Tallinna Tehnikaülikooli
KURESSAARE KOLLEDŽ

FÜÜSIKA PRAKTIKUMI TÖÖJUHENDID

KURESSAARE 1999

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOLI
KURESSAARE KOLLEDŽ

FÜÜSIKA PRAKTIKUMI TÖÖJUHENDID

Koostanud I. Peil

KURESSAARE 1999

SISUKORD

EESSÕNA

Käesolev füüsika praktikumi tööjuhendite kogu on mõeldud. Tallinna Tehnikaülikooli Kuressaare Kolledži mittetehniliste erialade üliõpilastele.

Kuna nimetatud erialade õppekavas on füüsika maht väga väike siis see on mõjutanud ka praktikumitööde valikut. Tööd on sellised, mille läbiviimiseks piisab enamjaolt keskkooli füüsikatundides saadud teoreetilisest baasist. Samas aga täidavad nad kõiki praktikumile esitatud eesmärke — õpetavad ja harjutavad mõõtmisprotokollide vormistamist, paljude mõõteriistade kasutamist, katse planeerimist, mõõtmisvigade hindamist, andmete statistilist töötlemist, sõltuvuste uurimist jms.

Kogumik koosneb kolmest osast. Päris alguses tuuakse ära Tallinna Tehnikaülikoolis kehtiv praktikumide läbiviimise kord, ohutusnõuded ning lühiülevaade mõõtmisvigade hindamisest. Teises osas esitatakse juhendid mehaanika ja molekulaarfüüsika alaste tööde läbiviimiseks ning kolmandas osas elektri- ja optikatööde juhendid.

Tööde ettevalmistamisel saab kasutada kõiki füüsikateatmikke keskkooli füüsikaõpikuid. Mõnel juhul võib siiski vaja minna ka kõrgema tasemega materjale.

MÕÕTMISVIGADE HINDAJA MEELESPEA

- Ükski mõõtmine ei saa olla täpne. Alati võib esineda mõõtmisviga, mille väärtust me kunagi teada ei saa. Küll saab aga hinnata, millist väärtust viga tõenäoliselt ei ületa, st. hinnata piirviga
- Iga mõõtmistulemuse fikseerimisel tuleb kirja panna mõõtarv, mõõtühik ja piirviga. Seda tehakse tavaliselt kujul:

$$x = x_0 \pm \Delta x.$$

- Tulemus tuleb alati ümardada vastavalt piirvea suurusele.
- Piirviga võib väljendada absoluutse veana Δx , millel on suurusega sama mõõtühik.
- Piirviga võib väljendada suhtelise veana $\Delta x/x$. Suhtelisel veal pole mõõtühikut. Suhteline viga annab mõõtmistäpsusest parema ülevaate kui absoluutne viga. Mõnikord väljendatakse suhteline viga protsentides (%).
- Mõõtmisvigadel võib olla mitmeid põhjusi. Olulisemad neist:
  - Mõõteriista ebatäpsus (sõltub mõõteriista ehitusest)
  - Subjektiivne mõõtja ebatäpsus (saab vähendada mõõtmisvõtete parendamisega)
  - Juhuslikud häirivad kõrvalmõjud (tunneme ära kordusmõõtmiste lahkuminekust)
- Mõõtmine võib olla otsene või kaudne.
- Otsesel mõõtmisel saab piirvea leida järgmiselt:
  - Piirviga on märgitud otse mõõteriistale või selle passi.
  - Märke puudumisel võetakse piirveaks pool väikseimast skaalajaotisest
  - Kaaluvihtide puhul pool väikseima vihi massist, millele kaalud mõõtmise juures reageerivad.
  - Kui on teada mõõteriista täpsusklass, siis piirvea leiab vastavast standardist või ka mõõteriista passist.
  - Elektrimõõteriistade piirviga arvutatakse teades täpsusklassi. Piirveaks võetakse täpsusklassiga võrdne protsent skaala mõõteulatusest.
- Juhusliku vea korral tuleb kasutada statistilisi meetodeid:
  - Mõõtarvuks võetakse paljude üksikmõõtmiste tulemuste aritmeetiline keskmine
  - Piirvea leidmiseks arvutatakse tulemuste standardhälve σ ning korrutatakse läbi Studenti teguriga või vastavalt rusikareeglile arvuga 3.
- Kaudsel mõõtmisel mõõdetakse üks või mitu suurust otseselt ja lõpptulemus arvutatakse nende kaudu. Kuna iga otseselt mõõdetud tulemus omab mõõteviga, siis on viga ka kaudse mõõtmise tulemusel. Kui otseste mõõtmistulemuste piirvead on teada, siis kaudse tulemuse piirviga hinnatakse järgmistest reeglitest juhindudes:
  - Liitmisel ja lahutamisel absoluutsed vead liidetakse.
  - Konstandiga (näiteks murruga ¾) korrutamisel jääb suhteline viga samaks.
  - Korrutamisel ja jagamisel liidetakse suhtelised vead.
  - Astendamisel korrutatakse suhteline viga astendajaga.
  - Juurimisel jagatakse suhteline viga juurijaga.
  - Keerulisemate funktsioonide veavalemid tuletatakse diferentsiaalarvutuse abil.
- Sõltuvuste graafilisel esitamisel ja uurimisel kantakse mõõtetulemused teljestikku koos vearistidega ning graafik joonestatakse võimalikult sujuva joonena läbi nende vearistide. Graafik ei pruugi läbida mõõtmisel saadud punkti, sest punktid on alati määratud mingi vea täpsusega.

1. JUHUSLIKU MÕÕTMISVEAGA SUURUSE MÕÕTMINE

1. Tööülesanne

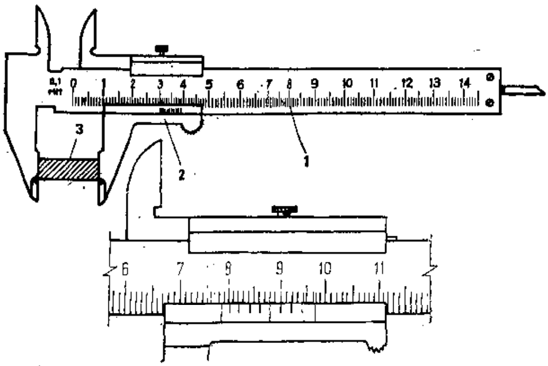
Tutvumine nooniusega. Ümaraotstelise pulga pikkuse eemalt mõõtmine nihikuga (suure juhusliku parallaktilise veaga). Statistiline andmetöötlus.

2. Töövahendid

Nihik, Klaastorus asuv ümarate otstega pulk

3. Töö teoreetilised alused

3.1 Nihik



Nihikuga mõõtmisel asetatakse mõõdetav ese *3* nihiku mõõteharude vahele ja need lükatakse kokku. Nihik võimaldab mõõta pikkusi täpsusega kuni 0,05 mm. Täismillimeetrid loetakse nihiku põhiskaalalt *1*, millimeetri kümnendikosi aga abiskaalalt ehk nooniuselt *2*. Nooniuse kasutamisel tuleb vaadata, mitmes nooniuse jaotuskriips ühtib kõige täpsemini ükskõik millise põhiskaala jaotuskriipsuga. Kui näiteks põhiskaala mingi kriipsuga ühtib nooniuse kolmas kriips, siis tuleb põhiskaala täismillimeetrite näidule lisada veel kolm kümnendikmillimeetrit. Joonisel kujutatud asendi näit on 78,5 mm.

3.2 Juhuslik mõõtmisviga ja selle hindamine.

Sõltuvalt tekkepõhjusest jaotatakse mõõtmisvead juhuslikeks ning süstemaatilisteks. Juhuslikuks nimetatakse vigu, mille suurus muutub mõõtmise kordamisel juhuslikult.

Olgu meil tehtud mõõtmiste arv *n*. Juhuslike vigade tõttu üksteisest erinevate mõõtmistulemuste hulk on

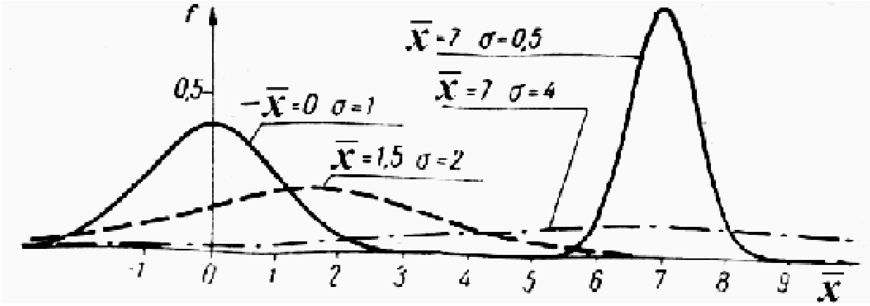
$\{x_1, x_2, x_3, \ldots, x_i, \ldots, x_n\}$

Juhuslike vigade hindamine toimub mõõtmise mitmekordsel kordamisel saadud tulemuste statistilise andmetöötluse abil. Kõige lihtsam on statistiline analüüs siis, kui mõõtmiste arv *n* on suur (vähemalt 50 – 100) ja tulemused jaotuvad normaalselt.

Normaalseks nimetatakse sellist tulemuste jaotust, mille korral konkreetse tulemuse esinemis**sageduse** sõltuvus suuruse enda väärtusest on väljendatav Gaussi normaaljaotuse tihedusfunktsiooniga:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma}}$$

Selles valemis tähistab σ standardhälvet. Standardhälve iseloomustab tulemuste hajuvust ja on seda suurem, mida laiem on jaotus (vt. joonist). Teine jaotust iseloomustav suurus $\bar{x}$ kujutab endast jaotuse keskväärtust ning just sellel kohal asub jaotusfunktsiooni maksimum.



On loomulik, et kõige enam mõõtmistulemusi on lähedased mõõdetava suuruse tegeliku väärtusega. Nii võibki suuruse väärtuseks võtta jaotuse keskväärtuse $\overline{x}$. Mõõtmisvea hindamisel saab lähtuda standardhälbest σ. Mida suurem standardhälve, seda hajuvamad ja ebatäpsemad on mõõtmised ning seda suurem mõõtmisviga.

Saab tõestada, et mõõtmisviga on standardhälbega võrdeline:

$$\Delta x = t_{np}\sigma$$

Võrdetegurit t_{np} nimetatakse Studenti teguriks ja see sõltub mõõtmiste arvust n ja soovitavast mõõtmiste usaldusnivoost p (absoluutselt täpse tulemuse korral p = 100%). Studenti tegurite väärtused on toodud alljärgnevas tabelis:

n	p		
	90%	95%	99%
2	6,31	12,7	63,7
3	2,93	4,3	9,92
4	2,35	3,18	5,84
5	2,13	2,78	4,60
6	2,02	2,57	4,03
7	1,94	2,45	3,71
8	1,86	2,36	3,50
9	1,81	2,31	3,36

n	p		
	90%	95%	99%
10	1,83	2,26	3,25
15	1,76	2,14	2,98
17	1,74	2,11	2,90
20	1,72	2,08	2,83
25	1,70	2,05	2,80
50	1,68	2,01	2,68
100	1,66	1,98	2,63
∞	1,64	1,96	2,58

Kui tegelikud mõõtmistulemused vastavad kirjeldatud normaaljaotusele, on jaotuse keskväärtus võrdne tulemuste aritmeetilise keskmisega

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

ning standardhälvet saab arvutada valemist

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}{n-1}}\,.$$

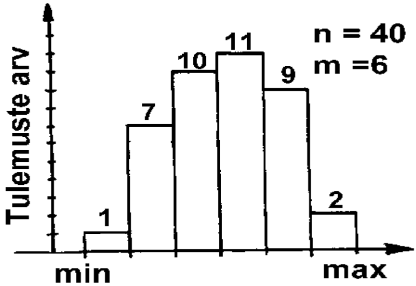
Enamus tänapäeva taskukalkulaatoreid võimaldavad nende kahe suuruse lihtsat arvutamist.

Kui arvutused tehtud, kirjutatakse tulemus kujul

$$x = \overline{x} \pm t_{np}\sigma \qquad \text{näiteks } l = (27{,}5 \pm 0{,}4)\text{ mm}$$

Kuivõrd hästi konkreetsel juhul mõõtmised normaaljaotusele alluvad ning kas ülalkirjeldatud meetodit vigade hindamiseks kasutada võib, saab otsustada jaotuse histogrammi ehk tulpdiagrammi põhjal. Histogrammi joonistamiseks talitletakse järgmiselt:

1. Otsustatakse tulpade arv ($m \approx \sqrt{n}$)
2. Leitakse tulemuste minimaalne ja maksimaalne väärtus x_{min} ja x_{max}
3. Arvutatakse tulpade laius $\frac{x_{\max} - x_{\min}}{m}$.
4. Tulpade piirid märgitakse graafiku x-teljele.
5. Iga tulba kõrguseks võetakse selle tulba piiridesse jäävate tulemuste arv.



Kui histogramm on sümmeetrilise kujuga ning ühe maksimumiga, siis võib jaotust käsitleda normaalsena ning saab rakendada ülaltoodud veahindamise skeemi.

4. Töö käik

1. Mõõta nihikuga klaastorus asuva pulga pikkus vähemalt 100 korda. Vaatamata parallaksist tulenevale suurele veale kirjutada näidud üles nihiku maksimaalse täpsusega.
2. Koostada mõõtmistulemuste jaotuse histogramm. Teha selle põhjal järeldus jaotuse iseloomi kohta.
3. Arvutada jaotuse keskmine, standardhälve ning Studenti teguri abil 95%-se usaldatavusega veahinnang.
4. Kanda keskmine ning veapiirid histogrammile.
5. Kontrollida, kas vähemalt 95% mõõtmistulemusi jääb hinnatud vea piiridesse.
6. Protokollida lõpptulemus koos järeldusega.

5. Küsimused

1. Selgitada juhusliku ja süstemaatilise vea mõisteid.
2. Mida nimetatakse mõõtmistulemuste jaotusfunktsiooniks?
3. Mida nimetatakse normaaljaotuseks?
4. Mis on normaaljaotuse kaks põhikarakteristikut?
5. Kuidas saab neid karakteristikuid arvutada?
6. Miks on oluline tagada mõõtmistulemuste normaalne jaotumine?
7. Kuidas arvutatakse juhusliku mõõtmisvea hinnang?
8. Mis on histogramm?

2. KEHA TIHEDUSE MÕÕTMINE

1. Tööülesanne

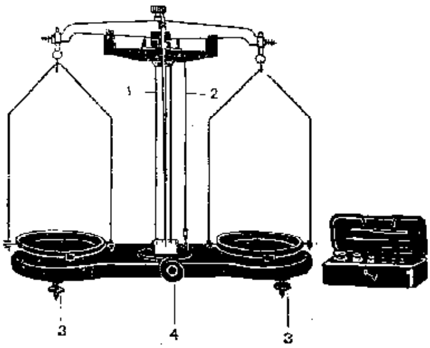
Tutvumine nooniusega. Nihiku, kruviku ja kangkaalude kasutamine korrapärase kujuga keha tiheduse määramisel.

2. Töövahendid

Nihik, kruvik, mõõtjoonlaud, kangkaalud vihtidega, mõõdetavate kehade komplekt

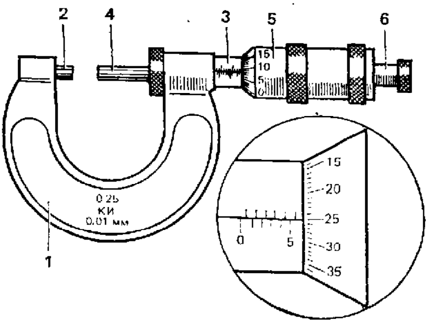
3. Töö teoreetilised alused

3.1 Tehnilised kaalud



Tehnilised kaalud (täpsus 0,01 g) on kujutatud kõrvaloleval joonisel. Kaalukang toetub sambale *1*, mis tuleb enne kaalumist kruvide *3* abil vertikaalseks seada. Samba vertikaalsuse üle otsustatakse loodi *2* asendi järgi. Nupu *4* abil on võimalik kaale arreteerida (lukustada). Vihtide kaalukausile asetamisel ja sealt eemaldamisel, kaalude transportimisel ja töökorda seadmisel peavad kaalud olema arreteeritud. Kaalud vabastatakse ainult tasakaalu kontrollimise ajaks ja arreteeritakse kohe uuesti. Enne kaalude kasutamist tuleb kontrollida, kas need on tühjalt tasakaalus. Kui ei, siis reguleeritakse nad kaalukangi otstes olevate kruvide abil tasakaalu.

3.2 Kruvik



Kruvik võimaldab mõõta pikkusi täpsusega kuni 0,01 mm. Mõõtmisel pööratakse kruvile kinnitatud trumlit *5* käristi *6* abil seni, kuni kruviku kand *2* ja kruvivarb *4* jõuavad kokkupuutesse mõõdetava esemega. Trumlit tohib pöörata ainult käristist, sest see tagab kindla mõõtesurve ega lase mõõdetaval kehal deformeeruda.

Kruvikul on kaks skaalat. Kruviku varrel oleva skaala alumiselt realt saam lugeda täisarvu millimeetreid ja ülemiselt realt pooli millimeetreid. Trumlil oleval skaalal on sajandikmillimeetrid. Näiteks on joonisel kujutatud asendi puhul kruviku skaala näit 5,75 mm (põhiskaala näidule 5,5 mm tuleb lisada trumli skaala näit 0,23 mm).

3.3 Aine tihedus

Keha aine tihedus on defineeritud valemiga

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Keha mass m leitakse käesolevas töös tehniliste kaalude abil ning ruumala V leitakse kaudselt, kasutades geomeetriliste kehade (risttahukas, silinder, kera…) ruumalade arvutusvalemeid.

4. Töö käik

1. Küsige juhendajalt uuritav(ad) keha(d).
2. Tutvuge nihiku, kruviku ja tehniliste kaalude tööga. Tasakaalustage kaalud.
3. Kaaluge uuritav keha
4. Planeerige ruumala mõõtmine. Leidke arvutusvalem ning otsustage, millise mõõteriistaga vajalikke suurusi mõõta, saavutamaks suurimat täpsust.
5. Mõõtke ruumala määramiseks vajalikud suurused. Kontrollige kindlasti, kas keha vastab valitud matemaatilisele mudelile (n. kas silindri läbimõõt on kõikjal ühesugune). Vajaduse korral kasutage mitme mõõtmistulemuse aritmeetilist keskmist. Arvutage keha ruumala.
6. Arvutage keha aine tihedus ning hinnake tulemuse täpsust.
7. Mitme keha uurimisel korrake punkte 3 – 6.

Kõik mõõtmis- ja arvutustulemused fikseerige protokollis. Kasutada võib tabelit kujul:

<table>
<tr><td rowspan="2">Keha</td><td rowspan="2">Mass</td><td rowspan="2">Ruumala valem</td><td colspan="4">Mõõdetavad suurused</td><td rowspan="2">Ruumala</td><td rowspan="2">Tihedus</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4"></td><td rowspan="4"></td><td rowspan="4"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">Keskmine</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

5. Küsimused

1. Selgitage nihiku, kruviku ja tehniliste kaalude kasutamist.
2. Mis on noonius, kuidas selle abil lugemit võetakse ning kuidas määratakse nooniuse täpsus?
3. Kuidas määratakse kruviku täpsust?
4. Kuidas määrata kangkaalude täpsust?
5. Kuidas leida risttahuka või silindri ruumala absoluutse vea hinnang?
6. Mida iseloomustab relatiivne e suhteline viga?
7. Nimetage ühest meetrist väiksemaid ja suuremaid pikkusühikuid ning andke nendevaheline seos.
8. Mõõtmisel nihikuga, mille nooniuse täpsus on 0,05 mm, saadi pikkuse mõõtmisel tulemuseks 5,35 mm. Kui suur on mõõtmistulemuse absoluutne ja relatiivne viga?

3. KUULI LENNUKAUGUSE VISKENURGAST SÕLTUVUSE UURIMINE

1. Tööülesanne

Uurida, kuidas sõltub kuuli lennukaugus viskenurgast ning leida tingimused maksimaalse lennukauguse saavutamiseks.

2. Töövahendid

Laskenurga mõõtjaga vedrupüstol, teraskuul, mõõdulint, valge paber, kopeerpaber, kleeplint.

3. Töö teoreetilised alused

Kui mingi keha visata algkiirusega v_{0y} vertikaalselt otse üles, muutub tema kogu kineetiline energia tõusu lõpuks potentsiaalseks energiaks. Protsessi käigus kehtiv energia jäävuse seadus väljendub valemis

$$\frac{mv_{0y}^2}{2} = mgh, \qquad (1)$$

kus m tähistab keha massi, h maksimaalset tõusukõrgust ning g on gravitatsioonikiirendus (g = 9,8 m/s^2). Lennu ajal on liikumine ühtlaselt muutuv st. kiirus muutub ühtlaselt seaduspärasusega

$$v = v_{0y} + at$$

ehk kuna kiirenduseks a on alla suunatud gravitatsioonikiirendus g, siis

$$v = v_{0y} - gt. \qquad (2)$$

Et maandumishetkel on keha kiirus arvuliselt võrdne, kuid vastassuunaline stardikiirusega ($v = - v_{0y}$), saame lennuaja leidmiseks tingimuse

$$- v_{0y} = v_{0y} - gt.,$$

millest algkiirusega v_{0y} otse üles visatud keha lennuaeg maandumiseni avaldub

$$t = \frac{2v_{0y}}{g}. \qquad (3)$$

Kui keha ei visata vertikaalselt üles, vaid algkiirusega v_0 horisondi suhtes mingi nurga α all, siis avalduvad kiiruse vertikaal- ja horisontaalkomponent järgmiselt:

$$v_{0y} = v_0 \sin\alpha \qquad (4)$$

ja

$$v_{0x} = v_0 \cos\alpha \qquad (5)$$

Kaldu viskamisel lendab keha horisontaalsuunas ühtlaselt valemiga (5) määratud kiirusega v_{0y}. Leides valemitest (3) ja (4) lennuaja, saamegi leida horisondiga nurga α all visatud keha lennukauguse $s = v_{0x}t$

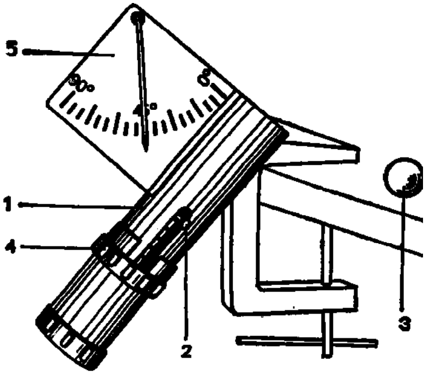
ehk

$$s = \frac{2v_0^2 \sin\alpha\cos\alpha}{g}. \qquad (6)$$

4. Töö käik

1. Tuletage horisondiga kaldu visatud keha lennukauguse arvutamise valem (6).
2. Näidake, millise kaldenurga α_0 korral on antud algkiiruse v_0 korral lennukaugus maksimaalne ning leidke valem selle lennukauguse $s_{\max}$ arvutamiseks.

3. Kinnitage vedrupüstol laua külge ja tutvuge sekke ehituse ning tööpõhimõttega.
4. Seadke vedrupüstol vertikaalasendisse ja mõõtke vähemalt viiel korral lennukõrgus h ning arvutage tõusukõrguse keskmine.
5. Keskmise tõusukõrguse põhjal arvutage valemist (1) kuuli algkiirus v_0.
6. Uurige kuuli lennukauguse s sõltuvust laskenurgast α. Selleks kinnitage kleeplindiga valge paber lauale, asetage selle peale kopeerpaber ning tulistage kuul iga erineva nurga korral vähemalt viis korda lendu. Leidke iga laskenurga korral maandumispunktide keskpunkt ning mõõtke kuuli keskmine lennukaugus. Arvutage lennukaugus ka valemist (6) ning hinnake mõõtmiste ja arvutuste täpsust.



7. Tulemused on soovitav protokollida tabelis

h_{max}						

Keskmine h		v_0	

Nr	Laskenurk α	Mõõdetud lennukaugus s	Arvutatud lennukaugus s
1	10^o		
2	20^o		
3			
…	…		
…	…		
…	…		

8. Joonestage mõõtmistulemuste põhjal graafik, mis väljendab lennukauguse sõltuvust laskenurgast. Samale graafikule kandke ka teoreetiliselt arvutatud sõltuvus.
9. Tehke graafiku põhjal järeldused.

5. Küsimused

1. Mis on vaba langemine?
2. Millise kiirendusega liigub vertikaalselt üles visatud keha?
3. Millest sõltub horisondiga kaldu visatud keha lennukaugus?
4. Kuidas on tõusu kõrgus seotud keha algkiirusega?
5. Millist trajektoori mööda liigub horisondiga kaldu visatud keha?
6. Milliste nurkade korral on lennukaugused võrdsed?

4. VEEREVA KEHA INERTSIMOMENDI MÄÄRAMINE

1. Tööülesanne

Veereva keha inertsimomendi määramine kaldpinna abil

2. Töövahendid

Katseseade (kaldpind), kaalud vihtidega, mõõtjoonlaud, nihik, stopperkell, uuritavad kehad

3. Töö teoreetilised alused

Antud töös mõõdetakse erinevate kehade kaldpinnalt allaveeremise aeg ning arvutatakse nende inertsimomendid.

Veereva keha kineetiline energia E_k avaldub kulgliikumise ja pöördliikumise energiate summana:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}, \tag{1}$$

kus m on keha mass, v — kulgliikumise kiirus, I inertsimoment ja ω — veeremise nurkkiirus. Lugedes hõõrdejõu töö tühiselt väikeseks, võib võtta kineetilise ja potentsiaalse energia muudud võrdseks:

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

kus h on kaldpinna kõrgus.

Kui veeremisel puudub libisemine, saab nurkkiiruse avaldada joonkiiruse kaudu:

$$\omega = \frac{v}{r}, \tag{3}$$

kus r on veereva keha raadius.

Kaldpinnalt alla veereva keha massikese liigub hõõrdumise puudumiselt sirgjooneliselt ja ühtlaselt kiirenevalt. Teepikkuse ja kiiruse avaldised on sel juhul järgmised:

$$\begin{aligned} s &= v_0 t + \frac{at^2}{2} \\ v &= v_0 + at \end{aligned} \tag{4}$$

Võttes algkiiruseks v0 = 0 (veeremine algab paigalseisust), saame kahest viimasest valemist:

$$v = \frac{2s}{t} \tag{5}$$

Valemid (2), (3) ja (5) võimaldavadki avaldada mööda kaldpinda allaveereva keha inertsimomendi:

$$I = mr^2\left(\frac{gt^2}{2s} \cdot \frac{h}{s} - 1\right) \tag{6}$$

Suurused m, r, s, t ja h mõõdetakse katse käigus.

4. Töö käik

1. Määrake juhendaja poolt antud keha mass ja läbimõõt , arvutage veeremisraadius.
2. Fikseerige juhendaja poolt etteantud kaldpinna kõrgus.
3. Mõõtke keha kaldpinnal veeremise teepikkus.
4. Asetage keha kaldpinna kõrgeimasse punkti ning laske veerema. Mitte lükata, algkiirus peab olema null! Mõõtke allaveeremise aeg antud kaldpinna kõrguse korral vähemalt 5 korral.
5. Leidke keskmine veeremisaeg ning arvutage keha inertsimoment. Hinnake mõõtmisviga.
6. Korrake katseseeriat mõne teise keha või teistsuguse kaldpinna kõrguse korral.
7. Kandke tulemused tabelisse:

Keha ______________ $m =$ $r =$ $s =$

Katse nr.	h (m)	t (s)	t_{keskmine} (s)	I (kgm^2)
1				
2				
3				
4				
5				

Keha ______________ $m =$ $r =$ $s =$

Katse nr.	h (m)	t (s)	t_{keskmine} (s)	I (kgm^2)
1				
2				
3				
4				
5				

8. Võrrelge leitud inertsimomente uuritud keha teoreetilise inertsimomendiga:

Keha	Veereva keha I
Ketas või silinder raadiusega r	$\frac{1}{2}mr^2$
Kera raadiusega r	$\frac{2}{5}mr^2$
Peenike rõngas või õhukeseseinaline toru raadiusega r	mr^2

5. Küsimused

1. Mis on inertsimoment?
2. Defineerige nurkkiirus.
3. Sõnastage energia jäävuse seadus mehaanikas.
4. Tuletage valem (6).
5. Võrrelge sama massi ja läbimõõduga silindri ja toru inertsimomente.

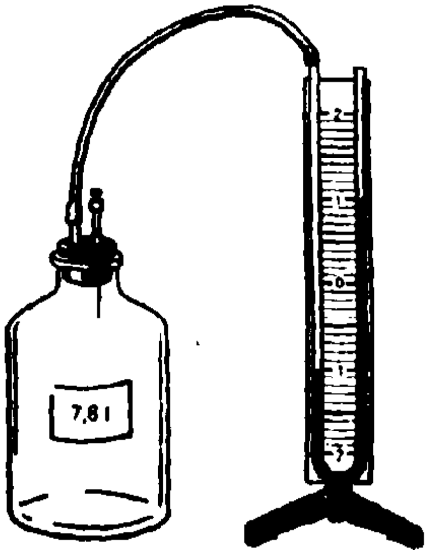
5. UNIVERSAALSE GAASIKONSTANDI MÄÄRAMINE

1. Tööülesanne

Universaalse gaasikonstandi määramine vedeliku aurumisel kinnises anumas.

2. Töövahendid

Katseseade, süstal, aurustatav vedelik



3. Töö teoreetilised alused

Kui suurde õhuga täidetud anumasse pritsida väike kogus kiirestiaurustuvat vedelikku nagu eeter või piiritus, siis mõne minuti pärast vedelik aurustub. Rõhk anumas kasvab ning Daltoni seaduse järgi on rõhumuutus võrdne tekkinud vedelikuauru osarõhuga. Seda rõhku p saab mõõta U-kujulise vedelikumanomeetriga, kasutades vedelikusamba rõhu valemit:

$$p = \rho g \Delta h. \qquad (1)$$

Siin tähistab ρ manomeetris oleva vedeliku (vesi) tihedust ning Δh on U-toru harude vedelikunivoode vahe.

Anumasse tekkinud aur allub ideaalse gaasi olekuvõrrandile

$$pV = \frac{m}{M} RT \,. \qquad (2)$$

Universaalse gaasikonstandi R saab siit avaldada, kui on teada anuma ruumala V, auru mass m ja molaarmass M ning absoluutne temperatuur T. Auru mass on võrdne aurustunud vedeliku massiga, mille saab avaldada vedeliku tiheduse ρ_v ja ruumala V_v kaudu

$$m = \rho_v V_v. \qquad (3)$$

Võttes valemid (1) – (3) kokku, saame universaalse gaasikonstandi leidmiseks valemi

$$R = \frac{\rho g \Delta h V M}{\rho_v V_v T} \qquad (4)$$

4. Töö käik

1. Küsige juhendajalt aurustatav vedelik
   (piiritus M = 0,046 kg/mol ja ρ = 790 kg/m^3; eeter M = 0,074 kg/mol ja ρ = 716 kg/m^3).
2. Kontrollige, et kork oleks anumal tihedasti peal.
3. Veenduge, kas vee nivood manomeetris on ühekõrgusel. Kui pole, siis ühendage manomeeter süsteemist korraks lahti ja siis külge tagasi.
4. Võtke süstlasse 1 - 2 cm^3 aurustatavat vedelikku. Ruumala määrake süstla jaotiste järgi.
5. Torgake süstlanõel läbi korgi vastava ava ning pritsige vedelik anumasse. Jätke süstal koos nõelaga korgi külge.
6. Jälgige manomeetri näitu ja fikseerige, kui see enam ei muutu.

7. Mõõtke toatemperatuur
8. Kõik mõõtmistulemused protokollige vabas vormis tabelina.
9. Arvutage universaalne gaasikonstant ning hinnake mõõtmisviga.

5. Küsimused

1. Mida näitab ideaalse gaasi olekuvõrrand?
2. Mida nimetatakse auruks?
3. Kuidas arvutatakse vedelikusamba rõhku?
4. Mida iseloomustab temperatuur molekulaar-kineetilise teooria seisukohalt?
5. Mis on molaarmass?
6. Selgitage küllastunud ja küllastumata auru mõisteid. Millise auruga on antud katses tegemist?

6. VEDELIKU PINDPINEVUSTEGURI MÄÄRAMINE

1. Tööülesanne

Määrata vedeliku pindpinevustegur nii dünamomeetrilisel kui ka kapillaarsel meetodil.

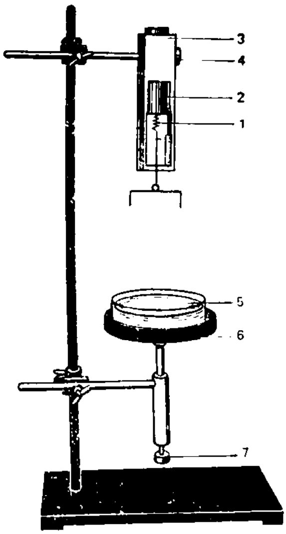
2. Töövahendid

Millidünamomeetriga katseseade, traatraamide komplekt, nihik, kapillaarpipett, uuritav vedelik.

3. Töö teoreetilised alused

3.1 Pindpinevusnähtus

Pindpinevus on nähtus, kus molekulidevahelise tõmbumise tõttu omab vedeliku pind alati lisaenergiat ning püüab potentsiaalse energia miinimumprintsiibile vastavalt oma suurust vähendada. Näiteks just tänu pindpinevusele võtab seebimull antud ruumala korral vähima pindalaga geomeetrilise keha — kera — kuju. Pinna suurus väheneb molekulide tõmbumisest põhjustatud erilise pindpinevusjõu tõttu. Pindpinevusjõud on suunatud alati piki pinna puutujat ning risti pinna servaga. Teoreetiliselt saab näidata ja katsed kinnitavad, et pindpinevusjõu F_p suurus on võrdeline pinna serva pikkusega l. Sõltuvus väljendub valemiga



$$F_p = \sigma l \qquad (1)$$

Võrdetegurit σ nimetatakse pindpinevusteguriks. Pindpinevustegur sõltub vedelikust ning määratakse eksperimentaalselt.

3.2 Dünamomeetriline meetod

Vedeliku pindpinevustegurit saab määrata tundliku dünamomeetri otsa riputatud П-kujulise raami abil. Kui tõsta raami vedelikust välja, siis moodustub selle raami ja vedeliku vahele veekile, mis raami tõstmise jätkumisel mingil hetkel katkeb. Katkemise hetkel näitab dünamomeeter jõudu F, mis on võrdne raami horisontaalsele osale mõjuva pindpinevusjõuga. Kui traatraami harude vahekauguse (horisontaalse osa pikkuse) tähiseks võtta b, siis on pindpinevusjõudu määravaks pinna serva pikkuseks

$$l = 2b. \qquad (2)$$

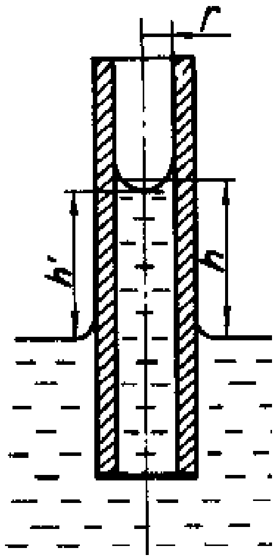
Kordaja 2 on tingitud sellest, et kilel on kaks pinda. Valemist (1) saab avaldada pindpinevusteguri:

$$\sigma = \frac{F}{2b} \qquad (3)$$

3.3 Kapillaarsusmeetod

Vedeliku pind on anuma seinte lähedal tavaliselt kõverdunud. Sellist kõverdunud vedelikupinda nimetatakse meniskiks. Kui vedeliku ja anuma seinte molekulide vahel on vedelikusiseste jõududega võrreldes tugevamad tõmbejõud, on menisk nõgus ja öeldakse, et vedelik märgab pinda. Vastupidisel juhul, kui vedeliku sisejõud on suuremad, on menisk kumer ja tegemist mittemärgamisega.

Vedelikku asetatud peenes torus (kapillaaris) võtab menisk praktiliselt poolsfääri kuju, mille kõverusraadius on võrdne toru siseraadiusega r. Kõvera meniski servaga risti mõjub aga piki pinna puutujat pindpinevusjõud, mis püüab pinna suurust vähendada.. Selle pindpinevusjõu tõttu vedelik torus tõuseb (märgamise puhul) või langeb (mittemärgamisel) võrreldes tasemega väljaspool toru. Täieliku märgamise korral on pindpinevusjõud suunatud vertikaalselt üles ning tema suuruse saab leida valemist (1), võttes pinna serva pikkuseks toru siseümbermõõduga $2\pi r$. Vedelik tõuseb kapillaaris sellise kõrguseni h, mille korral tõstetud vedeliku raskusjõud kompenseerib tõstva pindpinevusjõu. Tasakaalutingimust väljendab valem



$$mg = \sigma \cdot 2\pi r. \qquad (4)$$

Torusse tõusnud vedelikusamba massi m saab avaldada vedeliku tiheduse ρ ning silindrilise samba ruumala kaudu, mis omakorda avaldub samba kõrguse h ja raadiuse kaudu. Tasakaalutingimus saab sel juhul kuju

$$\pi r^2 hg = 2\sigma\pi r. \qquad (5)$$

Torusse tõusnud vedelikusamba kõrguse avaldamisel saame nn. kapillaarsuse valemi:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}. \qquad (6)$$

Pindpinevusteguri saab seosest (6) määrata, kui mõõta toru siseraadius ning vedeliku tõusukõrgus. Kuna pind torus on kõver, siis täpsuse suurendamiseks mõõdetakse kõrgus meniski haripunktini h' ja ülejäänud vedeliku arvel liidetakse sellele 1/3 r:

$$h = h' + \frac{1}{3} r. \qquad (7)$$

4. Töö käik

1. Koostage joonisel näidatud katseseade. Kinnitage dünamomeetri külge üks pikem traatraam ja seadke dünamomeetri osuti nullseisu. Traatraami tõstke ainult pintsettidega.
2. Valage anumasse *5* uuritav vedelik.
3. Tõstke kruvi *7* abil laud koos vedelikuga ülemisse asendisse.
4. Laske dünamomeeter ülemise statiivimuhvi abil allapoole nii, et vedelik märgaks raami.
5. Langetage kruvi *7* abil anumat ja jälgige dünamomeetri näitu. Protokollige suurima jõu väärtus. Korrake katset mitu korda ning leidke keskmine jõud. Mõõtke raami pikkus.
6. Arvutage pindpinevustegur ja hinnake tulemuse täpsust.

7. Korrake mõõtmisi teiste raamidega.

   Vedelik ___________________________

Nr.	l (m)	F (N)				F_{kesk} (N)	σ (N/m)
1							
2							
3							
					Keskmine σ (N/m)		

8. Arvutage kapillaarpipeti ruumala kaudu tema siseraadius.
9. Laske kapillaar võimalikult sügavale vette. Paari minuti pärast tõstke veidi ülespoole.
10. Mõõtke vedelikusamba kõrgus kapillaaris, arvutage pindpinevustegur valemist (6) ja hinnake tulemuse täpsust. Võrrelge erinevate meetodite abil saadud tulemusi.

5. Küsimused

1. Milles seisneb pindpinevusnähtus?
2. Millest sõltub pindpinevusjõud?
3. Millise suunaga on pindpinevusjõud?
4. Selgitage kapillaarsusnähtust.
5. Tooge näiteid pindpinevuse ja kapillaarsuse esinemisest looduses.

7. VEDELIKU SISEHÕÕRDETEGURI MÄÄRAMINE

1. Tööülesanne

Vedeliku sisehõõrdeteguri määramine Stokes'i meetodil.

2. Töövahendid

Klaasanum uuritava vedelikuga, kruvik, stopperkell, mõõtejoonlaud või mõõtelint, areomeeter.

3. Töö teoreetilised alused

Vedeliku sisehõõre väljendub vedeliku omaduses avaldada takistust vedelikukihtide nihkumisele üksteise suhtes. Seetõttu liiguvad vedelikukihid laminaarsel (segunemiseta) voolamisel erinevate kiirustega, kusjuures igale vedelikukihile paksusega Δl mõjub takistusjõud

$$F = \eta \frac{\Delta v}{\Delta l} S . \qquad (1)$$

Siin tähistab S vaadeldava vedelikukihi pindala ja Δv on kihi ülemise ja alumise pinna kiiruste erinevus. Seega kujutab suhe $\Delta v/\Delta l$ endast vedeliku voolukiiruse muutust pikkusühiku kohta, võetuna ristsuunas voolu suunaga. Võrdetegur η iseloomustab vedeliku takistavat mõju ning seda nimetatakse vedeliku sisehõõrdeteguriks (e. dünaamiliseks viskoossuseks).

Üksteise suhtes nihkuvate vedelikukihtide vastastikune mõju on tingitud vedeliku molekulidevahelistest külgetõmbejõududest. See takistab ka keha liikumist teda märgavas vedelikus, sest vedeliku molekulid katavad õhukese kihina kogu keha pinna. Järelikult saab keha vedelikus liikumist takistava jõu leida vedelikukihtide omavahelist nihkumist takistava jõu kaudu.

Üldjuhul on sel meetodil vedelikus liikuvale kehale mõjuva takistusjõu F_t arvutamine keeruline. Lõputu ulatusega vedelikus kiirusega v liikuva raadiusega r kera jaoks tuletas Stokes [stouks] järgmise valemi:

$$F_t = 6 \cdot \pi \eta r v. \qquad (2)$$

Antud töös kasutatakse valemit (2) sisehõõrdeteguri η määramiseks. Takistusjõu F_t arvutamiseks vaadeldakse kuulikese langemist vedelikus. Vedelikus langevale kuulile massiga m mõjub allapoole raskusjõud $mg = \rho V g$ ning üles ehk liikumisele vastassuunas vedeliku takistusjõud F_t ja vedeliku üleslükkejõud $\rho_v g V$. Siin tähistavad ρ_v , ρ ja V vastavalt vedeliku ja kuuli tihedust ning kuuli ruumala. Langemisel kuuli kiirus alguses kasvab, kuni takistusjõud (võrdeline kiirusega) kompenseerib kiirendava jõu ning tekib tasakaal:

$$\rho V g = \rho_v g V + 6 \cdot \pi \eta r v, \qquad (3)$$

millest sisehõõrdetegur avaldub

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho - \rho_v) g r^2}{v} . \qquad (4)$$

4. Töö käik

9. Mõõtke kuulikese läbimõõt ja arvutage raadius r.
10. Leidke teatmikust kuuli aine (teras)tihedus ρ.
11. Mõõtke areomeetriga vedeliku tihedus ρ_v.
12. Asetage klaasanumale kaks tähist kuuli kiiruse määramiseks. Ülemine tuleb asetada umbes 5 cm allapoole vedeliku pinda. Mõõtke tähistevaheline kaugus l.

13. Võtke pintsettidega kuulike ja laske ta vedelikku pinna lähedalt anuma keskkohast. Mõõtke aeg *t,* mis kulub märkidevahelise maa läbimiseks.
14. Korrake katset kuni 5 kuulikesega.
15. Arvutage igast katsest sisehõõrdetegur, leidke keskmine ja hinnake mõõtmisviga.
16. Tulemused vormistage tabelina:

l = ___________ ρ = ___________ ρ_v = _____________

Nr.	d (m)	r (m)	t (s)	v (m/s)	η (Pa·s)
1					
2					
3					
4					
5					
				Keskmine η	

5. Küsimused

6. Mis on sisehõõre?
7. Mis on sisehõõrdetegur?
8. Kuidas sõltub sisehõõrdetegur temperatuurist?
9. Tuletage valem (4)

8. VEDRUPENDLI VÕNKUMISTE UURIMINE

1. Tööülesanne

Uurida, kuidas sõltub vedru otsa riputatud koormise võnkeperiood koormise massist ning vedru jäikusest.

2. Töövahendid

Erinevad spiraalvedrud, statiiv koos hoidja ning mõõtjoonlauaga, koormiste komplekt, tehnilised kaalud, stopperkell.

3. Töö teoreetilised alused

Kui vedru otsa riputada koormis massiga m, siis venib vedru koormise kaalu mõjul välja mingi pikkuse Δl võrra. Vedru deformeerumisel tekib vastavalt Hooke'i seadusele elastsusjõud $k\Delta l$, mis kompenseerib koormise kaalu ning tekib tasakaal — liikumist ei toimu. Seda tasakaalu väljendab võrdus

$$mg = k\Delta l. \qquad (1)$$

Suurust k nimetatakse vedru jäikuseks ja ta sõltub vedru materjalist, kujust ning mõõtmetest.

Kui nüüd koormis tasakaaluasendist mingile kauguse x võrra eemaldada, tekib kohe täiendav elastsusjõud F, mis püüab koormist tasakaaluasendisse tagasi viia:

$$F = -kx. \qquad (2)$$

Miinusmärk näitabki seda, et jõud F on deformatsiooniga x vastassuunaline ning tegemist on seega püsiva tasakaaluga.

Vastavalt Newtoni II seadusele annab see jõud koormisele kiirenduse, mis matemaatilise definitsiooni järgi kujutab aga endast koordinaadi x teist tuletist (koordinaattelg on piki vedru, nullpunktiga tasakaaluasendis):

$$a = \frac{F}{m} = x''. \qquad (3)$$

Valemid (2) ja (3) annavad kokku diferentsiaalvõrrandi

$$x'' = -\frac{k}{m}x \qquad (4)$$

ehk

$$x'' = -\omega^2 x, \qquad (5)$$

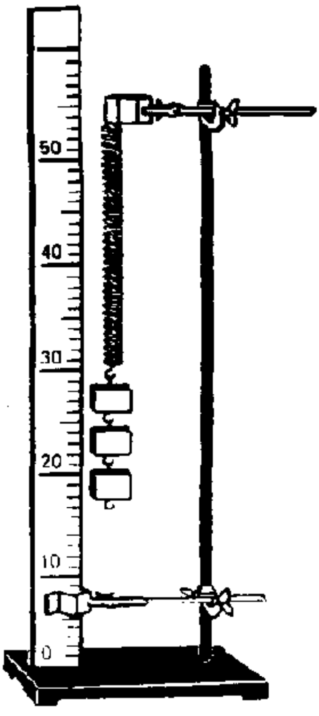
Kus

$$\omega^2 = k/m. \qquad (6)$$

On lihtne näidata, et diferentsiaalvõrrandiga (5) kirjeldatavat olukorda rahuldab liikumine, kus koordinaat muutub ajas harmooniliselt, st. koormis võngub harmooniliselt:

$$x = x_0\sin(\omega t+\varphi) \qquad (7)$$

Selle võnkumise amplituud ehk maksimaalne hälve on x_0 ning võnkeperiood



$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\,. \qquad (8)$$

4. Töö käik

1. Pange katseseade töökorda ning märkige üles vedru alumise serva asukoht mõõtjoonlaual.
2. Kaaluge üks koormis, riputage see komplekti keskmise jäikusega vedru otsa ning mõõtke vedru pikenemine.
3. Valemist (1) arvutage vedru jäikus k ja valemist (8) vedru teoreetiline omavõnkeperiood ω.
4. Leidke katseliselt tegelik võnkeperiood, mõõtes näiteks n = 20 täisvõnkele kuluv aeg t.
5. Korrake katseseeriat ja arvutusi ka kahe ja kolme koormise ülesriputamise korral. Tulemused kandke koos veahinnangutega tabelisse:

Nr.	Kogumass m (kg)	Δl (m)	k (N/m)	T_{teor} (s)	n	t_{kogu} (s)	T_{katse} (s)
1							
2							
3							

6. Võrrelge teoreetilise ja tegeliku võnkeperioodi vea piires kokkulangevust.
7. Joonestage graafik mis näitab tegeliku võnkeperioodi ruudu T^2 sõltuvust koormise massist. Märkige graafikule ka vearistid.
8. Järgnevalt uurige võnkeperioodi sõltuvust vedru jäikusest. Selleks riputage üks ja sama koormis (mass eelnevalt kaalutud) järgemööda kolme erineva vedru otsa. Igal korral mõõtke vedru pikenemine Δl ja määrake ka võnkeperioodid. Tulemused koondage koos veahinnangutega tabelisse:

Nr.	m (kg)	Δl (m)	k (N/m)	T_{teor} (s)	n	t_{kogu} (s)	T_{katse} (s)
1							
2							
3							

9. Joonestage graafik mis näitab tegeliku võnkeperioodi ruudu T^2 sõltuvust vedru jäikusest. Märkige graafikule ka vearistid.

5. Küsimused

1. Mis on võnkumine?
2. Millist võnkumist nimetatakse harmooniliseks?
3. Selgitakse vaba- ja sundvõnkumise mõisteid.
4. Miks on vabavõnkumised alati sumbuvad ja mida see tähendab?
5. Millest ja kuidas sõltub vedrupendli võnkeperiood?
6. Näidake, et harmoonilise võnkumise võrrand (7) on tõepoolest diferentsiaalvõrrandi (5) lahendiks.

9. TRAADI MATERJALI ERITAKISTUSE MÄÄRAMINE

1. Tööülesanne

Määrata ampermeetri ja voltmeetri abil traadi aktiivtakistus ning materjali eritakistuse leidmine

2. Töövahendid

Vooluallikas, voltmeeter, ampermeeter, reohord (liuguriga takistustraat skaalaga alusel), kruvik.

3. Töö teoreetilised alused

Pikkusega l ja ristlõikepindalaga S homogeense (ühtlase) traadi takistust saab arvutada seosest

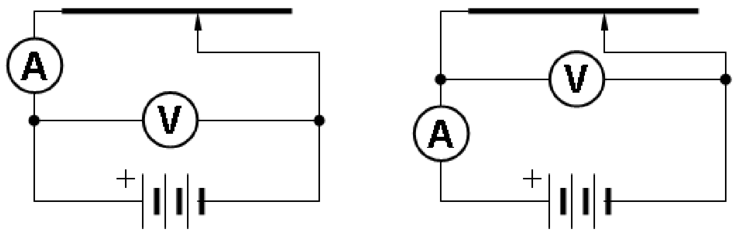
$$R = \rho \frac{l}{S}, \qquad (1)$$

kus ρ tähistab traadi materjali eritakistust. Takistust saab Ohmi seadusele tuginedes kaudselt mõõta voltmeetri ja ampermeetri abil:

$$R = \frac{U}{I} \qquad (2)$$

Ohmi seaduses tähistab U pinget traadi otstel ning I selle pinge korral traati läbiva voolu tugevust. Reaalsete mõõteriistade korral kaasneb mõõtmisega metoodiline viga, kuna mingi osa voolust pääseb alati ka traadiga paralleelselt ühendatud voltmeetrist läbi ning mingi osa pingest jääb traadiga jadamisi ühendatud ampermeetrile. Lisaks mõõteriistade mõjule moonutab tulemust ka ühenduskohtade takistus, mis võib ulatuda 1 – 2 oomini.

Metoodilise vea vähendamiseks tuleb valida sobivaim mõõteskeem. Mõõteriistade ühendamiseks on kaks põhimõttelist võimalust:



Esimene skeem valitakse siis, kui traadi takistus on ampermeetri takistusega võrreldes suur, sel juhul ampermeeter voltmeetri näitu oluliselt ei mõjuta. Kui aga traadi takistus on väike, l tuleb eelistada parempoolset skeemi.

Kui arvestada traadi takistuse R_t kõrval ka ühenduskohtade takistust $R_ü$, peaks Ohmi seaduse (2) kirjutama kujul

$$\frac{U}{I} = R = R_t + R_ü \qquad (3)$$

Et traadi takistus on valemi (1) järgi määratud traadi mõõtmete ja materjaliga, saame

$$R = \frac{\rho}{S} l + R_ü . \qquad (4)$$

Näeme, et traadi pikkuse muutmisel on takistus pikkusega lineaarselt seotud ning sõltuvuse graafikuks on sirge tõusuga

$$a = \frac{\Delta R}{\Delta l} = \frac{\rho}{S} \qquad (5)$$

Leides sõltuvuse graafikult R = f(l) tõusu a, saamegi seosest (5) leida traadi materjali eritakistuse ρ, kusjuures oleme vältinud ühenduskohtade takistusest $R_{ü}$ tingitud süstemaatilise vea.

4. Töö käik

1. Protokollige mõõteriistad
2. Mõõtke Kruvikuga traadiläbimõõt vähemalt 5 erinevas kohas ning leidke läbimõõdu keskmine d_{keskm} ning standardhälve σ:

d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	…	…	d_{keskm}	σ

3. Koostage vooluring arvestades, et uuritav traat pole väga pikk ega peenike. **Paluge juhendajal vooluringi veatust kontrollida ning luba sisselülitamiseks**.
4. Nihutage liugur keskmisse asendisse ning lülitage vooluring sisse. Mõõtke voolutugevuse ja pinge väärtused.
5. Korrake mõõtmisi liuguri erinevate asendite korral kokku 7 – 8 korral ja vormistage tulemused tabelina. Jälgige, et voolutugevus oleks mõõtmiseks optimaalne ning muutke vajaduse korral vooluallika pinget

Nr	l (m)	U (U)	I (A)	$R = \frac{U}{I}$ (Ω)
1				
2				
…				
8				

6. Joonestage graafik R = f(l) ning leidke selle tõus a = $\Delta R / \Delta l$
7. Arvutage valemist (5) traadi materjali eritakistus ρ ning hinnake mõõtmisviga.

5. Küsimused

1. Mis on aine eritakistus ja millest see sõltub?
2. Kuidas sõltub metallide eritakistus temperatuurist?
3. Millest sõltub traadi takistus?
4. Mis on ülijuhtivus?

10. KONDENSAATORI MAHTUVUSE MÄÄRAMINE

1. Tööülesanne

Koostada kondensaatori tühjenemisvoolu tugevuse ajast sõltuvuse graafik ja määrata selle järgi kondensaatori laeng ning mahtuvus.

2. Töövahendid

Vooluallikas, voltmeeter või tester, mikroampermeeter, uuritav kondensaator, ümberlüliti, u 30 kΩ takisti, kell, ühendusjuhtmed.

3. Töö teoreetilised alused

Kondensaatori mahtuvus C on definitsiooni järgi võrdne kondensaatorile antud laengu q ja selle laengu tekitatud pinge U jagatisega:

$$C = \frac{q}{U} \qquad (1)$$

Pinge U võime kergesti voltmeetri abil mõõta. Laengu q määrame kondensaatori tühjenemisvoolu tugevuse ja tühjenemisaja järgi. Definitsiooni järgi on alalisvoolu tugevus I arvuliselt võrdne laenguga, mis läbib juhet ajaühiku jooksul. Valemina väljendatult

$$I = \frac{q}{t} \qquad (2)$$

Seega muutumatu tugevusega voolu korral avaldub laeng voolutugevuse ja aja korrutisena:

$$q = I\,t \qquad (3)$$

Kondensaatori tühjenemisel voolutugevus aga väheneb mingist maksimaalväärtusest kuni nullini. Sellisel juhul tuleb valemit (3) kasutada diferentsiaalkujul

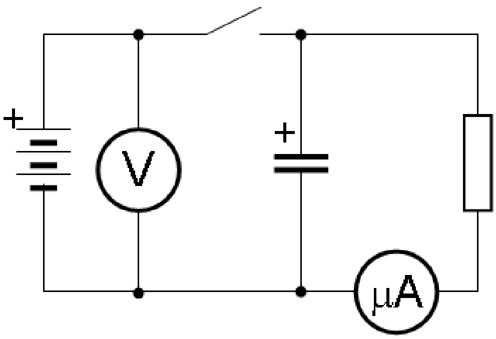
$$\mathrm{d}q = I\mathrm{d}t, \qquad (4)$$

kus dq on laenguosa, mis läheb läbi vooluringi niivõrd lühikese aja dt jooksul, et voolutugevus I ei jõua veel märgatavalt muutuda. Kogu protsessi jooksul läbivoolanud laengu saab leida avaldise (4) integreerimisel:

$$q = \int_0^{\infty} I dt\,. \qquad (5)$$

Kui voolutugevuse ajast sõltuvus on mõõtmiste teel kindlaks tehtud, võib integreerimist läbi viia graafiliselt. On ju määratud integraal võrdne integreeritava funktsiooni graafiku alla jääva pindalaga — laeng on võrdne pindalaga, mis jääb I – t teljestikus voolutugevuse graafiku ja ajatelje vahele.

4. Töö käik



1. Koostage kõrvaloleva joonise järgi vooluring, mis võimaldab kondensaatorit laadida ja tühjendada ning tühjenemisvoolu tugevust mõõta. Et kasutatakse elektrolüütkondensaatorit, tuleb ühendamisel kindlasti polaarsust jälgida. Enne sisselülitamist laske vooluring juhendajal üle vaadata!

2. Sulgege lüliti ja fikseerige pinge ja voolutugevus. Mõõdetud voolutugevus vastab tühjenemisprotsessi hetkele $t = 0$.
3. Avage lüliti ja käivitage samaaegselt stopper. Nüüd on vooluallikas kondensaatorist lahutatud ja takistit läbib ainult kondensaatori tühjenemisvool. Registreerige voolutugevus iga 15 sekundi järel ka kandke tulemused järgmisse tabelisse.

t (s)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	…	300
I (μA)											…	

Tabeli ettevalmistamisel arvestage, et kondensaatori tühjenemine võib kesta kuni 10 minutit.

4. Koostage tabeli andmete põhjal graafik, mis näitab kondensaatori tühjenemisvoolu sõltuvust ajast. Horisontaalteljele kandke aeg sekundites ning vertikaalteljele voolutugevus mikroamprites. Graafik peab olema ruudulisel paberil, vastasel korral on integreerimine raske.
5. Tehke kindlaks, kui suur laeng vastab graafiku ühele ruudule. Selleks leidke aeg t^o, mis vastab ruudu pikkusele horisontaalteljel ja voolutugevuse muut I^o, mis vastab ruudu vertikaalse külje pikkusele. Ühele ruudule vastab siis laeng

$$q^o = I^o\, t^o \qquad (6)$$

6. Määrake ruutude arv n graafiku alla jäävas kujundis. Selleks lugege eraldi tervete ruutude arv n_1 ja osaliselt graagiku poolt äralõigatud ruutude arv n_2. Graafiku aluse kujund võtab siis enda alla ruudud arvuga

$$n = n_1 + \frac{n_2}{2} \qquad (7)$$

7. Arvutage kondensaatori laeng:

$$q = n\, q^o \qquad (8)$$

8. Arvutage kondensaatori mahtuvus ja hinnake tulemuse täpsust.

5. Küsimused

1. Mis on kondensaator?
2. Loetlege kondensaatorite liigid, mida tunnete
3. Mida ninetatakse kondensaatori mahtuvuseks?
4. Arvutage kui suur oli katses kondensaatori maksimaalne energia
5. Hinnake graafiku järgi, milliseks hetkeks oli kondensaator kaotanud poole oma laengust.

11. MAA MAGNETVÄLJA HORISONTAALKOMPONENDI MÄÄRAMINE

1. Tööülesanne

Määrata Maa magnetvälja induktsiooni horisontaalkomponent tangensgalvanomeetri meetodil.

2. Töövahendid

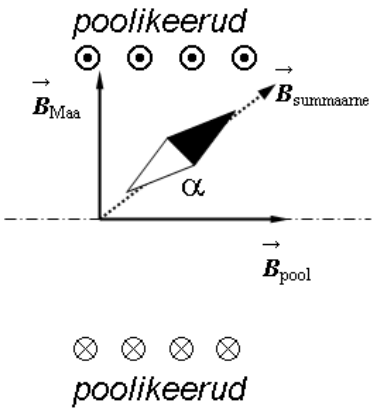
Tangensgalvanomeeter (poolikeerdudega ümbritsetud kompass), ampermeeter, reostaat, alalisvooluallikas, mõõtjoonlaud, ümberlüliti.

3. Töö teoreetilised alused

Maa magnetväli on oma kujult lähedane ühtlaselt magneetunud kera magnetväljale. Sealjuures asetsevad Maa magnetpoolused geograafiliste pooluste lähedal.

Ekvaatoril on Maa magnetväli suunatud horisontaalselt ja pooluste kohal vertikaalselt. Vahepealsetes punktides omab Maa magnetväli nii horisontaalset kui ka vertilaalset komponenti. Magnetvälja horisontaalkomponendi suunda nimetatakse magnetiliseks meridiaaniks ja seda näitabki kompassi magnetnõel.

Käesolevas töös kasutatakse Maa magnetvälja induktsiooni horisontaalkomponendi mõõtmisel Maa magnetvälja võrdlemist vooluga traadikeerdude magnetväljaga. Kahte magnetvälja võimaldab võrrelda kompassinõel, mis orienteerub alati summaarse magnetvälja sihis.



Kuidas leida Maa ja pooli magnetväljade summaarset suunda? Kahte magnetvälja on kõige lihtsam liita siis, kui nad on suunatud teineteise suhtes risti. Pooli magnetäli on pooli teljel suunatud alati piki telge, st pooli tasandiga risti. Seepärast on otstarbekas pooli telg pöörata Maa magnetväljaga risti.

Kõrvalolevalt jooniselt on näha, et

$$B_{\mathrm{pool}} = B_{\mathrm{Maa}} \tan\alpha \qquad (1)$$

Vooluga poolikeerdude tekitatud magnetvälja induktsiooni pooli keskel saab aga arvutada valemist

$$B_{pool} = \mu_0 \frac{I}{d} N\,, \qquad (2)$$

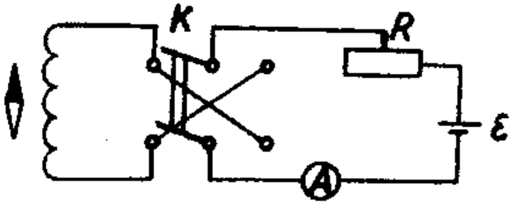
kus I tähistab voolutugevustpoolikeerdudes, d on poolikeerdude läbimõõt, N keerdude arv ning μ_0 onmagnetiline konstant ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m). Lõppvalem Maa magnetvälja induktsiooni horisontaalkomponendi arvutamiseks on järgmine:

$$B_{Maa} = \frac{\mu_0 IN}{d \tan\alpha} \qquad (3)$$

Valemist on näha, et mõõta tuleb voolutugevus I poolis ning magnetnõela kaldenurk α.

4. Töö käik

1. Protokollige mõõteriistad
2. Mõõtke poolikeerdude raadius ja lugege keerdude arv.
3. Koostage vooluring, mis võimaldab pooli läbivat voolu mõõta, muuta ja ümber lülitada. Näidake vooluring kontrollimiseks juhendajale ette ning küsige, millistel voolutugevustel mõõtmisi läbi viia.



4. Lülitage vooluring sisse ja reguleerige voolutugevus juhendaja poolt antud algväärtusele.
5. Kui kompassinõel tasakaalustub, lugege ning protokollige ringskaalal magnetnõela kaldenurk. Muutke ümberlüliti *K* abil voolu suund vastupidiseks ning protokollige kaldenurk (see on nüüd teises suunas) uuesti. Leidke saadud kahe kaldenurga aritmeetiline keskmine. Mõõtmistulemused kandke tabelisse:

Nr.	I (A)	α_1	α_2	α_{keskm}	tan α_{keskm}	B_{Maa} (T)
1						
2						
3						
4						
…						
					Keskmine	

6. Hinnake tulemuse täpsust

5. Küsimused

1. Mis on magnetvälja induktsioon?
2. Kus asuvad Maa magnitiline lõuna- ja põhjapoolus?
3. Kuidas on suunatud Mmm magnetiline meridiaan?
4. Selgitage tangensgalvanomeetri tööpõhimõtet
5. Miks mõõdetakse magnetnõela kaldenurk vastassuunaliste voolude tekitatu keskmisena?

12. POOLI INDUKTIIVSUSE MÄÄRAMINE

1. Tööülesanne

Määrata pooli induktiivsus, kasutades Ohmi seadust vahelduvvooluringi jaoks.

2. Töövahendid

Suure induktiivsusega pool, reguleeritav vahelduvpingeallikas, vahelduvvoolu voltmeeter ja ampermeeter, takistusmõõtja (tester), raudsüdamik, ühendusjuhtmed.

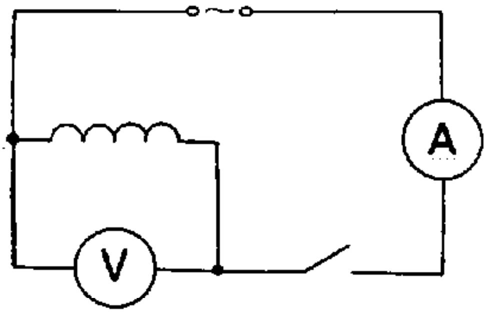
3. Töö teoreetilised alused

Voolutugevus vahelduvvooluahelas on määratud Ohmi seadusega:

$$I = \frac{U}{Z}. \qquad (1)$$

Erinevalt alalisvoolutakistusest koosneb vahelduvvoolu korral takistus Z kolmest komponendist:

$$Z = \sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2}\,, \qquad (2)$$



kus R on aktiivtakistus (sama, mis alalisvoolutakistus), R_L on induktiivtakistus, mida avaldavad vahelduvvoolule poolid ja R_C on mahtuvustakistus, mida avaldavad näiteks kondensaatorid. Nii induktiivtakistus kui ka mahtuvustakistus sõltuvad vahelduvvoolu sagesusest. Et käesoleva töö vooluringil mahtuvus praktiliselt puudub, ei pea me mahtuvustakistusega arvestama. Küll aga induktiivtakistusega, mis on võrdeline pooli induktiivsusega. Nimetatud seos võimaldabki käesolevas töös pooli induktsiooni leida.

$$R_L = 2\pi f L \qquad (3)$$

Nii saame seose

$$\frac{U}{I} = Z = \sqrt{(2\pi f L)^2 + R^2}\,, \qquad (4)$$

millest pooli induktiivsus avaldub

$$L = \frac{1}{2\pi f}\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2} \qquad (5)$$

Seega saame pooli induktiivsuse leida, kui teame vahelduvvoolu sagedust f (meil kehtiva standardi järgi $f = 50$ Hz ± 1 %), mõõdame pooli aktiivtakistuse R, poolile rakendatud pinge U ja pooli läbiva voolu tugevuse I.

4. Töö käik

1. Protokollige mõõteriistad
2. Mõõtke testri abil pooli kõikide sektsioonide (1200, 2400 ja 1200 +2400 keerdu) aktiivtakistused.

3. Koostage joonisel toodud skeemi järgi vooluring ning enne sisselülitamist laske juhendajal üle kontrollida. Esmalt kasutage poolisektsiooni keerdude arvuga 1200.
4. Lülitage vool sisse ja reguleerige pinge selliseks, et voolutugevust saaks võimalikult täpselt mõõta. Mõõtmisel valige voltmeetril ja ampermeetril sobiv mõõtepiirkond.
5. Viige pooli sisse raudsüdamik ja korrake mõõtmisi.
6. Korrake katset ka 2400 ja 1200 + 2400 = 3600 keeru korral. Tulemused protokollige tabelis

Mähis	R (Ω)	U (V)	I (A)		L (H)	
			südamikuga	südamikuta	südamikuga	südamikuta
1200 keerdu						
2400 keerdu						
3600 keerdu						

7. Hinnake tulemuste täpsust.

5. Küsimused

1. Mida nimetatakse induktiivsuseks?
2. Miks on pooli takistus alalisvoolu korral väike, aga vahelduvvoolu korral suur?
3. Kuidas mõjutab pooli induktiivsust raudsüdamiku sisseviimine?
4. Kuidas muutub pooli induktiivsus, kui vahelduvvoolu sagedust suurendada?

13. SILMA OMADUSTE TUNDMAÕPPIMINE NING PIKKSILMA SUURENDUSE MÄÄRAMINE

1. Tööülesanne

Teha kindlaks silma pimetähni asukoht, mõõta silma minimaalne vaatenurk ning määrata pikksilma suurendus.

2. Töövahendid

Mõni leht valget paberit, teravaotsaline must kirjutusvahend, mõõtjoonlaud ning mõõdulint, pikksilm, ühtlaste jaotustega skaala.

3. Töö teoreetilised alused

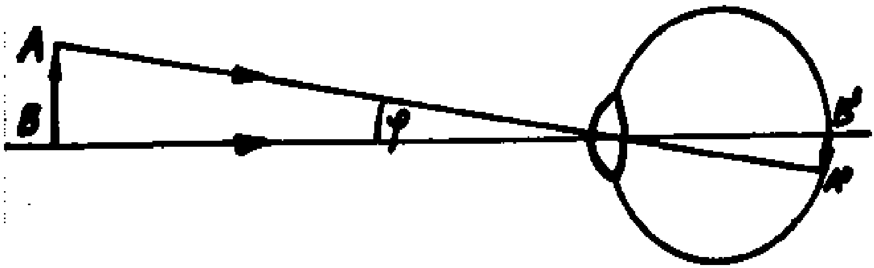
3.1. Silma pimetähn

Pimetähn on koht silma võrkkestal, kuhu suubub nägemisnärv. Seal puuduvad valgustundlikud närvirakud. Kui mingi eseme kujutis langeb pimetähnile, siis me seda ei näe. Sellele vaatamata ei taju me vaateväljas musta kohta. Valgusaisting antakse peaajule mõlemast silmast ning lisaks sellele Aju töötleb valgustundlikest närvidest tulevaid signaale nii, et me näeme nähtamatu piirkonna asemel keskmist kujutist, sellest, mis tegelikult lähinaabruses asub. Lisaks sellele ei lange parema ja vasaku silma pimetähnide kohal olevad kujutised kokku (paiknevad vaatevälja keskjoone suhtes sümmeetriliselt), mis aitab samuti ajul infopuudust korvata.

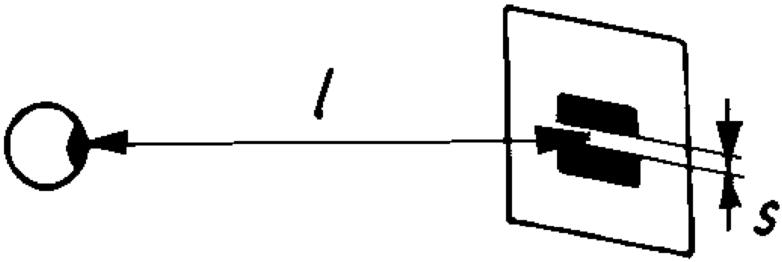
Pimetähn võib märgatavaks muutuda siis, kui vaadatakse ühe silmaga ja objektiks on väga kontrastne (musta ja valge kombinatsioonid) ese.

3.2. Nägemisteravus ja silma minimaalne vaatenurk

Silma võrkkestal tekkinud kujutise A'B' mõõtmed on põhiliselt määratud nurgaga φ, mille all antud eset AB vaadeldakse.



Füüsikas nimetatakse seda nurka, mille piires esemelt läbi silmaava tulnud kiired tekitavad võrkkestale terve eseme terava kujutise, eseme vaatenurgaks. Joonisel on eseme AB vaatenurgaks φ. Mida väiksem on see vaatenurk φ, seda pisem on ka silma võrkkestale tekkinud kujutis ja seda vähem detaile suudame eristada. Meie nägemisteravus (pisikeste detailide eristusvõime) on piiratud võrkkesta ehitusega. Me ei suuda eristada detaile, mille kujutiste vahekaugus on nägemisnärvide vahekaugusest väiksem. Nägemisteravust saab iseloomustada silma minimaalse vaatenurgaga. Selleks nimetatakse vähimat vaatenurka, mille korral vaadatuna kaks punkti näivad veel lahusolevaina. Tavaliselt on inimese minimaalne vaatenurk umbes üks kaareminut.



Silma minimaalset vaatenurka saab määrata lihtsate vahenditega. Paberilehele joonistatakse kaks musta ristkülikut nii, et nende vahele jääks 1 – 2 mm laiune vahe (pilu). Paber kinnitatakse silmade kõrgusele seinale ja vaatleja eemaldub sellest nii kaugele, et ristkülikud näiksid talle üheks kokkusulanuna. Teades pilu laiust s ja kaugust paberini l ning arvestades fakti, et väikeste nurkade korral on nurga siinus ja tangens ligikaudu võrdsed nurga endaga radiaanides, võimegi silma minimaalse vaatenurga arvutada valemist

$$\varphi_{\min} = \frac{s}{l}. \qquad (1)$$

3.3. Pikksilma suurendus

Kaugel asuvaid esemeid ei näe me selgelt just seepärast, et nende vaatenurk on liiga väike. Selleks, et eristada ka kaugel asuvate esemete väikeseid detaile, kasutatakse optilisi seadmeid (näiteks pikksilmi), mis muudavad vaatenurga suuremaks. Optilise seadme poolt tekitatud suurendusefekti hinnatakse tavaliselt valemiga

$$s = \frac{\tan \varphi'}{\tan \varphi}, \qquad (2)$$

kus s on suurendus, φ' – optilise seadme poolt tekitatud vaatenurk ja φ – vaatenurk palja silmaga vaatamise korral.

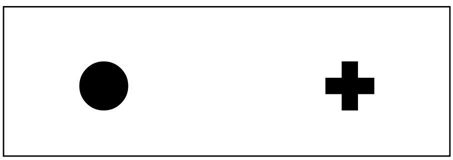
Lihtsaimaks mooduseks pikksilma suurenduse hindamiseks on ühtlaste jaotistega skaala (n joonlaua) vaatlemine üheaegselt nii pikksilma kui ka palja silmaga, st. ühe silmaga läbi pikksilma ja teisega pikksilma kõrvalt otse. Kui jaotise tegelik pikkus skaalal on l_0 ja läbi pikksilma paistab tema suurendatud kujutis pikkusega L, on pikksilma suurendus võrdne

$$s = L / l_0. \qquad (3)$$

Tegelikkuses on seda lihtne teha nii, et leitakse, mitu otsenähtud skaalajaotist (n) mahub pikksilmas nähtud mõne (N) suurendatud jaotise kõrvale. Sellisel juhul saame suurenduse valemiks

$$s = n / N. \qquad (4)$$

4. Töö käik



1. Pimetähni kindlakstegemiseks joonistage paberile must ringike ning rist nii, et nendevaheline kaugus oleks 6 – 8 cm. Seejärel sulgege parem silm ja vaadake vasaku silmaga tähelepanelikult risti. Joonist silmale lähendades ja selest

eemaldades leiate sellise asendi, mille korral ristist vasakul asetsev ring muutub nähtamatuks. Selles asendis langebki ringi kujutis vasaku silma pimetähnile. Korrake katset ka parema silmaga, seejuures peate testjoonise ümber pöörama, sest parem ja vasak silm on oma ehituselt peegelsümmeetrilised. Märkige protokolli mõlema silma jaoks kaugused, mille korral jooniselt ring ära kadus.

2. Joonistage paberile kõrvuti kaks ristkülikut teineteisest 1 – 2 mm kaugusele ning mõõtke nenevaheline kaugus s võimalikult täpselt.
3. Kinnitage paberseinale silmade kõrgusele ning eemalduge temast suurimale kaugusele, mille korral näete ristkülikuid veel eraldi, st kokku sulamata.
4. Mõõtke see kaugus l ning arvutage valemist (1) minimaalne vaatenurk.
5. Korrake katset kokku 5 korda ning hinnake tulemuse täpsust.
6. Tutvuge pikksilma ehitusega ning reguleerimisvõimalustega.
7. Teravustage pikksilm ruumi vastasseinal asuv skaala selliselt, et nii otse kui läbi pikksilma vaatav silm näeks skaalat korraga teravalt. Palja silmaga vaadatud skaala peab jääma läbi pikksilma nahtava skaala foonile.
8. Valige mingi arv (N) suurendatud skaalajaotusi ning lugege, mitu suurendamata skaalajaotist (n) nende peale mahub. Korrake mõõtmisi erineva N korral ning kandke tulemused tabelisse.

Katse nr.	N	n	s
		Keskmine	

9. Hinnake tulemuse täpsust.

4. Küsimused

1. Mis on pimetähn?
2. Mis on vaatenurk ja minimaalne vaatenurk?
3. Mis määrab pikksilma suurenduse?
4. Pikksilma lahutusvõime.

14. FRAUNHOFERI DIFRAKTSIOONI UURIMINE PILU KORRAL

1. Tööülesanne

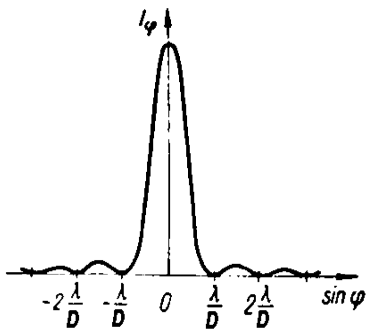
Valguse pilust läbiminekul tekkiva difraktsioonipildi uurimine, intensiivsuse jaotuskõvera ülesvõtmine, valguse lainepikkuse määramine.

2. Töövahendid

Laser optilisel pingil, mõõdulint ja mõõtjoonlaud, ekraan, pilude komplekt (sealhulgas ka muudetava laiusega).

3. Töö teoreetilised alused

Difraktsiooniks nimetatakse lainete kõrvalekaldumist sirgjoonelisest teest tõkke taha geomeetrilise varju piirkonda. Eristatakse kahte liiki difraktsiooni: sfääriliste lainete difraktsiooni e. Fresneli dirraktsiooni ja tasapinnaliste lainete difraktsiooni ehk Fraunhoferi difraktsiooni.



Kasutades Huygens-Fresneli printsiipi saab näidata, et kui tasapinnaline valguslaine langeb pilule laiusega D, siis kaldub valgus otsesihist kõrvale varju piirkonda. See, kui palju valgust (milline on valguslaine amplituud) jõuab mingisse konkreetsesse punkti pilu taga, sõltub valguse lainepikkusest λ, pilu laiusest D ning nurgast φ, mille võrra valgus sinna punkti jõudmiseks otsesihist kõrvale kaldub. Pilu taha asetatud ekraanile tekib pilt, kus vahelduvad heledad ja tumedad ribad. Põhjuseks on interferents, mille käigus teatud käiguvahe puhul valguslained üksteist võimendavad, teisal jälle kustutavad.

Võib tõestada (tõestuse leiate mistahes kõrgkooli optikaõpikust), et valguslained kustutavad üksteist ja ekraanile tekivad interferentsimiinimume tähistavad tumedad ribad kohtades, kuhuni jõudmiseks kaldub valgus nurkade φ all, mille korral

$$D \sin \varphi = \pm k\lambda, \qquad \text{kus } k = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots \qquad (1)$$

Heledaim riba asub otse pilu vastas ($\varphi = 0$) ning pilt on selle nn peamaksimumi suhtes sümmeetriline. Mõlemale poole kaugenedes hakkab heledate ribade intensiivsus I_φ kahanema. Valguse intensiivsuse sõltuvus kaldenurga φ siinusest on näidatud kõrvaloleval joonisel.

4. Töö käik

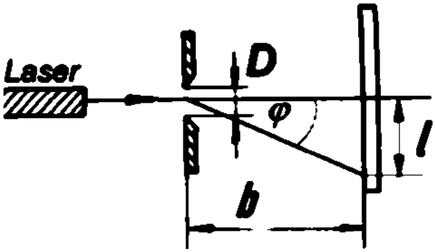
1. Asetage optilisele pingile reguleeritava laiusega pilu ning jälgige pärast laseri sisselülitamist difraktsioonipildi muutumist sõltuvalt pilu laiusest. Kirjeldage seda muutumist tööprotokollis.
2. Asetage hoidjasse kindla laiusega pilu
3. Mõõtke võimalikult täpselt peamaksimumist kahele poole jäävate sama järku miinimumide (tumedad ribad) vahekaugused $2l$ vähemalt 5 esimese miinimumi jaoks.
4. Hinnake visuaalselt (10-pallises skaalas) maksimumide intensiivsust I.

5. Mõõtke ekraani ja pilu vaheline kaugus *b*. Kõik tulemused kandke tabelisse:

Katse nr.	Miinimumi järk *k*	2*l*	*I*	φ	λ

6. Koostage valguse intensiivsuse jaotuse graafik $I = f(l)$.
7. Arvutage miinimumide nurkkaugused keskmisest maksimumist (peamaksimumist) φ, lähtudes seosest

$$\frac{l}{b} = \tan\varphi \qquad (2)$$



8. Valemi (1) abil arvutage kasutatud laseri valguse lainepikkus λ.
9. Hinnake lainepikkuse määramise täpsust.

5. Küsimused

6. Mida nimetatakse difraktsiooniks?
7. Kumba valguse dualistliku olemuse poolt difraktsiooninähtus väljendab?
8. Milline oleks difraktsioonipilt, kui läbi pilu lasta valge valgus?

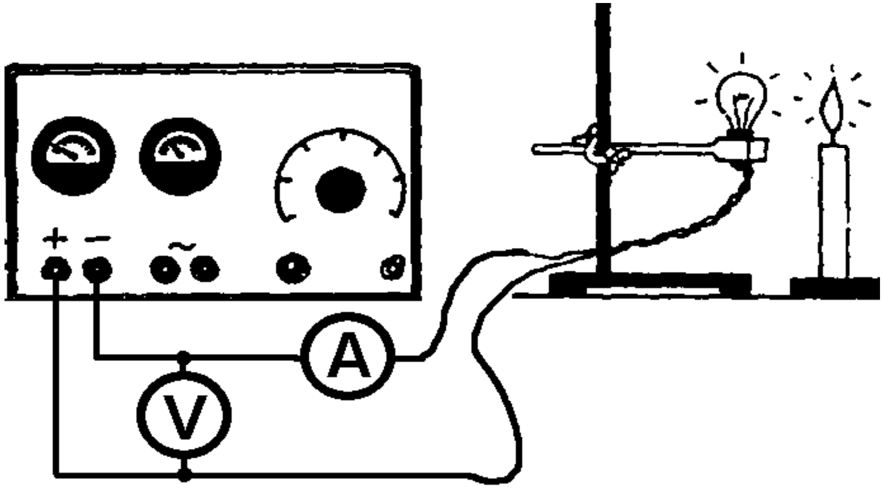
15. TEMPERATUURI MÕÕTMINE PÜROMEETRILISEL MEETODIL

1. Tööülesanne

Määrata püromeetrilisel meetodil küünlaleegi temperatuur.

2. Töövahendid

Volframniidiga hõõglamp statiivil, ampermeeter, voltmeeter, oommeeter, reguleeritava pingega vooluallikas, termomeeter, küünal, ühendusjuhtmed.



3. Töö teoreetilised alused

Kui kaks hõõguvat keha kiirgavad sama spektraalse koostisega valgust ning on ühe ja sama heledusega, siis on nad ka võrdse temperatuuriga.

Seda seaduspärasust saab kasutada hõõguvate kehade temperatuuri määramiseks. Kui ühe valgusallika, antud juhul elektrilambi hõõgniidi temperatuur on muudetav ja seda on võimalik määrata, siis saame määrata ka mistahes teise hõõguva valgusallika n küünlaleegi temperatuuri. Selleks asetame hõõglambi küünlaleegi ette ja reguleerime pinge muutmise teel tema temperatuuri niisuguseks, et hõõgniit on samasuguse heleduse ja värvusega nagu küünlaleekki. Sel juhul on hõõgniidi ja küünlaleegi temperatuurid võrdsed.

Hõõgniidi temperatuuri määramiseks tuleb mõõta tema takistus toatemperatuuril R ja takistus mõõdetaval temperatuuril R_x. Esimese neist mõõdame oommeetriga ja teise määrame Ohmi seadusest pinge ja voolutugevuse kaudu. Metallide takistus kasvab temperatuuri muutumisel lineaarselt. Saame koostada võrrandisüsteemi:

$$\begin{cases} R = R_0(1+\alpha t) \\ R_x = R_0(1+\alpha t_x) \end{cases} \qquad (1)$$

Siin tähistab R_0 hõõgniidi takistust temperatuuril 0 °C ja α on volframi takistuse temperatuuritegur ($\alpha = 0{,}0051\ {}^{1}/_{°C}$). Lahendades selle võrrandisüsteemi t_x suhtes, saame:

$$t_x = \frac{1}{\alpha}\left[\frac{(1+\alpha t)R_x}{R} - 1\right]. \qquad (2)$$

4. Töö käik

1. Mõõtke oommeetriga lambi hõõgniidi takistus toatemperatuuril.
2. Määrake toatemperatuur
3. Koostage katseseade ja vooluring. Lamp paigutage vahetult küünlaleegi ette nii, et hõõgniit oleks leegi kõrgusel.
4. Seadke pingeregulaator nullseisu ja lülitage toiteallikas elektrivõrku. Süüdake küünal.
5. Vaadates üheaegselt lambi hõõgniiti ja küünlaleeki, reguleerige pinge selliseks, et hõõgniit paistaks sama heledusega nagu küünlaleekki.
6. Mõõtke pinge U ja voolutugevus I ning arvutage nende järgi hõõglambi takistus otsitaval temperatuuril: $R_x = U/I$.
7. Arvutage leegi temperatuur t_x.
8. Korrake mõõtmisi kokku vähemalt 5 korral ning leidke otsitava temperatuuri keskmine.

5. Küsimused

1. Kirjeldage kaduva niidiga püromeetri tööpõhimõtet.
2. Millistel tähtedel, kas punastel, kollastel või valgetel, on kõige madalam temperatuur?
3. Millal on vaja temperatuuri määramisel kasutada just püromeetrilist meetodit?
4. Mille poolest erineb metallide takistuse temperatuurisõltuvus pooljuhtide omast?

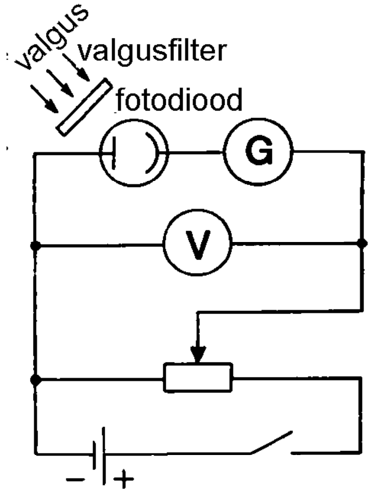
16. PLANCKI KONSTANDI MÄÄRAMINE

1. Tööülesanne

Määrata tõkkepinge meetodil Plancki konsatant.

2. Töövahendid

Vaakumfotodiood, valgusfiltrite komplekt, vooluallikas, potentsiomeeter, voltmeeter, galvanomeeter, lamp.



3. Töö teoreetilised alused

Elektronide valguse toimel ainest väljumist nimetatakse fotoefektiks. Fotoefekti käigus käitub valgus osakeste — footonite voona. Footoni energia E_f on võrdeline valguse sagedusega f:

$$E_f = hf \qquad (1)$$

Võrdetegurit h nimetatakse Plancki konstandiks, mis omab elementaarosakeste füüsikas ja kvantmehhaanikas suurt tähtsust.

Fotoefekti käigus annab footon oma energia aine sees olevale vabale elektronile. Osa saadud energiast läheb väljumistöö A tegemiseks, ülejäänud annab elektronile liikumisenergia ja elektron lendab mingi kiirusega ainest välja. Energia jäävuse seaduse põhjal võime kirjutada:

$$hf = A + \frac{mv_{max}^2}{2}. \qquad (2)$$

Siin tähistab m elektroni massi ja v_{max} ainest väljunud elektroni maksimaalset kiirust. Sellise kiiruse saavad elektronid, mis footoni neeldumise hetkel asuvad aine pinnal. Valemit (2) nimetatakse Einsteini fotoefekti võrrandiks.

Vaakumfotodiood on seade, mis juhib voolu vaid siis, kui valgus selle katoodile langeb ja sunnib fotoefekti tõttu elektrone väljuma. Et väljuvad elektronid pole paigal, siis tekib dioodis iseenesest elektrivool, mida nimetatakse fotovooluks (valguse tekitatud vool). Fotovoolu tekitamiseks pole vaja täiendavat vooluallikat. Kui tahame seda voolu kaotada, tuleb süsteemile anda vastupinge e tõkkepinge U_t, mis elektrone pidurdab. Teades, et pinge on definitsiooni järgi arvuliselt võrdne tööga, mida tehakse ühikulise suurusega laengu poolt, võime öelda, et vastupingega pidurdamisel tehakse tööd eU_t. Siin tähistab e elektroni laengut. Elektronide täielikul peatamisel tehtav töö on aga võrdne elektronidel olnud kineetilise energiaga. Seega võime väita, et

$$eU_t = \frac{mv_{max}^2}{2} \qquad (3)$$

ja Einsteini võrrand (2) teisendub kujule

$$hf = eU_t + A\,. \qquad (4)$$

Väike teisendus näitab, et tõkkepinge sõltub katoodile langeva valguse sagedusest lineaarselt:

$$U_t = \frac{h}{e}f - \frac{A}{e}\,. \qquad (5)$$

Näeme, et selle lineaarse sõltuvuse graafiku tõus on *h/e* ja määratud plancki konstandiga *h*. Kui uurime tõkkepinge sõltuvust vaakumfotodioodile langeva valguse sagedusest, siis saamegi Plancki konstandi määrata nimetatud graafiku tõusu kaudu:

$$h = e\frac{\Delta U_t}{\Delta f} \qquad (6)$$

Tabel 1. Komplektis sisalduvate valgusfitlrite poolt läbilastavad minimaalsed lainepikkused

Värvus	λ nm
Violetne	470
Sinine	510
Roheline	570

Värvus	λ nm
Kollane	600
Oranz	630
Punane	680

4. Töö käik

11. Koostage joonisel toodud skeemi järgi katseseade, järgides et diood oleks vooluringi ühendatud vastupidiselt.
12. Asetage fotodioodile kate ja sellele valgusfilter. Suunake valgus fotoelemendile.
13. Pöörake potentsiomeetri nuppu ning jälgige galvanomeetri näitu. Leidke fotovoolu kadumise hetk võimalikult täpselt. Fikseerige voltmeetriga tõkkepinge U_t väärtus. Korrake katset sama filtriga 3 – 4 korda.
14. Analoogiliselt leidke tõkkepinge ka teiste valgusfiltrite korral. Mõõtmiste vaheaegadel katke fotodiood kinni, et selle katood ei "väsiks".
15. Tulemused protokollige tabelis:

Katse nr.	Filtri värvus	Lainepikkus λ	Sagedus $f = c/\lambda$	Tõkkepinge U_t				$U_{t\ keskmine}$
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								

16. Koostage tõkkepinge sagedusest sõltuvuse graafik ning leidke selle tõus $\Delta U_t/\Delta f$. Valemist (6) arvutage Plancki konstant ning hinnake mõõtmisvigu.

5. Küsimused

1. Mida nimetatakse fotoefektiks?
2. Fotoefekti seadus.
3. Kumb pool valguse olemusest avaldub fotoefektis?

4. Mis on fotoefekti punapiir ja millega on see määratud, kuidas arvutada punapiirile vastavat lainepikkust?
5. Kuidas saaks käesolevas töös saadud andmete põhjal arvutada elektronide väljumistööd?
6. Tooge näiteid vaakumfotodioodide rakendamise kohta.