održavajući uslov da zrak sve vreme na ravan kraj sočiva pada u istoj tački, rotirati lasersku kutiju do momenta dok zrak ne napušta sočivo sa druge strane. Nastala pojava naziva se totalna refleksija, a upadni ugao za koji se ona prvi put primećuje naziva se graničnim uglom totalne refleksije. Izmeriti njegovu vrednost.

$\alpha_g =$ _____^{0}

11. Na podlogu postaviti sočivo OV tako da mu se duža osa poklapa sa pravcem (90-90). Jedan laserski zrak usmeriti ka kraćoj strani sočiva pod nekim proizvoljnim uglom. Pojava totalne refleksije se koristi pri izradi optičkih vlakana. Optička vlakna jesu dielektrične niti kružnog preseka koja se sastoje od dva sloja, unutrašnjeg-jezgra i spoljašnjeg-omotača vlakna. Indeks prelamanja jezgra je nešto veći od indeksa prelamanja omotača. Svetlosni zraci koji ulaze u jezgro vlakna pod malim uglom, nailaze na optički ređu sredinu na granici jezgra i omotača, pod uglom koji je veći od graničnog usled čega dolazi totalne refleksije. Pojednostavljeni prikaz rada optičkog vlakna može se videti pri prostiranju zraka kroz sočivo OV.

12. Skloniti podlogu F i umesto nje staviti podlogu A. Na mestu obeleženom u te svrhe staviti sočivo 1. Ka sočivu usmeriti pet zraka normalno na sočivo. Posle prelamanja zraci se seku u žutoj mrlji. Ovime je predstavljen model normalnog oka.

13. Umesto sočiva 1 staviti sočio 2. Prelomljeni zraci se seku ispred žute mrlje (kratkovidost). Korekcija se vrši dodavanjem rasipnog sočiva 5.

14. Skloniti sočiva i staviti sočivo 3. Prelomljeni zraci se seku iza žute mrlje (dalekovidost). Korekcija se vrši dodavanjem sabirnog sočiva 4.

15. Skloniti sočiva i umesto njih postaviti plankonveksno sočivo PK2. Linija koja prolazi kroz sredinu sočiva se naziva glavnom optičkom osom. Ka sočivu usmeriti tri laserska zraka sa najvećim mogućim međusobnim udaljenjem. Primetiti da se zraci ne seku u istoj tački. Zatim ka sočivu usmeriti tri zraka sa najmanjim mogućim međusobnim udaljenjem. Zraci se seku u istoj tački. Primećena pojava se naziva sferna aberacija i posledica je nesavršenosti optičkih sredstava. Naime, što su zraci koji padaju na sočivo dalje od optičke ose, tj. bliže ivicama sočiva, zakoni geometrijske optike su sve manje primenljivi.

16. Na magnetnu tablu staviti podlogu D (šemu Keplerovog teleskopa). Staviti odgovarajuća sočiva. Ka sočivim usmeriti tri laserska zraka. Zaklanjanjem jednog od laserskih zraka utvrditi da li teleskop daje uspravan ili obrnut lik.

Keplerov teleskop daje _____ lik.

17. Na tablu staviti podlogu C (šema Galilejevog telskopa) i preko nje odgovarajuća sočiva. Ka sočivima usmeriti tri zraka i na isti način kao iz prethodnog koraka utvrditi da li teleskop daje uspravan ili obrnut lik.

Galilejev teleskop daje _____ lik.

18. Na tablu staviti podlogu B (šema analognog fotoaparata). Staviti odgovarajuće sočivo. Usmeriti tri zraka ka sočivu. Zraci se usmeravaju sočivom i padaju na film. Umesto filma kod digitalnih aparata nalaze se senzori koji intenzitet svetlosti pretvaraju u električne impulse.