LABORATORIJSKI PRAKTIKUM - FIZIKA

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) **Proveravanje Bojl-Mariotovog zakona**
   b) **Određivanje odnosa** c_p / c_v **za vazduh**

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

5. VEŽBA - a) **Određivanje brzine zvuka u vazduhu**
   b) **Određivanje koeficijenta viskoznosti glicerina Štoksovom metodom**

6. VEŽBA - a) **Primena zakona geometrijske optike i princip rada optičkih instrumenata**
   b) **Određivanje indeksa prelamanja svetlosti pomoću mikroskopa**

UPUTSTVO ZA IZRADU LABORATORIJSKIH VEŽBI IZ FIZIKE

1. Na početku opisa svake vežbe nalazi se teorijski uvod koji mora da se zna. Takođe, poželjno je koristiti i dodatnu literaturu!
2. Prilikom izrade vežbi koristiti uputstva koja su data u ovom praktikumu, a za sve nejasnoće obratiti se predmetnom asistentu.
3. Izveštaj o urađenoj laboratorijskoj vežbi, koji sadrži izmerene i izračunate vrednosti, kao i, eventualno, grafiik, se piše ISKLJUČIVO u svesci formata A4 koja služi SAMO za to!
4. Grafici se crtaju isključivo rukom na milimetarskom papiru (NE uz pomoć računara!), i moraju biti ZALEPLJENI u okviru odgovarajućeg izveštaja.
5. U tabelama se, pored kolona u kojima se beleže izmereni podaci, popunjavaju i kolone u kojima se unosi srednja vrednost i odstupanja u merenju.

Uzmimo primer merenja neke dužine, i pretpostavimo da su pri merenju dobijene sledeće vrednosti:

$$s_1 = 0.010\text{ m},\ s_2 = 0.0114\text{ m},\ s_3 = 0.0975\text{ m},\ s_4 = 0.1233\text{ m},\ s_5 = 0.12\text{ m}.$$

Srednja vrednost merenja je:

$$s_{sr} = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + s_5}{broj\ merenja} = 0.11096\text{ m}.$$

Apsolutna odstupanja Δs predstavljaju apsolutne razlike izmerenih vrednosti i srednje vrednosti:

$$\Delta s_1 = |s_1 - s_{sr}| = 0.01096\text{ m},\ \Delta s_2 = |s_2 - s_{sr}| = 0.00304\text{ m},\ \Delta s_3 = |s_3 - s_{sr}| = 0.01346\text{ m},$$
$$\Delta s_4 = |s_4 - s_{sr}| = 0.01234\text{ m},\ \Delta s_5 = |s_5 - s_{sr}| = 0.00904\text{ m}.$$

Relativna odstupanja predstavljaju odnos apsolutnih odstupanja i srednje vrednosti, i mogu se izraziti u procentima (relativna procentualna odstupanja) $\delta_s(\%)$:

$$\delta_{s1} = \frac{\Delta s_1}{s_{sr}} \cdot 100\% = 9.88\ \%,\ \delta_{s2} = \frac{\Delta s_2}{s_{sr}} \cdot 100\% = 2.74\ \%,\ \delta_{s3} = \frac{\Delta s_3}{s_{sr}} \cdot 100\% = 12.13\ \%,$$

$$\delta_{s4} = \frac{\Delta s_4}{s_{sr}} \cdot 100\% = 11.12\ \%,\ \delta_{s5} = \frac{\Delta s_5}{s_{sr}} \cdot 100\% = 8.15\ \%.$$

Standardna devijacija (srednje kvadratno odstupanja) σ je:

$$\sigma_s = \pm\sqrt{\frac{(\Delta s_1)^2 + (\Delta s_2)^2 + (\Delta s_3)^2 + (\Delta s_4)^2 + (\Delta s_5)^2}{broj\ merenja - 1}} = 0.01167\text{ m}.$$

Nakon završenih merenja i računanja, popunjena tabela bi trebalo da izgleda ovako:

R. broj merenja	s (m)	s_{sr} (m)	Δs (m)	δ_s (%)	σ_s (m)
1	0.10		0.01096	9.88	
2	0.114		0.0304	2.74	
3	0.0975	0.11096	0.01346	12.13	0.01167
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 srednje kvadratnim odstupanjem (iz teorije grešaka, verovatnoća da vrednost merenja bude u ovom intervalu je 68 %):

$$s = \left(s_{sr} \pm \sigma_s\right)\mathrm{m} = \left(0.11096 \pm 0.01167\right)\mathrm{m}.$$

VAŽNE NAPOMENE:

1. Prilikom bilo kakvog računanja neophodno je jedinice izmerenih veličina pretvoriti u jedinice SI sistema.
2. Nakon što je vežba urađena i izveštaj kompletiran, on se predaje predmetnom asistentu na pregled i ocenu.
3. Neophodno je da student ima overenih svih šest vežbi.

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, težina tela ili sila gravitacije. Težina tela, kojom telo deluje na podlogu ili na nit o koju je obešeno, može se izraziti na sledeći način: $Q = mg$. Vektori Q i g imaju isti pravac i smer i orijentisani su prema centru Zemlje.

Matematičko klatno je telo obešeno o neistegljivu nit, čije se dimenzije mogu zanemariti 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:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\,, \qquad (1)$$

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

$$g = 4\pi^2\frac{l}{T^2}\,, \qquad (2)$$

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

Potrebno je znati: Šta je Zemljina teža? Šta je ubrzanje Zemljine 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 oscilavanja, 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 za mali ugao (voditi računa da se ne jave eliptične oscilacije klatna!) i meriti vreme trajanja određenog broja oscilacija τ.
3. Postupak ponoviti 5 puta za različite vrednosti broja oscilacija (između 30 i 50).

4. Izračunati ubrzanje Zemljine teže pomoću izraza (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								
2								
3								
4								
5								

$$g = (g_{sr} \pm \sigma_g)\ \mathrm{ms}^{-2} = (\_\_\_\_\_\_\_ \pm \_\_\_\_\_\_)\ \mathrm{ms}^{-2}$$

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, delimično plastične i potpuno plastične. Tela koja ne menjaju oblik pod dejstvom sila, tj. ne deformišu se nazivamo krutim telima.

Potpuno elastična deformacija je ona kod koje se po prestanku dejstva sile telo vraća u prvobitni oblik i ima prvobitne dimenzije. Ako to nije slučaj, deformacija je ili delimično ili potpuno plastična.

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

$$\sigma = E\delta ,$$

i ovo predstavlja matematički oblik Hukovog zakona za elastičnu deformaciju tela.

U slučaju elastične defomacije (istezanja) žice, možemo pisati

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

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. Hukov zakon za elastično istezanje žice se može predstaviti i u obliku:

$$\Delta l = kF ,$$

gde je k koeficijent koji zavisi od vrste materijala, prečnika i dužine žice, i on predstavlja koeficijent pravca ove prave.

Za Jungov modul elastičnosti se dobija:

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

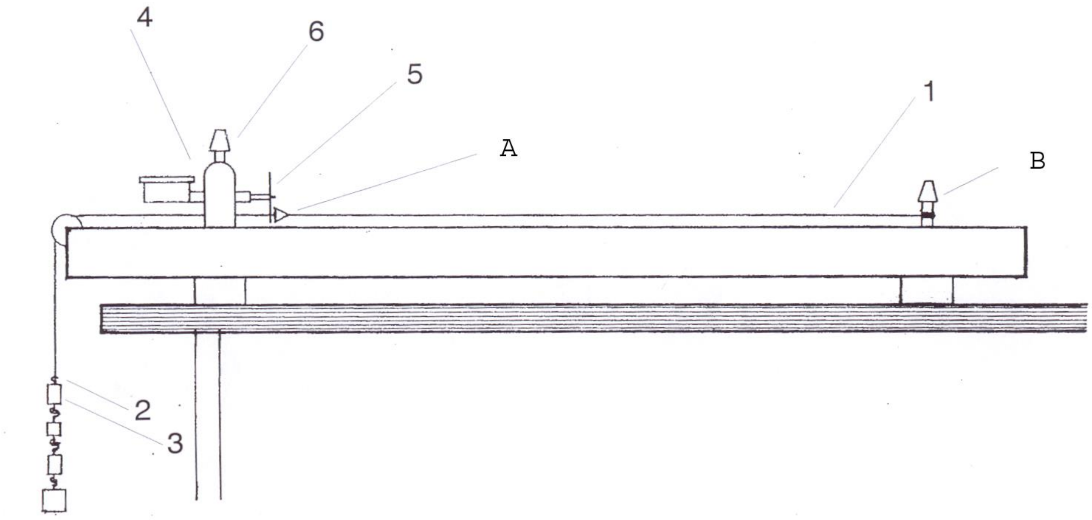
pri čemu za žicu prečnika d i dužine l, opterećenu tegom mase m, sila iznosi $F = mg$, a površina poprečnog preseka $S = \pi d^2/4$ (zanemaruje se promena površina poprečnog preseka žice pri istezanju).

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:

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

b) Mikrometarskim zavrtnjem izmeriti prečnik žice *d*.



LEGENDA:

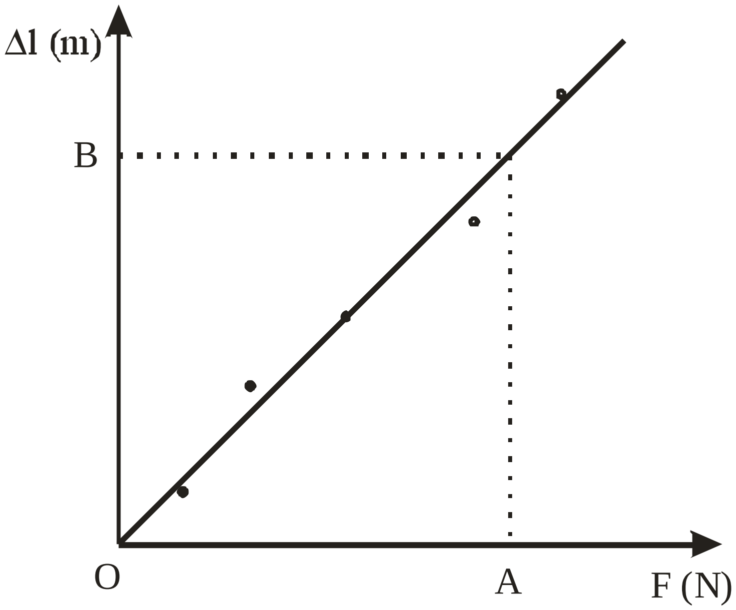
1- metalna žica
2- kuka za zakačivanje tegova
3- teg za zatezanje žice (500 g)
4- komparator
5- disk
6- zavrtanj za fiksiranje komparatora
A- tačka učvršćenja žice
B- tačka oslanjanja žice.

Merenje apsolutnog istezanja žice Δl i određivanje koeficijenta *k*:

a) O teg (3) okačiti najmanji teg, sačekati par minuta, a zatim očitati vrednost na komparatoru, 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			
2			
3			
4			
5			

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



b) Na osnovu grafika izračunati Jungov modul elastičnosti *E* po obrascu:

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

2. VEŽBA

a) ODREĐIVANJE MOMENTA INERCIJE TELA POMOĆU TORZIONOG KLATNA

Teorijski uvod

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

Ako je telo homogeno (gustina tela je ista u svakom njegovom delu) i pravilnog geometrijskog oblika (sfera, valjak, štap, ...), moment inercije se može izračunati pomoću izraza:

$$I = \int r^2 dm = \int r^2 \rho dV ,$$

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

U narednoj tabeli su prikazani momenti inercije nekih pravilnih geometrijskih tela u slučaju kada osa rotacije prolazi kroz centar mase tela (to je tzv. težišna osa):

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

Kada telo rotira oko ose koja je paralelna težišnoj osi, za izračunavanje momenta inercije tela primenjuje se Štajnerova teorema, koja glasi:

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

$$I = I_0 + md^2 .$$

Ako je telo nepravilnog oblika, moment inercije je teško, a ponekad i nemoguće izračunati, pa se on u tom slučaju 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?

Torzija predstavlja upredanje (uvijanje, uvrtanja) tela. Kada se žica od elastičnog materijala uprede u njoj se javlja moment sprega *M*, koji teži da žicu vrati u prvobitni položaj, i on je proporcionalan uglu upredanja:

$$M = c\alpha \,,$$

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

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

$$T = 2\pi\sqrt{I/c} \,,$$

gde je I – moment inercije tela koje je obešeno o žicu. Na ovaj način se može izračunati torziona konstanta žice c ako je poznat moment inercije tela I i period oscilovanja torzionog klatna T:

$$c = 4\pi^2 I / T^2 \,.$$

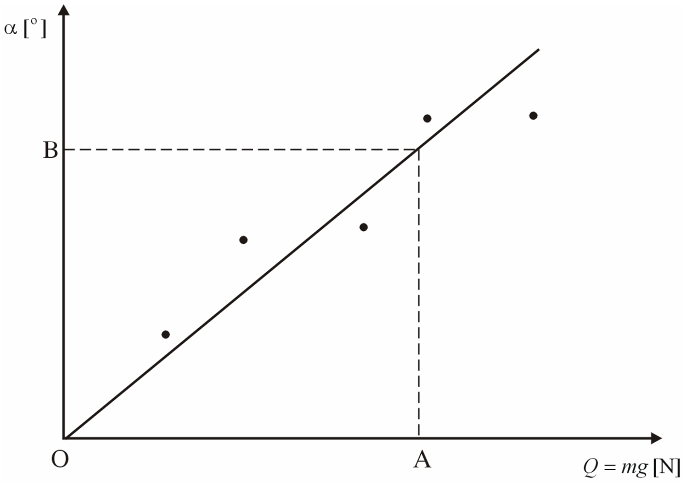
I) Određivanje torzione konstante žice

1. Prečnik cilindričnog tega iznosi $d = 4,2\,\mathrm{cm}$.
2. Na donji kraj žice koja visi sa vrha drvenog rama pričvrstiti cilindrični teg pomoću zavrtnja. Kazaljka (ispupčenje) 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, pri čemu 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 (^{0})	$Q = mg$ (N)
1	0,01		
2	0,02		
3	0,03		
4	0,05		
5	0,06		
6	0,08		
7	0,1		

Ubrzanje Zemljine teže $g = 9.81\,\mathrm{ms}^{-2}$.

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



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

$$c = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\ \mathrm{Nm}.$$

II) Određivanje momenta inercije tela

1. Skinuti cilindrični teg i tasove i na donji kraj žice pomoću zavrtnja pričvrstiti priloženo telo nepravilnog oblika, čiji moment inercije treba odrediti.
2. Pomoću točka na ramu telo izvesti iz ravnotežnog položaja i hronometrom izmeriti vreme trajanja 30 oscilacija. Merenje ponoviti 5 puta, i na osnovu rezultata merenja izrašunati period oscilovanja
3. Znajući torzionu konstantu žice c (koja je određena u prvom delu vežbe) i period oscilovanja T, odrediti moment inercije priloženog tela I:

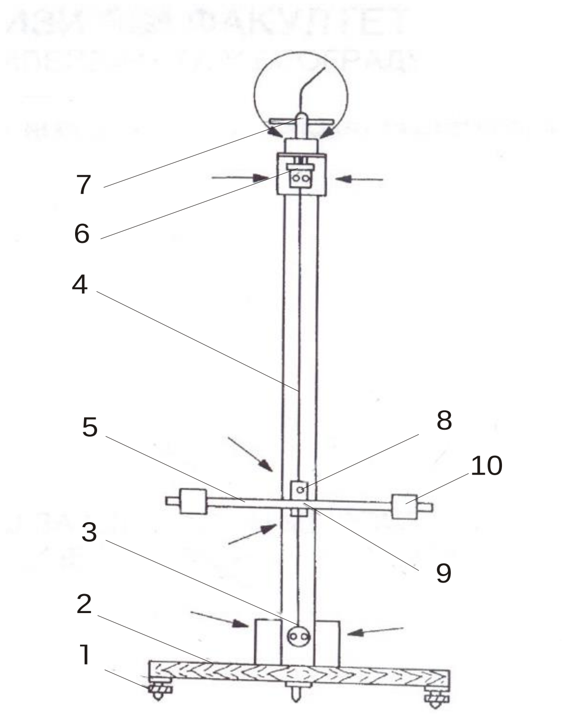
$$I = \frac{cT^2}{4\pi^2}.$$

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							

$$I = (\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \pm \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_)\ \mathrm{kgm}^2.$$

b) ODREDJIVANJE MOMENTA INERCIJE TELA PRIMENOM ŠTAJNEROVE TEOREME

Uputstvo za rad:



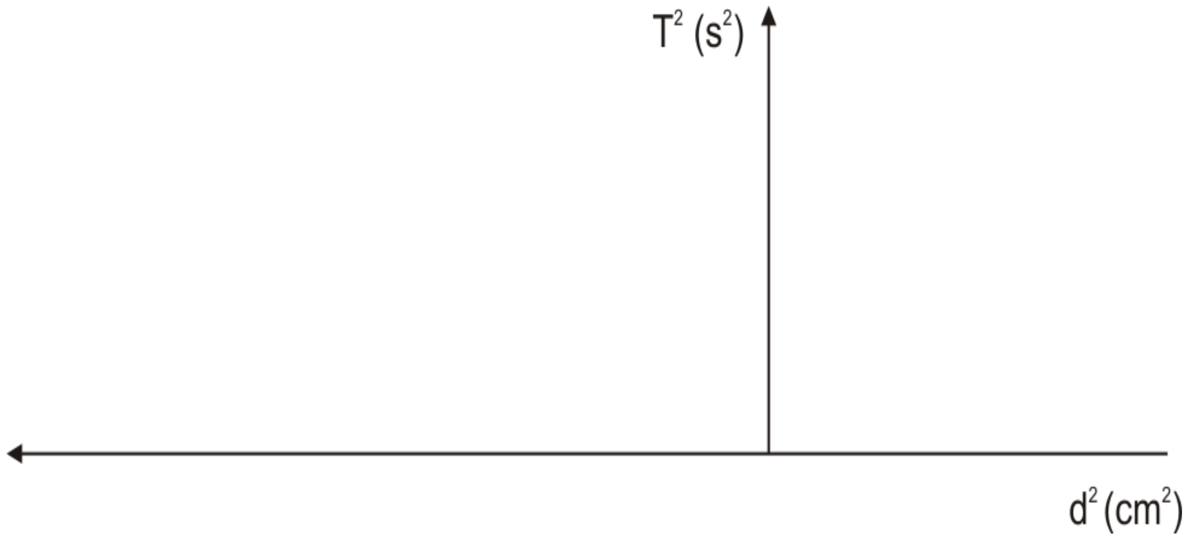
LEGENDA:

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.

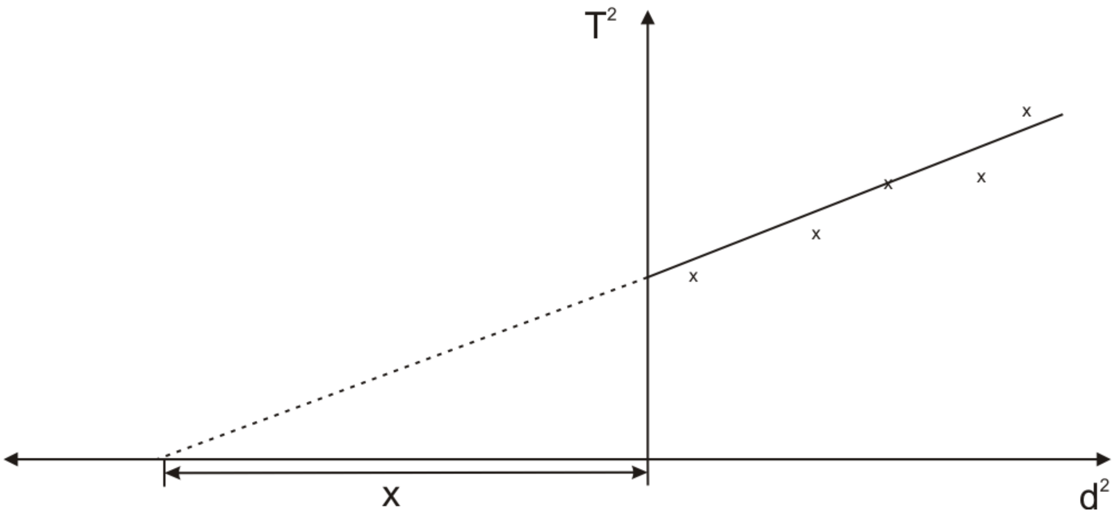
1. Sa uzorka 5 skinuti jedan valjak 10 i pomoću nonijusa (šublera) izmeriti njegov unutrašnji (D_1) i spoljašnji prečnik (D_2) i visinu valjka (H). Masa valjka je $m = 50\ g$.
2. Na osnovu izmerenih vrednosti izračunati vrednost momenta inercije I_0 valjka u odnosu na osu koja prolazi kroz centar mase valjka normalno na njegovu težišnu osu:
3. $I_0 = \frac{m}{16}\left(D_1^2 + D_2^2 + 1.33H^2\right) =$ ___________ kgm^2 .
4. Postaviti valjak na uzorak 5 tako da oba valjka budu podjedanko udaljena od zavrtnja 9.
5. Izmeriti rastojanje d od zavrtnja na valjku do držača 9.
6. Uzorak 5 izvesti iz ravnotežnog položaja tako da počne da osciluje u horizontalnoj ravni i meriti vreme trajanja 30 oscilacija.
7. Vreme trajanja 30 oscilacija izmeriti za 5 različitih vrednosti d.

R. broj	$\tau_{30}\ (s)$	$d\ (cm)$	$d^2\ (cm^2)$	$T = \tau_{30}/30\ (s)$	$T^2\ (s^2)$
1					
2					
3					
4					
5					

Zavisnost $T^2 = f(d^2)$ 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:

$I_x = 2(|x|m - I_0) =$ _____________ kgm^2.

3. VEŽBA

a) PROVERAVANJE BOJL-MARIOTOVOG ZAKONA

Teorijski uvod

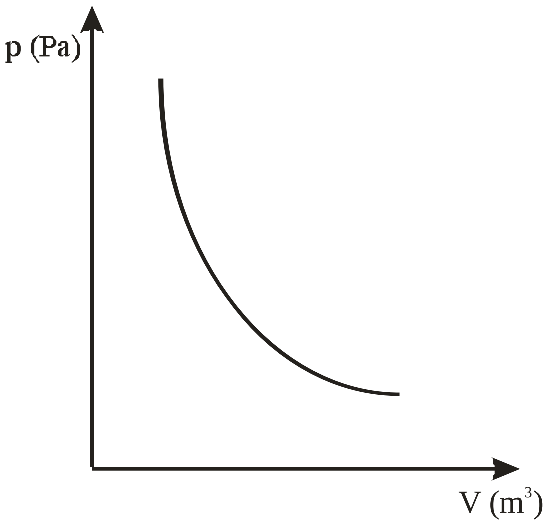
Pri proučavanju gasova uglavnom se koristi model idealnog gasa, pa se i zakoni o kojima će biti reči odnose na tu aproksimaciju. Kod idealnog gasa smatra se da je zapremina molekula zanemarljiva u odnosu na zapreminu suda u kome se gas nalazi. Osim toga, dejstvo međumolekularnih sila se zanemaruje, a sudar između molekula gasa i zidova suda, kao i između samih molekula gasa, smatra se savršeno elastičnim.

Ponašanje idealnih gasova se može opisati pomoću nekoliko zakona: Bojl-Mariotov, Gej-Lisakov, Šarlov, Avogadrov i Daltonov zakon.

Bojl-Mariotov zakon glasi: pri konstantnoj temperaturi zapremina date količine gasa obrnuto je srazmerna pritisku, ili proizvod pritiska i zapremine određene količine gasa pri stalnoj temperaturi je konstantan i može se matematički izraziti

$$pV = const.\,(T = const., m = const.)$$

Na p-V dijagramu ovaj zakon se predstavlja jednostranom hiperbolom koja se naziva izoterma.



Gej-Lisakov zakon se odnosi na slučaj konstantnog pritiska, i može se izraziti u obliku: $V = V_0(1+\gamma\, t), (p = const.)$, gde je V_0 zapremina gasa na 0 °C, V zapremina gasa na t °C, a γ termički (toplotni) koeficijent zapreminskog širenja gasa koji iznosi 1/273 K^{-1}. Na p-V dijagramu ovaj proces se može prikazati pravom koja se naziva izobara.

Šarlov zakon se odnosi na konstantnu zapreminu i može se izraziti u obliku: $p = p_0(1+\gamma\, t), (V = const.)$, gde je p_0 pritisak gasa na 0 °C, p pritisak gasa na t °C. Na p-V dijagramu ovaj proces se može prikazati pravom koja se naziva izohora.

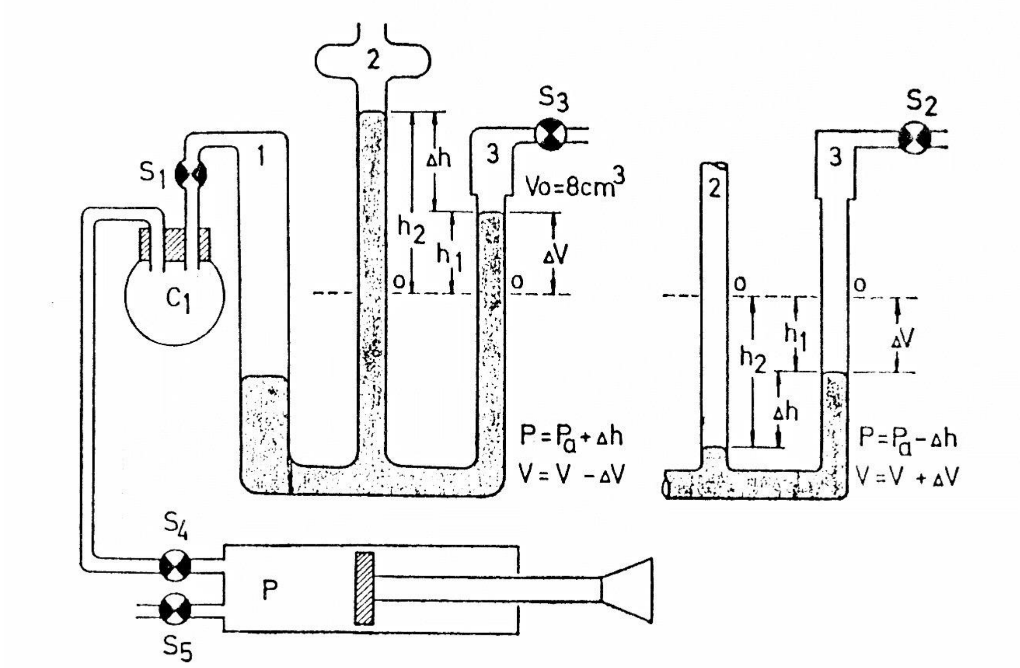
Avogadrov zakon glasi: U jednakim zapreminama idealnih gasova, na istoj temperaturi i pritisku, nalazi se isti broj molekula (atoma).

Daltonov zakon glasi: U smeši gasova koji međusobno ne reaguju hemijski, svaki gas deluje sopstvenim pritiskom nezavisno, kao da drugi gasovi nisu prisutni, ili ukupni pritisak u sudu jednak je zbiru parcijalnih pritisaka prisutnih gasova.

Potrebno je znati: Navesti gasne zakone. Za koje gasove oni važe? Šta su to idealni gasovi? Definisati Bojl-Mariotov zakon. Kako se u pV dijagramu predstavlja Bojl-Mariotov zakon? Definisati Gej-Lisakov zakon. Definisati Šarlov zakon. Definisati Avogadrov zakon. Definisati Daltonov zakon.

Uputstvo za rad:

1. Najpre je potrebno izjednačiti nivoe žive u sve tri cevi manometra. U tom cilju potrebno je odvrnuti slavinu S i štipaljku A držati otvorenom. (Ukoliko se ne postigne izjednačenje nivoa žive u sve tri cevi, što odgovara nultom podeoku, potrebno je za trenutak pumpom P povećati pritisak u cevi (1), kako bi se živa zatalasala i postigla određen nivo. Tada se u cevi (3) iznad žive nalazi $V_0 = 8$ cm^3 vazduha pod atmosferskim pritiskom.
2. Zatvoriti štipaljkom A cev (3).



3. Pomoću pumpe P povećati pritisak vazduha u cevi (3), pomeranjem nivoa žive u njoj za oko 20 mmHg.
4. Zavrnuti slavinu S i sačekati nekoliko minuta da se vazduh, zagrejan usled kompresije, ohladi do temperature okoline.
5. Očitati vrednosti promena zapremine ΔV i promene pritiska Δp. ΔV očitavati na desnoj skali uz cev (3), a Δp kao razliku nivoa h_1 i h_2 u cevima (2) i (3). Tada su nove vrednosti zapremine i pritiska: $V = V_0 - \Delta V$ i $p = p_a + \Delta p$.
6. Postupak merenja ponoviti 5 puta, pri čemu pritisak u cevi (2) treba povećati za po 20 mmHg.
7. Rezultate merenja uneti u tabelu:

R. br	h_1 (mmHg)	h_2 (mmHg)	ΔV (m^3)	$\Delta p = h_2 - h_1$ (mmHg)	Δp (Pa)	p (Pa)	V (m^3)	pV (J)	$(pV)_{sr}$ (J)	$\Delta(pV)$ (J)	δ_{pV} (%)	σ_{pV} (J)
1												
2												
3												
4												
5												

$$pV = ((pV)_{sr} \pm \sigma_{pV})\ \mathrm{J} = (\_\_\_\_\_\_\_ \pm \_\_\_\_\_\_\_)\ \mathrm{J}$$

8. Nacrtati grafik $p = f(V)$.

Potrebne konstante:

a. Atmosferski pritisak iznosi: $p_a = 101\ 300$ Pa
b. Veza između mmHg i Pa: 1 mmHg = 133.32 Pa

b) ODREĐIVANJE ODNOSA c_p/c_v ZA VAZDUH

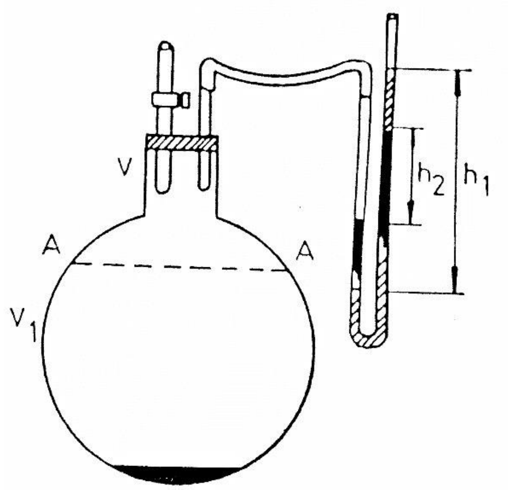
Teorijski uvod

Specifična toplota nekog tela je količina toplote potrebna da se zagreje 1 kg mase toga tela za 1°C. Gasovi znatno povećavaju svoju zapreminu pri zagrevanju, pa postoje dva različita slučaja pod kojima se može odrediti njihova specifična toplota. U prvom slučaju gas se može zatvoriti u sud stalne zapremine i time sprečiti njegovo širenje pri zagrevanju. Specifična toplota gasa određena pod ovakvim uslovima, zove se specifična toplota pri konstantnoj zapremini c_v. U drugom slučaju se gas može zagrevati tako da se pri širenju zadržava stalni pritisak p. Na ovaj način se dobija specifična toplota gasa pri stalnom pritisku c_p.

Na nekom gasu se može vršiti ekspanzija ili kompresija pri stalnoj temperature - izotermna promena za koju važi $pV = const$. Promena stanja gasa bez razmene toplote sa okolinom naziva se adijabatska promena, tj. adijabatska ekspanzija ili kompresija, za koje važi $pV^{\kappa} = const$, gde je $\kappa = c_p / c_v$ adijabatska konstanta. Ovakva adijabatska promena se vrši kada je gas toplotno izolovan od okoline. U tom slučaju nema nikakve razmene toplote između gasa i okoline te se energija gasa ne menja.

Potrebno je znati: Objasniti adijabatski proces. U kom se obliku predstavlja jednačina adijabate? Šta je spacifična toplota? Šta predstavlja odnos c_p/c_v? Definisati specifičnu toplotu pri konstantnom pritisku. Definisati specifičnu toplotu pri konstantnoj zapremini.

Uputstvo za rad:



1. U balonu se nalazi $CaCl_2$ koji služi za sušenje vazduha.
2. Pumpom ubaciti vazduh u balon tako da pritisak u balonu bude veći od atmosferskog za 3-5 cm Hg i zatvoriti slavinu (pritisak ne sme biti veći od toga jer može doći do prskanja balona).
3. Sačekati par minuta da se temperatura vazduha u balonu izjednači sa okolinom. Izjednačavanje temperature se može konstatovati po pritisku koji ostaje stalan pri izjednačavanju temperature.
4. Očitati razliku nivoa žive u manometru.
5. Otvoriti staklenu slavinu 5 sekunde, što je dovoljno da se pritisak u balonu izjednači sa atmosferskim.
6. Posle zatvaranja slavine sačekati neko vreme da se temperature ponovo izjednače (živa u manometru prestane da se penje).
7. Pročitati razliku nivoa žive u manometru.
8. Postupak iz tačaka 1. do 7. ponoviti 5 puta.
9. Odrediti odnos c_p/c_v primenom izraza: $\kappa = h_1/(h_1-h_2)$.

10. Rezultate merenja uneti i tabelu:

Redni br. merenja	h_1 (mm)	h_2 (mm)	$\kappa = c_p / c_v$	κ_{sr}	$\Delta\kappa$	δ_κ (%)	σ_κ
1							
2							
3							
4							
5							

$$k = k_{sr} \pm \sigma_k = (\_\_\_\_\_ \pm \_\_\_\_\_)$$

4. VEŽBA

a) ODREĐIVANJE TOPLOTE ISPARAVANJA TEČNOSTI

Teorijski uvod

Kada se nekoj tečnosti dovodi toplota, njena temperatura raste, pri čemu se dovedena toplota troši na povišenje temperature tečnosti, sve dok ona ne počne da ključa (isparava). Ako se nastavi sa dovođenjem toplote i tokom isparavanja tečnosti, njena temperatura se više neće povećavati, a dovedena toplota se troši na isparavanje tečnosti. Naime, toplota se više ne troši na zagrevanje, već samo na isparavanje tečnosti (promenu agregatnog stanja).

Količina toplote koju je potrebno dovesti jedinici mase neke tečnosti da bi se ona prevela iz tečnog u gasovito stanje na temperaturi isparavanja i normalnom atmosferskom pritisku naziva se toplota isparavanja. Toplota kondenzovanja je količina toplote koja se oslobodi pri kondenzovanju jedinice mase nekog gasa u tečnost, na temperaturi kondenzovanja, pri čemu tečnost ostaje na temperaturi kondenzovanja, tj. isparavanja. Pri kondenzovanju 1 kg pare u tečnost oslobađa se količina toplote koja je jednaka toploti isparavanja.

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.

U kalorimetar se ubacuje vodena para temperature t_3. Ukupna količina toplote oslobođena u kalorimetru posle kondenzovanja vodene pare je $Q = M(t_2 - t_1)$, gde je M - toplotni kapacitet kalorimetra, t_1 - temperatura vode u kalorimetru pre ubacivanja pare i t_2 - temperatura vode u kalorimetru posle kondenzovanja vodene pare. Od ove količine toplote treba oduzeti količinu toplote Q' koju kalorimetru preda kondenzovana voda mase m, usled rashlađivanja od temeprature kondenzovanja do temperature vode u sudu: $Q' = mc_T(t_3 - t_2)$, gde je c_T - specifična toplota vode. Toplota isparavanja vode q će prema tome biti:

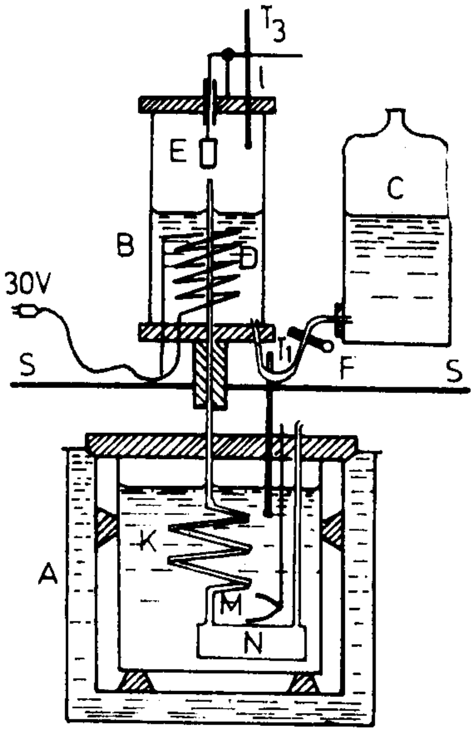
$$q = \frac{Q - Q'}{m} = \frac{M(t_2 - t_1) - mc_T(t_3 - t_2)}{m},$$

pri čemu treba uzeti da je toplotni kapacitet kalorimetra $M = 6100$ J/K, a specifični toplotni kapacitet vode c_T = 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 kondenzator 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 je otvoren. 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 da para izađe iz suda B, a samim tim sprečava ulazak pare u kalorimetar. U gornjem položaju zatvarača E dozvoljava se pari da izađe iz suda B i uđe u u kalorimetar. Termometar T_3 pokazuje temperaturu ključanja (isparavanja) vode. Pregrada S-S štiti kalorimetar od toplotnih uticaja iz suda B.



Sl. 1 Aparatura za određivanje toplote isparavanja tečnosti

Postupak pri merenju:

1. Izmeriti temperaturu vode u kalorimetru (t_1).
2. Uključiti ispravljač mrežnog napona u strujnu mrežu.
3. Kada zagrevana voda dostigne $t \approx 60$ °C otvoriti ventil za izlaz pare.
4. Paru kondenzovati 30 minuta i za to vreme stalno mešalicom mešati vodu u kalorimetru. Takođe izmeriti temperaturu pare (ključanja tečnosti) t_3.
5. Po isteku 30 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!

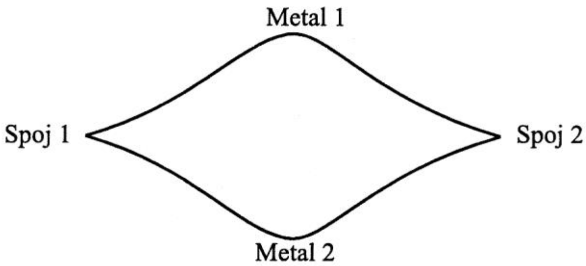
Rezultate merenja, kao i traženu vrednost toplote isparavanja vode upisati u tabelu:

t_1 (°C)	
t_2 (°C)	
t_3 (°C)	
m (kg)	
q (J)	

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.



Sl. 1 Zatvoreno kolo nastalo spajanjem dva različita metalna provodnika

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 temperature, 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:

$$E = C(t_2 - t_1) = C\Delta t,$$

gde je C konstanta za dati par metala, koja predstavlja promenu termoelektormotorne sile termoelementa pri promeni temperaturne razlike spojeva za 1° 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 na nepoznatoj temperaturi t_2 koja se 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:

$$t_2 = t_1 + \Delta t,$$

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?

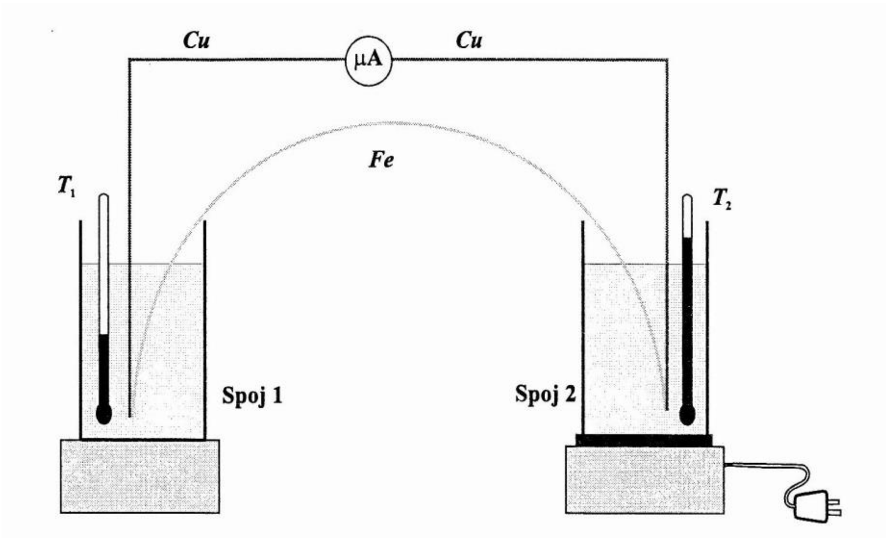
Opis aparature

Šema eksperimenta je prikazana na Sl. 3. Sastoji se od termoelementa od gvozdene i bakarne žice, dva termometra, dva staklena suda, mikroampermetra, električnog rešoa i vode.

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 Sl. 2.

Pre početka merenja treba proveriti nulu mikroampermetra, tako što se oba spoja termoelementa stavljaju u sud sa vodom na sobnoj temperaturi, 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.



Sl. 2 Zatvoreno kolo nastalo spajanjem dva različita metalna provodnika

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 $\Delta t = (5-8)^{\circ}\mathrm{C}$, sve dok temperatura vode u sudu ne dostugne vrednost $(70-80)^{\circ}\mathrm{C}$. Pre svakog čitanja jačine struje potrebno je skloniti sud sa rešoa i sačekati par minuta da se temperatura vode, odnosno spoja 2 termoelementa, stabilizuje.

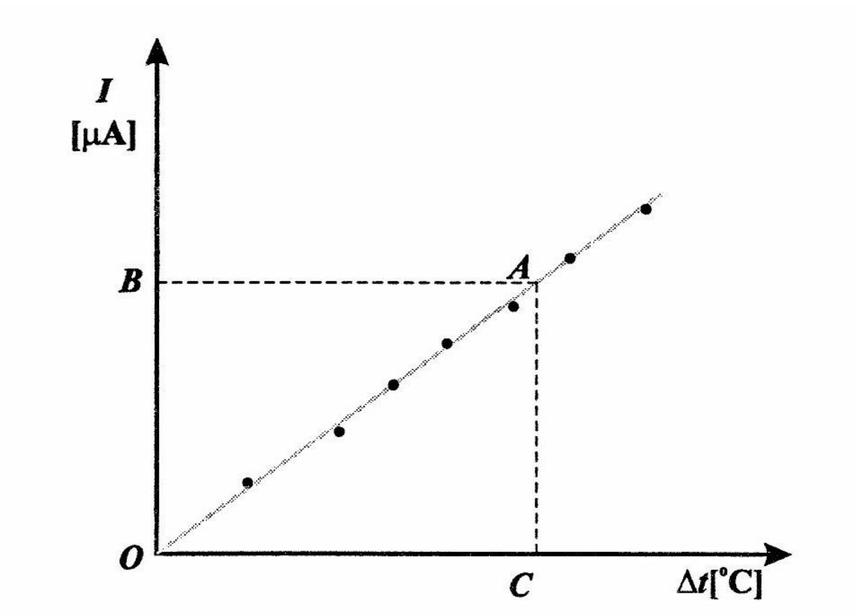
Dobijeni rezultati se unose u tabelu i crta se zavisnost jačine struje od temperaturne razlike. Ova zavisnost je, što se iz ranije iznetog može zaključiti, prava linija (Sl. 3) i naziva se kalibraciona linija termopara.

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 grfiku (Sl. 2) i sa njega očitati vrednost temperaturne razlike Δt_x koja joj odgovara.
4. Tražena temperatura t_x je $t_x = t_1 + \Delta t_x$.
5. Nepoznatu temperaturu vode izmeriti i običnim (živinim) 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				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

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



Sl. 3 Određivanje nepoznate temperature sa grafika eksperimentalno dobijenih vrednosti

$$t_x = t_1 + \Delta t_x = t_1 + OC = \_\_\_\_ + \_\_\_\_ \, (^oC) = \_\_\_\_ \; ^oC .$$

5. VEŽBA

a) ODREĐIVANJE BRZINE ZVUKA U VAZDUHU

Teorijski uvod

Kada se dva talasa iste talasne dužine i amplitude prostiru u istim pravcima, ali u suprotnim smerovima, može se javiti poseban slučaj interferencije (superpozicije) talasa, koji dovodi do pojave rezonancije i formiranja stojećeg talasa. 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 slučaju kada se kroz cev zatvorenu na jednom kraju prostiru dva talasa istih amplituda i frekvencija, a suprotnih smerova, doći će do pojave stojećeg talasa (rezonancije vazdušnog stuba) ukoliko je ispunjen uslov da je dužina vazušnog stuba u cevi jednaka neparnom umnošku četvrtine talasne dužine:

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

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:

$$c = \lambda \nu.$$

U ovoj vežbi se brzina zvuka određuje merenjem talasne dužine iz uslova rezonancije (pojave stojećeg talasa) zvučne viljuške poznate frekvencije i vazdušnog stuba u cevi zatvorenoj na jednom kraju.

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

$$c = 2\nu(l_2 - l_1),$$

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? Koji je uslov za pojavu stojećeg talasa 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

1. Proveriti da li je veća cilindrična cev napunjena vodom do vrha (oko 2 cm od vrha).
2. U ovu cev koncentrično potopiti cev koja je otvorena na oba kraja i na kojoj se nalazi skala za merenje visine vazdušnog stuba.
3. Zvučnu viljušku, koju treba držati iznad gornjeg otvora cevi, pobuditi na oscilovanje udarom gumenog čekića.
4. Cev postepeno izvlačiti iz vode. Pri tome strogo voditi računa da zvučna viljuška bude sve vreme na par centimetara iznad slobodnog otvora cevi. U momentu maksimalnog pojačanja tona izmeriti dužinu cevi (vazdušnog stuba) iznad vode. Na isti način odrediti dužinu vazdušnog stuba na kojoj nastaje druga rezonanca.
5. Postupak iz tačaka 3 i 4 ponoviti 5 puta.
6. Izračunati brzinu zvuka u vazduhu pomoću izraza: $c = 2\nu(l_2 - l_1)$, gde su l_1 i l_2 dužine vazdušnog stuba za prvu i drugu rezonancu.
7. Odgovarajuće vrednosti uneti u tabelu.

R.br	$l_1(\mathrm{m})$	$l_2(\mathrm{m})$	$c(\mathrm{m/s})$	c_{sr} (m/s)	$\Delta c(\mathrm{m/s})$	δ_C (%)	σ_C (m/s)
1							
2							
3							
4							
5							

$$c = (\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \pm \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_)\ \mathrm{m/s}\ .$$

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

$$F = 6\pi\eta r v\,,$$

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

$$Q = F_{tr} + F_p\,.$$

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

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

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

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

Rezultate uneti u tabelu:

Redni br.merenja	t (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							

$$\eta = (\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \pm \_\_\_\_\_\_\_\_\_)\ \text{m Pa s}$$

Potrebni podaci za izračunavanje koeficijenta viskoznosti glicerina:

- Gustina glicerina: ρ_t = 1.27 g/cm^3
- Gustina stakla: ρ = 2.7 g/cm^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?

6. VEŽBA

a) PRIMENA ZAKONA GEOMETRIJSKE OPTIKE I PRINCIP RADA OPTIČKIH INSTRUMENATA

Teorijski uvod

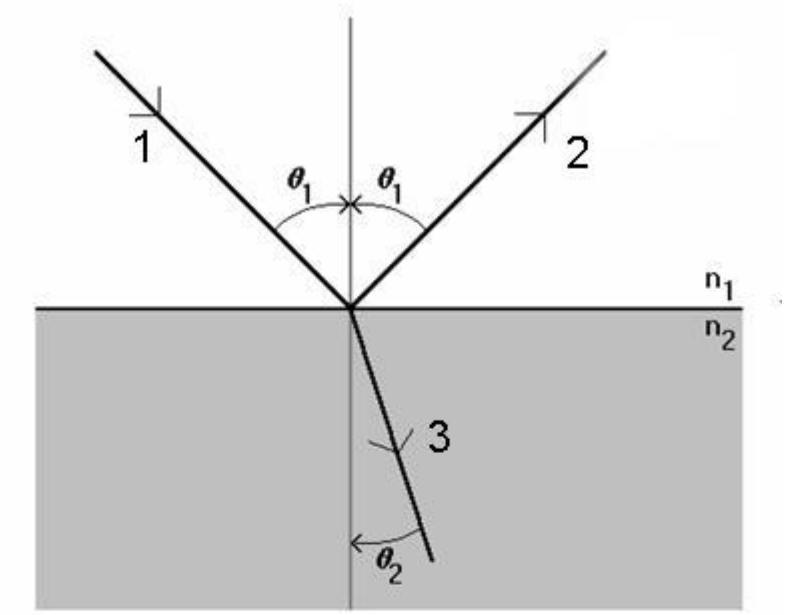
Svetlost je elektromagnetni talas čija brzina zavisi od električnih i magnetnih osobina sredine kroz koju se prostire. Ljudsko oko može da registruje talasne dužine svetlosti u opsegu od 380 nm do 760 nm. Kada je talasna dužina svetlosti mnogo manja od dimenzija objekta, zakoni kojima se opisuje kretanje 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 odbijenim (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 svetlosnog zraka koji pada na graničnu površinu dve sredine različitih optičkih gustina glasi: 1) Upadni ugao je jednak odbojnom uglu, 2) Upadni, odbojni zrak i normala na graničnu površinu leže u istoj ravni.

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

$$n = \frac{c_{vakuum}}{c_{sredina}}.$$

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:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2,$$

i to je poznato zakon prelamanja (Snelijus-Dekartov zakon).

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: NIKAKO NE USMERAVATI LASERSKI SNOP KA OČIMA!!!

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.

b) ODREĐIVANJE INDEKSA PRELAMANJA SVETLOSTI POMOĆU MIKROSKOPA

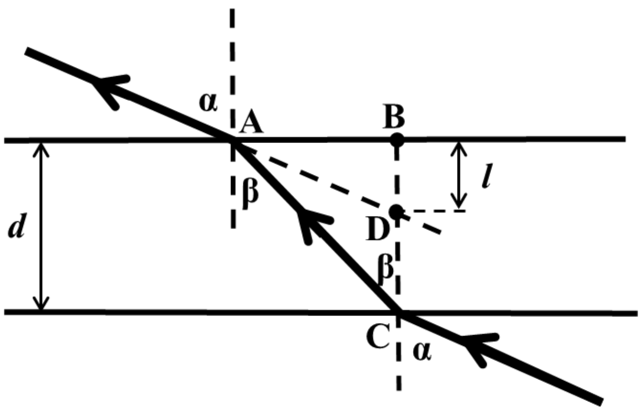
Teorijski uvod

Ovim metodom određuje se indeks prelamanja nekog materijala ako se raspolaže plan-paralelnom pločicom od tog materijala. Metod merenja se zasniva na zakonima prolaska svetlosnih zraka kroz plan-paralelnu ploču, odnosno na merenju prividne debljine.

Svetlosni zrak dolazi sa donje strane (vidi sliku) i pošto prođe kroz plan-paralelnu pločicu pada u objektiv mikroskopa. Zbog prelamanja u tački A posmatrač će lik tačke C videti u D. Tada je prividna debljina pločice DB = l. Pošto se ovde radi o zracima koji prolaze kroz pločicu debljine d skoro upravno, onda su uglovi α i β vrlo mali pa se može primeniti aproksimacija $\sin\alpha \approx \mathrm{tg}\alpha$. Sa ovom aproksimacijom se dobija:

$$\frac{n}{n'} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \approx \frac{tg\,\alpha}{tg\,\beta} = \frac{AB/BD}{AB/BC} = \frac{BC}{BD} = \frac{d}{l},$$

gde je n – indeks prelamanja pločice, a n' – indeks prelamanja vazduha. Pošto je $n' \approx 1$, onda je n određeno odnosom d/l.



Metod merenja

1. Ogledalo mikroskopa postaviti u položaj pri kome je osvetljenost najbolja.
2. Zavrtanj za fino pomeranje okrenuti do kraja ulevo, a zavrtnjem za grubo podešavanje podići objektiv na 2-3 cm iznad providne pločice.
3. Zavrtnjem za grubo podešavanje lagano spuštati sistem sve dok se ne uoči gornja površina pločice. Zavrtnjem za finu regulaciju podesiti da se zarez na pločici najjasnije vidi. Uočiti odgovarajući podeok zavrtnja.
4. Okretanjem udesno zavrtanja za fino podešavanje spuštati sistem sve dok donja površina pločice ne bude jasno vidljiva. Na osnovu broja obrtaja i novog položaja zavrtnja moguće je odrediti prividnu debljinu pločice, ako se zna da jednom punom obrtaju tog zavrtnja odgovara vertikalno pomeranje od 0.1 *mm*.
5. Postupak iz tačaka 2, 3 i 4 ponoviti 5 puta. Izračunati srednju vrednost koju treba koristiti u daljem radu.
6. Mikrometarskim zavrtnjem izmeriti debljinu pločice d i na osnovu toga sastaviti tabelu:

Red. broj merenja	$l\,[mm]$	n	n_{sr}	Δn	$\delta n\,[\%]$	σn
1						
2						
3						
4						
5						

$$n = (\_\_\_\_\_ \pm \_\_\_\_)$$

pri čemu se traženi indeks prelamanja svetlosti izračunava po obrascu $n = d/l$.

Potrebno je znati: Šta je indeks prelamanja svetlosti? Objasniti kako se prelama svetlost na pri prolasku kroz plan-paralelnu pločicu. Čemu služi mikroskop? Kakva su sočiva kod mikroskopa i kako se ona nazivaju?