FÜÜSIKA PRAKTIKUMI TÖÖJUHENDID

I

1988

TARTU RIIKLIK ÜLIKOOL
Üldfüüsika kateeder

FÜÜSIKA PRAKTIKUMI TÖÖJUHENDID
I

Koostanud H. Voolaid

TARTU 1988

Kinnitatud füüsika-keemiateaduskonna nõukogus
16. detsembril 1987.a.

© Tartu Riiklik Ülikool, 1988

Eessõna

Käesolev füüsika praktikumi tööjuhendite kogumik on põhiliselt mõeldud bioloogiaosakonna I kursuse üliõpilastele, kuid see sobib kasutamiseks ka teiste teaduskondade ja osakondade üliõpilastele.

Tööjuhendid on kirjutanud koostaja, kasutades eeskujudena analoogilisi praktikumitööde juhendeid, kuigi mõned tööd on oluliselt teisiti üles ehitatud (5. ja 6. töö). 8. töö "Pendlite võnkumise uurimine" analoogi ei ole koostaja kirjanduses varem kohanud.

Juhendis toodud teoreetilise osa maht vastab teadmiste miinimumile, mis on vajalikud töö mõtestatud läbitegemiseks.

Juhendite lõpus toodud küsimustele võib vastused leida kas juhendi teoreetilisest osast või juhendis soovitatud kirjandust kasutades. Küsimustele tuleb vastused leida enne praktikumitöö sooritamist.

1. MÕÕTMISI NIHIKU JA KRUVIKUGA

1.1. Tööülesanne

Tutvumine nooniusega. Nihiku ja kruviku kasutamine pikkuste mõõtmisel.

1.2. Töövahendid

Nihik, kruvik, mõõdetavad esemed.

1.3. Teoreetiline sissejuhatus

1.3.1. Noonius

Suure täpsusega mõõteriistade valmistamisel ei ole probleemiks täpse skaala tegemine (võib valmistada skaalasid jaotistega kuni 0,001 mm, mis vastaks difraktsioonivõre joonte tihedusele), vaid selliselt skaalalt lugemi võtmine. Nii peeneid jaotusi pole võimalik palja silmaga registreerida. Samuti oleks sellised skaalad väga kallid. Seetõttu on paljudel mõõteriistadel (nihik, goniomeeter, sahharimeeter jne.) mõõtetäpsuse tõstmiseks mõõteskaalaga paralleelselt liikuvale osale lisatud abiskaala. Sellist abiskaalat nimetatakse nooniuseks. Nooniuse nullkriips on mõõtekriips.

Nooniuse jaotised a_n valitakse harilikult põhiskaala (mõõteskaala) jaotistest a lühemad suuruse $\frac{a}{n}$ võrra, kus n on nooniuse jaotiste arv.

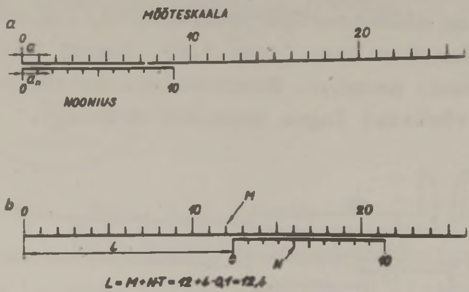
Suurust

$$T = a - a_n = \frac{a}{n}$$

nimetatakse nooniuse täpsuseks. Niisuguse nooniuse kogupikkus on $n\,a_n = (n - 1)\,a$.

Järelikult nooniuse kogupikkus võrdub mõõteskaala $n-1$ jaotise kogupikkusega ehk teiste sõnadega: nooniuse täpsus on võrdne põhiskaala ja nooniuse jaotiste pikkuste vahega.

Olgu meil näiteks selline noonius, mille 10 jaotist võrdub mõõteskaala 9 jaotisega (vt. joon. 1.1a). Kui mõõteskaala jaotis a = 1 mm, siis nooniuse täpsus T = 1/10 mm ja sellise nooniuse abil saab mõõta pikkust täpsusega kuni 0,1 mm.



Joon. 1.1. Nooniuse kasutamine.

Mõõtmisel loetakse kõigepealt mõõteskaala lugem M (vt. joon. 1.1b). Selleks on viimane kriips mõõteskaalal, mille on ületanud nooniuse nullkriips. Seejärel leitakse mitmes nooniuse jaotis ühtib võimalikult täpselt mõne mõõteskaala jaotisega. See arv N korrutatakse nooniuse täpsusega ja liidetakse lugemile M.

Lugemiks L saame seega L = M + NT.

Sageli on väärtused NT kantud juba nooniuse jaotiste juurde, mis hõlbustab nooniuse kasutamist.

Selliste nooniuste abil saab mõõta mitte ainult pikkusi, vaid ka nurki. Olgu näiteks mingil ringskaalal 19 kraadijaotist jagatud nooniusel 20 osaks, seega antud nooniuse täpsus

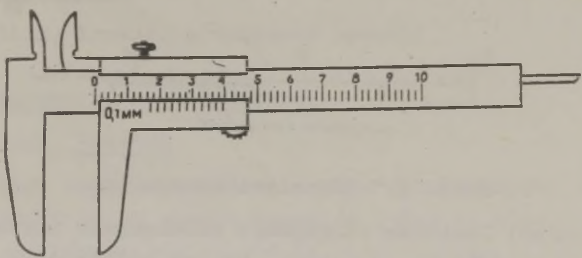
$$T = \frac{1^{\circ}}{20} = 3'.$$

On olemas ka teine võimalus mõõtetäpsuse suurendamiseks, mida kasutatakse seadmetes, kus pikkusi mõõdetakse mikromeetrilise kruvi abil, näiteks kruvik, monokromaatori pilu jne.

Kruvi samm on tavaliselt 0,5 mm, s.t. sellise pikkuse võrra nihkub kruvi ots ühe täispöörde jooksul. Täispöörde osade täpsemaks registreerimiseks on kruviga jäigalt ühendatud trummel, mis on jaotatud 50 võrdseks osaks. Pöördumisel 1 jaotise võrra nihkub kruvi edasi 0,01 mm võrra. Täis- või poolmillimeetrid loetakse skaalalt, mille suhtes trummel koos kruviga liigub, ülejäänud kohad aga trumlilt.

1.3.2. Nihik

Nihik on mõõtehaaraga joonlaud, millel on samasugune haaraga nihutatav raam (joon.1.2). Lugemi täpsemaks võtmiseks on raamil noonius. Nooniuse nullkriips ongi märk, mille kohalt võetakse lugem joonlaua skaalalt.



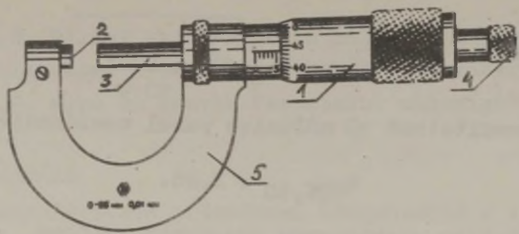
Joon. 1.2. Nihik.

Välismõõtmete mõõtmisel asetatakse ese mõõtehaarade vahele, kusjuures ei tohi esineda loksu. Mõõtehaarade teiste otstega, millede välispinnad on spetsiaalselt lihvitud, saab mõõta detaili siseläbimõõtu. Sellistel mõõtmistel tuleb mõnede nihikutüüpide korral lugemile liita mõõtepindadevaheline kaugus nullasendis, mis on mõõtehaaradele märgitud.

Aukude sügavuste mõõtmiseks on mõnede nihikute raam varustatud vardaga.

1.3.3. Kruvik

Kruviku põhiosa moodustab metallklamber (5), millele on kinnitatud liikumatu mõõtepind (2) ja liikuv mõõtepind (3), milleks on mikromeetriline kruvi ots (vt. joon. 1.3). Kruviga jäigalt ühendatud trumli (1) serv näitab kruviku varrel oleval skaalal mõõtepindadevahelist kaugust täispöööretes (täpsusega 1 või 0,5 mm), murdosad leiame trumlil olevalt ringskaalalt, võttes lugemi kruviku varrel oleva skaala pikijoone kohalt. Kruviku täpsus on suurem mõõteskaala jaotiste tihedusest (nagu ka millimeeterjaotistega mõõtjoonlaual). Seepärast tuleb kruviku mõõteskaalalt lugeda ka silma järgi jaotise kümnendikosi.



Joon. 1.3. Kruvik.

Mõõtepindade kokkupuutesse viimisel objektiga tuleb trumlit pöörata selle otsas olevat käristit (4) (sidurit) kasutades - pöörata tuleb kuni spetsiifilise kärina tekkeni,mis tagab alati ühtlase surve.

Nii nihiku kui kruvikuga mõõtes tuleb enne mõõtmisi kontrollida, kas mõõtepindade kokkuviimisel on skaala näit null. Kui see nii ei ole, tuleb riist reguleerida või mõõtmistel arvesse võtta parand.

1.4. Töö käik

1.4.1. Mõõtmised nihikuga

1.4.1.1. Teeme kindlaks kasutatava nihiku nooniuse täpsuse.

1.4.1.2. Kontrollime, kas mõõtehaarade kokkuviimisel on näit null. Kui see nii ei ole, määrame parandi, mida tuleb mõõtmistel arvestada.

1.4.1.3. Mõõdame antud objekti (toru, mutter vms.) sise- ja välisläbimõõdud kümnest eri kohast. Mõõtetulemused kanname tabelisse (eraldi sise- ja välismõõdu jaoks):

Tabel 1.1

Nr.	d_i	$(d_i-\bar{d})$	$(d_i-\bar{d})^2$
1.			
2.			
.			
10.			

Tabelis on d_i - üksiku mõõtmise tulemus,
$\bar{d}$ - tulemuste aritmeetiline keskmine.

1.4.1.4. Hindame mõõtetulemuste juhuvea Δd_j valemist:

$$\Delta d_j = t_{95\%,10}\sqrt{\frac{\sum(d_i-\bar{d})^2}{10\cdot 9}}.$$

Studenti koefitsient 10 mõõtmise puhul usaldusnivool 95 %

$$t_{95\%,10} = 2,26.$$

Tulemuse lõpliku veahinnangu saamiseks liidame Δd_j ja nihiku lubatud põhivea, mis on võrdne nooniuse täpsusega. Esitame lõpptulemused koos veaga. Viga anda maksimaalselt kahe kehtiva kohaga.

1.4.2. <u>Mõõtmised kruvikuga</u>

1.4.2.1. Määrame kruviku keerme sammu ja jaotiste arvu trumlil.

1.4.2.2. Kontrollime null-lugemit. Vajaduse korral määrame parandi.

1.4.2.3. Mõõdame antud objekti (paberilehe, plaadi vms.) paksuse 10 eri kohast. Tulemused kanname samasugusesse tabelisse nagu nihikuga mõõtmisel. Samal viisil hindame ka vea, arvestades, et kruviku lubatud põhiviga on 0,004 mm. Lõpptulemuse esitame koos veaga.

1.5. <u>Küsimused</u>

1.5.1. Mis on noonius?

1.5.2. Kuidas leitakse nooniuse täpsus?

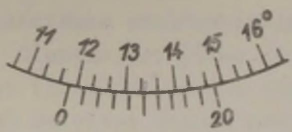
1.5.3. Milline on absoluutse vea ülemmäär nooniuse puhul?

1.5.4. Kuidas võetakse nooniuse abil lugem?

1.5.5. Kui suur on nooniuse täpsus, kui 20 nooniuse jaotisele vastab 19 põhiskaala jaotist à 1 mm?

1.5.6. Kui suur on nooniuse täpsus, kui 10 nooniuse jaotisele vastab 11 põhiskaala jaotist à 2 mm?

1.5.7. Milline on lugem?



1.5.8. Millal tuleb kruviku nullpunkti parand skaalalt võetud tulemusega liita, millal sellest lahutada?

1.5.9. Miks on kruvik varustatud siduriga?

1.6. Kirjandus

1. Üldmõõtmiste praktikumi tööjuhendid / Koost. E.Tamm. - Tartu: TRÜ, 1978. - I. - Lk. 9-11.

2. Füüsika praktikumi metoodiline juhend. - Tallinn, TPI, 1977. - I. - Lk. 29-34.

2. JUHUVIGA JA SELLE HINDAMINE

2.1. Tööülesanne

Juhuvigade jaotusseaduse katseline uurimine.

2.2. Töövahendid

Mõõdetav ese, nihik.

2.3. Teoreetiline sissejuhatus

Kogemused näitavad, et mingi suuruse võimalikult täpsel mõõtmisel saame üksteisest erinevaid tulemusi. Füüsikalise suuruse x mõõtetulemus x_m võib alati erineda tema tõelisest väärtusest x_t, ükskõik kui täpse mõõtevahendiga me ei mõõdaks.

Suurust $\delta x = x_m - x_t$ nimetatakse konkreetseks mõõtmisveaks. Kui mõõteriist oleks absoluutselt täpne ja mõõtmisi tehtaks asjatundlikult, oleks konkreetne mõõteviga puhtjuhuslik suurus, s.t. ta võiks omandada korduvail mõõtmistel juhuslikul viisil erinevaid positiivseid või negatiivseid väärtusi. Tegelikkuses on konkreetne mõõteviga juhuvea ja süstemaatilise vea summa. Kuna süstemaatiline viga on kõikide mõõtmiste puhul muutumatu, siis see asjaolu ei takista juhuvea hindamist.

Mis põhjustab siis juhuvigu? Põhjusi on palju: mõõteriista skaala jaotised ei ole täpselt võrdsed, skaala kriipsud pole ühesuguse laiusega, osuti ise on lõpliku paksusega, objekti omadused võivad sõltuda mõõtmistingimustest (temperatuurist, õhuvooludest, valgustingimustest jne.). Vea suurus sõltub ka mõõtja vilumustest. Kuigi ühtki füüsikalist suurust ei saa määrata absoluutselt täpselt, on võimalik hinnata vahemikku, millesse määratava suuruse tõeline väärtus teatava tõenäosusega satub. Sellist tõenäosust nimetatakse usaldusnivooks.

Oletame, et oleme läbi viinud seeria suuruse x mõõtmisi (lihtsuse mõttes jätame arvestamata süstemaatilise vea) ja oleme saanud rea erinevaid mõõtetulemusi $x_1, x_2, \ldots x_n$. Sellisel juhul on määratava suuruse tõelise väärtuse parimaks hinnanguks tulemuste aritmeetiline keskmine $\bar{x}$:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \qquad (2.1)$$

kus n on mõõtmiste arv.

Mõõtetulemuste keskmistamisel vead osaliselt kompenseeruvad ja $\bar{x}$ on seda lähemal tõelisele väärtusele, mida suurem on n . Me võime öelda, et $\bar{x}$ asub mingi tõenäosusega x_t ümbruses. Meie ülesandeks on kindlaks määrata mõõtetulemuste vahemik, millesse satuks teatud tõenäosusega x_t .

Selle ülesande lahendamiseks peame teadma, mil kombel mõõtetulemused jaotuvad keskväärtuse ümber. Jaotuse uurimiseks kasutatakse erilist tulpdiagrammi - histogrammi.

Histogrammi ehitamiseks jaotatakse kogu mõõtetulemuste diapasoon võrdseteks vahemikeks Δx_i ja loendatakse, mitu korda mõõtetulemus satub igasse vahemikku. Vahemike arv võib olla suvaline, kuid tavaliselt valitakse ta ligikaudu võrdseks $\sqrt{n}$.

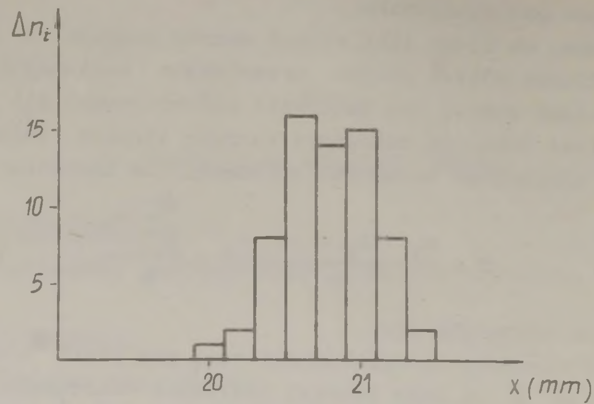
Mõõtetulemuste arv Δn_i, mis satub antud vahemikku Δx_i, määrab ära vastava tulba kõrguse diagrammil (vt.joon. 2.1).

Mingi üksiku mõõtetulemuse vahemikku Δx_i sattumise tõenäosus ehk usaldusnivoo α avaldub antud juhul:

$$\alpha = \frac{\Delta n_i}{n} .$$

Selleks et hõlpsalt leida usaldusnivood α piirkonna Δx_i jaoks, on kasulik histogrammi ordinaatteljele suuruse Δn_i asemel kanda suurus

$$f_i = \frac{\Delta n_i}{n \cdot \Delta x_i} .$$



Joon. 2.1. Mõõtetulemuste histogramm.

Sellisel juhul on usaldusnivoo leidmiseks vaja arvutada vahemiku Δx_i kohale jääva ristküliku pindala:

$$\alpha = f_i \cdot \Delta x_i = \frac{\Delta n_i}{n \cdot \Delta x_i} \cdot \Delta x_i = \frac{\Delta n_i}{n} .$$

Kui suurendada mõõtmiste arvu ja samal ajal vähendada vahemiku Δx_i laiust, siis piirjuhul ($n \to \infty$ ja $\Delta x_i \to 0$) sulavad ristkülikute tippude ordinaadid siledaks kõveraks f(x):

$$f(x) = \lim_{\substack{\Delta x_i \to 0 \\ n_i \to \infty}} \frac{\Delta n_i}{n \cdot \Delta x_i} .$$

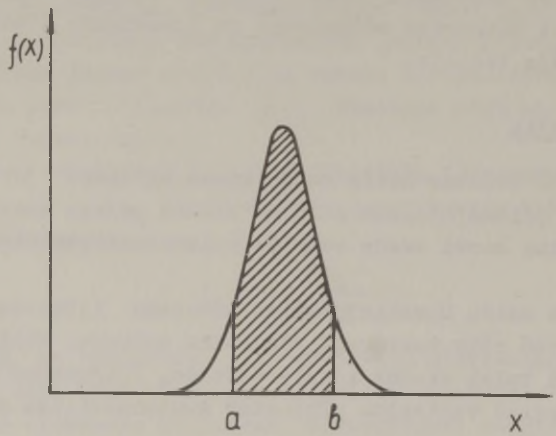
Seda kõverat nimetatakse tõenäosuse tiheduse funktsiooniks, mis ei iseloomusta mingit konkreetset mõõtmisseeriat, vaid hüpoteetilist lõpmata suurt mõõtmiste hulka.

Täpselt samasugune kõver kirjeldab ka juhuvigade jaotust, sest koordinaatide alguspunkti nihutamisel punkti $x = x_t$ jääb abstsissteljele suurus δx. Sellist juhuvigade jaotusfunktsiooni nimetatakse normaal- ehk Gaussi jaotuseks (vt. joon. 2.2). Kõvera $f(\delta x)$ laius iseloomustab katse täpsust - mida kitsam on kõver, seda suurem on täpsus (suuri vigu esineb harva).

Praktikas kasutatakse juhuvea hinnanguna nn. üksikmõõtmise ruuthälvet s_x:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} . \qquad (2.2)$$

Saab näidata, et üksiku mõõtmistulemuse vahemikku $-s_x \leqslant x \leqslant s_x$ sattumise tõenäosus (usaldusnivoo) on 68%.



Joon. 2.2. Normaaljaotuse tihedusfunktsioon.

Kui võtta vahemikuks $\pm 2\, s_x$, siis on usaldusnivoo 95 %, $3\, s_x$ puhul $\alpha = 99{,}7$ %.

Siiani rääkisime üksikmõõtmise juhuvea jaotusest. Kuid juhuslike suuruste x_i aritmeetiline keskmine $\bar{x}$ on samuti juhuslik suurus. Kui on tehtud N mõõteseeriat, igaühes n mõõtmist, ja leitud kõik N keskväärtust $\bar{x}_j$, siis suurused $\bar{x}_j$ jaotuvad $\bar{x}$ ümber normaaljaotuse kohaselt, sest lihtne on näidata, et $\bar{x}_j = \bar{x}$.

Seeriate aritmeetiliste keskmiste ruuthälbe saab leida valemist (3):

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N} (\bar{x}_j - \bar{x})^2}{N - 1}} . \qquad (2.3)$$

Matemaatilises statistikas näidatakse, et s_x ja $s_{\bar{x}}$ on omavahel seotud valemiga

$$s_{\bar{x}} \approx \frac{s_x}{\sqrt{n}} . \qquad (2.4)$$

Saadud tulemus lubab hinnata aritmeetilise keskmise erinevust tõelisest väärtusest ka üheainsa mõõteseeria põhjal, mis koosneb n mõõtmisest.

Tuleb meeles pidada, et vähemtäpsete mõõtmiste puhul, kui tulemuse ümardamine näidu võtmisel varjutab juhuvead, piirdutakse ühekordse mõõtmisega ja juhuvigade hindamisega pole vaja tegelda.

2.4. Töö käik

2.4.1. Mõõdame meile antud eseme nihikuga 50 korda. Mõõtmisel hoiame nihikut nii, et skaala poleks nähtav, sellega väldime soovi saada eelmise tulemusega samasugust tulemust.

Peale näidu üleskirjutamist nihutame liikuvat haara, muidu võivad kõik tulemused võrdseiks osutuda. Nihiku mõlemad haarad tuleb eraldi kohale asetada, liigutades pead, sest ühest punktist vaatamine põhjustab süstemaatilise parallaksivea.

Mõõtetulemused kanname tabelisse (vt. tabel 2.1) ridade kaupa (vasakult paremale), siis ei satu gruppidesse üksteise järel tehtud mõõtmised. See vähendab grupikeskmiste süstemaatilise erinevuse ohtu.

Tabel 2.1

Tulemused anda mm-tes

Jrk. nr. \ Grupi nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 2 3 4 5										
Gruppide keskmised $\bar{l}_j$										

2.4.2. Leiame 50 tulemuse aritmeetilise keskmise $\bar{l}$ ja valemi (2.2) abil ruuthälbe s_l.

Leiame gruppide aritmeetilised keskmised $\bar{l}_j$, gruppide keskmiste aritmeetilise keskmise $\bar{\bar{l}}$ ja valemi (2.3) abil gruppide aritmeetiliste keskmiste ruuthälbe $s_{\bar{l}}$.

Veendume, et $\bar{l} = \bar{\bar{l}}$ ja kontrollime, kas kehtib seos

$$s_{\bar{l}} \approx \frac{s_l}{\sqrt{n}},$$

kus n on mõõtmiste arv ühes grupis (antud juhul $n = 5$).

2.4.3. Koostame üksikmõõtmiste jaotuse histogrammi.

Selleks jagame suurima ja vähima mõõtetulemuse vahe 10 võrdseks osaks pikkusega Δl_i. Mastaapi võib millimeeterpaberil vabalt valida.

Loeme tabelist 2.1 igasse vahemikku langevate mõõtetulemuste arvu Δn_i ja joonistame iga vahemiku kohale ristküliku kõrgusega

$$f_i = \frac{\Delta n_i}{50 \cdot \Delta l_i},$$

kus Δn_i on vahemikku Δl_i sattuvate mõõtetulemuste arv.

Kui mõni tulemus langeb vahemikke eraldavale rajale, loeme ta ülespoole kuuluvaks. Histogrammil märgime ka ära $\bar{l}$.

2.4.4. Histogrammilt leiame usaldusnivood α_1, α_2 ja α_3, mis vastavad veaintervallidele $\pm s_l$, $\pm 2s_l$ ja $\pm 3s_l$. Selleks kanname aritmeetilisest keskmisest $\bar{l}$ mõlemale poole lõigud pikkustega s_l; $2s_l$ ja $3s_l$ ja leiame vastavate intervallide kohale jääva histogrammi osa pindala, mis annabki otsitava usaldusnivoo.

2.5. Küsimused

2.5.1. Mis on juhumõõteviga?

2.5.2. Mis on süstemaatiline mõõteviga?

2.5.3. Miks kantakse histogrammi ordinaatteljele suurus $\dfrac{\Delta n_i}{n \cdot \Delta x_i}$?

2.5.4. Kuidas leida Gaussi kõvera abil kindlale veaintervallile vastav usaldusnivoo?

2.5.5. Millega võrdub kogu histogrammi alune pindala?

2.5.6. Kas võib usaldusnivoo histogrammi järgi tulla 100 % ? Kui võib, siis miks?

2.5.7. Mis on Studenti test?

2.5.8. Tõestada matemaatiliselt, et $\bar{l} = \bar{\bar{l}}$.

2.6. Kirjandus

1. Tammet H. Füüsika praktikum: Metroloogia. - Tallinn: Valgus, 1971. - Pt. 4.

2. Voolaid H. Mõõtevigade hindamine füüsika praktikumis. - Tartu: TRÜ, 1983. - Lk. 9-19.

3. PARALLAKSIVEA JA REAKTSIOONIAJA MÄÄRAMINE

3.1. Tööülesanne

Parallaksivea määramine, mõõtemikroskoobi parallaksivaba teravustamine, reaktsiooniaja määramine.

3.2. Töövahendid

Metalljoonlaud, nihik, mõõdetav ese, mõõtemikroskoop.

3.3. Teoreetiline sissejuhatus

3.3.1. Parallaksiviga on lugemisvea komponent, mis on tingitud sellest, et vaatesuund pole risti skaala pinnaga. Kui mõõdetav ese või mõõteriista osuti pole vahetus kokkupuutes skaalaga, siis oleneb lugem silma asendist (vt.joon. 3.1). Asendis S saame mõõdetava eseme AB pikkuseks KL, mis on suurem eseme tõelisest pikkusest. Parallaksivea vältimiseks tuleb vaadata nii, et vaatesihid S_1A ja S_2B oleksid risti skaalaga, siis $AB = A_1B_1$. Parallaksivea vältimiseks ongi paljudel mõõteriistadel peegelskaala. Selliselt riistalt lugemi võtmisel tuleb vaadata nii, et osuti ja tema kujutis kattuksid. Vaadata tuleb ühe silmaga. Kõige täpsema tulemuse saame, kui osuti poolitab meie peeglist paistva silmatera kujutise.

Joon. 3.1. Parallaksivea tekkimine.

Parallaksiviga võib esineda ka optilistes mõõteseadmetes ja sageli ei pöörata sellele mingit tähelepanu. Parallaksiviga esineb juhul, kui objektiivi poolt tekitatud kujutis ei ole niitristiga ühes tasandis ja avaldub selles, et vaatleja pea liigutamisel ristsuunas mõõteseadme teljega nihkub kujutis niitristi suhtes ja täpne viseerimine on võimatu.

Parallaksivea vältimiseks tuleb okulaari nihutada nii, et kujutis langeks niitristile. Sel juhul on niitrist ja kujutis ühtviisi teravalt näha. Kuid teravus pole sellise olukorra tunnuseks, sest silm näeb teravalt ka selliseid objekte, mis asuvad pisut erinevail kaugustel. Parallaksivea avastamiseks tuleb alati liigutada pead risti vaatesuunaga ja jälgida, kas kujutis nihkub niitristi suhtes või ei.

3.2.2. Reaktsiooniaja mõõtmine.

Ajavahemikku signaali vastuvõtmise ja signaali poolt esile kutsutud reaktsiooni algushetke vahel nimetatakse reaktsiooniajaks. Tüüpiline näide on siin viivitus starteri püstolilasu ja sportlase liikumise alustamise vahel. Kuid sellise olukorraga puutume kokku ka füüsikaliste mõõtmiste juures, näiteks aja mõõtmisel stoppkellaga. Reaktsiooniaeg on individuaalne ja juhuslik suurus. Iga inimene, kellel on tegemist aja mõõtmisega, peab teadma oma reaktsiooniaja võimalikku ülemmäära kui ka selle võimalike väärtuste hajumist iseloomustavat suurust - ruuthälvet.

Reaktsiooniaja määramiseks kasutame järgmist katset. Üks osavõtja (abiline) asetab metalljoonlaua vertikaalselt vastu seina nii, et nullkriips on allpool ja ühtib seinale tõmmatud horisontaaljoonega. Teine osavõtja (katseisik) hoiab kätt paari millimeetri kõrgusel joonlauast nullkriipsu lähedal. Abiline laseb ootamatult joonlaua lahti ja katseisik peab selle vastu seina surudes võimalikult kiiresti peatama. Horisontaaljoone kohalt võetakse lugem, mis näitab, kui palju jõudis joonlaud langeda. Vaba langemise valemi järgi arvutatakse vastav aeg. Nii tehakse kümme mõõtmist. Tulemuste järgi arvutatakse keskmine reaktsiooniaeg $\bar{t}$ ja ruuthälve s_t :

$$s_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10}(t_i - \bar{t})^2}{9}} .$$

Selleks, et arvestada oma reaktsiooniaja viga ajamõõtmisel, tuleb kella veale liita kella käivitamisel ja seiskamisel tekkiva reaktsiooniaegade vahe Δt muutlikkust iseloomustav suurus $s_{\Delta t}$:

$$s_{\Delta t} = \sqrt{s_t^2 + s_t^2} = \sqrt{2}\, s_t .$$

3.4. Töö käik

3.4.1. Mõõdame metalljoonlauaga eseme läbimõõdu. Eseme läbimõõdu mõõdame ka nihikuga. Leiame parallaksivea,s.o. läbimõõtude erinevuse.

3.4.2. Tutvume mõõtemikroskoobiga. Harjutame mikroskoobi parallaksivaba teravustamist mingile objektile. Laseme seda juhendajal kontrollida.

3.4.3. Mõõdame oma reaktsiooniaja. Mõõtmistulemused kanname tabelisse 3.1.

Tabel 3.1

Nr.	h (cm)	$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ (s)
1.		
2.		
:		
10.		

Leiame keskmise aja $\bar{t}$ ja $s_{\Delta t}$. Arvutatud $s_{\Delta t}$ väärtus tuleb enda jaoks üles märkida, et seda saaks edaspidi kasutada vea hindamisel aja mõõtmisel stoppkellaga.

3.5. Küsimused

3.5.1. Mis põhjustab parallaksiviga?

3.5.2. Kuidas vältida parallaksiviga?

3.5.3. Kuidas saab kindlaks teha, kas pikksilmas(või mõnes teises optilises süsteemis) asub eseme kujutis niitristiga ühes tasandis?

3.5.4. Kas reaktsiooniaeg sõltub kasutatavast signaalist?

3.5.5. Kas reaktsiooniaeg põhjustab süstemaatilise või juhumõõtmisvea?

3.5.6. Kuidas tuleb reaktsiooniaega arvestada ajamõõtmisel stoppkellaga?

3.6. Kirjandus

1. Üldmõõtmiste praktikumi tööjuhendid / Koost. E. Tamm. - Tartu: TRÜ, 1978. - I. - Lk. 24-17.

4. KEHA TIHEDUSE MÄÄRAMINE

4.1. Tööülesanne

Analüütiliste või tehniliste kaaludega tutvumine, korrapärase kujuga keha tiheduse määramine tema joonmõõtmete ja massi kaudu.

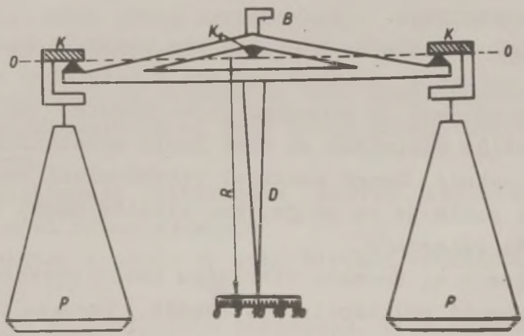
4.2. Töövahendid

Nihik, analüütilised või tehnilised kaalud, vihid, uuritav keha.

4.3. Teoreetiline sissejuhatus

4.3.1. Analüütiline kaal on võrdõlgne kangkaal, mis võimaldab suure täpsusega (piirviga kuni 10^{-5} %) kaaluda kuni 200 g massiga kehi.

Kaalu põhiosaks on metallkang B, mis toetub prisma K_1 abil alusele (vt. joon. 4.1). Kangi külge on jäigalt kinnitatud osuti D.



Joon. 4.1. Analüütilise kaalu ehitus.

Kangi otstes ripuvad samuti prismadele K toetudes kaalukausid P . Kuna kaalukang toetub ülalpool raskuskeset, on ta püsivas tasakaalus. Sellest asendist väljaviimisel tuleb ta sumbuvate võnkumistega sinna tagasi. Võnkumiste kiiremaks summutamiseks kasutatakse õhksummuteid, mis koosnevad kahest teineteise sisse käivast kausist, milledest üks on kinnitatud liikumatult, teine aga ripub koos kaalukausiga.

Kaalukangi otstes olevatele prismadele K toetuvad kaalukausside ülesriputusmehhanismide plaadid. Kangi õla pikkus võrdub seega keskmise ja äärmise prisma servade vahelise kaugusega. Võrdõlgsel kaalul peavad need kaugused olema võrdsed väga suure täpsusega. Näiteks mõõtmistäpsuse 10^{-3} % saavutamiseks peab 10 cm pikkuste õlgade korral nende võrdsus olema garanteeritud 1 μm täpsusega.

Et mitte asjata nürida toetusprismade teravaid servi, on kaalukang erilise seadise - arretiiri abil pisut üles tõstetud ja ta lastakse alusele ainult vahetult mõõtmiste ajaks. Arreteerimine toimub kaalude aluslaua keskel oleva nupu abil, mida tuleb sujuvalt pöörata.

Kaalumisel määratakse kõigepealt tühja kaalu tasakaaluasend - nulltäpp N_0 . Nulltäpp võib asuda skaala keskmisest joonest maksimaalselt ühe jaotise võrra kõrval, vastasel juhul tuleb kaalu reguleerida kangi otstes olevate mutrite keeramisega.

Seejärel asetatakse kaalutav ese vasakule kaalukausile, vihid paremale. Vihtide valikut alustatakse alati suurematest vihtidest ja minnakse järk-järgult väikseimani välja. Vihtide valimisel ei tohi kaalu arretiirist täielikult vabastada. Kangi osalisel vabastamisel kaldub ta juba ühele poole ja on selge, kas vihtide massi tuleb suurendada või vähendada.

Tavaliselt ei õnnestu vihtidega kaalu tasakaalustada, s.t. viia osuti nulltäpile. Täpsemaks tasakaalustamiseks kasutatakse ratsurit, milleks on hargina kõveraks käänatud traaditükk massiga 10 mg. Kaalukang on jaotatud kümneks võrdseks osaks ning varustatud sälkudega ratsuri jaoks. Ratsuri vajalikule kohale asetamiseks kasutatakse liigutatavat konksu. Kaalukangil olev skaala on gradueeritud milligrammides, seega kui ratsur on näiteks sälgus, mis vastab 5,2 jaotisele, on see ekvivalentne 5,2 mg vihi toimega.

Ratsuri abil on võimalik kaalu АД-200 korral seada koormatud kaalu tasakaalutäpp nulltäpiga ühtivaks täpsusega 0,1 mg. Kaalumise lõpul kontrollitakse nulltäppi. See ei tohi esialgsest erineda rohkem kui 0,2 jaotise võrra.

Kui erinevus on suurem, tuleb mõõtmist korrata või kaalu reguleerida.

Kui on vaja teha palju kaalumisi, siis aja kokkuhoiu huvides ei hakata tasakaalutäppi täpselt nulltäpiga kohakuti ajama, vaid fikseeritakse tasakaalutäpp N_1 (N_1 ei või erineda N_0 rohkem kui 5 jaotise võrra) ja leitakse parand δM vihtide massi ja ratsuri ekvivalentse massi summale:

$$\delta M = \frac{1}{\tau}(N_1 - N_0),$$

kus τ on kaalu tundlikkus - ühikulise massiga keha poolt tekitatud osuti hälve. Selle meetodiga võib tutvuda kirjandusest (1, lk. 16).

Mõõtetulemuse piirviga määratakse vihtide lubatud põhivigade ja kaalu mittevõrdõlgsusest tingitud lubatud vea summana. Kaalukangi skaala ebatäpsusest tingitud lubatud vea (0,1 mg) võib jätta arvestamata.

Toome ära kaalu ja vihtide käsitsemise reeglid.

1. Kaalukangi ja -kausse ei tohi käega puutuda.

2. Kaalukaussidele ei tohi panna midagi määrivat, märga ega kuuma.

3. Tuuletõmbuse vältimiseks peavad kaalukapi uksed kaalumise ajal olema suletud.

4. Kaalutav koormis ei tohi ületada ettenähtud piiri (antud juhul 200 g).

5. Vihte ei tohi tõsta sõrmedega, vaid ainult näpitsatega. Vihte ei tohi asetada kunagi lauale, vaid karbist otse kaalukausile ja sealt tagasi karpi oma kohale.

6. Kaalu võib arretiirist vabastada ainult mõõtmiste ajaks, kusjuures osuti ei tohi skaala piiridest välja min-

na. Vihte ja kaalutavat eset tohib asetada ja ära võtta ainult arreteeritud kaalu puhul.

7. Kaal tuleb arreteerida sujuva liigutusega hetkel, mil osuti läbib skaala nulli.

6. Kaalumise ajal ei tohi toetuda kaalu aluslauale. Arreteerimata kaalu ei tohi tõugata ega põrutada.

9. Kaalu sammas peab olema vertikaalne, seda tuleb enne mõõtmisi kontrollida vesiloodi abil.

4.3.2. Tehniline kaal on samuti võrdõlgne kangkaal, mille maksimaalne lubatud koormus võib ulatuda sõltuvalt tüübist 200 g kuni 5 kg. Tehnilise kaalu täpsus on väiksem kui analüütilisel.

Kaalu kasutamisel peavad jalakruvide all olema metallalused, kaal seatakse loodi jalakruvide ja ripploodi abil. Nulltäpi kontrolliks vabastatakse kaal ettevaatlikult arretiirist. Osuti peab asetuma pärast mõningaid võnkeid skaala keskele. Vajaduse korral reguleeritakse nulltäppi kaalukangi otstes olevaid reguleerimiskruvisid kasutades.

Kaalumise eeskirjad on üldiselt samad, mis analüütilise kaalu puhulgi. Ka mõõtetulemuse piirviga hinnatakse analoogiliselt.

Kaalude mittevõrdõlgsusest tingitud lubatud vead on toodud tabelis 4.I ja 4. kl. vihtide lubatud vead tabelis 4.2.

Tabel 4.1

Tüüp, täpsusklass	Maksimaalne lubatud koormus	Lubatud viga (mg)
Analüütilised, 2. kl.	200 g	1
Tehnilised, 1. kl.	200 g	4
- " -	1 kg	20
- "" -	5 kg	50
Tehnilised, 2. kl.	200 g	50
- " -	1 kg	100
- " -	5 kg	300

Tabel 4.2

m(g)	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100	200	500
m(mg)	1	2	3	4	6	8	12	20	30	40	60	80

3. kl. vihtide vead on 10 korda väiksemad, 2.kl. vihtidel 50 korda väiksemad.

4.4. Töö käik

4.4.1. Kaalume keha analüütilisel või tehnilisel kaalul. Märgime ka, milliseid vihte kasutati tasakaalustamisel.

4.4.2. Määrame keha ruumala V nihikuga mõõtes. Tuleb teha korduvaid mõõtmisi keha erinevaist kohtadest. Kui tulemused on erinevad, tuleb leida nende aritmeetiline keskmine.

4.4.3. Leiame keha tiheduse valemist $\rho = \frac{m}{V}$.

4.4.4. Hindame tulemuse piirviga: $\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V}{V}$.

Näiteks risttahuka korral V = abc, kus a, b, c on risttahuka külgede pikkused. Kui me mõõtsime neid nihikuga, mille nooniuse täpsus on 0,1 mm, siis $\Delta a = \Delta b = \Delta c = 0{,}1$ mm ja

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} .$$

Kui mõõtetulemused olid hajuvad, tuleb hinnata ka suuruste a, b ja c juhuviga ja see liita riistaveale.

4.5. Küsimused

4.5.1. Kas kangkaaludega saab määrata keha massi või kaalu?

4.5.2. Miks tuleb kaalud seada loodi?

4.5.3. Mida nimetatakse nulltäpiks?

4.5.4. Mis on kaalu tundlikkus?

4.5.5. Milleks kasutatakse ratsurit?

4.5.6. Mis on keha tihedus?

4.5.7. Kas kaalumisel saime teada keha tõelise massi?

4.5.8. Millised on kaalu käsitsemise reeglid?

4.5.9. Kuidas saab määrata mittekorrapäraste kehade ruumala?

4.6. Kirjandus

1. Üldmõõtmiste praktikumi tööjuhendid / Koost. E. Tamm. - Tartu: TRÜ, 1979.-II.
2. Tammet H. Füüsika praktikum. Metroloogia. - Tallinn: Valgus, 1971. - Lk. 109-113.

5. ELEKTRIMÕÕTERIISTADEGA TUTVUMINE

5.1. Tööülesanne

Tutvumine elektrimõõteriistade süsteemide ja markeeringuga, riistavea hindamine, testriga takistuse ja pinge mõõtmine.

5.2. Töövahendid

Mitmesugused volt- ja ampermeetrid, patareid, takistid, tester, ühendusjuhtmed.

5.3. Teoreetiline sissejuhatus

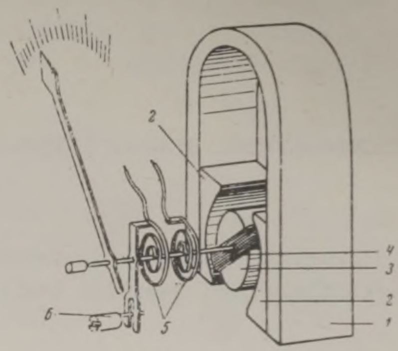
Elektrimõõteriistu tarvitatakse elektriliste suuruste (voolutugevuse, pinge, võimsuse jne.) mõõtmiseks, kuid neid saab kasutada ka mitteelektriliste suuruste (temperatuur, rõhk, valgustus jt.) mõõtmisel.

Sõltuvalt kasutusalast on elektrimõõteriistade ehitus erinev. Oma tööpõhimõtte järgi võib neid jaotada mitmesse süsteemi. Neist kolme tutvustame käesolevas töös.

5.3.1. Magnetelektriline süsteem

Selle süsteemi mõõteriistades on püsivmagneti 1 pooluste 2 vahele paigutatud pöörduv traatraam 4 (vt. joonis 5.1). Kui raami, mis koosneb mõnest traadikeerust, vool ei läbi, hoiavad vedrud 5 raami kindlas asendis, nn. nullseisus. Sel juhul peab raami telje külge kinnitatud osuti olema kohakuti skaala nullkriipsuga. Vastasel juhul tuleb enne mõõtmisi korrektori 6 abil selline olukord saavutada.

Kui mõõdetav vool läbib raami, tekib jõud, mis on põhjustatud magnetvälja ja voolu vastasmõjust. Selle toimel raam pöördub, kuni mõjuv jõud saab tasakaalustatuks vedrude elastsusjõuga.



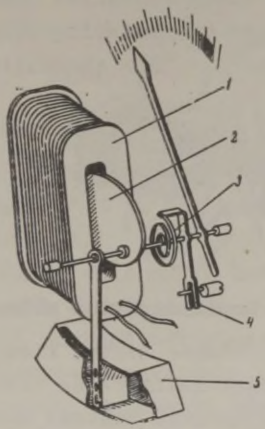
Joon. 5.1. Magnetelektrilise mõõteriista ehitus.

Seda tüüpi mõõteriistad on suure täpsusega, neid kasutatakse alalisvoolu ja -pinge mõõtmiseks, neid tähistatakse tähega M (näit. M 106, M 252 jne.).

5.3.2. Elektromagnetiline süsteem

Selle süsteemi mõõteriistade põhiosaks on liikumatu pool 1, mida läbiv mõõdetav vool tekitab magnetvälja, mille toimel tõmbub ferromagneetikust südamik 2 pooli sisse, sest südamik magneetub pooli poolt tekitatud magnetväljas (vt. joon. 5.2). Südamikuga ühele teljele on kinnitatud osuti, mis liigub seni, kuni südamikule mõjuv jõud on tasakaalustatud vedru 3 elastsusjõu poolt. Voolu puudumisel saab korrektori 4 abil osuti reguleerida skaala nullkriipsu kohale. Osuti võnkumiste summutamiseks kasutatakse õhutakistusega summutit 5.

Elektromagnetilist süsteemi mõõteriistad on küll vähem täpsed kui magnetelektrilised, kuid see-eest on nendega võimalik mõõta nii alalis- kui vahelduvpinget ja -voolu. Põhjus seisneb selles, et voolu suuna muutumine poolis tingib ka südamiku ümbermagneetumise ja seetõttu südamikule mõjuva jõu suund ei muutu. Nende mõõteriistade skaala on ebaühtlane: skaala alguses on jaotised lühemad, lõpus pikemad. Päris skaala alguses ei ole jaotisi üldse peale kantud, kuna selles piirkonnas on mõõtmised väga ebatäpsed. Seda tüüpi mõõteriistu tähistatakse tähega Э



Joon. 5.2. Elektromagnetilise mõõteriista ehitus.

(näit. Э 59).

5.3.3. Elektrodünaamiline süsteem

Selle süsteemi mõõteriistades on 2 pooli: üks neist on liikuv (2), teine liikumatu (1) (vt. joon. 5.3). Mõõdetav vool läbib mõlemaid poole ja voolude vastasmõju tõttu liikuv pool pöördub. Osuti, mis on ühendatud liikuva pooli võlliga, hälbib, kuni vedrud 4 tasakaalustavad voolude vastasmõjust tingitud jõu.

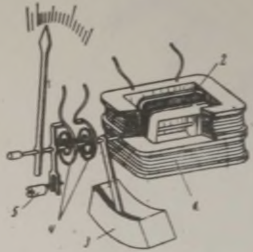
Liikuvasse pooli juhitakse vool just nende vedrude abil.

Ka selle süsteemi mõõteriistadel on korrektor 5 ja summuti 3.

Elektrodünaamilise süsteemi mõõteriistadega saab mõõta nii alalis- kui vahelduvat pinget ja voolu, samuti võimsust. Selle süsteemi eeliseks on suur täpsus, puuduseks vähene tundlikkus (nõrku voole ei saa mõõta). Tüübi tähis on D (näit. D 542).

5.3.4. Tester

Tester on kombineeritud mõõteriist, millega saab mõõta pinget, voolutugevust ja takistust. Tester koosneb mitme skaalaga mõõteriistast, muudetavatest takistitest ja vooluallikast, mis kõik on paigutatud ühte korpusesse.



Joon. 5.3. Elektrodünaamilise mõõteriista ehitus.

Mõõtmiseks kasutatakse testri klemme "-" ja "+", kusjuures pinge mõõtmisel lülitatakse tester paralleelselt ja voolu mõõtmisel järjestikku vastava skeemi osaga. Sobiv mõõtepiirkond valitakse ümberlülija abil, jälgides märke "~", "-" ja "≂". Märgiga "~" tähistatud mõõtepiirkonnad sobivad vahelduvvoolule (pingele), "-" märgiga alalisvoolule (pingele) ja "≂" märgiga nii alalis- kui vahelduvvoolule (pingele).

Lugemi võtmisel tuleb jälgida testri numbrilaual olevaid märke, et lugem võtta õige skaala järgi. Kui valitud mõõtepiirkond algab arvuga 3, tuleb lugem võtta selle skaala järgi, millel on 3 täisjaotist, arvestades, et 3 skaalajaotisele vastab kogu ümberlülijalt valitud mõõtepiirkond. Kui mõõtepiirkond algab arvuga I, võetakse lugem selle skaala järgi, millel on kümme jaotist (IO jaotisele vastab kogu mõõtepiirkond).

Näiteks mõõdame vahelduvpinget mõõtepiirkonnas ≂ 300 V ja osuti asub skaala jaotise 2,2 kohal. Sel juhul 3 jaotisele vastab 300 V ja järelikult 2,2 jaotisele 220 V.

Mõõteviga tuleb hinnata täpsusklassi järgi. Täpsusklass näitab suhtpiirviga mõõteriista täishälbe korral. Millist täpsusklassi tuleb kasutada pinge või voolu mõõtevea hindamisel, sõltub testri tüübist ja selle kohta saab informatsiooni testri passist või testri tagaküljel olevalt tahvlilt. Mõõteriista osuti on arreteeritud, kui ümberlülija on asendis "O". Sellises asendis on osuti liikumine pidurdatud ja riista võib transportida.

Takistust tohib mõõta ainult pingestamata skeemi elementidel. Testriga saab takistust mõõta ilma välist pingeallikat kasutamata mõõtepiirkondadel x1, x10, x10^2, x10^3. Kui tuleb kasutada piirkonda x10^4, on vaja välist alalispingeallikat 24 V.

Takistuse mõõtmine testriga toimub järgmiselt:

1. Valime sobiva mõõtepiirkonna.

2. Lühistame klemmid "-" ja "+" testri juhtmete abil, surudes kokku juhtme otsad.

3. Seame nupu "Уст.0" abil osuti oommeetri skaala nullkriipsu kohale, mis asub skaala paremas servas.

4. Ühendame testri juhtmed mõõdetava takisti otstega ja võtame lugemi. Mõõtevea hindamiseks leiame 2,5 % skaala geomeetrilisest pikkusest (oommeetri täpsusklass on 2,5). Skaala geomeetrilist pikkust hindame kõige ülemise lineaarse skaala järgi. Sellel skaalal on 10 põhijaotist, millest igaüks on jagatud veel 5 osaks - seega on skaala geomeetriline pikkus 50 jaotist. Leiame sellest 2,5 %, mis annab tulemuseks 1,25 jaotist.

Takistuse vea hindamiseks toimime järgmiselt:

1. Kirjutame üles mõõtetulemuse R_m oommeetri skaalalt.

2. Fikseerime näidu ka kõige ülemise skaala järgi.

3. Nihutame osuti nupu "Уст. 0" abil ülemise skaala järgi 1,25 jaotist paremale ja võtame lugemi oommeetri skaalalt. Saadud tulemuse ja mõõtetulemuse vahe annab veaintervalli $-\Delta R_-$.

4. Nihutame osuti mõõtetulemust vasakule 1,25 jaotise võrra ülemise skaala järgi ja leiame veaintervalli $+\Delta R_+$.

Tulemuse paneme kirja järgmiselt: $R = R_m \pm \begin{matrix}\Delta R_+ \\ \Delta R_-\end{matrix}$.

5.3.5. Elektrimõõteriistade markeering

Mõõteriista numbrilauale on kantud terve rida tingmärke, milledest põhilisemaid järgnevalt tutvustame:

1. Mõõtühiku tähis: A, kA, mA, μA, V, mV, W, Hz, Ω jne. Mõõtühiku tähise järgi saab ka teada mõõteriista liigi (ampermeeter, voltmeeter, vattmeeter, sagedusmõõtur, oommeeter jne.).

2. Mõõteriista tüüp: M 252, Э 515, ТЛ-4М jne.
3. Mõõteriista süsteemi tähistav tingmärk:

magnetelektriline riist

elektromagnetiline riist

elektrodünaamiline riist

4. Mõõdetavat pinget või voolu iseloomustav tingmärk:

— ainult alalispinge või -voolu jaoks;

~ ainult vahelduvpinge või -voolu jaoks;

≂ nii alalis- kui vahelduvpinge ja -voolu jaoks.

5. Klemmimärkide tähendused on järgmised:

\+ ja - - polaarsus, ~ vahelduvvoolu klemm, ⋇ üldklemm.

6. Täpsusklasse on kaheksa: k = 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 või 4,0. Kui täpsusklassi all on märk ∨, siis on mõõteriista lubatud põhiveaks näitude vahe, mis vastab k protsendile skaala geomeetrilisest pikkusest.

7. Normaalvahemikku näitavad riista numbrilaual allakriipsutatud arvud. Näit. <u>45 - 500 Hz</u>.

8. Voltmeetri numbrilauale kirjutatud voolutugevus ja ampermeetril olev pinge näitavad, kui suur on voolutugevus (või pingelang), mis vastab osuti täishälbele.

9. Normaalasendi tähistamiseks kasutatakse järgmisi tingmärke:

⊓ horisontaalse numbrilauaga normaalasend;

⊥ vertikaalse numbrilauaga normaalasend.

10. Isolatsiooni proovipinge arvväärtust kilovoltides näitab viisnurksesse tähte suletud arv.

11. Korrektorit ja arretiiri näitavad märgid ⌒ ja Арр. Nool või punkt arretiiri juures näitab arre-

teerimise suunda.

12. Hüüumärgiga kolmnurk kohustab vaatama täiendavaid märkusi mõõteriista kasutamisjuhendis.

13. Mõõteriista numbrilauale on kantud ka valmistamise aasta ja vabrikunumber.

14. Muudetava mõõtepiirkonnaga mõõteriista korpusele on kantud ka mõõtepiirkondade väärtused. Sellisel juhul vastab skaala viimasele kriipsule mõõtepiirkonna ülempiir.

5.4. Töö käik

5.4.1. Teeme kindlaks juhendaja poolt valitud elektrimõõteriista tüübi,mõõtepiirkonna, täpsusklassi. Anname mõõteriista parameetrite kirjelduse riistal olevate sümbolite järgi.

5.4.2. Mõõdame voltmeetri või testriga kas võrgupinget või patarei klemmipinget. NB! Enne mõõtmist kindlasti luba küsida juhendajalt. Mõõteriista täpsusklassi järgi hindame mõõtetulemuse vea.

5.4.3. Mõõdame testriga takisti suuruse ja hindame mõõtevea.

Kõik tulemused kanname protokolli.

5.5. Küsimused

5.5.1. Millise süsteemi mõõteriistadega saab mõõta ainult alalispinget ja millisega nii alalis- kui vahelduvpinget?

5.5.2. Mida näitavad mõõteriista tüübi kirjeldamisel tähed M, Э ja D ?

5.5.3. Milliseid mõõtmisi saab teha testriga?

5.5.4. Kuidas kindlaks teha mõõteriista sisetakistust ilma mõõtmisteta?

5.5.5. Mida nimetatakse mõõteriista täpsusklassiks?

5.5.6. Kas mõõtetäpsus on suurem skaala alguses või lõpus mõõtes? Miks?

5.5.7. Miks testril oommeetri skaala nullpunkt on skaala parempoolses servas?

5.6. Kirjandus

1. Tammet H. Füüsika praktikum: Metroloogia. - Tallinn: Valgus, 1971. - Lk. 122-130.

6. ELEKTRIMÕÕTMISI KOMPENSATSIOONIMEETODIL

6.1. Tööülesanne

Tutvumine elektromotoorjõu (emj.), pinge ja takistuse kompensatsioonimeetodil määramise meetoditega.

6.2. Töövahendid

Potentsiomeeter, takistussild, takistid, emj. allikad, voltmeeter, ühendusjuhtmed.

6.3. Teoreetiline sissejuhatus

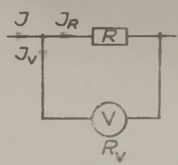
Elektrimõõtmistel võivad esineda metoodilised vead, mis on tingitud volt- ja ampermeetrite ebatäiuslikkusest, sest voltmeetri takistus ei ole lõpmata suur ja ampermeetri oma ei ole null. Sellised metoodilised vead ei pruugi olla suured, kuid täielikult neid vältida ei õnnestu. Vaatleme nende vigade tekkepõhjusi lähemalt.

Olgu meil vaja mõõta takistil R tekkiv pingelang U, kui teda läbib vool I. Sellisel juhul on pinge arvutatav Ohmi seaduse abil: $U = IR$.

Pinge mõõtmiseks tuleb aga takistiga R paralleelselt lülitada voltmeeter, mille takistus olgu R_v. Nüüd ei läbi takistit R enam kogu vool I, vaid ainult osa sellest, I_R, sest ülejäänud osa voolust I_v läheb läbi voltmeetri.

Kuna $I = I_R + I_v$, on $I_R < I$ ja vastavalt väiksem on ka voltmeetriga mõõdetav pingelang. Tekkiv viga on seda suurem, mida väiksem on voltmeetri takistus.

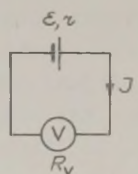
Analoogiline olukord tekib ka voltmeetriga emj. $\mathcal{E}$ mõõtmisel, kuna voltmeetri poolt tarbitav vool tekitab pingelangu vooluallika sisetakistusel r. Ohmi seaduse kohaselt $\mathcal{E} = IR_v + Ir = U + Ir$ ja voltmeetri näit $U = \mathcal{E} - Ir$



Joon. 6.1. Voltmeetriga pinge mõõtmine.

osutub emj. tegelikust väärtusest väiksemaks suuruse Ir võrra.

Kui meil on vaja leida takistit R läbiva voolu tugevus I, mis on tekitatud pinge U toimel, saab seda teha jällegi Ohmi seaduse abil: $I = \frac{U}{R}$.



Joon. 6.2. Voltmeetriga emj. mõõtmine.

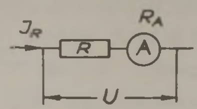
Voolutugevuse praktiliseks mõõtmiseks tuleb takistiga R järjestikku lülitada ampermeeter takistusega R_A.

Kuna $R_A \neq 0$, siis ahela takistus suureneb ja voolutugevus I_R, mis läbib takistit, väheneb:

$$I_R = \frac{U}{R + R_A} .$$

Järelikult ampermeetriga mõõdetud voolutugevus on väiksem ja viga on seda suurem, mida suurem on ampermeetri takistus.

NB! Tuleb silmas pidada, et süstemaatiline viga tekib



Joon. 6.3. Ampermeetriga voolutugevuse mõõtmine.

ainult mõõteriistade ühekordsel kasutamisel. Kui mõõteriistad on ahelas kogu aeg, siis sellist viga ei teki.

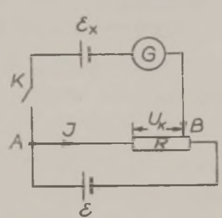
Olukorra lahendaks lõpmatult suure takistusega voltmeetrite ja nullise takistusega ampermeetrite kasutamine. Kahjuks on selliste ampermeetrite ja madalapingeliste voltmeetrite valmistamine võimatu.

Seepärast tuleb suurema täpsuse huvides kasutada mõõtmismeetodeid, mille puhul mõõteriista vool ei läbigi! Selliseid meetodeid nimetatakse kompensatsioonimeetodeiks.

6.3.1. Pinge või emj. mõõtmine kompensatsioonimeetodil

Pinge või emj. täpsemaks mõõtmiseks kasutatakse potentsiomeetrit, mille tööpõhimõte selgub jooniselt.

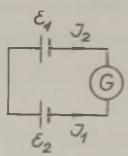
Vooluallikast $\mathcal{E}$ tulev vool tekitab takistil R pingelangu U = IR. Uuritav vooluallikas emj-ga $\mathcal{E}_x$ (kusjuures



Joon. 6.4. Pinge või emj. mõõtmine kompensatsioonimeetodil

$\mathcal{E}_x$ võib olla väiksem või võrdne $\mathcal{E}$ -ga) lülitatakse lülitiga K paralleelselt takisti osaga AB , millel olev pingelang olgu U_K . Kui punkt B on valitud selliselt, et $U_K = \mathcal{E}_x$, siis galvanomeetrit ei läbi vool, sest siis galvanomeetris voolu tekitav emj. $\mathcal{E}_x$ on kompenseeritud (tasakaalustatud) pingelanguga U_K .

Analoogiline olukord tekib, kui lülitada kaks võrdse emj. vooluallikat paralleelselt, nagu on toodud joonisel.



Joon. 6.5. Vooluallikate paralleelühendus.

Kuna $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$, siis ka $I_1 = I_2$ ja galvanomeetrit läbiv summaarne vool on null.

Kompenseeriva pinge U_K saab leida, teades takistit R läbivat voolu I ja ahela osa AB takistust R_{AB} . Sel juhul $U_K = \mathcal{E}_x = IR_{AB}$.

Potentsiomeetrites on voolutugevus I konstantne. Selle õige väärtuse, nn. töövoolu reguleerimiseks kasutatakse püsiva emj. allikat, normaalelementi, mis töövoolu paika seadmisel lülitatakse skeemi $\mathcal{E}_x$ asemel. Töövoolu reguleerimise võtteid tuleb uurida antud potentsiomeetri kasutamisjuhendist.

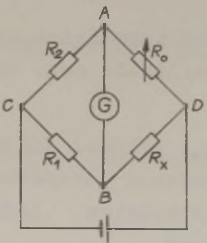
Kindla töövoolu puhul on võimalik gradueerida muudetav takisti R_{AB} (potentsiomeeter) juba emj. ühikuis. Potentsiomeetrit võib kasutada ka pingete mõõtmisel.

Mõõtmistel potentsiomeetriga tuleb saavutada olukord, mil vool galvanomeetrit ei läbi ja otsitav emj. või pinge väärtus lugeda potentsiomeetri skaalalt.

6.3.2. Takistuse mõõtmine

Takistuse mõõtmine kompensatsioonimeetodil toimub nn.

Wheatstone'i silla abil. Silla põhimõtteline skeem on toodud joonisel.



Joon. 6.6. Wheatstone'i silla skeem.

Silla elemendid, mida nimetatakse ka õlgadeks, on: muutumatud takistid R_1 ja R_2, muudetav takisti R_o ning mõõdetav takisti R_x. Silla õlgade valikuga on võimalik saavutada olukord, mille puhul vool läbi galvanomeetri puudub, s.t. $I_g = 0$. Sel juhul peavad olema punktide A ja B potentsiaalid võrdsed ning järelikult

$$I_1R_1 = I_2R_2,$$

$$I_xR_x = I_oR_o.$$

Kuna $I_g = 0$, siis peab $I_1 = I_x$ ja $I_2 = I_o$ ning tasakaalutingimus avaldub

$$\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_o}.$$

Otsitav takistus R_x avaldub seega

$$R_x = R_o \frac{R_1}{R_2}.$$

Kui takistid R_1 ja R_2 on valitud võrdsed, on ka otsitav takisti R_x võrdne takisti R_o väärtusega, mille korral vool galvanomeetrit ei läbi. Takistussildades on takistite R_1 ja R_2 suhe mõõtepiirkonna laiendamise huvides muudetav 10^n kaupa, kus $n = 0, 1, 2, 3, \ldots$.

Takistussillaga takistuse määramisel tuleb leida selline takisti R_o väärtus, mille puhul galvanomeetrit vool ei läbi ja saadud tulemus korrutada läbi R_1 ja R_2 suhet näitava teguriga, mis on kirjutatud takistussillale.

6.4. Töö käik

6.4.1. Tutvume antud potentsiomeetri kasutamisjuhendiga ning määrame vooluallikate emj. väärtused $\mathcal{E}_1$ ja $\mathcal{E}_2$. Hindame katseviga.

6.4.2. Ühendame emj. allikad järjestikku ja paralleelselt ning mõõdame moodustatud patareide emj. väärtused nii potentsiomeetri kui voltmeetriga. Leiame süstemaatilise vea voltmeetriga mõõtmisel.

6.4.3. Tutvume takistussilla kasutamisjuhendiga ja määrame takistite R_1, R_2 ja R_3 väärtused. Hindame katseviga.

6.4.4. Ühendame takistid järjestikku ja paralleelselt ning kontrollime, kas vigade piires kehtivad seosed

$$R = R_1 + R_2 + R_3 ,$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} .$$

6.5. Küsimused

6.5.1. Miks tuleb elektrimõõtmistel kasutada kompensatsioonimeetodeid?

6.5.2. Selgitada potentsiomeetri ja takistussilla tööpõhimõtteid.

6.5.3. Kas on oluline, millised vooluallikate poolused tuleb omavahel ühendada potentsiomeetris. Põhjendada vastust.

6.5.4. Tuletada takistussillaga R_x leidmise valem.

6.6. Kirjandus

1. Üldmõõtmiste praktikumi tööjuhendid / Koost. E. Tamm. - Tartu: TRÜ, 1979. - II. - Lk. 65-80.

7. VEDRUPENDLI UURIMINE

7.1. Tööülesanne

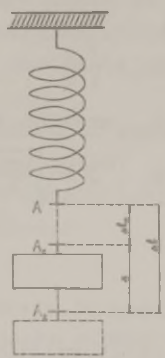
Vedrude jäikusteguri määramine

7.2. Töövahendid

Kronstein, sentimeeterjaotistega joonlaud, komplekt vedrusid ja raskusi, sekundkell.

7.3. Teoreetiline sissejuhatus

Kui ühest otsast jäigalt kinnitatud spiraalvedru otsa on riputatud raskus P , siis venib vedru pikemaks ja vedru otspunkt A nihkub uude tasakaaluasendisse A_1 (vt. joon. 7.1).



Joon. 7.1. Vedrupendli pikenemine koormuse mõjul.

Hooke'i seaduse põhjal

$$P = k \Delta l_0, \qquad (7.1)$$

kus l_0 on vedru pikenemine (lõik AA_1 joonisel 7.1) ja
k - vedru jäikustegur, mis sisuliselt näitab, mil-

lise jõu toimel vedru pikeneb ühikulise pikkuse võrra.

Kui koormus viia tasakaaluasendist A_1 välja vertikaalsihis asendisse A_2, siis koormusele mõjuv jõud F avaldub:

$$F = k \cdot \Delta l - P, \quad \text{kus} \quad \Delta l = AA_2.$$

Arvestades valemit (7.1), saame

$$F = k(\Delta l - \Delta l_o) = kx,$$

kus $x = \Delta l - \Delta l_o$, s.o. koormuse nihe tasakaaluasendist.

Peale tasakaaluasendist väljaviidud koormuse vabastamist hakkab see vedru elastsusjõu toimel võnkuma.

Kuna õhutakistus on väike, siis võib võnkumisi käsitleda harmoonilistena:

$$x = a_o(\omega_o t + \varphi_o),$$

kus a_o - amplituud, φ_o - algfaas ja ω_o - omavõnkumiste ringsagedus.

Omavõnkumiste sagedus on seotud koormuse massi m ja vedru jäikusteguriga

$$\omega_o = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Omavõnkumiste periood T_o avaldub sel juhul

$$T_o = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

7.4. Töö käik

7.4.1. Vedru jäikusteguri staatiline määramine

Mõõdame juhendaja poolt valitud vedru pikenemise Δl_o vähemalt viie erineva koormusega. Mõõtmisi teeme kahel korral, algul koormust suurendades, hiljem vähendades. Leiame igale koormusele vastava keskmise $\Delta \bar{l}_o$. Kaalume koormused ja kanname tulemused graafikule teljestikus P ja $\Delta \bar{l}_o$, arvestades et P = mg.

Saadud sirge tõusust leiame jäikusteguri väärtuse. Hindame katsevea.

7.4.2. Vedru jäikusteguri dünaamiline määramine

Määrame sama vedru puhul tema võnkeperioodi vähemalt viie erineva koormuse korral. Perioodi määramisel tuleb mõõta vähemalt 10 täisvõnke sooritamiseks kulunud aeg.

Koormuse võnkeamplituud ei tohi ületada antud raskuse puhul tekkivat pikenemist Δl_o. Iga mõõtmist teeme kaks korda, leiame keskmise perioodi T_o ning kanname tulemused graafikule teljestikus T_o^2 ja m.

Graafikult leiame sirge tõusu b järgi jäikusteguri k:

$$k = \frac{4\pi^2}{b}.$$

Võrdleme kahel meetodil saadud tulemusi.

7.5. Küsimused

7.5.1. Mis on vedru jäikustegur?

7.5.2. Kui suuri raskusi ja võnkeamplituude võib jäikusteguri määramisel kasutada?

7.5.3. Millised võnkumised on harmoonilised?

7.5.4. Millised suurused iseloomustavad võnkliikumist?

7.5.5. Milline on sumbuvate võnkumiste võrrand ja graafik?

7.5.6. Kuidas on omavahel seotud sumbumatute ja sumbuvate võnkumiste nurksagedused?

7.5.7. Miks võivad staatiliselt ja dünaamiliselt määratud jäikustegurid erineda?

7.6. Kirjandus

1. Saveljev I. Füüsika üldkursus. Tallinn: Valgus, 1978. - I. - Lk. 62, 73.

2. Mankin, O. Füüsika konspekt. Tartu: TRÜ, 1979.- Lk. 64-67.

8. PENDLITE VÕNKUMISE UURIMINE

8.1. Tööülesanne

Välja selgitada, kas niidi otsa riputatud kuuli (pendli) võnkeperiood oleneb kuuli massist, niidi pikkusest, selle elastsusest, võnkeamplituudist, kuuli liikumise trajektoorist. Mingi sõltuvuse ilmnemisel kindlaks teha seda kirjeldav matemaatiline avaldis, kasutades lineariseerimismeetodit.

8.2. Töövahendid

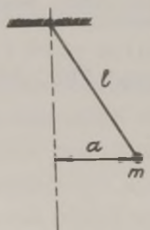
Statiiv, niit, kummipael, joonlaud, erineva massiga kuulid, nihik, sekundkell, metallvarb, mida saab ühest otsast statiivile riputada, kaalud, vihid.

8.3. Teoreetilised alused

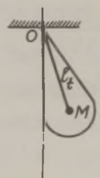
Matemaatiline pendel on kaalutu ja venimatu niidi otsa riputatud punktmass. See on mudel, mis kirjeldab kerge ja väheveniva niidi otsas oleva väikese raske kuuli võnkumisi.

Pendli pikkus l on kaugus niidi kinnituskohast punktmassini m (vt. joon. 8.1).

Võnkeperiood on aeg, mille jooksul pendel sooritab ühe täisvõnke.



Joon. 8.1. Matemaatiline pendel.



Joon. 8.2. Füüsikaline pendel.

Võnkeamplituud a on kuuli maksimaalne kaugus tasakaaluasendist (vt. joon. 8.1).

Füüsikaline pendel on suvaline keha, mis saab vertikaaltasandis võnkuda ümber mingi telje O (vt. joon. 8.2).

Füüsikalise pendli taandatud pikkus l_t on võrdne sellise matemaatilise pendli pikkusega, millel on antud füüsikalise pendliga võrdne võnkeperiood. Matemaatiliselt avaldub l_t järgmiselt:

$$l_t = \frac{I}{m\,l},$$

kus I on võnkuva keha inertsimoment võnkumistelje O suhtes, m - keha mass ja l - kaugus telje O ja keha masskeskme M vahel.

Keha inertsimoment iseloomustab keha inertsust pöördliikumisel ja on võrdne tema koostisse kuuluvate üksikute punktmasside inertsimomentide summaga. Näiteks masskeset läbiva telje suhtes on kera inertsimoment $2/5\ mr^2$, kus m on kera mass, r - raadius; varva inertsimoment $\frac{ml^2}{12}$, kus m - varva mass, l - pikkus.

Punktmassi inertsimoment on võrdne suurusega mr^2, kus m - mass, r - kaugus pöörlemisteljest.

Steineri teoreem väidab, et inertsimoment I mingi suvalise telje suhtes avaldub järgmiselt:

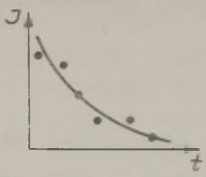
$$I = I_o + md^2,$$

kus I_o on inertsimoment masskeset läbiva telje suhtes, m - keha mass, d - telgedevaheline kaugus.

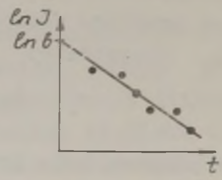
Lineariseerimismeetodit kasutatakse mingi sõltuvuse matemaatilise kuju leidmiseks. Meetod seisneb lühidalt järgmises. Valitakse selline koordinaadistik, kus mõõdetud sõltuvust kirjeldab lineaarne funktsioon, s.o. sirge. Sirge tõus ja algordinaat annavadki sõltuvust kirjeldavad konstandid.

Näiteks oletame, et meie mõõtetulemusi kirjeldab graafik, mis on toodud joonisel 8.3. Sellise graafiku järgi on võimatu öelda, kas saadud kõver on eksponent, hüperbool, parabool vms.

Kui oletatakse eksponentsiaalset sõltuvust, siis valitakse koordinaatideks ln I ja t. Sel juhul omandab graafik järgmise kuju (vt. joon. 8.4). Nüüd saame leida sõltuvust kirjeldavad parameetrid, sest sirge võrrandi kuju $y = ax + b$ on meil ju teada. Antud juhul on y osas ln I ja x



Joon. 8.3. Sõltuvuse I=f(t) graafik.



Joon. 8.4. Sõltuvuse I=f(t) lineariseeritud graafik.

asemel t. Seega saame $\ln I = -at + \ln b$, kus a on sirge tõus (langeva sirge korral on tal negatiivne väärtus) ja ln b teine konstant, mille esitame kujul ln b seepärast, et tema väärtus b tuleb määrata logaritmilise skaala ln I järgi.

Potentseerides sirget kirjeldavat avaldist saame

$$I = b\, e^{-at}.$$

Kui joonisel 8.3 toodud kõver kirjeldab mingit astmefunktsiooni, siis teljestikus ln I ja t ei saa me sirget. Lineariseerida õnnestub seda sõltuvust teljestikus log I ja log t. Sel juhul saame sirge võrrandiks

$$\log I = \log a - b \log t.$$

Nüüd saame peale potentseerimist võrrandi

$$I = a\, t^{-b}.$$

Konstandid a ja b leiame jälle algordinaadi ja sirge tõusu järgi.

8.4. Töö käik

8.4.1. Uurime, kas niidi otsas rippuva kuuli võnkeperiood T sõltub kuuli massist m, võnkeamplituudist s, pendli pikkusest l, niidi elastsusest K, kuuli liikumise trajektoorist.

Selleks kasutame erineva massiga kuule, anname erineva algamplituudi (seda hindame joonlaua abil), muudame pendli pikkust (NB! Niidi pikkusele lisada ka kuuli raadius, mille määrame nihikuga), kasutame erinevaid niite, muudame kuuli liikumise trajektoori (laseme kuulil võnkuda mööda ringi kaart ja ka nii, et kuul joonistaks mingi ruumilise kujundi).

Katsete juures tuleb jälgida, et ei muutuks korraga mitu parameetrit. Näiteks amplituudist sõltuvuse uurimisel tuleb jälgida, et kasutataks üht ja sama kuuli ning niiti, ei tohi muuta ka niidi pikkust ja jälgida, et pendel võnguks iga kord ühtmoodi.

Võnkeperioodi mõõtmisel olgu täisvõngete arv vähemalt 10.

Saadud tulemused kanname vabalt valitud kujuga tabeleisse, märkides ära kõik katsetingimused.

Enne mingi sõltuvuse põhjalikumat uurimist on soovitatav teha proovimõõtmisi kahe võimalikult erineva olukorra jaoks. Näiteks perioodi sõltuvuse uurimisel kuuli massist teha katsed kõige kergema ja kõige raskema kuuliga.

Kui sellistes ekstremaalsetes tingimustes osutub perioodide erinevus tühiseks (s.t. võrreldavaks mõõteveaga), siis ei ole mõtet seda sõltuvust rohkem uurida, see kas puudub või ei ole meie vahenditega avastatav.

Kui ilmneb oluline erinevus, tuleb nähtust põhjalikumalt uurida. Tehakse rida mõõtmisi erinevate muudetava suuruse väärtuste juures, leitakse keskmised ja kantakse saadud tulemused graafikule, mille y-teljele kanname muutuva suuruse (antud juhul periood T) ja x-teljele muudetava suuruse. Selleks, et saada piisavat ülevaadet sõltuvusest, peaks graafikul olema vähemalt 8 - 10 punkti.

Kasutades lineariseerimismeetodit, leiame saadud sõltuvusi kirjeldavad matemaatilised avaldised. Saadud tulemusi võrdleme teoorias leitutega.

8.4.2. Lisaülesanded

8.4.2.1. Tuletada matemaatilise pendli võnkeperioodi ja pikkuse vaheline seos väikeste võnkeamplituudide jaoks.

8.4.2.2. Määrata oma katsetulemustest raskuskiirenduse väärtus, kasutades matemaatilise pendli valemit.

8.4.2.3. Hinnata metoodilist viga, mis tekib, kui kasutada matemaatilise pendli valemit niidi otsas rippuva kuuli võnkeperioodi arvutamisel pendli pikkuse järgi. Selleks kasutame füüsikalise pendli võnkeperioodi valemit

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l_t}{g}}$.

8.4.2.4. Määrata füüsikalise pendli (ühest otsast toetuva ühtlase varva) inertsimoment, kasutades taandatud pikkuse valemit. Selleks tuleb mõõta füüsikalise pendli võnkeperiood, mass ja pikkus. Taandatud pikkuse leiame katseliselt matemaatilise pendli mudeli (kuul niidi otsas) abil.

Võrrelda saadud tulemust ühest otsast kinnitatud varva inertsimomendiga, mille arvutame teades varva massi ja pikkust. Varva masskeskme asukohaks võtame varva keskpunkti.

8.4.2.5. Tuletada seos võrdse perioodiga võnkuvate matemaatilise pendli ja ühest otsast toetuva varva pikkuste vahel ja võrrelda katsest leitud tulemustega.

8.4.2.6. Määrata katseliselt ühepikkuste matemaatilise pendli (kuul niidi otsas) ja füüsikalise pendli (ühest otsast toetuv varb) võnkeperioodid. Tuletada pikkuste vaheline seos teoreetiliselt ja võrrelda katsetulemustega.

8.5. Küsimused

Need peavad kõigil selged olema, eriti p. 8.5.3.

8.5.1. Defineerida matemaatiline pendel, tema pikkus, võnkeperiood, võnkeamplituud, füüsikaline pendel, selle taandatud pikkus, punktmassi inertsimoment, keha inertsimoment, Steineri teoreem.

8.5.2. Milles seisneb lineariseerimismeetod?

8.5.3. Esitada eksperimentide plaan.

8.5.4. Kas niidi otsa riputatud kuuli võnkeperiood võib veel mingist suurusest sõltuda, mida antud töös ei uurita?

8.6. Kirjandus

1. Saveljev I. Füüsika üldkursus. Tallinn: Valgus, 1978.- I.- Lk. 178-182.

Sisukord

РАБОЧЕЕ РУКОВОДСТВО К ПРАКТИКУМУ ПО ФИЗИКЕ. I.
Составитель Хенн В о о л а й д.
На эстонском языке.
Тартуский государственный университет.
ЭССР, 202400. г.Тарту, ул.Юликооли, 18.
Vastutav toimetaja H. Oks.
Korrektor A. Seppet.
Formaat 60x84/16.
Rotaatoripaber.
Masinakiri. Rotaprint.
Tingtrükipoognaid 3,02.
Trükipoognaid 3,25. Arvestuspoognaid 2,93.
Trükiarv 500.
Tell. nr. 362.
Hind 10 kop.
TRÜ trükikoda. ENSV, 202400 Tartu, Tiigi t. 78.