

UNIVERZITET U SARAJEVU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

BIOFIZIKA

Praktikum-laboratorijske vježbe

(Skripta za internu upotrebu)

Sarajevo, septembar 2008.

UNIVERZITET U SARAJEVU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Suada Sulejmanović
Nedim Mujić

BIOFIZIKA

Praktikum-laboratorijske vježbe

(Skripta za internu upotrebu)

Sarajevo, septembar 2011.

Upute za rad

Studenti su obavezni pripremiti se za rad u laboratoriju (naučiti vježbu koju rade po rasporedu). Svaka vježba prije početka rada mora biti kolokvirana (znati šta se mjeri, čime, definiciju veličine koja se mjeri, radnu formulu i šemu za vježbu).

Poželjno je sređene podatke u odgovarajućim tabelama, koje se nalaze na kraju svake vježbe, ovjeriti nakon završetka vježbe, najkasnije prije početka naredne vježbe.

SADRŽAJ	strana
1. Laboratorijska vježba: Gustina čvrstih tijela i tečnosti	5
2. Laboratorijska vježba: Viskoznost	12
3. Laboratorijska vježba: Površinski napon	17
4. Laboratorijska vježba: Osnovna kalorimetrijska mjerenja	23
5. Laboratorijska vježba: Ohmov zakon	25
6. Laboratorijska vježba: Električna struja u tečnostima	29
7. Laboratorijska vježba: Naizmjenična struja	34
8. Laboratorijska vježba: Sočiva	42
9. Laboratorijska vježba: Kolorimetrija	49
10. Laboratorijska vježba: Fotoelektrični efekat	52
Fizičke konstante	56
Tabele	57
Dekadski prefiksi (predmeci) SI	60
Sažetak o greškama	61
Bibliografija	62

LABORATORIJSKA VJEŽBA 1

GUSTINA ČVRSTIH TIJELA I TEČNOSTI

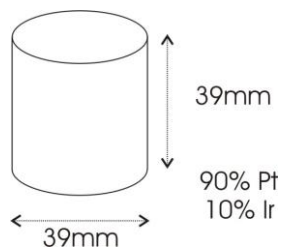
Kod homogenih tijela tj. kod tijela kod kojih je masa ravnomjerno raspoređena, gustina tijela je određena količnikom mase i zapremine:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1).$$

Gustina ρ je materijalna konstanta, tj. veličina karakteristična za vrstu materijala od koje je tijelo građeno, a naziva se još i zapreminska masa jer predstavlja masu jedinice zapremine datog tijela.

Masa tijela je međunarodnim dogovorom svrstana u osnovne veličine Međunarodnog sistema, a za njenu mjernu jedinicu uzet je kilogram:

$$[m] = 1 \text{ kg}.$$



sl.1.1

Masu jednog kilograma ima valjak izrađen od platine i iridijuma, čiji prečnik baze i visina iznose 39 mm. Teg koji odgovara ovoj definiciji naziva se standardni kilogram ili kilogram etalon (sl.1.1).

Jedinica za gustinu u Međunarodnom sistemu je:

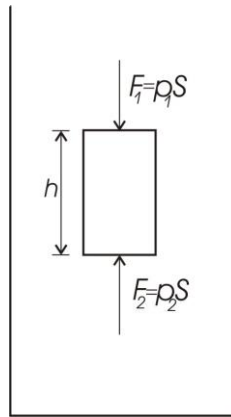
$$[\rho] = \frac{[m]}{[V]} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (1.2).$$

U slučaju nehomogenih tijela izrazom (1.1) određena je samo srednja gustina. Zato se u slučaju nehomogenih tijela gustina definiše diferencijalnim količnikom:

$$\rho = \frac{dm}{dV} \quad (1.3).$$

Na ovoj vježbi određivaće se gustina homogenih supstanci, tj. koristiće se izraz (1.1).

Za određivanje gustoće često se koristi činjenica da na tijela potopljena u fluid djeluje sila potiska ili Arhimedova sila. Ova sila ima smjer suprotan sili teže, tj. nastoji da istisne tijelo iz fluida. Zato tijela potopljena u fluid izgledaju prividno lakša. Ako je težina tijela u ravnoteži sa silom potiska tijelo će lebdjeti, odnosno plivati u fluidu. Napadna tačka sile potiska je u težištu zapremine tijela, dok je napadna tačka sile teže u težištu tijela. Težište zapremine i težište tijela podudaraće se samo u slučaju kad je masa tijela homogeno raspoređena unutar zapremine.



sl.1.2

Da bi izveli izraz za silu potiska, pretpostavimo da je tijelo geometrijski pravilnog oblika potopljeno u fluid (sl.1.2). Bočne sile se u tom slučaju poništavaju pa je sila potiska rezultanta sila pritisaka :

$$F_p = F_2 - F_1 = S(p_2 - p_1) \quad (1.4)$$

Pošto je :

$$p_2 - p_1 = \rho gh,$$

gdje je ρ gustina fluida, sila potiska je

$$F_p = \rho ghS = \rho gV = mg \quad (1.5).$$

U posljednjem izrazu V je zapremina istisnutog fluida (koja je jednaka zapremini uronjenog dijela tijela), a m je masa istisnutog fluida. Prema tome, na osnovu izraza (1.5), slijedi da je sila potiska F_p jednaka težini istisnutog fluida.

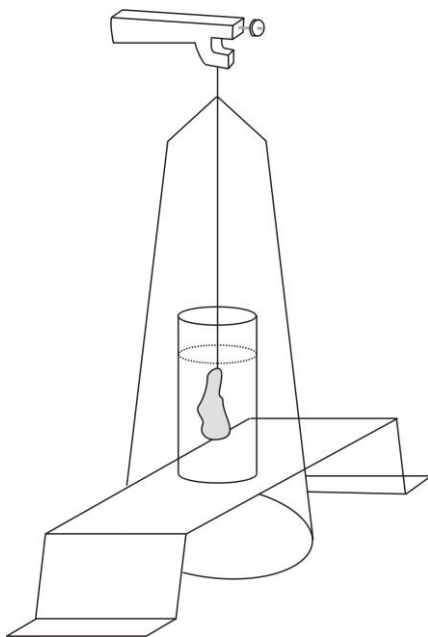
ZADACI:

1. Odrediti gustinu tečnosti pomoću hidrostatičke vage
2. Odrediti gustinu čvrstog tijela i tečnosti pomoću piknometra
3. Odredi gustinu tečnosti pomoću Mohr-Westphalove vage

PRIBOR I MJERENJE

1. Zadatak: Odrediti gustinu date tečnosti pomoću hidrostatičke vage

PRIBOR: Ispitivana tečnost, voda, čvrsto tijelo, vaga, komplet tegova.



sl.1.3

Da bi odredili gustinu neke tečnosti pomoću hidrostatičke vage (sl.1.3) potrebno je izvršiti tri mjerenja mase:

m – masa tijela u vazduhu

m_1 – masa tijela u vodi,

m_2 – masa tijela u ispitivanoj tečnosti.

Razlika mjerenja mase u vazduhu i u vodi jednaka je masi istisnute vode :

$$m - m_1 = \rho V \quad (1.6),$$

gdje je V zapremina uronjenog tijela. Uzimajući za gustinu vode $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$, na osnovu (1.6) može se odrediti zapremina uronjenog tijela:

$$V = \frac{m - m_1}{\rho} \quad (\text{m}^3) \quad (1.7).$$

Nakon mjerenja mase tijela u vodi potrebno je tijelo prvo dobro osušiti, a zatim potapati u ispitivanu tečnost.

Razlika

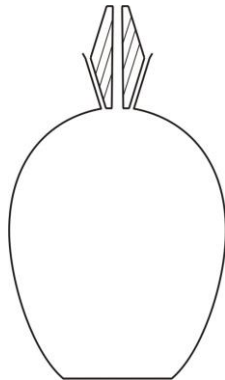
$$m - m_2 = m_{teč} \quad (1.8)$$

predstavlja masu istisnute tečnosti, a zapremina joj je jednaka zapremini tijela, odnosno zapremini istisnute vode (1.7), pošto se pri mjerenju koristi čvrsto tijelo.

Prema tome je :

$$\rho_{teč} = \frac{m_{teč}}{V} = \frac{m - m_2}{m - m_1} \rho \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (1.9)$$

gdje je ρ gustina vode.



sl.1.4

2. Zadatak: Odredi gustinu čvrstog tijela pomoću piknometra

PRIBOR: Čvrsto tijelo, piknometar, bočica sa vodom.

Piknometar je staklena bočica tačno određene zapremine. Prikazan je na sl.1.4. Kroz stakleni zatvarač piknometra prolazi uzani kanal. Kada je zatvarač u svom ležištu, a piknometar napunjen nekom tečnošću do vrha kanala, on sadrži za datu temperaturu tačno određenu zapreminu tečnosti. Čvrsta tijela čija se gustina određuje pomoću piknometra trebaju biti u zrnastom stanju i nerastvorljiva u vodi ili drugoj tečnosti pomoću koje se vrši mjerenje, te ne smiju upijati vodu ili tečnost u kojoj se vrši mjerenje. Za mjerenje se najčešće koristi destilovana voda, gustine ρ .

Za određivanje gustine ρ_t čvrstog tijela potrebno je izvršiti slijedeća mjerenja mase:

m_1 – masa usitnjenog tijela,

m_2 – masa piknometra sa vodom i tijela pored njega,

m_3 – masa piknometra sa vodom i tijela u njemu.

Pri mjerenju mase m_2 cjelokupna zapremina piknometra je ispunjena vodom, dok je pri mjerenju mase m_3 zapremina vode u piknometru umanjena za onu zapreminu koju tijelo u njemu zauzima. Kod oba mjerenja m_2 i m_3 mase praznog piknometra i usitnjenog tijela ostaju iste, a mijenja se samo masa vode. Pri mjerenju m_3 , zapremina vode u piknometru je umanjena za zapreminu usitnjenog tijela. Zapremina V usitnjenog tijela je prema tome određena izrazom:

$$V = \frac{m_2 - m_3}{\rho}$$

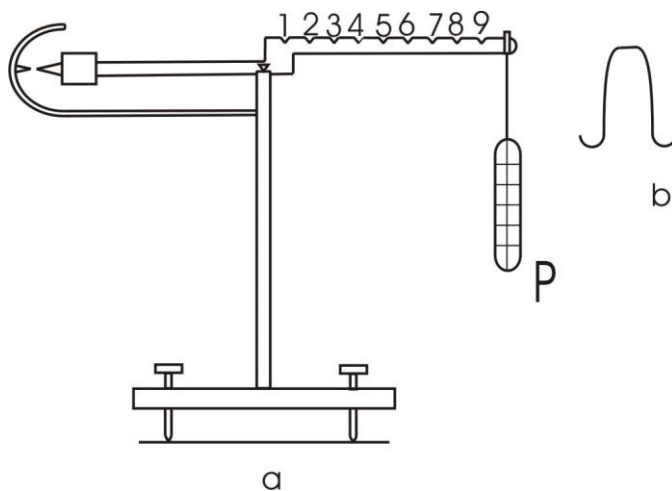
Prema tome, gustina čvrstog tijela će biti:

$$\rho_t = \frac{m_1}{V} = \frac{m_1}{m_2 - m_3} \rho \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (1.10)$$

3. Zadatak: Odrediti gustoću tečnosti pomoću Mohr –Westphalove vage

PRIBOR: Mohr – Westphalova vaga, komplet jahača, menzura, bočica sa vodom, bočica sa ispitivanom tečnošću.

Mohr –Westphalova vaga (sl.1.5) je hidrostatička vaga koja služi isključivo za određivanje gustine tečnosti. Ona radi na principu mjerenja sile potiska.



sl.1.5

Ova vaga se sastoji od pokretne poluge na čijem jednom kraju visi čvrsto tijelo – plovak P, koje je obično izrađeno tako da služi i kao termometar. Taj krak poluge baždaren je u podiocima koji su numerisani od 1 do 10; na desetom podioku okačen je plovak P. Pri određivanju gustine tečnosti prvo se plovak okači u vazduhu i podesi ravnoteža vage. Kada se plovak potopi u neku tečnost, ravnoteža će se usljed potiska poremetiti, pa je pomoću tegova potrebno ponovo uspostaviti ravnotežu. Težina tegova će biti jednaka sili potiska. Gustina tečnosti je prema (1.5) proporcionalna masi tegova koji uravnotežuju vagu kada je plovak potopljen. Zato su tegovi tako izrađeni da umjesto mase očitavamo neposredno gustoću tečnosti.

Tegovi koji se koriste uz Mohr-Westphalovu vagu izrađeni su od žice u takvom obliku da se lahko mogu stavljati u zareze na polugi vage (sl.1.5b), a nazivaju se jahači. Najčešće ih ima 4 i razne su veličine.

Izrađeni su tako, da, kada se najveći od njih objesi na deseti podjeljak poluge, kompenzuje silu potiska koja se javlja kada plovak potopimo u destilovanu vodu na +4°C, što znači da u tom slučaju očitavamo $1 \cdot 10^3$.

$$\rho = 1 \cdot \left(10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Pri sobnoj temperaturi zapaža se malo odstupanje od ove vrijednosti.

Jahačima je u položaju ravnoteže Mohr-Westphalove vage određen faktor gustine ρ koji množi 10^3 kg/m^3 ; u slučaju vode taj faktor je 1. Veliki jahač, čiju masu označimo sa m , na 10-tom podioku daje faktor 1, ako je okačen na bilo kojem drugom podioku od 1 do 9, on određuje prvu decimalu. Slijedeći manji jahač ima deset puta manju masu od mase velikog jahača, tj. $m/10$. Okačen na jednom od podjeljaka od 1 do 9, on određuje drugu decimalu faktora gustine. Ukoliko je, za postizanje ravnoteže poluge, potrebno dva jahača staviti na jedan te isti podiok, tada samo jedan od njih stavljamo u dati zarez poluge, a drugi objesimo o nožicu prvoga. Tako treba postupiti zato što su zarezi poluge uski, pa stavljanjem dva jahača zajedno nijedan od njih ne bi stajao pravilno te bi određivanje gustine bilo neprecizno.

IZVOĐENJE MJERENJA

1. Zadatak:

- Izvagati u vazduhu tijelo čiju gustinu određujemo - masa m
- Izvagati zatim tijelo u vodi (tijelo mora biti potpuno potopljeno u vodu) - masa m_1
- Izvagati tijelo u tečnosti čiju gustinu treba odrediti - masa m_2
- Podatke unijeti u tabelu 1.1
- Mjerenje izvršiti najmanje dva puta
- Prema (1.9) izračunati gustinu tečnosti
- Izračunati relativnu grešku

Tabela 1.1

$m(\text{kg})$	$m_1(\text{kg})$	$m_2(\text{kg})$

Izmjerena vrijednost: $\rho_{teč} =$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	
Tablična vrijednost: $\rho_{teč} =$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\varepsilon =$

2. Zadatak:

- Izvagati usitnjeno tijelo – masa m_1
- U piknometar uliti destilovanu vodu, posušiti ga kad višak vode istekne iz njega i izvagati ga zajedno sa usitnjenim tijelom - masa m_2

- Ubaciti u piknometar usitnjeno tijelo, posušiti piknometar i izvagati piknometar sa vodom i tijelom u njemu - masa m_3
- Unijeti podatke u tabelu 1.2.
- Izračunati gustinu usitnjenog tijela prema (1.10)
- Izračunati relativnu grešku

Tabela 1.2

m_1	m_2	m_3

Izmjerena vrijednost: $\rho_t = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	
Tablična vrijednost: $\rho_t = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\varepsilon =$

3. Zadatak

- Uravnotežiti Mohr Westphalovu vagu u vazduhu.
- Potopiti plovak u posudu s tečnošću.
- Pažljivo uravnotežiti vagu stavljajući u ležišta jahače počevši od većeg ka manjim.
- Očitati vrijednost gustoće prema položaju jahača.
- Upisati gustinu tečnosti u tabelu 1.3.
- Izračunati relativnu grešku

Tabela 1.3

Izmjerena vrijednost: $\rho_{teč} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	
Tablična vrijednost: $\rho_{teč} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\varepsilon =$

LABORATORIJSKA VJEŽBA 2

VISKOZNOST

U idealnoj tečnosti nema trenja. Unutarnje trenje ili viskoznost se može zamisliti kao sila trenja kojom se jedan sloj fluida u kretanju tare o drugi. Pri laminarnom strujanju, sila trenja F između dva sloja tečnosti na rastojanju dx , sa razlikom brzina dv , data je Newtonovim zakonom viskoznosti:

$$F = \eta S \frac{dv}{dx} \quad (2.1),$$

gdje je S dodirna površina slojeva. U ovom izrazu $\frac{dv}{dx}$ predstavlja gradijent brzine (relativni porast brzine u pravcu od jednog sloja ka drugom), a η dinamički koeficijent viskoznosti ili dinamičku viskoznost.

Dinamička viskoznost zavisi od parametara koji karakterišu unutrašnje stanje datog fluida, a u prvom redu od temperature. Kod tečnosti viskoznost opada sa temperaturom, dok kod gasova raste.

U međunarodnom sistemu, jedinica za dinamičku viskoznost je paskalsekunda.

$$[\eta] = \frac{[F]}{[S] \frac{[v]}{[x]}} = \frac{1\text{N}}{1\text{m}} \cdot \frac{1\text{m}}{1\text{m}^2 \frac{\text{s}}{\text{m}}} = \frac{1\text{N}}{\text{m}^2} \text{s} = 1\text{Pa s} \quad (2.2)$$

Paskalsekunda je dinamička viskoznost homogenog fluida koji laminarno struji, u kome između dva ravna paralelna sloja sa razlikom u brzini od jednog metra u sekundi, na rastojanju od 1m, nastaje napon smicanja od jednog paskala.

$$1\text{Pa s} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{s} = \frac{\frac{\text{kgm}}{\text{s}^2}}{\text{m}^2} \text{s} = \frac{\text{kg}}{\text{sm}} = \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$$

Za određivanje viskoznosti tečnosti pogodno je koristiti Hagen - Poiseuilleov zakon za strujanje viskozne tečnosti kroz cijev radijusa R i dužine l , usljed stalne razlike pritisaka na krajevima $\Delta p = p_1 - p_2$:

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{p_1 - p_2}{l} \quad (2.3).$$

Q je zapreminski protok, tj zapremina fluida koja u jedinici vremena prođe kroz poprečni presjek cijevi:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (2.4)$$

Iz (2.3) je dinamička viskoznost:

$$\eta = \frac{\pi R^4}{8 Q} \frac{p_1 - p_2}{l} \quad (2.5)$$

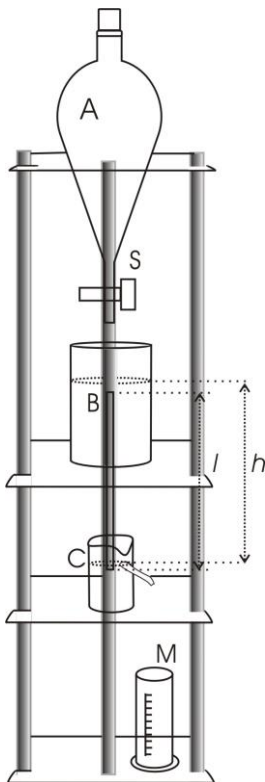
ZADACI:

1. Odrediti dinamičku viskoznost vode pomoću apsolutnog viskozimetra sa jednom kapilaram.
2. Odrediti dinamičku viskoznost date tečnosti pomoću Ostwaldovog viskozimetra.

PRIBOR I MJERENJE

1. Zadatak: Odrediti dinamičku viskoznost vode pomoću apsolutnog viskozimetra sa jednom kapilaram

PRIBOR: Viskozimetar, menzura, štoperica, nonius, mikroskop.



sl.2.1

Koristi se apsolutni viskozimetar sa jednom kapilaram (sl.2.1). U gornji sud A se sipa voda, koja iz njega istječe u sud B. Pomoću slavine se vrši podešavanje dotoka vode tako da u sud utječe onoliko vode koliko iz njega istječe u sud C kroz kapilaru dužine l . Iz suda C voda teče u menzuru pomoću koje se mjeri volumen tečnosti. Kada se podesi stalna visinska razlika h nivoa vode u sudu B i C, štopericom se mjeri vrijeme t dok u menzuru uđe izvjesna količina vode, pa se na menzuri očita njena zapreminu V . Na osnovu tih podataka izračuna se protok:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.6).$$

Koeficijent viskoznosti se računa iz obrasca (2.5) u kome treba uzeti $\Delta p = p_1 - p_2 = \rho gh$, tj.

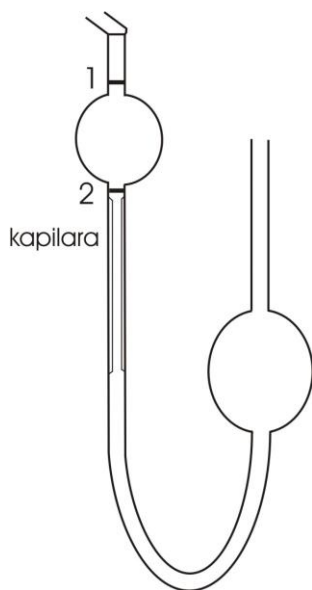
$$\eta = \frac{\pi R^4}{8 Q} \frac{\rho gh}{l} \quad (2.7)$$

Dužina kapilare se mjeri lenjirom sa nonijusom, a radijus kapilare pomoću mjernog mikroskopa (najmanji podiok skale u mikroskopu iznosi 0.00445 cm).

2. Zadatak: Odrediti dinamičku viskoznost date tečnosti pomoću Ostwaldovog viskozimetra

PRIBOR: Ostwaldov viskozimetar, bočica vode, bočica sa ispitivanom tečnošću, štoperica.

Metoda je relativna. Ispitivana tečnost se upoređuje sa tečnošću čiji koeficijent viskoznosti znamo.



sl.2.2

Ostwaldov viskozimetar je staklena cijev U oblika (sl.2.2.), proširena na nekim mjestima, na čiji je jedan kraj postavljena gumena pumpica. Cijev je na jednom mjestu sužena u kapilaru. U otvoreni kraj viskozimetra najprije sipamo jednu tečnost, npr. tečnost poznatog koeficijenta viskoznosti η_1 , gustine ρ_1 . Zatim pomoću pumpice uvlačimo usutu tečnost kroz kapilaru sve dok joj nivo ne pređe zarez 1. Ostavimo pumpicu i pričekamo da se nivo tečnosti spusti tačno na zarez 1 i u tom trenutku uključimo štopericu. Izmjerićemo vrijeme t_1 za koje se tečnost spusti od zareza 1 do zareza 2. Nakon toga prvu tečnost vraćamo u bočicu, a u viskozimetar sipamo istu količinu ispitivane tečnosti gustine ρ_2 , čiji koeficijent viskoznosti η_2 određujemo, pa na isti način kao u prethodnom slučaju izmjerimo odgovarajuće vrijeme t_2 . Prema Hagen-Poiseuilleovom zakonu (2.3) dinamička viskoznost je:

$$\eta = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8lQ} = \frac{\pi r^4 \rho g h t}{8lV}$$

$$\text{Za poznatu tečnost je: } \eta_1 = \frac{\pi r^4 \rho_1 g h t_1}{8lV} \quad (2.8),$$

$$\text{a za nepoznatu} \quad \eta_2 = \frac{\pi r^4 \rho_2 g h t_2}{8lV} \quad (2.9)$$

Dijeljenjem (2.9) sa (2.8) slijedi $\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{\rho_2 t_2}{\rho_1 t_1}$, pa je dinamička viskoznost (koeficijent viskoznosti) nepoznate tečnosti:

$$\eta_2 = \eta_1 \frac{\rho_2 t_2}{\rho_1 t_1} \quad (2.10)$$

Najčešće kao poznatu tečnost koristimo vodu za koju je: $\eta_1 = 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ Pas}$ i $\rho_1 = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

IZVOĐENJE MJERENJA

1. Zadatak

- Izmeriti nonijusom dužinu kapilare l i podatke unijeti u tabelu 2.1
- Izmjeriti radijus kapilare pomoću mjernog mikroskopa i podatke unijeti u tabelu 2.1
- U sud A viskozimetra nasuti destilovanu vodu
- Pomoću slavine S podesiti da u sud B utječe onoliko vode koliko iz njega istječe u sud C kroz kapilaru
- Kada se podesi stalna visinska razlika h nivoa vode u sudu B i C, štopericom mjeriti vrijeme t dok u menzuru uđe izvjesna količina vode zapremine V
- Podatke za h , V , t unijeti u tabelu 2.1
- Mjerenje ponoviti nekoliko puta za razne vrijednosti zapremine
- Prema (2.6) izračunati protok
- Prema (2.7) izračunati dinamičku viskoznost
- Izračunati relativnu grešku

Tabela 2.1

Broj mjerenja	$l(\text{m})$	$R(\text{m})$	$h(\text{m})$	$t(\text{s})$	$V(\text{m}^3)$	$Q\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$
srednja vrijednost						

Izmjerena vrijednost: $\eta =$	Pas
Tablična vrijednost: $\eta =$	Pas $\varepsilon =$

2. Zadatak

- U otvoreni kraj viskozimetra nasuti vodu
- Pomoću pumpice uvući vodu kroz kapilaru sve dok joj nivo ne pređe zarez 1. Uključiti štopericu kad se nivo vode spusti tačno na zarez 2
- Izmjerimo vrijeme t_1 i unesemo ga u tabelu 2.1
- Isto ponoviti za datu tečnost i podatak za t_2 unesemo u tabelu 2.2
- Prema (2.10) izračunamo dinamičku viskoznost date tečnosti
- Izračunati relativnu grešku

Tabela 2.2

Broj mjerenja	t_1 (s)	t_2 (s)
1		
2		
3		
Srednja vrijed.		

Izmerena vrijednost: $\eta_2 =$	Pas
Tablična vrijednost: $\eta_2 =$	Pas $\varepsilon =$

Napomena: Pri sipanju tečnosti u viskozimetar treba voditi računa o tome da količina tečnosti ne bude prevelika, tj. da joj nivo bude ispod donjeg kraja kapilare. Također količina tečnosti ne smije biti premala da prilikom, dizanja tečnosti u kapilaru ne ulazi vazduh. U viskozimetar treba usuti istu količinu poznate i nepoznate tečnosti jer će u tom slučaju h biti isto i u (2.8) i u (2.9).

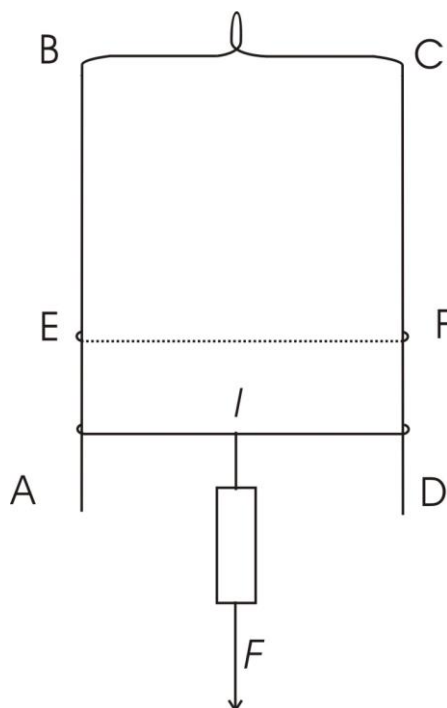
LABORATORIJSKA VJEŽBA 3

POVRŠINSKI NAPON

Pojava da se površinski sloj tečnosti ponaša kao tanka, zategnuta membrana, koja se opire povećanju svoje površine, naziva se površinski napon.

Veličina koja karakterizira površinski napon se zove koeficijent površinskog napona i brojno je jednaka radu koji treba izvršiti da se površina tečnosti poveća za jedinicu:

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S} \quad (3.1).$$



sl.3.1

Posmatrajmo ram od žice ABCD (sl.3. 1) sa lahko pokretnom žicom EF, dužine l koja može da klizi duž strana AB i DC. Ako umočimo ram u sapunicu i izvadimo ga dobiva se tanka opna tečnosti EBCF.

Odmah će se primijetiti da se žica EF kreće prema BC tj. da se površina opne smanjuje usljed djelovanja sila površinskog napona. Ako se žica pomjeri za Δh utrošeni rad protiv sila površinskog napona je

$$\Delta A = F \Delta h \quad (3.2)$$

Prema definiciji (3.1) za koeficijent površinskog napona rad sile površinskog napona

$$\Delta A = \sigma \Delta S = \sigma \cdot 2l \cdot \Delta h \quad (3.3),$$

gdje je $\Delta S = 2l \Delta h$ promjena površine opne s obje strane.

Izjednačavanjem jednačina (3.2) i (3.3) dobivamo

$$F = 2\sigma \cdot l \quad (3.4)$$

odnosno, koeficijent površinskog napona je

$$\sigma = \frac{\frac{F}{2}}{l} = \frac{F}{2l} \quad (3.5),$$

pri čemu je $\frac{F}{2}$ sila koja djeluje sa jedne strane opne.

Koeficijent površinskog napona je, prema (3.5), brojno jednak sili koja djeluje na jedinicu dužine granične linije površine tečnosti. Ova sila je usmjerena normalno na svaki

element dužine granične linije i i tangencijalna je na površinu tečnosti. Koeficijent površinskog napona izražava se u $\frac{N}{m}$.

ZADACI:

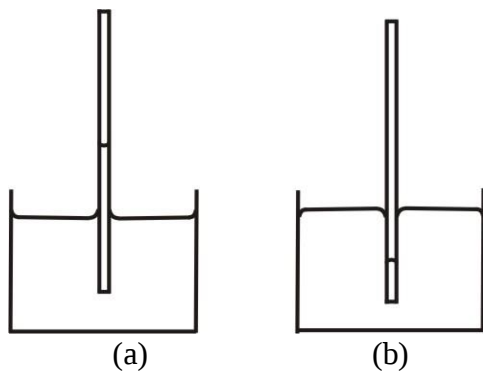
1. Određivanje koeficijenta površinskog napona tečnosti pomoću kapilarne cijevi.
2. Određivanje koeficijenta površinskog napona tečnosti pomoću stalagmometra.

PRIBOR I MJERENJE

1. Zadatak: Određivanje koeficijenta površinskog napona tečnosti pomoću kapilarne cijevi

PRIBOR: Šira posuda, kapilarna cijev, lenjir, bočica s ispitivanom tečnošću.

Kapilara je cijev vrlo malog unutrašnjeg prečnika ($d \approx 1\text{mm}$). Kada se jednim krajem takva staklena cijev vertikalno uroni u neku tečnost pojaviće se odstupanje nivoa tečnosti u kapilari od nivoa slobodne površine tečnosti u posudi (sl.3.2).



sl.3.2

Ova pojava se naziva kapilarnom pojavom, a objašnjava se međumolekularnim silama adhezijom i kohezijom. Ako su sile između molekula same tečnosti (kohezija) znatno manje od sile između molekula zidova suda i tečnosti (adhezija), onda tečnost teži da se penje uz zidove suda odnosno kažemo da tečnost "kvasi" zidove suda (npr. voda i staklo) kao na sl.3.2 a. U tom slučaju površina tečnosti (meniskus) je konkavna prema gore.

Ako je kohezija znatno veća od adhezije, meniskus je konveksan prema gore, a tečnost se u kapilarnoj cijevi spušta ispod nivoa tečnosti u sudu npr. živa i staklo (sl. 3.2 b). Iz razlike nivoa tečnosti u kapilari i sudu može se odrediti površinski napon

te tečnosti. Posmatrajmo slučaj kada tečnost kvasi zidove kapilare. Molekule zida kapilare koje su u neposrednom dodiru sa tečnošću, privlače molekule tečnosti koje su im najbliže i podižu ih iznad nivoa tečnosti. Tako se podiže čitav stub tečnosti sve dok se sila težine stuba tečnosti ne izjednači sa silom površinskog napona. Težina G djeluje u vertikalnom pravcu i može biti uravnotežena samo vertikalnim komponentama sile površinskog napona. Horizontalni presjek stuba tečnosti predstavlja krug poluprečnika r .

Sve sile površinskog napona koje djeluju duž obima tog kruga imaju vertikalne komponente čija će rezultanta biti u ravnoteži sa težinom stuba tečnosti G .

Koeficijent površinskog napona predstavlja silu na jedinicu dužine, te će rezultanta djelovanja sile površinskog napona po cijelom obimu kruga iznositi

$$F = 2\pi r \sigma \quad (3.6),$$

gdje je r poluprečnik kruga duž kojeg djeluje sila površinskog napona, tj. unutrašnji poluprečnik kapilare.

Težina stuba tečnosti je

$$G = V\rho g \quad (3.7),$$

gdje je V njegova zapremina, a ρ gustina tečnosti tj.

$$G = r^2 \pi \rho g h \quad (3.8)$$

Sa h je označena visina stuba tečnosti iznad nivoa u širem sudu. Sile F i G su u ravnoteži, pa je

$$2r\pi\sigma = r^2\pi\rho gh,$$

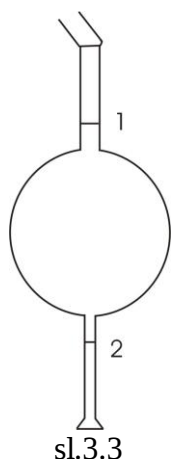
tako da je koeficijent površinskog napona

$$\sigma = \frac{grh\rho}{2} \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{m}} \right) \quad (3.9)$$

2. Zadatak: Određivanje koeficijenta površinskog napona tečnosti pomoću stalagmometra.

PRIBOR: Stalagmometar, bočica s vodom, bočica s ispitivanom tečnošću.

Stalagmometar se upotrebljava za određivanje koeficijenta površinskog napona nepoznate tečnosti, upoređujući ga sa koeficijentom površinskog napona vode ili neke druge tečnosti. U našem zadatku koristi se voda kao tečnost čiji je koeficijent površinskog napona poznat. Stalagmometar predstavlja jednu staklenu pipetu iz koje tečnost može da ističe u kapljicama (sl.3.3). Na pipetu je nataknuo gumeno crijevo sa pumpicom.



Kapljica se drži na vrhu pipete uslijed površinskog napona i otkida se onda kada njena težina postane jednaka sili površinskog napona. Težina kapljice se može izračunati iz određene zapremine na stalagmometru označene između dvije marke, broja kapi i gustine date tečnosti. Ako u zapremini V (zapremina između marke 1 i 2) stalagmometra ima n_1 kapljica prve tečnosti, u našem slučaju vode i ako je ρ_1 njena gustina, težina kapljice vode je

$$G_1 = \frac{V\rho_1 g}{n_1} \quad (3.10)$$

Sila površinskog napona koja drži kapljicu vode na vrhu pipete prema (3.6) jednaka je:

$$F_1 = 2r\pi\sigma_1 \quad (3.11)$$

Pošto se kapljica otkida nakon što njena težina postane jednaka sili površinskog napona, izjednačavanjem (3.6) i (3.7), dobiva se za koeficijent površinskog napona vode

$$\sigma_1 = \frac{V\rho_1 g}{2r n_1} \quad (3.12)$$

Težina kapljice druge tečnosti, čiji je koeficijent površinskog napona nepoznat, gdje je n_2 broj kapljica tečnosti u zapremini V , ρ_2 njena gustina.

$$G_2 = \frac{V\rho_2 g}{n_2} \quad (3.13),$$

Sila površinskog napona

$$F_2 = 2r\pi\sigma_2 \quad (3.14), \text{ te je}$$

$$\sigma_2 = \frac{V\rho_2 g}{2r n_2} \quad (3.15).$$

Upoređivanjem relacija (3.12) i (3.15) dobiva se

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{\rho_2 n_1}{\rho_1 n_2} \quad (3.16),$$

odnosno za koeficijent površinskog napona nepoznate tečnosti

$$\sigma_2 = \sigma_1 \frac{\rho_2 n_1}{\rho_1 n_2} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right] \quad (3.17)$$

Ako znamo vrijednosti gustine za vodu ρ_1 i za ispitivanu tečnost ρ_2 , koeficijent površinskog napona vode σ_1 i broj kapi n_1 i n_2 , koje se sadrže u istoj zapremini, pomoću jednačine (3.17) možemo izračunati koeficijent površinskog napona nepoznate tečnosti.

IZVOĐENJE MJERENJA

1. Zadatak

- Poluprečnik kapilare izmjeriti pomoću mikroskopa (1 podiok iznosi 0.00445 cm)
- Uroniti kapilarnu cijev treba u tečnost u široj posudi
- Izmjeriti visinu stuba iznad nivoa tečnosti u široj posudi
- Izvršiti mjerenje za vodu i za datu tečnost
- Mjerenje izvršiti nekoliko puta i podatke unijeti u Tabelu 3.1 i Tabelu 3.2
- Izračunati srednju vrijednost za h i za r i uvrštavanjem u formulu (3.9) izračunati koeficijent površinskog napona
- Izračunati relativnu grešku

$$\rho_v = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$r =$ _____ podioka = _____ m

Tabela 3.1

Broj mjerenja	$h(\text{m})$
voda	
1	
2	
3	
Srednja vrijednost	

Izmjerena vrijednost: $\sigma =$	$\frac{\text{N}}{\text{m}}$
Tablična vrijednost: $\sigma =$	$\frac{\text{N}}{\text{m}} \quad \varepsilon =$

$$\rho_{teč} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Tabela 3.2

Broj mjerenja	$h_1(\text{m})$
1	
2	
3	
Srednja vrijed.	

Izmjerena vrijednost: $\sigma_{teč} =$	$\frac{\text{N}}{\text{m}}$
Tablična vrijednost: $\sigma_{teč} =$	$\frac{\text{N}}{\text{m}} \quad \varepsilon =$

2. Zadatak.

- Stalagmometar uronimo u posudu sa vodom i pomoću pumpice u njega uvučemo izvjesnu količinu vode, tako da nivo vode bude iznad gornje marke
- Stalagmometar izvadimo iz vode i pustimo da voda istječe u kapljicama
- Kada nivo vode u stalagmometru dođe do marke 1, počinjemo brojanje kapljica i brojimo ih dok se nivo vode ne spusti do marke 2 a zatim broj kapljica n_1 unosimo u Tabelu 3.3
- Isto ponovimo sa tečnošću čiji površinski napon određujemo
- Prema (3.17) izračunamo koeficijent površinskog napona za datu tečnost
- Izračunati relativnu grešku

Tabela 3.3

Broj mjerenja	n_1	n_2
1		
2		
3		
4		
5		
Srednja vrijed.		

Izmjerena vrijednost: $\sigma_2 =$	$\frac{N}{m}$
Tablična vrijednost: $\sigma_2 =$	$\frac{N}{m} \quad \varepsilon =$

LABORATORIJSKA VJEŽBA 4

OSNOVNA KALORIMETRIJSKA MJERENJA

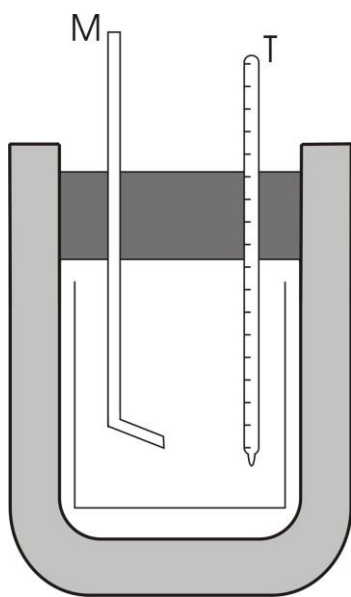
Ako se tijelu mase m dovodi količina toplote Q tada se temperatura tijela promijeni za Δt ($^{\circ}\text{C}$). Pri tome je

$$Q = mc\Delta t \quad (4.1),$$

gdje je c faktor proporcionalnosti koji se naziva specifični toplotni kapacitet.

Specifični toplotni kapacitet je ona količina toplote koju treba dovesti jednom kilogramu neke supstance da bi mu se temperatura povisila za 1K. Jedinica za specifični toplotni

kapacitet je $\frac{\text{J}}{\text{kg K}}$.



sl.4.1

Uređaj za mjerenje specifičnog toplotnog kapaciteta naziva se kalorimetar. Kao kalorimetar može da posluži jedna Dewarova posuda u kojoj se nalazi metalna posuda sa termometrom T i mješalicom M koji ulaze kroz otvore na poklopcu posude sl.(4.1). Dewarova posuda služi kao zaštita od spoljašnjeg zagrijavanja ili hlađenja.

Proizvod mase i specifične toplote (mc) nekog tijela naziva se toplotni kapacitet tijela. Brojno je jednak onoj količini toplote koju treba dovesti tijelu mase m i specifičnog toplotnog kapaciteta c da bi mu se temperatura povisila za 1K.

ZADACI:

1. Odrediti specifični toplotni kapacitet čvrstog tijela pomoću vodenog kalorimetra

PRIBOR I MJERENJE

1. Zadatak: Odrediti specifični toplotni kapacitet čvrstog tijela pomoću vodenog kalorimetra

PRIBOR: Kalorimetarska posuda termometrom i mješalicom, tijelo, rešo, posuda za zagrijavanje vode

U kalorimetru se nalazi voda mase m_1 , specifičnog toplotnog kapaciteta c_1 i temperature t_1 . U kalorimetar se spusti čvrsto tijelo mase m_2 , specifičnog toplotnog kapaciteta c_2 i temperature t_2 . Količina toplote koju otpusti čvrsto tijelo jednaka je količini toplote koju primi voda, zajedno sa kalorimetarskom posudom:

$$m_2 c_2 (t_2 - t) = m_1 c_1 (t - t_1) + K(t - t_1) \quad (4.2),$$

gdje je t temperatura smjese a K toplotni kapacitet kalorimetarske posude .
Za traženi specifični toplotni kapacitet dobijamo formulu:

$$c_2 = \frac{(m_1 c_1 + K)(t - t_1)}{m_2 (t_2 - t)} \left(\frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right) \quad (4.3)$$

Izvaga se kalorimetarska posuda sa termometrom i miješalicom, pa se naliže izvjesna količina vode i ponovo izvaga. Razlika tih mjerenja daje masu m_1 vode u kalorimetru. Tijelo čiji se specifični toplotni kapacitet određuje izvaga se, te zagrije u posebnoj posudi sa vodom do temperature t_2 . Zatim se očitava temperatura t_1 vode u kalorimetru i to neposredno prije stavljanja tijela. Nakon stavljanja tijela u kalorimetar, kalorimetar treba brzo poklopiti. Temperatura najprije raste, zatim ostaje izvjesno vrijeme stalna, pa zatim opada. Maksimalna temperatura koja se opaža predstavlja temperaturu mješavine t . Specifični toplotni kapacitet čvrstog tijela se računa prema formuli (4.3).

IZVOĐENJE MJERENJA

1. Zadatak

- Izvagati tijelo i podatak upisati u tabelu 4.1 - masa m_2
- U datu posudu uliti vodu i zagrijavati je na rešou
- Izvagati kalorimetarsku posudu sa termometrom i miješalicom - masa M
- Uлити hladnu vodu i ponovo izvagati – masa M_1
- Izračunati masu hladne vode $m_1 = M_1 - M$ i podatak upisati u tabelu 4.1
- Staviti tijelo u zagrijanu vodu i sačekati da se tijelo zagrije
- Očitati temperaturu hladne vode t_1 i podatak upisati u tabelu 4.1
- Očitati temperaturu t_2 tople vode u trenutku vađenja tijela
- Tijelo izvaditi iz tople vode i brzo spustiti u kalorimetar
- Miješati vodu u kalorimetru i pratiti njen porast na termometru. Upisati u tabelu 4.1 njenu maksimalnu vrijednost t
- Izračunati specifični toplotni kapacitet prema (4.3)
- Ponoviti mjerenje još dva puta
- Izračunati srednji specifični toplotni kapacitet datog tijela
- Izračunati relativnu grešku

Tabela 4.1

Broj mjerenja	$m_1(\text{kg})$	$m_2(\text{kg})$	$t_1(^{\circ}\text{C})$	$t_2(^{\circ}\text{C})$	$t(^{\circ}\text{C})$	$K \left(\frac{\text{J}}{\text{K}} \right)$	$c_2 \left(\frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right)$
1							
2							
3							

$c_{2sr} =$	$\frac{\text{J}}{\text{kgK}}$	$\varepsilon =$	%
-------------	-------------------------------	-----------------	---

LABORATORIJSKA VJEŽBA 5

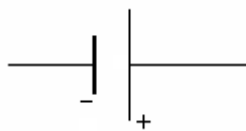
PROVJERA OHMOVOG ZAKONA

Električna struja predstavlja usmjereno kretanje naelektrisanih čestica. Jačina električne struje je jedna od sedam osnovnih veličina u SI a može se definirati kao količina električnog naboja koji protekne kroz poprečni presjek provodnika u jedinici vremena tj:

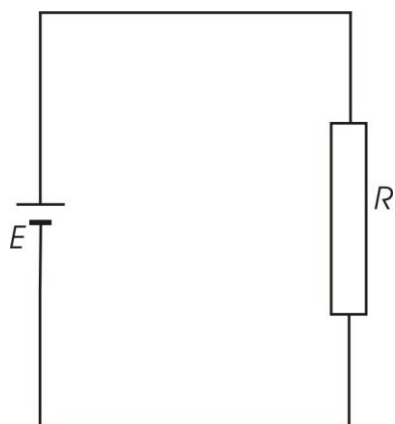
$$I = \frac{dq}{dt} \quad (5.1),$$

Jedinica za jačinu električne struje je amper (A): Amper je ona jačina struje koja prolazeći kroz dva paralelna, ravna, beskonačno duga provodnika zanemarivo malog kružnog presjeka, koja se nalaze na udaljenosti jedan metar u vakuumu, stvara među njima silu od $2 \cdot 10^{-7} \text{ Nm}^{-1}$.

Sistem koji predstavljaju izvor i vodič koji spaja dva pola izvora (baterija, generator) čine zatvoreno strujno kolo. Izvor stalne struje se shematski predstavlja kao na sl.5.1, gdje deblja crta označava negativan pol ("–" pol) , a duža i tanja crta označava pozitivan pol ("+" pol) izvora, koji je na višem potencijalu. Ako se isključi ili prekine vodič na bilo kojem mjestu, struja ne teče, a kolo se naziva otvorenim. Smjer struje u kolu prema konvenciji je smjer kojim bi se kretali pozitivni naboji (od plus ka minus). Strujno kolo može sadržavati veliki broj različitih elemenata, povezanih na različite načine. Osnovno strujno kolo (strujna kontura) sadrži : izvor struje, potrošač



sl.5.1



sl.5.2

elementima jednak je EMS:

struje i spojne provodnike (sl 5.2). Fizikalne veličine koje karakteriziraju tok električne struje duž nekog zatvorenog strujnog kola su: elektromotorna sila izvora (EMS) -E, jačina struje I , otpor potrošača R i napon na potrošaču U. Jedinica za EMS i napon je volt (V), a za električni otpor je om (Ω). Mjerenja pokazuju da je jačina električne struje direktno proporcionalna veličini elektromotorne sile.

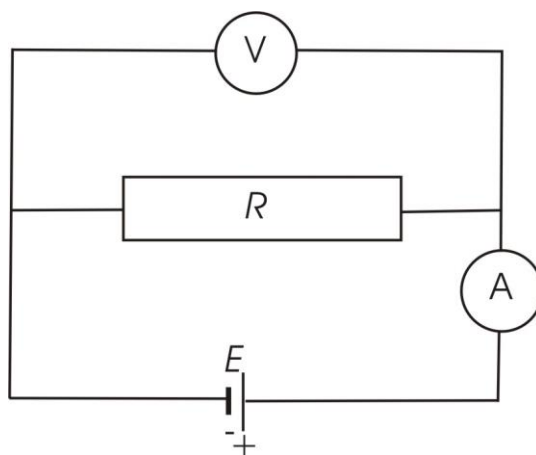
Napon na potrošaču (odnosno bilo kojem dijelu u kolu) jednak je proizvodu otpora tog dijela električnog kola i jačine struje kroz taj element:

$$U = IR \quad (5.2)$$

što predstavlja Ohmov zakon u linearnoj formi i vrijedi za tzv linearne vodiče (metali su linearni vodiči).

U osnovnom strujnom kolu zbir napona na svim

$$E = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (5.3)$$



sl.5.3

Proizvod jačine struje kroz neku konturu i otpora kojeg svi elementi konture pružaju toj struji (ukupnog otpora) jednak je EMS izvora struje :

$$E = IR_u \quad (5.4)$$

što predstavlja analitički izraz Ohmovog (Omog) zakona.

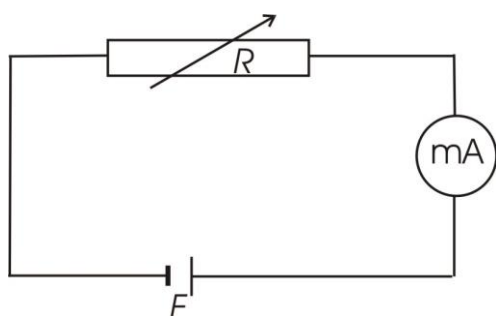
Sve navedene veličine mogu se mjeriti posebno konstruiranim instrumentima. Za mjerenje jačine struje kroz potrošač koristi se ampermetar, a za mjerenje napona na potrošaču koristi se voltmetar. Ampermetar se u električnom kolu uvijek priključuje serijski (redno), a voltmetar paralelno potrošaču (sl. 5.3).

ZADACI:

1. Uspostaviti strujno kolo prema zadanoj shemi. Odrediti EMS datog izvora struje, ukupan otpor elemenata u kolu (otpor izvora + unutrašnji otpor ampermetra + otpor otpornika/potrošača).
2. Provjeriti Ohmov zakon grafičkom metodom.
3. Odrediti nepoznati otpor potrošača koristeći dobijeni grafikon.

PRIBOR I MJERENJE

PRIBOR: Izvor istosmjerne električne struje (akumulator, baterija) ili ispravljač za dobivanje istosmjerne struje stalne jačine, otpornik sa klizačem ili otporna dekada, ampermetar sa mjernim područjem u miliamperima (mA), spojni vodiči, otpornik nepoznatog otpora.



sl.5.4

Ohmov zakon predstavljen relacijom (5.4) može se provjeriti eksperimentalno-analitičkom metodom koristeći strujno kolo na sl 5.4.

Ukupan otpor R_u , u kolu, jednak je zbiru otpora promjenljivog otpornika R i otpora R_e .

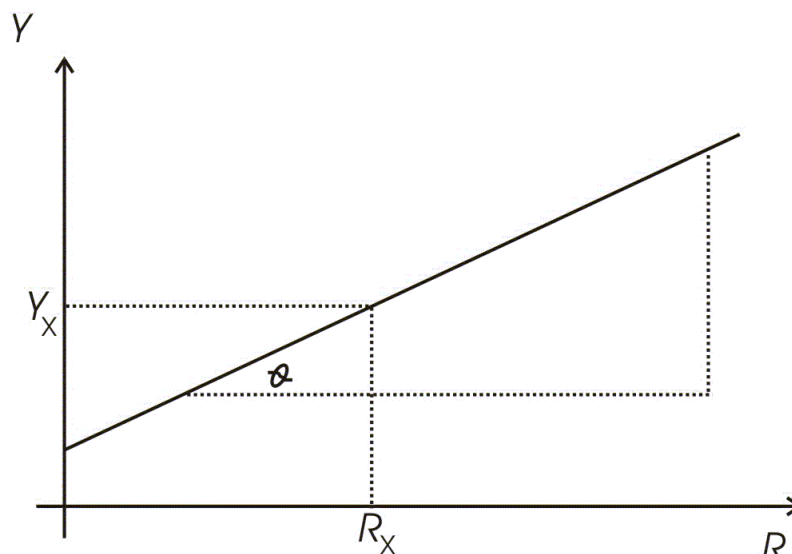
Otpor R_e je ukupni otpor spojnih provodnika, izvora, instrumenta.
Ohmov zakon za kolo na sl.5.4 ima oblik:

$$E = I(R + R_e) \quad (5.5)$$

Ako definiramo veličinu $Y = \frac{1}{I}$ (recipročna vrijednost jačine struje I), relacija (5.5) postaje:

$$Y(R) = \frac{1}{E} \cdot R + \frac{R_e}{E} \quad (5.6)$$

Y je linearna funkcija otpora R . Grafikon ove funkcije je pravac (sl.5.5).



sl.5.5

Provjera Ohmovog zakona ostvaruje se grafičkom metodom. Na apscisnu osu nanose se vrijednosti otpora R , a na ordinatnu osu recipročne vrijednosti jačine struje. Ako je dobijeni grafikon pravac, pokazano je da za kolo na sl.5.4 vrijedi Ohmov zakon. Iz (5.6) dobije se da je koeficijent smjera pravca recipročna vrijednost EMS. Pošto je koeficijent smjera svakog pravca jednak vrijednosti tangensa ugla koji pravac zaklapa sa pozitivnim smjerom apscisne ose to je

$$\frac{1}{E} = \operatorname{tg} \theta,$$

gdje je $\operatorname{tg} \theta$ koeficijent smjera pravca. Sada je

$$E = \frac{1}{\operatorname{tg} \theta} \quad (5.7),$$

što predstavlja srednju vrijednost te veličine (sl. 5.5.). Vrijednost R_e se određuje iz odsječka na osi Y koristeći vrijednost za E određenu prema (5.7).

Sa grafikona (5.5) može se odrediti nepoznati otpor nekog potrošača R_x kroz koji teče struja I_x čija je recipročna vrijednost Y_x .

IZVOĐENJE MJERENJA:

- Spojiti sve elemente prema shemi sa sl. 5.4
- Izabrati vrijednost otpora R i izmjeriti jačinu struje I kroz potrošač i unijeti podatke u tabelu 5.1
- Prethodni postupak ponoviti 9 puta uzimajući različite vrijednosti otpora R
- Otvoriti dokument koristeći MS Excel i upisati podatke prema tabeli 5.1.
- Markirati podatke i izabrati opciju za crtanje grafika
- Izabrati opciju za ispisivanje jednadžbe (linearna funkcija)
- Očitati vrijednosti koeficijenta smjera $\tan \theta$ i odsjeka na osi $Y\left(\frac{R_e}{E}\right)$
- Izračunati prema (5.7) vrijednost elektromotorne sile E i koristeći tako izračunatu vrijednost i očitano vrijednost $\frac{R_e}{E}$ izračunati R_e
- Uključiti dati nepoznati otpor R_x na mjestu elementa R u shemi na sl. 5.4.
- Očitati vrijednost I_x , izračunati $Y = \frac{1}{I_x}$, naći tu vrijednost na Y osi, povući paralelnu crtu sa R osom i označiti presjek sa pravcem, povući iz presječne tačke okomicu na R osu i očitati sa grafikona vrijednost nepoznatog otpora R_x . Tu vrijednost upisati u tabelu.
- Izmjeriti vrijednost R_x ommetrom direktno i očitati mjerenu vrijednost R_m .
- Izračunati relativnu grešku u odnosu na mjerenu vrijednost ($\varepsilon = \frac{|R_m - R_x|}{R_m} \cdot 100\%$).

Tabela 5.1.

Redni broj mjerenja	$R(\Omega)$	$I(A)$	$Y = \frac{1}{I}(A^{-1})$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

$E =$	$R_e =$		
$I_x =$	$R_x =$	$R_m =$	$\varepsilon = \%$

LABORATORIJSKA VJEŽBA 6

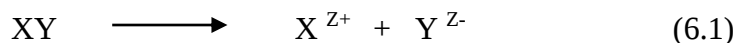
ELEKTRIČNA STRUJA U TEČNOSTIMA

Vodiči električne struje obzirom na vrstu nositelja struje i mehanizma prenošenja dijele se na:

- vodiče prve vrste u kojima su nositelji struje slobodni elektroni
- vodiče druge vrste u kojima su nositelji struje jonizirani atomi i molekule.

U vodiče prve vrste spadaju svi metali, grafit i poluvodiči (germanijum, silicijum i dr.). Glavni predstavnici vodiča druge vrste jesu elektroliti koji predstavljaju rastvore kiselina, lužina i soli.

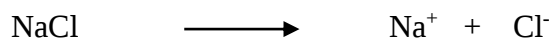
Molekule tih tvari se u vodi raspadaju na električno nabijene dijelove atoma ili atomskih skupina (jone). Proces razlaganja molekula rastvorene tvari na pozitivne jone (katjone) i negativne jone (anjone) naziva se elektrolitička disocijacija. Kod binarnih elektrolita, čiji se molekuli raspadaju na jedan katjon i jedan anjon taj se proces može predstaviti općenito jednačom:



gdje je z valencija jona. Oznaka “ $z+$ ” pokazuje da pozitivni jon ima z elektrona manje nego što mu je potrebno da bude električki neutralan, dok “ $z-$ ” pokazuje da negativni jon ima z elektrona više. Simbol za odvijanje reakcije u oba smjera važi samo u slučaju da su temperatura i koncentracija elektrolita stalne, a označava da je tada proces disocijacije reverzibilan. Reverzibilnost podrazumijeva da se istovremeno odvija i proces asocijacije (udruživanja) jona u neutralne molekule. Zbog toga je pri neizmjenjenoj temperaturi i koncentraciji, broj disociranih molekula u elektrolitu konstantan i zavisi od vrste elektrolita. Na primjer elektrolitička disocijacija bakarnog sulfata je:



U slučaju kuhinjske soli je:

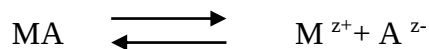


Svaki nastali jon u slučaju rastvora kuhinjske soli nosi po jedan elementarni naboj, dok u primjeru disocijacije molekula CuSO_4 svaki jon nosi po dva elementarna naboja.

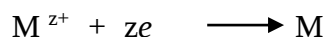
Kada u elektrolit uronimo elektrode (metalne ili ugljene), spojene sa izvorom elektromotorne sile, u njemu se stvara električno polje. Pod utjecajem polja pozitivni joni putuju prema katodi (elektrodi na negativnom potencijalu) i nazivaju se katjoni. Negativni joni se kreću prema anodi koja je na pozitivnom potencijalu i nazivaju se anjoni. Pozitivni joni u dodiru sa katodom, odnosno negativni u dodiru sa anodom, postaju električno neutralni atomi ili atomske grupe. Na ovaj način uspostavljena je struja kroz elektrolit. Električna struja ne potječe samo od kretanja negativnog naboja, kao u čvrstim vodičima, nego i od pozitivnog naboja.

Pri protoku istosmjerne električne struje kroz elektrolit, dolazi do reakcije između jona i elektroda. Jonizirani atomi (ili molekule) rastvora pod utjecajem električnog polja dospijevaju na elektrodu i tu se, nakon električke neutralizacije, izlučuju u obliku hemijski savršeno čiste tvari. Ta pojava zove se *elektroliza*.

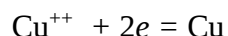
Mehanizam elektrolize objasniti ćemo na karakterističnom primjeru protoka istosmjerne struje kroz rastvor neke metalne soli. Metalne soli spadaju u binarne elektrolite. Njihovi molekuli disociraju u vodenom rastvoru na dva jona: metalni katjon M^{z+} i negativnu atomsku grupu kao anjon A^{z-} . Ovaj proces se može opisati općom jednačinom:



Ako se elektrolit pomoću dvaju metalnih elektroda uključi u kolo istosmjerne električne struje, metalni katjoni će se kretati prema katodi i tamo neutralizirati:



gdje je e elektron koji nosi naboj “- e ”. Za neutraliziranje jednog katjona potrebno je ze količina elektriciteta, što obezbjeđuje jedan anjon neutralizacijom na pozitivnoj anodi. Ta količina elektriciteta snagom elektromotorne sile izvora (kao neke pumpe) prelazi kroz strujno kolo na katodu. Time je cirkulacija količine elektriciteta ze kroz čitavo strujno kolo zatvorena. Neutralizirani anjon postaje hemijski aktivan i stupa u reakciju sa anodom, dok se neutralizirani katjon taloži kao čisti metal na katodi. Na primjer kada se u vodeni rastvor bakarnog sulfata urone bakarne elektrode i uspostavi strujno kolo, dolazi do elektrolize. Pozitivni joni bakra odlaze na katodu gdje se neutraliziraju i talože:



Negativni joni SO_4^{--} kreću se ka anodi gdje predaju višak elektrona i stupaju u hemijsku reakciju sa anodom, ponovo gradeći molekule $CuSO_4$ koje odlaze u rastvor gdje se ponovo javlja disocijacija. Na taj način se zapravo bakar prenosi sa anode na katodu, dok koncentracija bakarnog sulfata u rastvoru ostaje ista.

Odnos između količine nataložene tvari na elektrodi i jačine struje pri elektrolizi, te odnos izdvojenih količina tvari različitih elektrolita pod jednakim uvjetima ispitivao je Faraday i iskazao u obliku dva zakona.

Prvi Faradayev zakon glasi: *masa nataložene tvari (Δm) na elektrodi je proporcionalna količini naboja q koja prođe kroz elektrolit:*

$$\Delta m = k q$$

Konstanta proporcionalnosti k se naziva elektrohemijski ekvivalent i zavisi samo od fizičko-hemijskih karakteristika nataložene tvari (prirode tvari). Jedinica za elektrohemijski ekvivalent je kgC^{-1} , a u upotrebi je još uvijek i gC^{-1} . Kako je prema definiciji jačine struje

$$q = I \Delta t$$

gdje je I jačina struje kroz elektrolit, a Δt vrijeme proticanja struje, onda je elektrohemijski ekvivalent:

$$k = \frac{\Delta m}{q} = \frac{1}{I} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (6.2)$$

Ako je naboj jednog jona ze , tada je naboj koji n jona predaje elektrodi:

$$q = n z e \quad (6.3)$$

gdje je e naboj elektrona, a z valencija elementa.

Masa koja se pri tome izdvoji na elektrodi je:

$$\Delta m = n \mu \quad (6.4)$$

gdje je μ masa jednog jona. Iz relacije (6.3.) je

$$n = \frac{q}{ze}$$

pa se uvrštavanjem u (6.4) dobija da je masa izdvojena na elektrodi određena izrazom:

$$\Delta m = \frac{\mu}{z \cdot e} \cdot q \quad (6.5)$$

Ovo poređenjem sa izrazom za prvi Faradejev zakon i prema (6.2) daje:

$$k = \frac{\mu}{ze} = \frac{1}{I} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (6.6)$$

Odavde dobijamo za masu atoma metala:

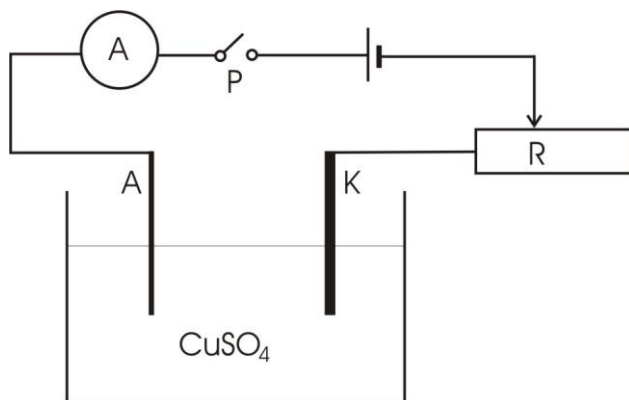
$$\mu = \frac{ze}{I} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (6.7)$$

ZADACI:

1. Odrediti elektrohemijski ekvivalent atoma metala izdvojenog u procesu elektrolize.
2. Odrediti masu jednog atoma metala izdvojenog u procesu elektrolize.

PRIBOR I MJERENJE

U vježbi se koristi elektrolitička kada sa rastvorom bakarnog sulfata, otpornik s klizačem, ampermetar, hronometar, izvor stalne struje i digitalna vaga (sl. 6.1). U elektrolitičku kadu, koja je načinjena od pleksiglasa, ulije se elektrolit (CuSO_4). Bakrene ploče služe kao anoda i katoda kada se priključe na odgovarajući pol izvora. Kao izvor istosmjerne struje koristi se priključnice akumulatorske stanice napona 12 V ili adapter (ispravljač) za korištenje napona gradske mreže koji se ispravi i podesi na napon od 12 V. Elektroda koja se koristi kao katoda se dobro očisti (komadom krpe i polirnom pastom) dobro osuši fen-aparatom i suha stavlja na digitalnu vagu.



Sl. 6.1

U toku elektrolize važno je kontrolirati da jačina struje kroz elektrolit bude konstantna. Ako dođe do njene promjene, treba je regulirati pomoću reostata R. Kada zadano vrijeme taloženja Δt istekne, katodu treba izvaditi iz elektrolita, osušiti fen-aparatom bez pranja i brisanja, i ponovo suhu staviti na digitalnu vagu i izmjeriti masu. Mjerenje treba da pokaže povećanje mase tako da se može odrediti masa nataložena na elektrodi kao razlika mase elektrode poslije i prije procesa elektrolize. Kada smo dobili masu nataloženog bakra Δm , elektrohemijski ekvivalent izračunavamo prema (6.2), a masu jednog atoma bakra pomoću (6.7). Valencija bakra iznosi $z=2$, a vrijednost elementarnog naboja $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

IZVOĐENJE MJERENJA

- Elektrode dobro očistiti i fen-aparatom osušiti
- Izmjeriti masu m_1 katode pomoću digitalne vage i upisati u Tabelu 6.1
- Staviti u kadu elektrode
- Spojiti strujno kolo prema slici (6.1)
- Uključiti pomoću prekidača P strujno kolo
- Podesiti pomoću otpornika R jačinu struje na oko 1,2 A i istovremeno uključiti hronometar
- Pomoću otpornika, pomijerajući klizač održavati stalnu jačinu struje
- Puštati struju zadano vrijeme (najmanje 30 minuta)
- Po isteku zadanog vremena isključiti struju u kolu pomoću prekidača, izvaditi katodu i osušiti fen-aparatom (mora biti potpuno suha)
- Izmjeriti na digitalnoj vagi masu katode m_2
- Izračunati razliku mase $\Delta m = m_2 - m_1$. (Na taj način se dobije masa nataloženog elementa)
- Izračunati k prema izrazu (6.2) i upisati u istu tabelu
- Postupak ponoviti za vrijednosti struje od 1,4 A i 1,6 A
- Sve podatke unijeti u Tabelu 6.1
- Izračunati srednju vrijednost za izmjereni elektrohemijski ekvivalent
- Podatke iz Tabele 6.1. iskoristiti da se odredi masa jednog atoma koristeći relaciju (6.7)
- Izračunati relativnu grešku

Tabela 6.1

Broj mjerjenja	I (A)	Δt (s)	m_1 (g)	m_2 (g)	Δm (g)	k (gC ⁻¹)	μ (g)
1							
2							
3							

$k_{sr} =$	$\mu_{sr} =$	$\varepsilon =$	%
------------	--------------	-----------------	---

LABORATORIJSKA VJEŽBA 7

NAIZMJENIČNA STRUJA

Naizmjeničnu struju karakterizira promjenljiva jačina i smjer. Ove promjene su periodične, a ako su sinusoidalne onda se takva struja naziva sinusna naizmjenična struja. Naizmjenična struja koja se koristi u gradskoj mreži, a proizvode je generatori u centralama je upravo sinusnog oblika. U ovom slučaju su trenutne vrijednosti jačine struje i napona sinusne vremenske funkcije:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad u = U_m \sin(\omega t + \varphi_0),$$

gdje su:

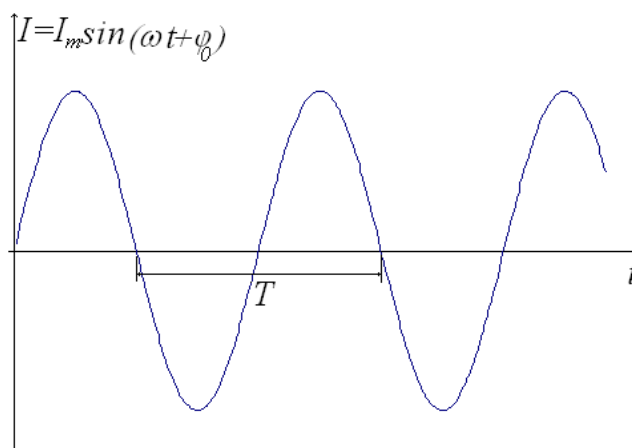
i - trenutna vrijednost jačine struje

u - trenutna vrijednost napona

ω - kružna frekvencija naizmjenične struje

φ_0 - početna faza

I_m i U_m - maksimalne vrijednosti struje i napona



sl.7.1

Kod sinusnog oblika naizmjenične struje (sl.7.1), jačina struje u jednom momentu je jednaka nuli, a zatim počinje rasti u jednom smjeru i nakon nekog vremena dostiže svoju maksimalnu vrijednost I_m . Nakon toga opada, ponovo pada na nulu, mijenja smjer i raste u suprotnom smjeru do maksimalne vrijednosti i onda opet opada i pada na nulu. Cijeli ovaj proces se zatim iznova ponavlja. Vrijeme za koje struja izvrši jednu punu promjenu naziva se periodom, a broj promjena u jedinici vremena frekvencija naizmjenične struje.

Veza između kružne frekvencije ω , koja je u stvari ugaona brzina generatora koji proizvodi struju, frekvencije f i perioda T naizmjenične struje je :

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T}$$

Jedinica za frekvenciju je Herc :

$$[f] = 1\text{s}^{-1} = 1\text{Hz}$$

Frekvencija struje gradske mreže u Evropi iznosi 50 Hz (u USA je frekvencija 60 Hz).

Kako se u praksi koriste naizmjenične struje visoke frekvencije (50 Hz znači 50 promjena u jednoj sekundi), nije od velike praktične važnosti mjeriti trenutnu vrijednost struje i napona. Naizmjenična struja pri proticanju kroz provodnik jednako kao i istosmjerna nailazi na otpor koji je posljedica sudara nosilaca naboja (elektrona) sa atomima u kristalnoj rešetci provodnika. Pri ovome dolazi do pretvaranja energije električne struje u toplotu, a odgovarajući otpor se naziva termogenim otporom i označava se sa R . U kolu naizmjenične struje koje sadrži samo termogeni otpor vrijedi Ohmov zakon jednako kao i u kolu istosmjerne struje. Termogeni efekat je nazavisan od smjera struje i koristi se za uvođenje tzv. efektivnih vrijednosti naizmjenične struje i napona. *To su one vrijednosti naizmjenične struje i napona koje u određenom vremenu u datom vodiču razviju istu količinu toplote kao i istosmjerna struja (napon) iste jačine u istom vodiču.* Pokazuje se da su maksimalne I_m i U_m i efektivne vrijednosti I i U povezane na sljedeći način:

$$I_m = \sqrt{2}I \text{ i } U_m = \sqrt{2}U \quad (7.2)$$

Standardni uređaji za mjerenje jačine struje i napona (ampermetar i voltmetar) pokazuju uvijek efektivne vrijednosti ovih veličina kada se radi o naizmjeničnoj struji.

Između električnog kola sa naizmjeničnom i istosmjernom strujom postoje razlike, naročito u pogledu prirode određenih pojava u njima.

Ako se na naizmjenični napon priključi zavojnica induktiviteta (koeficijenta samoindukcije) L onda će se u njoj zbog osobina naizmjenične struje inducirati elektromotorna sila samoindukcije koja će se manifestirati kao vrsta otpora koji se naziva *induktivni otpor*. Taj otpor zavisi od frekvencije naizmjenične struje i induktiviteta zavojnice:

$$R_L = \omega L \quad \text{odnosno} \quad R_L = 2\pi fL \quad (7.3)$$

Ako se termogeni otpor zavojnice može zanemariti onda je to otpor koji pruža zavojnica u električnom kolu naizmjenične struje. Takva zavojnica ne stvara gubitke energije.

Kada se kondenzator priključi na izvor istosmjernog napona, za kratko vrijeme se kondenzator napuni nakon čega se struja u kolu prekida. Ako se pak kondenzator priključi na izvor naizmjeničnog napona u kolu se struja održava. Događa se periodično punjenje i pražnjenje kondenzatora tako da on predstavlja otpor u takvom kolu. Otpor je veći što je frekvencija struje manja i manji kapacitet kondenzatora. Takav otpor se naziva *kapacitivni* a određen je izrazom:

$$R_C = \frac{1}{\omega C} \quad \text{odnosno} \quad R_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (7.4)$$

Zavojnica i kondenzator kada su priključeni na izvor naizmjeničnog napona uvjetuju pomijeranje faze struje u odnosu na napon. Zavojnica utiče tako što struja kasni za naponom, a kondenzator utiče da struja prethodi naponu za vrijednost φ .

ZADACI

1. Promatrati sinusoidalni napon koji smo doveli na y-pločice, ako smo na x-pločice doveli testerasti napon. Birati jednake periode, dvostruko ili trostruko manje od perioda testerastog napona i uočiti promjene
2. Baždariti dati katodni osciloskop (za mjerenje napona)
3. Odrediti kapacitet datog kondenzatora u kolu naizmjenične struje pomoću katodnog osciloskopa
4. Odrediti induktivitet date zavojnice u kolu naizmjenične struje pomoću katodnog osciloskopa

PRIBOR I MJERENJE

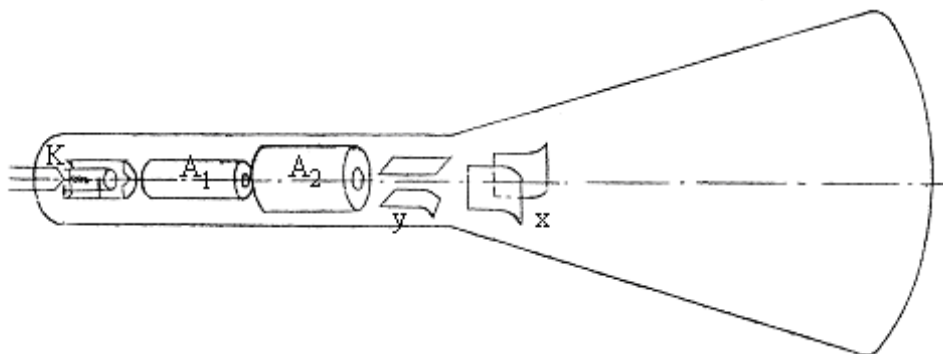
KATODNI OSCILOSKOP

Elektronski uređaj na kojem se može promatrati slika zavisnosti napona na nekom potrošaču u kolu naizmjenične struje od vremena, (funkcija $u(t)$), naziva se katodni osciloskop.

Rad ovog uređaja je baziran na pojavi ispuštanja svjetlosti (luminiscencija) kod nekih materijala kada ih se pogodi snopom brzih čestica (npr. elektrona).

Glavni dio katodnog osciloskopa jeste katodna cijev prikazana na sl.7.2. Katodna cijev predstavlja stakleni balon sa visokim vakuumom, koji na jednom kraju ima proširenje čija je unutrašnja strana prevučena fluorescentnim zastorom (ekranom). U unutrašnjosti balona nalazi se čitav sistem elektroda. Katoda K, koja se pomoću otpornog vlakna zagrijava do visoke temperature služi za emisiju elektrona. Ona je spojena na negativan potencijal i odbija negativno naelektrisane elektrone koji se ubrzavaju prema pozitivno naelektrisanim anodama. Anode A_1 i A_2 osim toga služe i za fokusiranje snopa elektrona. Nakon izlaska iz anode A_2 snop elektrona je tanak kao igla i kreće se duž ose katodne cijevi prema ekranu. Mjesto na koje ovaj snop pogodi ekran postaje osvijetljeno čime se označava položaj snopa.

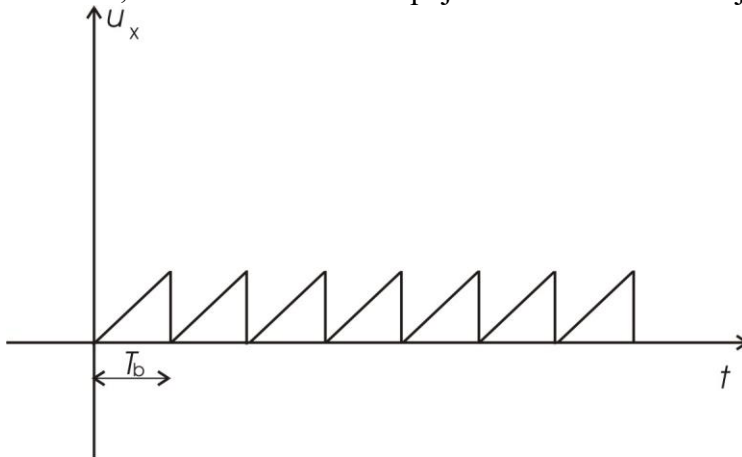
Prije udara u ekran osciloskopa snop elektrona prolazi kroz otklonski sistem, koji se



sl.7.2

sastoji iz dva para planparalelnih površina (pločica). Vertikalno postavljene pločice se zovu x-pločice, dok su horizontalno postavljene pločice y-pločice. Dovođenjem napona na ove pločice snop elektrona biva otklonjen po vertikalnom i horizontalnom pravcu. Ako se napon dovede na x-pločice, snop elektrona će biti otklonjen u horizontalnoj ravni, tako da će se svijetla tačka na ekranu pomjeriti ulijevo ili udesno. Analogno se tačka pomijera gore ili dolje ako se napon dovede na y-pločice. Elektronski snop ima vrlo malu inerciju i u stanju je da reaguje na promjenu napona na ovim pločicama gotovo trenutno. Zbog ovoga se osciloskop može koristiti za posmatranje vrlo brzih promjena naizmjeničnog napona za razliku od uređaja sa pokretnim kalemom čije su mehaničke komponente inertne i nisu u stanju da prate ove promjene.

Ekran katodne cijevi je obično obilježen koordinatnom mrežom tako da se može očitati skretanje svijetle tačke po vertikali i horizontali. Skretanje po vertikali, odnosno po ordinati y je proporcionalan naponu u_y koji se dovodi na y-pločice, dok je skretanje po horizontali, odnosno po apscisi x proporcionalano naponu u_x koji se dovodi na x-pločice. Konstante proporcionalnosti između napona dovedenih na x i y pločice osciloscopa i skretanja po x i y osi zavise od konstrukcije cijevi i pojačanja signala prije dovođenja na pločice. Ako se dva promjenljiva napona dovedu istovremeno na vertikalni i horizontalni otklonski sistem, onda će se na ekranu pojaviti složena kriva linija.



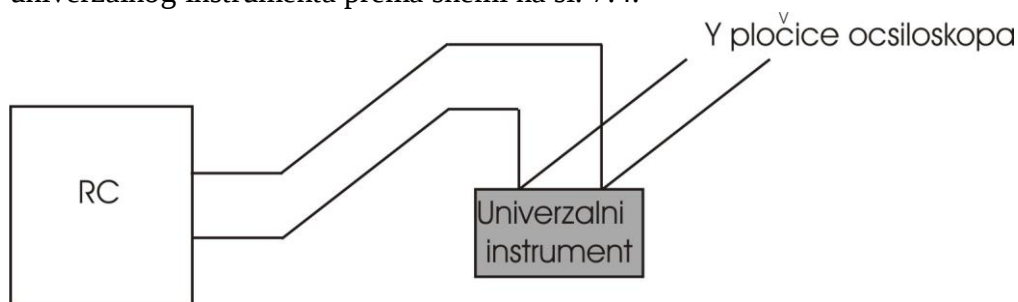
sl.7.3

Sinusna kriva se na ekranu katodnog osciloscopa može dobiti na taj način da se na y - pločice katodne cijevi dovede sinusni naizmjenični napon koji će svijetlu tačku pomijerati gore-dolje (paralelno y osi), a istovremeno na x-pločice dovede napon koji linearno raste sa vremenom i koji svijetlu tačku pomijera iz lijeva u desno (paralelno sa x osom). Jasno je da kad svijetla tačka dođe do krajnjeg desnog ruba ekrana, poseban elektronski mehanizam mora tu tačku da vrati nazad na lijevi kraj ekrana, kako bi se ispisivanje sinusne krive ponovilo. To se postiže na taj način da napon na x - pločicama u momentu kada svijetla tačka ispiše jedanput sliku duž čitavog ekrana, naglo padne na nulu, a zatim ponovo raste proporcionalno vremenu sve dok traje novo ispisivanje slike. Takav napon koji raste proporcionalno vremenu, a u jednakim vremenima naglo padne na nulu zove se testerasti napon (sl. 7.3). Vrijeme trajanja jednog “zupca” testerastog napona (vrijeme potrebno da svijetla tačka jedanput ispiše sliku na ekranu katodne cijevi) naziva se vremenska baza T_b . Veličina vremenske baze treba da je takva da slika na ekranu katodne cijevi miruje. Zbog toga svaki katodni osciloskop sadrži izvor testerastog napona čija se vremenska baza može regulirati. Pomoću posebnog preklopnika testerasti napon se direktno dovodi na x-pločice katodne cijevi. Na ekranu osciloscopa može se dobiti slika bilo kakvog promjenljivog napona. Dovoljno je da se na y-pločice dovede taj napon, a da se na x-pločice dovede testerasti napon čiji izvor postoji u osciloskopu, a da se pomoću posebnog regulatora izabere pogodna vremenska baza.

Katodni osciloskop se može upotrijebiti za mjerenje nekih veličina kao što su: mjerenje efektivnih vrijednosti naizmjeničnog napona, impedanci, induktiviteta zavojnice, kapaciteta kondenzatora, frekvencije naizmjenične struje i dr. Prije mjerenja neke od navedenih veličina potrebno je baždariti osciloskop.

BAŽDARENJE OSCILOSKOPA

Baždarenje koordinatne mreže na ekranu osciloskopa znači odrediti koliko volti odgovara jednom podioku na y osi koordinatne mreže. Baždarenje se vrši pomoću univerzalnog instrumenta prema shemi na sl. 7.4.

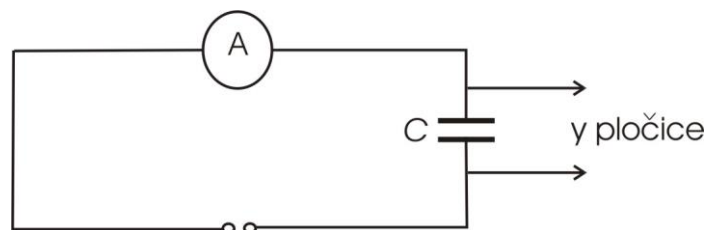


sl.7.4

Priključnice RC generatora povezane su istovremeno sa instrumentom i y -pločicama osciloskopa. Preklopnik instrumenta treba okrenuti ulijevo (područje 25 V) i okretati dugme za regulaciju izlaznog napona na RC generatoru sve dok instrument ne pokaže 10 V. Izborom pogodne vremenske baze postići da se na ekranu osciloskopa pojavi mirna sinusoida koja predstavlja napon iz RC generatora. Regulacijom osjetljivosti y -pločica podesiti amplitudu sinusoide tako da bude u visini 10-tog podioka na koordinatnoj mreži. U tom slučaju najmanjem podioku odgovara napon od 1 V. Kada je ovo učinjeno više se ne smije dirati regulator osjetljivosti y -pločica. Mjerenje napona U_m koji se dovede na y -pločice sastoji se u tome da se odredi broj podioka koji odgovara veličini amplitude sinusoide.

MJERENJE KAPACITETA KONDENZATORA

Za mjerenje kapaciteta datog kondenzatora pomoću katodnog osciloskopa koristi se električno kolo kao na sl.7.5 .



sl.7.5

Mjerenjem amplitude naizmjenične struje čiji se smjer izmjenjuje na oblogama kondenzatora I_m , amplitude naizmjeničnog napona na krajevima kondenzatora U_m i frekvencije izvora struje može se odrediti kapacitet kondenzatora. Koristeći Ohmov zakon prema kojem je impedanca kondenzatora jednaka odnosu maksimalnih vrijednost napona i jačine struje za kondenzator dobija se relacija:

$$C = \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{I_m}{U_m} \quad (7.5)$$

Mjerenje amplitude I_m naizmjenične struje vrši se pomoću univerzalnog instrumenta koji se koristi za baždarenje osciloskopa. Sada se instrument veže u kolo serijski a prijeklopnik instrumenta se postavi u položaj za područje ampermetra, birajući ono područje mjerenja koje će dati dovoljno tačne mjerene vrijednosti.

MJERENJE INDUKTIVITETA ZAVOJNICE

Električno kolo kao na sl. 7.5 koristi se i za mjerenje induktiviteta zavojnice koja se priključuje na mjestu gdje je bio priključen kondenzator. Mjerenje induktiviteta zavojnice se temelji na mjerenju frekvencije naizmjenične struje koja teče kroz zavojnicu, amplituda napona i struje, a primjenjujući Ohmov zakon. Za mjerenje induktiviteta zavojnice koristi se relacija:

$$L = \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{U_m}{I_m} \quad (7.6)$$

Jedinica za induktivitet zavojnice je Henri ($H = Vs/A$), a za kapacitet kondenzatora je Farad ($F = As/V$). U prikazivanju rezultata koristiti manje jedinice (milihenrije i mikrofarade, odnosno nanofarade).

IZVOĐENJE MJERENJA

1. Zadatak

- Na x-pločice priključiti testerasti napon , a na y promatrani sinusoidalni napon. Nacrtati sinusoidu na milimetarskom papiru prema slici na ekranu.

2. Zadatak

- Spojiti shemu kao na sl. 7.4. Baždariti osciloskop na opisani način. Ne dirati pomenute regulatore
- Isključiti sa x -pločica testerasti napon

3. Zadatak

- Spojiti kolo kao na sl. 7.5
- Birajući frekvenciju naizmjenične struje očitati vrijednost jačine struje na ampermetru, a vrijednost napona na osciloskopu
- Izračunati vrijednost kapaciteta datog kondenzatora prema (7.5)
- Sve vrijednosti unijeti u tabelu 7.1. Izračunati srednju vrijednost $\overline{C}_s$.

Tabela 7.1

Broj mjerjenja	$f(\text{Hz})$	$I_m(\text{A})$	$U_m(\text{V})$	$C(\mu\text{F})$
1				
2				
3				
4				
5				

$C_{sr}(\mu\text{F}) =$

4. Zadatak

- Spojiti kolo kao na sl. 7.5 zamjenjujući kondenzator zavojnicom
- Ponoviti postupak kao u prethodnom zadatku koristeći izraz (7.6)
- Amplitudu napona regulirati pomoću potenciometra montiranog pored priključnica izvora naizmjenične struje
- Podatke unijeti u Tabelu 7.2. Izračunati srednju vrijednost $\bar{L}_s$.

Tabela 7.2

Broj mjerjenja	$f(\text{Hz})$	$I_m(\text{A})$	$U_m(\text{V})$	$L(\text{mH})$
1				
2				
3				
4				
5				

$L_{sr}(\text{mH}) =$

LABORATORIJSKA VJEŽBA 8

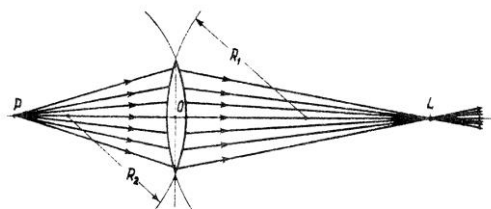
SOČIVA

Sočivo (leća) predstavlja optički sistem ograničen sa dvije ili više providnih prelamajućih površina koje su najčešće sferne i imaju zajedničku optičku osu (to je osa koja prolazi kroz centre krivina prelamajućih površina). Pri tome je bar jedna od površina zakrivljena, tj. ima radijus krivine različit od nule. Jedno prosto sočivo (ima samo dvije prelamajuće površine) prikazano je na sl. 8.1.

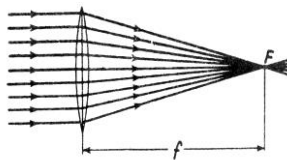
Materijal od koga se izrađuju sočiva je najčešće staklo dok je okolna sredina vazduh. Prilikom prelaska svjetlosti iz jedne u drugu optičku sredinu, zbog različite brzine prostiranja svjetlosti u njima, dolazi do skretanja svjetlosnog zraka na granici sredina. Dok se pri prolasku kroz planparalelnu ploču svjetlosni zrak samo paralelno pomjera, skretanje se iskorištava kod sočiva tako, da se u njima svjetlosni zrak koji polazi iz tačke sa jedne strane sočiva dva puta lomi i sa druge strane sočiva izlazi skrenut za neki ugao u odnosu na prvobitni pravac. To omogućava da se svjetlosni zraci koji polaze od jedne tačke predmeta nakon prolaska kroz sočivo mogu sjeći u tački sa druge strane sočiva i dati realan lik tačke predmeta. Ako se svjetlosni zraci iz jedne tačke nakon prolaska kroz sočivo ne sjeku, ali se njihovi produžeci sjeku sa iste strane sočiva na kojoj se nalazi i predmet, govorimo o imaginarnom liku tačke predmeta.

Razlikujemo dvije vrste sočiva. Kod sabirnih sočiva (sl.8.2) će se svi svjetlosni zraci, koji su prije prolaska kroz sočivo bili paralelni optičkoj osi, nakon prolaska kroz sočivo sjeći u jednoj tački, dok se kod rasipnog sočiva (sl.8.2) ovi zraci lome tako da se njihovi produžeci sjeku svi u jednoj tački sa iste strane sočiva sa koje su i došli. Ove tačke nazivaju se žižama ili fokusima, a njihova udaljenost od centra sočiva žižnom daljinom sočiva. Isto tako će kod sabirnog sočiva svjetlosni zraci koji polaze iz fokusa, a kod rasipnog zraci koji imaju takav pravac da bi se sjekli u fokusu sa druge strane sočiva, nakon prelamanja kroz sočivo biti paralelni optičkoj osi. Ako je okolna sredina ista sa jedne i sa druge strane sočiva onda su jednake i žižne daljine sa obje strane i tada govorimo o samo jednoj žižnoj daljini sočiva f . Pri ovome se žižna daljina sabirnog sočiva uzima kao pozitivna, a žižna daljina rasipnog sočiva kao negativna vrijednost ove udaljenosti. Žižna daljina tankog sočiva u zraku zavisi samo od indeksa prelamanja materijala od kojeg je načinjeno sočivo i od radijusa njegovih graničnih površina.

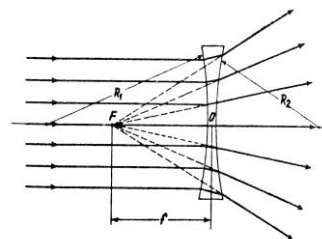
Dva karakteristična zraka (paralelno pa kroz fokus i kroz fokus pa paralelno) nam, skupa sa trećim karakterističnim zrakom koji prolazi kroz centar sočiva, a koji se ne prelama (sl. 8.4), omogućuju da pronađemo lik svake tačke predmeta.



sl. 8.1



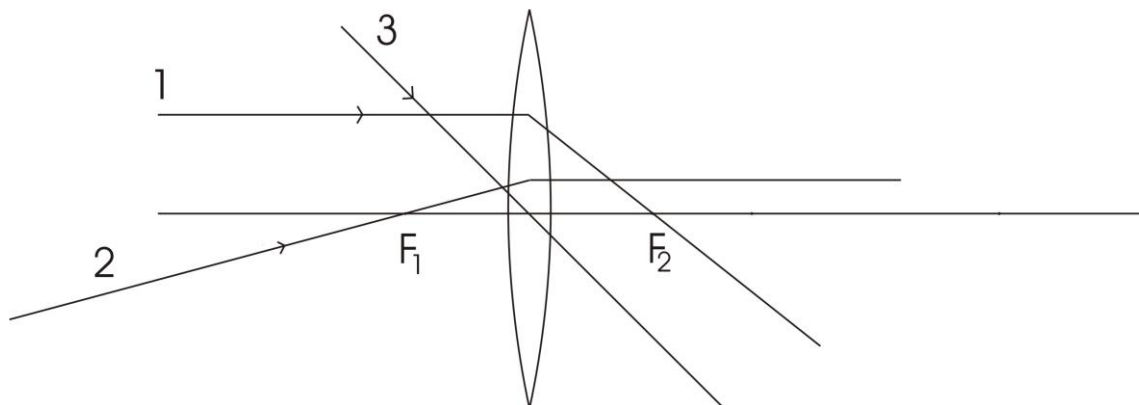
sl.8.2



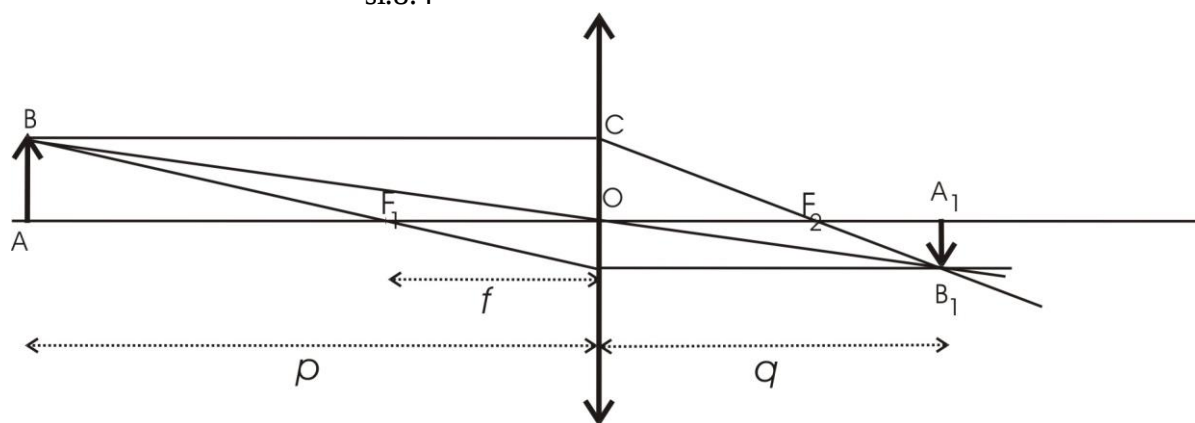
sl 8.3

Osnovna funkcija sočiva jeste preslikavanje nekog predmeta na površinu okomitu na optičku osu. Ako je rastojanje tog objekta od sočiva zadano, položaj slike (lika) predmeta zavisi od žižne daljine sočiva. Položaj lika zadanog predmeta može se konstruirati

geometrijski, pomoću karakterističnih zraka. Na sl. 8.5 prikazan je način konstrukcije lika zadanog objekta (strelica AB) pri preslikavanju pomoću tankog sabirnog sočiva koje je predstavljeno dvostruko orijentiranom duži).



sl.8.4



sl.8.5

Lik je strelica A_1B_1 i izvrnut je. Udaljenost predmeta od centra sočiva označena je sa p , a udaljenost lika od centra sočiva označeno je sa q . Iz sličnosti trokutova na sl.8.5 može se jednostavno dobiti da vrijedi:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q} \quad (8.1)$$

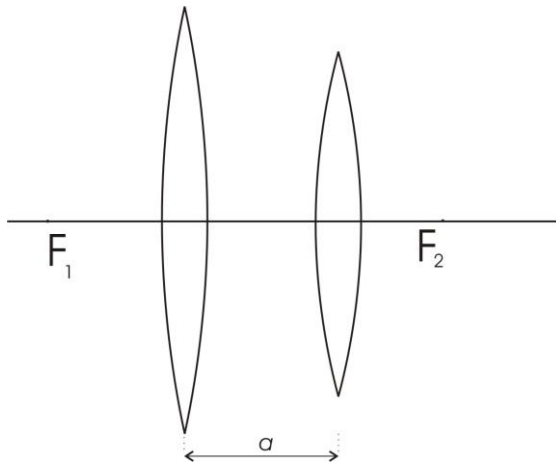
Ova jednadžba je poznata kao Gaussova jednadžba sočiva. Veličina

$$D = \frac{1}{f}$$

se naziva optička moć sočiva. Mjerna jedinica optičke moći jeste dioptriya: optičku moć od jedne dioptrije ima sočivo čija je žižna daljina $f = 1 \text{ m}$.

SLOŽENA SOČIVA

Dva ili više prostih sočiva postavljenih tako da imaju zajedničku optičku osu čine složeno sočivo. Površine susjednih sočiva mogu biti u kontaktu, a mogu biti i rastavljeni slojem zraka. Svako složeno sočivo, isto kao prosto ima svoje žiže. Gaussova jednađba važi isto tako dobro za složeno sočivo kao i za prosto.



sl.8.6

Ovdje se nećemo upuštati u nešto složenije izvođenje obrasca koji povezuje žižne daljine prostih sočiva. Ako je složeno sočivo sastavljeno iz dva tanka sočiva žižnih daljina f_1 i f_2 (sl.8.6), za žižnu daljinu vrijedi:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{a}{f_1 \cdot f_2} \quad (8.2)$$

gdje je veličina a međusobna udaljenost sočiva.

ZADACI

1. Odrediti žižnu daljinu i optičku moć tankog sabirnog sočiva direktnom metodom.
2. Odrediti žižnu daljinu tankog sabirnog sočiva Besselovom metodom.

3. Odrediti žižnu daljinu i optičku moć rasipnog sočiva metodom kombiniranog sočiva.

PRIBOR I MJERENJE

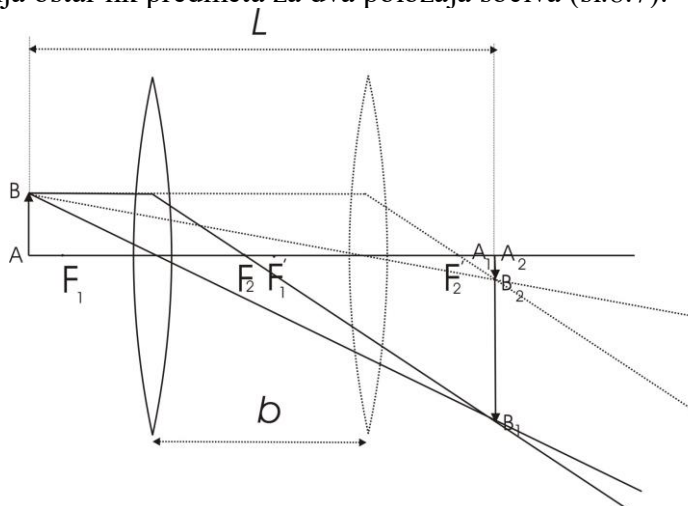
DIREKTNNA METODA

Prema relaciji (8.1) žižna daljina nekog prostog sočiva može se odrediti mjerenjem udaljenosti p između predmeta koji se preslikava i sočiva i udaljenosti q između slike (lika) preslikanog predmeta i sočiva. Preslikavanje će biti optimalno ako se predmet, sočivo i lik nalaze na optičkoj osi. To se postiže pomoću optičke klupe na koju se pomoću jahača postavljaju nosači predmeta, sočiva i zastora (ekrana) na kojem se dobiva slika predmeta. Izvor svjetlosti je sijalica koja se napaja pomoću transformatora iz gradske mreže. Kao predmet služi zaslon sa trougaonim otvorom u kome se nalazi mreža od tanke žice. Ova mreža se mora pomoću sočiva oštro preslikati na ekran, koji se postavlja na suprotnom kraju optičke klupe. Pomjera se sočivo sve do onog položaja kada će se dobiti oštar lik predmeta na ekranu. Takvih položaja je dva (jedan je uvećan, a drugi umanjen) i za oba se dobije ista vrijednost žižne daljine. Udaljenosti p i q se očitavaju na milimetarskoj podjeli koja se nalazi na optičkoj klupi. Prema izrazu (8.2) se dobije da je žižna daljina sočiva:

$$f = \frac{pq}{p+q} \quad (8.3)$$

BESSELOVA METODA

Ako se fiksira udaljenost predmeta i ekrana, tada se pomijerajući sočivo između njih dobija oštar lik predmeta za dva položaja sočiva (sl.8.7).



sl.8.7

Kako je udaljenost predmeta i lika fiksirana tj. $L=p+q$ iz Gausove jednačine sočiva slijedi da je veza između ta dva položaja takva da je udaljenost predmet - sočivo u jednom slučaju jednaka udaljenosti lik-sočivo u drugom slučaju i obrnuto, tj:

$$p' = q \text{ i}$$

$$q' = p.$$

Jednom je lik uvećan, a drugi put je lik umanjen. Udaljenost između dva položaja sočiva je b i jednaka je razlici q i p .

$$q - p = b \quad (8.4)$$

$$p + q = L \quad (8.5)$$

Iz (8.4) i (8.5) se dobije da je :

$$q = \frac{1}{2}(L + b) \quad \text{i} \quad p = \frac{1}{2}(L - b)$$

Ako se ovi izrazi za p i q zamijene u jednažbi (8.1) dobija se:

$$f = \frac{L^2 - b^2}{4L} \quad (8.6)$$

Žižna daljina rasipnog sočiva se ne može odrediti ni jednom od opisanih metoda, zbog lika koji je uvijek imaginaran. Ako se rasipno sočivo kombinira sa jednim sabirnim sočivom čija je žižna daljina poznata, onda se preslikavanjem nekog predmeta kroz taj sistem (složeno sočivo) može dobiti realan lik. Ako je udaljenost između sabirnog i rasipnog sočiva nula, tj. sočiva smo postavili tako da im se površine dodiruju, a žižna daljina sabirnog sočiva f_s , tada je prema (8.2) žižna daljina rasipnog sočiva:

$$f_r = \frac{f \cdot f_s}{f_s - f} \quad (8.7)$$

gdje je f žižna daljina složenog sočiva. Ova žižna daljina se određuje direktnom ili Besselovom metodom koja je preciznija metoda. Za sabirno sočivo u ovom sistemu uzeti srednju vrijednosti izmjerene žižne daljine u prvom zadatku.

IZVOĐENJE MJERENJA

1. Zadatak

- Na optičku klupu postaviti predmet, ekran i između njih dato sočivo.
- Ispred predmeta postaviti sijalicu i uključiti je pomoću prekidača.
- Pomijerati sočivo tako da se na ekranu pojavi oštar lik predmeta (umanjen ili uvećan).
- Očitati na mjernoj traci na klupi vrijednosti p i q i unijeti ih u tabelu 8.1.
- Prema izrazu (8.3) izračunati vrijednost f i unijeti u tabelu.
- Postupak ponoviti još četiri puta za razne udaljenosti ekrana.
- Izračunati srednju vrijednost za sabirno sočivo f_s i srednju vrijednost za $D_s = \frac{1}{f_s}$

Tabela 8.1.

Broj mjerjenja	$p(\text{m})$	$q(\text{m})$	$f(\text{m})$
1			
2			
3			
4			
5			
$f_{sr} =$ $D_{sr} =$			

2. Zadatak

- Istu postavku elemenata kao u prethodnom zadatku koristiti u ovom zadatku.
- Zabilježiti udaljenost L između predmeta i ekrana.
- Ne pomijerajući predmet i ekran, a pomijerajući sočivo naći položaj sočiva pri pojavi oštrog, uvećanog lika datog predmeta i zabilježiti taj položaj u odnosu na predmet.
- Uz iste uvjete pomijerati sočivo dok se ne pojavi umanjen, oštar lik predmeta na ekranu i taj položaj sočiva zabilježiti.
- Odrediti udaljenost b kao razliku prethodno zabilježenih položaja sočiva.
- Sve vrijednosti koje su mjerene unijeti u tabelu 8.2.
- Izračunati vrijednost f prema izrazu (8.6).
- Postupak mjerenja ponoviti još četiri puta.
- Izračunati srednju vrijednost žižne daljine f_s .

Tabela 8.2

Broj mjerjenja	$L(\text{m})$	$b(\text{m})$	$f(\text{m})$
1			
2			
3			
4			
5			
$f_{sr} =$			

3. Zadatak

- Postavljene elemente u prethodnim zadacima iskoristiti tako što treba postaviti uz sabirno sočivo i dato rasipno tako da im se površine dodiruju
- Ponoviti postupak mjerenja žižne daljine sistema sočiva f kao u zadatku 2
- Za izračunavanje žižne daljine f koristiti izraz (8.6)
- Uvrstiti sve mjerene i izračunate vrijednosti u tabelu 8.3
- Izračunati žižnu daljinu rasipnog sočiva koristeći srednju vrijednost žižne daljine sabirnog sočiva f_{sr} iz prvog zadatka kao f_s u izrazu (8.7), a za žižnu daljinu kombinovanog sočiva f srednju vrijednost iz tabele 8.3.
- Postupak mjerenja ponoviti još dva puta
- Izračunati srednju vrijednost žižne daljine rasipnog sočiva f_r
- Uz pomoć ove vrijednosti izračunati vrijednost optičke moći rasipnog sočiva $D_r = \frac{1}{f_r}$

Tabela 8.3.

Broj mjerenja	$L(m)$	$b(m)$	$f(m)$
1			
2			
3			
$f_{sr} =$			

$f_r(m)$

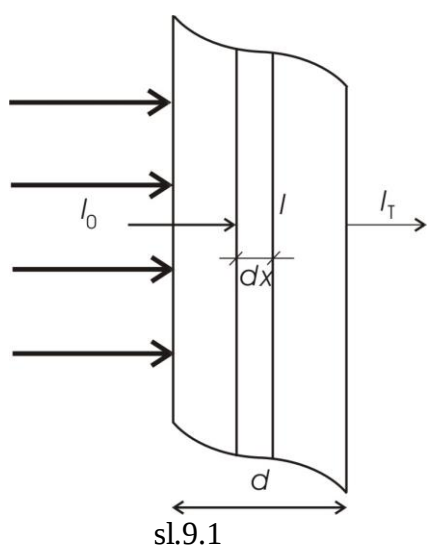
LABORATORIJSKA VJEŽBA 9

OPTIČKA AKTIVNOST TVARI – KOLORIMETRIJA

Kad svjetlost intenziteta I padne na neko tijelo, jedan dio svjetlosti će se reflektirati, jedan dio apsorbirati a ostatak će proći kroz tijelo. Prema zakonu o održanju energije intenzitet upadne svjetlosti jednak je zbiru intenziteta reflektovane, apsorbirane i propuštene svjetlosti:

$$I = I_R + I_A + I_T \quad (9.1)$$

Koja će od ovih pojava dominirati zavisi od prirode tijela. Ako dio svjetlosti prolazi kroz tijelo, tijelo je providno.



Pri prolasku svjetlosti kroz tvari nastaje pojava apsorpcije. Apсорpcija može biti siva, kada ne ovisi o talasnoj dužini tj. kada se svjetlost svih talasnih dužina podjednako apsorbira i selektivna, kada ovisi o talasnoj dužini, tj. kada se svjetlost određenih spektralnih područja više apsorbira od ostalih spektralnih područja. Tvari koje neutralno apsorbiraju vidimo kao sive u prolaznoj svjetlosti, a one koje selektivno apsorbiraju vidimo kao obojene.

Ako svjetlost intenziteta I_0 pada na tijelo, pri prolasku kroz sloj debljine dx intenzitet svjetlosti će oslabiti i iznositi $I_0 - dI$.

Pokazuje se da je

$$-dI = k'Idx \quad (9.2),$$

gdje je k' tzv. koeficijent apsorpcije koji zavisi od prirode apsorbera i talasne dužine svjetlosti. Znak minus dolazi zbog opadanja intenziteta svjetlosti s porastom debljine apsorbera.

Ako se (9.2) integrira dobije se Lambert-Bouquerov zakon prema kome intenzitet svjetlosti opada eksponencijalno sa debljinom sloja:

$$I = I_0 e^{-k'd} \quad (9.3)$$

Iz (9.3) je

$$e^{k'd} = \frac{I_0}{I}, \text{ pa kad je } k'd = 1 \text{ tada je } I = \frac{I_0}{e},$$

što znači da je koeficijent apsorpcije svjetlosti brojno jednak recipročnoj debljini apsorbera za koju svjetlosni intenzitet oslabi e puta ($e=2.7182\dots$).

Pri prolasku monohromatske svjetlosti kroz obojeni rastvor čija koncentracija nije velika, i koji apsorbira svjetlost te talasne dužine, prema Beerovom zakonu, koeficijent apsorpcije je proporcionalan koncentraciji rastvora:

$$k' = kc \quad (9.4)$$

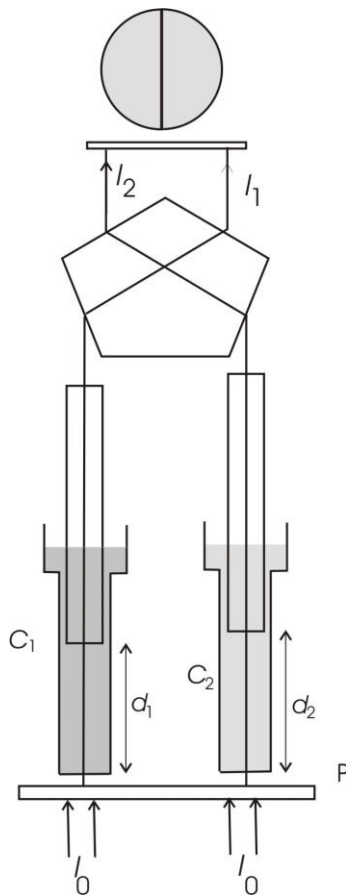
k je koeficijent apsorpcije za rastvor jedinične koncentracije a c je koncentracija rastvora.
Iz (9.3) i (9.4) se dobije

$$I = I_0 e^{-kcd} \quad (9.5) - \text{Lambert - Bouguer-Beerov zakon.}$$

Zadatak: Odrediti koncentraciju obojenog rastvora vizuelnim kolorimetrom.

PRIBOR I MJERENJE

PRIBOR: Kiveta sa obojenim rastvorom poznate koncentracije, kiveta sa obojenim rastvorom nepoznate koncentracije, kolorimetar.



sl.9.2

Kod obojenih rastvora, koncentracija se određuje na osnovu apsorpcije svjetlosti pri prolazu kroz te rastvore. Uređaji kojima se vrši takvo mjerenje nazivaju se kolorimetri.

Kod vizuelnih ili subjektivnih kolorimetara ocjenjuje se vizuelno jednakost svjetlosti dvaju polovica vidnog polja u okularu, dok se kod fotoelektričnih ili objektivnih pomoću fotoelektričnih prijemnika svjetlosti upoređuje intenzitet svjetlosti koja je prošla kroz rastvarač i kroz rastvor. Na ovoj vježbi koristi se vizuelni kolorimetar po Dubosqu (sl.9.2). Svjetlost koja dolazi iz izvora pada na pločicu P i na njoj se difuzno rasipa. Svjetlost istog intenziteta prolazi zatim kroz obje kivete sa rastvorima iste supstance, ali različitih koncentracija. Ta dva snopa svjetlosti zatim prolaze kroz staklene cilindre, dva puta se lome kroz pentagonsku prizmu i dolaze u okular. Mijenjanjem debljine jednog rastvora može se postići da vidno polje u okularu bude jednako osvijetljeno, odnosno da apsorpcija bude jednaka.

Za intenzitete propuštene svjetlosti vrijedi:

$$I_0 e^{-kc_1 d_1} = I_0 e^{-kc_2 d_2} \quad (9.6)$$

odnosno

$$\begin{aligned} c_1 d_1 &= c_2 d_2 \\ c_2 &= c_1 \frac{d_1}{d_2} \end{aligned} \quad (9.7)$$

IZVOĐENJE MJERENJA

- U čiste kivete uliti rastvore poznate i nepoznate koncentracije
- Kivete postaviti na postolje kolorimetra
- Uključiti izvor svjetlosti koji obasjava ploču P
- Debljinu rastvora poznate koncentracije uzeti proizvoljno
- Okretanjem zavrtnja podizati i spuštati kivetu sa rastvorom nepoznate koncentracije dok se ne postigne da je vidno polje jednako osvijetljeno
- Očitati debljine d_1 i d_2 na skalama pomoću nonijusa
- Podatke unijeti u tabelu 9.1
- Prema (9.7) odrediti nepoznatu koncentraciju

Tabela 9.1

Broj mjerjenja	$d_1(\text{mm})$	$d_2(\text{mm})$	$c_1(\%)$	$c_2(\%)$
1				
2				
3				
4				
5				

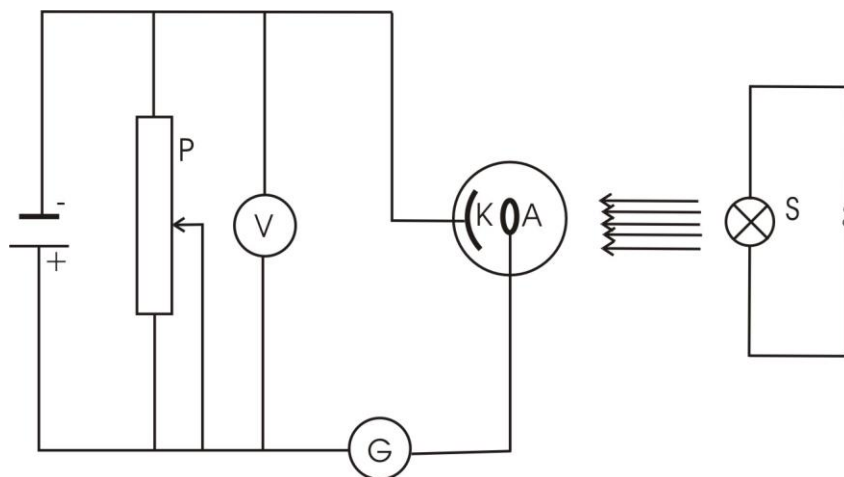
$c_{2sr} =$ %

LABORATORIJSKA VJEŽBA 10

FOTOELEKTRIČNI EFEKAT

Pojava da pod uticajem elektromagnetnog zračenja metal emituje elektrone u okolnu sredinu naziva se spoljašnji fotoelektrični efekat ili jednostavno fotoefekat. Oslobođeni elektroni nazivaju se fotoelektroni.

Osnovni dio uređaja pomoću kojeg se mogu provjeravati zakoni fotoefekta je fotoćelija (sl. 10.1). To je evakuisana staklena (kvarcna) cijev koja ima dvije elektrode: negativnu elektrodu - katodu K, prevučenu slojem fotoosjetljivog materijala i pozitivnu elektrodu - anodu A, koja privlači emitovane oslobođene elektrone. Površina katode je mnogo veća od površine anode. Fotoćelija je preko osjetljivog instrumenta za mjerenje struje G i potencijometra P vezana za izvor jednosmjerne struje.



sl.10.1

A. Einstein je 1905.g. pokazao da se zakoni fotoefekta mogu jednostavno objasniti ako se pretpostavi da se svjetlost emituje i apsorbuje u vidu kvanata koji se nazivaju fotonima. Foton treba prihvatiti kao najmanju količinu elektromagnetske energije jednaku:

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (10.1)$$

gdje je h Planckova konstanta koja ima vrijednost $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js Dakle, foton je kvazičestica koja se bitno razlikuje od elementarnih čestica, kao što su elektroni, protoni, neutroni. Foton je kvant svjetlosne energije koji se kreće brzinom svjetlosti c .

Smatrajući svjetlost snopom fotona, Einstein je vrlo jednostavno objasnio fotoefekat kao proces neelastičnog sudara fotona sa elektronom u atomu tvari. Kada se foton sudari sa elektronom koji se nalazi na površini metala ili neposredno ispod nje, on prenosi svoju energiju na elektron. Elektron može da primi ili cjelokupnu energiju fotona ili ništa. Apsorpcijom energije fotona od strane elektrona, foton prestaje da postoji, a primljena energija može elektronu omogućiti da prođe kroz potencijalnu barijeru, ukoliko se kreće u dobrom pravcu. Prolazeći kroz potencijalnu barijeru u metalu, elektron gubi određenu energiju W , koja je karakteristična za datu površinu metala i naziva se izlazni rad elektrona. Elektron koji je izbijen sa nekog udaljenog mjesta ispod površine metala može da izgubi veći iznos energije, ali maksimalna energija kojom elektron može da napusti metal jednaka je energiji fotona umanjenoj za veličinu izlaznog rada. Dakle, prema zakonu održanja ukupne energije pri sudaru fotona sa elektronom u tvari slijedi:

$$\frac{mv_m^2}{2} = h\nu - W_i \quad (10.2)$$

Ova jednačina predstavlja Einsteinovu jednačinu za fotoefekat.

Ako je za odabrani metal katode frekvencija upadne svjetlosti ν manja od frekvencije ν_0 , svjetlost neće izazvati fotoemisiju elektrona. Naime, za određeni metal fotoefekat se javlja samo ako je frekvencije upadne svjetlosti $\nu > \nu_0$. Granična frekvencija upadne svjetlosti ν_0 određuje prag fotoelektričnog efekta za dati metal i naziva se crvena granica fotoefekta i definirana je kao najmanja frekvencija svjetlosti koja za datu tvar može izazvati emisiju fotoelektrona. Prema jednadžbi fotoefekta (10.2), ν_0 je jednaka onoj frekvenciji pri kojoj je energija fotona upravo jednaka izlaznom radu elektrona iz metala ($W_{kmax}=0$):

$$h\nu_0 = W \quad (10.3), \quad \text{te je :}$$

$$\nu_0 = \frac{W}{h} \quad (10.4).$$

ZADACI

1. Snimiti zavisnost napona kočenja od frekvencije svjetlosti
2. Odrediti Planckovu konstantu iz grafikona $U_k = f(\nu)$

PRIBOR I MJERENJE

PRIBOR: Spektralna lampa, fotoćelija, interferencioni filteri.

Kao izvor svjetlosti koristi se spektralna lampa. Spektralnu lampu treba spojiti na odgovarajući električni izvor otprilike 15 minuta prije nego što izvršimo prvo mjerenje. Spektralna lampa treba da je od fotoćelije udaljena 2mm. Na fotoćeliju se postavi interferencijski filter, čime se vrši izbor talasne dužine svjetlosti koja pada na katodu fotoćelije. Fotoćeliju spojiti na pojačalo koje je podešeno na elektrometar, uz faktor pojačanja 10^0 i vremensku konstantu 0. Pojačalo prije početka mjerenja mora biti uključeno najmanje 10 minuta. Na izlaz pojačala spojiti digitalni multimetar. Prije svakog mjerenja potrebno je ulaz pojačala kratko spojiti pritiskom na taster 0, pri zatvorenom šiberu na fotoćeliji i pri tome pokazivač staviti na 0. Nakon toga otvoriti šiber fotoćelije. Foton frekvencije ν pogađa katodu; iz metala bivaju izbačeni elektroni, ako foton ima dovoljno veliku energiju. Elektroni dopijevaju na anodu i ona postaje negativno naelektrisana. Razlika potencijala između anode i katode raste sve do neke granične vrijednosti. Pri ovoj vrijednosti je potrebno u cjelosti utrošiti kinetičku energiju elektrona za prelaženje te potencijalne razlike.

$$W_k = eU_k \quad (10.5)$$

gdje je e elementarni naboj, a U_k nastala potencijalna razlika. Pošto katoda i anoda nisu od istog materijala prisutan je dodatni kontaktni potencijal, Φ pa iz (10.5)

$$W_k = eU + \Phi \quad (10.6)$$

Ako pretpostavimo da ni izlazni rad ni kontaktni potencijal ne ovise od frekvencije

$$eU_k = h\nu - W_i \quad \text{a}$$

$$U_k = \frac{h}{e}\nu - \frac{W_i}{e} \quad (10.7)$$

U_k je linearna funkcija od ν . Ako nacrtamo grafikon $U_k(\nu)$, nagib pravca je jednak

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{e}, \text{ a } h = e \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (10.8)$$

Frekvenciju svjetlosti računamo po obrascu

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (10.9)$$

gdje je $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$.

Vrijednost Planckove konstante određuje se sa grafika $U_k = f(\nu)$ prema relaciji (10.8).

Tablična vrijednost Planckove konstante je $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$. Relativna greška mjerenja u odnosu na h određenu grafičkom metodom je :

$$\varepsilon = \frac{|h - h_t|}{h_t} \quad (10.10)$$

koju treba izraziti u postotcima.

IZVOĐENJE MJERENJA

- Prema uputstvu spojiti kolo za mjerenje
- Uključiti spektralnu lampu i pojačalo i pričekati 15 minuta
- Očitati talasnu dužinu sa filtera i unijeti podatak u tabelu 10.1. Postaviti filter na fotočeliju pri zatvorenom šiberu, pazeći da se ne dodiruje površina filtera rukom
- Nakon 15 minuta namjestiti fotočeliju na udaljenost 2 mm od spektralne lampe
- Namjestiti nulu na pojačalu
- Pri zatvorenom šiberu na fotočeliji kratko spojiti ulaz pojačala pritiskom na taster 0 i otvoriti šiber
- Očitati vrijednost kočećeg napona na voltmetru
- Postupak mjerenja ponoviti za još četiri talasne dužine mijenjajući filtere
- Koristeći MS Excel na računaru kreirati tabele i grafikon zavisnosti $U_k = f(\nu)$
- Sa grafikona očitati nagib pravca $k = \operatorname{tg} \alpha$
- Odrediti h prema relaciji (10.8)
- Odrediti relativnu grešku prema (10.10)

Tabela 10.1.

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

Broj mjerenja	$\lambda(\text{nm})$	$\nu(\text{Hz})$	$U_k(\text{V})$
1			
2			
3			
4			
5			

$h(\text{Js})$	
$\varepsilon = \quad \%$	

FIZIČKE KONSTANTE

Naziv konstante	Oznaka konstante	Vrijednost konstante
atomska jedinica mase	u	$1,660540 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Masa elektrona	m_e	$9,109389 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
masa protona	m_p	$1,672623 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
masa neutrona	m_n	$1,674928 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Gravitaciona konstanta	γ, G	$6,67259 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$
Masa Zemlje	M_z	$5,96 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Masa Sunca	M_s	$1,98 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Ubrzanje Zemljine teže	g	$9,80665 \text{ ms}^{-2}$
Srednji poluprečnik Zemlje	R	$6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$
Godina	g	$3,156 \cdot 10^7 \text{ s}$
Normalni pritisak	p_0	101325 Pa
Temperatura trojne tačke vode	T_0	$273,16 \text{ K}$
Molarni volumen idealnog plina	V_0	$22,4141 \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$
Univerzalna plinska konstanta	R	$8,314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
Avogadrova konstanta	N_A	$6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Boltzmanova konstanta	k	$1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
Brzina svjetlosti	c	$2,997924 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$
Dielektrična permitivnost vakuumu	ϵ_0	$8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$
Magnetska permeabilnost vakuma	μ_0	$12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$
Planckova konstanta	h	$6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
Elementarno naelektrisanje	e	$1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Stefan Boltzmanova konstanta	σ	$5,67032 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$
Wienova konstanta	b	$2,89782 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$
Ridbergova konstanta za vodik	R_H	$1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

Gustine nekih čvrstih i tečnih supstanci

red. br.	Supstanca	Gustina $\left(10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$
1	Aluminijum	2,5-2,7
2	Bakar	8,3-9
3	Čelik	7,85
4	Gvožđe čisto	7,86
5	Gvožđe liveno	8,30-8,90
6	Mesing	8,40-8,72
7	Olovo	11,25-11,35
8	Alkohol (na 15°C)	0,79
9	Benzin (na 15°C)	0,68-0,74

Koeficijent površinskog napona nekih tečnosti

red. br.	Tečnost	Temperatura (°C)	Koeficijent površinskog napona $\left(\frac{\text{mN}}{\text{m}}\right)$
1	etil alkohol	20	22,8
2	metil alkohol	20	23
3	aceton	16,8	23,3
4	voda	0 20 50 100	75,6 72,5 67,8 58,8
5	ulje	18	33
6	živa	20	471,6
7	krv	37	60

Koeficijent viskoznosti nekih tečnosti

red. br.	Tečnost	Temperatura (°C)	Koeficijent viskoznosti μPas
1	alkohol	20	1190
3	aceton	25	320
4	voda	20	1005

Gustina vode

$t(^{\circ}\text{C})$	Gustina($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
0	999,87
1	999,93
2	999,97
3	999,99
4	1000,00
5	999,99
6	999,97
7	999,93
8	999,88
9	999,81
10	999,73
11	999,63
12	999,52
13	999,40
14	999,27
15	999,13
16	998,97
17	998,80
18	998,62
19	998,43
20	998,23
21	998,02
22	997,80
23	997,57
24	997,32
25	997,07
26	996,81
27	996,54
28	996,26
29	995,97
30	995,67

Specifični toplotni kapacitet nekih čvrstih i tečnih supstanci

red. br.	Supstanca	Temperatura (°C)	Specifični toplotni kapacitet $\left(\frac{\text{J}}{\text{kgK}}\right)$
1	Aluminijum	17-100	910
3	Bakar	20	390
4	Gvožđe	18-100	382
5	Kalaj	18	250
6	Led	-20	200
7	Olovo	20-100	130
8	Srebro	15-100	230
9	Voda	15	4190
10	Živa	0-100	140

Elektrohemijski ekvivalent nekih supstanci

red. br.	Supstanca	Valencija	Elektrohemijski ekvivalent $\left(\frac{\text{mg}}{\text{C}}\right)$
1	Aluminijum	1	0,0932
3	Bakar	1	0,6588
4		2	0,3294
5	Gvožđe	2	0,2893
6		3	0,1929
7	Srebro	1	0,1180

DEKADSKI PREFIKSI (PREDMECI) SI

Naziv	Oznaka	Brojna vrijednost
jokto (Yocto)	y	0.000 000 000 000 000 000 000 001=10 ⁻²⁴
zepto	z	0.000 000 000 000 000 000 000 001 =10 ⁻²¹
ato	a	0.000 000 000 000 000 000 001 =10 ⁻¹⁸
femto	f	0.000 000 000 000 001 =10 ⁻¹⁵
piko	p	0.000 000 000 001 =10 ⁻¹²
nano	n	0.000 000 001 =10 ⁻⁹
mikro	μ	0.000 001 =10 ⁻⁶
mili	m	0, 001 =10 ⁻³
centi	c	0.01 =10 ⁻²
deci	d	0.1 =10 ⁻¹
osnovna jedinica		1 =10 ⁰
deka	da	10 =10 ¹
hekto	ha	100 =10 ²
kilo	k	1000 =10 ³
mega	M	1000 000 =10 ⁶
giga	G	1 000 000 000 =10 ⁹
tera	T	1 000 000 000 000 =10 ¹²
peta	P	1 000 000 000 000 000 =10 ¹⁵
eksa	E	1 000 000 000 000 000 000 =10 ¹⁸
zeta	Z	1 000 000 000 000 000 000 000 =10 ²¹
jota (Yotta)	Y	1 000 000 000 000 000 000 000 000=10 ²⁴

SAŽETAK O GREŠKAMA

Srednja vrijednost N puta direktno mjerene veličine x je aritmetička sredina dobijenih rezultata mjerenja

$$x_s = \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

APSOLUTNA GREŠKA

Razlika između mjernog rezultata i stvarne vrijednosti mjerene veličine je stvarna greška. Ona može da bude pozitivna, nula i negativna. Pravu apsolutnu grešku kao i apsolutnu vrijednost razlike mjernog podatka i prave vrijednosti ne možemo odrediti. Zbog toga se uvodi apsolutna greška koja predstavlja apsolutnu vrijednost razlike nekog mjernog podatka i srednje vrijednost

$$\Delta x_i = \left| x_i - \bar{x} \right|$$

Relativna greška ε definira se kao odnos prave apsolutne greške i tačne vrijednosti

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x}$$

Za mjerenu veličinu x standardna devijacija je određena izrazom

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}},$$

Mjerene veličina se nalazi u intervalu

$$x \in (\bar{x} - \Delta x, \bar{x} + \Delta x) \text{ odnosno } x \in (\bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma)$$

i to je obavezno napisati za svaku mjerenu veličinu. Dodati podatak o izračunatoj relativnoj grešci.

Za indirektno mjerenu veličinu u standardna devijacija se računa prema izrazu

$$\sigma_u^2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x_1} \right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial x_2} \right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial u}{\partial x_n} \right)^2 \sigma_{x_n}^2$$

BIBLIOGRAFIJA

1. Cindro, N. (1988). Fizika 1, Zagreb.: Školska knjiga
2. Cindro, N. (1998). Fizika II, Zagreb: Školska knjiga.
3. Janjić, J., Bikit, I., Cindro, N. (1990). Opšti kurs fizike I i II deo, Beograd: Naučna knjiga.
4. Kortnjev, A.V., Rublev, J. V., Kucenko, A. N. (1965). Praktikum iz fizike, Moskva: Viša škola.
5. Vučić, V. (1988). Osnovna mjerenja u fizici, Beograd: Naučna knjiga.
6. Kulenović, F., Omerbašić, A., Muharemović, Z., Busuladžić, M., (2005) Praktikum Laboratorijskih vježbi iz fizike, Sarajevo: Medicinski fakultet
7. Pirić, M., Hadžibegović, Z. Opća fizika - Praktikum I, Prirodno-matematički fakultet Sarajevo

Ostali izvori

Skripta iz Praktikum iz Opće fizike, PMF-a, Sarajevo