

**FÜÜSIKA**

**PRAKTIKUMI  
TÖÖJUHENDID**

A. EMMO, A. KÖVERJALG, V. PAJU

A

23782 II

# FÜÜSIKA PRAKTIKUMI TÖÖJUHENDID

Käsiraamat VIII—XI kl. õpilastele

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS  
TALLINN 1961

## SISSEJUHATUS

Käesolev füüsika laboratoorsete tööde juhendite kogu on mõeldud kasutamiseks keskkooli õpilastele.

Tänapäeval rakendatakse tehnikat igas rahvamajanduse harus: tööstuses, põllumajanduses, transpordis, ehitustegevuses jne. Selleks et osata õigesti käsitseda mitmesuguseid masinaid ja seadmeid, on vaja tunda nende töötamise füüsikalisi aluseid. Koolis tuleb seepärast omandada niivõrd kindlad teadmised füüsikast, mida õpilane suudab rakendada tootvas töös ka pärast kooli lõpetamist. Niisuguste teadmiste omandamist soodustavad õpilaste iseseisvad laboratoorsed tööd.

Igapäevase töö juures on peaaegu alati vaja mõõta. Füüsika laboratoorsete tööde sooritamisel õpitaksegi mitmesuguseid suurusi mõõtma ja kasutama vastavaid mõõteriistu. Mõõtmisi tuleb teha väga hoolsasti ja võimalikult täpselt.

Iga töö annab selle tegijale suurimat kasu siis, kui: 1) õpilane enne töö juurde asumist põhjalikult tutvub vastava materjaliga õpikust, 2) töö juures suurima hoolega käsitseb katse ja mõõteriistu, 3) töö juures saadud vaatlus- ja mõõtmisandmed iseseisvalt läbi töötab ning suurustevahelisi seoseid analüüsib, 4) töökäigu, vaatlus- ja mõõtmisandmed ülevaatlikult üles kirjutab, vajalikud suurused arvutab, kui vaja, teeb joonised ja graafikud ning lõpuks töötulemused selgesti sõnastab. On vaja, et õpilane vastaks töö lõpul esitatud küsimustele ja lahendaks seal esitatud ülesanded.

# ÜLDTEADMISI FÜÜSIKA PRAKTIKUMI LÄBIVIIMISEKS

---

## I. MÕÖTMISVEAD JA NENDE ARVUTAMINE.

### Mõõtmistulemuse ligikaudsus.

Laboratoorsete tööde korraldamisel tuleb meil tegelda mitmesuguste mõõtmistega. Mõõtes pikkust, temperatuuri, rõhku, voolutugevust või mõnda muud füüsikalist suurust, me saame mõõtmistulemuseks mingi arvu. See arv on alati ligikaudne. Ta ei väljenda kunagi absoluutselt täpselt mõõdetava suuruse tegelikku väärtust.

Oletame näiteks, et me mõõtsime vihikulehe pikkuse ja saime mõõtmistulemuseks 20,5 cm. Olgugi et me kasutasime õigeid mõõtmisvõtteid ja mõõtsime hoolikalt, me ei saa väita, et vihikulehe pikkus on täpselt 20,5 cm, mitte aga sellest mõne kümnendiku millimeetri võrra suurem või väiksem.

Selleks, et me mõõtmistulemus oleks täiesti täpne, peaks meil olema ideaalselt täpne mõõdujoonlaud. Tema jaotused peaksid olema ühepikkused ja võrduma mõõduühikuga ning jaotusi eraldavad kriipsud peaksid olema geomeetrilised jooned, millel puudub laius. Mõõdujoonlaud ei tohiks temperatuuri ja niiskuse mõjul oma pikkust muuta, sisemiste pingete mõjul kõveraks painduda, kuluda ega alluda mitmesugustele teistele välistele mõjutustele. On ilmne, et sellist ideaalset mõõdujoonlauda ei ole võimalik valmistada.

Kui sellise mõõdujoonlaua valmistamine olekski võimalik, ka siis ei oleks meie mõõtmine absoluutselt täpne. Samuti nagu mõõdujoonlaud muudab ka vihikuleht temperatuuri ja niiskuse mõjul oma pikkust. Vihikuleht ei ole ka täpselt ristkülikukujuline, mistõttu mõõtmistulemus sõltub mõõtmise kohast. Pealegi ei ole vihikulehe äär geomeetiline sirgjoon:

läbi mikroskoobi vaadates näeme teda lainelise joonena, millest ulatuvad välja üksikud paberikiud. Seega vihkulehe pikkus ise on ainult ligikaudselt määratud. Tal puudub täpne väärtus.

Mõõtmistäpsusele paneb piiri ka mõõtja ise. Me ei suuda näiteks asetada mõõdujoonlauda täpselt risti vihkulehe äärega ning ei ole võimelised õigesti silmaga hindama kui tahes väikseid mõõdujoonlaua jaotuse osi.

Samuti ei ole absoluutselt täpselt võimalik mõõta ka teisi füüsikalisi suurusi.

Olgugi et mõõtmistulemus on alati ligikaudne arv, võib laboratoorsete tööde tegemisel mõnikord esineda ka täpseid arve. Täpset arvu võib saada ainult loendamise tulemusena. Oletame, et me pendli võnkeperioodi määramisel saime 20 võnke kestvuseks 34 sekundit. 20 on siin täpne arv — 34 aga ligikaudne arv.

### Mõõtmistulemuse absoluutne viga.

Kuna iga mõõtmine on ligikaudne, siis mõõdetava suuruse tõeline väärtus ei ühti kunagi mõõtmistulemusega.

**Arvu, mis näitab, kui palju mõõtmistulemus erineb mõõdetava suuruse tõelisest väärtusest, nimetatakse selle mõõtmise absoluutseks veaks.**

Oletame, et me kaalusime mingi keha ja saime mõõtmistulemuseks 112 G. Hiljem kaaluti see keha väga täpsete kaalude abil uuesti ja leiti, et tema tõeline kaal on ligikaudu 112,354 G. Seega me tegime esialgsel kaalumisel absoluutse vea suurusega 0,354 G.

Tavaliselt me ei saa teada mõõdetava suuruse tõelist väärtust. Seetõttu jääb meile tundmatuks ka absoluutne viga. Küll aga võime sageli leida absoluutse vea ülemmäära, s. o.  $a$  r v u, millest absoluutne viga kindlasti suurem ei ole. Kui me oleme kindlad, et me mõõdujoonlauaga mõõtmisel ei eksi üle 0,5 millimeetri, siis me ütleme, et absoluutse vea ülemmäär on 0,5 mm. Kui me temperatuuri mõõtmisel ei eksi üle ühe kraadi, siis absoluutse vea ülemmäär on 1 kraad. Kui palju me tegelikult eksisime, s. t. kui suur on absoluutne viga, seda me ei tea.

Absoluutse vea ülemmäära tähistatakse sümboliga, mis koosneb kreeka tähest  $\Delta$  ja mõõdetud suuruse tähisest. Tähistades eelpooltoodud näidetes pikkust tähega  $l$  ja temperatuuri tähega  $t$ , võime kirjutada:

$$\Delta l = 0,5 \text{ mm};$$

$$\Delta t = 1^\circ \text{ C}.$$

Selle asemel, et öelda «mõõtmise absoluutse vea ülemmäär on 0,5 mm», öeldakse sageli «mõõdetud on 0,5 millimeetrise täpsusega».

Oletame, et me mõõtsime 0,5 sendimeetrise täpsusega oma töölaua pikkuse  $l$  ja saime mõõtmistulemuseks 122 cm. See tähendab, et laua pikkus ei ole kindlasti alla 121,5 sentimeetri ja üle 122,5 sentimeetri. Seega laua pikkuse väikseimaks võimalikuks väärtuseks ehk alamtõkkeks on 121,5 cm ja suurimaks võimalikuks väärtuseks ehk ülemtõkkeks 122,5 cm. Laua pikkuse tõeline väärtus, mida me ei tea, on kuskil nende kahe tõkke vahel. Seda tõsiasja kirjutatakse üles järgmiselt:

$$l = (122 \pm 0,5) \text{ cm}.$$

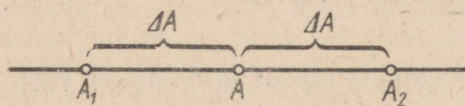
Kui mõõtmistulemust tähistada tähega  $A$  ja absoluutse vea ülemmäära  $\Delta A$ , siis mõõdetava suuruse alamtõke  $A_1 = A - \Delta A$  ja ülemtõke  $A_2 = A + \Delta A$  (vt. joon. 1).

Eelpooltoodud näidetest ja jooniselt 1 selgub, et absoluutse vea ülemmäär on pool ülem- ja alamtõkke vahest:

$$\Delta A = \frac{A_2 - A_1}{2}.$$

Mõõtmistulemuse ligikaudne väärtus võrdub alam- ja ülemtõkke aritmeetilise keskmisega:

$$A = \frac{A_1 + A_2}{2}.$$



Joon. 1. Mõõtmistulemuste iseloomustavate suuruste kujutamise arvsirgel.  $A$  — Mõõtmistulemus;  $\Delta A$  — absoluutse vea ülemmäär;  $A_1 = A - \Delta A$  — alamtõke;  $A_2 = A + \Delta A$  — ülemtõke. Mõõdetud suuruse tõelisele väärtusele vastavat punkti ei ole arvsirgel kujutatud. Tema kohta teame ainult nii palju, et ta asub tõkete  $A_1$  ja  $A_2$  vahel.

Otsese mõõtmise korral määratakse absoluutse vea ülemäär kindlaks hindamise teel, arvestades mõõteriista tundlikkust ja skaalat ning kasutatavat mõõtmismeetodit. Mõõtes näiteks mõõdulindiga oma töölaua pikkust, võime vea ülemääraks lugeda 0,5 cm. Mõõdujoonlaud võimaldab pikkusi mõõta ühe millimeetrise täpsusega. Veelgi täpsemateks mõõtmisteks kasutatakse nihkkaliibrit (vea ülemäär 0,1 mm) ja kruvikaliibrit (vea ülemäär 0,01 mm). Keemilise termomeetriga mõõtmisel me loeme vea ülemääraks 0,5 kraadi, koolibaromeetriga õhurõhu mõõtmisel 1 mm Hg ja apteegikaaludega kaalumisel 0,01 G.

Kaalumisel võib vea ülemäära leidmiseks kasutada ka võtet, mida illustreerib järgmine näide.

Oletame, et vihtidest, mille kogukaal on 18 G 520 mG, ei piisanud keha tasakaalustamiseks. Kui me aga asetame juurde veel ühe 10 milligrammise vihi, siis tõuseb see kaalu-kauss, millel asub keha, üles. Seega keha kaalu alamtõkkeks on 18 G 520 mG ja ülemtõkkeks 18 G 530 mG. Keha kaalu ligikaudseks väärtuseks loeme nende kahe tõkke aritmeetilise keskmise:

$$P = \frac{18,520 + 18,530}{2} = 18,525 \text{ G.}$$

Absoluutne viga võrdub poolega tõkete vahest:

$$P = \frac{18,530 - 18,520}{2} = 0,005 \text{ G.}$$

Mõnikord on vea ülemäär antud mõõteriista tehnilises passis.

Praktiliste tööde juures valmistab vea ülemäära hindamine sageli raskusi. Seetõttu on nende tööde juhendites, kus nõutakse mõõtmisvigade arvutamist, antud absoluutsete vigade ülemäärade väärtused.

### Mõõtmise täpsus ja relatiivne viga.

Sageli tuleb erinevaid mõõtmisi võrrelda mõõtmise täpsuse seisukohalt. Oletame näiteks, et me mõõtsime mõõdulindiga traaditüki pikkuse  $l$  ja nihkkaliibriga tema läbimõõdu  $d$  ning saime järgmised tulemused:

$$l = (102 \pm 1) \text{ cm;}$$

$$d = (2,1 \pm 0,1) \text{ mm.}$$

Püüame nüüd vastata küsimusele: kumb nendest kahest suurusest on mõõdetud täpsemini? Kuna läbimõõdu vea ülemmäär (0,1 mm) on pikkuse vea ülemmäärast (1 cm) 100 korda väiksem, siis esialgu näib, nagu oleks läbimõõt mõõdetud täpsemini. Kui me aga võrdleme absoluutse vea ülemmäära mõõdetud suuruse väärtusega, siis jõuame hoopis vastupidisele tulemusele. Näeme, et läbimõõdu viga moodustab läbimõõdust endast 5%, pikkuse viga aga pikkusest kõigest 1%. Kuna mõõtmise täpsuse hindamisel on aluseks mitte absoluutne viga, vaid absoluutse vea ja mõõtmistulemuse suhe, siis tuleb traadi pikkuse mõõtmist lugeda täpsemaks.

**Absoluutse vea ja mõõtmistulemuse suhet nimetatakse relatiivseks veaks.**

Relatiivne viga iseloomustab mõõtmise täpsust. Ta väljendatakse tavaliselt protsentides.

Samuti nagu me ei saa kunagi määrata absoluutset viga, jääb meile tundmatuks ka relatiivne viga. Me võime kindlaks teha ainult relatiivse vea ülemmäära, s. o. absoluutse vea ülemmäära ja mõõtmistulemuse suhte.

Meie näite korral avalduvad traaditüki pikkuse ja läbimõõdu relatiivsete vigade ülemmäärad järgmiselt:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{102} \approx 0,01 = 1\%;$$

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{0,1}{2,1} \approx 0,05 = 5\%.$$

Sageli tuleb otsitava suuruse saamiseks mõõta mitut füüsilist suurust. Teades nende mõõtmiste relatiivseid vigu, võime öelda, milline mõõtmine põhjustab kõige suurema vea lõpptulemuses ja vajab seetõttu täpsemaks muutmist.

Oletame, et me kasutame eelmises näites saadud tulemusi traaditüki ruumala arvutamiseks. Kuna läbimõõdu relatiivse vea ülemmäär on pikkuse relatiivse vea ülemmäärast 5 korda suurem, siis ruumala arvutamise vea põhjustab peamiselt just läbimõõdu ebatäpne määramine. Seega traadi ruumala täpsemaks määramiseks tuleks täpsemini mõõta läbimõõd. Selleks võime kasutada nihkkaliibri asemel kruvikaliibrit, mis võimaldab mõõta 10 korda täpsemini.

Traadi pikkuse täpsemal mõõtmisel (juhul kui me mõõdame läbimõõdu nihkkaliibriga) ei ole mõtet, sest et ruumala määramine ei muutu seetõttu kuigi palju täpsemaks. Üleliigse täpsuse taotlemine liiga tundlike mõõteriistade rakendamise teel muudab töö asjatult keerukaks ja aeganõudvaks.

Seega võime öelda, et mõõtmisel tuleb kasutada selliseid mõõteriistu, mis tagavad praktiliselt nõutava mõõtmistäpsuse.

### Mõõtmisvigade arvutamine.

Kõiki füüsikalisi suurusi ei saa mõõta otseselt. Enamasti tuleb otsitav suurus arvutada otseselt mõõdetud suuruste kaudu, s. t. kasutada kaudset mõõtmist. Olgu meil tarvis määrata mingi juhi takistus. Selleks mõõdame juhi otste vahelise pinge ja juhti läbiva voolu tugevuse ning arvutame nende suuruste kaudu Ohmi seaduse põhjal takistuse. Voolutugevuse ja pinge mõõdame me otseselt — nende näidud loeme vahetult elektrimõõteriistadelt. Takistuse mõõdame aga kaudselt, s. t. arvutame pinge ja voolutugevuse kaudu.

Otseste mõõtmiste korral võib vea ülemmäära leida hindamise teel, arvestades mõõteriista skaalat ja ehitust. Kaudse mõõtmise korral tuleb aga vea ülemmäär *a r v u t a d a* otseselt mõõdetud suuruste ja nende vigade kaudu. Mõõtmisvigade leidmiseks võib kasutada järgmisi meetodeid:

- a) alam- ja ülemtõkke meetod,
- b) funktsiooni vea valemi rakendamine,
- c) aritmeetilise keskmise meetod.

Vaatleme nende rakendamist lähemalt.

**A. Alam- ja ülemtõkke meetod.** Tutvume selle meetodiga konkreetsete näidete abil.

**N ä i d e 1.** Risttahukakujulise keha ruumala määramiseks mõõdeti nihkkaliibri abil keha pikkus *a*, laius *b* ja kõrgus *c* ning saadi järgmised tulemused.

$$a = (25,4 \pm 0,1) \text{ mm}$$

$$b = (20,1 \pm 0,1) \text{ mm}$$

$$c = (10,0 \pm 0,1) \text{ mm.}$$

Leiame ruumala keskmise väärtuse ja absoluutse ning relatiivse vea ülemmäärad.

Arvutame kõigepealt ruumala alamtõkke  $V_1$  ja ülemtõkke  $V_2$ . Ruumala alamtõkke leidmiseks korrutame pikkuse, laiuse ja kõrguse minimaalsed väärtused (alamtõkked) ja ülemtõkke leidmiseks maksimaalsed väärtused (ülemtõkked).

$$V_1 = 25,3 \cdot 20 \cdot 9,9 \text{ mm}^3 = 5009,4 \text{ mm}^3 \approx 5,01 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 25,5 \cdot 20,2 \cdot 10,1 \text{ mm}^3 = 5202,5 \text{ mm}^3 \approx 5,20 \text{ cm}^3$$

Ruumala ligikaudseks väärtuseks  $V$  loeme nende tõkete aritmeetilise keskmise:

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} \approx 5,1 \text{ cm}^3.$$

Absoluutse vea ülemmäär on pool tõkete vahest:

$$\Delta V = \frac{V_2 - V_1}{2} \approx 0,1 \text{ cm}^3.$$

Seega relatiivse vea ülemmäär:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{0,1}{5,1} \approx 2\%.$$

Mõõtmistulemuse võime üles kirjutada järgmiselt:

$$V = (5,1 \pm 0,1) \text{ cm}^3.$$

Näide 2. Keha erikaalu määramiseks mõõdeti keha ruumala  $V$  ja kaal  $P$  ning saadi järgmised tulemused:

$$V = (81 \pm 1) \text{ cm}^3,$$

$$P = (216 \pm 0,5) \text{ G}.$$

Arvutame erikaalu keskmise väärtuse ning absoluutse ja relatiivse vea ülemmäära.

Erikaal väljendub teatavasti valemiga:

$$d = \frac{P}{V}.$$

Leiame selle valemi põhjal erikaalu alamtõkke  $d_1$  ja ülemtõkke  $d_2$ . Erikaalu alamtõkke saamiseks tuleb kaalu alamtõkke jagada ruumala ülemtõkkega, sest et murd on seda väiksem, mida väiksem on lugeja ja mida suurem on nimetaja. Erikaalu ülemtõkkeks on kaalu ülemtõkke ja ruumala alamtõkke jagatis. Seega:

$$d_1 = \frac{215,5}{82} = 2,63 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3};$$

$$d_2 = \frac{216,5}{80} = 2,70 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}.$$

Siit võime arvutada erikaalu ligikaudse väärtuse  $d$  ja absoluutse vea ülemmäära  $\Delta d$ :

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} = 2,67 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3};$$

$$\Delta d = \frac{d_2 - d_1}{2} = 0,035 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3} \approx 0,04 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}.$$

Relatiivseks veaks saame

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{0,04}{2,67} \approx 0,015 = 1,5\%.$$

Mõõtmistulemus avaldub seega järgmiselt:

$$d = (2,67 \pm 0,04) \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}.$$

Näide 3. Elektrilambi võimsuse määramiseks mõõdeti pinge lambi klemmidel ja lampi läbiva voolu tugevus ning saadi mõõtmistulemusteks

$$U = (6,0 \pm 0,1) \text{ A};$$

$$I = (2,5 \pm 0,1) \text{ V}.$$

Leiame nende andmete põhjal võimsuse ja selle absoluutse ning relatiivse vea ülemmäärad.

Võimsuse alam- ja ülemtõke avalduvad järgmiselt:

$$N_1 = 5,9 \cdot 2,4 = 14,16 \text{ W};$$

$$N_2 = 6,1 \cdot 2,6 = 15,86 \text{ W}.$$

Siit arvutame võimsuse keskmise väärtuse ja absoluutse vea ülemmäära.

$$N = \frac{N_1 + N_2}{2} = \frac{14,16 + 15,86}{2} = 15,0 \text{ W};$$

$$\Delta N = \frac{N_2 - N_1}{2} = \frac{15,86 - 14,16}{2} = 0,85 \text{ W} \approx 0,9 \text{ W}.$$

Leiame relatiivse vea ülemmäära:

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{0,9}{15} = 0,06 = 6\%.$$

Mõõtmistulemuseks saame

$$N = (15,0 \pm 0,9) \text{ W}.$$

Seega selle vigade arvutamise meetodi rakendamine taandub alljärgnevale:

1. leitakse otseselt mõõdetud suuruste tōkete kaudu otsitava suuruse alam- ja ülemtōke;

2. arvutatakse leitud tōkete aritmeetiline keskmine, mis on võrdne otsitava suuruse ligikaudse vārtusega;

3. leitakse absoluutse vea ülemmāär. See on võrdne poolega tōkete vahest;

4. jagades absoluutse vea ülemmāära otsitava suuruse keskmise vārtusega, saadakse relatiivse vea ülemmāär.

Vigade arvutamise kāigus ūardame me arve. Seejuures tuleb silmas pidada, et absoluutse ja relatiivse vea ülemmāära tohib ūardada ainult ūlespoole. Ūardades vea ülemmāära allapoole, vōib juhtuda, et tegelik viga osutub suuremaks meie poolt arvutatud ūlemmāarast.

**B. Funktsiooni vea valemi rakendamine.** Kaudsel mōõtmisel on otsitav suurus otseselt mōõdetud suuruste funktsioon. Seetōttu on otsitava suuruse viga lihtne leida siis, kui me teame summa, vahe, korrutise, jagatise ja teiste lihtsamate funktsioonide vigade valemid.

1. *Summa viga.* Olgu meil mingi fūüsikaline suurus  $A$ , mis vōrdub suuruste  $a$  ja  $b$  summaga:

$$A = a + b. \quad (1)$$

Leiame summa vea ülemmāära  $\Delta A$ , kui meil on teada liidetavate vigade ūlemmāarad  $\Delta a$  ja  $\Delta b$ . Summa ūlemtōke (suurim vōimalik vārtus)  $A + \Delta A$  vōrdub liidetavate ūlemtōkete  $a + \Delta a$  ja  $b + \Delta b$  summaga. Seega

$$A + \Delta A = (a + \Delta a) + (b + \Delta b). \quad (2)$$

Lahutades vōrdusest (2) vōrduse (1) saame:

$$\Delta A = \Delta a + \Delta b. \quad (3)$$

Seega summa absoluutse vea ūlemmāär vōrdub liidetavate absoluutsete vigade ūlemmāarade summaga.

Vōrduste (1) ja (3) pōhjal vōime leida summa relatiivse vea ūlemmāära.

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a + \Delta b}{a + b}. \quad (4)$$

$A$ ,  $a$  ja  $b$  vōivad selles arutluses tähendada ūkskōik milli-seid fūüsikalisi suurusi — oluline on ainult see, et esimene nendest on kahe ūlejāanu summa.  $a$  vōib olla nāiteks laua-

plaadi kõrgus pōrandast,  $b$  lae kõrgus lauaplaadist ja  $A$  lae kõrgus pōrandast. Kui  $a$  ja  $b$  on näiteks mõõdetud ühe sentimeetrise täpsusega, siis me teame lae kõrgust pōrandast 2 sentimeetrise täpsusega.

2. *Vahe viga.* Olgu otsitav suurus  $A$  kahe suuruse  $a$  ja  $b$  vahe:

$$A = a - b \quad (5)$$

$a$  võib siin olla näiteks lõpptemperatuur,  $b$  algtemperatuur ja  $A$  temperatuuride vahe.

On ilmne, et vahe on siis suurim, kui vähendatav on võimalikult suur ja lahutatav võimalikult väike. Seega vahe ülemtõkke  $A + \Delta A$  saamiseks tuleb valemisse (5) paigutada vähendatava ülemtõkke  $a + \Delta a$  ja lahutatava alamtõkke  $b - \Delta b$ .

$$A + \Delta A = (a + \Delta a) - (b - \Delta b) \quad (6)$$

Lahutades võrdusest (6) võrduse (5) saame

$$\Delta A = \Delta a + \Delta b \quad (7)$$

**Vahe absoluutse vea ülemmäär on võrdne vähendatava ja lahutatava absoluutsete vigade ülemmäärade summaga.**

Vahe relatiivseks veaks saame võrduste (5) ja (7) põhjal:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a + \Delta b}{a - b} \quad (8)$$

3. *Korrutise viga.* Avaldugu otsitav suurus  $A$  otseselt mõõdetud suuruste kaudu järgmiselt:

$$A = ab. \quad (9)$$

Korrutise ülemtõkke on võrdne tegurite ülemtõkete korrutisega:

$$A + \Delta A = (a + \Delta a)(b + \Delta b), \text{ siit} \\ A + \Delta A = ab + a\Delta b + b\Delta a + \Delta a\Delta b. \quad (10)$$

Lahutades võrdusest (10) võrduse (9) saame:

$$\Delta A = a\Delta b + b\Delta a + \Delta a\Delta b.$$

Igal korralikul mõõtmisel on viga tunduvalt väiksem suuruselt endast. Võrreldes saadud avaldise parema poole kolme liiket näeme, et esimeses kahes liikmes esineb viga tegurina ainult üks kord, viimases liikmes aga kaks korda. Seega viimane liige on kahe eelmise liikmega võrreldes väike ja selle

võime jätta arvestamata. Korrutise vea ülemmäär avaldub seega järgmiselt:

$$\Delta A = a\Delta b + b\Delta a. \quad (11)$$

Siit arvutame relatiivse vea:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{a\Delta b + b\Delta a}{ab};$$
$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}. \quad (12)$$

**Korrutise relatiivse vea ülemmäär on võrdne tegurite relatiivsete vigade ülemmäärade summaga.**

4. Jagatise viga. Olgu

$$A = \frac{a}{b}. \quad (13)$$

Kuna jagatis on maksimaalne sel juhul, kui lugeja on võimalikult suur ja nimetaja võimalikult väike, siis

$$A + \Delta A = \frac{a + \Delta a}{b - \Delta b}. \quad (14)$$

Lahutades võrdusest (14) võrduse (13) saame

$$\Delta A = \frac{a + \Delta a}{b - \Delta b} - \frac{a}{b} = \frac{ab + b\Delta a - ab + a\Delta b}{b(b - \Delta b)}.$$

Kuna selle võrduse parema poole nimetajas  $\Delta b$  on võrreldes  $b$ -ga väga väike, siis

$$\Delta A = \frac{b\Delta a + a\Delta b}{b^2}. \quad (15)$$

Võrduste (13) ja (15) põhjal võime kergesti leida, et

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}. \quad (16)$$

**Seega jagatise relatiivse vea ülemmäär on võrdne jagatava ja jagaja relatiivsete vigade ülemmäärade summaga.**

Reeglid korrutise ja jagatise relatiivsete vigade ülemmäärade kohta jäävad ka siis kehtima, kui meil on tegemist murruga, kus lugejas ja nimetajas on mitme teguri korru-

tised. Kui otsitav suurus  $A$  avaldub näiteks otseselt mõõdetud suuruste  $a, b, c, d, e$  ja  $f$  kaudu järgmiselt

$$A = \frac{abc}{def},$$

siis

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} + \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta e}{e} + \frac{\Delta f}{f}.$$

5. *Astme viga.* Arvutame relatiivse vea ülemmäära juhul kui

$$A = a^2.$$

Selleks peame silmas, et siin on meil tegemist korrutisega, kus mõlemad tegurid on võrdsed. Seega võime rakendada korrutise vea valemit (12):

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta a}{a} = 2 \frac{\Delta a}{a}.$$

On kerge näidata, et kui

$$A = a^n,$$

siis

$$\frac{\Delta A}{A} = n \frac{\Delta a}{a}. \quad (17)$$

Seega astme relatiivse vea ülemmäär on võrdne astendatava relatiivse vea ülemmäära ja astendaja korrutisega.

6. *Juure viga.* Olgu

$$A = \sqrt[n]{a}.$$

Selle seose võime üles kirjutada järgmiselt:

$$A = a^{\frac{1}{n}}.$$

Vigade teorias näidatakse, et astme vea valem kehtib ka murrulise astendaja korral. Seega võime rakendada valemit (17). Kirjutades sinna  $n$  asemel astendajaks  $\frac{1}{n}$ , saame:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{1}{n} \frac{\Delta a}{a}.$$

Juure relatiivse vea ülemmäär võrdub juuritava relatiivse vea ülemmäära ja juurija jagatisega.

Kui näiteks

$$A = \sqrt{a} ,$$

siis

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a}{2a} .$$

Peale nende füüsikaliste suuruste, mille väärtused me saame mõõtmise teel, esineb sageli otsitava suuruse avaldises mitmesuguseid füüsikalisi konstante (töö termiline ekvivalent, Faraday arv, gravitatsioonikonstant jne.). Kuna füüsikaliste konstantide väärtused on mõõdetud väga suure täpsusega, siis nende absoluutsete ja relatiivsete vigade ülemmäärad tuleb lugeda võrdseks nulliga. See kehtib ka kõikide teiste täpsete arvude kohta.

Mõõtmisvigade arvutamisel tuleb lähtuda järgmisest tabelist, kuhu on kantud lihtsamate funktsioonide relatiivsete vigade väärtused.

Funktsioon	Relatiivne viga
$a + b$	$\frac{\Delta a + \Delta b}{a + b}$
$a - b$	$\frac{\Delta a + \Delta b}{a - b}$
$ab$	$\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$
$\frac{a}{b}$	$\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$
$a^2$	$2 \frac{\Delta a}{a}$
$a^3$	$3 \frac{\Delta a}{a}$
$a^n$	$n \frac{\Delta a}{a}$
$\sqrt{a}$	$\frac{1}{2} \frac{\Delta a}{a}$
$\sqrt[3]{a}$	$\frac{1}{3} \frac{\Delta a}{a}$
$\sqrt[n]{a}$	$\frac{1}{n} \frac{\Delta a}{a}$

Tutvume selle vigade arvutamise meetodi rakendamisega konkreetsete näidete abil.

Näide 1. Aknaklaasi pindala määramiseks mõõdeti klaasi pikkus  $l$  ja laius  $d$  ning saadi järgmised mõõtmistulemused:

$$l = (40 \pm 1) \text{ cm};$$

$$d = (110 \pm 1) \text{ cm}.$$

Arvutame pindala  $S$  ning pindala absoluutse ja relatiivse vea ülemmäärad.

$$S = ld;$$

$$S = 40 \cdot 110 = 4400 \text{ cm}^3.$$

Korrutise relatiivse vea valemi põhjal võime kirjutada:

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta d}{d}.$$

Arvutame siit relatiivse vea ülemmäära arvulise väärtuse.

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{40} + \frac{1}{110} = 0,025 + 0,009 \approx 0,034 = 3,4\%.$$

Absoluutse vea ülemmäära saamiseks tuleb relatiivse vea ülemmäär korrutada mõõtmistulemuse ligikaudse väärtusega, sest et

$$\Delta S = \frac{\Delta S}{S} \cdot S.$$

Seega saame:

$$\Delta S = 4400 \cdot 0,034 \approx 150 \text{ cm}^3;$$

$$S = (4400 \pm 150) \text{ cm}^3.$$

Näide 2. Raskuskiirenduse määramiseks pendli abil mõõdeti pendli pikkus  $l$  ja 20 täisvõnke tegemiseks kulunud aeg  $t$ , kusjuures saadi järgmised mõõtmistulemused.

$$l = (120 \pm 0,5) \text{ cm};$$

$$t = (44 \pm 0,5) \text{ sek};$$

$$n = 20.$$

Arvutame nende andmete põhjal raskuskiirenduse ning selle absoluutse ja relatiivse vea ülemmäärad.

Avaldades pendli vönkeperioodi valemist

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

raskuskiirenduse  $g$ , saame

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

Kuna  $T = \frac{t}{n}$ , siis

$$g = \frac{4\pi^2 n^2 l}{t^2}.$$

Arvutame siit raskuskiirenduse ligikaudse väärtuse:

$$g = \frac{4\pi^2 20^2 \cdot 120}{44^2} = 978 \approx 980 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}.$$

Leiame  $g$  avaldisest relatiivse vea valemi. Kuna  $4$ ,  $\pi^2$  ja  $n^2$  on selles avaldises konstandid, siis nende viga on null. Seega raskuskiirenduse relatiivne viga on võrdne pikkuse  $l$  ja aja ruudu  $t^2$  relatiivsete vigade summaga (vt. jagatise viga). Aja ruudu viga on aga võrdne aja kahekordse veaga (vt. astme viga). Seega

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + 2 \frac{\Delta t}{t};$$

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{0,5}{120} + \frac{2 \cdot 0,5}{44} = 0,004 + 0,023 = 0,027 = 2,7\%;$$

$$\Delta g = 980 \cdot 0,027 = 26 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}.$$

Ümardades absoluutse vea ülemmäära täiskümneteni, saame mõõtmistulemuseks:

$$g = (980 \pm 30) \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}.$$

Seega selle vigade arvutamise meetodi rakendamisel tuleb tulla kõigepealt relatiivse vea valemi ja leiame selle abil relatiivse vea ülemmäära arvulise väärtuse. Absoluutse vea ülemmäära arvutame relatiivse vea ülemmäära kaudu: selleks korrutame relatiivse vea ülemmäära mõõtmistulemuse ligikaudse väärtusega.

**C. Aritmeetilise keskmise meetod.** Sel juhul, kui mõõtmine ei ole aeganõudev, on kasulik mõõta mitu korda ja võtta mõõtmistulemusest aritmeetiline keskmine. Sel teel saame usaldatavama mõõtmistulemuse.

Ühe ja sama suuruse korduv mõõtmine võimaldab ka kergesti määrata mõõtmistulemuse keskmist absoluutset ja relatiivset viga.

Vaatleme selle vigade arvutamise meetodi rakendamist ühe konkreetse näite abil.

Kaldpinna kasuteguri määramiseks tuleb mõõta veojõud  $F$  keha ühtlasel liikumisel mööda kaldpinda, keha kaal  $P$ , kaldpinna pikkus  $l$  ja kaldpinna kõrgus  $h$ . Oletame, et me mõõtsime need suurused 5 korda ja saime allpooltoodud tabeli esimeses neljas veerus toodud tulemused.

Kaldpinna kasutegur  $\eta$  avaldub teatavasti järgmiselt:

$$\eta = \frac{P \cdot h}{F \cdot l}.$$

Arvutame selle valemi järgi kõigel viiel juhul kasuteguri. Samuti arvutame kasuteguri aritmeetilise keskmise  $\eta_k$  ja iga mõõtmistulemuse hälbe (kõrvalekaldumise) sellest keskmisest väärtusest. Tulemused registreerime tabelisse.

Jrk. nr.	Kaldpinna kõrgus $h$ (m)	Kaldpinna pikkus $l$ (m)	Keha kaal $P$ (kG)	Veojõud $F$ (kG)	Kasutegur $\eta$	Kasuteguri keskmine väärtus $\eta_k$	Hälve $\alpha =  \eta - \eta_k $
1.	0,215	0,5	0,07	0,037	0,81	0,76	0,05
2.	0,215	0,5	0,17	0,098	0,74		0,02
3.	0,215	0,5	0,27	0,158	0,76		0
4.	0,215	0,5	0,37	0,21	0,75		0,01
5.	0,215	0,5	0,47	0,236	0,75		0,01

Hälvete aritmeetilist keskmist me nimetamegi mõõtmistulemuse keskmiseks absoluutseks veaks. Tähistades keskmist viga  $\Delta\eta_k$ , võime kirjutada:

$$\Delta\eta_k = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5}{5};$$

$$\Delta\eta_k = \frac{0,05 + 0,02 + 0,01 + 0,01}{5} = 0,018 \approx 0,02.$$

Siit relatiivne viga:

$$\frac{\Delta \eta_k}{\eta_k} = \frac{0,02}{0,76} = 0,025 = 2,5\%.$$

### Vigade arvutamine elektrimõõteriistadega mõõtmisel.

NSV Liidus toodetavad elektrimõõteriistad jagatakse seitsmesse täpsusklassi, mida iseloomustavad järgmised arvud: 0,1, 0,2, 0,5, 1,0, 1,5, 2,5 ja 4. Täpsusklass on märgitud mõõteriista skaalal väikesesse ringikesse.

**Täpsusklass näitab relatiivse vea ülemmäära protsentides mõõteriista maksimaalse näidu (lõpphälbe) korral.** Mõõteriista lõpphälbele vastavat relatiivse vea ülemmäära nimetatakse sageli ka taandatud veaks.

Kui meil on kasutada ampermeeter, mille mõõdupiirkond on 5 amprit ja täpsusklass 1, siis 5-amprise voolutugevuse mõõtmisel on relatiivse vea ülemmäär 1% ehk 0,01. Kui voltmeetri täpsusklass on 2,5, siis tema lõpphälbele vastava pinge mõõtmisel on relatiivse vea ülemmäär 2,5%.

Leiame seose, mis võimaldab elektrimõõteriista vea ülemmäära arvutada mitte ainult lõpphälbe, vaid igasuguse hälbe korral. Olgu elektrimõõteriista näit pinge, voolutugevuse või mõne muu elektrilise suuruse mõõtmisel  $A$ . Tähistades relatiivse vea ülemmäära tähega  $\gamma$ , avaldub relatiivse vea ülemmäär järgmiselt:

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A}.$$

Korrutame ja jagame selle seose paremat poolt mõõteriista maksimaalse näiduga (lõpphälbega)  $A_m$ .

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A} \frac{A_m}{A_m} = \frac{\Delta A}{A_m} \cdot \frac{A_m}{A}.$$

Selle võrduse parema poole esimene tegur on taandatud viga. Tähistades selle  $\gamma_t$ -ga, võime kirjutada:

$$\gamma = \gamma_t \frac{A_m}{A}.$$

Seda seost kasutame relatiivse vea ülemmäära arvutamiseks. Korrutades relatiivse vea mõõtmistulemusega saame absoluutse vea ülemmäära. Seega:

$$\Delta A = \gamma A = \gamma_t \frac{A_m}{A} A$$

$$\Delta A = \gamma_t A_m.$$

Vaatleme nende valemite rakendamist konkreetse näite abil.

Voltmeetriga, mille lõpphälve (seega ka mõõdupiirkond) on 300 V ja täpsusklass 1,5, saadi pingete mõõtmisel mõõtmistulemusteks 225 V, 75 V ja 6 V. Leiame absoluutse ja relatiivse vea ülemmäärad.

Absoluutse vea ülemmääraks saame:

$$\Delta U = \gamma_t U_m = 0,015 \cdot 300 = 4,5 \text{ V.}$$

Näeme, et absoluutne viga ei sõltu mõõteriista näidust, vaid on kogu skaala ulatuses ühesugune.

Leiame relatiivsete vigade ülemmäärad.

$$\gamma_1 = \gamma_t \frac{U_m}{U} = 1,5\% \frac{300}{225} = 2\%.$$

$$\gamma_2 = 1,5\% \frac{300}{75} = 6\%.$$

$$\gamma_3 = 1,5\% \frac{300}{6} = 75\%.$$

Selle näite põhjal võime öelda, et relatiivse vea ülemmäär ei ole kogu skaala ulatuses ühesugune. Ta on seda suurem, mida väiksem on mõõteriista näit. Kolmas mõõtmine on just seetõttu ebatäpne (relatiivse vea ülemmäär 75%), et mõõteriista näit moodustab väga väikese osa maksimaalsest hälbest. Kui me kasutaksime sama (6-voldise) pinge mõõtmisel voltmeetrit, mille täpsusklass on samuti 1,5, kuid mõõdupiirkond 8 V, siis saaksime relatiivse vea ülemmääraks kõigest 2% ( $1,5\% \frac{8}{6} = 2\%$ ).

Selleks et mõõtmine oleks võimalikult täpne, tuleb alati valida sobiva mõõdupiirkonnaga mõõteriist.

## Õigete mõõtmisvõtete kasutamisest.

Nägime, et ka korras mõõteriistadega mõõtmisel ja õigete mõõtmisvõtete kasutamisel tekivad paratamatult mõõtmisvead. Need vead on harilikult väga väikesed ja juhusliku iseloomuga. Nad mõjutavad mõõtmistulemust kord ühes, kord aga teises suunas. Juhuslike mõõtmisvigade olemasolu ei näita sugugi seda, et mõõtmine on korraldatud halvasti või valesti.

Mõõtmisvigade hindamise ja arvutamise võtted, mida me vaatlesime eespool, kehtivadki ainult selliste juhuslike vigade kohta.

Viga mõõtmisel võib tekkida ka mittekorrasolevast mõõteriistast, selle skaala volest lugemisest ja ebaõigete mõõtmisvõtete kasutamisest. Need vead on sageli väga jämedad ja muudavad töö tulemuse täiesti väärtusetuks. Sellepärast tuleb neid vältida.

Suurte vigade vältimiseks tuleb enne töö algust kontrollida mõõteriista korrasolekut ja seada ta õigesti üles. Samuti tuleb hoolikalt tutvuda mõõteriista skaalaga ja välja selgitada skaala jaotuse väärtus, s. o. skaala ühele jaotusele vastav mõõdetava suuruse muutus. Kui näiteks mensuuri igale jaotusele vastab  $5 \text{ cm}^3$ , siis skaala jaotuse väärtus ongi  $5 \text{ cm}^3$ .

Mõnikord võib mõõtja ise skaala jaotuse väärtust muuta. Seda saab teha näiteks šuntide ja eeltakistuste abil. Kui skaala jaotuse väärtus on muudetav, siis tuleb mõõteriista näidu lugemisel olla eriti hoolikas.

Pärast skaala jaotuse väärtuse kindlaksmääramist tuleb harjutada mõõteriista näidu õiget lugemist.

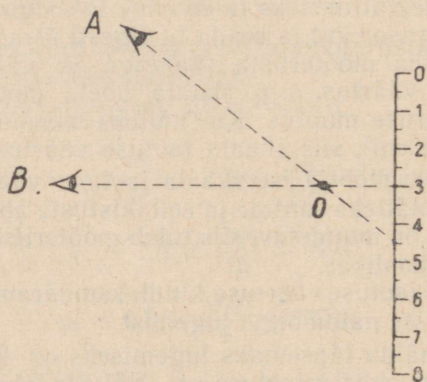
Mõõteriista näidu täpsemaks lugemiseks on kasulik silma järgi hinnata ka skaala jaotuse osi. Näiteks keemilise termomeetriga temperatuuri mõõtmisel me võime kergesti lugeda temperatuuri poolekraadise täpsusega, olgugi et skaalal puuduvad pooltele kraadidele vastavad jaotuskriipsud. Mõõtes mõõdujoonlauaga, mille jaotuskriipsud on küllalt peened, võime silma järgi hinnata ka millimeetri kümnendikke. Harilikult me ei eksi seejuures üle ühe kümnendiku millimeetri.

Mitmed mõõteriistad, eriti elektrimõõteriistad, on varustatud nullkorrektoriga. Selliste mõõteriistade kasutamisel tuleb enne mõõtmisele asumist kontrollida, kas osuti on täpselt skaala nullkriipsul. Kui ta seda ei ole, siis pööratakse korrektori kruvi vasakule või paremale seni, kuni osuti ühtib täpselt skaala nullkriipsuga.

Tehastes ei õnnestu alati valmistada mõõteriistadele täpset skaalat. Sellistele mõõteriistadele lisatakse tehase poolt sageli paranduste tabel, kuhu on märgitud mõõteriista erinevatele näitudele vastavad parandused, s. o. arvud, mis tuleb liita mõõteriista näiduga selleks, et saada õiget mõõtmistulemust. Mõõteriista parandus võib olla negatiivne või positiivne. Kontrollides mõõteriista täpsema mõõteriista abil, võib ka ise koostada paranduste tabeli.

Kui mõõteriista osuti või mõõdetav ese ei ole otseses kokkupuutes skaalaga, siis sõltub lugemi suurus mõõtja silma asendist. Neil juhtudel võib tekkida vaatesuunast tingitud viga ehk **p a r a l l a k t i l i n e v i g a**.

Joonisel 2 on kujutatud skaala  $S$ , osuti  $O$  ja vaatleja silm (kuna osuti on risti joonise tasapinnaga, siis paistab ta meile punktina). Kui vaatleja silm on punktis  $A$ , siis saame mõõduriista lugemiks 4,5. Kui aga silm on punktis  $B$ , siis on lugem 3.



Joon. 2. Parallaktiline viga.

**Õige lugemi saamiseks peab vaatesuund olema skaalaga risti.**

Täpsematel mõõteriistadel on mõõteriista skaalale kinnitatud peegel. Parallaktilise vea vältimiseks valitakse selline vaatesuund, et osuti ja tema kujutis peeglis ühtuvad.

## II. ÜLDISI JUHENDEID PRAKTIKUMIS TÖÖTAVATELE ÕPILASTELE.

### Üldiseid juhendeid.

1. Ära kasuta katseriistu enne, kui oled põhjalikult tutvunud tööjuhendiga.

2. Enne katset kontrolli, kas kõik katseks vajalikud katseriistad on olemas ja kas nad on terved. Katseriistade juures esinevatest vigadest teata kohe õpetajale.

3. Kaasõpilastelt töövahendite laenamine õpetaja loata on keelatud.

4. Katseriista tuleb kasutada ainult selleks otstarbeks, milleks see on määratud.

5. Iga õpilane vastutab temale kasutada antud riistade eest. Riista töökölbmatuks muutumisest tuleb kohe teatada õpetajale.

6. Praktikumis tuleb kulutada materjale kokkuhoidlikult. Pärast piirituslambi kasutamist kustuta see kohe; pärast mõõtmisi katkesta elektrivool jne.

7. Pärast katse lõpetamist puhasta katse juures määratud katseriistad ja aset need selleks määratud kohale. Kontrolli, kas kõik töö juures kasutatud katseriistad on alles ja terved.

Töö lõpul korrasta katselaud ja kui vaja, siis ka selle ümbrus.

### Kaalude kasutamise juhendid.

1. Aseta kaalud enda ette ja neist paremale poole karp kaaluvihtidega.

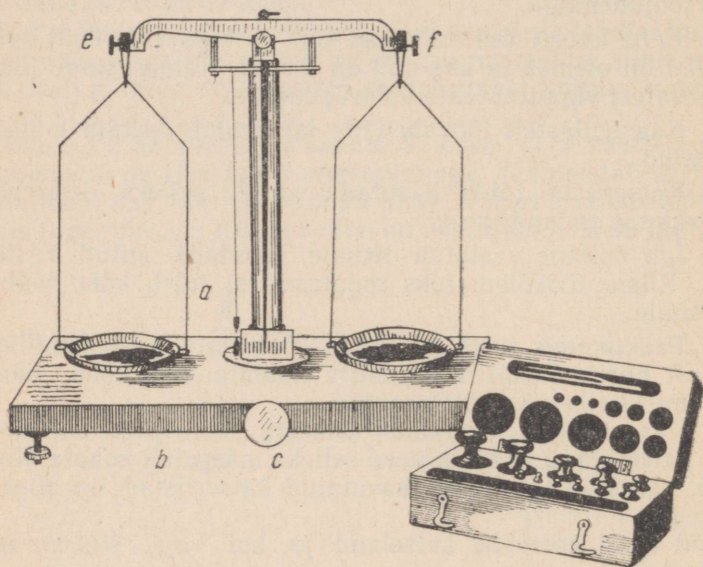
2. Vajaduse korral sea kaalud loodi. Selleks kruvi kas vasakpoolset või parempoolset kaalude jalakest kas pikemaks või lühemaks. Jalakesi kruvi seni, kuni püstloodi teravik  $a$  (joon. 3) ripub täpselt aluslaua  $b$  külge kinnitatud teraviku kohal.

3. Pöörates keskmist nuppu  $c$  paremale, vabasta kaalud ja jälgi, kas osuti jääb pärast võnkumist kaalusambal oleva skaala keskmise kriipsu kohale. Kui ei, siis kruvi reguleerimiskruvisid  $e$  ja  $f$  kaalukangi otstel seni, kuni kaalud on tasakaalus. Reguleerimiskruvisid võib pöörata ainult siis, kui kaalud on areteeritud.

4. Kaalutavat keha kui ka vihte võib kaalukausile asetada või sealt võtta ainult siis, kui kaalud on areteeritud.

5. Kaalutav ese asesta vasakule kaalukausile ja vihid paremale kaalukausile.

6. Väiksemaid vihte võib tõsta ainult näpitsatega. Vihte tuleb paigutada ainult kas kaalukausile või karpi vastavasse pesa.



Joon. 3. Kaalud ja kaaluvihid.

7. Vihte ja samuti ka kaalutavat keha ei tohi kaalukausile visata.

8. Kaaluvihtide laenamine naabrilt on rangelt keelatud.

9. Kaalukausile ei tohi asetada midagi märga ega määrivat.

10. Vihtide asetamist kaalukausile tuleb alata sobivaks arvatud suuremast vihist ja minna järk-järgult väiksemate vihtide kasutamisele.

11. Kui vihtide kaal tasakaalustab keha kaalu, siis loe vihtide mass kokku ja kirjuta see vihikusse.

12. Enne vihtide asetamist kaalukausilt tagasi karpi tuleb määrata kaalumise täpsus. Selleks lisa kaalukausile (või kõrvalda sealt) üks väiksematest vihtidest. Lisamiseks (või kõrvaldamiseks) vali selline viht, mille lisamisel (või kõrval-

damisel) muutuks kaalude tasakaal vaevaltmärgatavalt. Selle vihi mass ongi võrdne keha massi määramise vea ülemmääraga.

13. Kui on vaja kaaluda keha võimalikult täpselt, siis tuleb kõrvaldada kaaluõlgade erinevatest pikkustest põhjustatud viga. Selleks aseta kaalutud keha teisele, s. o. parempoolsele kaalukaasile, ja määra keha mass teistkordselt. Keha massi väärtuseks võta mõlema kaalumise tulemuse aritmeetiline keskmine.

### Juhendeid ohutuks katsetamiseks.

1. Enne termomeetri kasutamist tee kindlaks tema mõõdupiirkond. Termomeetrit ei tohi asetada keskkonda, mille temperatuur on mõõtepiirkonna kõrgeimast temperatuurist kõrgem.

2. Ole ettevaatlik piirituslambi kasutamisel. Juhul kui lamp on väljastpoolt piiritusest märg, siis pühi see enne lambi süütamist kuivaks. Süüdatud lampi ei tohi ühest kohast teise tõsta nii, et piiritus sellest välja loksus.

Piirituslamp kustuta selleks määratud mütsikese abil.

3. Kasuta ettevaatlikult klaasist mõõteriistu ja nõusid. Leegile aseta klaasnõu, seda esialgu leegi kohal soojendades. Ära soojenda leegil tühja märga klaasnõu — see puruneb.

4. Kolvile korgi asetamisel toeta kolbi käega kohe ta suu lähedalt. Klaastoru läbipanemisel korgisse puuritud avast hoida ühes käes korki ja teises klaastoru otsa hästi korgi lähedalt.

5. Eriti ettevaatlikult kasuta riistu, milles on elavhõbedat (termomeeter, elavhõbebaromeeter ja manomeeter). Nende purunemisel satub elavhõbedat põrandapragudesse, sealt leviv elavhõbedaaur mürgitab aastate vältel õhku praktikumi ruumis.

6. Väga ettevaatlik ole eetriga, sest eetri aur plahvatab kergesti. Eetripudel peab olema alati korgiga suletud. Ruumis, milles on eetri auru, ei tohi läita tuld ega viibida selles ei põleva piirituslambi ega küünlaga.

7. Koostatud vooluringi ära lüli enne voolu, kui õpetaja seda on kontrollinud. Vooluringi koostamisel kasuta isoleeritud juhtmeid.

8. Elektrivoolu mõõteriistu kasuta ainult selliste voolutugevuste, pingete, võimsuste jne. mõõtmiseks, mis vastavad nende mõõteriistade mõõtepiirkondadele.

9. Juhtmeid ja katseriistu ei tohi liigutada, kui nad on pinge all.

10. Transportimisel ei tohi kallutada akumulaatoreid, see põhjustab sööbiva lahuse väljavoolamist akumulaatorist. Vedelik on ohtlik nahale ja riietele.

11. Sädeinduktori kasutamisel peavad kõrgepinge all olevad juhtmed olema teineteisest ja ka maandatud esemetest 10—15 sentimeetri kaugusel. Vastasel korral tekib läbilöök.

12. Pikksilma ei või suunata Päikesele, sest objektiiv poolt koondatud valgus võib silma j ä ä d a v a l t vigastada.

## III. MEHHAANIKA.

## Töö nr. 1.

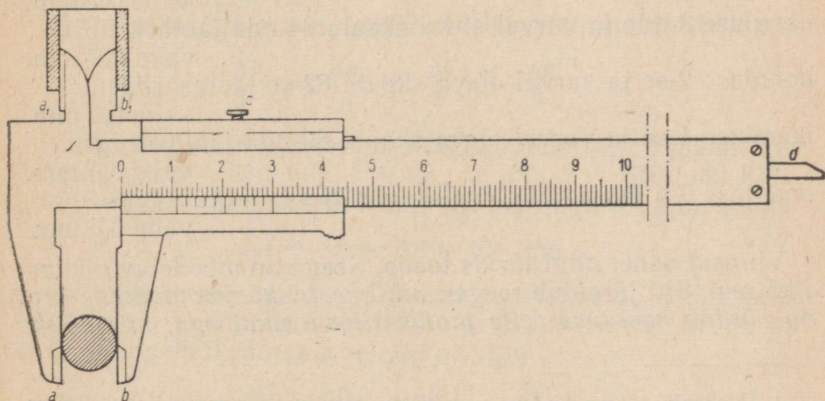
## Tutvumine nooniusuga. Mõõtmise niykkaliibriga.

Töö vahendid. Niykkaliiber, metallristtahukas, metalltoru.

Niykkaliibri ehitus ja mõõtmine sellega. Tavaline niykkaliiber lubab pikkusi mõõta täpsusega kuni 0,1 mm.

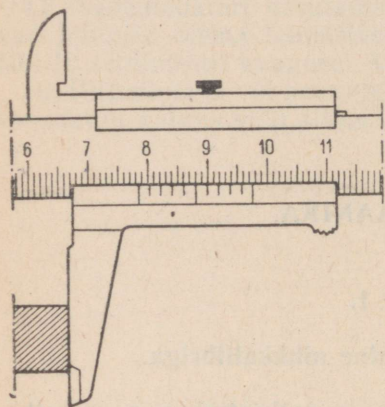
Niykkaliiber kujutab endast metallvarba, mille otsa on kinnitatud liikumatud nokad  $a$  ja  $a_1$  (joon. 4). Piki varba võib libiseda lükat  $l$ , mis on varustatud nokkadega  $b$  ja  $b_1$ . Lükatit võib lugemise ajaks kinnitada kruvi  $c$  abil.

Lükatil on kümneks jaotatud skaala.



Joon. 4. Niykkaliiber.

Kui vabastada lükatit kinnihoidev kruvi *c* ja lükata nokad teineteise vastu, siis ühtub lükatil oleva skaala null varval oleva skaala nulliga, lükati skaala viimane kümnes jaotuskriips satub varval oleva skaala üheksateistkümnenenda jaotuskriipsu kohale. Liigutatavat abiskaalat nimetatakse *nooniuseks*<sup>1</sup>. Iga jaotus varval on 1 mm pikk, seega on nooniuse iga jaotus 0,1 mm võrra lühem varval oleva skaala kahest jaotusest.



Joon. 5. Nihkkaliibri lükat koos nooniusega.

Eseme väliste mõõdete kindlakstegemiseks asetatakse mõõdetav ese nokkade *a* ja *b* vahele, lükatakse nokad vastu eset ja kinnitatakse lükat kruvi *c* abil liikumatult. Siis vaadatakse, mitmendast varval oleva skaala jaotuskriipsust paremal pool on nooniuse nullkriips. See annab eseme pikkuse täisarvu millimeetrites (joonisel 5 on selleks 78 mm). Siis vaadatakse, mitmes abiskaala ehk

nooniuse jaotuskriips ühtib varval oleva skaala mingi jaotuskriipsuga. Joonisel 5 ühtib nooniuse viies jaotuskriips varval oleva skaala 88-nda kriipsuga. Järelikult on:

- nooniuse 4-da ja varval oleva skaala 86-nda jaotuskriipsu  
vahe 0,1 mm,
- nooniuse 3-nda ja varval oleva skaala 84-nda jaotuskriipsu  
vahe 0,2 mm,
- nooniuse 2-se ja varval oleva skaala 82-se jaotuskriipsu  
vahe 0,3 mm,
- nooniuse 1-se ja varval oleva skaala 80-nda jaotuskriipsu  
vahe 0,4 mm,
- nooniuse 0-li ja varval oleva skaala 78-nda jaotuskriipsu  
vahe 0,5 mm.

Viimast vahet oligi tarvis teada. Seega on mõõdetav pikkus 78,5 mm. Siit järeldub reegel: *millimeetri kümnendikkude arv on võrdne nooniuse selle jaotuskriipsu numbriga, mis kõige*

<sup>1</sup> Abiskaala — nooniuse — võttis tarvitusele portugallane *Petrus Nonius*.

paremini ühtib varval oleva mõõduskaala mingi jaotuskriipsuga.

Kui tahame mõõta mingi eseme, näiteks toru sisemist läbimõõtu, siis pistame nokad  $a_1$  ja  $b_1$  toru sisse. (Joonis 4, ülemine osa.)

Sügavuse mõõtmiseks kasutatakse varrast  $d$ . Viimane torgatakse süvendi või lohu põhja ning lükatakse nihkkaliibri nokkadeta ots vastu süvendi äärt. Süvendi või lohu sügavus loetakse eespool kirjeldatud viisil.

**Töö käik.** 1. ü l e s a n n e. *Risttahuka ruumala määramine.*

Risttahuka ruumala määramiseks mõõda pikkus ( $a$ ), laius ( $b$ ) ja kõrgus ( $h$ ). Iga suurust mõõda vähemalt viis korda, mõõtes seda iga kord erinevast kohast. Ruumala arvutamisel kasuta viie mõõtmistulemuse aritmeetilisi keskmisi. Mõõtmistulemused kanna allpool toodud kujuga tabelisse.

Mõõtmise nr.	Pikkus $a$ (mm)	Laius $b$ (mm)	Kõrgus $h$ (mm)	Ruumala $V = abh$ (mm <sup>3</sup> )
1.	40,0	25,2	10,0	
2.	40,2	25,1	10,0	
3.	40,1	25,1	10,0	
4.	40,1	25,1	10,0	
5.	40,1	25,2	10,0	
Keskmine	40,1	25,14	10,0	$10081 \text{ mm}^3 = 10,1 \text{ cm}^3$

*Vea arvutamine.* Nihkkaliibriga võib risttahuka iga mõõdet mõõta täpsusega kuni 0,1 mm, see suurus on mõõtmisel tehtava vea ülemmääraks.

Risttahuka ruumala arvutamisel teed seetõttu relatiivse vea

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

Andku näiteks mõõtmised risttahuka mõõtmete keskmisteks väärtusteks  $a = 40,1$  mm,  $b = 25,1$  mm ja  $h = 10,0$  mm. Kõik need mõõtmised on mõõdetud vea ülemmääraga 0,1 mm. Seega:

$$\Delta a = \Delta b = \Delta h = 0,1 \text{ mm}.$$

Arvutamise teel said risttahuka ruumala väärtuseks  $10081 \text{ mm}^3$ . Vea arvutamisel võib arve ümardada. Seega on meie näite puhul ruumala relatiivne viga

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{0,1}{40} + \frac{0,1}{25} + \frac{0,1}{10}.$$

Ruumala  $V = 10081 \text{ mm}^3$ . Võttes viimase ümardatud väärtuseks  $10000 \text{ mm}^3$ , saame:

$$\frac{\Delta V}{10000} = 0,0025 + 0,004 + 0,01$$

$$\frac{\Delta V}{10000} = 0,0165.$$

Siit järgneb:

$$\Delta V = 0,0165 \cdot 10000 \text{ mm}^3;$$

$$\Delta V = 165 \text{ mm}^3.$$

Risttahuka ruumala väärtus tuleb seega anda järgmisel kujul:

$$V = (10081 \pm 165) \text{ mm}^3$$

või ümardatult

$$V = (10,1 \pm 0,2) \text{ cm}^3.$$

## 2. ü l e s a n n e. Metalltoru mõõtmete mõõtmine.

Mõõda toru pikkus ( $h$ ), väline läbimõõt ( $d$ ) ja sisemine läbimõõt ( $d_1$ ). Ka toru mõõtmete mõõtmisel tee iga kord vähemalt viis mõõtmist ja tulemuseks võta nende aritmeetiline keskmine.

Andmed kanna tabelisse:

Mõõtmise nr.	Toru pikkus $h$ (mm)	Väline läbimõõt $d$ (mm)	Sisemine läbimõõt $d_1$ (mm)
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

## Täiendavaid küsimusi.

1. Kui suurt täpsust võimaldab noonius, millel mõõduskaala 49 kriipsuvahet on jaotatud 50-ks võrdseks osaks?

2. Nihkkaliibril on noonius, millel 20 kriipsuvahet on ühepikkused mõõduskaala 19 kriipsuvahega. Iga kriipsuvahe mõõduskaalal on 1 mm. Kui pikk on mõõdetav pikkus juhul, kui nooniusse nullkriips on mõõduskaala 15 ja 16 kriipsu vahel ja nooniusse 12. kriips ühtib mõõduskaala kriipsuga?

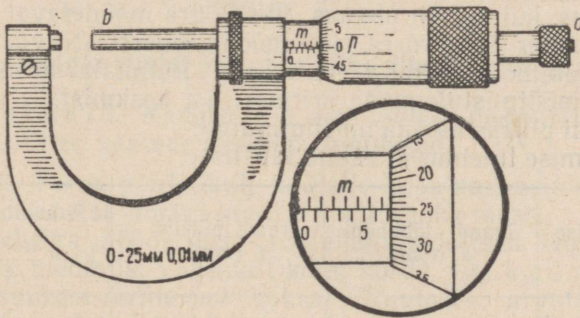
Kui suure täpsusega võib sellise nihkkaliibriga mõõta?

## Tutvumine kruvikaliibriga. Traadi ruumala arvutamine.

Töö v a h e n d i d. Kruvikaliiber, mõõdulint, kaks tükki erineva läbimõõduga traati.

**Kruvikaliibri ehitus ja mõõtmine sellega.** Kruvikaliibriga võib pikkusi mõõta täpsusega kuni 0,01 mm.

Kruvikaliiber kujutab endast metallklambrit (joonis 6), mille liikumatu kinga *a* ja kruvikaliibri kruvi *b* vahele asetatakse mõõdetav ese. Kruvikaliibri kruvi nihutamiseks piki telge tohib teda pöörata ainult telje otsas olevast peast *c*. Viimase sees on vedru, mis lakkab edasi andmast jõudu kruvile, kui kruvi ots on paraja survega nihkunud vastu mõõdetavat eset. Sellega välditakse eseme deformeerimist kruvi liigse surve tõttu esemele.



Joon. 6. Kruvikaliiber.

Kruvikaliibril on kaks skaalat. Kruvil olevalt skaala *m* aluliselt realt saab lugeda täisarvu millimeetreid ja ülemiselt realt pooli millimeetreid. Neid eraldab teineteisest piki kruvitelge tõmmatud sirge. Kruvi peal olevalt skaalalt *p* saab lugeda millimeetri sajandikke.

Tehes kruvi peaga ühe täispöörde, nihkub kruvi ots *b* ja samuti ka kruvi pea 0,5 mm võrra (skaalal *m*). Kuna kruvi pea on jaotatud 50 võrdseks osaks (skaala *p*), siis vastab ühele jaotusele kruvi peal (skaala *p*)  $\frac{0,5}{50} = 0,01$  mm. Kruvi pea ühe täispöörde lõpul tuleb nähtavale skaalal *m* rõhtsa joone peal oleval real esimene kriips, mis näitab, et kinga *a* ja kruvi otsa *b* vahe on 0,5 mm. Pöörates kruvi pead rohkem kui ühe täispöörde võrra, ilmub skaala *m* rõhtsa joone kohale skaala *p* mingi arv 0 — 50 vahel, need osutavad sajandike

millimeetrite arvu, mis on üle 0,5 mm ehk 50 sajandiku millimeetri. Nende arvu liidame 50-ga, sest kruvi pea täispöördele vastas 0,5 mm ehk 50 sajandikku millimeetrit.

**Töö käik.** Keera kruvikaliibri kruvi ots  $b$  vastu kinga  $a$  ja vaata, kas skaala nullkriips ühtib skaala  $m$  kriipsuga, mis kulgeb rööbiti kruvi teljega. Kui see ei ühti, siis määra kruvikaliibri nullpunkti parandus ja märgi see vihikusse. Otsusta, kas tuleb nullpunkti parandus lugemiga liita (+) või sellest lahutada (-). Sõltuvalt sellest võta parandus kas positiivsena või negatiivsena.

Traadi läbimõõdu mõõtmiseks aseta traadi kruvikaliiber kinga  $a$  ja kruvi otsa  $b$  vahele ning pööra kruvi pead  $c$  seni, kuni kruvi enam ei nihku edasi (kruvi pea pööramisel tekib siis kõrisev hääl). Loe kruvikaliibri näit (täsmillimeetrite ja nende poolte arv skaalalt  $m$  ning millimeetri sajandike arv skaalalt  $p$ ). Saadud näiduga liida algebraliselt nullpunkti parandus, kui see on olemas. Siis pööra mõõdetavat traati ta telje ümber  $90^\circ$  võrra ja mõõda uuesti. Niiviisi mõõda traadi läbimõõt mitmest eri kohast. Ruumala arvutamiseks kasuta mõõtmistulemuste aritmeetilist keskmist.

Traadi pikkus mõõda mõõdulindiga.

Mõõtmise tulemused kanna tabelisse.

Mõõtmise nr.	Traadi läbimõõt $d$ (mm)	Traadi pikkus $l$ (mm)	Traadi ruumala $V = \frac{\pi d^2 \cdot l}{4}$ (mm <sup>3</sup> )
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
Keskmine			

Katse lõpul keera kaliibri kruvi ots vastu kinga ja aseta mõõteriist karpri.

*Vea arvutamine.*

Traadi ruumala arvutad silindri ruumala valemi

$$V = \frac{\pi d^2 l}{4}$$

järgi. Seega on traadi ruumala arvutamisel relatiivne viga

$$\frac{\Delta V}{V} = 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta l}{l}.$$

Siit leiad traadi ruumala arvutamise absoluutse vea ülemmäära:

$$\Delta V = V \left( \frac{2 \cdot \Delta d}{d} + \frac{\Delta l}{l} \right).$$

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kui suure täpsusega saab mõõta kruvikaliibriga, mille kruvi pea ühe pöördega nihkub kruvi  $\frac{1}{2}$  mm (kruvisamm) võrra ja kruvi pea on jaotatud (skaala  $p$ ) 500-ks võrdseks osaks?

2. Kui kruvikaliibri kruvi ots  $b$  oli vastu kinga  $a$  (joonis 6), siis skaala  $m$  rõhtsa kriipsu kohal oli 46. kriips skaalal  $p$ . Millise märgiga (+ või -) tuleb võtta nullpunkti parandus ja kui suur see on?

### Töö nr. 3

#### Kaalumine kangkaaludel ja tahke keha tiheduse arvutamine.

Töövahendid. Kangkaalud, kaaluvihid, metallristtahukas, nihkkaliiber, kaalude kasutamise juhised.

**Töö käik.** Tutvu põhjalikult kaalude kasutamise juhistega ja juhindudes neist määra kindlaks risttahuka mass.

Nihkkaliibriga mõõda metallristtahuka mõõtmed, teostades iga mõõtme mõõtmist vähemalt kolm korda. Iga kord mõõda vastavat suurust erinevast kohast. Ruumala arvutamisel kasuta pikkuse, laiuse ja kõrguse mõõtmise aritmeetilisi keskmisi väärtusi.

Mõõtmiste tulemused kanna järgmisse tabelisse.

Mõõtmise nr.	Pikkus $a$ (cm)	Laius $b$ (cm)	Kõrgus $h$ (cm)	Ruumala $V$ (cm <sup>3</sup> )	Mass $m$ (g)	Tihedus $D$ (g/cm <sup>3</sup> )
1.						
2.						
3.						
Keskmine						

Keha ruumala arvuta risttahuka ruumala arvutamise valemi

$$V = abh$$

järgi. Keha aine tihedus arvuta valemi järgi

$$D = \frac{m}{V},$$

kus  $m$  on keha mass ja  $V$  ruumala. Kui keha massi mõõta grammides ja ruumala  $\text{cm}^3$ -tes, siis tihedus tuleb  $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  -tes.

*Vea arvutamine.*

Risttahuka mõõtmete mõõtmisel ja ka massi määramisel teed vea, mille ülemmäärat võib määrata. Kui risttahuka mõõtmelid mõõta nihkkaliibriga, siis mõõdetakse keha pikkust, laiust ja kõrgust ühesuguse ja nimelt sellise täpsusega, kus mõõtmise viga ei ületa 0,1 mm ehk 0,01 cm. Kui massi määrata tehniliste kangkaaludega, siis ei ületa massi määramise absoluutne viga ( $\Delta m$ ) 0,01 g.

Tiheduse relatiivne viga  $\frac{\Delta D}{D}$  on võrdne jagatise  $\left(\frac{m}{V}\right)$  relatiivse veaga, s. t.

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V}{V}.$$

Risttahuka ruumala relatiivne viga

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta h}{h},$$

kus  $a$ ,  $b$  ja  $h$  on risttahuka mõõtmed ja  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  ja  $\Delta h$  on nende mõõtmisel tehtud vigade ülemmäärad. Seega

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta h}{h},$$

millest järgneb, et

$$\Delta D = \left( \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta h}{h} \right) \cdot D.$$

Olgu näiteks:

$a = 4,01$  cm,  $b = 2,50$  cm,  $h = 1,03$  cm ja  $m = 68,63$  g. Siis metallist risttahuka ruumala

$$V = 4,01 \cdot 2,50 \cdot 1,03 = 10,06 \text{ cm}^3$$

ja ta tihedus

$$D = \frac{68,63 \text{ g}}{10,06 \text{ cm}^3} = 6,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}.$$

Vea arvutamisel kasuta ümardatud arve.

Leia tiheduse absoluutse vea ülemmäär  $D$ .

$$D = \left( \frac{0,01}{69} + \frac{0,01}{4} + \frac{0,01}{2,5} + \frac{0,01}{1,0} \right) \cdot 6,8 = (0,0002 + 0,0025 + 0,004 + + 0,01) \cdot 6,8 = 0,136 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0,2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}.$$

Tulemus koos veaga anna ümardatult:

$$D = (6,8 \pm 0,2) \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}.$$

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kas on olemas aine erikaal koha kõrgusest, meretasemest arvates?

2. Millisel ainel maakeral on suurim tihedus?

3. Kuidas määrata õigesti keha massi kangkaaludega, mille õlad pole täpselt ühepikkused?

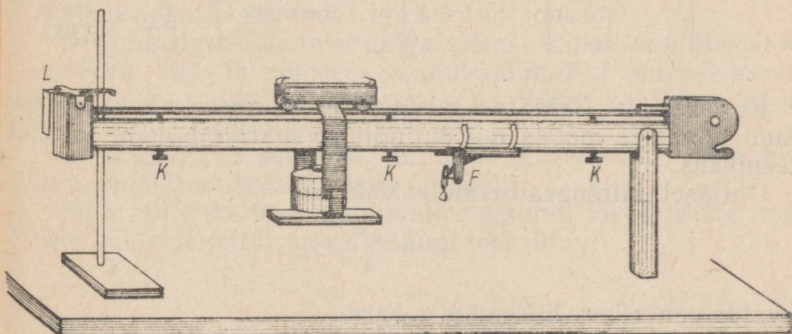
### Töö nr. 4.

#### Ühtlaselt kiireneva liikumise uurimine.

Töövahendid. Riist kinemaatika ja dünaamika katseteks, mõõdulint, metronoom või sekundpendel.

Märge. Kui kasutatakse sekundpendlit (ühe meetri pikkuse niidi otsa riputatud raskus), siis peab teine õpilane iga kord lööma pliiatsiga vastu lauda, kui pendel jõuab äärmisse asendisse.

**Töö käik.** Aseta joonisel 7 kujutatud katseriist lauale ja kahe rattaga vankrike rööpale. Traadi all, mida mööda veevad vankrikese rattad, on kruvid *K*, mille otstele toetub traat — rööbas. Neid kruvides saab rööpa seada sellisesse asendisse, et vankrike üheski kohas ei liigu kiirenevalt ega aeglustuvalt.



Joon. 7. Riist kinemaatika ja dünaamika katseteks.

1. Seos läbitud tee «*s*» ja aja «*t*» vahel ühtlaselt kiireneval liikumisel.

Kui oled katseriista eespool kirjeldatud viisil üles seadnud, siis anna talle niisugune kalle, et vankrike veereks mööda

röõbast ühtlaselt kiirenevalt. Metronoom pane tiksuma või pendel võnkuma nii, et kahe löögi vahe oleks  $\frac{1}{2}$  sekundit (120 lööki minutis). Loenda metronoomi lööke: «null, üks, kaks, kolm...» Õeldes metronoomi mingi löögi ajal «null», lase samaaegselt vankrike veerema. Selleks vabasta vankrike lingist *L*. Märgi koht, kuhu vankrike jõudis, metronoomi kahe või kolme löögiga. Sellele kohale aseta fiksaator *F*. Kui vankrike jõuab fiksaatori kohale, siis lööb vankrikese all olev polt vastu fiksaatori linki. Lingist vabanenud vedru lööb selgesti kuuldavalt vastu riista. See on märgiks, et vankrike on läbinud teepikkuse *s*. Katset korrates ja fiksaatorit nihutades leia fiksaatori selline asukoht, et metronoomi löök ja fiksaatori löök täpselt ühtiksid.

Vankrikese liikumise ajal loenda metronoomi löögid.

Vankrikese poolt läbitud teepikkus mõõda mõõdulindiga.

Katseandmed kanna tabelisse. Siin toodud tabelisse on märgitud mõõtmiste näidistulemused.

Katse nr.	Teepikkus <i>s</i> (cm)	Liikumise aeg <i>t</i> (sek)	$2s$	$t^2$	Kiirendus
					$a = \frac{2s}{t^2} \left( \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2} \right)$
1.	6,6	0,5	13,2	0,25	52,8
2.	26,5	1,0	53,0	1,0	53,0
3.	60,0	1,5	120,0	2,25	53,3
4.	106,0	2,0	212,0	4,0	53,0
Keskmine					53,0 $\left( \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2} \right)$

Korda katset fiksaatori teistsuguse kauguse juures, leia liikumise aeg ja mõõda mõõdulindiga vankrikese poolt läbitud teepikkus.

Ühtlaselt kiireneva liikumise valemist

$$s = \frac{at^2}{2}$$

avalda vankrikese kiirendus *a*. Kuna

$$2s = at^2,$$

siis

$$a = \frac{2s}{t^2}.$$

Võrdle tabeli viimase veeru andmeid, tee järeldus kiirenduse kohta ühtlaselt kiireneval liikumisel.

Kirjuta 0,5, 1, 1,5 ja 2 sekundi vältel vankrikese poolt läbitud teepikkuste suhted  $s : s_2 : s_3 : s_4$ . Samuti kirjuta vastavate teepikkuste läbimiseks kulunud aegade ruutude suhete rida:  $t_1^2 : t_2^2 : t_3^2 : t_4^2$ . Teepikkuste suhete rida taanda esimese liikme  $s_1$  ja aegade suhete rida taanda  $t_1^2$ -ga. Võrdle mõlemaid suhete ridu ja tee järeldus selle kohta, kuidas suhtuvad teepikkused nende läbimiseks kulunud aegade ruutudega juhul, kui liikumine on ühtlaselt kiirenev.

2. Üksteisele järgnevates võrdsetes ajavahemikes läbitud teepikkuste vaheliste suhete kindlakstegemine. Saadud katseandmetest lähtudes arvuta üksikul üksteisele järgnevatel võrdsetel ajavahemikel ( $1/2$  sek.) läbitud teepikkused  $s_1, s_2, s_3$  ja  $s_4$ . Näitena toodud tabeli andmetest selgub, et

$$s_1 = 6,6 \text{ cm}, s_2 = 26,5 - 6,6 = 19,9 \text{ cm jne.}$$

Moodusta üksikutes üksteisele järgnevates ajavahemikes läbitud teepikkuste suhted:  $s_1 : s_2 : s_3 : s_4 = 6,6 : 19,9 : \dots$ . Taanda suhete rea  $s_1$  arvulise väärtusega ja tee järeldus selle kohta, kuidas suhtuvad sellel liikumisel üksikutes üksteisele järgnevates võrdsetes ajavahemikes ( $1/2$  sek.) läbitud teepikkused.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Keha liikus esimese sekundi jooksul 5 m, teise sek. jooksul 15 m, kolmanda — 25 m, neljanda — 35 m jne. Milline on selle keha liikumine? Kui suur on selle liikumise keskmine kiirus ja keskmine kiirendus iga sekundi jooksul?

2. Keha algas liikumist paigalseisust. Liikudes ühtlaselt kiirenevalt, läbis ta esimeses sekundis 3 m. Kui suure kiirendusega liikus see keha? Joonesta selle liikumise jaoks kiiruse graafik.

3. Liikudes 3 sekundit ühtlaselt kiirenevalt, läbis keha 22,5 cm. Pärast seda liikus ta ühtlaselt.

Määrata keha kiirus kolmanda sekundi lõpul ja tee, mille keha läbis nelja järgneva sekundi jooksul.

### Töö nr. 5.

#### Kehade vaba langemise kiirenduse määramine

(1. variant).

Töövahendid. Statiiv koos metallsilindriga võnkumiste üleskirjutamiseks, kaks heliharki, võnkesagedusega . . . . ., statiiv muhvi ja näpitsaga, kaks puutükki helihargi kin-

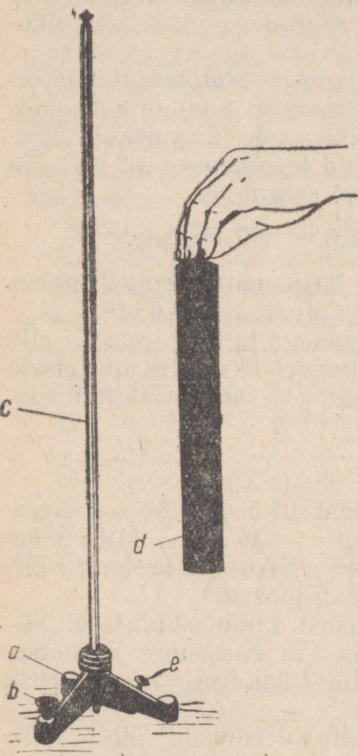
nitamiseks näpitsasse, kummivasar helihargi helisema panemiseks, mõõdujoonlaud, küünal, toos tuletikkudega, lapp tahma pühkimiseks.

Vaba langemine on küllalt suure kiirendusega liikumine.

Seetõttu pole lühemate teepikkuste läbimiseks kulunud ajavahemike mõõtmine tavaliste kelladega võimalik. Käesolevas töös tuleb kasutada ajavahemike mõõtmiseks sellist heliharki, mis teeb sekundis küllalt suure arvu võnkeid, näiteks 440 võnget. Sellise helihargi ühe võnke väle on järelikult  $\frac{1}{440}$

sekundit.  $\frac{1}{440}$  sekundi vältel langeb vabalt langev keha niisuguse teepikkuse, mida võib mõõta tavalise koolis kasutatava joonlauaga. Käesolevas töös on vabalt langevaks kehaks metallsilinder.

Katseseadme ehitus on järgmine. Statiiv koos metallsilindriga (joon. 8) võnkumiste üleskirjutamiseks koosneb kolme jalaga alusest *a*, kruvist *b*, mille abil saab riista seada vertikaalseks, torukujulisest varvast *c*, metallsilindrist *d* ja silindri päästikust *e*. Katsetamisel asetatakse silinder torukujulisele vardale *c*. Vajutades

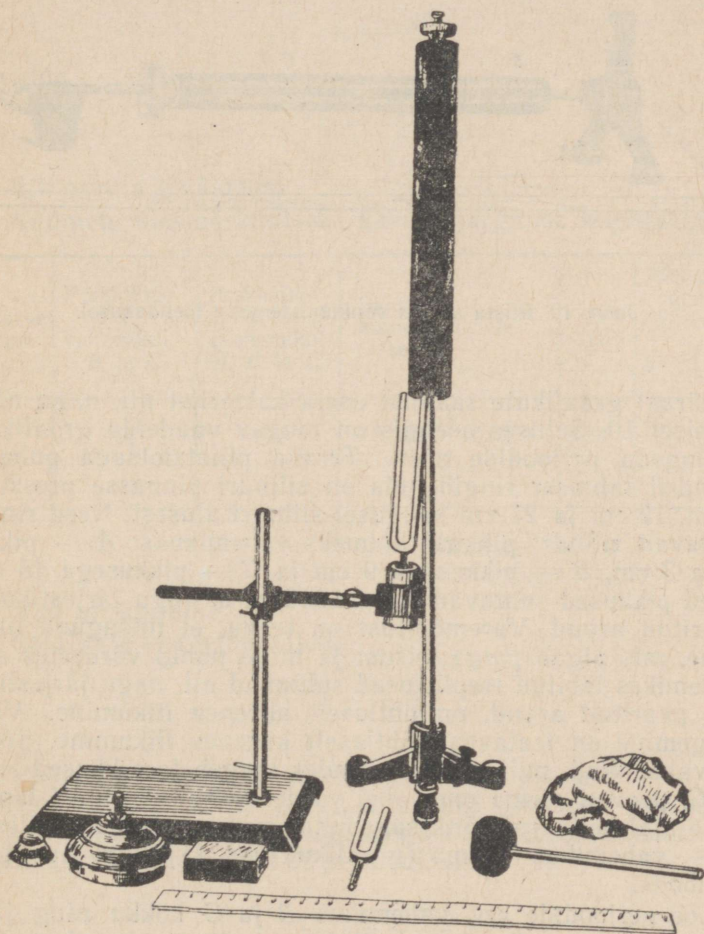


Joon. 8. Katseriist vaba langemise kiirenduse määramiseks.

päästikule *e* vabaneb silinder ja langeb vabalt alla. Alusele on kinnitatud kummikork, mis ei lase allakukkunud silindrit tagasi pörgata (silinder kukub tihedalt korgi otsa).

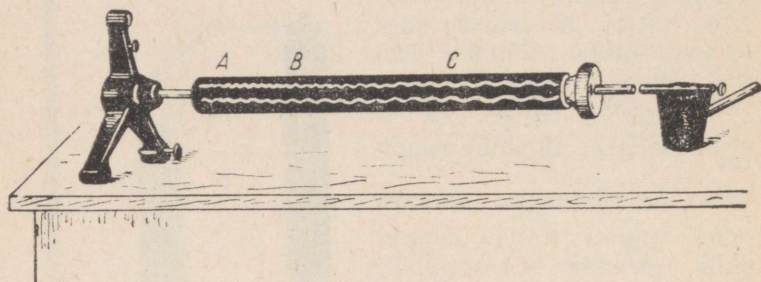
Helihargi ühe haru külge tuleb joota terastraadike või kinnitada pigiga harjas. Selline helihark tuleb kinnitada kahe puidust tihendusklotsi abil statiivi näpitsasse ja hooldiseda selle eest, et traadike puudutaks silindrit ja võnguks helihargi võnkumisel risti silindri teljega.

**Töö käik.** Vabalt rippuva joonlaua abil kontrolli toru *c* vertikaalsust. Kui toru ei ole vertikaalne, siis tuleb selle vertikaalseks seadmiseks keerata kruvist *b*. Kinnita helihark näpitsasse ja lähenda helihargi harud parajasse kaugusse metallsilindrist (joon. 9). Vajuta päästikule *e*, lase silindril langeda. Jälgi, kas traatteravik (või harjas) puudutab kogu langemise aja silindri pinda ning helihargi helisemisel võngub risti silindri moodustajaga. Proovi silindri langemist ka siis, kui oled pannud helihargi helisema.



Joon. 9.

Nüüd tahma silinder, selleks nihuta ja pööra seda aeglaselt küünla leegil. Pärast seda aseta silinder oma kohale ja lase silinder langeda. Helihargi haru külge kinnitatud traadike või harjas peab jätma tahmatud silindri pinnale sirge joone. Nüüd pane helihark helisema (löö kummivasaraga vastu helihargi haru) ja lase silinder langeda. Koos helihargiga võnkuv traadike või harjas jätab langeva tahmatud silindri pinnale lainelise jälje — võnkumise graafiku. Seda katset korda kolm korda.



Joon. 10. Riista asetus võnkumiste arvu loendamisel.

Pärast graafikute saamist aseta katseriist nii, nagu näha joonisel 10. Sellises asendis on mugav vaadelda graafikuid ja lugeda perioodide arvu. Terava pliatsiotsaga puhasta silindril tahmast ringid, mis on silindri pinnasse pressitud 3 cm, 12 cm ja 27 cm kaugusel silindri alusest. Need ringid jaotavad silindri pikkuse kolmeks vahemikuks: *A* — pikkusega 3 cm, *B* — pikkusega 9 cm ja *C* — pikkusega 15 cm. Need pikkused suhtuvad nagu 1:3:5, s. o. nagu järjestikused paaritud arvud. Varemõpitust on teada, et niisugune liikumine, mis algab paigalseisust ja mille puhul võrdsetes ajavahemikes läbitud teepikkused suhtuvad nii, nagu järjestikused paaritud arvud, on ühtlaselt kiirenev liikumine. Vaba langemine on teatavasti ühtlaselt kiirenev liikumine. Seega ajavahemikud, mille vältel silinder langeb teepikkused *A*, *B* ja *C*, peavad olema omavahel võrdsed. Kuna silindri langemise ajal helihargi võnkesagedus ei muutu, siis peab silindri igas vahemikus olema graafikul üks ja sama arv täis-perioode.

Loe perioodide arv vahemikus *B* ja *C* kokku ning jaga tulemus kahega. Saad perioodide arvu ühes vahemikus. Teades seda, võib arvutada perioodide arvu kogu silindril. Selle

saad, kui perioodide arvu ühes vahemikus korrutad kolmega, sest vahemikke silindril on kolm.

Tegi helihark näiteks 440 võnget sekundis (see arv on helihargil märgitud), siis joonestati üks periood  $\frac{1}{440}$  sekundi vältel ja 102 perioodi  $\frac{102}{440}$  sekundi vältel. Niiviisi võib määrata silindri pikkuse tee läbimiseks kulunud aja  $t$ . Tee pikkuseks on vahemike  $A$ ,  $B$  ja  $C$  summa, s. o. 27 cm.

Valemist

$$s = \frac{gt^2}{2}$$

avalda

$$g = \frac{2s}{t^2}.$$

Siit arvuta  $g$  väärtus.

Andmete ülesmärkimiseks kasuta järgmise kujuga tabelit.

Katse nr.	Perioodide arv vahemikul $B$ ja $C$	Perioodide arv silindril (vahemikul $A$ , $B$ ja $C$ )	Lange- mise aeg $t$ (sek)	$t^2$	$2s$ (cm)	Vaba lan- gemise kiirendus $g = \left(\frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}\right)$
1.	68	102	0,232	0,0538	54	1004
2.						
3.						
Keskmine						

*Vea arvutamine.*

Relatiivse vea leiad valemi

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta s}{s} + \frac{2 \cdot \Delta t}{t}$$

järgi.

Pikkusi saad mõõta täpsusega 1 mm, seega  $\Delta s = 0,1$  cm. Perioode saad mõõta veaga alla 0,75 perioodi pikkust ja seega saad aega mõõta täpsusega 0,75 võnkekestusest. Kui näiteks mõõtmisel saad 68 perioodi, siis

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{0,75}{68}$$

ja

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{0,1}{27} + \frac{2 \cdot 0,75}{68} = 0,0037 + 0,022 \approx 0,026,$$

siit

$$\Delta g = 0,026 \cdot 980 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2} \approx 26 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}.$$

### Täiendavad küsimused.

1. Mis liiki liikumine on vaba langemine?
2. Võta kaks ühesuurust ja ühepaksust paberilehte, milledest teine voldi mitmekordselt kokku. Lase mõlemad üheaegselt ja ühekõrguselt langeda. Kumb paberileht jõuab enne põrandale? Seleta nähtust.
3. Millise jõu mõjul toimub vaba langemine? Millised jõud mõjuvad kehale õhus langemisel?

### Töö nr. 6.

#### Kehade vaba langemise kiirenduse määramine

(2. variant).

Töövahendid. 1,5 m pikkune puulatt auguga otsas, raudvarras lati ülesriputamiseks, metallkuulike konksuga, universaalstatiiv kahe muhvi ja näpitsaga, plokk klambriga, niiti, kopeerpaberit, valget paberit, liimi, mõõdulint või mõõdujoonlaud, tuletikud.

**Töö käik.** Kui puulatt tema otsas olevast august läbipistetud varda abil üles riputada ja tasakaaluasendist välja viia, siis pärast vabakslaskmist hakkab ta võnkuma.

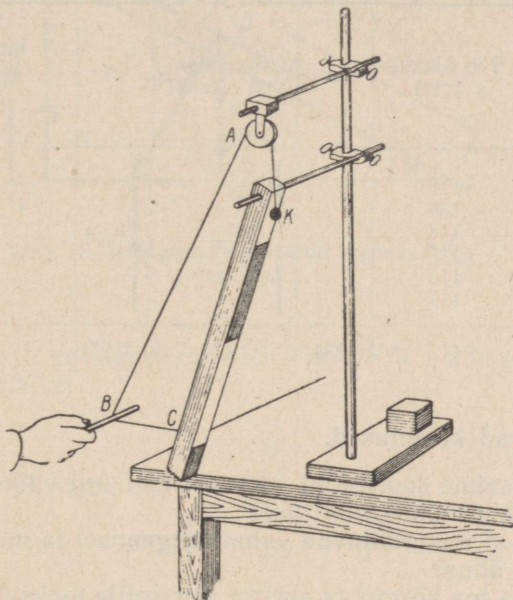
Koosta antud riistadest katseseade nii, nagu on näha joonisel 11. Hoolitse selle eest, et metallvarras, millel ripub puulatt, oleks horisontaalne ja et latis olev auk võimaldaks lati vaba võnkumist.

Lati kohale, temast pisut kõrgemale kinnita statiivi varda külge näpits, mille vahele paiguta plokk A. Üle ploki pane niit, mille ühe otsa külge on kinnitatud metallkuulike K. Niidi teine ots seo latil oleva konksu C külge.

Kuulikesepoolsele lati küljele kinnita liimi abil kaks valget pabeririba. Esimene neist (lühem) kinnita lati ülemise otsa juurde ja teine (20—30 cm pikkune) lati alumise otsa lähedale, ülemisest otsast umbes 110 cm kaugusele. Valgetele paberiribadele kinnita kopeerpaberi ribad (kinnita liimiga ainult riba otstest).

Nüüd tõmbab üks õpilane niiti horisontaalselt hoitud pliiat-  
siga (*B*) ja viib sellega lati vertikaalasendist kõrvale.

Teine õpilane surub kuulikese vastu kopeerpaberit, nii et  
valgele paberiribale jääb kuulikese algasendit tähistav jälg.  
Nüüd süütab sama õpilane tuletiku ja põletab niidi punktide  
*B* ja *C* vahel läbi. Latt hakkab liikuma tasakaaluasendi poole,



Joon. 11. Katseseade vaba langemise kiirenduse  
määramiseks.

samaaegselt sellega hakkab langema ka kuulike. Kui latt on  
jõudnud vertikaalasendisse, siis ta lööb vastu kuulikest. Löök  
jätab latil olevale pikemale paberiribale jälje.

Võta latt vardalt ja mõõda kuulikese kahe asendi vaheline  
kaugus (jälgede vahemaa paberiribal). See on kuulikese  
poolt vabal langemisel käidud teepikkus *s*. Selle tee läbimi-  
seks kulunud aja saab teada lati võnkumise järgi. Sellise  
pikkusega latt vajab liikumiseks ühest äärmisest asendist  
teise ühe sekundi, seega on ajavahemik, mille jooksul latt  
liigub äärmisest asendist vertikaalsesse asendisse 0,5 sekun-  
dit. See ongi aeg, mille jooksul kuulike vabal langemisel  
läbis teepikkuse *s*. See ajavahemik ei sõltu sellest, kui kau-

gele eemaldasime lati tasakaaluasendist. Siiski ei ole soovitatav võtta nurka lati ja vertikaalsihi vahel suuremat kui  $20-25^\circ$ .

Korda katset 7—8 korda, kanna andmed tabelisse ja võta vaba langemise kiirenduse arvutamiseks teepikkuste aritmeetiline keskmine.

Andmete tabeli näidis on järgmine.

Katse nr.	Tee pikkus $s$ (cm)	$2s$	Langemise aeg $t$ (sek)	$t^2$	Vaba langemise kiirendus $g = \frac{2s}{t^2} \left( \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2} \right)$
1.	116	}	0,5	}	}
2.	120				
3.	118				
4.	115				
5.	116				
6.	117				
Keskmine	117	234	0,5	0,25	936

### Täiendavad küsimused.

1. Miks saime sooritatud katsetel tõelisest väiksema vaba langemise kiirenduse väärtuse?
2. Millised jõud mõjuvad vabal langemisel ja millised jõud langemisel õhus?
3. Mõõda toa kõrgus ja arvuta aeg, mille jooksul keha langeks lae alt põrandale, kui ta langeks vabalt.

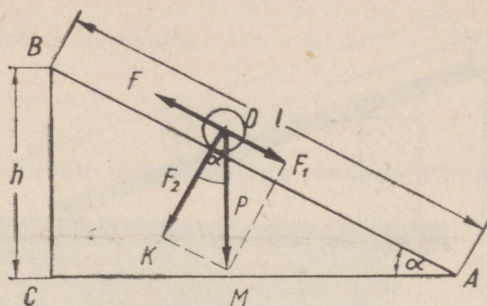
### Töö nr. 7.

#### Kaldpinnal asuvale kehale mõjuvate jõudude tasakaalu tingimuste uurimine.

Töövahendid. Kaldpind, mille ülemises otsas on plokk, kaalukauss, kaaluvihid, kaalud, rull raamis, puuklots, mõõdupuu või mõõdulint, nõör.

**Töö käik.** Kaldpinnal oleva keha raskusjõu  $P$  võib lahutada kaheks komponentjõuks nii, et üks komponentidest ( $F_1$ ) oleks paralleelne kaldpinnaga ja teine ( $F_2$ ) sellega risti (joon. 12).

Rakendades kaldpinnal olevale kehale jõu  $F$ , mis on sama suur, kuid vastassuunaline jõuga  $F_1$ , jääb keha kaldpinnal tasakaalu.



Joon. 12. Kaldpinnale asetatud kehale mõjuvad jõud.

Täisnurksete kolmnurkade  $ABC$  ja  $OKM$  sarnasuse tõttu võib kirjutada, et

$$\frac{h}{l} = \frac{F_1}{P}.$$

Kuna  $F = F_1$ , siis

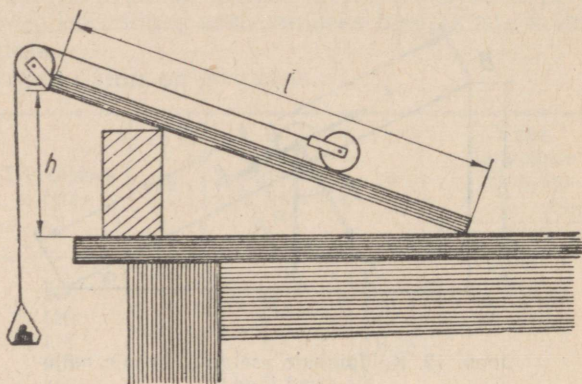
$$\frac{h}{l} = \frac{F}{P}.$$

Viimase võrduse kehtivust kontrollime katse teel.

Laua ääre lähedale aseta puuklots, millele sea kaldu kaldpind nii, nagu on näidatud joonisel 13. Eraldi kaalu rull ja papist valmistatud kaalukauss ning kirjuta saadud andmed töövihikusse. Nööri üks ots kinnita rulli raami külge, teise otsa külge seo kaalukauss ja aseta nõör üle ploki. Kaalukaussile pane niipalju vihte, et rull nõrga tõuke mõjul liiguks kiirenduseta mööda kaldpinda üles. Olgu siis kaalukaussil olevate vihtide kaal  $Q_1$ . Kõrvalda nüüd kaalukaussilt niipalju vihte, et rull nõrga tõuke mõjul liiguks kiirenduseta mööda kaldpinda alla. Olgu siis vihtide kaal kaalukaussil  $Q_2$ .  $Q_1$  ja  $Q_2$  aritmeetiline keskmine olgu  $Q$ . Kui sellega liita kaalukaussi kaal  $q$ , siis saadakse jõud  $F$ , mis, mõjudes rööbiti kaldpinnaga, hoiab rulli kaldpinnal tasakaalus, seega

$$F = F_1.$$

Mõõda kaldpinna kõrgus  $h$ , (loe seda katselaua pinnast kuni kaldpinna allpool oleva servani) ja kaldpinna pikkus  $l$ . Andmed kannu tabelisse.



Joon. 13.

Jrk. nr.	Rulli kaal $P$	Kaalu-kausi kaal $q$	Vihte kaalukausil		Keskmine $Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$	$F = Q + q$	Kõrgus $h$	Pikkus $l$	$\frac{h}{l}$	$\frac{F}{P}$
			rulli liikumisel üles $Q_1$	rulli liikumisel alla $Q_2$						
1.										
2.										
3.										

Katset korda vähemalt kolm korda, valides iga kord erineva kaldpinna kõrguse.

Tabeli andmete põhjal tee järeldus kaldpinnal oleva keha tasakaalutingimuste kohta.

### Täiendavad küsimused.

1. Tabeli esimese rea andmete põhjal arvuta: a) töö, mida tehakse rulli tõstmisel vertikaalselt üles kõrgusele  $h$ ,

b) töö, mida tehakse sama rulli veeretamisel üles piki kaldpinda, mille pikkus on  $l$ .

Kummal juhul tuleb tööd teha rohkem?

2. Kaldpinna pikkus on 3 m ja ta kõrgus on 1,2 m. Kaldpinnal asub keha kaaluga 600 kG.\* Kui suurt kaldpinnaga paralleelset jõudu tuleb rakendada, et see keha ei liiguks mööda kaldpinda alla? Kui tugevasti rõhub see keha kaldpinnale?

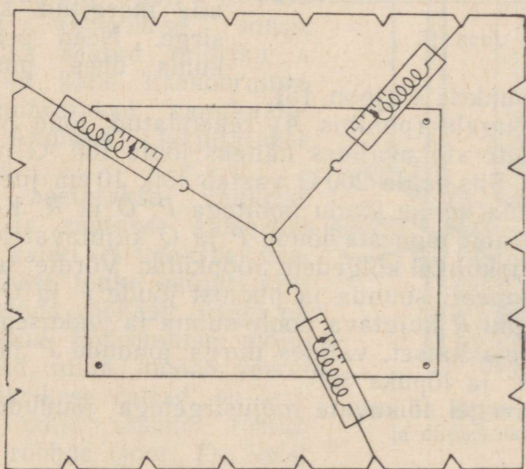
Hõõrdumist ei arvestata.

## Töö nr. 8.

### Lõikuvate mõjusirgetega jõudude liitmine.

Töö vahendid. Vineerplaat (40×60 cm) täketega servades, kolm dünamomeetrit (vedrukaalu), metallrõngas, kolm traatkonksu, nõõri, leht valget paberit, joonlaud, joonestuskolmnurk, rõhknaelad.

Töö käik. Rõhknaelte abil kinnita paberileht vineerplaadile. Seo kolm nõõritükki metallrõnga külge. Iga nõõritüki teise otsa sõlmi aas, millest pane läbi dünamomeetri konks. Traat-



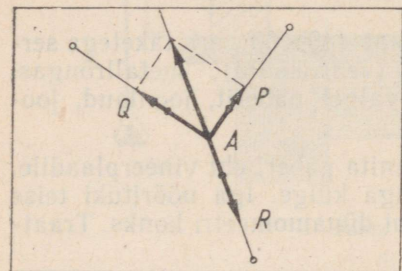
Joon. 14.

\* Viimasel ajal on hakatud jõude, sealhulgas ka raskusjõudu mõõtma kilogrammide asemel kilopondidega. Kilopondi suurus on võrdne kilogramm-jõu arvulise väärtusega. Seega võib jõu 600 kG asemel kirjutada 600 kilopondi, lühendatult 600 kp. Tuhandik kilopondist on p o n d. Järelikult on 1 p võrdne jõuga 1 G. Tuhat kilopondi on üks megap o n d (Mp), see vastab jõule 1 T.

konksude abil kinnita kolm dühamomeetrit vineerplaadi servades olevatesse täketesse (joon. 14). Tuleb jälgida, et nõörid oleksid pinguli, kusjuures dühamomeetri varda suund ühtigu tema külge kinnitatud nõöri suunaga.

Vii rõngas tema asendist välja ja vaata, kas ta tuleb endisesse asendisse tagasi. Endisesse asendisse tagasitulemine on tunnuseks, et nõörid ja dühamomeetri vedrud on vabad. Kui seda ei ole, siis tuleb takistused kõrvaldada.

Selle järel märgi terava pliatsiotsaga iga nõöri alla paberile kaks täppi, üks neist rõnga lähedale, teine aga esimesest võimalikult kaugele. Seejuures hoidu nõöri puudutamast. Nii täpselt kui võimalik, loe dühamomeetritelt jõud  $P$ ,  $Q$  ja  $R$  ja märgi nende suurused vihikusse.



Joon. 15.

Siis võta paberileht vineerplaadilt ja tõmba joonlaua abil läbi iga nõöri alla märgitud kahe täpi sirge. Need peavad lõikuma ühes punktis —

rõnga keskpunktis  $A$  (joon. 15).

Kujuta rõngale (punktis  $A$ ) rakendatud jõud vastavatel sirgetel noolte abil, valides näiteks jõule 100 G vastavaks lõigu 5 cm. Siis jõule 200 G vastab lõik 10 cm jne. Sel teel saab kujutada kolme jõudu nooltega  $P$ ,  $Q$  ja  $R$ . Kolmnurga ja joonlaua abil joonesta jõude  $P$  ja  $Q$  kujutavatele vektoritele kui rööpküliku külgedele rööpkülik. Võrdle selle rööpküliku diagonaali suunda ja pikkust jõude  $P$  ja  $Q$  tasakaalustavat jõudu  $R$  kujutava noole suuna ja pikkusega.

Korda sama katset, valides nurga jõudude  $P$  ja  $Q$  vahel  $90^\circ$ , siis  $60^\circ$  ja lõpuks  $30^\circ$ .

Sõnasta reegel lõikuvate mõjusirgetega jõudude liitmise kohta.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kuidas sõltub resultantjõu suurus komponentjõudude vahelisest nurgast?

2. Millistel tingimustel on kahe võrdse jõu resultant niisama suur kui kumbki komponentjõududest?

## Jõu, massi ja kiirenduse vahelise seose uurimine.

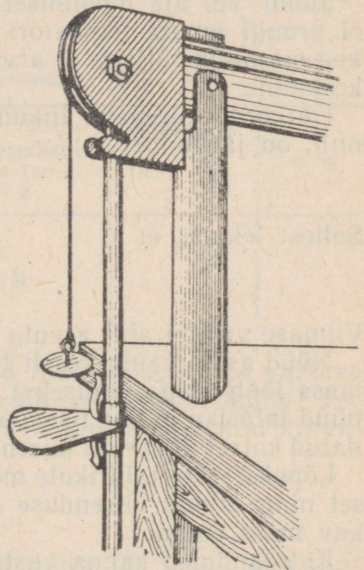
(1. variant)

Töö vahendid. Riist kinemaatika ja dünaamika katseteks, kaks suuremat koormust, kaks väiksemat lisakoormust, kangkaalud, kaaluvihid, vedrukaalud, vankrike kahe rattaga, möödulint, metronoom või sekundimõõtja, nööri otsa seotud metallketas — taldrik.

**Katseriista ülesseadmine.** Katseriist tuleb asetada lauale selliselt, et selle plokiga varustatud ots oleks laua äärelle niivõrd lähedal, et laud ei takistaks niidi otsa seotud metallketta — taldriku — langemist (joon. 16). Vertikaalse varda külge kinnitatakse metallist platvormike. See takistab ettenähtud kohal taldriku liikumist.

Vedrukaalude abil tehakse kindlaks vankrikese mass. Nööri otsa seotud taldriku ja samuti ka kahe lisakoormuse mass määratakse kangkaaludega. Andmed kirjutatakse vihikusse.

Edasi asetatakse vankrike rööpale ja seatakse katseriist selliselt kaldu, et vankrike vereks väikese tõuke mõjul ühtlaselt mööda rööbast. Seega on kõrvaldatud hõõrdumise mõju. Traadi all, mida mööda veerevad vankrikese rattad, on kruvid *K*, mille otstele toetub traadist rööbas (joon 7). Neisi kruvidest keerates seatakse rööbas sellisesse asendisse, et üheski kohas ei liiguks vankrike kiirenevalt ega aeglustuvalt. Umbes 50—80 cm kaugusele rööpa sellest otsast, kust vankrike hakkab veerema, kinnitatakse fiksaator *F*. Kui vankrike jõuab fiksaatori kohale, siis lööb vankrikese all olev polt vastu fiksaatori linki ja vabanenud vedru lööb selgesti kuuldavalt vastu riista. Löök teatab, et vankrike on läbinud mõõdetud teepikkuse *s*.



Joon. 16. Katseriist kinemaatika ja dünaamika katseteks.

**Töö käik. 1. Seos jõu ja kiirenduse vahel jääva massi puhul.**

Aseta vankrikesele kaks väiksemat lisakoormust, taldrik jäta aga koormamata. Siis on edasivedavaks jõuks taldriku kaal, s. o. 10 G. Kogu liikuva massi moodustavad nüüd vankrikese mass, kaks väikest lisamassi ja taldriku mass.

Metronoom või pendel sea tiksuma nii, et löögid kostaksid iga  $\frac{1}{2}$  sekundi tagant. Vankrike lase liikuma üheaegselt metronoomi mingi tiksuga. Proovimise teel leia fiksaatorile niisugune koht, kus fiksaatori löök kostaks üheaegselt metronoomi mingi löögiga. Vankrikese liikumise ajal loenda metronoomi lööke. Löövide arvu järgi tee kindlaks aeg sekundites. Iga kord mõõda vankrikese poolt läbitud teepikkus  $s$  ja võta vähemalt viie katse aritmeetiline keskmine.

Juhul kui aja mõõtmisel tuleb kasutada sekundimõõtjat, ei pruugi muuta fiksaatori asukohta, vaid mõõta liikumise aeg sekundimõõtjaga ja arvutada viie mõõtmise aritmeetiline keskmine.

Ühtlaselt kiireneva liikumise tee valem, kui algkiirus on null, on järgmine:

$$s = \frac{at^2}{2}.$$

Sellest leiame, et

$$a = \frac{2s}{t^2}.$$

Viimase valemi abil arvuta vastava kiirenduse  $a$  väärtus.

Nüüd aseta vankrikeselt taldrikule üks lisakoormus (liikuv mass jääb seega endiseks). Liikumapaneva jõu moodustab nüüd taldriku ja ühe lisakoormuse kaal. Korda eespool kirjeldatud katset ja arvuta kiirenduse  $a$  väärtus.

Lõpuks aseta taldrikule mõlemad lisakoormused, korda katset ning arvuta kiirenduse  $a$  väärtus. (Ka sel korral on liikuv mass endine).

Katseandmed kanna vastavasse tabelisse, mille näidis on toodud järgnevalt.

*Katseandmed juhul, kui liikuv mass on ... g (vankrikese mass + taldriku mass + kaks lisamassi).*

Jõud $F$ (G)	Aeg $t$ (sek)	$t^2$	Teepikkus $s$ (cm)	Kiirendus $a = \frac{2s}{t^2}$	$\frac{F}{a}$
10	3	9	81	18,0	0,56
20	2	4	74	37,0	0,54
30	1,5	2,25	60	53,3	0,56

Võrdle suhteid  $\frac{F}{a}$  omavahel. Tee järeldus mõjuvate jõude ja nende poolt kehale antud kiirenduste kohta jääva massi puhul.

2. Seos keha massi ja kiirenduse vahel, kui kehale mõjub jääv jõud.

Pane vankrikesele kaks suuremat koormust. Liikumapanevaks jõuks võta kõigis järgnevatel katsetel taldriku kaal (10 G). Varemkasutatud viisil mõõda teepikkus  $s$  ja liikumisaeg  $t$  ning arvuta neist andmeist kiirendus  $a$  katses nr. 1 toodud valemi järgi.

Nüüd jäta vankrikesele ainult üks suurem koormus ja liikumapanevaks jõuks endiselt taldriku kaal ning arvuta kiirendus  $a$ . Andmed kanna vastavasse tabelisse, mille näidis on toodud alljärgnevalt.

Katseandmed juhuks, kui liikumapanev jõud  $F = \dots G$

Keha mass $m$ (g)	Aeg $t$ (sek)	$t^2$	Teepikkus $s$ (cm)	Kiirendus $a = \frac{2s}{t^2}$	$m \cdot a$

Võrdle kuuendas veerus toodud liikuva massi ja vastava kiirenduse korrutisi ( $ma$ ). Mida võib öelda nende kohta? Tee järeldus keha massi ja kehale jääva jõu poolt antud kiirenduse kohta.

### Täiendavaid küsimusi.

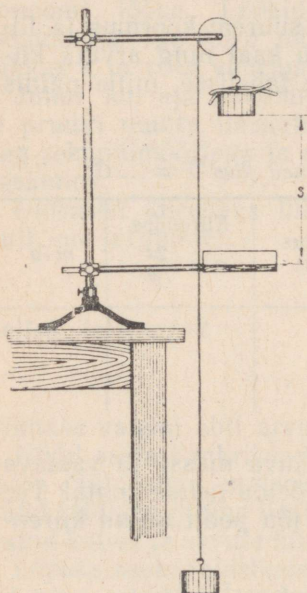
1. Jõud 50 G andis kehale kiirenduse  $20 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$ . Kui suur jõud annab samale kehale kiirenduse  $60 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$  ?

2. Mingi jõud andis kehale massiga 100 g kiirenduse  $1 \frac{\text{m}}{\text{sek}^2}$ . Kui suure massiga kehale annab sama suur jõud kiirenduse  $4 \frac{\text{m}}{\text{sek}^2}$  ?

3. Keha massiga 450 g hakkab liikuma paigalseisust ja läbib esimese sekundiga 4 m, teise sekundiga — 12 m, kolmanda sekundiga 20 m, neljanda sekundiga — 28 m jne. Milline on keha liikumine? Kui suur jõud mõjub kehale?

## Jõu, massi ja kiirenduse vahelise seose uurimine.

Töövahendid. Pikendatud vardaga universaalstatiiv koos kahe muhvi ja ühe näpitsaga, kergestiliikuv plokk vardal, võrdsete koormuste paarid 200 g, 400 g ja 600 g, liistuga varustatud lauake, kangkaalud, kaaluvihid, jämedamaid traaditükke hõõrdejõu kompenseerimiseks, umbes 2 m painduvat nööri, meetripikkune mõõdujoonlaud, stopper ja kruvikeeraja.



Joon. 17. Katseseade jõu, massi ja kiirenduse vahelise sõltuvuse uurimiseks.

**Töö käik.** 1. Aseta statiiv laua äärel selliselt, et laua äär ei takistaks nööri otsa riputatud koormuste liikumist. Kruvikeeraja abil vabasta plokk hargist ja määra kaaludel plokiketta mass. Märki see vihikusse. Aseta plokiketas tagasi oma kohale. Muhvi abil kinnita plokk võimalikult kõrgele statiivi varda külge (joonis 17).

Liistuga varustatud lauake kinnita näpitsa abil horisontaalasendisse nii, et koormus saaks langeda ühe meetri pikkuse tee. Katsete ajal jäta tee pikkus muutmata.

Aseta üle ploki nöör, mille mõlemasse otsa sõlmi aas. Mõlemasse aasa riputa võrdsed koormused ( $m_p$ ). Nöör on vaja seada nii pikaks, et üks koormustest oleks siis põrandal, kui teine neist on üleval, seal, kust liikumine algab.

Ülalolevale koormusele lisa traaditükikesi — lisakoormusi ( $m_h$ ). Viimased on selleks, et kompenseerida liikumist takistavat hõõrdejõudu ja õhutakistust. Lisakoormusi lisa seni, kuni koormused kerge tõuke mõjul hakkavad liikuma ühtlaselt.

Kuna koormuste liikumisel hakkab pöörlema ka plokk, siis tuleb liikuva massina arvestada ka pool plokiketta massist ( $m_i$ ). Kui plokiketta mass on näiteks 62 g, siis  $m_i = 31$  g.

Kui asetada lisaraskustega koormatud koormusele kaaluviht, siis hakkavad koormused liikuma ühtlaselt kiirenevalt, üks üles, teine alla. Liikumist põhjustavaks jõuks ( $F$ ) on kaaluvihi raskus.

Kogu liikuv mass  $m$  on võrdne kahe võrdse koormuse massi ( $m_p$ ), poole ploki massi ( $m_i$ ) hõõrdejõudu kompenseeriva koormuse massi ( $m_h$ ) ja liikumapaneva vihi massi ( $m_v$ ) sumмага:

$$m = m_p + m_i + m_h + m_v.$$

Katse tegemisel aseta lisaraskustega koormatud koormusele kaaluviht, kaaluga näiteks 10 G. Ühes käes hoia stopperit, teisega hoia koormust ülemises punktis. Ühel ja samal hetkel lase koormus langeda ja pane stopper käima. Hetkel, kui koormus on läbinud tee  $s = 1$  m, mille üle saab otsustada koormuse löögi kaudu vastu horisontaalset lauakest, pane stopper seisma. Stopperilt määrata koormuste liikumise aeg. Korda katset mitu korda, valides iga kord erineva liikumapaneva jõu. Ühtlaselt kiireneva liikumise tee valemist

$$s = \frac{at^2}{2}$$

võib arvutada koormuste liikumise kiirenduse:

$$a = \frac{2s}{t^2}.$$

Andmed kanna järgmisse tabelisse.

Jõud $F$ (G)	Kogu- mass $m$ (g)	Tee- pikkus $s$ (cm)	Aeg $t$ (sek)	Kiirendus $a = \frac{2s}{t^2} \left( \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2} \right)$	Suhe $a : F$
				Keskmine	

Tehtud katsete ajal muutus liikuv kogumass vähe. See-pärast võib liikuvat massi vaadelda peaaegu muutumatuna. Katsete tulemuse põhjal otsusta, kuidas sõltuvad konstantse massiga kehale mõjuvad jõud ja nende poolt kehale antud kiirendused.

2. Seos ühe ja sama jõu poolt erinevate massidega kehadele antud kiirenduste ja masside vahel.

Nendes katsetes jäta liikumist tekitavaks jõuks üks ja sama jõud, näiteks 10 G. Teepikkuseks vali endiselt 1 m. Niidi mõlemasse otsa aseta algul koormused massiga 200 grammi,

siis 400 grammi ja lõpuks 600 grammi. Iga kord proovi, kui suur lisakoormus kompenseerib hõõrdumist ja õhutakistust.

Katsed ja arvutused tee niisama nagu punktis 1.  
Andmed kanna järgmisse tabelisse.

Jõud $F$ (G)	Kogu- mass $m$ (g)	Tee pikkus $s$ (cm)	Aeg $t$ (sek)	Kiirendus $a$ $\left(\frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}\right)$	$a \cdot m$
				Keskmine	. . . . .

Katsete tulemuste põhjal otsusta, kuidas sõltuvad ühe ja sama jõu poolt erineva massiga kehadele antud kiirendused keha massist?

### Täiendavaid küsimusi.

1. Nimeta kolm jõu ühikut.
2. Kuidas sõltuvad kehade massid ja neile mõjuvad jõud, kui need kehad jõudude mõjul saavad ühesugused kiirendused?
3. Kehale mõjus jõud 15 G, mis andis sellele kiirenduse  $20 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$ . Kui suure kiirenduse annab samale kehale jõud 45 G tingimusel, et hõõrdejõud ja õhutakistus jäävad endisteks?

## Töö nr. 11.

### Elastsel pörkel mõjuva jõu ja pörke kestuse määramine.

Töövahendid. Teraskuul, terasplaat või alasi, küünal, tikud, mõõdujoonlaud, kaalud, kaaluvihid, nihkkaliiber.

Kui lasta teraskuul kaaluga  $P$  langeda kõrguselt  $h$  elastsele alusele, siis deformeerub kokkupuutekohas nii teraskuul kui ka alus. Väga lühikese aja vältel muutub ja taastub uuesti mõlema keha kuju. Sel ajal vastastikku mõjuvad jõud on väga suured.

Kõrgusele  $h$  tõstetud kuulil kaaluga  $P$  on potentsiaalne energia

$$W_{\text{pot}} = P \cdot h.$$

Kuuli langemisel muundub ta potentsiaalne energia kineti-

liseks. Hetkel, millal kuul põrkab vastu alust, muundub kuuli kineetiline energia deformatsiooni tööks

$$A = F \cdot x,$$

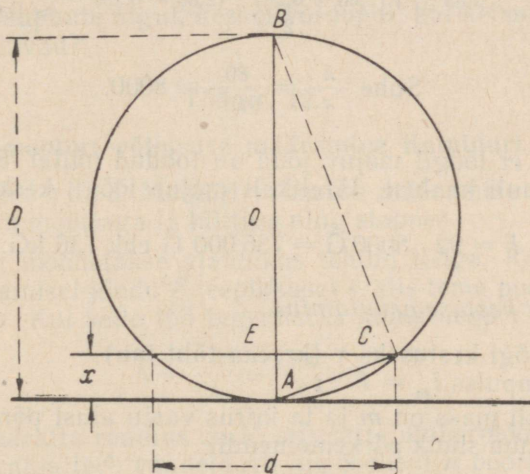
kus  $F$  on löögil mõjuv keskmine jõud ja  $x$  on tee pikkus, millel see jõud mõju avaldab (deformatsiooni sügavus).

Kui jätta löögil soojuseks muundunud energia arvestamata, siis

$$F \cdot x = P \cdot h, \text{ millest}$$

$$F = \frac{P \cdot h}{x}.$$

Jooniselt 18 näeme, et



Joon. 18.

$$\frac{BE}{CE} = \frac{CE}{AE}$$

ehk

$$\frac{D-x}{\frac{d}{2}} = \frac{\frac{d}{2}}{x}$$

$$Dx - x^2 = \frac{d^2}{4} \text{ ja } x = \frac{D \pm \sqrt{D^2 - d^2}}{2}.$$

**Töö käik.** Mõõda teraskuuli kaal  $P$  ja läbimõõt  $D$ . Lase kuuli mõõdetud kõrguselt  $h$  langetada tahmatud terasalusel. Aluselt ülespõrganud kuul püüa kinni. Sellelt leia tahmaga kaetud laik, mille jättis tahmatud terasplaat. Laik on seda suurema läbimõõduga, mida suurem oli deformatsioon pörkel. Mõõda laigu läbimõõt  $d$  ja arvuta deformatsiooni sügavus  $x$ .

1. Löögil mõjuva keskmise jõu  $F$  arvutamine.

Olgu näiteks

$$P = 92 \text{ G}$$

$$D = 2,85 \text{ cm}$$

$$h = 80 \text{ cm}$$

$$d = 0,29 \text{ cm, siis}$$

$$x = \frac{2,85 \pm \sqrt{(2,85 + 0,29) \cdot (2,85 - 0,29)}}{2} \approx 0,01.$$

$$\text{Suhe } \frac{h}{x} = \frac{80}{0,01} = 8000.$$

Ilmneb, et löögil mõjuv jõud on toodud näitel 8000 korda suurem kuuli kaalust. Järelikult mõjub löögil keskmine jõud

$$F = 92 \cdot 8000 \text{ G} = 736\,000 \text{ G ehk } 736 \text{ kG}.$$

2. Löögi kestuse arvutamine.

Olgu löögi kestuseks  $\tau$  (kreeka täht tau).

$$\text{Löögi impulss } I_m = F \cdot \tau$$

Kui kuuli mass on  $m$  ja ta kiirus vastu alust pörkumisel  $v$ , siis ta liikumishulk pörkemomendil

$$K = mv.$$

Täiesti elastsel pörkel on liikumishulk ligikaudu võrdne jõu impulsi:

$$F\tau = mv.$$

Siit

$$\tau = \frac{mv}{F}.$$

Kui kuuli kaal on  $P$  grammi, siis ta mass  $m = P$  grammi.

Kuuli kiirus pörke algul  $v = \sqrt{2gh}$ .

$$\text{Toodud näitel } \tau = \sqrt{2 \cdot 980 \cdot 80} = 396 \frac{\text{cm}}{\text{sek}},$$

$$\tau = \frac{92 \cdot 396}{736000 \cdot 980} = \frac{36432}{72128 \cdot 10^4} \approx 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ sek.}$$

Siintoodud arvutused on tehtud *cgs*-süsteemis. 1 kG = 980 000 düüni.

Korda katset, lastes kuulil langeda suuremalt kõrguselt. Kuidas muutub deformatsiooni sügavus  $x$  ja mõjuv keskmine jõud  $F$  sõltuvalt kuuli langemise kõrgusest  $h$ ?

### Täiendavaid küsimusi.

1. Millist energiat saadakse pörkel peale deformatsiooni töö?

2. Kummal juhul tekib rohkem soojusenergiat, kas elastsel või mitteelastsel pörkel?

3. Millisel hetkel on pörkel mõjuv jõud kõige suurem, kas kehade kokkupuute algul, keskel või lõpul, kui kehad teineteisest eemalduvad?

### Töö nr. 12.

#### Elektrimootori võimsuse määramine lintpiduri abil.

T ö ö v a h e n d i d. Mootori võimsuse määramise riist koos pöörete arvu mõõtjaga ja lülitiga ning stopper.

Võimsust mõõdetakse ajaühikus tehtud tööga. Kui mootor ületab töötamisel jõudu  $F$  teepikkusel  $s$ , siis tema poolt tehtud töö  $A = Fs$ . Kui selle töö tegemiseks kulus aega  $t$  sek., siis

$$N = \frac{A}{s} = \frac{Fs}{t}.$$

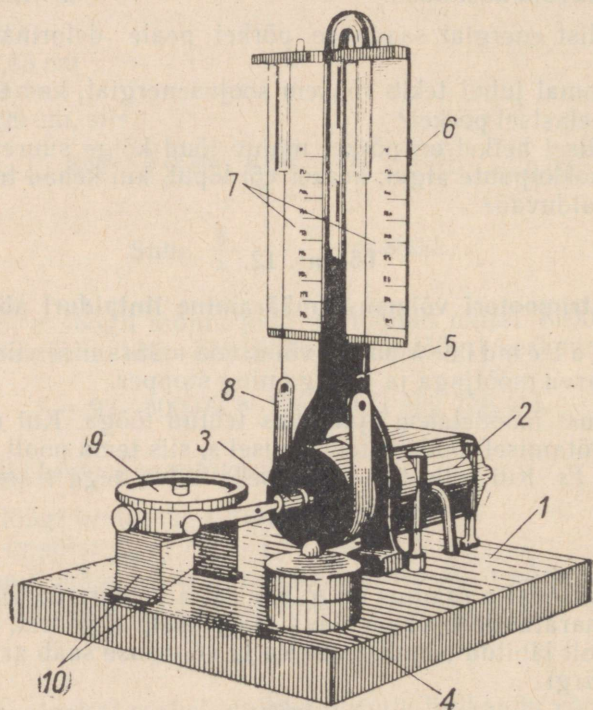
Kui rihmaratta raadius on  $R$ , siis ratta ümbermõõt on  $2\pi R$ . Kui rihmaratas teeb vaadeldava aja jooksul  $n$  pööret, siis on jõu  $F$  poolt läbitud teepikkus  $2\pi Rn$  ja võimsuse saab arvutada valemi järgi

$$N = \frac{2\pi RnF}{t}.$$

Kui  $R$  on mõõdetud meetrites,  $F$  — kilogrammides ja aeg  $t$  sekundites, siis saame võimsuse ühikutes  $\frac{\text{kGm}}{\text{sek}}$ . 1 kGm on 9,8 džauli ja 1  $\frac{\text{džaul}}{\text{sek}}$  = 1 vatt. Seega väljendub mootori võimsus vattides, kui korrutada saadud võimsuse avaldist arvuga 9,8.

$$\text{Seega} \quad N = \frac{9,8 \cdot 2\pi RnF}{t} \quad (\text{vatti}).$$

**Katseriista kirjeldus.** Puust alusele (joon. 19) on monteeritud õmblusmasina elektrimootor 2 (ühefaasiline vahelduvvoolu mootor võimsusega 50 vatti pingele 220 volti). Mootor ühendatakse juhtmete ja pistiku abil elektrivõrgu seinakontaktiga. Mootori võllile on asetatud rihmaratas, mille diameeter on 60 mm ( $R = 30$  mm). Üle rihmaratta on pandud lint, mille otses olevatesse aukudesse on kinnitatud dünamomeetrite konksud.



Joon. 19. Riist mootori võimsuse määramiseks.

Samale alusele on kinnitatud malmist püstkandur 6, mille sees olevas avas liikuva tiibmutri abil saab kinnitada dünamomeetreid hoidvat põikliistu. Üle mootori rihmaratta pandud linti saab pingutada, kui tõsta dünamomeetreid hoidvat liistu kõrgemale.

Mootori telg ulatub rihmarattast läbi ja lõpeb kummist «seenekesega». Viimase vastas asub pööretemõõtja (9) kruvi

ots, millele hõõrdumise suurendamiseks on tõmmatud paks kummivoolik. Pööretemootja on metalltugede abil kinnitatud puust alusele niimoodi, et tema kruvi võib nihutada mootori telje otsa vastu ja uuesti eemale, kui mootmine on lõppenud.

Pööretemootja pöörleval kettal on 100 jaotust. Ketta igale jaotusele vastab mootori võlli 2 pööret, seega vastab ketta ühele pöördele mootori võlli 200 pööret.

Puust alusele on kinnitatud ka elektrilüliti 4.

**Töö käik.** Aseta lint üle mootori rihmaratta. Suru pööretemootja kruvi ots vastu elektrimootori telje otsa. Nihuta põikliistu koos dünamomeetritega nii, et dünamomeetrite osutid jääksid nullile.

Nüüd lülita sisse vool. Tõsta veidi dünamomeetreid hoidvat põikliistu, mis pingutab rihma. Rihma ja ratta vahelise hõõrdumise tõttu näitavad dünamomeetrid erinevaid jõude  $f_1$  ja  $f_2$ . Pinguta rihma selliselt, et dünamomeetrite näitude erinevus oleks näiteks 50 G. Dünamomeetrite näidud kanna tabelisse. Nüüd jälgi pööretemootjat ja hetkel, kui kettal oleva skaala null on liikumata osuti kohal, käivita stopper ja mõõda näiteks 1000 pöörde aeg (5 mootja ketta pööret). Pöörete arv  $n$  (näiteks 1000) ja mõõdetud aeg  $t$  kanna tabelisse.

Mootori pöörete arv $n$	Aeg $t$ (sek)	Esimese dünam. näit. $f_1$ (G)	Teine dünam. näit. $f_2$ (G)	Pidurdav jõud $F = f_1 - f_2$	Mootori võimsus $N$
1000	12,4	0,05	0,01	0,04	6,0
1000	15,4	0,10	0,02	0,08	10,6
1000	16,5	0,15	0,035	0,115	13,0

Mootorit peatamata suurenda lindi pingsust nii, et ühe dünamomeetri näit muutuks umbes 50 G võrra. Tee uuesti kõik eespool kirjeldatud mõõtmised. Katset korda vähemalt viis korda. Katsete lõpul lülita mootor välja.

Eelmise tabeli esimese, teise ja kolmanda veeru andmete põhjal koosta järgmine tabel.

Pöörete arv minutis <sup>1</sup>	4840	4300	3630
Võimsus vattides	6	10,6	13

<sup>1</sup> pöörete arv minutis on  $\frac{60 \cdot n}{t}$ .

Viimase tabeli andmete järgi valmistada graafik, kus rõhtsale teljele kannal pöörete arv minutis ja vertikaalsele teljele — arendatud võimsus vattides. Graafikult on näha, kuidas sõltub mootori võimsus pöörete arvust.

Graafikust selgub, millise pöörete arvu juures arendab mootor kõige suuremat võimsust.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Mitu vatti on 1 hj?

2. Kummal käigul, kas kiiremal või aeglasemal, arendab automootor suuremat veojõudu?

3. Mootori võimsus on 8 hj, ta rihmaratta raadius on 20 cm ja rihmaratas teeb 3000 pööret minutis. Kui suurt jõudu rakendab rihmaratas veorihmale?

### Töö nr. 13.

#### Mootori võimsuse määramine koormuse tõstmisel.

Töö vahendid. Ventilatori mootor, mille võllil on rihmaratas läbimõõduga umbes 20 mm, lakke kinnitatud liikumatu plokk, nõör, koormuste komplekt, kolme meetri pikkune varras, mõõdulint ja stopper.

Mootori võimsust mõõdab ajaühikus tehtud töö.

Tehku mootor  $t$  sekundi jooksul tööd  $A$  kGm. Siis võimsus

$$N = \frac{A}{t} \frac{\text{kGm}}{\text{sek}}.$$

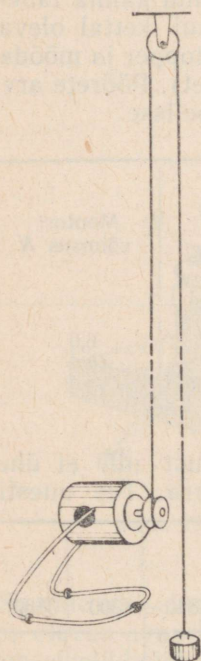
$G$  kilogrammi raskuse koormuse tõstmisel  $h$  meetri kõrgusele tehakse tööd

$$A = P \cdot h \text{ kGm}.$$

Seega mootori võimsus

$$N = \frac{P \cdot h}{t} \frac{\text{kGm}}{\text{sek}}.$$

**Töö käik.** Aseta mootor põrandale või vastavale alusele lakke kinnitatud ploki alla. Seo nõöri üks ots mootori rihmaratta külge ja asetage nõör üle liikumatu ploki.



Joon. 20. Katseseade elektrimootori võimsuse määramiseks.

Nööri teise otsa külge kinnita 200 G raskune koormus, mis puudutagu põrandat.

Mootoriga üheaegselt käivita ka stopper. Mootori töötamisel keritakse nõör ümber rihmaratta ja koormus tõuseb. Kui koormus on jõudnud lae alla, siis pane mootor ja stopper üheaegselt seisma. Stopperilt loe koormuse tõstmise kestus. Pika varda ja mõõdulindi abil mõõda koormuse tõstmise kõrgus  $h$ .

Suurendades koormust 200 G võrra, korda katset ja mõõda uuesti koormuse tõstmise kestus.

Niiviisi suurenda koormust järk-järgult seni, kuni mootori kiirus tunduvalt väheneb.

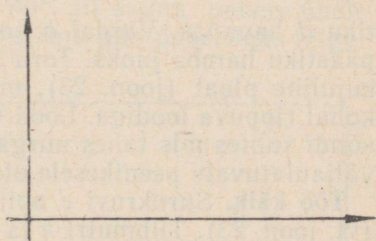
Iga katse puhul arvuta mootori võimsus  $\frac{kGm}{sek}$ -tes, W-des ja hj-des.

Katsetel saadud andmed kanna järgmisse tabelisse.

Katse nr.	Koormuse kaal $P$ (G)	Tõste kõrgus $h$ (m)	Töö $A$ (kGm)	Tõstmise aeg $t$ (sek)	Mootori võimsus		
					$\frac{kGm}{sek}$	W	hj

Katseandmete alusel joonista graafik. Rõhtsale teljele kanna koormuse kaal ( $P$ ) grammides, vertikaalsele teljele mootori võimsus ( $N$ ) vattides.

Graafiku või tabeli andmete järgi leia koormuse suurus, mille tõstmisel arendab mootor kõige suuremat võimsust.



### Täiendavaid küsimusi.

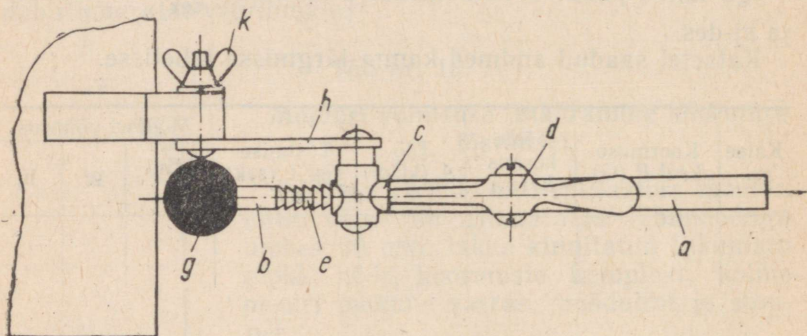
Joon. 21.

1. Mitu vatti on üks hobujõud?
2. Kummal käigul, kas kiiremal või aeglasemal arendab traktori mootor suuremat jõudu?
3. Mootor tõstab liivakoormat 600 kG 10 meetri kõrgusele 40 sek jooksul. Kui suure võimsusega (hj-des) töötab mootor?

## Keha liikumine parabooli mööda.

Töö vahendid. Ballistiline püstol, mõõdulint, statiivmuhvi ja rõngaga, leht valget paberit suurusega 20 cm × 60 cm, rõhknaelad.

Püstol kujutab endast 13 cm pikkust metalltoru *a* (joon. 22). Toru sees on terasvedru ja metallvarras *b*. Vedru üks ots on kinnitatud toru tagumise otsa külge ja teine ots varda külge. Toru eespoelses otsas on sisselõige, millesse käib pääs-

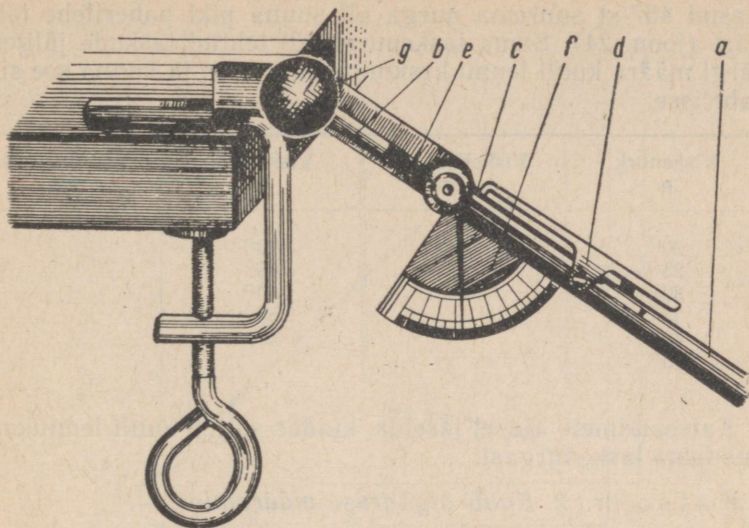


Joon. 22. Ballistiline püstol (vaade ülalt).

tiku *d* hammas. Vardal *b* on mitu teravaservalist soont *e* päästiku hamba jaoks. Toru alla on kinnitatud veerandringi kujuline plaat (joon. 23), millel on pool malli kaart selle kohal rippuva loodiga. Lood võimaldab püstolit asetada horisondi suhtes mis tahes nurga all vahemikus 0—90°. Varda *b* väljaulatuvale peenikesele otsale asetatakse sooniline kuul *g*.

**Töö käik.** Surukruvi *c* abil kinnita püstol laua ääre külge (vt. joon. 23). Tiibmutri *k* ja plaadikese *h* abil (joon. 1) võib püstoli seada horisondi suhtes mis tahes nurga alla.

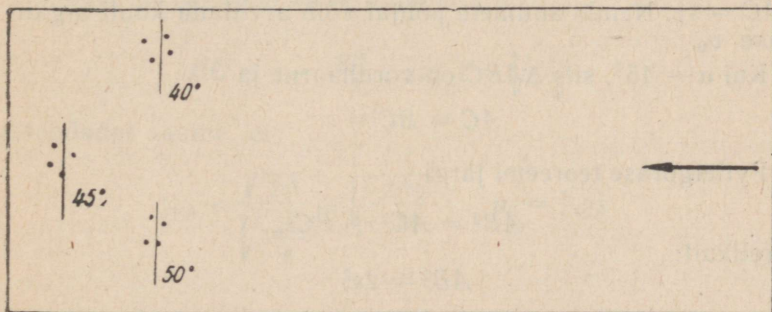
Esiialgu aseta püstol horisondi suhtes 45° nurga alla, pane kuul vardale ja suru kuuliga varrast nii kaugele, et päästiku konks haakuks vardal olevasse esimesse hambasse. Tee proovilask. Suurenda järk-järgult vedru kokkusurvet ja seega ka kuuli lennukaugust seni, kuni see langeb laua vastasäärele. Pärast sellist ettevalmistust kata laud puhta paberiga ja kinnita see rõhknaeltega.



Joon. 23. Ballistiline püstol (vaade küljelt).

Katse nr. 1. Kuuli lennukauguse sõltuvuse uurimine laskenurgast.

Sea püstol järjest üles mitmesuguste nurkade all ( $20^{\circ}$ — $70^{\circ}$ -ni) ja tee igast asendist 3—4 lasku, kasutades seejuures ühte ja sama hammast. Märki pliiatsiga kuulikese langemise kohad ja nende kõrvale kirjuta vastava laskenurga suurus. Lasud nurkade  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$  ja  $40^{\circ}$  all suuna paberi ühele äärele.  $45^{\circ}$  nurga all tehtud lask suuna piki paberilehe telge.



Joon. 24. Kuulikese lennukauguse määramine.

Lasud  $45^\circ$ -st suurema nurga all suuna piki paberilehe teist äärt (joon. 24). Sama laskenurga all tehtud laskude jälgede järgi määrata kuuli lennu keskmine kaugus  $s$  ja kanna see siis tabelisse.

Viskenurk $\alpha$	Viskekaugus $s$ (cm)	Viskenurk $\alpha$	Viskekaugus $s$ (cm)
$20^\circ$		$70^\circ$	
$25^\circ$		$65^\circ$	
$30^\circ$		$60^\circ$	
$35^\circ$		$55^\circ$	
$40^\circ$		$50^\circ$	
$45^\circ$			

Katseandmete alusel järelda, kuidas sõltub kuuli lennukaugus tema laskenurgast.

Katse nr. 2. Kuuli algkiiruse määramine.

Vaatleme horisondi suhtes  $45^\circ$ -se nurga all lastud kuuli liikumist. Sellise kuuli trajektor on kujutatud joonisel 25 kriipsjoonega. Kuuli liikumine on liitliikumine. Joont  $AB$  mööda liiguks kuul algkiirusega  $v_0$  ja läbiks ajaga  $t$  sek. teepikkuse  $AB = v_0 t \dots (1)$ .

Samaaegselt esimese liikumisega võtab kuul osa raskusjõu mõjul toimuvast vabast langemisest. Kuuli poolt vertikaalsihti mööda allapoole läbitud tee

$$BC = \frac{gt^2}{2} \dots (2)$$

Katsest nr. 1 on teada teepikkus  $s$ , mida kuul läbis horisontaalsihis, kui lask sooritati horisondi suhtes  $45^\circ$  nurga all ( $AC = s$ ). Nende andmete põhjal võib arvutada kuuli algkiiruse  $v_0$ .

Kui  $\alpha = 45^\circ$ , siis  $\triangle ABC$  on võrdhaarne ja

$$AC = BC = s.$$

Pythagorase teoreemi järgi

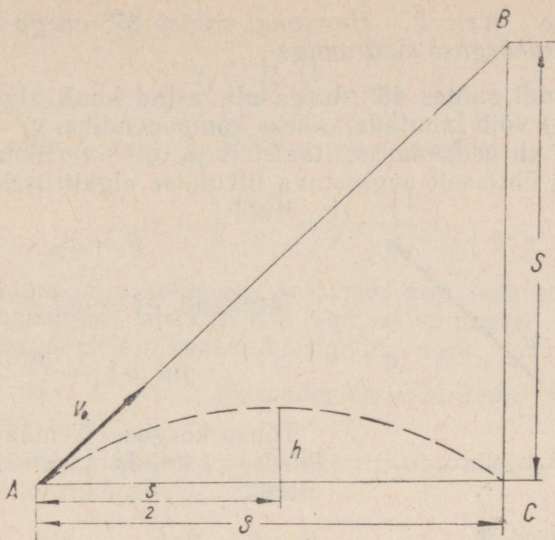
$$AB^2 = AC^2 + BC^2,$$

järelikult:

$$AB^2 = 2s^2$$

ja

$$AB = \sqrt{2s^2}.$$



Joon. 25.

Kuid (1) järgi

$$AB = v_0 t,$$

seega

$$v_0 t = \sqrt{2s^2},$$

siit

$$v_0 = \frac{\sqrt{2s^2}}{t}.$$

Võrdusest (2) saab leida tundmatu  $t$ :

$$BC = s = \frac{gt^2}{2}, \text{ siit } t = \sqrt{\frac{2s}{g}}.$$

Asendades saame, et

$$v_0 = \frac{\sqrt{2s^2}}{\sqrt{\frac{2s}{g}}} = \sqrt{\frac{2s^2 g}{2s}}; \quad v_0 = \sqrt{gs}.$$

Kasutades viimast avaldist arvuta esimese katse tulemuste põhjal kuuli algkiirus  $v_0$ .

Katse nr. 3. Horisondi suhtes  $45^\circ$  nurga all lastud kuuli tõusukõrguse määramine.

Horisondi suhtes  $45^\circ$  nurga all lastud kuuli algkiiruse  $v_0$  (joon. 26) võib lahutada kaheks komponendiks:  $v_1$  — ühtlase liikumise kiiruseks horisontaalsihis ja  $v_2$  — vertikaalselt üles suunatud ühtlaselt aeglustuva liikumise algkiiruseks.

Kuid

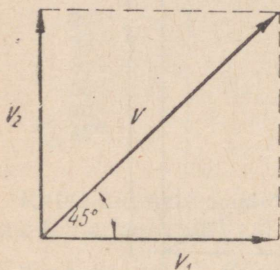
$$v_1 = v_2,$$

$$\text{järelikult } v_0^2 = v_1^2 + v_2^2 = 2v_2^2,$$

$$\text{siit } v_2^2 = \frac{v_0^2}{2}.$$

Tõusu kõrguse  $h$  määrame algkiiruse  $v_2$  kaudu järgmisest avaldisest:

$$v_2^2 = 2gh, \quad \text{siit } h = \frac{v_2^2}{2g}.$$



Joon. 26.

Katses nr. 2 leitud algkiiruse järgi võime arvutada tõusu kõrguse  $h$ . Saadud tulemust kontrollime katseliselt. Selleks asetame arvutamise teel leitud kõrgusele  $h$  laskesuunaga risti vertikaalsesse tasapinda statiivi rõnga püstolist  $\frac{s}{2}$  kaugusele. Rõnga keskpunkti asetame lauast kõrgusele  $h$ . Lastes nüüd püstolist horisondi suhtes  $45^\circ$  nurga all, peab kuul läbima rõnga keskpunkti.

Katse nr. 4. Kuuli lennukauguse määramine horisontaalsel laskmisel.

Aseta laua ääre lähedale statiiv, kinnita selle külge püstol ja suuna see horisontaalselt. Mõõda püstolis oleva kuuli kõrgus lauast. Arvuta kuuli lennukaugus  $s_1$  horisontaalsel laskmisel. Horisontaalsuunas liigub kuul ühtlaselt algkiirusega  $v_0$  ja läbib selles suunas teepikkuse

$$s_1 = v_0 t.$$

Vertikaalselt liigub kuul vaba langemise seaduse järgi:

$$h_1 = \frac{gt^2}{2},$$

siit

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}}.$$

Asetades selle  $t_1$  avaldise läbitud tee  $s_1$  avaldisse, saame

$$s_1 = v_0 \sqrt{\frac{2h_1}{g}} = \sqrt{\frac{2v_0^2 h_1}{g}}.$$

$v_0$  on sama, mis katse nr. 1 juures, sest lask tuleb teha vedru samasugusel surveastmel (samast hambast).

Arvuta  $s_1$  väärtus ja kontrolli seda katse teel.

**Katse nr. 5. Kuuli tõusukõrguse määramine laskmisel vertikaalselt üles.**

Teades kuuli algkiirust  $v_0$  (katse nr. 2), määra teoreetiliselt kuuli tõusukõrgus  $h_2$  valemi

$$h_2 = \frac{v_0^2}{2g}$$

järgi.

Surukruvi abil suuna püstol vertikaalselt üles ja kontrolli arvutamise teel saadud tõusu kõrgust katseliselt.

Vertikaalselt üles lastud kuul on vaja kinni püüda enne, kui see alla tagasi jõuab, sest langemisel võib ta püstolit vigastada.

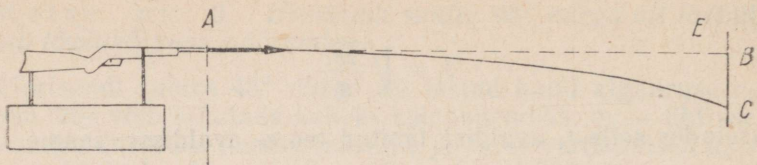
### Täiendavaid küsimusi.

1. Kumb võrdvõimelistest kuulitõukajatest samade ilmastikutingimuste ja kuuli kaalu juures saavutab parema tulemuse, kas see, kes võistleb Helsingis või see, kes võistleb Melbourne'is. On teada, et mida lähemal on koht maakera ekvaatorile, seda väiksem on seal vaba langemise kiirendus  $g$ .

2. Kuul väljub vintpüssi rauast kiirusega  $750 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$ . Kui laskenurk horisondi suhtes on  $45^\circ$ , siis lendab kuul 3,5 km kaugusele. Kui kaugele võiks jõuda sama laskenurga all ja sama algkiirusega lastud kuul õhuta ruumis?

Kui kõrgele tõuseks sama algkiirusega vertikaalselt üles lastud kuul õhuta ruumis?

3. Kuuli algkiiruse määramiseks kasutatakse järgmist võtet. Punkti  $A$  seatakse horisontaalselt laskeriist (joon. 27).



Joon. 27.

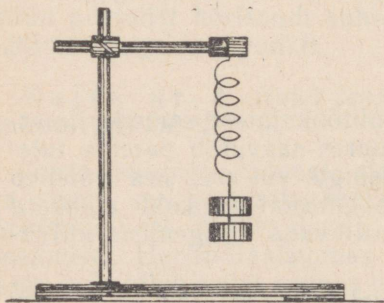
Toru avast 10 m kaugusele paigutatakse vertikaalne papist ekraan *E*. Kuul suunatakse punkti *B*. Märgitakse kuuli tegelik jälg *C* ekraanil. Seejärel mõõdetakse kaugus *BC*, olgu see 1 cm. Arvutada neist andmeist kuuli algkiirus  $v_0$ .

### Töö nr. 15.

#### Vedru võnkeseaduste uurimine.

Töövahendid. Kolm ühesugust silindrilist spiraalvedru, statiiv muhvi, näpitsa ja rõhtsa vardaga vedrude ülesriputamiseks, koormuste komplekt, mõõdujoonlaud ja stopper.

Katse nr. 1. Vedrupendli võnkeperioodi sõltuvus võnkuva keha massist.



Joon. 28.

Kinnita vedru statiivi näpitsasse ja koorma ta väiksema koormusega (joon. 28). Vii koormus tasakaaluasendist välja ja lase ta võnkuma. Stopperi abil mõõda näiteks 10 võnke kestus ja arvuta sellest ühe võnke välde ehk periood.

Pane vedru otsa võnkuma järjest suuremaid koormusi ja määra ka nende võnkeperioodid.

Andmed kanna tabelisse.

Katse nr.	Võnkuva keha mass $m$ (g)	Võnkeperiood $T$ (sek)	$\sqrt{m}$	$\frac{T}{\sqrt{m}} = c_1$
			Keskmine	

Tee järeldus tabeli viimase veeru andmete põhjal.

Kuna  $\frac{T}{\sqrt{m}} = c_1$  (konstant), siis  $T = c_1 \sqrt{m}$ .

Kuidas sõltub silindrilise spiraalvedru võnkeperiood võnkuvast massist?

Katse nr. 2. Vedrupendli võnkeperioodi sõltuvus vedru konstandist.

Vedru kõvadust iseloomustab vedru konstant  $k$ . Vedru konstant on arv, mis näitab, kui suure jõu mõjul pikeneb vedru ühe pikkusühiku võrra.

Kinnita muhviga statiivi varda külge rõhtne varras ja riputa selle külge vedru. Mõõda vedru esialgne pikkus. Aseta vedru otsa mingi koormus, mille kaal on teada, ja mõõda jällegi vedru pikkus. Neist andmetest arvuta, kui suure jõu mõjul pikenes vedru ühe sentimeetri võrra (vedru konstant).

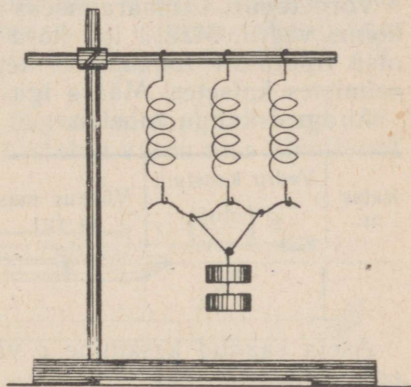
Määra ka nüüd võnkeperiood  $T$ .

Siis riputa varda külge paralleelselt kaks vedru (joon. 29). Määra nüüd vedru konstant ja võnkeperiood.

Korda katset ka kolme paralleelselt riputatud vedruga.

Kõikides katsetes pane võnkuma üks ja sama keha.

Katseandmed kanna tabelisse.



Joon. 29.

Katse nr.	Vedru konstant $k \left( \frac{\text{G}}{\text{cm}} \right)$	Võnkeperiood $T$ (sek)	$\sqrt{k}$	$T \cdot \sqrt{k} = C_2$
			Keskmine	

Tee järeldus tabeli viimase veeru andmete põhjal.

Kuna  $T \sqrt{k} = c_2$  (konstant), siis  $T = \frac{c_2}{\sqrt{k}}$ .

Kuidas sõltub silindrilise spiraalvedru võnkeperiood vedru konstandist?

Katse nr. 3. Vedrupendli võnkeperioodi valemi tuleta-  
mine.

Katsest nr. 1 selgub, et

$$T \text{ on võrdeline } \sqrt{m}.$$

Katsest nr. 2 selgub, et  $T$  on pöördvõrdeline  $\sqrt{k}$ .

Järelikult  $T$  on võrdeline  $\sqrt{\frac{m}{k}}$ .

Olgu viimases avaldises võrdeteguriks  $c$ , siis

$$T = c \sqrt{\frac{m}{k}} \text{ ehk } c = T \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Võrdeteguri  $c$  määramiseks kasuta katse ühte, kahte ja kolme vedru. Määra iga kord nende konstant, pane nende otsa riputatult võnkuma erinevate massidega kehi nii nagu eelmistes katsetes. Määra iga kord võnkeperiood.

Andmed kanna tabelisse.

Katse nr.	Vedru konstant $k \left( \frac{\text{dn}}{\text{cm}} \right)$	Võnkuv mass $m$ (g)	Võnkeperiood $T$ (sek).	$c = T \sqrt{\frac{k}{m}}$
			Keskmine	

Aseta saadud keskmine  $c$  väärtus vedrupendli võnkeperioodi valemisse (a).

Teooria annab  $c$  väärtuseks

$$2\pi \approx 6,28$$

Seega saame valemi vedrupendli võnkeperioodi arvutamiseks

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

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kuidas muutub autovedrude võnkeperiood, kui autosse istub rohkem reisijaid?

2. Sama jõu mõjul pikenes üks silindriline spiraalvedru 4 korda rohkem kui teine. Mõlemate vedrude otsa riputati ühesuguste massidega kehad, mis pandi võnkuma ühesuuruste amplituudidega piki vertikaaljoont. Kuidas suhtuvad nende võnkeperioodid?

3. Kahe ühesuguse silindrilise spiraalvedru otsa on riputatud massid 100 ja 400 grammi. Mõlemad pandi võnkuma ühesuguse amplituudiga piki vertikaaljoont. Kuidas suhtuvad nende võnkeperioodid?

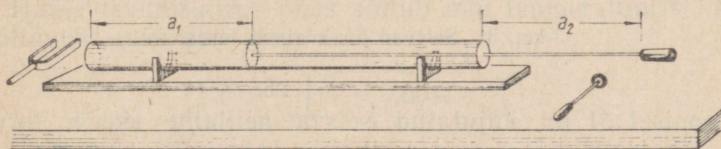
### Töö nr. 16.

#### Tooni lainepikkuse ja hääle levimiskiiruse määramine õhusamba resonantsi meetodil.

(1. variant).

Töövahendid. Resonantstoru kolviga, kaks erineva sagedusega heliharki, kummivasar, millimeeterjaotistega mõõdujoonlaud või mõõdulint ja toatermomeeter (ühine mittele rühmale).

Töö käik. Resonantstorul on üks ots suletud, teine aga lahine (joon. 30). Toru sisse on asetatud varda otsa kinnitatud



Joon. 30.

kolb. Varda teises otsas on käepide. Kolvil on pehmest riidest seibid, mille tõttu ta liigub torus sujuvalt ja puudutab tihedalt toru seinu. Varda pikkus kuni käepidemeni on võrdne toru pikkusega. See võimaldab kergesti määrata õhusamba pikkuse torus ( $a_1$ ). Selleks tuleb mõõta kolvivarda pikkus ( $a$ ) käepidemest kuni toru otsani ( $a = a_1$ ).

Hääle levimiskiirus  $v$  on arvutatav valemi

$$v = n\lambda$$

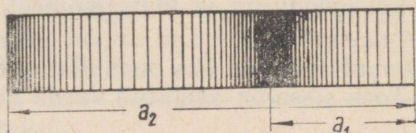
järgi, kus  $v$  on hääle levimiskiirus,  $\lambda$  — lainepikkus ja  $n$  tooni võnkesagedus. Hääleallikana kasutatakse tuntud võnkesagedusega heliharke. Katse abil määratakse helihargi poolt tekitatud toonile vastav lainepikkus  $\lambda$ .

Kummivasara löögiga vastu heliharki pane helihark helisema ja hoiä see resonantstoru lahise otsa ees. Kindla pikkuse juures hakkab torus olev õhusammas helihargi poolt tekitatud võnkesagedusega võnkuma ja tugevdab sellega heli-

hargi poolt tekitatud tooni. Helihargi poolt tekitatud häälelained, sattudes torru, peegelduvad kõlvilt. Kulgev ja peegelduv laine koos mõjudes annavad seisva pikilaine, mille tihendus on kolvi juures ja hõrendus toru lahtise otsa juures.

Kui helihargi heli on kõige tugevamini kuulda, siis mõõda vardal pikkus  $a_1$ . Jätkates varda nihutamist leia kolvi teine asend, kus heli on kõige tugevam. Mõõda kaugus  $a_2$  (käepidemest kuni toru kinnise otsani).

Mõõda mitu korda  $a_1$  ja  $a_2$  väärtusi, kusjuures üks õpilane hoiab helisevat heliharki toru lahtise otsa ees risti toru teljega (joon. 30), kuna teine õpilane nihutab kolvi. Lõpuks arvuta arvude  $a_1$  ja  $a_2$  aritmeetilised keskmised ja arvuta neist lainepikkus  $\lambda$ .



Joon. 31. Seisvad häälelained torus.

Joonisel 31 on kujutatud seisva helilaine skeem torus. Teame, et seisva laine tihedus on naabertihendusest  $\frac{\lambda}{2}$  kaugusel, seega

$$a_2 - a_1 = \frac{\lambda}{2}$$

ehk

$$\lambda = 2(a_2 - a_1).$$

Samuti selgub jooniselt, et

$$\lambda = a_1 + a_2.$$

Suurema täpsuse saamiseks tuleb võtta kahe  $\lambda$  väärtuse aritmeetiline keskmine (poolsumma), s. o.

$$\lambda = \frac{3a_2 - a_1}{2}.$$

Korda katset teise helihargiga, millel on eelmisest erinev võnkesagedus. Arvuta ka sel puhul hääle levimiskiirus  $v$ .

Andmed anna tabeli kujul, mille näide on toodud alljärgnevalt.

Katse nr.	$a_1$ (cm)	$a_2$ (cm)	$\lambda$ (cm)	$v$ ( $\frac{\text{m}}{\text{sek}}$ )	Märkusi
1.	19,0	58,5	72,25	340	Helihark $n_1 = 435$ Hz
2.	18,5	59,0	79,25	344	
3.	19,0	58,5	78,25	340	
4.	19,0	58,5	78,25	340	
5.	16,0	49,0	65,50	339	Helihark $n_2 = 517$ Hz
6.	15,5	49,5	66,50	344	
7.	16,0	49,5	66,25	342	
8.	15,5	49,5	66,50	344	

Keskmine . . . . .

Hääle levimiskiirus õhus sõltub õhu temperatuurist, selle sõltuvuse määrab valem:

$$v_1 = 331 \sqrt{1 + 0,004t} \frac{\text{m}}{\text{sek}},$$

kus  $t$  on õhu temperatuur.

Arvuta selle valemi järgi hääle levimiskiirus õhus, võttes  $t$  väärtuseks toaõhu temperatuuri. Võrdle niiviisi leitud kiiruse väärtust käesoleva katsega määratud kiiruse väärtusega  $v$ , mille leidsid seosest

$$v = n\lambda.$$

*Vea arvutamine.*

Hääle levimiskiirust arvutame valemi

$$v = n\lambda$$

abil, kus  $n$  on tooni võnkesagedus, mis on täpselt teada. Lainepikkuse  $\lambda$  leidmiseks tuleb mõõta suurused  $a_1$  ja  $a_2$ . Nii  $a_1$  kui ka  $a_2$  mõõtmisel võib teha vea, mis ei ületa 0,5 cm.

Kuna

$$\lambda = a_1 + a_2,$$

siis

$$\Delta\lambda = 1 \text{ cm.}$$

Hääle levimiskiiruse relatiivne viga

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda},$$

siit

$$\Delta v = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} v.$$

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kas sõltub hääle levimiskiirus võnkesagedusest?
2. On kaks ühesuguse võnkesagedusega heliharki. Kas annavad mõlemad täpselt ühekõrguse tooni, kui ühte heliharki leegil soojendada, teist aga mitte? Kas on sel juhul nende kooshelistamisel kuulda tuiklemist?
3. Kuidas muutub tooni kõrgus, kui grammofoniplaat panna kiiremini pöörlema?

### Töö nr. 17.

#### Tooni lainepikkuse ja hääle levimiskiiruse määramine õhusamba resonantsi meetodil

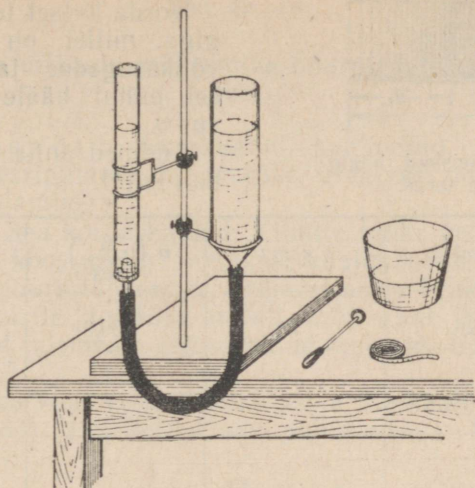
(2. variant).

Töövahendid. Kaks heliharki, kummivasar, jäme klaastoru, kummivoolik, pudelist valmistatud lehter, kaks korki, milledest kummastki on läbi pandud klaastoru, mõõdulint või mõõdujoonlaud, statiiv kahe muhvi, näpitsa ja rõngaga, anum vee jaoks ning kummirõngas.

**Töö käik.** Aseta statiiv töölaua ühe otsa lähedale. Koosta klaastorudest, kummivoolikust ja lehtrist joonisel 32 toodud katseseade. Selleks sule pudelist valmistatud lehter ja jämedam klaastoru korkidega, milledest on läbi pandud lühikesed klaastorud. Jäme klaastoru kinnita näpitsa abil statiivi külge lahtise otsaga üles. Pudelist valmistatud lehter asetati statiivi külge kinnitatud rõngasse. Klaastoru ja samuti lehtrit sulgevast korgist läbipandud torukesed ühenda paraja jämedusega kummivoolikuga.

Vala lehtrisse vett. Lehtri tõstmisega tõsta veenivoo klaastorus nii kõrgele, et see oleks umbes 20 cm võrra allpool toru ülemisest äärest.

Pane helihark helisema, (löö seda kummivasaraga) ja hoiu seda klaastoru lahtise otsa ees. Samal ajal laseb teine õpilane lehtrit aeglaselt allapoole. Selle tagajärjel langeb ka



Joon. 32. Katseseade hääle lainepikkuse määramiseks.

veenivoo klaastorus ja pikeneb veepinna kohal olev õhusamm. Teatud õhusamba pikkuse juures hakkab torus olev õhusamm helihargile kaasa helisema. Märki kummirõngaga veenivoo asukoht siis, kui helihargi heli oli kuulda kõige tugevamini. Sel korral on torusolev õhusamm resonantsis helihargi võnkumisega, kusjuures veepinna juures asub seisva helilaine tihendus ja toru lahtise otsa juures seisva laine hõrendus.

Seisva laine puhul on kaugus tihendusest naaberhõrenduseni  $\frac{1}{4}$  lainepikkust. Seega

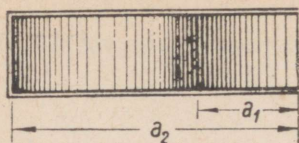
$$\lambda = 4l,$$

kus  $l$  on kaasaheliseva õhusamba pikkus veepinnast kuni toru lahtise otsani.

Helihargile on märgitud ta võnkesagedus  $n$ . Teame, et laine levimiskiirus  $v$  arvutatakse valemi järgi

$$v = n\lambda.$$

Arvuta selle valemi järgi hääle levimiskiirus, kasutades töös leitud lainepikkuse väärtust.



Joon. 33. Seisvad häälelained torus.

Korda katset teise helihargiga, millel on teistsugune võnkesagedus ja arvuta ka sel puhul hääle levimiskiirus  $v$ .

Andmed anna järgmise tabeli kujul.

Katse nr.	$l$ (cm)	$\lambda$ (cm)	$v$ ( $\frac{m}{sek}$ )	Märkusi
1. 2. 3. 4.	19,5	78	339,3	Helihark $n_1 = 435$ Hz
5. 6. 7. 8.				Helihark $n_2 =$

Keskmine . . . . .

Hääle levimiskiirus õhus sõltub õhu temperatuurist. Selle sõltuvuse määrab valem:

$$v_1 = 331 \sqrt{1 + 0,004t} \frac{m}{sek},$$

kus  $t$  on õhu temperatuur.

Arvuta hääle levimiskiirus õhus ka selle valemi järgi, võttes  $t$  väärtuseks toaõhu temperatuuri. Võrdle niiviisi leitud kiiruse väärtust käesoleva katsega määratud kiiruse väärtusega  $v$ , mille leidsid seosest

$$v = n\lambda.$$

Mõõtmisvigade tõttu on leitud hääle levimiskiirused erinevad.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kas sõltub hääle levimiskiirus tooni kõrgusest?

2. Toon lainepikkusega 17 cm levib õhus kiirusega  $340 \frac{m}{sek}$ .

Kui suure lainepikkusega levib see hääle vees?

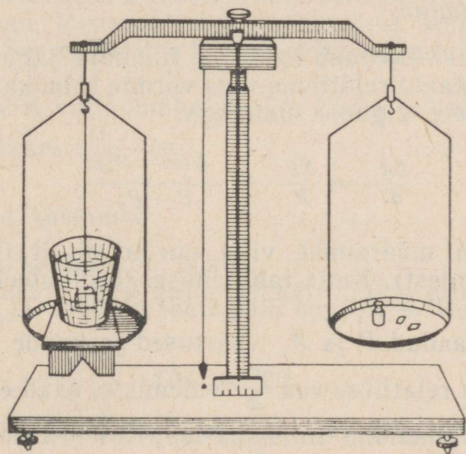
3. 60 hambaga ketassaag tekitab pöörlemisel tooni võnkesagedusega 1600 Hz. Kui suur on selle sae pöörlemiskiirus?

### Tahke keha erikaalu määramine hüdrostaatilise kaalumise teel.

Töö vahendid. Kangkaalud, kaaluvihid, tahke keha, niit keha ülesriputamiseks, pingike, veeklaas, pulk õhumullikeste kõrvaldamiseks.

**Töö käik.** Sea korda kaalud. Kinnita tahke keha niidi otsa ja aseta see koos niidiga vasakule kaalukausile. Kaalu keha võimalikult suure täpsusega. Seejärel aseta keha parempoolsele kaalukausile ja määra uuesti keha kaal. Kahel kaalumisel saadud tulemuste aritmeetiline keskmine on antud keha usutav kaal  $P$ .

Määra keha kaal vees. Selleks aseta üle kaalukaasi pingikene (joon. 34) ja sellele klaas puhta veega. Soovitav on



Joon. 34.

kasutada destilleeritud vett. Uuritav keha riputa niidi abil kaalukangi otsas oleva konksu külge ja lase ta siis ettevaatlikult üleni vette. Vees olev keha ei tohi puudutada anuma seinu ega veepinda. Kui keha küljes on õhumulle, siis kõrvalda need, puudutades neid traadi või pulgaga. Ka vees määra keha kaalu kaks korda. Keha kaaluks vees ( $P_v$ ) on saadud tulemuste aritmeetiline keskmine.

Vedelikku asetatud kehale mõjuva üleslükkejõu tõttu kaalub keha vees vähem, kui õhus, seega  $P_v < P$ . Kaalude vahe

$P - P_v$  on võrdne keha poolt väljatõrjutud vee kaaluga. Kuna ühe grammi puhta ( $t = 4^\circ \text{C}$ ) vee ruumala on väga suure täpsusega  $1 \text{ cm}^3$ , siis vette lastud tahke keha ruumala

$$V = (P - P_v) \text{ cm}^3.$$

Keha erikaalu  $d$  väljendab seos

$$d = \frac{P}{V};$$

meie katsel aga  $V = (P - P_v)$ , seega

$$d = \frac{P}{P - P_v}.$$

*Vea arvutamine.*

Aine erikaal väljendub kaalu ja ruumala jagatisena. Seejärel on erikaalu relatiivne viga võrdne keha kaalu ja ruumala relatiivsete vigade summaga:

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta(P - P_v)}{P - P_v}.$$

Keha kaalu määramise viga on tavaliselt  $0,01$  grammi (oleneb kaaludest). Kuna lahutamisel absoluutsed vead liituvad, siis vahe  $P - P_v$  vee ülemäär on  $0,02 \text{ G}$ .

Asetades saadud  $P$  ja  $P_v$  väärtused ja nende absoluutsed vead erikaalu relatiivse viga  $\frac{\Delta d}{d}$  valemisse, saad erikaalu suhtelise viga. Relatiivse viga järgi leiad absoluutse viga:

$$\Delta d = \left[ \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta(P - P_v)}{P - P_v} \right] \cdot d.$$

### Täiendavaid küsimusi.

1. Keha, mille ruumala on  $5 \text{ cm}^3$  kaalub õhus  $39 \text{ G}$ . Kui palju kaalub see keha vees? Kui palju petrooleumis? Petrooleumi erikaal on  $0,8 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$ .

2. Kuidas määrata tahke keha erikaalu, kui see vees ei vaju põhja?

3. Kuidas oleneb keha erikaal ta temperatuurist?

## Õhu erikaalu määramine.

Töövahendid. Kangkaalud, kaaluvihid, naelu ja kuiva liiva kaalude tasakaalustamiseks, kraaniga varustatud ümmarguse põhjaga kolb riidest kotis, paksuseinaline kummi-voolik, õhuhõrenduspump, ämber veega ja mensuur.

**Töö käik.** Riputa riidest koti sisse asetatud kolb vasakpoolsele kaalukangile. Tasakaalusta kaalud võimalikult hoolasti väikeste naelte või liivaga. Ava kolvi kraan ja pumpa kolvist õhku välja. Seejärel sule kraan ja tee kindlaks väljapumbatud õhu kaal.

Võta kolb kaaludelt ja vabasta ta kotist. Pista kolb kraaniga ees veega täidetud ämbrisse. Vee all ava ettevaatlikult kraan. Vesi tungib seni kolbi kuni õhu rõhk kolvis oleva vee peal muutub võrdseks atmosfääriõhu rõhuga. Nüüd sule vee all uuesti kraan. Mensuuri abil tee kindlaks kolbi tunginud vee ruumala. See on võrdne kolvist väljapumbatud õhu ruumalaga.

Teades kolvist väljapumbatud õhu kaalu ja selle ruumala, arvuta õhu erikaal  $\frac{G}{\text{cm}^3}$ -tes.

## Täiendavaid küsimusi.

1. Kui palju kaalub 1 m<sup>3</sup> õhku?
2. Nimeta mõni gaas, mille erikaal on õhu erikaalust suurem? väiksem?

## Töö nr. 20.

## Pidevuse võrrandi katseline tuletamine.

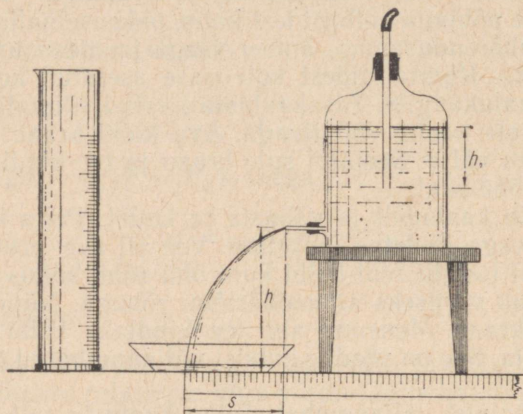
Töövahendid. Mariotte'i anum, pingike anuma aluseks, suurem mensuur, lai veevann, mõõdujoonlaud, nihkkaaliiber, stopper, püstlood, tükike kummivoolikut, kork.

**Töö käik.** Vedeliku statsionaarsel voolamisel mitteühtlase ristlõikega torus on vedeliku kiirused toru erinevates ristlõigetes pöördvõrdelised ristlõigete pindaladega.

Olgu ühes kohas toru ristlõike pindala  $S_1$  ja vedeliku voolamise kiirus seal  $v_1$ . Toru teises kohas olgu ristlõike pindala  $S_2$  ja vedeliku kiirus seal  $v_2$ . Pidevuse võrrand väidab, et

$$v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2. \quad (1)$$

Katses kasuta Mariotte'i anumad (joon. 35). See on valmistatud klaaspudelist, mille põhja lähedal on ava. Seda sulgevast korgist on läbi pandud klaastoru. Pudelit ülevast sulgevast korgist on läbi pandud klaastoru, mille otsas on tükike kummivoolikut.



Joon 35. Katseseade pidevuse võrrandi tuletamiseks.

Pidevuse võrrandi tuletamisel lase Mariotte'i anumast harutoru kaudu vett välja voolata. Üheks ristlõike pindalaks ( $S_1$ ) on pudeli ristlõike pindala, teiseks pindalaks ( $S_2$ ) aga harutoru ristlõike pindala. Tuleb määrata veenivoo langemise kiirus  $v_1$  pudelis ja harutorust väljuva veejoo kiiruse horisontaalne komponent  $v_2$ .

Nihkkaliibriga mõõda harutoru sisemine läbimõõt  $d$ . Selle abil arvuta toru ristlõike pindala valemi järgi

$$S_2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (2)$$

Täida anum veega ja sule see korgiga, millest on läbi pandud klaastoru. Klaastoru alumine ots olgu umbes 10 cm võrra veenivoost allpool. Sule kummivoolik korgiga selleks, et takistada vee väljavoolamist harutorust.

Aseta anum alusele. Anuma välisseinale kleebi veenivood tähistav pabeririba.

Eemalda kork kummivoolikust ja samal ajal pane käima stopper. Teine õpilane mõõdab veejoo purskamise kauguse  $s$  harutoru otsasi.

Kui veenivoo anumad on silmanähtavalt langenud (kuid mitte madalamale klaastoru alumisest otsast), siis katkesta vee voolamine (sule korgiga kummivoolik) ja pane samaaegselt seisma stopper.

Mensuuri abil mõõda vanni voolanud vee ruumala  $V$ . Määra samuti veenivoo langus pudelis ( $h_1$ ).

Harutorust voolava vee kiiruse horisontaalne komponent arvuta valemist

$$s = v_2 t,$$

kus  $s$  on veejoa pürskumise kaugus ja  $v_2$  tema kiiruse horisontaalne komponent.  $t$  on aeg, mille jooksul veepiisk langes kõrguselt  $h$  ja liikus samaaegselt horisontaalsihis kaugusele  $s$ . Veepiisa langemise kõrgus ja langemise aeg on seotud valemiga

$$h = \frac{gt^2}{2}.$$

Siit

$$t^2 = \frac{2h}{g},$$

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Teades tee pikkuse  $s$  ja liikumise aja  $t$ , arvuta veejoa kiiruse horisontaalne komponent  $V_2$ :

$$v_2 = \frac{s}{t} = \frac{s}{\sqrt{\frac{2h}{g}}} \quad (3)$$

Anumast voolanud vee ruumala  $v$  ja veenivoo langemise kõrguse  $h_1$  kaudu määra anuma ristlõike pindala  $S_1$ .

$$S_1 = \frac{V}{h_1}. \quad (4)$$

Veenivoo langemiskiiruse anumad saad kõrguse  $h_1$  ja stopperiga mõõdetud aja  $t_1$  kaudu

$$v_1 = \frac{h_1}{t_1} \quad (5)$$

Andmed kannavahikusse alltoodud järjekorras:

Harutoru läbimõõt  $d = \dots$

Harutoru ristlõike pindala  $S_2 = \dots$

Veejoa langemise kõrgus  $h = \dots$

Veejoa purskumise kaugus  $s = \dots\dots$   
Veejoa kiiruse horisontaalne komponent  $v_2 = \dots\dots$   
Voolanud vee ruumala  $V = \dots\dots$   
Veenivoo langemise kõrgus  $h_1 = \dots\dots$   
Anuma ristlõike pindala  $S_1 = \dots\dots$   
Vee voolamise kestus  $t_1 = \dots\dots$   
Veenivoo langemise kiirus  $v_1 = \dots\dots$   
Korrutis  $v_1 S_1$   
Korrutis  $v_2 S_2$

Võrdle korrutisi  $v_1 S_1$  ja  $v_2 S_2$  ja tee järeldus.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Miks ei voola vedelik Mariotte'i anumast siis, kui ülemine kork on tihedalt suletud ja kork sulgeb ka kummivooliku?
2. Kui suur on rõhk vertikaalse klaastoru alumise otsa juures? Kas see rõhk muutub vedeliku voolamisel?
3. Kuidas muutuks veejoa purskumise kaugus, kui ülemise toru kaudu anumasse suuga õhku puhuda?
4. Kuidas mõjub õhu takistus veejoa purskumise kaugusele?

## IV. MOLEKULAARFÜÜSIKA JA SOOJUS

Töö nr. 21.

### Vedeliku pindpinevusteguri määramine tilgameetodil.

Töövahendid. Kaks keeduklaasi, pürett, kangkaalud, kaaluvihid, statiiv koos muhvi ja näpitsaga.

Töö käik. Kaalu üks keeduklaas. Sule püreti kraan. Kui pürett puudub, siis sule näpitsatega pipeti otsa kinnitatud kummitoru. Vala vett püretti ja kinnita see siis statiivi külge (joon. 36). Aseta püreti otsa alla kaalumata keeduklaas ja ava kraan või näpits niivõrd, et vedelik tilguks küllalt aeglaselt, umbes 30—50 tilka minutis. Nüüd asetage püreti otsa alla kuiv, kaalutud keeduklaas ja laske sinna langeda näiteks 100 tilka uuritavat vedelikku. Sule püreti kraan või näpits. Kaalu keeduklaas koos veega, leia vedeliku mass ja arvuta ühe tilga mass  $m$ .

Tilk väljus torust, mille ava läbimõõt  $d$  on . . . . mm ja mille mõõtmise viga  $\Delta d$  on . . . . mm.

Tilga kaal on  $mg$  düüni, kus  $g$  on raskuskiirendus. Tilga kaeluse ümbermõõt katkemise hetkel on niisama suur kui toru ava ümbermõõt, s. o.  $\pi d$ .

Tähista pindpinevustegur tähega  $\alpha$ . Pindpinevusjõud, mis hoiab tilka toru otsa küljes, on  $\pi d \alpha$ . Tilga lahtirebimise hetkel on see pindpinevusjõud võrdne tilga kaaluga  $mg$ . Seega

$$\pi d \alpha = mg.$$

Siit

$$\alpha = \frac{mg}{\pi d} \left( \frac{dn}{cm} \right).$$

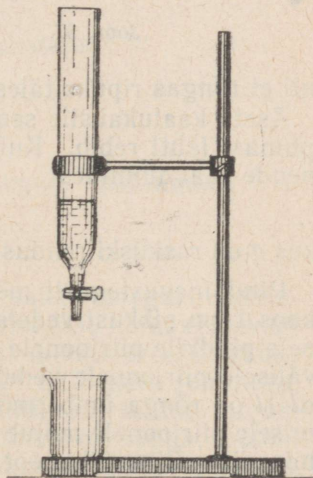
Vea arvutamise. Arvud  $\pi$  ja  $g$  on teada suure täpsusega. Küllalt täpselt saab määrata ka 100 tilga kaalu, järelikult saab määrata suure täpsusega ka ühe tilga massi  $m$ . Niiviisi sõltub pindpinevusteguri relatiivne viga peaaesjalikult toru ava läbimõõdu mõõtmise relatiivsest veast, seega

$$\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = \frac{\Delta d}{d}.$$

Siit järgneb, et

$$\Delta \alpha = \frac{\Delta d}{d} \cdot \alpha$$

Vastus koos võimaliku veaga anna ümardatult.

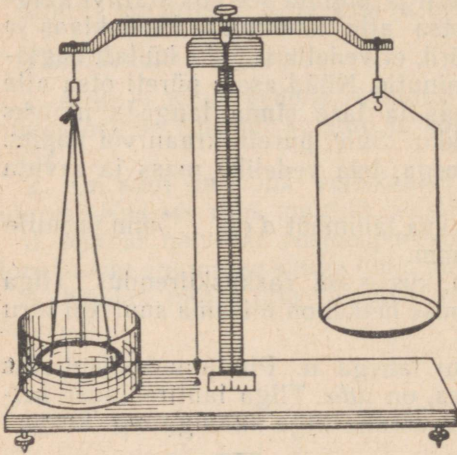


Joon. 36.

## Vedeliku pindpinevusteguri määramine vedeliku pinnast rõnga lahtirebimise teel.

Töö vahendid. Laiem klaasanum, kolme aasaga varustatud peenikesest traadist rõngas, niiti, kangkaalud, kaaluvihid, koormused kaalude tasakaalustamiseks, termomeeter.

Töö käik. Sea kaalud kohale. Kõrvalda vasakpoolne kaalukauss ja riputa selle asemele kaalu konksu otsa kolme niidi abil traatrõngas (joon. 37). Kuna traatrõngas kaalub vähem kui paremal pool olev kaalukauss, siis riputa konksu otsa, millel ripub traatrõngas, raskusi, kuni kaalud on tasakaalus. Nüüd aseta rõnga alla anum vedelikuga, mille pindpinevustegurit on tarvis mõõta. Tuleb jälgida, et rõngas igalt poolt ühteviisi puudutaks vedeliku pinda. Vajaduse korral muuda niitide pikkusi,



Joon. 37.

nii et rõngas ripuks täiesti horisontaalselt.

Aseta kaalukaussile seni vihte, kuni rõngas ennast vedeliku pinnast lahti rebib. Kui vihtide mass on  $m$  grammi, siis nende kaal düünides

$$P = mg,$$

kus  $g$  on raskuskiirendus  $\frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$ -s.

Pindpinevustegurit mõõdetakse jõuga düünides, mis hoiab koos 1 cm pikkust vedelikupinna piirjoont. Kuna 1 cm pikkusele pindkile piirjoonele mõjub jõud  $\alpha$  düüni, siis kogu rõnga välisele piirjoonele vedeliku pinnaga mõjub pindpinevusjõud  $\alpha l$  ( $l$  on rõnga ümbermõõt). Kuid ka vedeliku ja rõnga sise-misele piirjoonele mõjub niisama suur jõud (kuna rõnga sise-mine ja väline läbimõõt on peenikese traadi korral peaaegu võrdsed), siis rõngale mõjuv pindpinevusjõud on  $2\alpha l$ . Kuid  $l = \pi d$ , kus  $d$  on rõnga keskmine läbimõõt, siis pindpinevusjõud on  $2\pi d\alpha$ .

Rõnga lahtirebimisel vedelikukilelt on vihtide kaal  $mg$  võrdne pindpinevusjõuga  $2\pi da$ , seega

$$2\pi da = mg.$$

Siit järgneb, et

$$\alpha = \frac{mg}{2\pi d}.$$

Pindpinevustegur sõltub ka vedeliku temperatuurist. Seejärest mõõda vedeliku temperatuur ja märgi see töötulemuse juurde.

*Vea arvutamine.*

Pindpinevusteguri avaldises esinevatest suurustest on suure täpsusega teada arv  $\pi$  ja raskuskiirendus  $g$ . Seega sõltub pindpinevusteguri relatiivne viga  $\frac{\Delta\alpha}{\alpha}$  ainult vihtide kaalu ja rõnga läbimõõdu määramise veast. Kuna arv  $\alpha$  on määratud jagatisega, siis ta relatiivne viga on võrdne jagatava ja jagaja relatiivse vea summaga: seega

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta d}{d}.$$

Sellest järgneb, et

$$\Delta\alpha = \left( \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta d}{d} \right) \alpha.$$

Töö tulemus koos ta veaga anna ümardatult.

### Töö nr. 23.

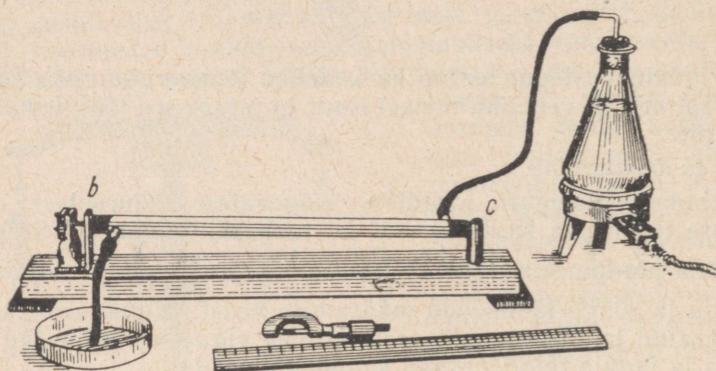
#### Tahke keha joonpaisumisteguri määramine

(1. variant).

Töövahendid. Katseriist joonpaisumisteguri määramiseks (puust aluslaud kahe metalltoega), kolm erinevast ainet (raud, alumiinium ja valgevask) metallvarrast, igaüks eraldi klaastorus, piirituslamp või elektripliit koos juhtmega, klaaskolb või plekktrummel korgiga, millesse tehtud august on läbi pandud kõver klaastoru kummivoolikuga, madal anum, 50 cm pikkune millimeeterjaotusega mõõdujoonlaud, kruvikaliiber ja toatermomomeeter (ühine kõigile).

**Töö käik.** Mõõda võimalikult täpselt uuritava metallvarda pikkus. Klaastoru üks haru ühenda kummivooliku abil kol-

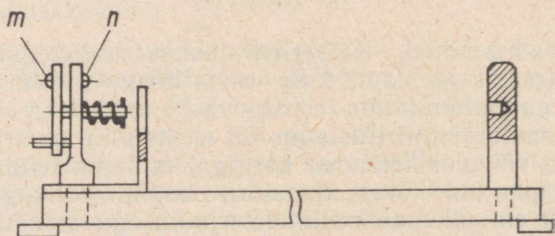
viga, milles saab keeta vett. Uuritav varras aseta alusele nii, nagu on näha jooniselt 38. Seejuures tuleb jälgida, et klaastoru sulgevad kummikorgid ei puutuks vastu metalltugesid *b* ja *c*. Kolvis tekkiv aur läbib klaastoru ja soojendab selle sees olevat metallvarrast. Auru ja sellest kondenseerunud vee



Joon. 38.

ärajuhtimiseks on klaastorul veel teine harutoru. Selle harutoru otsa tõmba tükikese kummivoolikut, millega juhid kondenseerunud vee madalasse anumasse.

Mõõda kruvikaliibriga nukkide *m* ja *n* vaheline kaugus (joon. 39) täpsusega 0,01 mm. Nüüd hakka keetma kolvis olevat vett. 4—5 minutit pärast vee keemahakkamist mõõda uuesti nukkide *m* ja *n* vaheline kaugus. Viimase ja esimese mõõtmistulemuse vahe annabki varda pikenemise *s*. Varda lõpptemperatuur on võrdne keemisel tekkinud auru temperatuuriga, s. o. 100° C.



Joon. 39. Tahke keha joonpaisumisteguri määramise riist.

Lase katseriist jahtuda ja asenda siis uuritud varras teisest materjalist vardaga. Teise vardaga korda samu mõõtmisi, mis esimesegagi. Samuti talita ka kolmanda vardaga.

Katseandmed kannu tabelisse.

Katse nr.	Uuritav materjal	Algpikkus $l_0$ (mm)	Nukkidevaheline kaugus		Pikenemine $s$ (mm)	Algtemp. $t_2$	Lõpptemp. $t_1$	Varda temp. tõus $t=t_1-t_2$	Joonpaisumistegur $\beta$
			algul (mm)	lõpul (mm)					
1.	Valgevask	400	16,37	16,93	0,56	21	100	79	0,000177
2.	Alumiinium	400							
3.	Raud	400							

Joonpaisumistegur on arvuliselt võrdne pikkuse juurdekasvuga, mis varras saab soojenemisel  $1^\circ \text{C}$  võrra, kui varda algpikkus  $0^\circ \text{C}$  juures on üks pikkusühik.

Varras, pikkusega  $l_0$  pikenes temperatuuri tõusmisel  $t^0$  võrra  $s$  millimeetrit, järelikult pikenes 1 mm pikkune varras temperatuuri tõusmisel  $t^0$  võrra pikkuse  $\frac{s}{l_0}$  mm võrra; varras pikkusega 1 mm pikenes temperatuuri tõusmisel  $1^\circ$  võrra  $\frac{s}{l_0 t}$  mm. Seega varda aine joonpaisumistegur

$$\beta = \frac{s}{l_0 t}.$$

*Vea aroutamine.*

Joonpaisumisteguri relatiivne viga  $\frac{\Delta\beta}{\beta}$  on võrdne varda pikenemise, ta algpikkuse ja temperatuuri tõusu mõõtmise relatiivse vea summaga, s. t.

$$\frac{\Delta\beta}{\beta} = \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta l_0}{l_0} + \frac{\Delta t}{t}.$$

Mõõtes kruvikaliibriga nukside  $m$  ja  $n$  vahelist kaugust ei ületa viga 0,01 mm. Varda pikenemise määramiseks tuli teha kaks mõõtmist, seega ulatub pikenemise määramise absoluutne viga 0,02 mmi-ni. Mõõtes varda algpikkust joonlauaga, millel on millimeeterjaotus, võib teha vea kuni 1 mm. Tempe-

ratuuri mõõtmisel võime teha vea  $0,5^\circ$ . Temperatuuri tuli mõõta kaks korda, seega vead liituvad ja

$$\Delta t = 1^\circ.$$

Asetades need absoluutsete vigade väärtused joonpaisumisteguri relatiivse vea valemisse, saame

$$\Delta\beta = \left( \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta l_0}{l_0} + \frac{\Delta t}{t} \right) \beta$$

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kuidas sõltub keemistemperatuur õhurõhust?
2. Kuidas on pind- ja ruumpaisumistegur seotud joonpaisumisteguriga?
3. Millistel ainetel on väike joonpaisumistegur?

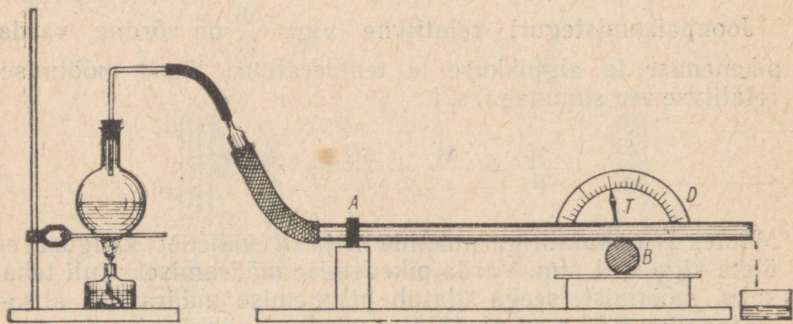
### Töö nr. 24.

#### Tahke keha joonpaisumisteguri määramine

(2. variant).

Töövahendid. Metalltoru puitalusel, piirituslamp või elektripliit koos juhtmega, klaaskolb või plekktrummel korgi ja kõvera klaastoruga, kummivoolik, madal anum aurust kondenseerunud vee jaoks, statiiv kahe muhvi, näpitsa ja rõngaga, millimeeterjaotusega mõõdujoonlaud või mõõdulint, kruvikaliiber või nihkkaliiber, toatermomeeter, tuletikud.

**Töö käik.** Koosta loetletud töövahenditest joonisel 40 kujutatud katseseade.



Joon. 40.

Koostatud seadme abil määra toru aine joonpaisumistegur. Toru on asetatud puitalusel kinnitatud kahele klotsile. Punktis  $A$  on toru kinnitatud klotsi külge. Toru teine ots toetub punktis  $B$  metallvardale, mis võib veereda mööda klaasplaati. Metallvarda külge on kinnitatud osuti  $T$ . Viimase taha toe külge on vertikaalselt kinnitatud mall  $D$ .

Algul mööda võimalikult täpselt toru pikkus punktist  $A$  kuni punktini  $B$ . Mõõta tuleb kinnitusklambri sellest äärest, mis on punkt  $B$  pool, kuni varda keskpunktini. Kruvikaliibri või nihkkaliibriga mõõda metallvarda läbimõõt ja määra sellest varda raadius  $r$ . Seejärel vala kolbi või trumlisse vett ja ühenda kummivooliku abil kolb metalltoruga. Toru teise otsa alla pane madal anum kondenseerunud vee jaoks. Termomeetrilt loe toaõhu temperatuur ja märgi osuti  $T$  asukoht mallil. Süüta piirituslamp või aseta trummel elektripliidile ja oota, kuni vesi hakkab keema.

Kui vesi hakkab kolvis keema, siis läbib aur toru ja tõstab ta temperatuuri kuni  $100^{\circ}\text{C}$ -ni. Selle tulemusena pikeneb metalltoru, selle punkt  $B$  nihkub edasi ning pöörab metallvarrast ja koos sellega ka osutit  $T$ . Varda pöördumisnurka näitab osuti nihkumine malli kohal. Kui osuti nihkumine lõpeb, siis katkestame vee keetmise.

Osuti pöördumisnurga  $\alpha$  ja varda raadiuse  $r$  kaudu võime arvutada toru pikenemise  $s$ . Kui varras teeb täispöörde, s. o.  $360^{\circ}$ , siis nihkub torul asuv punkt  $B$  edasi varda übermõõdu  $2\pi r$  võrra. Kui varras pöörduv  $1^{\circ}$  nurga võrra, siis nihkub punkt  $B$  edasi  $\frac{2\pi r}{360}$  võrra ja  $\alpha$ -kraadise pöörde puhul  $\frac{2\pi r \alpha}{360}$  võrra. Niisama palju kui nihkub edasi punkt  $B$ , nihkub ka toru keskpunkt, järelikult on toru  $AB$  kogu pikenemine  $k$  a  $k$  s k o r d a s u u r e m toru ja varda puutepunkti  $B$  edasinihkumise suurusest, s. o.

$$2 \cdot \frac{2\pi r \alpha}{360}$$

ehk

$$\frac{\pi r \alpha}{90}$$

Seega

$$s = \frac{\pi r \alpha}{90}$$

Joonpaisumistegur on arvuliselt võrdne pikkuse juurdekasvuga, mida varras saab soojenemisel  $1^{\circ}\text{C}$  võrra, kui varda algpikkus  $0^{\circ}\text{C}$  juures on üks pikkusühik.

Varras, pikkusega  $l_0$  pikenes temperatuuri tõusmisel  $t^0$  võrra  $s$  millimeetrit, järelikult pikenes 1 mm pikkune varras temperatuuri tõusmisel  $t^0$  võrra pikkuse  $\frac{s}{l_0}$  mm ja varras pikkusega 1 mm pikenes temperatuuri tõusmisel 1 võrra  $\frac{s}{l_0 t}$  mm. Seega joonpaisumistegur

$$\beta = \frac{s}{l_0 t},$$

mille järgi arvuta toru materjali joonpaisumistegur  $\beta$ .

Katse teel leitud joonpaisumisteguri väärtust võrdle vastavas tabelis antud joonpaisumisteguri väärtusega.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kas sõltub joonpaisumistegur keha temperatuurist?
2. Kas ja kuidas sõltub aine tihedus ta temperatuurist?
3. Tallinna televisioonimasti kõrgus on 192 m. Kui palju muutub televisioonimasti kõrgus tingituna temperatuuri muutusest, kui temperatuur tõuseb  $-25^\circ\text{C}$ -st (talvel)  $+25^\circ\text{C}$ -ni (suvel)?

### Töö nr. 25.

#### Browni liikumise vaatlemine.

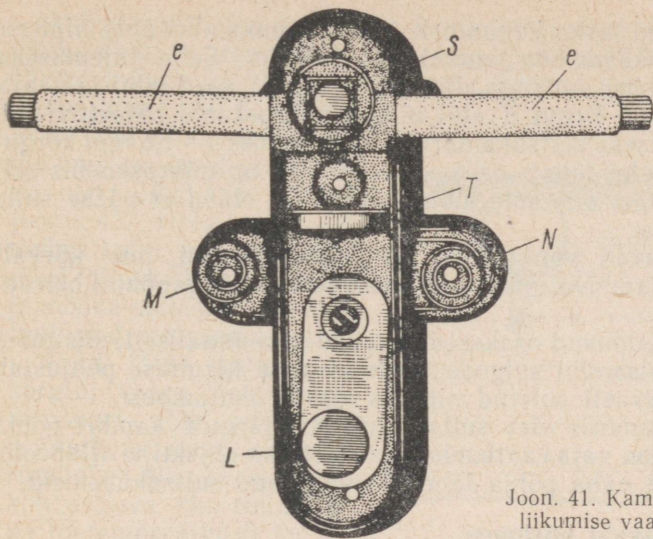
Töövahendid. Mikroskoop, kamber Browni liikumise vaatlemiseks suitsuses õhus, akumulaatorite patarei, kolm ühendusjuhet, lüliti, kummiprits, pabeross, tuletikud.

**Töö käik.** Varusta mikroskoop objektiiviga ja okulaariga, millel on suurim suurendus. Suurendus on märgitud metalltorule, millesse on monteeritud läätsed. Kui näiteks objektiiviga suurendus on 8 ja okulaari suurendus on 15, siis on mikroskoobi suurendus  $8 \times 15 = 120$ .

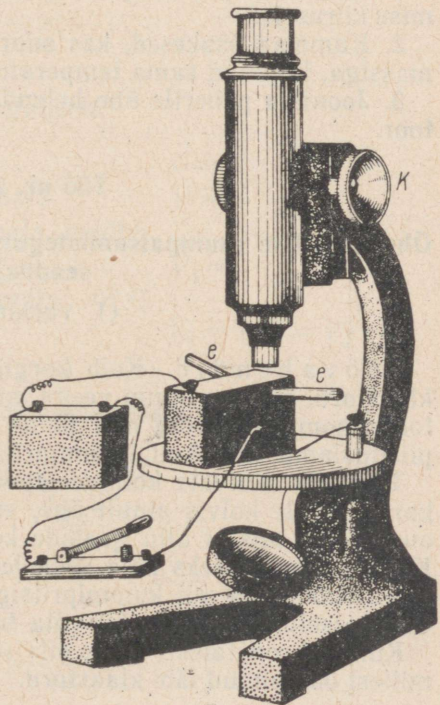
Kambril Browni liikumise vaatlemiseks suitsuses õhus kujutab joonis 41. Siin  $L$  on elektrilamp,  $M$  ja  $N$  — juhtmete kinnitusklemmid,  $T$  — kumerlääts, mis suunab tugeva valguse klaasseintega kambrile  $S$ . Suitsu juhatakse kambrisse niplite  $e$  kaudu. Kogu seadeldis kaetakse vastava kattega, et lambi valgus ei segaks mikroskoobiga vaatlemist.

Aseta kamber Browni liikumise vaatlemiseks mikroskoobi alusele. Ühenda akumulaatorite patarei kambriksese klemmidega  $M$  ja  $N$  ning lülitiga nii, nagu on näha joonisel 42.

Pane pabeross kummipritsi otsa, suru õhk pritsist välja ja süüta siis pabeross. Lase õhku aegamööda tungida pritsi



Joon. 41. Kamber Browni liikumise vaatlemiseks.



Joon. 42.

sisse. Nüüd torka kummipritsi ots suitsukambri ühte niplisse ja suru pikkamööda kummiprits tühjaks. Selle tulemusena täitub kamber suitsuga. Jäta algul niplite avad lahti ja vaata mikroskoopi. Kruvi *K* abil nihuta mikroskoobi objektiivi nii, et see asetseks suitsukambri klaasist umbes 1—1,5 mm kõrgusel. Kui helenduvate osakeste liikumine on mikroskoobis selgesti nähtav, siis sule mõlemad niplid. Nüüd ei pääse suits enam välja.

Helenduvad punktikesed on suitsukübemed, mis kõrvalt langevas lambivalguses paistavad tumedal tagapõhjal heledamatena.

Kui helenduvad osakesed liiguvad ühesuunaliselt, siis tuleb niplid hoolsamini sulgeda. Ühesuunalise liikumise põhjustab nimelt halvasti suletud niplites tekkiv õhutõmbus.

Kuna kambri oleval suits vajub järk-järgult kambri põhja poole, siis on vaja vaatlemise ajal lasta ka objektiivi allapoole, et selgesti näha põhja lähedale valgunud suitsukübemeid.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kuidas mõjub temperatuuri tõus Browni osakeste liikumise kiirusele?
2. Kummad osakesed, kas suurema massiga või väiksema massiga, liiguvad sama temperatuuri juures kiiremini?
3. Joonista paberile ühe helenduva Browni osakese trajektor.

### Töö nr. 26.

### Õhu termilise ruumpaisumisteguri määramine (Gay-Lussac'i seadus).

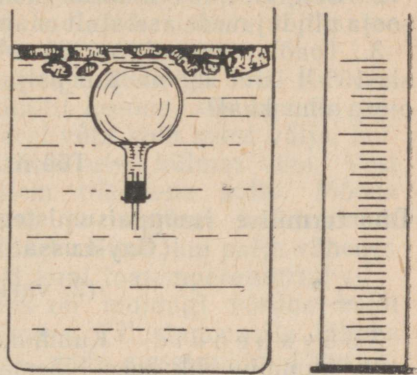
(1. variant.)

Töövahendid. Kolb korgiga, millest on läbi pandud klaastoru, suurem anum veega, anum lume või jäätükkidega, toatermomeeter (võib olla ühine tervele klassile), mensuur, piirituslamp, tuletikud, kummiprits või lõõts.

Töö käik. Kuivata kolb seestpoolt täielikult, sest vastasel korral ei ole kolvis ainult õhk, vaid õhu ja küllastatud veeauru segu, mis ei allu gaaside kohta kehtivatele seadustele. Kolvi kuivatamiseks hoiu seda leegi kohal ning liiguta aeglaselt. Lõõtsaga või kummipritsiga puhu värsket õhku kolbi. Õhu sisseimemiseks pritsi võta ta ots kolvist välja.

Kui kolb on täiesti kuiv, siis sule ta õhukindlalt korgiga, millest on pandud läbi klaastoru.

Märgi toaõhu temperatuur  $t$ . Sama temperatuur on ka kolvis oleval õhul. Suuremasse veeanumasse pane seni lund või jäätükikesi, kuni see vees enam ei sula. Siis on vee ja jää segu temperatuur  $0^{\circ}\text{C}$ . Nüüd aseta kolb allapoole pööratud korgiga ämbrisse nii, et see oleks üleni vees (vaata joonis 43). Hoi a kolbi vees umbes kolm minutit. Seejärel võta kolb veest välja ja mõõda mensuuriga kolbi tunginud vee ruumala  $V$ .



Joon 43.

Nüüd täida kolb kuni korgini veega ja mõõda mensuuri abil selle vee ruumala ja seega ka kolvi ruumala. Nii saab teada kolvis oleva õhu ruumala-ga toatemperatuuril ( $V_t$ ).

$$V_0 = V_t - V.$$

Andmed kirjuta üles järgmiselt:

toaõhu temperatuur . . . . .	$t =$
kolbi tunginud vee ruumala . . . . .	$V =$
kolvis oleva õhu ruumala toaõhu temperatuuril . . . . .	$V_t =$
kolvis oleva õhu ruumala $0^{\circ}\text{C}$ temperatuuril . . . . .	$V_0 = (V_t - V) =$

Neist andmeist leia õhu ruumpaisumistegur:

$$\alpha = \frac{V_t - V_0}{V_0 t}$$

ehk

$$\alpha = \frac{V}{V_0 t}.$$

## Täiendavaid küsimusi.

1. Mille poolest erineb gaaside soojuspaisumine vedelike ja tahkete kehade soojuspaisumisest?

2. Selgita, miks muutub nõrgalt täispuhutud kummipall sooja pliidi juurde asetatult enam täispuhutuks?

3. Toaõhu ruumala on  $60 \text{ m}^3$ . Õhu temperatuur toas tõusis  $15^\circ$ -lt kuni  $22^\circ$ -ni. Kui palju muutus selle tagajärjel toas oleva õhu kaal?

## Töö nr. 27.

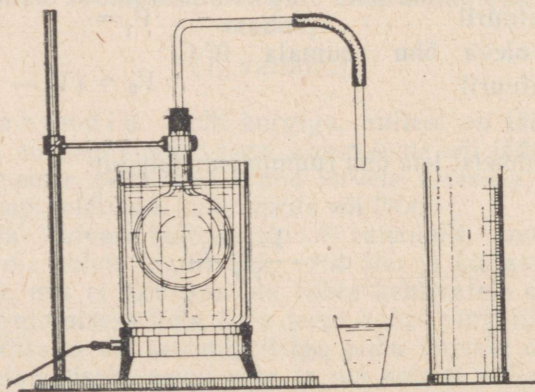
Õhu termilise ruumpaisumisteguri määramine jääval rõhul (Gay-Lussac'i seadus).

(2. variant.)

Töövahendid. Kummikorgi ja kõvera klaastoruga kolb, kummivoolik koos lühema klaastoruga, suurem keeduklaas, veeklaas, mensuur, termomeeter, piirituslamp või elektripliit, statiiv kahe muhvi, ühe rõnga ja näpitsaga, kummipritsi või lõõts, asbestiga kaetud traatvõrk.

**Töö käik.** Katseks on vaja seestpoolt täiesti kuiva kolbi, sest vastasel korral ei ole kolvis ainult õhk, vaid õhuga koos ka küllastatud veeaur, mis ei allu gaaside kohta kehtivatele seadustele.

Kolb kuivata järgmiselt. Soojenda kolbi leegi kohal ja liiguta teda seejuures. Samal ajal puhu kolbi kummipritsi või lõõtsa abii kuiva õhku. Õhu sisseimemiseks pritsi võta pritsi ots kolvist välja.



Joon. 44.

Kui kolb on täiesti kuiv, siis sule ta õhukindlalt korgiga, millest on läbi pandud kõver klaastoru.

Edasi aseta piirituslambile või elektripliidile suurem keeduklaas veega. Sellesse lase kolb kuni kaelani. Et kolb ei kerkiks veepinnale, kinnita see kaelapidi statiivi näpitsasse (vaata joonis 44). Aja vesi keema.

Vahepeal kalla veeklaasi toatemperatuuriga vett. Kui vesi keeduklaasis on umbes viis minutit keenud, siis kustuta piirituslamp või elektripliit. Seejärel võta kolb veest välja, hoides korgist läbipandud toru lahtist otsa külmas vees. Vesi tungib alguses joana ja hiljem tilkadena kolbi. Mõõda kolbi tunginud vee temperatuur ja seejärel ka ruumala ( $V$ ). Kolbi tunginud vee ruumala  $V$  näitab, kui palju vähenes õhu ruumala jahtudes  $100^\circ \text{C}$ -lt kuni toatemperatuurini  $t_1$ .

Mõõda ka kolvi ruumala, mis on muidugi võrdne kolbi täitva õhu ruumalaga  $100^\circ \text{C}$  juures. Tähistame selle tähega  $V_{100}$ . Olgu  $V_0$  kolviosa ruumala, mida sissetunginud vesi ei täitnud. Seega

$$V_0 = V_{100} - V$$

Andmed märgi üles järgmiselt.

Kolbi tunginud vee ruumala . . . . .	$V =$
Õhu ruumala $100^\circ \text{C}$ juures (kolvi ruumala) . . . . .	$V_{100} =$
Toaõhu temperatuur . . . . .	$t_1 =$
Temperatuuride vahe . . . . .	$t = 100 - t_1 =$

Teame, et ruumpaisumistegur

$$\alpha = \frac{V_{100} - V_0}{V_0 (100 - t_1)}$$

ehk

$$\alpha = \frac{V}{V_0 t} = \frac{V}{(V_{100} - V) t}$$

*Vea arvutamine.*

Gaasi ruumpaisumisteguri relatiivne viga

$$\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta V_0}{V_0} + \frac{\Delta t}{t}$$

Ruumala mõõtmise viga sõltub mensuuril olevate kriipsude vahe väärtusest, ja on alla poole sellest. Kuna tuleb

kasutada ruumalade vahet ( $V_{100} - V$ ), siis  $\Delta V_0$  on võrdne kahekordse ruumala  $V$  määramise veaga. Seega

$$\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{2\Delta V_0}{V_0} + \frac{\Delta t}{t}$$

ja

$$\Delta \alpha = \left( \frac{\Delta V}{V} + \frac{2\Delta V_0}{V_0} + \frac{\Delta t}{t} \right) \alpha.$$

Töö tulemus ja ta vea ülemmäär anna sobivalt ümardatult.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kuidas muutub täispuhutud õhupalli ümbermõõt, kui see viia soojast toast välja pakase kätte?
2. Mille poolest erineb gaaside soojuspaisumine vedelike ja tahkete ainete soojuspaisumisest?
3. Missugune tingimus peab olema täidetud, et kõikidel gaasidel oleks ühesuurune ruumpaisumistegur?

### Töö nr. 28.

#### Boyle-Mariotte'i seaduse uurimine.

Töö vahendid. Kraaniga pürett, kõrge klaasilinder, statiiv koos muhvi ja näpitsaga, väike klaas, millimeeterjao-tusega joonlaud, baromeeter.

**Töö käik.** Enne katse juurde asumist määra püreti selle osa ruumala, mis asub püretile märgitud skaala esimese kriipsu ja kraani vahel. Selleks sule püreti kraan ja vala sinna vett kuni skaala esimese jaotuskriipsuni. Nüüd vala see vesi püretist väikesesse klaasi. Seda võtet korda kolm korda. Nüüd vala püretti vett kuni esimese jaotuskriipsuni ja sellele lisaks väikeses klaasis olev vesi. Püretil olevalt skaalalt loe väike-sest klaasist sinna valatud vee ruumala. Jagades selle kol-mega, saad teada ruumala püretil oleva skaala esimese jao-tuskriipsu ja kraani vahel.

Ava püreti kraan, pista pürett laiema otsaga ees silindris olevasse vette ja kinnita siis vertikaalselt statiivi näpitsasse (joon. 45). Pürett pista nii sügavalt vette, et mõni skaala jaotuskriips oleks vee all. Veetase püretis ja silindris on ühe-kõrgune.

Sule kraan ja tõsta pürett kõrgemale või lase see sügava-male vette. Vee tase püretis seejuures muutub. Püreti erine-

vatel sügavustel muutub temas oleva õhu ruumala. Püretis oleva õhu ruumala saab, kui skaalalt loetud ruumalale liita skaala esimese jaotuskriipsu ja kraani vahelise ruumala väärtus.

Vee nivoode vahe silindris ja püretis mõõda millimeeterjaotustega joonlaua abil.

Püretis olevale õhule mõjub õhurõhk  $p_0$  (mille suuruse loeme baromeetrilt) ja vee-sammas, mille kõrgus on võrdne veenivoode vahega silindris ja püretis ( $h$ ). Vee-samba rõhk arvuta ümber rõhuks elavhõbedasamba millimeetrites ( $p_1$ ). Kui veenivoode vahe oli näiteks 95 mm, siis niisama suurt rõhku põhjustav elavhõbedasammas oleks 13,6 korda lühem. Seega rõhk

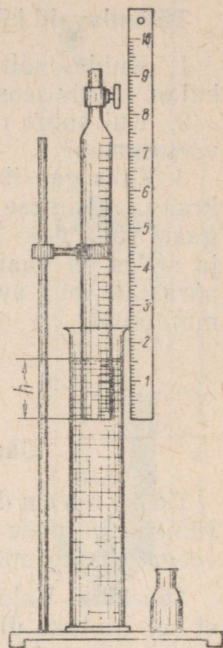
$$p_1 = \frac{95}{13.6} = 7 \text{ mm Hg.}$$

Olgu näiteks õhurõhk  $p_0 = 758 \text{ mm Hg}$ . Püretis olevale õhule mõjub siis üldine rõhk

$$p = p_0 + p_1$$

ehk

$$p = 758 + 7 = 765 \text{ mm Hg.}$$



Joon. 45.

Lase püretti sügavamale vette või tõsta seda kõrgemale ning korda õhu ruumala mõõtmist ja rõhu arvutamist.

Saadud andmed kanna tabelisse.

Katse nr.	Veenivoode vahe $h$ (mm)	Vee-samba rõhk $p_1$ (mm Hg)	Üldine rõhk $p$ (mm Hg)	Õhu ruumala püretis $V$ (cm <sup>3</sup> )	$p \cdot V_3$ (mm Hg · cm <sup>3</sup> )
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					

Tee järeldus tabeli viimase veeru andmetest.

Kui suur on korrutis  $pV$ , kui ruumala mõõta liitrites ja rõhku endiselt mm Hg-des?

## Täiendavaid küsimusi.

1. Kuidas sõltub gaasi rõhk selle gaasikoguse ruumalast, kui on kehtiv seos  $pV = \text{const.}$ ?

2. Kui suurt rõhku mm Hg-des avaldab 76,2 cm kõrgune veesammas?

3. Kaks gaasiballooni on ühendatud toru abil, mida suleb kraan. Esimese ballooni ruumala  $V_1 = 2$  l ja selles on gaasi rõhk  $p_1 = 760$  mm Hg. Teise ballooni ruumala  $V_2 = 7$  l ja selles on vaakuum ( $p_2 = 0$ ). Kui suur rõhk on balloonis pärast kraani avamist, eeldusel, et gaasi temperatuur ei muutunud?

## Töö nr. 29.

### Gaasi oleku valemite kontrollimine.

Töö vahendid. Elavhõbemanomeeter, baromeeter, (ühine mitmele rühmale), termomeeter, keedunõu kuuma veega (ühine mitmele rühmale), keeduklaas või purk.

**Töö käik.** Vala keeduklaasi või purki niipalju külma vett, et see ulatuks üle manomeetri kinnise otsa. Aseta elavhõbemanomeeter sellesse keeduklaasi ja mõõda vee temperatuur Kelvini kraadides ( $T$ ). Baromeetrilt loe õhurõhk  $H$ . Silindri ruumala valemiga järgi

$$V = \pi r^2 h_1$$

arvuta manomeetri kinnisesse otsa suletud õhu ruumala.  $h_1$  on selle õhusamba kõrgus. Klaastoru sisemine läbimõõt on ... mm. Selle saab teada õpetajalt. Mõõda ka elavhõbedanivoode vahe  $h$  manomeetris.

Korda katset veel vähemalt kaks korda, valades iga kord keeduklaasi või purki erineva temperatuuriga vett. Tee samasugused mõõtmised nagu esimesel korral ja kanna andmed tabelisse.

Katse nr.	Temp. $T^\circ \text{K}$	Ruumala $V = \pi r^2 h_1$ ( $\text{mm}^3$ )	Elavhõbeda nivoode vahe $h$ (mm)	Rõhk $p = (H-h)$ mm Hg	Suhe $c = \frac{pV}{T}$
1.	283	0,471	26	$757 - 26 = 731$	1,22
2.	357	0,562	5	$757 - 5 = 752$	1,18
3.					

Katseandmetest arvuta iga katse kohta suhe

$$c = \frac{PV}{T};$$

võrdle neid omavahel ja tee sellest järeldus.

*Vea arvutamine.*

Arvu  $c$  relatiivne viga

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta T}{T},$$

siit

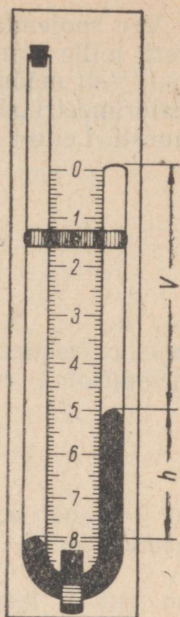
$$\Delta c = \left( \frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta T}{T} \right) \cdot c$$

$c$  väärtus koos ta absoluutse veaga anna sobivalt ümardatult.

**Täiendavaid küsimusi.**

1. Järelda oma tööst gaasi oleku võrrand ja tuleta sellest: a) Gay-Lussaci seadus, b) Boyle-Marotte'i seadus ja c) Charles'i seadus.

2. Ühest otsast suletud U-kujulise toru harud on ühepikkused. Suletud harus on välisõhuga võrdse rõhu juures õhusamba kõrgus 28 cm. Õhusammas on välisõhust eraldatud elavhõbedaga. Toru lahine ots täidetakse ääreni elavhõbedaga. Kui suur on siis õhusamba pikkus torus? Välisrõhk on 76 cm Hg.



Joon. 46. Kinnise otsaga U-toru manomeeter.

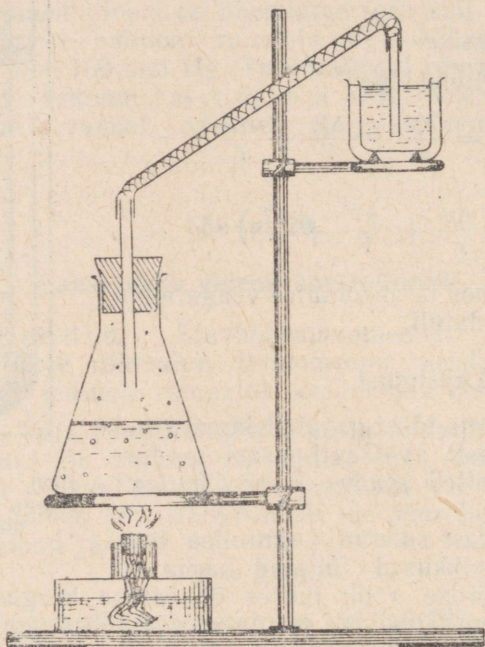
**Töö nr. 30.**

**Vee aurumissoojuse määramine.**

Töövahendid. Kalorimeeter, termomeeter, keedukolb, statiiv kahe muhvi, kahe näpitsa ja kahe rõngaga, piirituslamp või elektripliit, kaks kõverat klaastoru, auguga kummikork, kummivoolik, kaalud, kaaluvihid ja anum kondenseerunud vee kogumiseks.

**Töö käik.** Koosta joonisel 47 kujutatud katseseade.  $\frac{1}{2}$  keedukolvi ruumalast täida veega ja aseta see siis statiivi varda külge kinnitatud rõngale. Kuumenda kolbi tugeval leegil või elektripliidil.

Vee soojendamise ajal mõõda kalorimeetrisse 300—400 g vett, mille temperatuur olgu 5—8° madalam toatemperatuurist. Vett mõõda kaalude abil. Selleks kaalu kõigepealt tühja kalorimeetri sisemine anum, vala sinna vett ja kaalu siis uuesti. Leitud kaalude vahe annabki vee massi.



Joon. 47.

Kui aurujuhtimistorust tuleb välja auru juba küllalt tugevalt, siis mõõda kalorimeetris oleva vee temperatuur võimalikult täpselt (enne vett termomeetriga segades) ja paiguta aurujuhtimistoru ots kalorimeetri vette. Sega vett kalorimeetris ja jälgi vee temperatuuri tõusu. Vee temperatuur kalorimeetris tõuseb auru veeldumisel vabaneva aurumissoojuse arvel. Kui kalorimeetris on vee temperatuur tõusnud 35—40° võrra, siis võta aurujuhtimistoru kalorimeetrist välja ja alles siis kustuta tuli. Kui tuli enne kustutada, siis tungib külm vesi kolbi. Sega kalorimeetris olevat vett ja loe vee lõpptemperatuur. Kaalu uuesti kalorimeetri sisemine anum koos veega ja leia selle abil kondenseerunud auru mass.

Andmed kanna vihikusse järgmiselt.

- Kalorimeetri sisemise anuma mass  $M =$
- Kalorimeetri mass koos veega . . .  $m =$
- Vee mass kalorimeetris katse algul  $m_1 = (m - M) =$
- Vee mass kalorimeetris katse lõpul  $m_2 =$
- Veeks muutunud auru mass . . . .  $(m_2 - m_1) =$
- Vee algtemperatuur kalorimeetris .  $t_1 =$
- Vee lõpptemperatuur kalorimeetris  $t_2 =$
- Auru algtemperatuur . . . . .  $100^\circ$

Aur andis veeldumisel soojust  $L (m_2 - m_1)$  cal ( $L$  on vee aurumissoojus). Seejuures tekkinud vesi temperatuuriga  $100^\circ \text{C}$  jahtus kuni  $t_2^0$ -ni ja andis seejuures kalorimeetri veele

$$(100 - t_2) \cdot (m_2 - m_1) \text{ cal.}$$

Kalorimeetris olev vesi sai  $m_1 (t_2 - t_1)$  cal soojust ja kalorimeetri sisemine anum  $Mc (t_2 - t_1)$  cal ( $c$  on kalorimeetri aine erisoojus).

Soojushulk, mida aur ja sellest tekkinud vesi andis, on võrdne soojushulgaga, mida sai kalorimeetri sisemine anum ja selles olev vesi. Seega

$$L (m_2 - m_1) + (100 - t_2) (m_2 - m_1) = m_1 (t_2 - t_1) + Mc (t_2 - t_1).$$

Siit

$$L = \frac{m_1 (t_2 - t_1) + Mc (t_2 - t_1) - (100 - t_2) (m_2 - m_1)}{m_2 - m_1}.$$

Aseta mõõtmistest saadud andmed sellesse avaldisse ja arvuta vee aurumissoojus.

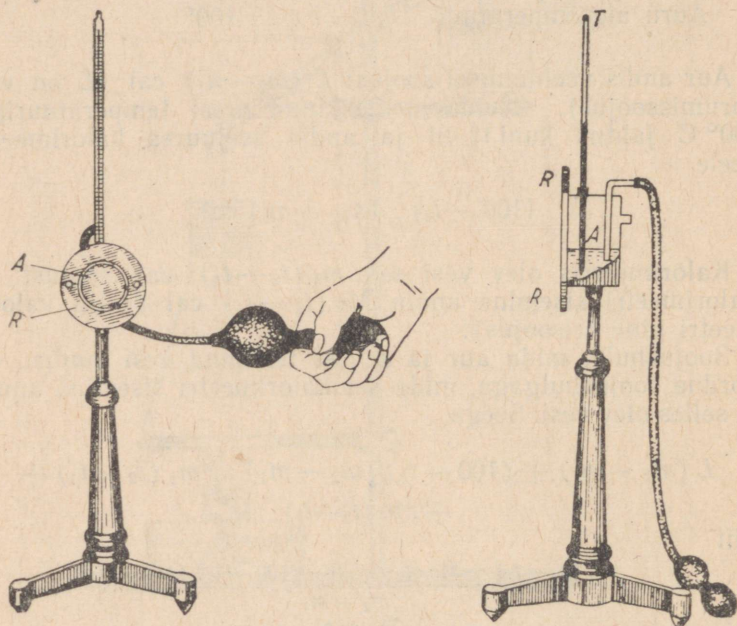
### Täiendavaid küsimusi.

1. Millest sõltub vedeliku aurumissoojus?
2. Kuidas on võimalik vett keeta puust anumast?
3. Sõnastada keemiseadused.
4. Miks tungib vesi kalorimeetrist keedukolbi, kui tuli kustutada enne kalorimeetri eemaldamist aurujuhtimistoru otsast?

## Õhu relatiivse niiskuse määramine

(1. variant).

Töövahendid. Hügromeeter, psühromeeter, juushügromeeter, keemiline termomeeter, klaas eetriga, klaasplaat, klaaslehter, lapp villast riidet.



Joon. 48. Hügromeeter.

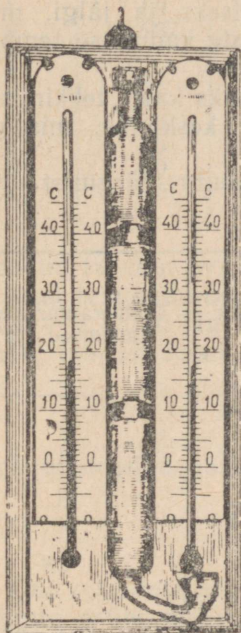
Hügromeeter (joon. 48) on õhukeseseinaline metallanum *A*, mille esikülg on läikiv. Läikivat esikülge ümbritseb läikiv rõngas *R*. Anum on puitvarda otsas, mis on kinnitatud metallist kolmjalale.

Anuma ülemises osas on kaks toru: lühema kaudu valatakse anumasse eetrit ja sellesse torusse pistetakse ka termomeeter *T*; pikema, kõvera toru otsa pannakse kummist õhupuhuja. Anuma tagaseinas on ava õhu ja eetriaurude väljapääsemiseks.

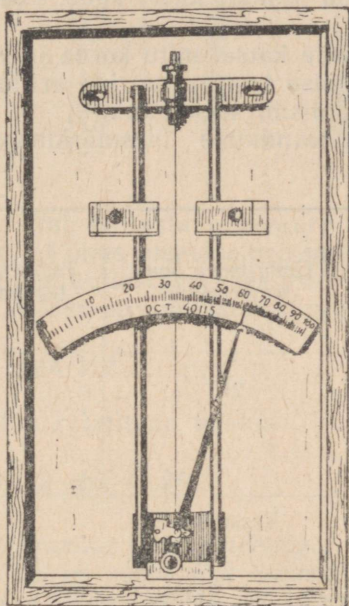
Psühromeetri (joon. 49) moodustab kaks puitalusele kinnitatud termomeetrit. Ühe termomeetri kuulikese ümber on mähitud marlilapp, mille ots ulatub kõveras, lehtrikujulises

torus olevasse vette. Viimane täidetakse veega ja suletakse siis ülevalt kummikorgiga.

Juushüromeetri (joon. 50) oluliseks osaks on rasvavaba juus, mis relatiivse niiskuse suurenemisel pikeneb. Pikenemist näitab osuti, mille ots liigub skaala kohal. Skaalale on märgitud relatiivse niiskuse väärtused protsentides.



Joon 49. Psühromeeter.



Joon. 50. Juushüromeeter.

### Töö käik. 1. Relatiivse niiskuse määramine hüromeetriga.

Hõõru hüromeetri esikülg villase lapiga hästi läikivaks ja mõõda toaõhu temperatuur. Siis vala metallanumasse nii palju eetrit, et termomeetri kuulike oleks sellega kaetud. Kõvera toru otsa kinnita kummist õhupuhuja voolik ja aseta termomeeter lühema toru kaudu otsapidi metallanumasse. Hüromeetri läikiv külg pööra poolviltu enda poole (vaatekiir ja anuma esipind moodustagu nurga 30—40°). Selles asendis on kergem jälgida läikiva pinna tuhmumist. Näo ja anuma vahel hoia klaasplaati selleks, et väljahingatav niiske

õhk ei satuks anuma läikivale pinnale. Nüüd puhu kummist õhupuhuja abil õhku läbi anumasse oleva eetri. See kiirendab eetri aurustumist. Kiire aurustumise tagajärjel eetri ja koos sellega ka metallanuma temperatuur langeb. Teatud temperatuuri juures muutub anuma läikiv pind nõrgalt tuhniks — sellele on tekkinud kaste. Nüüd katkesta õhu puhumine ja loe kiiresti termomeetrit temperatuur, mille juures tekkis kaste. Anna anumale aega soojenemiseks ja jälgi, millal anuma pinnalt kaste kaob. Loe ka kaste kadumise temperatuur.

Korda katset mitu korda ja võta lõpuks kaste tekkimise ja kadumise temperatuuride aritmeetiline keskmine, mis ongi tõenäolisim kastepunkt.

Katseandmete ülesmärkimiseks kasuta järgmist tabelit.

Katse nr.	Ümbritseva õhu temperatuur	Temperatuur kaste tekkimisel ( $t_1^{\circ}$ )	Temperatuur kaste kadumisel ( $t_2^{\circ}$ )
1.	21°	7	9
2.		6	8
3.		7	10
4.		5	8
5.		6	9
	Keskmine	6,2	8,8

Seega on toodud näites keskmine kastepunkti väärtus

$$t_0 = \frac{6,2 + 8,8}{2} = 7,5^{\circ}.$$

Toodud näite puhul on õhus, mille temperatuur on 21°, niisama palju veeauru, kui veeaurust küllastatud õhus temperatuuril 7,5°. Järelikult on õhus olemasoleva veeauru rõhk niisama suur kui 7,5° juures küllastava auru rõhk. Kuna relatiivne niiskus  $f$  on õhus oleva veeauru hulga (või rõhu) suhe seda õhku samal temperatuuril küllastava auru hulgaga (või rõhuga), väljendatud protsentides, siis

$$f = \frac{p}{p_0} \cdot 100\%.$$

Tabel nr. 1

Küllastava veeauru rõhk (elavhõbedasamba mm-tes) sõltuvalt temperatuurist

$t^{\circ}$	$h$	$t^{\circ}$	$h$	$t^{\circ}$	$h$
0	4,6	10	9,2	20	17,5
1	4,9	11	9,8	21	18,7
2	5,3	12	10,5	22	19,8
3	5,7	13	11,2	23	21,1
4	6,1	14	12,0	24	22,4
5	6,5	15	12,8	25	23,8
6	7,0	16	13,6	26	25,2
7	7,5	17	14,5	27	26,7
8	8,0	18	15,5	28	28,4
9	8,6	19	16,5	29	30,1

Toodud tabelist nr. 1, mis näitab küllastava veeauru rõhu sõltuvust temperatuurist, leiad, et õhus olemasoleva veeauru rõhk  $p = 7,7$  mm Hg ( $7,5^{\circ}$  juures küllastava veeauru rõhk). Samast tabelist leiad, et  $21^{\circ}$  juures on küllastava veeauru rõhk

$$p_0 = 18,7 \text{ mm Hg.}$$

Seega on toodud näitele vastav relatiivne niiskus:

$$f = \frac{7,7}{18,7} = 0,412 \text{ ehk } 41,2\%.$$

## 2. Õhu relatiivse niiskuse määramine psühromeetriga.

Riputa psühromeeter statiivile ja aseta ühe termomeetri kuuli ümber mähitud marlilapp veega täidetud kõverasse torusse. Oota seni, kuni märja termomeetri näit enam ei vähene. Nüüd loe kuiva ja märja termomeetri näidud  $t_k$  ja  $t_m$ . Arvuta temperatuuride vahe  $t_k - t_m$ . Selle vahe järgi leia õhu relatiivne niiskus psühromeetri tabelist (tabel nr. 2). Olgu näiteks toaõhu temperatuur (kuiva termomeetri näit):

$$t_k = 22^{\circ} \text{ C ja näidaku märg termomeeter}$$

$$t_m = 14^{\circ} \text{ C,}$$

siis temperatuuride vahe on  $22^{\circ} - 14^{\circ} = 8^{\circ}$ . Psühromeetri tabelist leiad õhu relatiivse niiskuse väärtuse, kui vaatad, kus lõikab esimese veeru  $22^{\circ}$  kohalt algav rida veergu, mille

Tabel nr. 2

## Õhu relatiivse niiskuse psühromeetri tabel.

Kuiva termomeetri näidud kraadides	Kuiva ja niiske termomeetri näitude vahe										
	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	14	
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	7	9
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34	26	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	50	45	40	34
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

kohal on temperatuuride vahe 8°. Toodud näite puhul on õhu relatiivse niiskuse väärtuseks 40%.

Kui mõõta ühesugustes tingimustes õhu relatiivset niiskust kastepunkti meetodil ja psühromeetriga, siis selgub, et mõõtmistulemused erinevad teineteisest väga vähe. See erinevus on tingitud katsevigadest.

Edasi tutvu juushügromeetri ehitusega ja loe sellelt õhu relatiivse niiskuse väärtus. Juushügromeetri näitu kontrolli psühromeetri ja hügromeetriga määratud õhu relatiivse niiskuse väärtuse järgi.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Mispärast peab töötamisel hügromeetriga hoidma klaasi näo ees?
2. Mispärast vedelik aurustumisel jahtub?
3. Kas kehtib Boyle-Mariotte'i seadus küllastatud auru kohta?
4. Mispärast aknad vahest muutuvad uduseks?

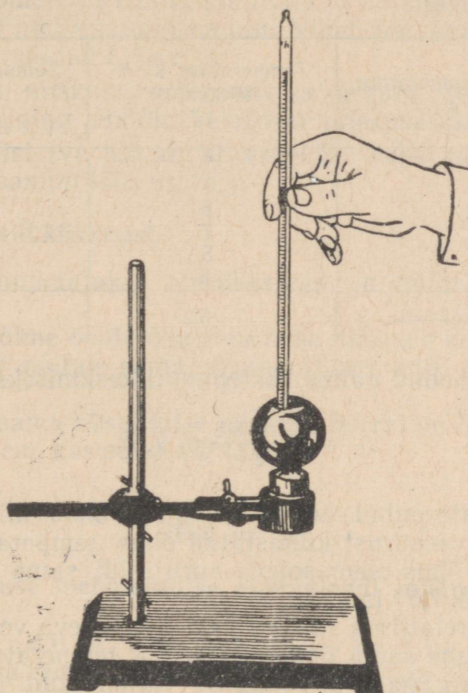
### Töö nr. 32.

#### Õhu relatiivse niiskuse määramine

(2. variant).

Töövahendid. Läikiva välispinnaga metallist õõneskera (konduktor elektrostaatika katsest) või mingi teine läikiva välispinnaga metallanum, auguga kork, statiiv muhvi

ja näpitsaga, kaks termomeetrit, anum väikeste jäätükkide või lumega, teelusikas, puhas riidelapp, klaasplaat ja tükike vatti või marlit.



Joon. 51. Lihtne hügromeeter.

1. katse. *Õhu relatiivse niiskuse määramine kastepunkti meetodil.*

Pista metallist õoneskera metallvarrastpidi korgisse puuritud auku ja kinnita siis kork statiivi näpitsasse, nii et õoneskera ava jääks ülespoole (joonis 51). Õoneskera välispind pühi riidelapiga hästi puhtaks. Umbes pool õoneskerast täida veega, mõõda siis õhu temperatuur ja aseta termomeeter õoneskeras olevasse vette. Nüüd tõsta teelusikaga jääd õoneskerasse, sega termomeetriga vett ja jälgi hoolega kera läikivat pinda. Vaatluse ajal hoiä klaasplaati näo ees. Siis, kui läikiv pind hakkab muutuma tuhniks, katkesta jää lisamine ja loe kiiresti termomeetri näit  $t_1$ . Edasi tõsta sula-

mata jäätükid teelusikaga anumast välja. Jälgi, millal kaste anuma välispinnalt uuesti kaob (millal pind muutub jälle läikivaks) ja märgi vastav temperatuur  $t_2$ . Korda katset mitu korda ja kanna andmed tabelisse, mille näide on toodud alljärgnevalt.

Katse nr.	Õhu temperatuur $t$	Temperatuur kaste tekkimisel $t_1^{\circ}$	Temperatuur kaste kadumisel $t_2^{\circ}$
1.	} $21^{\circ}$	7	9
2.		6	8
3.		7	10
4.		5	8
5.		6	9
	Keskmine	6,2	8,8

Seega on toodud näites kastepunkti keskmiseks väärtuseks

$$t_0 = \frac{6,2 + 8,8}{2} = 7,5^{\circ}.$$

Toodud näite puhul on  $21$ -kraadises õhus niisama palju veeauru kui veeaurust küllastatud õhus temperatuuril  $7,5^{\circ}$ . Järelikult on õhus olemasoleva auru rõhk sama mis küllastava auru rõhk  $7,5^{\circ}$  juures.

Kuna õhu relatiivne niiskus  $f$  on õhus oleva veeauru hulga (või rõhu) suhe sama õhuhulka samal temperatuuril küllastava auru hulgaga, (või rõhuga), väljendatud protsentides, siis

$$f = \frac{p}{p_0} \cdot 100\%.$$

Töös nr. 31 loodud tabelist 1 leiame, et õhus olemasoleva veeauru rõhk

$$p = 7,7 \text{ mm Hg}$$

( $7,5^{\circ}$  juures küllastava auru rõhk). Samast tabelist leiame, et  $21^{\circ}$  juures on küllastava auru rõhk

$$p_0 = 18,7 \text{ mm Hg}.$$

Seega toodud näitele vastav relatiivne niiskus:

$$f = \frac{7,7}{18,7} \cdot 100\% = 41,2\%.$$

2. kats e. *Õhu relatiivse niiskuse määramine kahe termomeetriga (psühromeetriga).*

Mähi ühe termomeetri kuulikese ümber marliriba või tüki ke vatti ja niisuta seda veega. Teine termomeeter jäta kuivaks. Termomeetrid riputa statiivile ja oota seni, kuni märja termomeetri näit enam ei muutu. Nüüd loe kuiva ja märja termomeetri näidud  $t_k$  ja  $t_m$ .

Relatiivse niiskuse määramiseks arvuta temperatuuride vahe  $t_k - t_m$  ning leia õhu relatiivse niiskuse väärtus psühromeetri tabelist (vt. töö nr. 31, tabel 2). Tabeli kasutamist on kirjeldatud samuti töös nr. 31.)

### Täiendavaid küsimusi.

1. Mida nimetatakse absoluutseks ja mida relatiivseks niiskuseks?

2. Mida võime öelda õhu relatiivse niiskuse kohta, kui kuiv termomeeter näitab sama temperatuuri mis märg termomeeter?

3. Millal sama absoluutse niiskuse korral on õhu relatiivne niiskus suurem, kas suvel või talvel?

### Töö nr. 33.

#### Soojuse mehhaanilise ekvivalendi määramine.

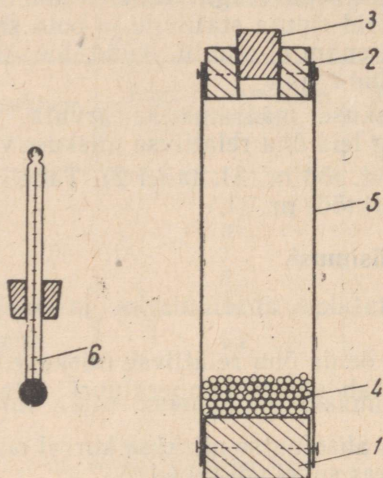
Töö v a h e n d i d. Papptoru, milles on 1 kg seatinahaavleid, auguga kork, termomeeter jaotustega  $0,1^\circ\text{C}$ , lehter, kalorimeeter, mõõdulint, sirge puuvarras (60 cm pikk) ja tükk vilti või riidelapp.

**Töö käik.** Mehhaaniline töö võib muunduda soojuseks. Tööhulka (kGm-tes), mis soojuseks muundudes annab ühe kilokalori soojust, nimetatakse soojuse mehhaaniliseks ekvivalendiks. Käesolevas katses tuleb teha tööd haavlite teatud kõrgusele tõstmiseks. Sellelt kõrguselt langemisel haavlid soojenevad nende tõstmisel tehtud töö arvel.

Kõigepealt tee kindlaks toaõhu temperatuur. Siis vala haavlid kalorimeetri sisemisse anumasse ja asetä see koos haavlitega kalorimeetri välimisse anumasse valatud külma vette. Sega haavleid ning jahuta nad sel teel temperatuurini umbes  $3^\circ$  allapoole toaõhu temperatuuri. Seejuures tuleb jälgida, et haavlid ei saaks märjaks.

Jahutatud haavlid kalla lehtri abil papptorusse ja sule see siis korgiga. Kalluta toru aeglaselt 6—7 korda, nii et haavlid

veereksid toru ühest otsast teise ja seejuures hästi seguneksid. Seejuures hoia toru ainult otstest.



Joon. 52. Katseriist soojuse mehhaanilise ekvivalendi määramiseks.  
 1 — puupunn; 2 — auguga puupunn; 3 — kork; 4 — haavlid; 5 — papptoru; 6 — auguga kork koos termomeetriga.

Nüüd asenda kork teise korgiga, millest on läbi pistetud termomeeter, nii et see ulatuks 4—5 cm sügavuselt torusse. Hoia toru endiselt otstest ja kalluta seda ettevaatlikult nii, et haavlid vajuksid alla ja ümbritseksid täielikult termomeetri kuulikese. Edasi pööra toru aeglaselt ta telje ümber seni, kuni termomeetri näit enam ei vähene (umbes 2 minutit). Siis loe termomeetrilt haavlite temperatuur ja kirjuta see vihikusse.

Asenda termomeetriga kork uuesti esialgse korgiga. Lauale aseta tükk vilti või riidelapp. Hoia toru otstest ja pööra kiiresti kord üks, kord teine toruots vastu lauda, lastes haavlid langeda. Niiviisi lase haavleid langeda näiteks 200 korda. Nüüd aseta jälle termomeetriga kork toru otsa, kalluta aeglaselt toru, loe haavlite temperatuur ja märgi see vihikusse.

Haavlite langemiskõrgus mõõda puuvaradaga. Selleks võta torult kork ja pista puuvarras torusse, kuni selle ots ulatub haavliteni. Kõrgust mõõda kuni korgi sisemise pinnani. Tee

puuwardale vastav märk ja mõõda siis pikkus varda otsast kuni märgini mõõdulindi abil.

Andmed kanna järgmisse tabelisse.

Haavlite mass	$m = 1 \text{ kg}$
Toaõhu temperatuur	$t_1 =$
Haavlite algtemperatuur	$t_0 =$
Haavlite lõpptemperatuur	$t_2 =$
Haavlite langemiskõrgus	$h =$
Toru pöörete arv	$n =$
Seatina erisoojus	$c =$

Seatina erisoojuse leiad õpikust.

Kuna puit ja papp on halvad soojusejuhid, siis võtavad nad haavlitelt nii vähe soojust, et selle võib arvestamata jätta. Seega said haavlid soojust

$$Q = cm (t_2 - t_0) \text{ kcal,}$$

kui haavlite massi arvestasime kg-des.

Haavlite tõstmisel  $n$  korda kõrgusele  $h$  tehti tööd

$$A = nPh,$$

kus  $P$  on haavlite kaal (kG-des).

Soojuse mehhaaniline ekvivalent  $j$  on ühe kilokaloriga ekvivalentne tööhulk, seega

$$j = \frac{A}{Q} = \frac{nPh}{cm (t_2 - t_0)}.$$

Siin tuleb tööd ( $A$ ) arvutada kilogramm-meetrites ja soojust kilokalorites. Seepärast peame raskusjõudu  $P$  (haavlite kaalu) väljendama kilogrammides ja kõrgust  $h$  meetrites.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Miks tuleb haavlite langemise ajal hoida toru vertikaalselt?
2. Millised soojuskaod on käesoleva katse juures vältimatud?
3. Miks kasutame käesoleva katse juures soojeneva ainena just seatina?
4. Miks tuleb toru hoida tingimata otstest?
5. Võta suurem raudnael või mingi raudvarras. Aseta see alasile või mõnele teisele massiivsele raudesemele. Löö naelale või raudvardale mitu korda tugevasti vasaraga. Mida tunned, kui naela nüüd näppude vahele võtad? Seleta põhjus!

## Traadi elastsusmooduli määramine.

Töö vahendid. Kaks erineva läbimõõduga terastraati, tugev tugi seinas või laes traadi ülesriputamiseks, metalllatt ( $L$ ), loodlaud või vesilood, kruvikaliiber, mõõdulint või mõõdujoonlaud, kaalukauss, koormiste kogu, statiiv koos muhvi ja näpitsaga, kruvikeeraja ja pitskrüvi.

Kui traati, mille pikkus venitamata olekus on  $l_0$ , venitada jõuga  $P$ , siis pikeneb ta pikkuseni  $l$ . Seega on traadi pikene mine  $l - l_0$ . Traadi ühe pikkuseühiku pikennemist

$$\frac{l - l_0}{l_0}$$

nimetatakse suhteliseks piknemiseks. Suhteline pikene mine sõltub traati venitavast pingest ( $\sigma$ ), s. o. mõjuvast jõust (kG-des) ühele ristlõikepindala ühikule ( $\text{mm}^2$ ). Seega

$$\sigma = \frac{P}{S} \left( \frac{\text{kG}}{\text{mm}^2} \right).$$

Hooke'i seadus väidab, et elastsuse piirides on suhteline pikene mine võrdeline pingega, s. t.

$$\frac{l - l_0}{l_0} = \alpha \sigma.$$

Selles valemis esinevat võrdetegurit  $\alpha$  nimetatakse elastsusteguriks. Viimast valemit võib kirjutada ka järgmiselt:

$$\frac{l - l_0}{l_0} = \alpha \frac{P}{S},$$

siit

$$l - l_0 = \alpha \frac{P l_0}{S}.$$

Tehnikas kasutatakse elastsusteguri  $\alpha$  asemel selle pöördarvu — elastsusmoodulit  $E$ .

$$E = \frac{1}{\alpha}.$$

Kasutades elastsusmoodulit võib traadi pikenemise arvutada valemi

$$l - l_0 = \frac{P \cdot l}{ES}$$

järgi.

Sellest valemist võib avaldada elastsusmooduli:

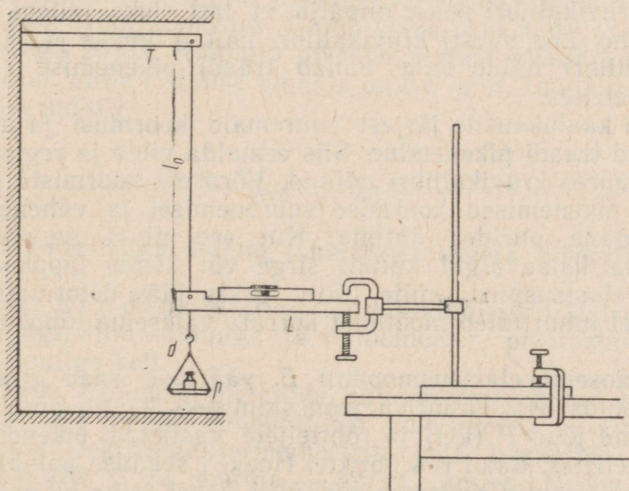
$$E = \frac{l \cdot P}{(l - l_0) S}$$

Mõõtes traadi pikkust ja pikenemist kas sentimeetrites või millimeetrites, venitavat jõudu kilogrammides ja traadi ristlõike pindala ruutmillimeetrites saame elastsusmooduli väärtuse

$$\frac{\text{kG}}{\text{mm}^2} \text{-tes}$$

Elastsusmoodul iseloomustab ainet jõu mõjul tekkiva deformatsiooni suhtes. Mida suurem on elastsusmoodul, seda suuremat jõudu on vaja kindla suurusega deformatsiooni tekitamiseks.

**Töö käik.** Mõõda kruvikaliibriga traadi läbimõõt mitmest eri kohast ja võta mõõtmistulemuste aritmeetiline keskmine. Siis kinnita kruvikaliiber vertikaalselt statiivi näpitsasse nii,



Joon. 53.

nagu on näha joonisel 53. Statiivi ümbermineku vältimiseks kinnita see pitskruviga laua külge.

Edasi riputa traat seina või lakke kinnitatud tugeva metalltoe  $T$  külge. Traadi alumine ots pista läbi metall-lati  $L$  otsas oleva augu ja kinnita sellesse kruvi abil. Traadi alumise otsa külge kinnita kaalukauss, millele traadi sirgendamiseks aseta algkoormus  $p$  (seda ei arvestata venitava jõu juurde). Nüüd mõõda traadi algpikkuse  $l_0$  (vahemik punktist  $T$  punktini  $K$ ) ja kanna saadud väärtused katseandmete tabelisse.

Traadi algpikkus $l_0$ (mm)	Traadi läbimõõt $d$ (mm)	Traadi rist- lõikepindala $S$ (mm <sup>2</sup> )	Venitav jõud $P$ (kG)	Traadi aine elastsus- moodul $E$ ( $\frac{\text{kG}}{\text{mm}^2}$ )

Keera kruvikaliibri pead ja sea selliselt latt  $L$  horisontaalseks. Horisontaalsust kontrolli loodi abil. Märgi kruvikaliibri näit.

Nüüd aseta kaalukaussile mingi koormus, näiteks 0,5 kG. Selle koormuse hulka ei arvestata kaalukaussi raskust ning traadi sirgendamiseks kasutatud koormist  $p$ . Kuna koormise mõjul traat pikeneb, siis ei jää latt  $L$  enam horisontaalseks, sest traadi külge kinnitatud ots  $K$  vajub allapoole. Nüüd keera kruvikaliibri peast niipalju, et latt oleks jällegi horisontaalne. Loe uuesti kruvikaliibri näit. Viimase ja esimese kruvikaliibri näidu vahe annab traadi pikenemise ( $l-l_0$ ) millimeetrites.

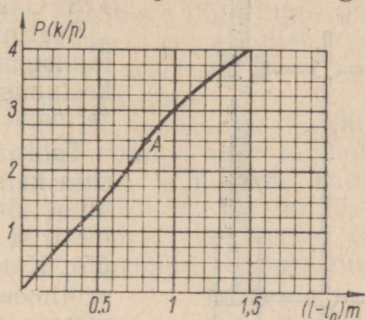
Aseta kaalukaussile järjest suuremaid koormusi ja märgi iga kord traadi pikenemine. Siis eemalda vihte ja registreeri ka seejuures kruvikaliibri näidud. Võrdsete koormiste puhul peavad pikenemised koormise suurenemisel ja vähenemisel katsevigade piirides ühtima. Kui see nii ei ole, siis polnud traat katse algul küllalt sirge või ületas lõppkoormis traadi elastsuspiiri, mille tõttu tekkis jääv deformatsioon. Viimasel juhul tuleb mõõtmist korrata väiksema lõppkoormisega.

Töenäoiseima elastsusmooduli  $E$  väärtuse saab graafiku abil (joonis 54). Graafiku joonestamiseks kanna püstteljele venitavad jõud  $P$  (kG) ja rõhtteljele vastavad pikenemised millimeetrites. Saad rea punkte. Hooke'i seaduse põhjal peavad need punktid asetsema kõik ühel sirgel, kuna pikenemine

sama traadi puhul on võrdeline mõjuva jõuga. Katsevigade tõttu ei asetse saadud punktid harilikult täpselt ühel sirgel.

Sirge joonista graafikule nii, et see läheks kõikide punktide lähedalt läbi. Sirge mingile punktile, näiteks punktile  $A$  vastava  $P$  ja  $(l-l_0)$  väärtuste paari abil arvuta antud traadi aine tõenäosim elastsusmooduli  $E$  väärtus.

Korda katset suurema läbimõõduga traadiga ja arvuta saadud andmete najal elastsusmoodul  $E_1$ . Võrdleme leitud elastsusmooduleid.



Joon. 54.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kas ja kuidas muutub venitamisel traadi ristlõike pindala ja traadi ruumala?

2. Terasel elastsusmoodul on  $21900 \frac{\text{kG}}{\text{mm}^2}$ . Kui suur on terase elastsusmoodul  $\frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}$ -tes?

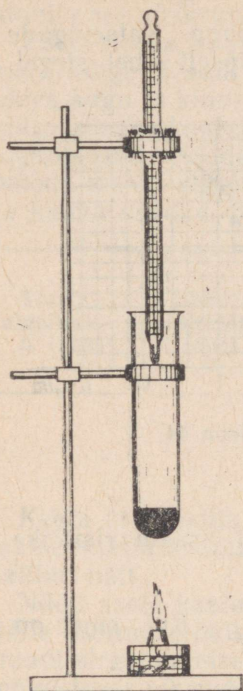
3. Katse näitas, et 1 m pikkune terastraat, mille ristlõike pindala on  $1 \text{ mm}^2$ , pikenes 1 mm võrra, kui teda koormati koormisega 20 kG. Kuipalju pikeneb samast aineist 3 m pikkune traat, mille ristlõike pindala on  $0,5 \text{ mm}^2$ , 10 kG suuruse koormise mõjul?

### Töö nr. 35.

#### Seatina-inglistina sulami tahkestumiskõvera määramine.

Töövahendid. Statiivi külge kinnitatud katseklaas seatina-inglistina sulamiga ja termomeeter, piirituslamp ja sekundiosutiga kell.

**Töö käik.** Enamike metallide sulamistemperatuur on nii kõrge, et sula metalli temperatuuri võib mõõta ainult mitmesuguste elektriliste termomeetrite abil. Ingliseatina sulab aga juba  $232^\circ \text{C}$  ja seatina —  $327^\circ \text{C}$  juures. Nende kahe metalli sulami temperatuur ei ületa seatina sulamistemperatuuri, kuid võib olla ingliseatina sulamistemperatuurist mada-



Joon. 55. Katseseade seatina-inglistina tahkestumise uurimiseks.

lam (sulam, mis koosneb 37%-st seatinast ja 63%-st inglistinast, sulab juba 178° C juures).

Seatina-inglistina sulami madala sulamistemperatuuri tõttu võib selle tahkestumist ja sulamist uurida tavalise termomeetri abil.

Tahkestumiskõvera koostamiseks kasuta katseseadist, mis koosneb statiivi külge kinnitatud katseklaasist ja termomeetrist mõõtepiirkonnaga 360° C (joon. 55). Katseklaasi põhjas on mõni kuupsentimeeter uuritavat metalli. Termomeeter on kinnitatud statiivi ülemise näpitsa külge ja seda võib vabalt üles-alla nihutada.

Katseklaasi all asub piirituslamp.

Kuna vähimigi tähelepanematus võib põhjustada termomeetri või katseklaasi purunemise, siis tuleb töö juures olla hoolikas ja ettevaatlik ning pidada rangelt kinni järgmisest töö käigu kirjeldusest.

1. Koosta järgmine tabel, kuhu märgi ajamomendid iga 15 sekundi tagant ja jätta tühjad kohad temperatuuride märkimiseks.

*Mõõtmistulemused.*

Aeg (sek)	Temperatuur	Aeg (sek)	Temperatuur	Aeg (sek)	Temperatuur	Aeg (sek)	Temperatuur
0		150		300		450	
15		165		315		465	
30		180		330		480	
45		195		345		495	
60		210		360		510	
75		225		375		525	
90		240		390		540	
105		255		405		555	
120		270		420		570	
135		285		435		585	

2. Termomeetrit ettevaatlikult üles-alla nihutades kontrolli, kas see on kinnitatud statiivi näpitsate vahele paraja tugevusega. Kui termomeeter on kinnitatud liiga lõdvalt, siis võib ta näpitsate vahelt välja kukkuda. Näpitsate liiga tugev pingutamine võib aga põhjustada termomeetri purunemise.

3. Nihuta termomeetrit ettevaatlikult allapoole seni, kuni tema kuulike puutub vastu tahke metalli pinda.

4. Aseta piirituslambi statiiv aluslauale, süüta see ja jälgi temperatuuri tõusu. Katseklaasi soojenemine peab toimuma aeglaselt, sest kiire kuumenemine võib põhjustada katseklaasi purunemise. Seetõttu ei ole piirituslambi lubatud tõsta soojenemise kiirendamiseks statiivi alusest kõrgemale (ka mitte sel juhul, kui sulamispunkti saabudes temperatuuri tõusmine ajutiselt lakkab.)

5. Kui metall on sulanud, nihuta termomeetrit ettevaatlikult allapoole, nii et termomeetri kuulike on üleni sula metalli sees.

6. Jätka soojendamist seni, kuni temperatuur on tõusnud 300° C-ni.

7. Eemalda piirituslamp ja registreeri võrdsete ajavahe-  
mike (iga 15 sekundi) järgi termomeetri näidud. Selleks üks õpilane jälgib kella ja teatab ajamomendi (õeldes iga kord mingi ühesilbilise sõna — näiteks «üks»). Teine õpilane jälgib termomeetrit ja teatab kella jälgivale õpilasele temperatuuri, kes selle tabelisse märgib. Temperatuuri langemist jälgime kuni 100—120 kraadini.

Pärast metalli tahkestumist ei tohi termomeetrit puudutada, sest vastasel korral võib selle elavhõbedaga täidetud kuulike puruneda.

8. Soojenda metalli seni kuni see on täielikult sulanud ja tõsta termomeeter uuesti kõrgemale. Kustuta piirituslamp.

9. Koosta graafik (kasutades selleks tervet vihiku lehekülge), mille abstsisssteljele kannab aeg ja ordinaatteljele temperatuur.

10. Märgi graafiku järgi metalli tahkestumistemperatuur.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Millisest kolmest osast koosneb graafik ja millisele füüsikalisele nähtusele vastab iga osa?

2. Mõnedel metallidel on graafiku horisontaalne osa pikk (näiteks inglistinal), teistel aga lühike (seatinal). Miks?

3. Miks kiirel soojenemisel katseklaas võib puruneda?

4. Määrata kirjeldatud meetodil parafiini tahkestumiskõver? Mille poolest see erineb seatina-inglistina sulami tahkestumiskõverast?

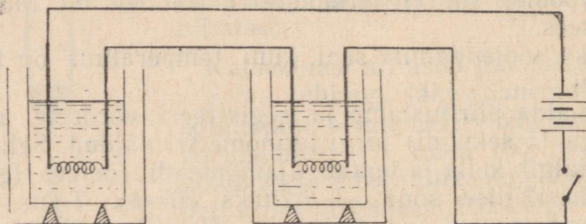
## V. ELEKTER.

### Töö nr. 36.

#### Vedeliku erisoojuse määramine elektrikalorimeetri abil.

Töö vahendid. Kaks kalorimeetrit, kaks termomeetrit, kaks võrdse takistusega spiraali isoleerainest alustel, uuritav vedelik, lüliti, akumulaatorite patarei ja ühendusjuhtmed.

**Töö käik.** Elektrikalorimeeter koosneb kahest ühesugusest kalorimeetrist. Ühte kalorimeetrisse valatakse uuritav vedelik (näiteks petrooleum) ja teise vesi. Kalorimeetritesse pannakse ühesuguse takistusega spiraalid, mis ühendatakse vooluringi järjestikku (joon. 56).



Joon. 56. Elektrikalorimeetri lülitamise skeem.

Kui juhtida läbi spiraalide vool, siis Joule'i-Lenzi seaduse põhjal ühes spiraalis eraldunud soojushulk avaldub järgmiselt:

$$Q = 0,24 I^2 R t,$$

kus  $I$  on voolutugevus,  $R$  spiraali takistus ja  $t$  aeg. Kuna järjestikku ühendatud juhtides on voolutugevused võrdsed ja samuti on spiraalide takistused võrdsed, siis sama aja jooksul eraldub mõlemas spiraalis ühesugune hulk soojust. Mõlemas kalorimeetris eraldunud soojushulkade võrdsus võimaldab kergesti määrata uuritava vedeliku erisoojust.

Uuritava vedeliku erisoojuse määramiseks kaalu kõigepealt kalorimeetrite sisemised anumad. Vala ühte anumasse vesi ja teise uuritav vedelik (kuni  $\frac{2}{3}$ -ni anumate ruumalast) ning kaalu anumad uuesti. Vesi võetakse kraanist. Uuritav vedelik peab olema varem seisnud jahedas ruumis. Seetõttu on nende temperatuurid toatemperatuurist madalamad.

Koosta joonisel 56 näidatud vooluring ja mõõda uuritava vedeliku ning vee algtemperatuurid. Lülita vool sisse ja uuritavat vedelikku ning vett termomeetriga ettevaatlikult segades jälgi temperatuuri tõusu. Kui vee temperatuur on tõusnud 2—3 kraadi võrra kõrgemale toatemperatuurist, lülita vool välja ja mõõda lõpptemperatuurid mõlemas kalorimeetris.

Mõõtmistulemused ja vajalikud tabelist võetud andmed registreeri järgmiselt.

1. Veega täidetava kalorimeetri sisemise anuma mass . . . . .  $m_2 = \dots\dots\dots$  g
2. Sisemise anuma ja vee kogumass  $M_2 = \dots\dots\dots$  g
3. Vee mass . . . . .  $m_1 = M_2 - m_2 = \dots\dots$  g
4. Uuritava vedelikuga täidetava kalorimeetri sisemise anuma mass . . . . .  $m_3 = \dots\dots\dots$  g
5. Sisemise anuma ja uuritava vedeliku kogumass . . . . .  $M_3 = \dots\dots\dots$  g
6. Uuritava vedeliku mass . . . . .  $m = M_3 - m_3 = \dots\dots$  g
7. Kalorimeetri aine erisoojus . . . . .  $c_2 = \dots\dots\dots \frac{\text{cal}}{\text{g. kraad}}$
8. Vee erisoojus . . . . .  $c_1 = \dots\dots\dots \frac{\text{cal}}{\text{g. kraad}}$
9. Vee algtemperatuur . . . . .  $t_1 = \dots\dots\dots$  C
10. Uuritava vedeliku algtemperatuur . . . . .  $t_2 = \dots\dots\dots$  C
11. Vee lõpptemperatuur . . . . .  $t_3 = \dots\dots\dots$  C
12. Uuritava vedeliku lõpptemperatuur . . . . .  $t_4 = \dots\dots\dots$  C

Tähistades uuritava vedeliku erisoojuse  $c$ -ga, avalduvad veega ja uuritava vedelikuga täidetud kalorimeetrites eraldunud soojushulgad  $Q_1$  ja  $Q_2$  järgmiselt:

$$Q_1 = (m_2 c_2 + m_1 c_1) (t_3 - t_1),$$

$$Q_2 = (m_3 c_2 + mc) (t_4 - t_2).$$

Kuna need soojushulgad on võrdsed, siis võib kirjutada:

$$(m_2 c_2 + m_1 c_1) (t_3 - t_1) = (m_3 c_2 + mc) (t_4 - t_2).$$

Avalda siit uuritava vedeliku erisoojus  $c$  ja arvuta selle väärtus.

M ä r k u s. Mõõtmisviga vedeliku erisoojuse määramisel on tingitud peamiselt sellest, et väga raske on valmistada

kahte ühesuguse takistusega spiraali. Täpsema mõõtmistulemuse saamiseks vahetatakse spiraalid kalorimeetrites, sooritatakse töö teistkordselt ja mõõtmistulemuseks võetakse saadud erisoojuste väärtuste aritmeetiline keskmine.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Mida nimetatakse aine erisoojuseks?
2. Defineerida soojushulga ühikud kalor ja kilokalor.
3. Miks elektrikalorimeetris tohib vedelikke soojendada ainult mõne kraadi võrra, mitte aga näiteks 80—90 kraadini?
4. Kuidas sõltub sama vooluallika korral spiraalis eraldunud soojushulk spiraali takistusest?
5. Olgu esimese elektrikalorimeetri spiraali takistus teise kalorimeetri spiraali takistusest 3 korda suurem. Kumbas kalorimeetris ja mitu korda eraldub rohkem soojust. Põhjustada vastust.

### Töö nr. 37.

#### Voltmeetri kontrollimine.

Töö v a h e n d i d. Koolivoltmeeter, täpne voltmeeter (täpsusklassiga 1 või 1,5), suure takistusega reostaat, akumulaatorite patarei, lüliti, 2—3 taskulambipatareid ja ühendusjuhtmed.

**Töö käik.** Mitmesugustele mõõteriistadele (elektrimõõteriistadele, baromeetritele jne.) ei õnnestu alati tehases valmistada täpset skaalat. Selleks et sellise mõõteriistaga oleks siiski võimalik õigesti mõõta, lisatakse neile kaasa paranduste tabel.

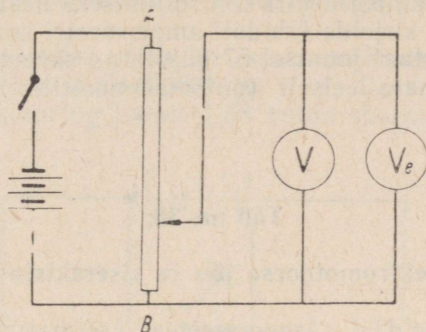
Mõõteriistade näidud võivad ka mitmesugustel põhjustel aja jooksul muutuda. Sellepärast tuleb mõõteriistu perioodiliselt kontrollida (s. o. võrrelda neid täpsemate mõõteriistadega), koostada vastavad paranduste tabelid ning graafikud ja arvestada neid parandusi mõõtmistel.

Mõõteriista paranduseks nimetatakse arvu, mis tuleb liita selle mõõteriista näidule, et saada õiget mõõtmistulemust. Kui näiteks mõõteriista näit mingi füüsikalise suuruse mõõtmisel on  $A$  ja selle suuruse tegelik väärtus on  $A_e$ , siis mõõteriista parandus

$$\alpha = A_e - A.$$

Mõõteriista parandus ei ole kogu skaala ulatuses ühesugune ja ta võib olla nii positiivne kui ka negatiivne.

Voltmeetri kontrollimiseks koosta joonisel 57 kujutatud vooluahel vooluallikast, reostaadist, kontrollitavast voltmeetrist (koolivoltmeetrist)  $V$ , täpsemast voltmeetrist (nn. etalonvoltmeetrist)  $V_e$  ja lülitist. Enne voolu sisselülitamist



Joon. 57.

sea korrektori abil etalonvoltmeetri osuti täpselt skaala nul-  
lile ja lülita reostaat täielikult välja (s. o. lüka libisev  
kontakt punkti  $B$ ). Lülita vool sisse, nihuta järk-järgult reos-  
taadi liugkontakti seni, kuni kontrollitava voltmeetri näit on  
maksimaalne, ja registreeri antud vahemikus 8—10 korda  
mõlema voltmeetri näidud. Arvuta iga korra kohta voltmeetri  
parandus. Mõõtmistulemused kannu järgmisse tabelisse.

Voltmeetri nr. . . . paranduste tabel

Mõõtmise nr.	Kontrollitava voltmeetri näit $U$	Etalonvolt- meetri näit $U_e$	Parandus $\alpha = U_e - U$

Koosta graafik, mis näitab kontrollitava voltmeetri näidu  
ja paranduse vahelist sõltuvust. Abstsissiteljele kannu volt-  
meetri näit ja ordinaatteljele parandus.

Mõõda kontrollitud voltmeetriga kahe või kolme taskulam-  
bipatarei pinged, loe graafikult nendele pingetele vastavad  
paranduste väärtused ja leia selle järgi pingete tegelikud  
väärtused.

## Täiendavaid küsimusi.

1. Kanna töövihikust paranduste tabel ja graafik eraldi lahtisele lehele ja pane see voltmeetri karpi, et seda võiks hiljem kasutada selle voltmeetri mõõtmisel.

2. Joonesta ampermeetri kontrollimiseks kasutatava vooluringi skeem ja kirjelda lühidalt ampermeetri kontrollimist.

3. Miks reostaat joonisel 57 kujutatud skeemil on lülitatud voltmeetriga paralleelselt (potentsiomeetriselt), mitte aga järjestikku?

## Töö nr. 38.

### Vooluallika elektromotoorse jõu ja sisetakistuse määramine.

Töö vahendid. Ampermeeter, voltmeeter, akupatarei, reostaat, lüliti ja ühendusjuhtmed.

**Töö käik.** Antud vooluallika elektromootorne jõud on konstantne suurus, mis ei olene selle vooluringi koosseisust, millesse vooluallikas on lülitatud. Pingelang ahela välisosas

$$U = IR \text{ (klemmide pinge)}$$

ei ole antud vooluallika puhul konstantne suurus. Voolutugevuse suurenemisel langeb vooluallika klemmide pinge, vooluringi siseosas aga pingelang suureneb. Nii toimub vooluringi koormuse muutumisel vooluringi üksikutes osades pingelangude ümberpaigutumine.

Katkestatud vooluringi puhul ( $I = 0$ ) on pinge vooluallika klemmidel suurim ja on võrdne tema elektromotoorse jõuga. Vooluringi lühise puhul on vooluringi välisosa takistus väike, mistõttu klemmide pinge on väiksem ja vooluringi siseosas valitsev pingelang suurim. Kui vooluallika sisetakistus on väike (seatina-akumulaator), siis tekib ka tugev lühisvool, mis võib rikkuda akumulaatori plaadid.

Füüsikast on teada, et

$$I = \frac{E}{R+r}. \quad (1)$$

Lühise korral

$$I = \frac{E}{r},$$

kuna  $R = 0$ .

Valemist (1) saame:

$$E = IR + Ir$$

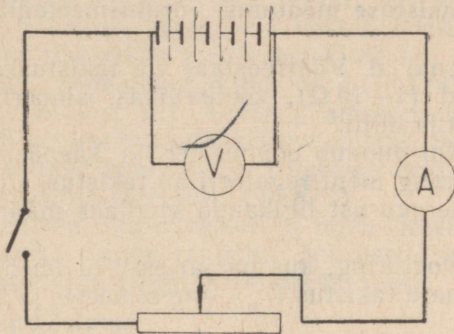
või

$$E = U + Ir,$$

kus  $IR$  on pingelang ahela välisosas,  $Ir$  aga pingelang ahela siseosas.

Viimasest valemist lähtudes saab määrata vooluallika elektrimotoorse jõu ja sisetakistuse.

1) Koosta vooluring joonisel 58 antud skeemi kohaselt.



Joon. 58.

2) Lülita vooluring sisse ja märgi mõõteriistade näidud tabelisse.

3) Katkesta vooluring ja märgi vultmeetri näit tabelisse.

4) Korda katset 2—3 korda. Iga kord võta erineva takistusega väline vooluring. (Välise vooluringi takistust muuda reostaadi abil.)

Mõõtmistulemuste tabel

Jrk. nr.	Ampermeetri näit $I$	Voltmeetri näit kinnise vooluringi korral $U$	Voltmeetri näit avatud vooluringi korral $E$	Sisetakistus $r = \frac{E - U}{I}$
1.				
2.				
3.				

## Täiendavaid küsimusi.

- 1) Milline on praktikumis kasutatud vooluallika klemmide pinge suurim väärtus?
- 2) Kuidas muutub klemmipinge vooluringi välisahela takistuse suurenemisel?
- 3) Miks uute taskulambi-patareide klemmid on teineteisest papitükikesega eraldatud?

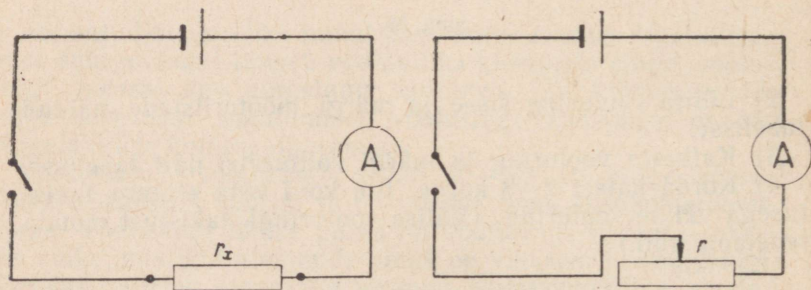
## Töö nr. 39.

### Takistuse mõõtmine võrdlusmeetodil.

Töö vahendid. Väntreostaat või takistuskast, tundmatu takistused ( $1-10 \Omega$ ), vooluallikas, ampermeeter, juhtmete komplekt ja lüliti.

**Töö käik.** Kui puudub oommeeter ja käepärast on ainult ampermeeter ning mõni reguleeritav takistus, siis saab tundmatu takistuse suurust ligikaudu kindlaks määrata võrdlusmeetodil.

1) Koosta vooluring, kus on järjestikku ühendatud vooluallikas, tundmatu takistus ( $r_x$ ), ampermeeter ja lüliti (vt. joon. 59).



Joon. 59.

- 2) Lülita vool sisse ja märgi üles ampermeetri näit.
- 3) Nüüd lülita tundmatu takistuse asemele vooluahelasse väntreostaat või takistuskast ( $r$ ). Reostaadi või takistuskasti takistus vali selline, et ampermeetri näit oleks endine või võimalikult lähedane sellele.

Et mõlemal juhul oli pinge ja voolutugevus ühesugune, siis peab ka takistus olema eelmisega võrdne. Seega on tundmatu

takistuse  $r_x$  suurus võrdne või siis küllalt lähedane väntreostaadi või takistuskasti takistusele, mis on aga teada.

4) Määra võrdlusmeetodi abil kindlaks 3—4 tundmatu takistuse ligikaudne suurus.

Kui väntreostaadi või takistuskastiga ei ole võimalik saada täpselt endist ampermeetri näitu, siis märgi üles kaks ampermeetri näitu reostaadi eri takistuste korral. Ampermeetri üks näit peab olema suurem kui enne, teine aga väiksem.

Oletame, et tundmatu takistusega näitas ampermeeter 1,0 A, reostaadi 5-oomisel takistusel 0,9 amprit ja 4-oomisel takistusel 1,1 amprit.

Seega tundmatu takistuse suurus on 4 ja 5 oomi vahel. Ühe-oomisele takistuse muutusele vastab voolu muutus 0,2 amprit. 0,1-amprise voolu muutuse tekitab siis järelikult 0,5-oomine takistus. Meie näites erines tundmatu takistuse korral ampermeetri näit just 0,1 A võrra ampermeetri näitudest 4-oomise ja 5-oomise tuntud takistuse korral. Seega on meie tundmatu takistuse suurus  $0,5 \Omega$  suurem kui  $4 \Omega$  või siis  $0,5 \Omega$  väiksem kui  $5 \Omega$ , järelikult  $4,5 \Omega$ .

Mida täpsem on ampermeeter ja mida detailsemalt saab kindlaks määrata tuntud takistuse suurused, seda täpsemalt saab arvutada ka tundmatu takistuse suurust.

### Täiendavaid küsimusi.

- 1) Millest oleneb juhi takistus?
- 2) Kas antud katse korral võib kasutada vooluringis ampermeetri asemel milliampermeetrit või galvanomeetrit?
- 3) Kas ka ainult voltmeetri abil on võimalik võrdlusmeetodiga kindlaks määrata tundmatu takistuse suurust? Kui see on võimalik, siis kirjelda lühidalt seda ja joonista vastav skeem.

### Töö nr. 40.

#### Juhi eritakistuse määramine.

Töö vahendid. Suure eritakistusega ainektraat, mõõdujoonlaud või mõõdulint, kruvikaliiber, ampermeeter, voltmeeter, vooluallikas, lüliti, ühendusjuhtmed, alus koos klemmidega traadi ja ühendusjuhtmete kinnitamiseks ja tükk liivapaberit.

Töö käik. Töö eesmärgiks on traadi aine eritakistuse määramine. Eritakistuse leidmiseks kasutatakse juhi takistuse valemit:

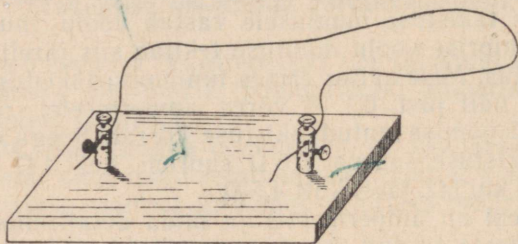
$$R = \frac{\rho l}{S},$$

kus  $q$  on eritakistus,  $l$  juhi pikkus ja  $S$  ristlõike pindala. Avaldades siit  $q$  saame

$$q = \frac{RS}{l}. \quad (1)$$

Seega eritakistuse leidmiseks tuleb määrata juhi pikkus, ristlõike pindala ja takistus.

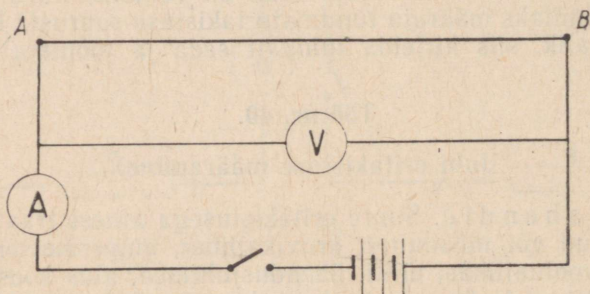
Töö sooritamiseks puhasta hoolikalt klemmide alla tulevad traadi otsad. Tee puhastatud kohtadele pliiatsiga märgid ja mõõda märkide vahele jäänud traadiosa pikkus ( $l$ ) meetrites. Seejärel kinnita traat klemmide külge (joon. 60). Jälgi, et



Joon. 60. Katseriist juhi eritakistuse määramiseks.

pliiatsiga märgitud kohad oleksid täpselt klemmide kinnituskruvide all. Edasi mõõda kruvikaliibriga traadi läbimõõtu ( $d$ ).

Koosta vooluring joonisel 61 näidatud skeemi kohaselt.



Joon. 61. Vooluring juhi  $AB$  eritakistuse määramiseks.

Mõõtes voolutugevuse  $I$  ja pinget  $U$  võib leida traadi takistuse:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Traadi ristlõike pindala ( $S$ ) avaldub traadi diameetri ( $d$ ) kaudu järgmiselt:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}.$$

Kasutades kaht viimast seost võib valemi (1) põhjal avaldada eritakistuse mõõdetud suuruste kaudu:

$$\rho = \frac{\pi d^2 U}{4 l I}, \quad (2)$$

Arvuta eritakistuse väärtus.

*Vea arvutamine.* Valemi (2) põhjal saab eritakistuse maksimaalse relatiivse vea jaoks järgmise avaldise:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{2 \Delta d}{d} + \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta I}{I}.$$

Siit võib avaldada maksimaalse absoluutse vea:

$$\Delta \rho = \rho \left( \frac{2 \Delta d}{d} + \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta I}{I} \right).$$

Traadi pikkuse, läbimõõdu, volutugevuse ja pinge maksimaalsed absoluutsed vead on antud juhul järgmised:

$$\Delta l = 1 \text{ cm}$$

$$\Delta d = 0,01 \text{ mm}$$

$$\Delta U = \dots\dots$$

$$\Delta I = \dots\dots$$

### Täiendavaid küsimusi.

- 1) Mida nimetatakse aine eritakistuseks?
- 2) Defineerida oom, amper ja volt.

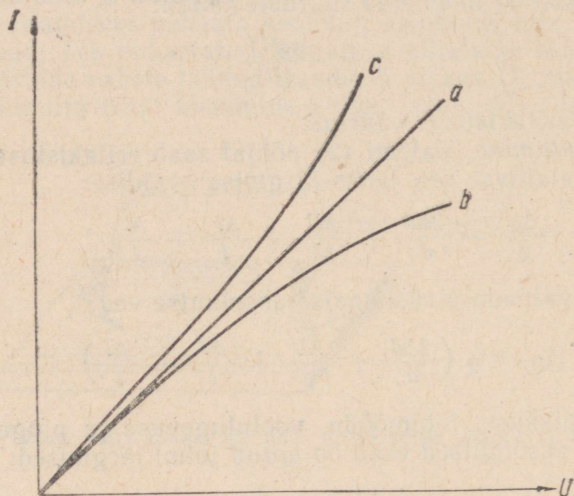
### Töö nr. 41.

#### Hõõglambi tunnuskõvera määramine.

Töövahendid. Hõõglamp, voltmeeter, ampermeeter, reostaat, voluallikas, ühendusjuhtmed, lüliti.

**Töö käik.** Olgu hõõglambi niidi takistus  $R$ , tema otste vaheline pinge  $U$  ja läbivu teada vool tugevusega  $I$ . Kui  $R$  oleks konstantne, siis  $U$  ja  $I$  vahelist sõltuvust väljendaks graafikul sirge  $a$  (joon. 62). Tegelikult aga hõõgniit voolu mõjul soojeneb ja tema takistus muutub. Sel juhul kujutab

vastavat sõltuvust graafikul kõverjoon. Kui takistus temperatuuri tõustes suureneb, siis on kõvera kumer külj pööratud ülespoole (kõver *b*). Kui aga takistus temperatuuri tõustes väheneb, siis kõvera kumer külj on pööratud allapoole (kõver *c*).

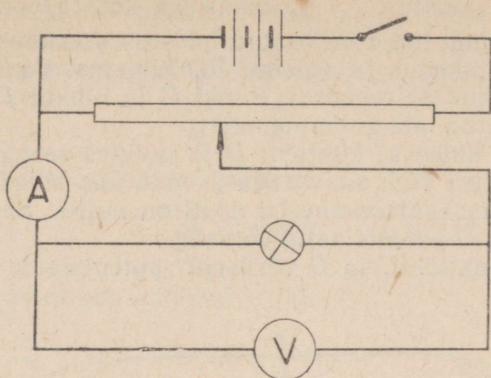


Joon. 62. Hõõglampide tunnuskõverad.

Neid kõveraid nimetatakse hõõglambi tunnuskõverateks.

Hõõglambi tunnuskõvera määramiseks koosta vooluring joonisel 63 näidatud skeemi järgi. Muuda reostaadi abil pinget . . . . voldi kaupa (küsi õpetajalt), määra iga kord vastav voolutugevus ja arvuta Ohmi seaduse põhjal igale pingele vastav takistus. Mõõtmistulemused kannu järgmisse tabelisse.

Pinge $U$ (V)									
Voolutugevus $I$ (A)									
Takistus $R$ ( $\Omega$ )									



Joon. 63. Skeem hõõglambi tunnuskõvera määramiseks.

Saadud andmete põhjal kujuta graafiliselt volutugevuse sõltuvus pingest. Abstsissiteljele kanna pinge ja ordinaatteljele volutugevuse väärtused.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kas antud hõõglambi takistus temperatuuri tõustes suureneb või väheneb?

2. Mitme protsendi võrra muutub antud hõõglambi takistus pinge suurendamisel ühest viiendikust nimipingest kuni nimipingeni?

3. Kuidas muutub söe takistus temperatuuri tõustes? Kas süsihõõgniidiga lambi tunnuskõver (vt. joon. 62) on pööratud kumera küljega ülespoole või allapoole?

### Töö nr. 42.

#### Juhi takistuse mõõtmine Wheatstone'i silla abil.

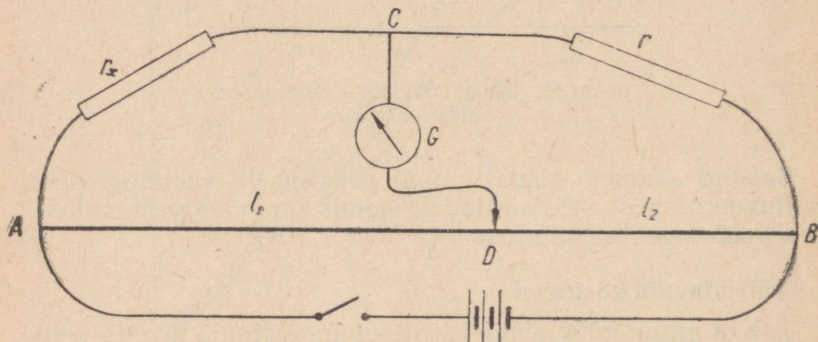
Töövahendid. Reohord, takistuskast, galvanomeeter, taskulambi patarei, lüliti, ühendusjuhtmed ja mõõdetav takistus.

**Töö käik.** Wheatstone'i (l. uuitstõun) silla üheks osaks on reohord. See koosneb meetripikkusest mõõdujoonlauast, millele on tõmmatud ühtlane peenike nikeliinist või mõnest teisest suure eritakistusega sulamist traat. Mõõda traati on võimalik nihutada libisevat kontakti (nihkurit).

Tundmatu takistuse  $r_x$  määramiseks koosta joonisel 64 näidatud vooluring, kus  $r$  on tuntud takistus (takistusmagasin),  $r_1$  lõigu  $AD$  takistus ja  $r_2$  lõigu  $BD$  takistus. Vooluringi osa  $AB$  kujutab endast reohordi. Punkt  $C$  ja nihkur  $D$  on omavahel ühendatud läbi galvanomeetri.

Nihutades libisevat kontakti  $D$  ja muutes seega takistuste  $r_1$  ja  $r_2$  väärtusi võib saavutada asendi, kus sillas  $CD$  voolu ei ole, s. o. kus galvanomeetri osuti on nullil. Sel juhul on punktide  $C$  ja  $D$  potentsiaalid võrdsed.

Märgi punktide  $C$  ja  $D$  võrdseid potentsiaale tähega  $V$ .



Joon. 64. Skeem juhi takistuse mõõtmiseks Wheatstone'i silla abil.

punkti  $A$  potentsiaali tähega  $V_1$  ja punkti  $B$  potentsiaali tähega  $V_2$ . Olgu voolutugevus harus  $ACB$   $I_1$  ja harus  $ADB$   $I_2$ .

Rakendades Ohmi seadust vooluringi osade  $AC$ ,  $AD$ ,  $CB$  ja  $DB$  kohta, saame:

$$V_1 - V = I_1 r_x \quad V - V_2 = I_1 r.$$

$$V_1 - V = I_2 r_1; \quad V - V_2 = I_2 r_2.$$

Siit järgneb, et

$$I_1 r_x = I_2 r_1;$$

$$I_1 r = I_2 r_2.$$

Jagades esimest võrdust teise võrdusega, saame:

$$\frac{r_x}{r} = \frac{r_1}{r_2}.$$

Tähista lõigu  $AD$  pikkus tähega  $l_1$  ja lõigu  $BD$  pikkus tähega  $l_2$ . Kuna traat on ühtlane, siis traadi osade takistused on võrdelised nende osade pikkustega:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{l_1}{l_2}.$$

Kahest viimasest võrdusest järgneb:

$$\frac{r_x}{r} = \frac{l_1}{l_2}.$$

Siit võib avaldada tundmatu takistuse:

$$r_x = \frac{r l_1}{l_2} \quad (1)$$

Sellest arutlusest selgub riista kasutamiseviis. Tuleb lülitada vooluringi mõõdetav takistus  $r_x$  ja tuntud takistus  $r$  vastavalt skeemile ja nihutada nihkurit seni, kuni vool sillas kaob. Pärast seda tuleb mõõta pikkused  $l_1$  ja  $l_2$  ning arvutada tundmatu takistus.

Töö sooritamisel tuleb hoolitseda, et kontaktid oleksid võimalikult takistusvabad (juhtme otsad puhtad ja kinnitused tihedad).

Takistusmagasinist võetud takistus  $r$  vali nii, et see oleks enamvähem võrdne mõõdetava takistusega  $r_x$  (s. o. voolu puudumisel sillas asub libisev kontakt reohordi keskosa läheduses). Sel juhul tekib väiksem mõõtmisviga.

Muuda takistuse  $r$  suurust, tee kolm mõõtmist ja võta saadud tulemustest aritmeetiline keskmine. Vaatlustulemused kannu alljärgnevasse tabelisse.

Vaatluse nr.	Tuntud takistus $r$ ( $\Omega$ )	Pikkus $l_1$ (cm)	Pikkus $l_2$ (cm)	Otsitav takistus $r_x$ ( $\Omega$ )
1.				
2.				
3.				

*Vea arutamine.* Valemi (1) põhjal väljendub maksimaalne absoluutne ja maksimaalne relatiivne viga järgmiselt:

$$\frac{\Delta r_x}{r_x} = \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2},$$

$$\Delta r_x = r_x \left( \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2} \right).$$

Takistuse  $r$ , pikkuste  $l_1$  ja  $l_2$  maksimaalsed absoluutsed vead on antud juhul järgmised:

$$\Delta r = \dots\dots\dots$$

$$\Delta l_1 = l_2 = \dots\dots$$

### Täiendavaid küsimusi.

1. Sõnastada Kirchhoffi I ja II seadus.
2. Millistest suurustest sõltub juhtme takistus?

### Töö nr. 43.

#### Metalli takistuse temperatuuriteguri määramine.

Töö v a h e n d i d. Termomeeter, takistusmagasin, galvanomeeter, reohord, lüliti, katseklaasi asetatud traatpool, vooluallikas, keeduklaas või metallnõu, piirituslamp või elektripliit, statiiv, ühendusjuhtmed, anum lumega ja teekann kuuma veega.

**Töö käik.** Metalli takistuse temperatuuritegur väljendub järgmise valemiga:

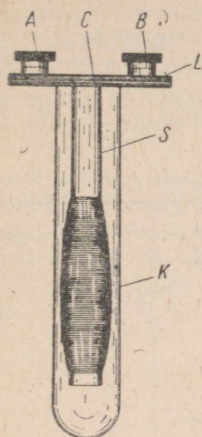
$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{tR}, \quad (1)$$

kus  $R_0$  on sellest metallist juhi takistus  $0^\circ\text{C}$  juures ja  $R$  on juhi takistus  $t^\circ\text{C}$  juures.

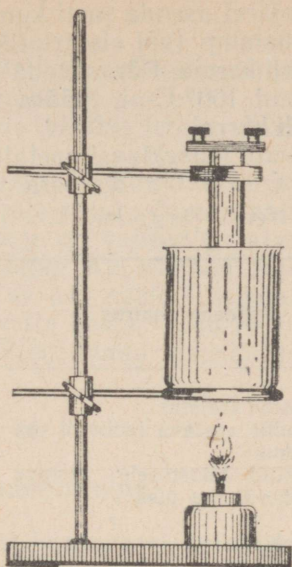
Traat, mille aine takistuse temperatuuritegurit tuleb määrata, on mähitud pappsilindrile  $S$  (joon. 65) ja asetatud katseklaasi  $K$ . Traadi otsad on ühendatud puidust või plastmassist aluselo  $L$  monteeritud klemmidega  $A$  ja  $B$ . Klemmide alusesse on tehtud ava  $C$ , mille kaudu saab papptoru sisse panna termomeetri.

Takistuse temperatuuriteguri määramiseks kinnita katseklaas koos pooliga statiivi näpitsasse. Katseklaasi purunemise vältimiseks pinguta näpitsat väga ettevaatlikult. Sama statiivi rõngale pane lumega täidetud anum, lase katseklaas lumeanumasse ja aseta papptorusse termomeeter (joon. 66).

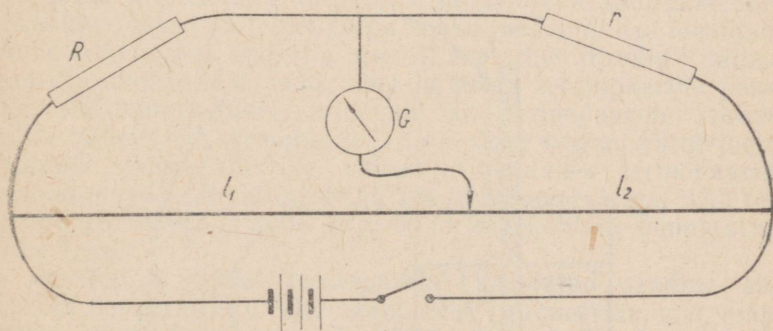
Seejärel koosta poolist, takistuskastist, vooluallikast, galvanomeetrist ja lülitist joonisel 67 kujutatud vooluahel (vt. skeemi selgitus töös nr. 42).



Joon. 65. Riist takistuse temperatuuriteguri määramiseks.



Joon. 66.



Joon. 67. Vooluring juhi takistuse temperatuuriteguri määramiseks.

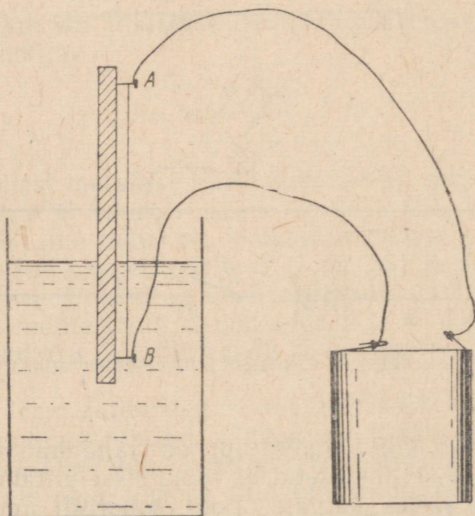
Pärast seda kui temperatuur on langenud  $0^{\circ}\text{C}$ -ni, otsi liugkontaktile selline asend, et voolu sisselülitamisel galvanomeetri osuti jääks paigale. Loe reohordilt reohordi osade pikkused  $l_1$  ja  $l_2$ . Tuntud takistus vali selline, et voolu puudumisel sillas liugkontakt asuks reohordi keskosas. Tuntud takistuse sellisel valikul tekib väiksem mõõtmisviga.

Seejärel asenda lumi kuuma veega, pane anuma alla põlev piirituslamp (või elektripliit) ja soojenda vett seni, kuni see hakkab keema. Pärast seda kui pooli sees olev termomeeter on tõusnud  $100^{\circ}\text{C}$ -ni, määra uuesti  $l_1$  ja  $l_2$  liugkontakti nullsandi korral.

Arvuta katseklaasi asetatud traatpooli takistus temperatuuril  $0^{\circ}\text{C}$  ( $R_0$ ) ja temperatuuril  $t^{\circ}$  ( $R_t$ ). Mõõtmistulemused registreeri järgmise tabeli kujul.

Mõõdetud suurus	Mõõtmistulemus temperatuuril $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$	Mõõtmistulemus temperatuuril $t = 100^{\circ}\text{C}$
1. Tuntud takistus	$r = \dots$	$r = \dots$
2. Poolile vastava reohordi osa pikkus	$l_1 = \dots$	$l_1 = \dots$
3. Tuntud takistusele vastava reohordi osa pikkus	$l_2 = \dots$	$l_2 = \dots$
4. Pooli takistus	$R_0 = \frac{rl_1}{l_2} \dots$	$R_t = \frac{rl_1}{l_2} \dots$

Arvuta valemi (1) järgi takistuse temperatuuritegur.



Joon. 68. Katse puuliistu külge kinnitatud terastraadiga.

## Täiendavaid küsimusi.

1. Selgitada takistustermomeetri töötamise põhimõtet.
2. Milles seisneb üldjuhtivuse nähtus?
3. Kuidas muutub elektrolüütide takistus temperatuuri tõustes?
4. Puuliistusse löödud naelte külge on kinnitatud terastraat *AB* (joon. 68). Traadi otsad on isoleeritud juhtmete abil ühendatud vooluallikaga. Traadi pikkus on valitud parajasti selline, et traat vaevalt punakalt hõõgub. Kui asetada traat poolenisti vette, siis veest väljaulatuv osa hakkab heledalt hõõguma. Mida sügavamale traat vette kasta, seda heledamalt veest väljaulatuv osa hõõgub. Põhjendada kirjeldatud nähtust.

## Töö nr. 44.

### Termopaari gradueerimine.

Töö v a h e n d i d. 2 ühesugust termopaari, tundlik galvanomeeter, termomeeter, 2 statiivi, 2 keeduklaasi, elektripliit või piirituslamp, traatvõrk asbestiga ja ühendusjuhtmed.

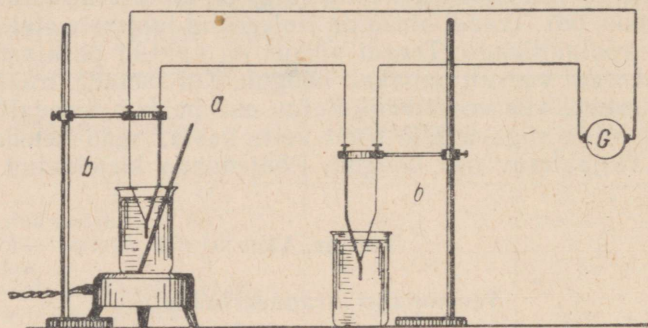
**Töö käik.** Termopaariks nimetatakse kahest erinevast metallist (näiteks konstantaanist ja rauast) traaditükke, millele ühed otsad on teineteisega kokku joodetud. Kui ühendada kahe termopaari ühest ja samast metallist traadid (näiteks konstantaantraadid) omavahel ja hoida termopaaride jootekohtade temperatuurid erinevad, siis termopaaride lahtiste otste vahel tekib termopinge. Termopinge suurus sõltub jootekohtade temperatuuride vahest. Ühendades termopaaride vabad otsad millivoltmeetriga või galvanomeetriga, võib termopinget mõõta ja selle järgi leida jootekohtade temperatuuride vahe.

Selleks et kahest termopaarist koostatud seadme abil mõõta temperatuuri, tuleb seade enne gradueerida, s. o. määrata erinevatele temperatuuridele vastavad galvanomeetri näidud.

Termoelemendi gradueerimiseks vala keeduklaasidesse toatemperatuuriga vett (mitte kraanist võetud vett, sest et kraanivee temperatuur on toatemperatuurist tunduvalt madalam). Pane elektripliidile asbestiga traatvõrk ja aseta sellele üks keeduklaas (joon. 69). Teine klaas pane lauale, küllalt kaugemale elektripliidist. Kinnita termopaarid statiivide külge ja pane nende jootekohad keeduklaasidesse. Termopaaride jootekohad ei tohi puutuda keeduklaaside põhja.

Koosta joonisel 69 näidatud vooluring. Jälgi, et termopaa-ride ühest ja samast metallist traadid oleksid ühendatud oma- vahel.

Vabasta galvanomeetri osuti arreteerijast (kui see on ole- mas) ja kontrolli, kas osuti on skaala nullil.



Joon. 69. Riistade ühendamise skeem termopaari gradueerimi- sel (*a* — konstantaantraadid; *b* — raudtraadid).

Mõõda vee algtemperatuur ja lülita sisse elektripliit. Segades termomeetriga vett jälgi temperatuuri järkjärgulist tõusu ja galvanomeetri hälvet.

Kui on kasutada ühepoolse skaalaga galvanomeeter, siis võib juhtuda, et galvanomeetri osuti ei hakka liikuma skaalat mööda, vaid vastassuunas. Sel juhul tuleb galvanomeetriga ühendatud juhtmete otsad teineteisega vahetada.

Vett soojenda kuni 80 kraadini, märkides iga 10—20 kraadi tagant temperatuuri ja samaaegselt ka galvanomeetri näidu. Mõõtmistulemused kanna järgmisse tabelisse.

Mõõtmise nr.	Esimese termopaari jootekoha temperatuur	Teise termopaari jootekoha temperatuur	Jootekoh- tade tempe- ratuuride vahe	Galvano- meetri näit

Koosta graafik, mis näitab galvanomeetri hälbe sõltuvust temperatuuride vahest. Abstsissiteljele kanna temperatuuride vahe ja ordinaatteljele galvanomeetri hälve.

## Täiendavaid küsimusi.

1. Otsusta graafiku põhjal, milline funktsionaalne sõltuvus (ruutsõltuvus, võrdeline, lineaarne või pöördvõrdeline sõltuvus) on temperatuuride vahe ja galvanomeetri näidu vahel.

2. Lugeda graafikult, milline soojema jootekoha temperatuur vastab galvanomeetri hälvetele . . . , . . . ja . . . .

3. Milline oleks galvanomeetri näit 50-kraadise temperatuuri korral siis, kui teine jootekoht oleks asetatud mitte toatemperatuuriga vette, vaid sulavasse lumme?

4. Mõõta termopaari abil keskkütte radiaatori või ahju temperatuur. Selleks pane termopaari jootekoht vastu radiaatorit või ahju ja kata see riidega, paksu kuivatuspaberi kihiga või mõne muu soojusisoleeriva ainega.

## Töö nr. 45.

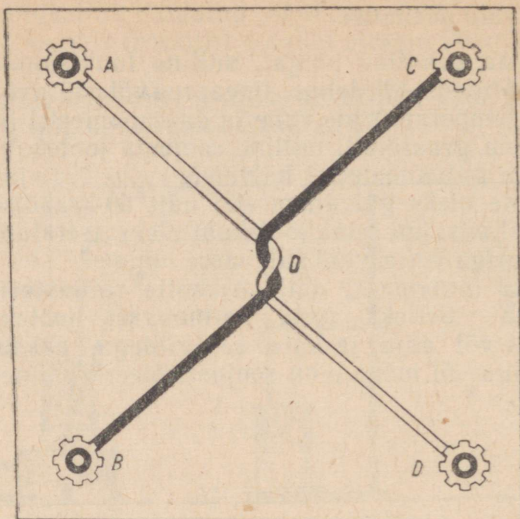
### Termoristi gradueerimine.

Töö va h e n d i d. Termorist, tundlik galvanomeeter, vahelduvvoolu ampermeeter, transformaator, reostaat ja ühendusjuhtmed.

**Töö käik.** Termoelementide abil võib mõõta mitte ainult temperatuuri, vaid ka teisi temperatuurist sõltuvaid füüsikalisi suurusi. Üheks selliseks suuruseks on vahelduvvoolu tugevus.

Vahelduvvoolu tugevuse mõõtmiseks võib kasutada kahest erinevast metallist (näiteks rauast ja konstantaanist) traaditükke, mis on keskest kokku joodetud ja ristikujuliselt alusele paigutatud (joon. 70). Sellist riista nimetatakse termoristiks. Termoristi ükskõik millised kaks naaberharu (näiteks harud  $AO$  ja  $OB$ ) moodustavad termoelemendi — ülejäänud kaks haru (harud  $CO$  ja  $OD$ ) on aga vajalikud vahelduvvoolu läbijuhtimiseks. Kui ühendada termoristi klemmid  $C$  ja  $D$  vahelduvvoolu allikaga, siis kuumeneb jootekoht voolu soojusliku toime tõttu. Mida suurem on voolutugevus, seda suurem on soojuslik toime ja seda kõrgem on jootekoha temperatuur. Jootekoha kuumenemise tõttu tekib kontaktide  $A$  ja  $B$  vahel termopinge, mida võib mõõta galvanomeetriga. Seega galvanomeetri näidu järgi võib otsustada vahelduvvoolu tugevuse üle.

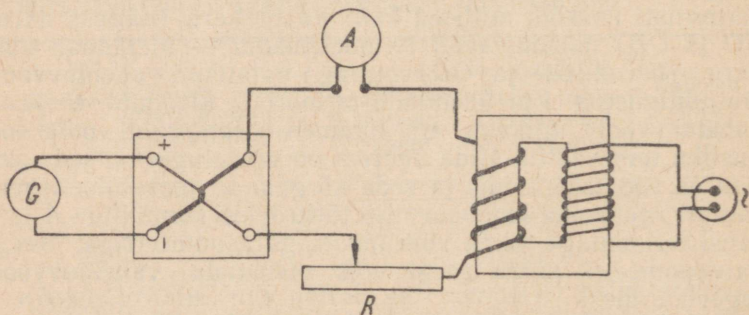
Selleks et termoristi saaks kasutada vahelduvvoolu tugevuse mõõtmiseks, peab ta enne gradueerima, s. o. määrama



Joon. 70. Termorist ( $AD$  — raudtraat;  $BC$  — konstantaantraat).

erinevate vahelduvvoolu tugevuste jaoks vastavad galvanomeetri näidud.

Termoristi gradueerimiseks koosta joonisel 71 näidatud vooluahel. Termoristi kahe haru klemmid ühenda juhtmete abil transformaatori sekundaarmähise (12 V) klemmidega. Samasse vooluringi lülita termoristiga järjestikku vahelduvvoolu ampermeeter  $A$  ja liugkontaktiga reostaat  $R$ . Termoristi ülejäänud kahe haru klemmid ühenda galvanomeetriga



Joon. 71. Termoristiga vooluringi skeem.

G. Lülita reostaat maksimaalsele takistusele, vabasta galvanomeetri osuti arreteerijast ja ühenda transformaatori primaarmähis valgustusvõrguga.

Reostaadi liugkontakti järkjärgulise nihutamisega suurenda vahelduvvoolu tugevust 0,2—0,4 ampri kaupa. Registreeri iga kord ampermeetri ja galvanomeetri näidud. Mõõtmistulemused kanna järgmisse tabelisse.

Katse nr.	Ampermeetri näit	Galvanomeetri näit

Koosta graafik, kandes abstsissiteljele galvanomeetri näidud ja ordinaatteljele ampermeetri näidud.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Loe graafikult, milline vahelduvvoolu tugevus vastab galvanomeetri näitulele . . . . .

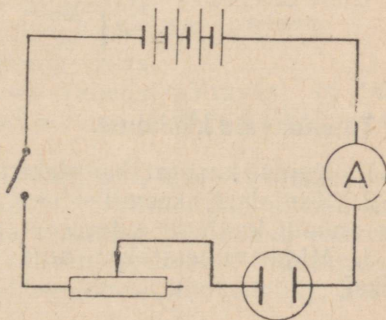
2. Puhu termoristi jootekohale. Mis juhtub galvanomeetri näiduga? Miks galvanomeetri näit muutus?

### Töö nr. 46.

#### Vase elektrokeemilise ekvivalendi määramine.

Töövahendid. Kaalud koos kaaluvihetidega, ampermeeter, sekundiosutiga kell, elektripliit või piirituslamp, alalisvoolu allikas (akumulaatorpatarei või taskulambipatarei), reostaat, lüliti, vaskelektroodid, ühendusjuhtmed, purk või Gorjatškini elektrolüüsi riist ja vasevitrioli lahus.

**Töö käik.** Töö algul kaalu võimalikult täpselt üks vaskplaat. Kaalutud plaati kasuta katoodina. Et seda plaati hiljem anoodiga mitte ära vahetada, siis märgi plaat kuidagi ära. Seejärel koosta vooluring joonisel 72 toodud skeemi kohaselt. Vooluringis on järjestikku patarei, amper-



Joon. 72. Vase elektrokeemilise ekvivalendi määramise skeem.

meeter, reostaat, elektrolüüsi riist (purk vasevitrioli lahuse ja vaskelektroodidega) ja lüliti.

Edasi lülita vooluringi vool ja märgi lülitamise aeg. Voolutugevus reguleeri reostaadi abil 1,5—2 amprini. 10—15 minuti järel katkesta vool ja võta katoodiks olnud plaat välja. Loputa plaat vees ja kuivata siis piirituslambi leegi või elektripliidi kohal. Pärast kuivatamist kaalu plaat uuesti ja määra eraldunud vase mass. Katse tulemused märgi tabelisse.

Katoodi mass enne katset $m_1$ (mg)	Voolu tugevus $I$ (A)	Aeg $t$ (sek)	Katoodi mass pärast katset $m_2$ (mg)	Eraldunud vase mass $m_2 - m_1$ (mg)

Lõpuks arvuta vase elektrokeemiline ekvivalent valemist

$$k = \frac{m}{It}.$$

*Vea arvutamine.* Tulemuse relatiivne viga oleneb mõõtmisel tehtud relatiivsetest vigadest ja ta arvutatakse valemist

$$\frac{\Delta k}{k} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta t}{t}.$$

Maksimaalse absoluutse vea saab valemist

$$\Delta k = k \left[ \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta t}{t} \right].$$

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kuidas kasutatakse elektrolüüsi tehnikas?
2. Kas elektrokeemilist ekvivalenti on võimalik määrata ka anoodi kaalumise teel?
3. Mida nimetatakse aine elektrokeemiliseks ekvivalendiks?

## Ampermeetri kontrollimine voolu keemilise toime järgi.

Töö vahendid. 10—15%-ne väävelhappelahusega täidetud Hofmanni riist (voltameeter), akumulaatorite patareid (elektromotoorse jõuga 40—50 volti) või vahelduvvoolu alaldaja, pudel väävelhappelahusega, kooli-ampermeeter, kolmest 25-vatisest lambist koosnev lampreostaat, lüliti, ühendusjuhtmed, baromeeter, termomeeter, kell, mõõdujoonlaud.

**Töö käik.** Elektrolüüsil eraldunud aine hulk sõltub teatavasti voolutugevusest. Seetõttu võib elektrolüüsi nähtust rakendada ampermeetri näidu õigsuse kontrollimiseks. Käesolevas töös kasutatakse selleks Hofmanni riista ehk voltameetrit.

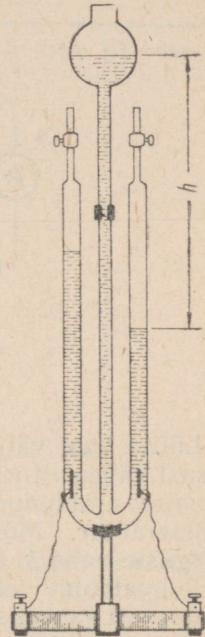
Voltameeter koosneb kolmest omavahel ühendatud klaastorust (joon. 73). Kaks äärmist toru on ülalt kraanidega suletavad ja nendesse on viidud elektroodid. Keskmise toru kaudu täidetakse voltameeter väävelhappelahusega. Selle toru ülemine osa kujutab endast kerakujulist anumad, mis mahutab elektrolüüsil eraldunud gaaside poolt väljatõrjutud väävelhappe.

Lülitades voltameetri vooluringi eraldub katoodil vesinik ja anoodil hapnik. Need gaasid kogunevad voltameetri torude ülasadesse. Torud on varustatud skaaladega, mis näitavad gaasi ruumala kuupsentimeetrites.

Enne töö juurde asumist korda gaasi ruumala, rõhu ja temperatuuride vahelist sõltuvust (§ 167 8.—9. kl. õpikust) ja elektrolüüsi seadusi (§ 59 ja § 60 10.—11. kl. õpikust).

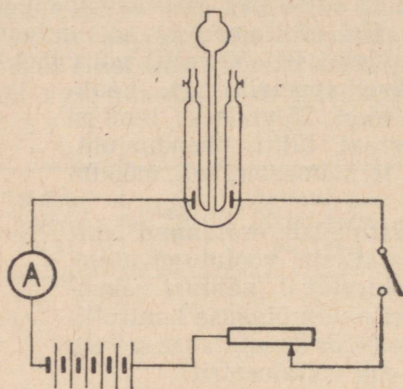
Ava voltameetri kraanid ja kontrolli, kas väävelhappelahuse nivood torudes ulatuvad kraanideni. Kui nivood on kraanidest madalamal, siis vala keskmise toru kaudu väävelhapet juurde. Seejuures hoidu väävelhappelahust tilgutamast kätele, lauale ja riietele (väävelhape on sööbiv vedelik). Sule kraanid.

Koosta joonisel 74 toodud skeemi järgi vooluring, ühendades vooluringi ainult reostaadi ühe lambi. Kasutatakse lamp-



Joon. 73. Volta-meeter.

reostaati. Lülita vool sisse ja märgi ära katse algmoment. Ampermeetri näidud registreeri iga 0,5 minuti tagant. Katse lõpul leia nende näitude keskmine väärtus.



Joon. 74. Voltameetri lülitamine  
vooluringi.

Lülita vool välja siis, kui vesinik on täitnud voltameetri torust vähemalt neljandiku. Märgi ära katse lõppmoment, loe skaalalt eraldunud vesiniku ruumala ning mõõda õhurõhk ja temperatuur. Mõõda mõõdujoonlauaga ka vedelikunivoode kõrguste vahe  $h$  (vt. joon. 73) ja leia vedeliku poolt vesinikule avaldatav rõhk. Vedeliku kaalust tingitud rõhk avaldub teatavasti järgmiselt:

$$p = dh,$$

kus  $d$  on vedeliku erikaal ja  $h$  vedelikusamba kõrgus. 10%-se väävelhappelahuse erikaal on  $1,07 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}$  ja 15%-se lahuse erikaal  $1,10 \frac{\text{cm}^3}{\text{G}}$ .

Arvuta vesinikule mõjuv kogurõhk (õhurõhu ja vedelikusamba kaalust tingitud rõhu summa) millimeetrites.

Kasutades gaaside oleku võrrandit

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0V_0}{T_0},$$

arvuta vesiniku ruumala normaaltingimustel  $V_0$  (s. t. temperatuuril  $T_0 = 273 \text{ K}$  ja rõhul  $p_0 = 760 \text{ mm}$ ).

Teades, et vesiniku tihedus normaalingimustel on  $0,00009 \frac{G}{cm^3}$ , leia elektrolüüsil eraldunud vesiniku mass. Seejärel arvuta Faraday I seaduse järgi voolutugevus (vesiniku elektrokeemilise ekvivalendi leiad vastavast tabelist).

Korda katset veel kahe voolutugevuse väärtuse korral, lülitades sisse reostaadi teise ja seejärel kolmanda lambi.

Mõõtmise tulemused registreeri järgmisse tabelisse.

Mõõdetud suurus	1. katse	2. katse	3. katse
1. Katse algmoment (sek.) . . . . .			
2. Katse lõppmoment (sek.) . . . . .			
3. Katse kestus (sek.) . . . . .			
4. Temperatuur (K) . . . . .			
5. Ohurõhk (mm-tes) . . . . .			
6. Vedelikusamba kaalust tingitud rõhk (mm-tes) . . . . .			
7. Kogurõhk (mm-tes) . . . . .			
8. Vesiniku ruumala ( $cm^3$ -tes) . . . . .			
9. Vesiniku ruumala normaalingimustel ( $cm^3$ -tes) . . . . .			
10. Vesiniku mass (mg-des) . . . . .			
11. Voltameetri poolt näidatud voolutugevus (A) . . . . .			
12. Ampermeetri näitude keskmine väärtus (A) . . . . .			

Koosta graafik, mille abstsissiteljele kannu ampermeetri näidud ja ordinaatteljele voltameetri abil saadud voolutugevused.

Saadud graafikut võib kasutada kontrollitud ampermeetri näidu paranduse leidmiseks.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kui suur on tegelik voolutugevus, kui töös kasutatud ampermeetri näit on . . . . A?

2. Hapnikku lahustub vees (ja samuti ka väävelhappelahuses) tunduvalt rohkem kui vesinikku. Kas Hofmanni riista abil on seda fakti võimalik kontrollida?

3. Miks ampermeetri kontrollimiseks ei kasutata hapniku eraldumist Hofmanni riista anoodil?

## Töö termilise ekvivalendi määramine.

Töö vahendid. Kalorimeeter koos takistustraadist spiraaliga, vooluallikas, ajanäitaja, termomeeter, ampermeeter, voltmeeter, ühendusjuhtmed, kaalud koos vihtidega ja lüliti.

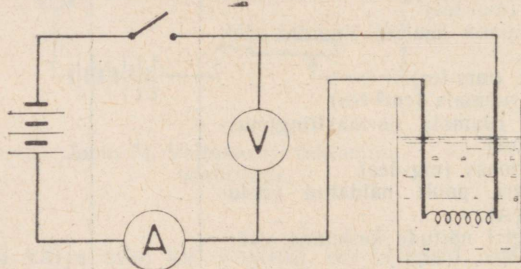
Töö käik. Voolu töö džaulides väljendub järgmiselt:

$$A = IUt,$$

kus  $I$  on voolutugevus amprites,  $U$  pinge voltides ja  $t$  aeg sekundites. Selle töö arvel tekib juhtmes  $Q$  kalorit soojust.

$$Q = cIUt,$$

kus  $c$  on töö termiline ekvivalent, s. o. arv, mis näitab, mitme kaloriga on ekvivalentne üks džaul tööd.



Joon. 75. Skeem töö termilise ekvivalendi määramiseks.

Töö termilise ekvivalendi määramiseks kaalu kalorimeeter, täida see umbes  $\frac{2}{3}$ -ni veega ja kaalu kalorimeeter koos veega. Seejärel koosta joonisel 75 näidatud vooluring, mõõda vee algtemperatuur ja lülita sisse vool. Märki voolu sisselülitamise aeg. Registreerides voolutugevust ja pinget iga minuti järel ja vett termomeetriga (või selleks ettenähtud segajaga) segades lase veel soojeneda seni, kuni selle temperatuur on tõusnud 10–15 kraadi üle toatemperatuuri. Märki katse lõppaeg.

Mõõtmistulemused registreeri järgmiselt.

	Üksikute mõõtmiste tulemused						Keskmine väärtus
Pinge $U$ (V)							
Voolutugevus $I$ (A)							

Kalorimeetri mass	$m_1 =$
Kalorimeetri mass koos veega	$m =$
Vee mass	$m_2 = m - m_1 =$
Kalorimeetri aine erisoojus	$c_1 =$
Vee erisoojus	$c_2 =$
Vee algtemperatuur	$T_1 =$
Vee lõpptemperatuur	$T_2 =$
Temperatuuri tõus	$T_2 - T_1 =$
Katse algmoment	$t_1 =$
Katse lõppmoment	$t_2 =$
Katse kestus	$t_2 - t_1 =$

Eeldades, et kogu juhised eraldunud soojushulk kulub kalorimeetri ja vee temperatuuri tõstmiseks, saab võrrandi:

$$cIU(t_2 - t_1) = m_1c_1(T_2 - T_1) + m_2c_2(T_2 - T_1), \quad (1)$$

kust võib arvutada töö termilise ekvivalendi:

$$c = \frac{(m_1c_1 + m_2c_2)(T_2 - T_1)}{IU(t_2 - t_1)}; \quad (2)$$

$I$  ja  $U$  tähendavad siin vastavalt voolutugevuse ja pinget keskmist väärtust.

*Vea arvutamine.* Kuna aega ja massi võib määrata väga täpselt, siis võib nende suuruste mõõtmisel tekkivat viga praktiliselt arvestamata jätta. Seega töö termilise ekvivalendi maksimaalselt relatiivset ja absoluutset viga võib väljendada järgmiste valemitega:

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta(T_2 - T_1)}{T_2 - T_1} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta U}{U}$$

siit:

$$\Delta c = c \left[ \frac{\Delta(T_2 - T_1)}{T_2 - T_1} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta U}{U} \right].$$

Temperatuuride vahe, voolutugevuse ja pinget maksimaalsed absoluutsed vead on järgmised:

$$\Delta(T - T) = \dots\dots\dots$$

$$\Delta I = \dots\dots\dots$$

$$\Delta U = \dots\dots\dots$$

## Täiendavaid küsimusi.

1. Mida nimetatakse soojuste mehhaaniliseks ekvivalentiks?
2. Kuidas on soojuste mehhaaniline ekvivalent seotud töö termilise ekvivalendiga?
3. Mida tähendab iga liige võrrandis (1)?
4. Miks kalorimeetris tuleb vett segada?

## Töö nr. 49.

### Elektrikeedukannu kasuteguri määramine.

Töö vahendid. Elektrikeedukann, ampermeeter, voltmeeter, ühendusjuhtmed, mensuur, termomeeter ja ajamõõtja.

Töö käik. Elektrikeedukannu küttespiraalis eraldunud soojushulk  $Q$  kalorites väljendub valemiga

$$Q = 0,24 IUt, \quad (1)$$

kus  $I$  on voolutugevus amprites,  $U$  pingeline voltides ja  $t$  aeg sekundites. Sellest soojushulgast kulub keedukannus oleva vee soojendamiseks  $Q_1$  kalorit, kuna  $Q - Q_1$  kalorit kulub keedukannu ja õhu soojendamiseks. Soojushulka  $Q_1$  võib avaldada järgmiselt:

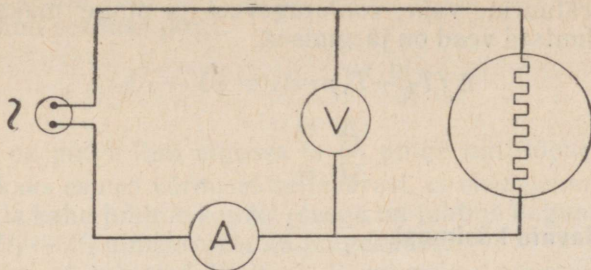
$$Q_1 = mc(T_2 - T_1), \quad (2)$$

kus  $m$  on keedukannus oleva vee mass,  $c$  vee erisoojus,  $T_1$  vee algtemperatuur ja  $T_2$  lõpptemperatuur. Siit võib leida kasuteguri:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q} = \frac{mc(T_2 - T_1)}{0,24 IUt}. \quad (3)$$

Kui voolutugevus ja pingeline ei ole konstantsed, siis  $I$  ja  $U$  tähendavad siin vastavalt voolutugevuse ja pingeline keskmist väärtust.

Kasuteguri määramiseks täida keedukann  $2/3$ -ni veega, mille mass on eelnevalt mensuuriga mõõdetud ja koosta vooluring joonisel 76 näidatud skeemi järgi. Mõõda vee algtemperatuur, lülita vool sisse ja märgi voolu sisselülitamise aeg. Registreerides voolutugevuse ja pingeline väärtused iga kahe minuti järel, jätkake katset, kuni vee temperatuur on tõusnud 85—95 kraadini. Siis katkesta vool, registreeri katkestamise moment ja vee temperatuur.



Joon. 76. Skeem elektrikeedukannu kasuteguri määramiseks.

Tulemused märgi töövihikusse järgmiselt.

	Üksikute mõõtmiste tulemused						Keskmine väärtus
Pinge $U$ (V)							
Voolutugevus $I$ (A)							

Katse algmoment . . . . .	$t_1 =$	
Katse lõppmoment . . . . .	$t_2 =$	
Katse aeg . . . . .	$t_2 - t_1 =$	
Vee mass . . . . .	$m =$	
Vee erisoojus . . . . .	$c =$	
Vee algtemperatuur . . . . .	$T_1 =$	
Vee lõpptemperatuur . . . . .	$T_2 =$	
Temperatuuri tõus . . . . .	$T_2 - T_1 =$	

Arvuta valemi (3) järgi kasutegur.

*Vea arvutamine.* Kuna aega ja massi võib määrata väga täpselt, siis võib nende suuruste mõõtmisel esineva vea praktiliselt arvestamata jätta. Seega valemi (3) põhjal kasuteguri maksimaalne absoluutne ja relatiivne viga väljenduvad järgmiste valemitega:

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{\Delta(T_2 - T_1)}{T_2 - T_1} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta U}{U}$$

$$\Delta\eta = \eta \left[ \frac{\Delta(T_2 - T_1)}{T_2 - T_1} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta U}{U} \right].$$

Temperatuuride vahe, voolutugevuse ja pinge maksimaalsed absoluutsed vead on järgmised:

$$\Delta(T_2 - T_1) = \dots$$

$$\Delta I = \dots$$

$$\Delta U = \dots$$

### Täiendavaid küsimusi.

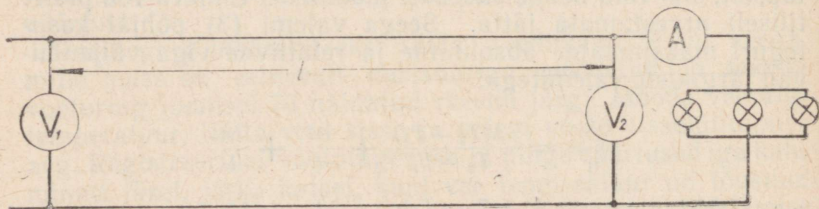
1. Mida tähendab kordaja 0,24 valemis (1)?
2. Defineerida kalor, kilokalor, džaul, amper ja volt.
3. Miks pinge ja voolutugevuse väärtused katse kestel muutuvad?
4. Miks elektripeedukannud kunagi ei ole mustaks värvitud, vaid on alati läikiva pinnaga?

### Töö nr. 50.

#### Juhtmetes esinevate pingekadude uurimine.

Töövahendid. Isolatsiooniga kaetud vasest ja terasest juhtmed, voltmeeter, ampermeeter, lampreostaat (alusele kinnitatud 3—5 lambipesa koos hõõglampidega), lüliti, ühendusjuhtmed, mõõdulint ja kruvikaliiber.

**Töö käik.** Elektri ja aamas generaatori poolt toodetav elektrienergia kantakse üle tarbijaile juhtmete kaudu, mis moodustavad nn. ülekandeliini. Vastavalt kehtestatud tehnilistele normidele tuleb siseliinide juhtmed, mis annavad voolu magistraalset elektriseadmetele, valida selliselt, et pingelang nendest ei oleks suurem kui 2% valgustusvõrkudes ja 2—5% jõuseadmete võrkudes. Mida väiksem on pingelang võrreldes võrgupingega, seda rohkem hoitakse kokku energiat ja välditakse suuri pinge kõikumisi koormuse muutumisel.



Joon. 77.

Nagu teada võib pingelangu mingil ahela osal välja arvutada Ohmi seaduse järgi:

$$U_1 - U_2 = IR = 2I \frac{ql}{S},$$

kus  $U_1$  on pinge liini alguses ja  $U_2$  pinge liini lõpus.

Arv kaks esineb võrduses sellepärast, et elektrienergia kantakse üle kahe juhtme kaudu (seega on juhtme kogupikkus  $2l$ ) Vahet  $U_1 - U_2$  nimetatakse ka pingekaoks.

Selleks et juhtmed liialt ei kuumeneks, piiratakse neid läbiva voolu tugevust vastavate normidega.

Teatud osa energiast muundub ülekandmisel ikkagi juhtmetes soojuseks. Võimsuskadu juhtmetes

$$N_1 - N_2 = I \cdot (U_1 - U_2).$$

Elektrivõrgu kasutegur

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{N_2}{N_1} = \frac{N_1 - (N_1 - N_2)}{N_1} = \frac{IU_1 - (IU_1 - IU_2)}{IU_1} = \\ &= 1 - \frac{U_1 - U_2}{U_1}. \end{aligned}$$

Kasutegur on 1 siis, kui

$$U_1 - U_2 = 0.$$

Kui juhtmes on vool, siis esineb ka pingekadu  $U_1 - U_2$ . Järelikult on kasutegur maksimaalne tühijooksul, s. o. siis, kui juhtmetes voolu ei ole.

Töö vii läbi alljärgneva skeemi järgi.

1) Monteeri vaskjuhtmetest joonisel 77 näidatud vooluring.

2) Lülita sisse algul üks, siis kaks ja lõpuks kolm lampi. Märki tabelisse igal kolmel juhul voltmeeetri ja ampermeetri näidud.

3) Leia pingekadu  $U_1 - U_2$  mõõteriistade näitude alusel ja Ohmi seaduse abil.

4) Arvuta iga koormuse kohta võimsuskadod liinis ja ülekande kasutegur.

5) Kasuta nüüd energia ülekandmiseks terasjuhtmeid ja korda mõõtmised ja arvutused samas järjekorras.

Irk. nr.	Juhtmete materjal	Koormus (lampide arv)	$U_1$	$U_2$	$I$	$I$	$\Sigma$	$Q$	$U_1 - U_2$	$N_1 - N_2$	Kasutegur $\eta$
1.	Vaskjuhe	1 lamp									
2.		2 lampi									
3.		3 „									
1.	Terasjuhe	1 lamp									
2.		2 lampi									
3.		3 „									

### Täiendavaid küsimusi.

- 1) Miks valmistatakse elektrienergia ülekandeliinid suure läbimõõduga juhtmetest?
- 2) Miks kasutatakse elektrienergia ülekandmisel kaugel maa taha kõrget pinget?
- 3) Milleks on korteris kaitsmed?

### Töö nr. 51.

#### Pooli magnetvälja uurimine.

Töövahendid. Väljavõtetega pool, ampermeeter, reostaat, alalisvoolu allikas, lüliti, rauast pulk, magnetnõel, kaalud koos vihtidega, ühendusjuhtmed.

**Töö käik.** Kui juhtida vool läbi pooli, siis tekib pooli sees magnetväli, mille jõujooned on üksteisega paralleelsed. Pooli otstel lähivad jõujooned laiali ja ühinevad uuesti väljaspool pooli.

Kui asetada pooli ette raudplaadike, siis tõmmatakse plaat magnetvälja mõjul vastu pooli. Praktikumitöö ülesandeks ongi pooli magnetvälja iseloomu ja tugevuse uurimine.

Töö vii läbi allpool toodud plaani järgi.

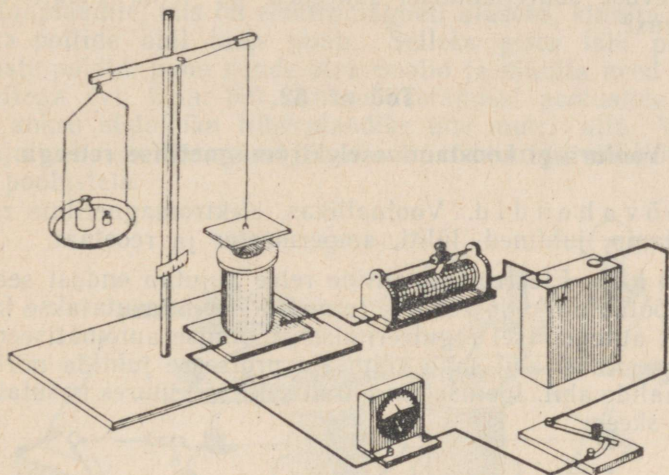
- 1) Koosta joonisel 78 näidatud vooluring.
- 2) Tasakaalusta kaalud ja aseta pooli alla vineerplaadikesi niikaua, kuni metallplaadike toetub vastu pooli otsa (vt. joon. 78).

3) Ühenda pool vooluringi ja märgi tabelisse ampermeetri näit. Aseta kaalukaasile vihte seni, kuni plaadike rebitakse

pooli küljest lahti. Tee kindlaks selleks vajalike vihtide kaal. Katse andmed märgi tabelisse.

4) Aseta pooli sisse raudsüdamik ja korralda uuesti sama katse. Tõmbejõu suurus märgi tabelisse.

5) Eemalda poolist raudsüdamik, muuda reostaadiga voolutugevust ja korda katset.



Joon. 78.

6) Võta järgmine väljavõtte ja tee ka selle korral eelpool kirjeldatud katsed. (Kui on võimalik, siis võib teha katseid 3—4 korda iga kord erineva väljavõtte korral).

Jrk. nr.	Pooli keerdude arv	Voolutugevus	Pool südamikuga või ilma	Tõmbejõud	Märkused

7) Mõõtmistulemuste põhjal tee kindlaks, millest oleneb pooli magnetvälja tugevus.

8) Magnetnõela abil tee kindlaks pooli poolused. Selleks asetage pool horisontaalselt lauale ja lähenda pooli otsale magnetnõel.

## Täiendavaid küsimusi.

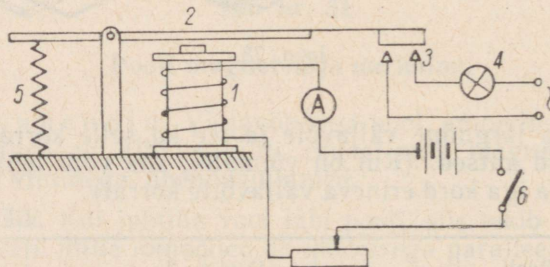
1. Kui voolu suund poolis on teada, kuidas saab siis kindlaks määrata pooluseid?
2. Millega on seletatav asjaolu, et raudsüdamik pooli asetamisel pooli magnetvälja tugevus suureneb?
3. Millega on seletatav see, et pooli keerdude arvu ja voolutugevuse suurendamisel suureneb ka tema magnetvälja tugevus?

## Töö nr. 52.

### Vooluringi koostamine elektromagnetilise releega.

Töövahendid. Vooluallikas, elektromagnetiline rele, hõõglamp, juhtmed, lüliti, ampermeeter ja reostaat.

**Töö käik.** Elektromagnetiline rele kujutab endast seadet, mis töötab nõrkade voolude toimel. Releed kasutatakse laialdaselt automaatsel reguleerimisel, tootmise automatiseerimisel jne. Relee abil saab võimsaid protsesse juhtida nõrkade signaalide abil. Joonisel on antud selle töö juures kasutatava rele skeem.



Joori. 79.

Kui elektromagnetit 1 läbib juhtiv (nõrk) vool, siis elektromagneti raudsüdamik tõmbab enda vastu raudplaadikese 2, mis suleb töötava (juhitava) vooluringi kontaktid 3. Töötavasse vooluringi on lülitatud tarbija 4. Juhtiva vooluringi katkestamisel tõuseb plaadike vedru 5 mõjul üles ja töötav vooluring katkestatakse. Vedru 5 tundlikkusest oleneb, millise kõige väiksema voolutugevuse juures rele tööle hakkab.

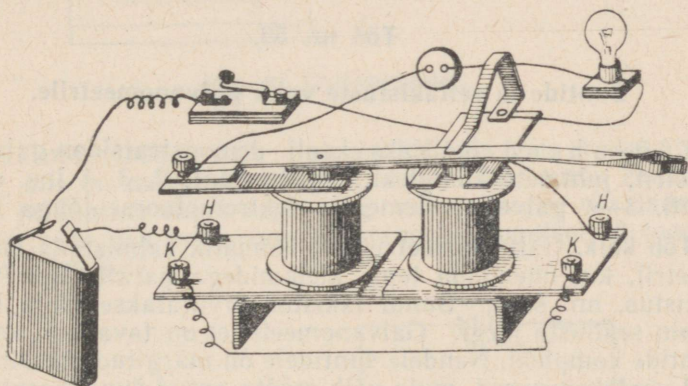
Töö vii läbi järgmiselt:

1) Tutvu rele ehitusega ja leia nõrkvoolu ja juhitava voolu klemmid!

2) Koosta rele vooluring!

Kui koolil puudub spetsiaalne rele, siis võib selle valmistada õppevahendite baas-kaupluses müügil olnud komplektist.

Raudplaadile, mis on elektromagneti aluseks, kinnita mutritega poldide abil kaks pooli. Selleks pista läbi plaadi avauste poldid, pane nende otsa poolid ja kinnita need ülalt mutritega (vt. joon. 80). Ankru asetamisel poolustele kinnita ankru südamikku fiiberplaadike ühe mutri alla. Voolu lühiajalisel sisselülitamisel jälgi ankru tõmbumist elektromagneti poolustele.



Joon. 80.

Teise mutri alla kinnita plaadike kontaktvedruga nii, et vedru asetseks risti ankruga. Kontaktvedru tuleb reguleerida nii, et see puutuks vastu ankrut juba kerge vajutuse juures. Selliselt koostatud elektromagnetilisel releel asuvad juhitava voolu klemmid pisut erinevalt võrreldes tavaliste, tehnikas kasutatavate releedega.

3) Sule nõrkvoolu ring lüliti 6 abil, jälgi rele tööd ja lambi süttimist ning kustumist.

Tähelepanu! Kui töötavas vooluringis kasutatakse 220 V pinget, siis tuleb releega töötamisel olla ettevaatlik!

4) Ühenda rele selliselt, et nõrkvoolu-ringi sulgemisel lamp kustub, avamisel aga süttib.

5) Vähenda vooluringi asetatud reostaadi takistust niikaua,

kuni relee kontaktid sulguvad. Minimaalset voolu, mille juures relee rakendub, nimetatakse rakendusvooluks  $I_r$ . Seejärel hakka reostaadi takistuse suurendamisega releed läbiivat voolu vähendama. Tee kindlaks vool, mille juures relee kontaktid tagastuvad lähteasendisse. Seda voolu nimetatakse tagastusvooluks  $I_t$ . Tagastusvoolu ja rakendusvoolu suhet nimetatakse tagastumisteguriks:

$$K = \frac{I_t}{I_r}$$

Leia relee tagastumistegur.

### Töö nr. 53.

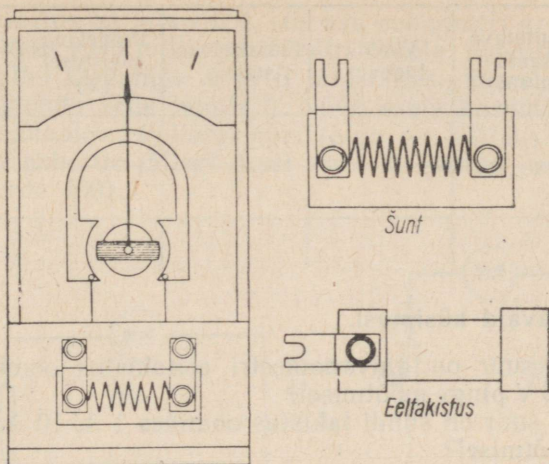
#### Šuntide ja eeltakistuste valik galvanomeetrile.

Töövahendid. Kaks kooli demonstratsioon-galvanomeetrit, juhtmete komplekt, takistused 1, 2, 3, 4 jne. oomi, lüliti, 3—4 galvaani elementi, elektromotoorse jõuga 1,5 V.

**Töö käik.** Galvanomeetrist on võimalik valmistada ampermeetrit, kui ühendada tema klemmidega paralleelselt väike takistus, nn. šunt. Šundi takistus arvutatakse välja haruvoolu seaduste järgi. Galvanomeetritel on tavaliselt kaasas šuntide komplekt. Nendele šuntidele on märgitud maksimaalsed voolutugevused, mida võib mõõta antud šunti kasutades. Tavaliselt on need, 1-, 2-, 3-, 5- ja 10-amprise voolu mõõtmiseks. Vastavalt šundile on ka ampermeetri skaala vahetatav, kusjuures šundile märgitud arv on skaalal maksimaalse hälbe arvuliseks väärtuseks.

Galvanomeetrist saab voltmeetri, kui tema klemmidega järjestikku ühendada suur eeltakistus. Eeltakistuse suurus arvutatakse välja Ohmi seaduse järgi. Galvanomeetritel on tavaliselt kaasas ka eeltakistuste komplekt. Ka eeltakistustele on märgitud maksimaalsed pinged, milliseid võib mõõta antud eeltakistuste kasutamisel. Tavalistel kooligalvanomeetritel on eeltakistused pinge mõõtmiseks 5, 10 ja 15 V piirides.

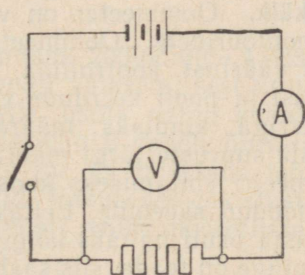
Töö algul sea galvanomeetri osuti nullseisu. Selleks keera galvanomeetri tagaküljel olevat nuppu või kruvi. Edasi aseta galvanomeetri küljel või tagaküljel asetsev pistik vajalikku pesa. Neile pesadele on tavaliselt märgitud «=» või «~».



Joon. 81. Galvanomeeter.

Kui kasutad mõõduriista alalisvooluringis, siis aseta pistik auku, mis on märgitud märgiga «=». Edasi tutvu eeltakistuste ja šuntide suurustega ning vahetatavate skaaladega. Pärast seda asu vooluringi koostamisele joonisel 82 toodud skeemi kohaselt.

Joon. 82. Ampermeetri ja voltmeetri ühendamine vooluringi.



Töö käigus vaheta iga mõõtmise järel vooluringi takistust ja vooluallika elektromotoorset jõudu (muuda elementide arvu). Iga sellise vahetuse korral tee ligikaudu kindlaks ka oodatav pingelang ja voolutugevus. Vastavalt sellele vaheta ka šundid ja eeltakistused ning mõõteriista skaalad.

Mõõtmistulemused kannu näitena toodud tabelisse. Ohmi seaduse järgi arvuta kasutatud takistuste suurused.

Katse nr.	Kasutatava šundi suurus	Voolutugevus	Eeltakistuse suurus	Pingelang takistusel (V)	Takistuse suurus ( $\Omega$ )
1.					
2.					
3.					

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kui suur on galvanomeetri eeltakistus oomides 5 V, 10 V ja 15 V pinge mõõtmisel?
2. Kui suur on šundi takistus oomides 1 A, 10 A tugevuse voolu mõõtmisel?

### Töö nr. 54.

#### Oommeetri ehitamine ja gradueerimine.

Töövahendid. Milliampermeeter, alalisvoolu allikas (taskulambipatarei), mitmesuguste suurustega raadiotakistid ja muudetav takisti.

**Töö käik.** Oommeeter on vajalik mõõteriist raadio- ja elektrimontöörile. Oommeetriga saab määrata takistuse arvulist väärtust, kontrollida, kas vooluringi osades ei ole katkestusi ja pooli keerdude vahel lühist. Peale selle saab oommeetriga kindlaks määrata transformaatori väljeid, takistuste suuruste järgi määrata nende otstarvet jne.

Oommeetri ehitamiseks koosta vooluring vastavalt joonisel 83 toodud skeemile. Eeltakistuse  $R_1$  suurus vali nii, et mõõteriista osuti näitaks kõige suuremat hälvet. Kui patarei klemmpinge on teada, siis saab  $R_1$  arvutada Ohmi seadusest:

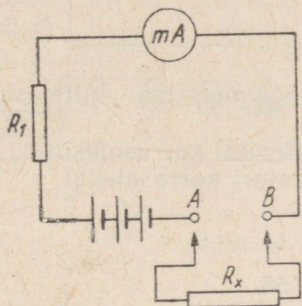
$$R_1 = U : I.$$

Näide. Olgu vooluringis kasutatava patarei klemmpinge 4,5 V ja mõõteriista täishälbele vastav vool  $I = 3 \text{ mA}$  (0,003 A). Siis

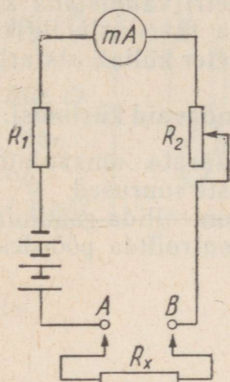
$$R_1 = 4,5 : 0,003 = 1500 \text{ oomi.}$$

Lühistades juhtmete vabad otsad A ja B, peab mõõteriista osuti peatuma skaala viimastel jaotustel.

Kui takistus on proovitud, siis asu oommeetri gradueerimisele. Selleks kata milliampermeetri skaala paberilehekese, märgi sellel klemmide  $A$  ja  $B$  lühistamise korral osuti asukoht ja kirjuta selle juurde 0. Nüüd aseta klemmide  $A$  ja  $B$  vahele teadaolev raadiotakistus (olgu see näiteks 100 oomi) ja märgi paberile jällegi osuti asukoht (antud juhul kirjuta selle juurde 100).



Joon. 83. Oommeetri skeem.



Joon. 84. Oommeetri skeem.

Kui nüüd klemmidega ühendada 200-oomine takistus, siis mõõteriista osuti hälve on veelgi väiksem, sest kogu vooluringi takistus suurenes. Selle osuti näidu kohale märgi 200 oomi. Edasi võib klemmide  $A$  ja  $B$  vahele ühendada veel takistusi 500, 1000, 2000 oomi jne. ja tähistada mõõteriista skaalal vastavad osuti asendid. Kasutades takistuste paralleelset ja järjestikku ühendamist, võib mõõteriista skaala gradueerida küllaltki detailselt.

Kui gradueerimine on lõpetatud, siis aseta klemmide  $A$  ja  $B$  vahele tundmatu takistus  $R_x$  ja määra riista osuti näidu järgi takistuse suurus.

Oommeetri näidud on õiged senikaua, kuni patarei pingeline jääb samaks, mille juures toimus gradueerimine. Tühjenedes patarei korral klemmide  $A$  ja  $B$  lühistamisel oommeetri osuti ei asu enam mõõteriista skaala nullil. Seda viga saab kõrvaldada, kui püsivtakistusega  $R_1$  ühendada järjestikku muudetav takistus  $R_2$  (joon. 84). Selle takistusega saab muuta vooluringi kogutakistust ja seada oommeetri osuti

skaala nullile. Värske patarei korral on  $R_2$  maksimaalse väärtusega, patarei tühjenemisel aga tuleb vähendada  $R_2$  takistust seni, kuni klemmide  $A$  ja  $B$  lühistamisel oommeetri osuti jääb nullasendisse.  $R_2$  suurus tuleks võtta ca  $1/10$  eeltakistuse väärtusest. Meie ülesande puhul kogu eeltakistus oli 1500 oomi. Muudetav takistus  $R_2$  tuleks võtta seega 150—200 oomi ja püsivtakistus  $R_1$  1350—1300 oomi.

Kui vastavat muudetavat eeltakistust ei ole käepärast, võib oommeetri valmistada ka ilma selleta, sest lühiste, katkestuste ja takistuste ligikaudseks määramiseks on ka lihtne oommeeter küllalt otstarbekas.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Määrata omavalmistatud oommeetriga mitmesuguste takistuste suurused.
2. Kontrollida raadiolambi kütteniidi korrasolekut.
3. Kontrollida pöörde kondensaatori korrasolekut.

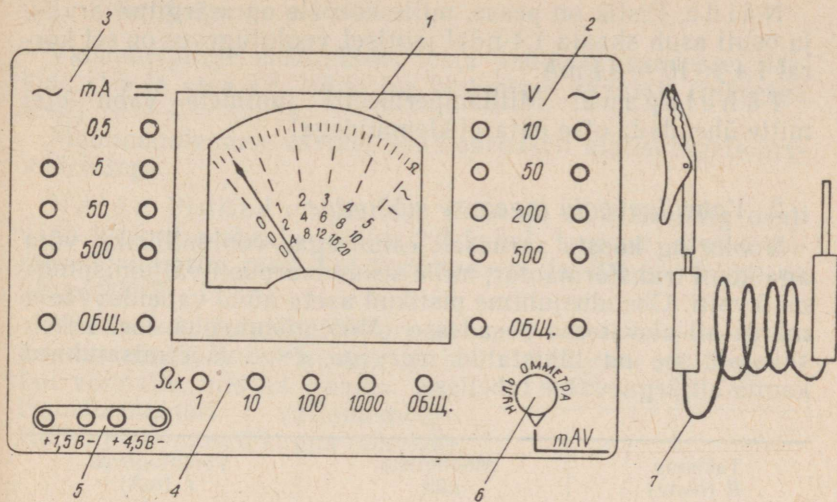
### Töö nr. 55.

#### AVO-meetri kasutamine.

Töö vahendid. AVO-meeter (kooli), transformaator, taskulämpipatarei, raadiotakistused 10, 100, 200, 500, 1000 oomi, 2 kilo-oomi ja 1,5—2 megaoomi, ühendusjuhtmed ja anoodpatarei.

**Töö käik.** AVO-meeter, universaalne mõõteriist, on vajalikuks töövahendiks raadio- ja elektrimontöörile. Kooli AVO-meeter (amper-, volt- ja oommeeter), võimaldab mõõta alalis- ja vahelduvpinget kuni 500 V, alalis- ja vahelduvvoolu tugevust kuni 500 mA ja takistust kuni 2 megaoomi.

AVO-meeter (joon. 85) koosneb kolmekordse skaalaga magnetelektrilisest mõõteriistast (1), voltmeetri takistuste komplektist ja puksidest alalis- ja vahelduvpinge mõõtmiseks (2), ampermeetri šuntide komplektist ja puksidest alalis- ja vahelduvvoolu tugevuse mõõtmiseks (3), oommeetri poolidest ja puksidest takistuste mõõtmiseks (4), klemmidest 1,5 ja 4,5 V kuivelemendi ühendamiseks (5), (uuel AVO-meetril asub kuivelement elektromotoorse jõuga 1,5 V mõõteriista korpuses) muudetavast takistusest ja nupust selle reguleerimiseks (6), ühendusjuhtmetest koos pistikutega (7) ja alaldajast (tüüp BK-07—14), mis asub mõõteriista korpuses.

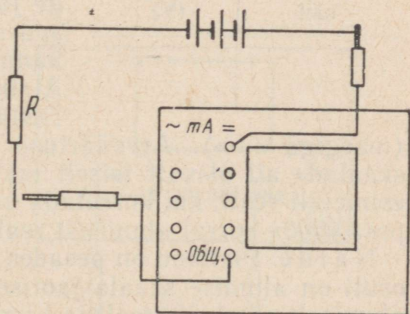


Joon. 85. AVO-meeter.

### 1. Alalisvoolu tugevuse mõõtmine.

Mõõtmise algul pööra reguleeritava takistuse nupp märgile mAV. Siis koosta vooluring allpool toodud skeemi (joon. 86) kohaselt. Muuda takistuse  $R$  suurust ja tee 4 erinevat mõõtmist. Juhtmete pistikud aseta pesadesse märkide mA «=» all. Üks pistik aseta pessa «0БЩ.» ja teine sellest ülevalpool asetsevatesse pesadesse vastavalt oodatavale voolutugevusele. Mõõteriista näit loe skaala kõige alumiselt realt, mis on tähistatud märgiga «—». Takistuse arvvaartuse saad siis, kui korrutad skaalade all olevaid esimese rea numbreid 0,1, 10 või 100-ga, olenevalt sellest, millisesse pessa on pistik asetatud.

Takistus $R$ (oomi)	Mõõteriista näit	Voolutugevus $I$ (mA)



Joon. 86. Alalisvoolu tugevuse mõõtmine.

Näide. Pistik on pesas, mille kõrvale on märgitud arv 50 ja osuti asub skaala 1,4-ndal jaotisel, voolutugevus on sel korral  $1,4 \times 10 = 14 \text{ mA}$ .

Tähelepanu! Milliampermeetri juhtmete vabu otsi mitte ühendada otse patarei klemmidega!

### 2. Vahelduvvoolu tugevuse mõõtmine.

Vooluring koosta sarnaselt eelmisega, vooluallikaks võta aga kooli transformaator, mille sekundaarpooli väljumispinge on 6 volti. Ühendusjuhtme pistikud aseta nüüd vahelduvvoolu märgi all olevatesse pesadesse. Mõõtmistulemus loe teiselt skaalalt, see on tähistatud märgiga «~». Mõõtmisandmed kanna alljärgnevasse tabelisse.

Takistus $R$ (oomi)	Mõõteriista näit	Voolutugevus $I$ (mA)

### 3. Alalispinge mõõtmine.

Alalispinge mõõtmiseks ühenda juhtmete pistikud mõõteriista paremal pool leiduva tähe «V» ja märgi «=» all olevatesse pesadesse. Üks pistik aseta pessa «ОБЩ» ja teine pessa, mille kõrvale on märgitud oodatava pinge väärtus.

Mõõda taskulambipatarei klemmipinge, anoodpatarei klemmipinge ja kui võimalik, siis ka raadioaparaadi anoodpinge. Tulemused kanna näitena toodud tabelisse. Alalispinge mõõtmisel loe mõõteriista näitu alumiselt skaalalt (märgiga «—»). Arvväärtuse saad aga pesa «10» korral skaalade all olevalt teiselt realt, pesa «50» ja «500» korral esimeselt realt, kui korrutada näidud vastavalt 10 või 100-ga, pesa «200» korral alumiselt realt, kui korrutada näit 10-ga.

Näide. Pistikud on pesades «200» ja «ОБЩ». Mõõteriista osuti on alumise skaala jaotise 3,2 kohal. Näidu loeme siis alumiselt numbrite realt ja korrutame tulemuse 10-ga. Saame 128 volti, sest antud juhul vastab igale suurele jaotisvahemikule 40 V ja väikesele 4 V.

#### 4. Vahelduvpinge mõõtmine.

Vahelduvpinge mõõtmiseks tõsta pistikud pesadesse märkide «V» ja «~» all. Näitu loe keskmiselt skaalalt (märgiga «~»).

Mõõtmistulemuse vastuse saad sarnaselt alalispingete arv-  
väärtusega.

Näide. Pistikud on pesades «500» ja «ОБЩ» ning osuti asub keskmise skaala jaotise 2,2 kohal. Lugemi saame esimeselt numbrite realt, kui korrutada näitu 100-ga. Seega on pinge 220 V.

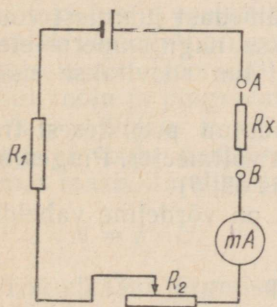
Mõõda koolitransformaatori sekundaarpinge, linnavõrgu pinge ja kui võimalik, siis ka raadio jõutransformaatori väljumispinge. Mõõtmistulemused kanna tabelisse.

Mõõteriista näit	Pinge $U$ (V)

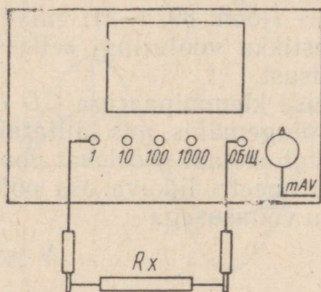
#### 5. Takistuste mõõtmine.

Takistuste mõõtmiseks kasuta oommeetrit, mille lülitusskeem on toodud joonisel 87.  $R_1$  on püsivtakisti, mille suurus oleneb vooluallika elektromotoorsest jõust ja milliampermeetri tundlikkusest,  $R_2$  on muudetav takistus, mille abil oommeetri osuti viiakse enne mõõtmise algust nullile. Klemmide A ja B (mõõteriista pesad) vahele lülita mõõdetav takistus.

Takistuse mõõtmiseks aseta pistikud mõõteriista all olevatesse pesadesse. Üks pistik tuleb pessa «ОБЩ», kuna teine sõltuvalt oodatavast mõõtmistulemusest pesadesse kas 1, 10,



Joon. 87. Oommeetri skeem.



Joon. 88. Takistuse mõõtmine.

100 või 1000. Mõõtmistulemuse saad mõõteriista kõige ülemiselt skaalalt, kui korrutada näitu vastavalt kas 1, 10, 100 või 1000-ga.

Enne mõõtmise algust pane juhtmete otsad kokku ja nupu «oommeetri null» keeramisega vii oommeetri osuti skaala nulli kohale. Mõõtmistulemused kanna kõrvaltoodud tabelisse.

Mõõteriista näit	Takistus $R_x$ ( $\Omega$ )

### Täiendav ülesanne.

Teha oommeetri abil kindlaks raadio jõutransformaatori võrgumähise, pingetõste-mähise, kenotroni küttemähise ja lampide küttemähise otsad.

### Töö nr. 56.

#### Vahelduvvoolu võimsuse mõõtmine.

Töövahendid. Voltmeeter mõõdupiirkonnaga 250 V, ampermeeter 5 A, vattmeeter mõõdupiirkonnaga 250 V, 5 A, lampreostaat ja koolitransformaator.

**Töö käik.** Vahelduvvoolu võimsust mõõdetakse vattmeetriga. Sagedamini tarvitavateks vattmeetriteks on elektrodünaamilised ja induksioon-süsteemi vattmeetrid. (Viimase ehitust on kirjeldatud töös «Elektrienergia arvesti kontrollimine».)

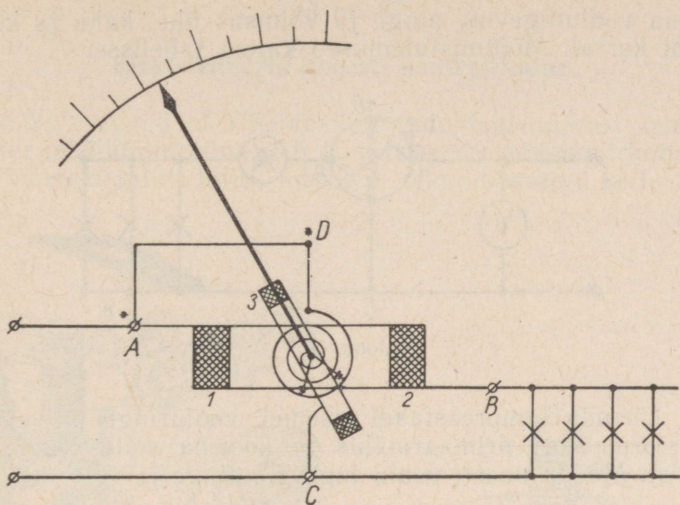
Elektrodünaamilisel vattmeetril on neli ühendusklemmi. Klemmidega A ja B on ühendatud jämedast juhtmest voolumähis (joon. 89, 1, 2), mis lülitatakse nagu ampermeetergi järjestikku vooluringi sellesse ossa, kus soovitakse mõõta võimsust.

Teise klemmipaariga CD on ühendatud peenikesest traadist pingemähis, mis lülitatakse nagu voltmeeter. Pingemähis kujutab endast pöörlevat pooli (joonis 89, 3).

Vattmeetri liikuva osa pöördenurk on võrdeline vahelduvvoolu võimsusega

$$N = IU \cos \varphi$$

Voolu suuna muutmine vattmeetri ühes mähises põhjustab tema liikuva osa pöördumise vastupidises suunas. Seepärast



Joon. 89.

tuleb vattmeetri lülitamisel ahelasse pöörata tähelepanu klemmide märgistusele.

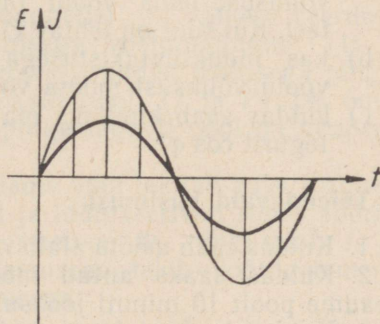
Vattmeetri voolumähise algusega ühendatud klemm (mis ühendatakse toiteallikaga) on märgitud tähekesega (\*). Vattmeetri voolumähisega ühendatav pingemähise klemm (pingemähise algus) on märgitud sama tingmärgiga.

Kui vahelduvvoolu ahelas on ainult hõõglambid, lühikesed sirged juhtmed ja reostaadid, siis esineb sellises ahelas peamiselt aktiivtakistus e. oomiline takistus ja voolu tugevus muutub vastavalt pinge muutumisele (vt. joon. 90). Sel juhul voolu ja pinge vaheline nurk  $\varphi = 0$  ( $\cos \varphi = 1$ ) ja pinge ja voolu muutused on samas faasis. Järelikult

$$N = I \cdot U.$$

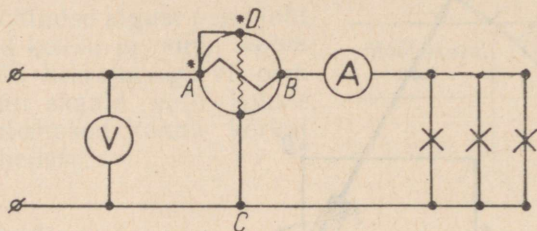
Töö vii läbi järgmise plaani järgi.

1) Koosta vooluring joonisel 91 näidatud skeemi järgi.



Joon. 90.

Mõõda voolutugevus, pinge ja võimsus ühe, kahe ja kolme lambi korral. Mõõtmistulemused kanna tabelisse.



Joon. 91.

2) Ühenda lampreostaadi asemel vooluringi universaaltransformaatori primaarmähis ja koorma selle sekundaarmähist. Mõõda uuesti voolu tugevus, pinge ja võimsus.

Jrk. nr.	Mõõtmistulemused Voolu tarbija	Voltmeetri näit $U$ (V)	Ampermeetri näit $I$ (A)	$I \cdot U$	Vattmeetri näit $N$ (W)	$\cos \varphi = \frac{N}{I \cdot U}$
1.	1 lamp					
2.	2 lampi					
3.	3 lampi					
4.	Transformaator					

3) Analüüsi mõõtmistulemusi ja vasta järgmistele küsimustele:

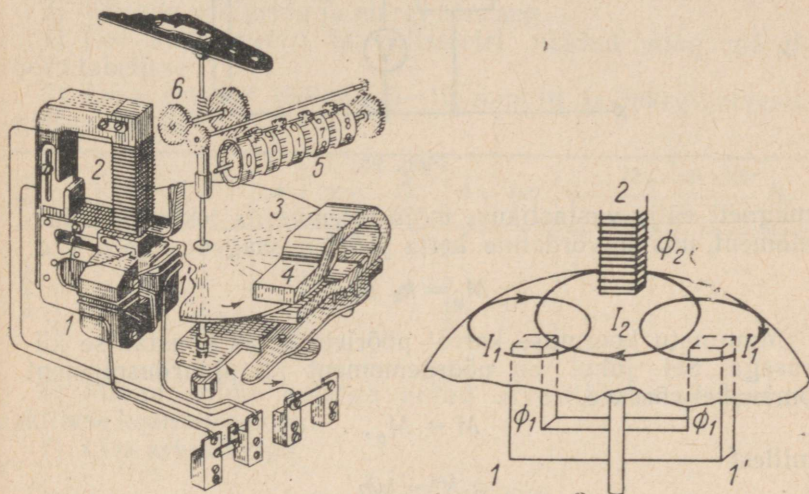
- kas antud aktiivtakistuse puhul võib vahelduvvoolu võimsuse leida voolu tugevuse ja pinge korrutamise teel. Kui suur on tehtav viga?
- kas induktiivtakistusega vahelduvvoolu ringis saab voolu võimsust mõõta volt- ja ampermeetriga?
- kuidas saab kindlaks määrata vahelduvvoolu võimsustegurit  $\cos \varphi$ ?

#### Täiendavaid küsimusi.

- Kuidas saab mõõta alalisvoolu võimsust?
- Kuidas saaks antud mõõteriistaga kindlaks määrata seadme poolt 10 minuti jooksul kasutatud elektrienergiat.
- Kuidas saaks leida antud katses lambi takistust tööolukorras?

## Elektrienergia arvesti kontrollimine.

Töö v a h e n d i d. Ühefaasiline induksioonarvesti, ampermeeter mõõdupiirkonnaga 5 A, voltmeeter mõõdupiirkonnaga 250 V, elektripliit, lüliti, juhtmed, sekundiosutiga kell.



Joon. 92. Arvesti skeem.

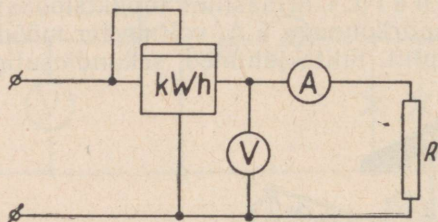
Vahelduvvoolu energia mõõtmiseks kasutatakse induksioonarvestit.

Arvesti (joon. 92) koosneb teljele kinnitatud alumiiniumkettast (3) ja kahest elektromagnetist — väikese keerdude arvuga jämedast traadist mähisega voolumagnetist (1) ja suure keerdude arvuga peenikesest traadist mähisega pingemagnetist (2). Voolumagneti kaks pooli ( $I$  ja  $I'$ ) on omavahel ühendatud järjestikku, pingemagneti pool on nendega ühendatud paralleelselt.

Elektromagnetite mähiseid läbiv vool tekitab kaks magnetvoogu, mis ahelduvad kettaga ja indutseerivad selles pöörivoolud  $I_1$  ja  $I_2$ . Voolu  $I_1$  ja magnetvoo  $\Phi_2$  ning voolu  $I_2$  ja voo  $\Phi_1$  vastastikuse mõju tulemusena tekib pöördemoment, mis on võrdeline tarbija võimsusega.

$$M = k_1 N.$$

Pöördemomendi tõttu hakkab arvesti ketas pöörlema. Ketta pöörlemisel pidurdava püsivmagneti (4) väljas indutseeritakse kettas samuti pöörisvoolud. Nende voolude ja sama



Joon. 93.

magneti välja vastastikuse mõju tulemusena tekib pidurdusmoment, mis on võrdeline ketta pöörlemissagedusega  $n$ , s. o.

$$M_p = k_2 n.$$

Muutmatu koormuse korral pöörleb ketas konstantse kiirusega. Sel juhul on pöördemoment ja pidurdusmoment omavahel võrdsed.

$$M = M_p,$$

millest

$$k_1 N = k_2 n$$

ehk

$$N = \frac{k_2}{k_1} \cdot n = k \cdot n.$$

Eeltoodust nähtub, et arvesti ketta pöörlemissagedus on võrdeline tarbitava võimsusega.

Kui aja  $t$  vältel tarbitakse energiat  $A = N \cdot t$ , siis

$$A = N \cdot t = knt,$$

$$\text{sest } N = kn.$$

Siin  $n \cdot t$  on ketta pöörete arv aja  $t$  vältel.

Seega on arvestit läbiv energia võrdeline arvestiketta pöörlemissagedusega (ajauhikus tehtud pöörete arvuga).

Suurus

$$k = \frac{A}{nt}$$

on arvuliselt võrdne ketta ühe pöörde vältel arvestit läbiva energiaga ja seda nimetatakse arvesti konstandiks.

Võrgust tarbitav energia registreeritakse arvesti arvestusmehhanismi (5) poolt, mida käivitatakse arvesti teljele asetatud hammasrattaga (6).

Energia mõõtmiseks neljajuhtmelises ahelas kasutatakse kolme-elementilist arvestit.

**Töö käik.** 1) Tutvu induktsiooniarvesti ehitusega ja tema sildiantmetega.

2) Koosta vooluring joonisel 93 näidatud skeemi järgi.

3) Ühenda vooluring ja märgi üles aeg.

4) Loe ampermeetri ja voltmeetri näidud ning märgi need tabelisse.

5) Lase arvestit töötada 5—10 minutit ja märgi arvesti näit tabelisse.

Jrk. nr.	$t$	$n$	$U$	$I$	$A$	$k = \frac{A}{nt}$	$A = IUt$	$\gamma = \frac{(k_n - k) \cdot 100}{k} \%$
1.								
2.								
3.								

6) Määra kolme katsega antud arvesti konstant puhtaktiivse koormuse puhul.

7) Leia arvesti viga:

$$\gamma = \frac{k_n - k}{k} \cdot 100\%$$

kus  $k_n$  on arvesti sildil näidatud nimikonstant.

8) analüüsi mõõtmistulemusi:

a) kas saab kontrollida induktsiooniarvesti näidu õigsust volt- ja ampermeetri abil, kui vooluahelas on ainult aktiivkoormus?

b) kas rahuldab antud arvesti standardi nõudeid vea suhtes, kui standardi järgi II täpsusklassi kuuluva arvesti puhul ei tohi viga olla üle  $\pm 2,5\%$ .

### Täiendavaid küsimusi.

1) Kuhu, kas arvesti ette või taha, on lülitatud korteri elektriseadmete kaitsmed? Miks?

2) Kuidas saab voltmeetriga kontrollida arvesti õigsust? Kas saab seda teha ka ahelasse ühendatud induktiiv- ja mahtuvuslike takistuste korral?

3) Kas on võimalik ka arvesti mõõtepiirkonda laiendada? Kuidas seda tehakse?

## Vahelduvvoolu elektrimõõteriistade komplekti tundmaõppimine.

Töövahendid. Elektrimõõduriistade komplekt KLM, voolutarbija (hõõglamp või keeduplaat), ühendusjuhtmed.

**Töö käik.** Vahelduvvoolu mõõteriistade komplekt KLM sisaldab kaks ampermeetrit, kaks vattmeetrit, ühe voltmeetri, kaks transformaatorit vattmeetri ja ampermeetri mõõdupiirkondade laiendamiseks, kaks takistust vattmeetri mõõdupiirkonna laiendamiseks ja ühe takistuse voltmeetri mõõdupiirkonna laiendamiseks.

Kõik mõõteriistad kuuluvad elektromagnetilisse süsteemi, omavad täpsusklassi 1 ja on parallaktilise vea vältimiseks varustatud peegelskaalaga.

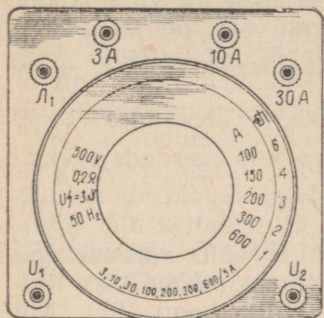
Otsesel mõõtmisel on ampermeetri mõõdupiirkonna ülemine piir 5 A, voltmeetril — 130 V ja vattmeetril — 500 W. Wattmeetriga mõõtmisel on maksimaalne pingeline 120 V ja maksimaalne voolutugevus 5 A.

1. *Voolutugevuse mõõtmine.* Kuni 5-ampriste voolutugevuste mõõtmiseks lülitatakse ampermeeter otseselt vooluringi ja loetakse voolutugevuse väärtus ampermeetri skaalalt.

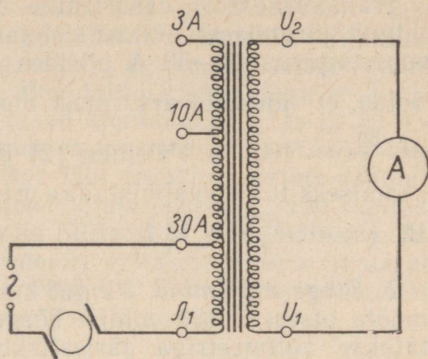
Suuremate voolutugevuste mõõtmisel kasutatakse transformaatorit (joon. 94). Transformaatori keskel on ümmargune ava ja tema kattele on kinnitatud 6 klemmi. Sekundaarmähise klemmid on tähistatud märkidega « $U_1$ » ja « $U_2$ ». Primaarmähisest on tehtud 4 väljavõtet. Need väljavõtted on ühendatud klemmidega, mis kannavad tähiseid « $J_1$ » «3 A», «10 A» ja «30 A».

Transformaatori kasutamise põhimõtte selgub joonisel 95 toodud skeemilt. Sekundaarmähise klemmidega « $U_1$ » ja « $U_2$ » ühendatakse ampermeeter. Klemmiga « $J_1$ » ühendatakse üks mõõdetava vooluringi juhe. Vooluringi teine juhe ühendatakse ühega kolmest klemmist, kas «3 A», «10 A» või «30 A», sõltuvalt sellest, kui suur on mõõdetav voolutugevus.

Joonisel 95 kujutatud lülituse korral vastab 5-amprisele voolule sekundaarahelas (s. t. ampermeetri suurimale häälele) mõõdetav vool tugevusega 30 A. Sellise lülituse korral tuleb voolutugevuse väärtuse saamiseks ampermeetri näit korrutada 6-ga. Kui näiteks ampermeetri näit on 1,8 A, siis voolutugevus skeemil kujutatud elektrimootori mähises on  $6 \cdot 1,8 = 10,8$  A. Ühendades voolu tarbija ühe juhtme klem-



Joon. 94. Mõõtetransformaa-  
tor.



Joon. 95. Transformaatori lülitamine  
vooluringi kuni 30 ampri tugevusega  
voolude mõõtmiseks.

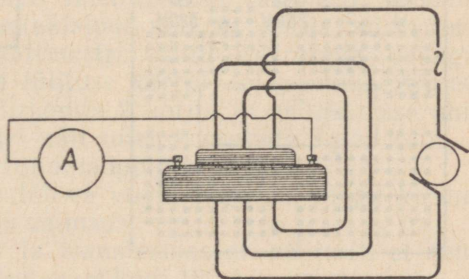
miga «3A» või «10A», tuleb ampermeetri näit korrutada 0,6-ga ( $\frac{3}{5} = 0,6$  või vastavalt 2-ga ( $\frac{10}{5} = 2$ ). Seega mõõdetava voolutugevuse  $I$  võib leida valemist

$$I = k I_0, \quad (1)$$

kus  $I_0$  on ampermeetri näit ja  $k$  transformaatori ülekandearv ( $k = 0,6, 2$  või  $6$ ).

30 amprist suuremate voolutugevuste mõõtmiseks transformaatori primaarmähis ei sobi. Sellisel korral tuleb primaarmähis valmistada mõõtjal endal. Selleks viiakse juhe, mida läbib mõõdetav vool, läbi transformaatoris oleva ava. Kui juhe on viidud läbi ava üks kord, siis on transformaatori ülekandearv 120. Väiksema ülekandearvu saamiseks tuleb juhe läbi ava viia mitu korda (joon. 96). Sellise lülitusviisi korral

$$k = \frac{120}{n}, \quad (2)$$



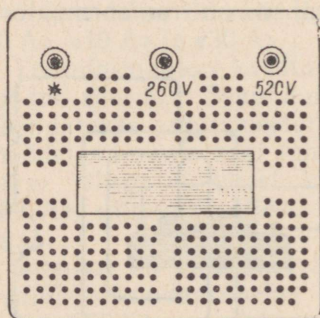
Joon. 96. Transformaatori kasutamine  
tugevate (üle 30 A) voolude  
mõõtmiseks.

kus  $n$  on arv, mis näitab, mitu korda juhe on viidud läbi transformaatori ava ( $n$  on seega «isevalmistatud» primaarmähise keerdude arv).

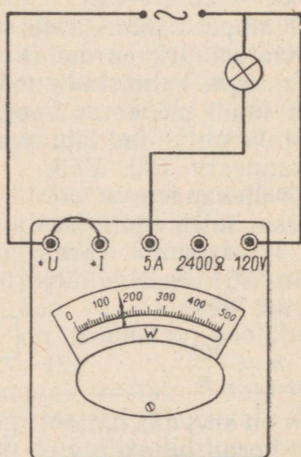
Transformaatori kasutamine tugevate voolude mõõtmisel selgub järgmisest näitest. Oletame, et meil on vaja mõõta voolutugevus 40–50 A piirides. Valemi (1) põhjal võime öelda, et ülekandearv peab olema vähemalt 10 ( $k = \frac{I}{I_0} = \frac{50}{5} = 10$ ). Valemist (2) järgneb, et ülekandearvu 10 saamiseks tuleb «valmistada» primaarmähis keerdude arvuga 12 ( $n = \frac{120}{k} = 12$ ).

2. *Pinge mõõtmine.* Pinget kuni 130 V võib voltmeetriga mõõta otseselt. 130 voldist kõrgema pinge mõõtmiseks lülitatakse voltmeetriga järjestikku takistus (joon. 97). Kui juhtmed ühendatakse klemmidega «\*» ja «260», siis pinge leidmiseks tuleb voltmeetri näitu korrutada 2-ga; klemmide «\*» ja «520 V» kasutamisel korrutatakse voltmeetri näit. 4-ga.

Voltmeetri ja vattmeetri mõõdupiirkonna laiendamiseks kasutatavad lisatakistused on oma kujult ja mõõdetelt ühesugused, mistõttu võib kergesti juhtuda, et voltmeetri lisatakistus lülitatakse vattmeetri juurde ja ümberpöörduvalt. Vea vältimiseks tuleb skeemi koostamisel jälgida, kas takistusele on märgitud täht «V» (voltmeetri takistusel) või täht «W» (vattmeetri takistusel).

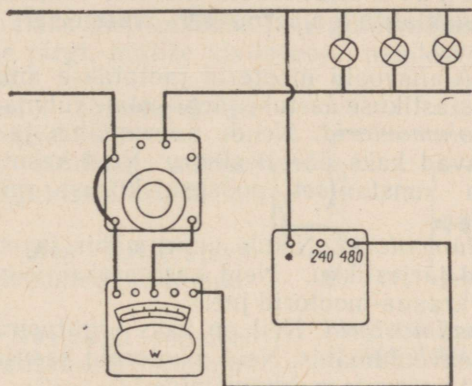


Joon. 97. Eeltakistus voltmeetrile.



Joon. 98. Voolu võimsuse mõõtmine vattmeetriga (võimsus kuni 500 W, voolutugevus kuni 5 A ja pinge kuni 120 V).

3. *Võimsuse mõõtmine.* Vattmeetril on teatavasti kaks mähist — voolumähis ja pingemähis. Voolumähis lülitatakse tarbijaga järjestikku, pingemähis aga paralleelselt (joon. 98). Pingemähise otsad on ühendatud klemmidega «\* U» ja «120 V» ning voolumähise otsad klemmidega «\* I» ja «5 A». Kui mõõdetava voolu tugevus on suurem kui 5 A, siis lülitatakse voolumähis vooluringi läbi transformaatori (samuti nagu voolutugevuse mõõtmisel ampermeeter). 120 voldist suuremate pingete mõõtmiseks lülitatakse pingemähis vooluringi läbi eeltakistuse. Vattmeetri eeltakistus on varustatud klemmidega «\*», «240 V» ja «480 V». Eeltakistus võimaldab mõõtepiirkonda laiendada kas 2 või 4 korda.



Joon. 99. Skeem suuremate võimsuste mõõtmiseks vattmeetriga.

Kui transformaatori abil laiendatakse vattmeetri mõõdupiirkonda  $k_1$  korda ja eeltakistuse abil  $k_2$  korda, siis võimsuse leidmiseks tuleb vattmeetri näitu korrutada arvuga  $k_1 k_2$ . Joonisel 99 toodud lülituse korral laiendatakse transformaatori abil mõõdupiirkonda 2 korda ja eeltakistuse abil 4 korda. Seega vattmeetri näit tuleb korrutada 8-ga.

Mõõteriista komplekti tundmaõppimiseks

1) mõõda keeduplaati läbiva voolu tugevus, pinge keeduplaadi klemmidel ja voolu võimsus;

2) lülita ampermeeter ja transformaator selliselt, et nendega võiks mõõta voolu tugevust kuni 180 A;

3) koosta lülitus võimsuse mõõtmiseks, kui arvatav voolutugevus on 25 amprit ja pinge 220 volti ning arvuta voolu võimsus, kui vattmeeter näitab 90 W, 167 W ja 410 W.

## Täiendavaid küsimusi.

1. Mis on parallaktiline viga ja kuidas saab seda peegelskaala abil vältida?
2. Lülita ampermeeter ja transformator nii, et nende abil saaks mõõta voole tugevusega 300—600 A.
3. Koosta lülitus võimsuse mõõtmiseks, kui volutugevus on 250 A ja pinge 110 V.

## Töö nr. 59.

### Alalisvoolu mootori tundmaõppimine ja tema lülitamine vooluringi.

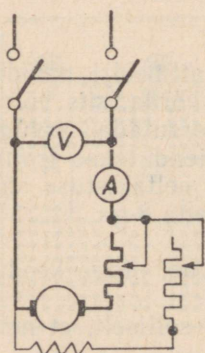
Töövahendid. Alalisvoolu mootor, vooluallikas (akupatarei), vinnaklüliti, ampermeeter, voltmeeter, reostaat ja ühendusjuhtmed.

**Töö käik.** Alalisvoolu mootorid jaotatakse ankruga ja ergutusmähise vastastikuse asetuse järgi kolme rühma.

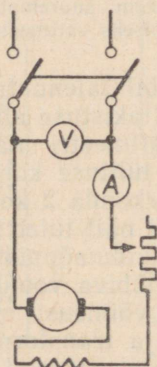
1. *Haruvoolumootorid.* Nende ankrumähis ja ergutusmähis moodustavad kaks paralleelharu. Neid kasutatakse seal, kus on vaja konstantset pöörlemiskiirust mitmesugustel koormustel.

2. *Peavoolumootorid.* Nende ankrumähis ja ergutusmähis on ühendatud järjestikku. Neid kasutatakse veomootoritena (autostarter, kraana-mootorid jne.).

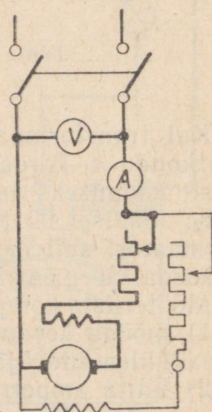
3. *Kompaundmootorid.* Neil on kaks ergutusmähist — haruvoolu- ja peavoolumähis. Neid mootoreid kasutatakse konstantset kiirust vajavate mehhanismide käitamiseks.



Joon. 100.  
Haruvoolumootori  
ühenduskeem.



Joon. 101.  
Peavoolumootori  
ühenduskeem.



Joon. 102.  
Kompaundmootori  
ühenduskeem.

Juhe, mida läbib elektrivool, hakkab magnetväljas teata-  
vasti liikuma. Liikumise suuna saab määrata vasaku käe  
reegli järgi. Kui asetada aga magnetvälja teljel pöörlev  
raam ja juhtida sellest läbi vool ning iga kord, kui raam on  
teinud  $180^\circ$  pöörde, muuta teda läbiva voolu suunda, siis  
hakkab raam magnetväljas pidevalt pöörlema. Praktikas  
kasutatakse pöördemomendi suurendamiseks mitut mähist,  
mis on asetatud isoleerlakiga kaetud üksikutest raudplekki-  
dest koostatud ankru uretesse. Mähiste otsad tuuakse aga  
välja kommutaatori lamellidele. Neile on asetatud liikumatud  
harjad. Kommutaatori ülesandeks on voolu suuna muutmise  
ankrumähistes.

Töö vii läbi järgneva skeemi alusel. 1. Tutvu alalisvoolu-  
mootoriga.

2. Tee kindlaks ankrumähise ja ergutusmähise omavahe-  
lise ühenduse järgi, millise alalisvoolu mootori tüübiga on  
meil tegemist.

Autostarteri ühendusskeem  
on antud joonisel 103.

3. Määra kindlaks ankru-  
mähise ja ergutusmähise klem-  
mid.

4. Märki üles katsetatava  
mootori põhiandmed (sildiand-  
med).

5. Koosta vastavalt mootori  
tüübile ühendusskeem ja voolu-  
ring.

6. Käivita motor ja käivitusreostaadi takistuse vähenda-  
misega vii ankru pöörlemiskiirus tema nimipöörlemiskiiru-  
seni. Jälgi ankru pöörlemissuunda.

**T ä h e l e p a n u!** Pärast mootori käivitamist ei tohi käi-  
vitusreostaati hoida kaua maksimaalsel takistusel! Ta kuu-  
meneb ja võib kergesti läbi põleda. (Reostaat on arvestatud  
lühiajaliseks töötamiseks.)

7) Kui vooluringis on mõõteriistad, siis märki üles mõõte-  
riistade näidud mootori tühijooksul.

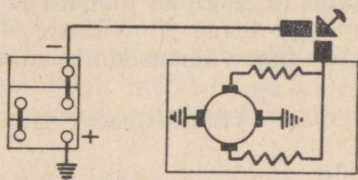
8) Muuda mootori pöörlemissuunda

- a) ergutusvoolu suuna muutmise teel;
- b) ankruvoolu suuna muutmise teel.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kas muutub ankru pöörlemissuund, kui korraka muuta  
nii ankruvoolu kui ka ergutusvoolu suunda?

2. Milles seisab alalisvoolumasina pööratavus?



Joon. 103. Autostarteri  
ühenduskeem.

## Kolmefaasilise süsteemi võimsuse mõõtmine.

Töövahendid: Vattmeeter (soovitav 3 tk.), lampreostaadid ja juhtmed.

Kuna kolmefaasiline vool on kolme ühefaasilise voolu süsteem, siis ka tema võimsus võrdub nende võimsuste summaga.

$$N = N_1 + N_2 + N_3 = U_1 I_1 \cos\varphi_1 + U_2 I_2 \cos\varphi_2 + U_3 \cdot I_3 \cos\varphi_3.$$

Faaside ühtlasel koormusel, kui  $N_1 = N_2 = N_3$ , on võimsus

$$N = 3 \cdot N = \sqrt{3} U_F I_F \cdot \cos\varphi \dots (2).$$

See valem ei ole aga kasutamiseks küllalt otstarbekohane, kuna ta sisaldab pingete ja voolude faasiväärtusi, tavaliselt on aga teada liiniväärtused. Seepärast on kasulik väljendada faasiväärtused liiniväärtuste kaudu.

$$\text{Tähtlülitusest saab: } U_F = \frac{U_L}{\sqrt{3}}; I_F = I_L.$$

Asetades need väärtused valemisse (2), saame:

$$N = 3 \frac{U_F}{\sqrt{3}} \cdot I_F \cdot \cos\varphi = \underline{\underline{\sqrt{3} U_L I_L \cdot \cos\varphi}}.$$

Kolmnurklülituses on vastavad vahekorrad järgmised:

$$U_F = U_L; I_F = \frac{I_L}{\sqrt{3}}, \text{ mis pärast asendamist annab:}$$

$$N = 3 \cdot U_L \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cdot \cos\varphi = \underline{\underline{\sqrt{3} U_L I_L \cdot \cos\varphi}}.$$

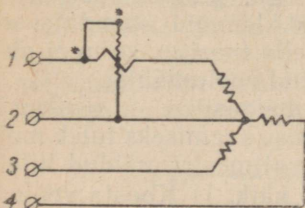
Ilmneb, et valem on ühesugune nii kolmnurkühenduse kui ka tähtühenduse kohta.

Kolmefaasilise voolu võimsust võib mõõta ühefaasiliste vattmeetrite abil, millede arv oleneb koormuse iseloomust.

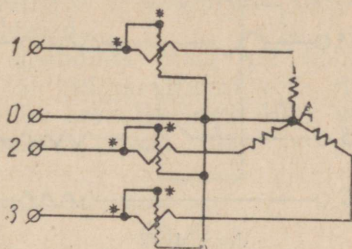
Kolmefaasilise neljajuhtmelise süsteemi (tähtühendus) võimsus võrdub üksikute faaside võimsuste summaga, s. o.

$$N = N_1 + N_2 + N_3.$$

Kui faasid on ühtlaselt koormatud, siis faasi võimsused on võrdsed ja piisab ainult ühe faasi võimsuse mõõtmisest, sest  $N = 3N_F$  (vt. joon. 104).



Joon. 104.



Joon. 105.

Kolmefaasilise voolu võimsuse saamiseks tuleb selle vattmeetri näit korrutada kolmega.

Kui faasid on erinevalt koormatud, siis tuleb mõõta iga faasi võimsus (vt. joon. 105). Sel juhul mõõdab iga vattmeeter eri faasi võimsust. Üldise võimsuse saamiseks tuleb üksikute vattmeetrите näidud liita.

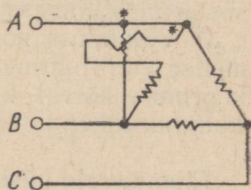
Kolme vattmeetri asemel on otstarbekas kasutada üht kolme-elementilist vattmetrit.

Elektrodünaamiline kolme-elementiline vattmeeter koosneb kolmest liikumatust ja kolmest liikuvast poolist, mille külge on kinnitatud osuti. Mõõteriista skaalale on kantud kolmefaasilisele võimsusele vastavad jaotused. Selle vattmeetri lülitusskeem sarnaneb kolme ühefaasilise vattmeetri lülitusskeemiga.

Kui tarbijad on ühendatud kolmnurka ja faasid on ühtlaselt koormatud, siis saab võimsust mõõta ühte faasi lülitatud vattmeetri abil (vt. joon. 106). Kolmefaasilise voolu võimsuse saamiseks tuleb selle vattmeetri näit korrutada kolmega.

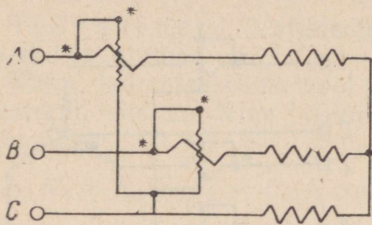
Kui faasid on erinevalt koormatud, siis mõõdetakse kolmefaasilise kolmejuhtmeline (nulljuhtmata) süsteemi võimsust kahe-elementilise vattmeetri-ga sõltumata sellest, kas tarbijad on ühendatud tähte või kolmnurka.

Kahe-elementilise vattmeetri asemel võib kasutada ka kaht ühe-elementilist vattmetrit, mis tuleb lülitada kolme-



Joon. 106.

faasilise süsteemi joonisel 107 antud skeemi järgi. Vattmeetrite voolumähised ühendatakse kahte vabalt valitud faasi, pingemähiste algused ühendatakse voolumähiste algustega, pingemähiste ülejäänud klemmid ühendatakse aga selle faasiga, kuhu ei ole lülitatud voolumähist.



Joon. 107.

Kolmefaasilise süsteemi võimsuse saamiseks tuleb mõlema vattmeetri näidud liita.

**Töö käik.** 1) Koosta vooluring joonisel 104 antud skeemi järgi (tähtühendus):

a) mõõda faaside ühtlase koormuse korral kolmefaasilise süsteemi võimsus. Kanna mõõtmistulemused tabelisse.

b) võimaluse korral mõõda ka kolmefaasilise süsteemi võimsus faaside ebaühtlase koormuse korral (vt. joon. 105).

Ühendusviis \ Faaside koormus	Tähtühendus				Kolmnurkühendus			
	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N$
Ühtlane								
Ebaühtlane								

2) Koosta vooluring joonisel 106 antud skeemi järgi (kolmnurkühendus):

a) mõõda faaside ühtlase koormuse korral kolmefaasilise süsteemi võimsus. Kanna mõõtmistulemused tabelisse.

3) Võimaluse korral mõõda ka kolmefaasilise kolmejuhtmelise (nulljuhtmeta) süsteemi võimsus faaside ebaühtlase koormuse korral nii tarbijate täht- (vt. joon. 107) kui ka kolmnurkühenduses.

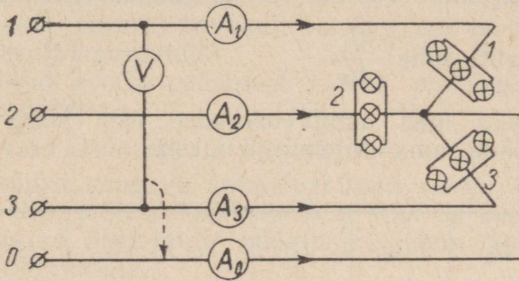
### Täiendavaid küsimusi.

- 1) Kuidas on ehitatud elektrodünaamiline vattmeeter?
- 2) Kuidas on ehitatud induksioonvattmeeter?
- 3) Kuidas saaks mõõta vattmeetritega kolmefaasilise voolu poolt tehtud tööd?

## Tarbijate tähtühendus.

Töövahendid. 4 ampermeetrit 5 A, voltmeeter 400 V, kolm lampreostaati ja ühendusjuhtmed.

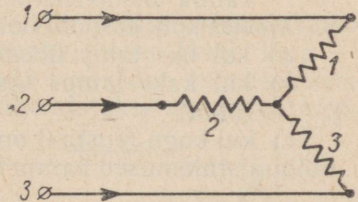
Elektrienergia tarbijaid võib ühendada tähte või kolmnurka. Kolmefaasiline süsteem tähtlülituse korral võib olla neljajuhtmeline (valgustuskoormuse korral) (joon. 108), või kolmejuhtmeline (jõukoormuse korral) (joon. 109).



Joon. 108.

Neljajuhtmelse kolmefaasilise süsteemi puhul lülitatakse lambid nulljuhtme ja liinijuhtmete vahele (vt. joon. 108). Sel juhul töötavad tarbijad samasugustes tingimustes kui ühefaasilise süsteemi korral, sest nulljuhtme olemasolu tõttu on pinge üksikute tarbijate klemmidel võrdne generaatori vastava faasi pingega.

Nulljuhtme olemasolu tõttu jäävad pinged tarbijate faasidel sõltumatult üksikute faaside koormusest muutumatuks. Kui aga nulljuhe katkeb, siis juhul, kui tarbijate faaside takistused ei ole võrdsed, on pinged tarbijate üksikutel faasidel erineva suurusega. Väiksema takistusega faasidel pinge langeb, teistel faasidel aga tõuseb. See on praktikas muidugi lubamatu. Eriti ohtlik on nulljuhtme katkemine siis, kui üks faas lühis-  
tub. Sel juhul tõuseb pinge teistel faasidel  $\sqrt{3}$  korda ja kõik nendesse faasidesse ühendatud elektrilambid põlevad läbi.



Joon. 109.

Nimetatud põhjusel ei ühendata nulljuhtmesse kaitsmeid ega lülitid.

Kui tarbija kolme faasi takistused on võrdsed (elektrimootorid), siis faasivoolud on omavahel võrdsed ja nihutatud vastavatest faasipingetest ühesuuruste nurkade võrra. Sel juhul on faasivoolude summa 0 ja järelikult nulljuhtmes voolu ei ole. Sel juhul nulljuhet ei kasutata.

**Töö käik.** 1. Koosta vooluring joonisel 108 antud skeemi järgi.

2. a) Mõõda liini- ja faasipinged ning faasijuhtmete ja nulljuhtme voolud. Kanna tulemused tabelisse 1.

Arvuta suhe  $\frac{U_L}{U_F}$ .

- b) Keera igas lampreostaadis üks lamp välja ja mõõda samad tulemused uuesti.

Tabel 1.

Jrk. nr.	$U_L$	$U_F$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_0$	$\frac{U_L}{U_F}$
a							
b							
c							

- c) Keera igas lampreostaadis kaks lampi välja ja kanna mõõteriistade näidud uuesti tabelisse.

3. Mõõda kõik eespool nõutud suurused:

- a) kui üks lamp ühest reostaadist on välja lülitatud;  
 b) kui kaks lampi samast reostaadist on välja lülitatud;  
 c) kui kogu reostaat on välja lülitatud.

Mõõtmistulemused kanna tabelisse 2.

Tabel 2.

Jrk. nr.	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_0$	$U_1$	$U_2$	$U_3$
a							
b							
c							

4. Leia töö alusel vastused järgmistele küsimustele:
- Milline on seos faasi- ja liinipinge vahel, kui faasid on ühtlaselt koormatud?
  - Kui faasivoolude koormus väheneb ühtlaselt, kas siis muutub suhe  $\frac{U_L}{U_F}$  ?
  - Kui suur on voolutugevus 0-juhtmes faasijuhtmete ühtlasel koormamisel?
  - Kas faasipinged on võrdsed, kui faasid on ebaühtlaselt koormatud?
  - Kas 0-juhtmes on vool, kui üks faas on teistest erinevalt koormatud?
  - Millal esines eeltoodud katses maksimaalne vool 0-juhtmes?

### Täiendavaid küsimusi.

- 220-voldise pingega kolmefaasilisse võrku oleks vaja ühendada 127-voldised elektrilambid. Kas on see võimalik?
- Kuidas on ühendatud hõõglambid sinu korteris, kas tähte või kolmnurka?
- Miks 0-juhtmesse ei ühendata lülitit?

### Töö nr. 62.

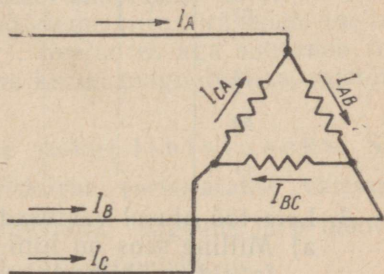
#### Tarbijate kolmnurkühendus.

Töö vahendid. 2 ampermeetrit mõõdupiirkonnaga 5A, voltmeeter mõõdupiirkonnaga 250 V, kolm lampreostaati, juhtmed ja lüliti.

Kolmnurkühenduses generaatori või tarbija esimese faasi lõpp ühendatakse teise faasi algusega, teise faasi lõpp — kolmanda faasi algusega, kolmanda faasi lõpp esimese faasi algusega ning kõikide algustega ühendatakse elektrijuhtmed.

Kolmnurkühendust kasutatakse nii elektrimootorite (joon. 110) kui ka elektrilampide (joon. 111) lülitamisel.

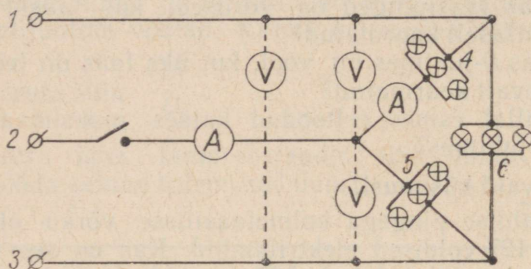
Selles lülituses puudub nullpunkt ja saimuti ka nulljuhe ning me saame kolmejuhtmelise süsteemi; nulljuhe siin polegi tarvilik, sest tarbijad ühendatakse liinipingetega ning viimased võib iga-sugusel koormusel lugeda



Joon. 110.

ligikaudu võrdseteks. Seepärast tarbija faasipinged (nagu katses selgub, on need liinipingega võrdsed, sest liinijuhtmed on ühendatud ühe ja sama faasi alguse ja lõpu külge) peaaegu ei olene koormuse ebaühtlusest. Niisugune tarbijate lülitusviis on eriti soovitatav faaside ebaühtlasel koormamisel (lampide kasutamisel).

**Töö käik.** 1. Koosta vooluring joonisel 111 näidatud skeemi järgi.



Joon. 111.

2. a) Mõõda voltmeetriga liinipinged ja ampermeetritega liini- ja faasivoolude tugevused.

Tulemused kirjuta tabelisse. Arvuta suhe  $\frac{I_L}{I_F}$ .

b) Keera igas lampreostaadis üks lamp välja ja mõõda samad tulemused.

c) Keera lampreostaadis 4 kaks lampi välja ja mõõda nõutud suurused.

Mõõtmistulemuste tabel

Jrk. nr.	$I_L$	$I_F$	$\frac{I_L}{I_F}$	$U_1$	$U_2$	$U_3$
a)						
b)						
c)						

3. Leia töö alusel vastused järgmistele küsimustele.

a) Milline seos on liini- ja faasivoolude vahel siis, kui faasid on ühtlaselt koormatud?

b) Kas sama seos jääb püsima ka siis, kui üht faasi koormata vähem?

- c) Milline seos on liinipingete vahel faaside ühtlasel koormamisel?
- d) Kas sama seos jääb püsima ka siis, kui üht faasi koormata vähem?

### Täiendavaid küsimusi.

1) Majas on elektrilambid ühendatud kolmnurka. Mis juhtub siis, kui ühe liini kaitsmed läbi põlevad?

2) Kas saaks 127 V lampe kasutada võrgus, kus liinipinge on 220 V?

3) Suurematesse koolimajadesse tuleb tavaliselt kolme-faasiline vool. Kuidas on ühendatud sellesse võrku koolimajas kasutatavad hõõglambid? Kuidas elektrimootorid?

### Töö nr. 63.

#### Asünkroonmootor ja tema käivitamine.

Töö vahendid. Asünkroonmootor, ümberlüüti, ühendusjuhtmed.

Nagu teada, põhjustab kolme-faasiline vool asünkroonmootori staatoris pöörleva magnetvälja. Selle tagajärjel indutseeritakse rootoris vool. Rotori voolude ja pöörleva magnetvälja vastastikuse mõju tulemusena tekib jõud, mis paneb rootori pöörlema magnetvälja pöörlemise suunas. Rotori pöörlemiskiirus on väiksem magnetvälja pöörlemiskiirusest, sest kiiruste võrdsuse korral jõujooned ei lõikaks rootormähise juhtmeid ja järelikult neis voolu ei tekiks.

Kui muuta magnetvälja pöörlemissuunda, hakkab ka rootor pöörlema vastupidises suunas.

Mootori koormuse (s. o. võllile rakendatud pidurdusmomenti) muutmisel mootori pöördemoment muutub. Koormuse suurenemisel rootori pöörlemiskiirus väheneb (selles ka nimetus asünkroonmootor). Seejuures aga suureneb rootori mähise juhtmete suhteline kiirus magnetväljas, mistõttu rootori vool suureneb.

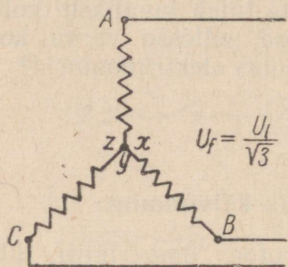
Suhet  $\frac{n_1 - n_2}{n_1}$  nimetatakse rootori libistuseks. Siin  $n_1$  on magnetvälja pöörlemiskiirus (arvutatakse valemiga  $n_1 = \frac{60f}{p}$ , kus  $f$  on vahelduvvoolu sagedus ja  $p$  mootori pooluspaaride arv) ja  $n_2$  rootori pöörlemiskiirus.

Normaalsete mootorite libistus on 1—6%.

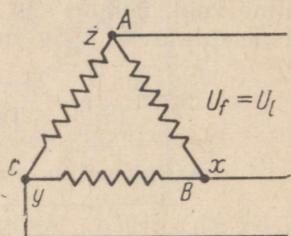
Asünkroonmootori staatori mähised ühendatakse tähte või kolmnurka. Mähiste klemmidega varustatud otsad on välja toodud mootori staatorile kinnitatud klemmilauale.

Tähtlülituse korral ühendatakse staatormähise lõpud  $x, y, z$  omavahel, kuna mähiste algused  $A, B, C$  tuuakse välja lülitaja klemmidele.

Kolmnurklülituse korral ühendatakse mähise algus eelmise mähise lõpuga ( $A-z, B-x, C-y$ ) ja juhtmeotsad ühendatakse vooluvõrguga.



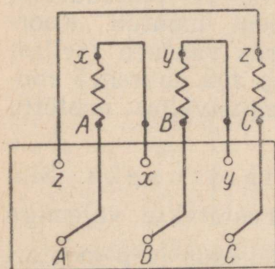
Joon. 112. Tähtlülitus.



Joon. 113. Kolmnurklülitus.

Asünkroonmootori iga faasi mähised on arvatud teatud kindlale nimi-faasipingele.

Kui mootori nimi-faasipinge võrdub mootorit toitva võrgu liinipingega, siis ühendatakse staatormähised kolmnurka. Kui aga võrgu liinipinge on  $\sqrt{3}$  korda nimi-faasipingest kõrgem, siis ühendatakse mähis tähte. Kui näiteks võrgupinge on 380 V ja mootori nimi-faasipinge on 220 V, siis tuleb mootorimähis ühendada tingimata tähte. Niisiis on igal mootoril kaks nimi-pinget, mis erinevad teineteisest  $\sqrt{3}$  korda.

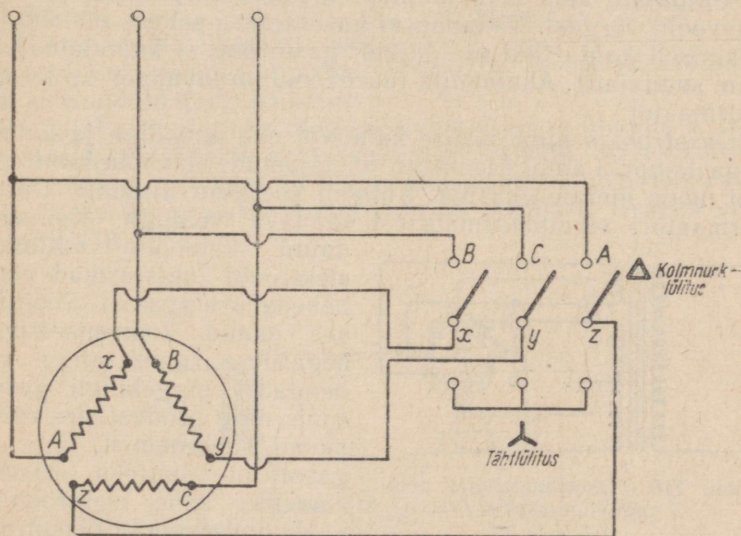


Joon. 114. Asünkroonmootori klemmilaud.

Väikese võimsusega mootorid (kuni 10–20 kW) käivitatakse lihtsalt võrgulülitis sisselülitamisega. Käivitamise alghetkel indutseeritakse mootoris võrdlemisi suur elektromotoorne jõud, sest magnetvälja pöörlemiskiirus paigalseisva rootori suhtes on suur. Seetõttu on rootori vool sel hetkel 5–8 korda suurem nimiväärtu-

sest. Kuigi käivitusvool ei kujuta otsest ohtu mootorile, põhjustab ta käivitamise hetkel võrgupinge languse, mis häirib teiste tarbijate tööd.

Lühisrootoriga mootori käivitusvoolu vähendamiseks alandatakse käivitamise perioodil mootori mähistele rakendatavat pinget. Kui mootor normaalselt töötab kolmnurkühenduses, siis võib pinget käivitamise ajal alandada sel teel, et staatormähised lülitatakse algul kolmnurga asemel tähte. Selleks kasutatakse erilist kahepoolsete klemmidega ümberlülitit. Lülitil abil ühendatakse mähised algul tähte, seejärel aga, kui mootor saavutab teatud kiiruse, lülitatakse mähised ümber kolmnurka. Sellise käivitusmeetodi puhul väheneb staatori faasimähistele rakendatud pinge  $\sqrt{3}$  korda, millega saavutatakse käivitusvoolu kolmekordne vähenemine.



Joon. 115. Asünkroonmootori ühendusskeem.

**Töö käik.** 1. Koosta vooluring joonisel 115 toodud skeemi kohaselt, Mootori klemmilaualt vii juhtmed ümberlülitisse, nii, nagu näidatud skeemil.

2. Tutvu mootoriga ja käivitusseadistega ning märgi üles mootori sildiandmed.

3. Käivita mootor, ühendades ta algul tähte, siis kolmnurka.

4. Muuda rootori pöörlemissuunda, vahetades klemmlaual sisendjuhtmete A ja C otsad.

## Täiendavaid küsimusi.

1. Millised energiakaod esinevad asünkroonmootoris?
2. Kuidas ühendada volt-, amper-, ja vattmeeter mootori vooluringi?

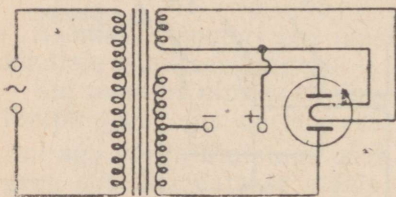
## Töö nr. 64.

### Vahelduvvoolu alaldaja kasutamine akumulaatorpatarei laadimiseks.

Töövahendid. Gasotron või kuivalaldaja, akumulaatorpatarei, ühendusjuhtmed, reostaat, ampermeeter ja areomeeter.

Alaldajate abil saab laadida akumulaatorpatareid vahelduvvoolu võrgust. Tänapäeval kasutatakse selleks otstarbeks peamiselt kahte liiki alaldajaid: gasotrone ja kuivalaldajaid (nn. suunajad). Akulaadija juurde kuulub tavaliselt ka transformator.

Gasotronics nimetatakse kahe või ühe anoodiga ja katoodiga lampi. Lambi klaaskolb on täidetud elavhõbedauruga või mõne inertse gaasiga. Katoodi köetakse alaldaja transformatori sekundaarmähisest saadava vooluga. Kuumendatud katoodilt väljunud



Joon. 116. Gasotronalaldaja põhimõtteline skeem.

elektronid ioniseerivad elavhõbedauru (gaasi). Positiivsed ioonid kompenseerivad negatiivse ruumilaengu, vähendades pingelangu gasotronics ning soodustades emissiooni suurenemist. See on gasotronics suureks eeliseks võrreldes kahe elektroodiga vaakuumlampiga. Gasotronics valmistatakse kuni mõnekümne amprise voolu alaldamiseks. Küttevool kõigub mitmesuguse võimsusega gasotronicsidel 4 kuni 50 A piirides.

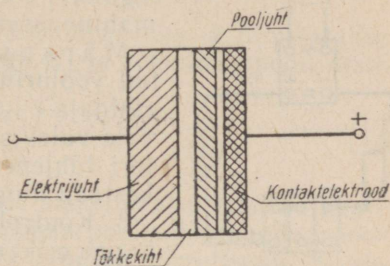
Kuivalaldajaid nimetatakse sageli ka pooljuhtalaldajateks. Ta koosneb mitmest elemendist. Iga element koosneb kahest elektroodist, mille vahel on õhuke ( $10^{-6}$  cm) tõkkekiht.

Üheks elektroodiks on elektrijuht, teiseks — pooljuht. Vabade elektronide kontsentratsioon elektrijuhis on tunduvalt suurem kui pooljuhis, kuid elektronid ei saa liikuda, sest elektroodide vahel asub tõkkekiht. Ühendades juhtiva elektroodi vooluallika negatiivse klemmiga ning pooljuhtelekt-

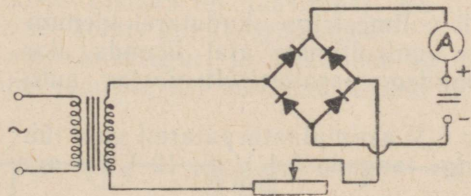
roodi positiivse klemmiga, läbib vooluringi vool, sest elekt-rivälja jõudude mõjul liiguvad elektronid juhist läbi tõkke-kihi ja pooljuhi.

Kui ühendada alaldav element vastassuunaliselt, siis tekib tõkkesuunaline vool, mis on väga väike võrreldes eelmise vooluga. Seega juhivad pool-juhtalaldajad voolu praktili-selt vaid ühes suunas. Mitu elementi monteerituna ühisele poldile moodustavad alal-dajasamba. Elemente võib ühendada voolude suurenda-miseks paralleelselt ja luba-tava pinge tõstmiseks järjes-tikku.

Kõige ulatuslikumalt on tänapäeval levinud kuproks-ja seleenalaldajad. Kuproks-alaldajal ei tohi pinge üksiku elemendi kohta ületada 4—8 V, vastasel korral tekib vastassuunaline ülelöök. Seleenalaldaja kannatab pinget kuni 20 V elemendi kohta. Täisperiodi alal-damiseks ühendatakse kuivalaldajad tavaliselt Graetzi silda (joon. 118).



Joon. 117. Pooljuhtalaldaja skeem.



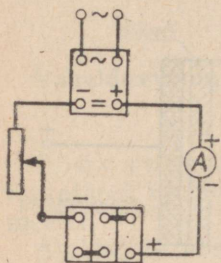
Joon. 118. Graetzi sild

Akumulaatorpatarei laadimiseks ühendatakse akulaadija vahelduvvoolu klemmid (märk «~») vahelduvvoolu võr-guga. Akulaadija «+»-klemm ühendatakse akupatarei «+»-klemmiga ja laadija «-»-klemm akupatarei «-»-klemmiga. Vooluringi ühendatakse ka ampermeeter, millega kontrolli-takse laadimisvoolu tugevust. Laadimisvoolu tugevuse muut-miseks kasutatakse laadijal olevat reguleerijat või selle puu-dumisel vooluringi järjestikku ühendatud reostaati.

Laadimisvoolu tugevus amprites ei tohi happeakumulaato-rite juures ületada  $\frac{1}{10}$  aku mahtuvuse ampertundide arvust. (Näit.: «Moskvitši» 65 ampertunnist akupatareid võib laa-

dida seega maksimaalselt 6,5 A vooluga.). Leelisakumulaa-  
toritel võib laadimisvool olla tunduvalt suurem.

**Töö käik.** 1. Koosta vooluring joonisel 119 näidatud skeemi  
järgi.



Joon. 119. Akulaa-  
dija lülitamine voo-  
luvõrku.

2. Lülita alaldaja vahelduvvoolu võrku ja  
reguleeri voolutugevus võrdseks  $\frac{1}{10}$ -ga aku  
mahtuvusest.

**M ä r k u s:** Kui ampermeeter on ühenda-  
tud vooluringi õigesti (tema «+»-klemm  
alaldaja «+»-ga) ja tema osuti kaldub kõr-  
vale vales suunas, siis toimub akumulaa-  
tori tühjenemine ja vooluring tuleb kat-  
kestada ning otsida vea põhjus.

3. Kontrolli areomeetriga akumulaa-  
tori happe erikaalu. (Happeakumulaa-  
toril peab see olema vähemalt 1,24. Täislaetud aku-  
mulaatorpatarei elektrolüüdi erikaal on  
1,28, tühjana 1,12). Selleks tõmba happe-  
mõõtjasse (joon. 120) akumulaa-  
tori korgi

kaudu elektrolüüti nii palju, et areomeeter jääb  
sellesse vabalt ujuma. Areomeetri skaalalt loe  
happe erikaal. Elektrolüüdi tase peab olema aku-  
patarei purgis 1—2 cm kõrgemal plaatide serva-  
dest.

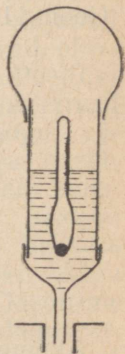
4. Kontrolli voltmeetriga akupatarei klemmi-  
pinget. Pinge kontrollimise ajal ühenda aku-  
patarei klemmidega paralleelselt vastav auto-  
lamp.

**M ä r k u s:** 6 V akumulaa-  
torpatareil võib tüh-  
jenemisel pinge langeda 5,4 V-ni, 12 V-sel aga  
10,8 V-ni.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kuidas valmistada normaalset elektrolüüti  
(20% lahus) kontsentreeritud väävelhapest?  
Millistest ohutuse nõuetest tuleb seejuures kinni  
pidada?

2. Näidata skeemil voolu käiku alaldaja voolu-  
ringis.



Joon. 120.  
Happe-  
mõõtja.

### Transformaatori ülekandearvu ja kasuteguri määramine.

Töö v a h e n d i d. Koolitransformaator, reostaat, kaks ampermeetrit, kaks voltmeetrit, ühendusjuhtmed ja lüliti.

**Töö käik.** Transformaatori ülekandearvuks  $k$  nimetatakse primaarpooli otste vahelise pinge  $U_1$  ja sekundaarpooli otste vahelise pinge  $U_2$  suhet:

$$k = \frac{U_1}{U_2}. \quad (1)$$

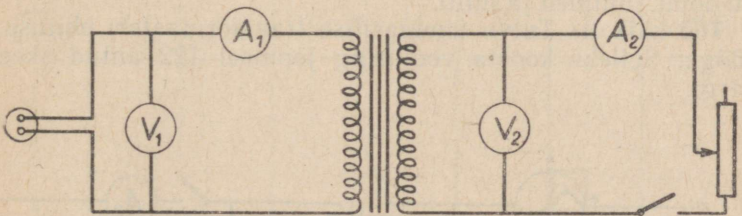
Kui koormata transformaatorit maksimaalse lubatud koormusega, siis voolu võimsused primaarpoolis ja sekundaarpoolis avalduvad voolutugevuste ja pingete korrutisena. Seega maksimaalse koormuse korral transformaatori kasutegur avaldub järgmiselt:

$$\eta = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1}, \quad (2)$$

kus  $I_1$  ja  $I_2$  on vastavalt voolutugevused primaarpoolis ja sekundaarpoolis.

Maksimaalkoormusest tunduvalt madalamatel koormustel valem (2) ei kehti (esineb nn. faasinihe). Ka normaalkoormuse korral on see kehtiv ainult ligikaudselt.

Transformaatori kasuteguri ja ülekandearvu määramiseks koosta vooluahel joonisel 121 näidatud skeemi järgi.



Joon. 121. Skeem transformaatori ülekandearvu ja kasuteguri määramiseks.

Primaarpooliks vali suure keerdude arvuga pool (millele on märgitud 220 V) ja sekundaarpooliks väikese keerdude arvuga pool (millele on märgitud 12 V). Seega transformator madaldab pinget ja suurendab voolutugevust. Sellele vastavalt vali mõõduriistad, s. o. lülita primaarringi suure

möödupiirkonnaga voltmeeter ja väikese möödupiirkonnaga ampërmeeter; sekundaarringi aga väikese möödupiirkonnaga voltmeeter ja suure möödupiirkonnaga ampërmeeter.

Ühenda primaarpool võrguvooluga, mōõda pinged lahtise sekundaarringi korral ja arvuta valemi (1) järgi ülekandearv.

Sea reostaat maksimaalsele takistusele, sule lüliti abil vooluring ja nihuta reostaadi liugkontakti seni, kuni voolutugevus sekundaarpoolis on saavutanud maksimaalse lubatud (sekundaarpoolile märgitud) väärtuse. Registreeri ampërmeetrite ja voltmeetrite näidud ja arvuta valemi (2) järgi kasutegur.

### Täiendavaid küsimusi.

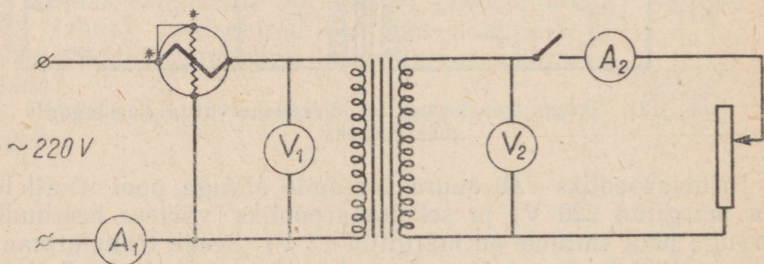
1. Kuidas avaldub transformaatõri ülekandearv primaarpooli ja sekundaarpooli keerdude arvu kaudu?
2. Kuidas suhtuvad voolutugevused primaar- ja sekundaarmähises?
3. Kui suur on tänapäeva võimsate transformaatõrite kasutegur?

### Tõõ nr. 66.

#### Transformaatõri tundmaõppimine.

Tõõvahendid. Transformaatõr, voltmeetrid 250 V, 30 V, ampërmeetrid 5 A ja 10 A, vattmeeter 600 W, reostaat 20 oomi, juhtmed ja lüliti.

Tõõ käik. 1) Tutvu ühefaasilise transformaatõri ehituse ja tõõga. Selleks koosta vooluring joonisel 122 antud skeemi järgi.



Joon. 122.

a) Mõõda sekundaarmähise klemmipinget  $U_2$  ja primaarmähise klemmipinget  $U_1$ .

b) Määra pinget madaldava transformaatore ülekandearv  $n = \frac{U_2}{U_1}$ .

2) Määra transformaatore kasutegur ja primaarmähise faasinihe.

$$\text{Transformaatore kasutegur } \eta = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_2 U_2 \cos \varphi_2}{I_1 U_1 \cdot \cos \varphi_1}.$$

Antud juhul moodustab sekundaarahela koormuse peaaegalikult aktiivtakistus reostaadi näol, mistõttu  $\cos \varphi_2 \approx 1$  ja

$$\text{kasutegur } \eta = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1 \cdot \cos \varphi_1}.$$

$I_1$  ja  $I_2$  on siin voolutugevused primaarpoolis ja sekundaarpoolis,  $U_1$  ja  $U_2$  aga vastavad pinged. Suure võimsusega transformaatorel on kasutegur 98–99%.

Primaarmähise võimsus  $N_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$  ja faasinihe

$$\cos \varphi_1 = \frac{N_1}{I_1 U_1}.$$

Lülita sisse sekundaarmähis ja mõõda sekundaarmähise pinge ning primaarmähise pinge, voolutugevus ja võimsus viie erineva sekundaarvoolu tugevuse korral.

Mõõtmistulemused kannu tabelisse.

Jrk. nr.	$I_2$	$U_2$	$U_1$	$I_1$	$N_1$	$\eta$	$\cos \varphi_1$
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							

3) Joonesta järgmised graafikud:

$$I_1 = f(I_2); \quad U_2 = f(I_2)$$

$$\cos \varphi_1 = f(I_2); \quad \eta = f(I_2)$$

## Täiendavaid küsimusi.

1. Kuidas sõltub võimsustegur transformaatori sekundaarmähise koormusest?

2. Transformaatori tühijooksul jääb primaarmähise vool pingest maha nurga  $\varphi_1$  võrra, mis on peaaegu  $90^\circ$ . Nurga koosinus on siis 0,1 piires. Tühijooksuvoolu  $I_0$  väärtus on 3—8% primaarmähise  $I_1$  nimiväärtusest. Milleks kasutatakse primaarvoolu energiat tühijooksul?

3. Määrata kindlaks transformaatori ülekandearv sekundaar- ja primaarpoolide keerdude arvu kaudu!

### Töö nr. 67.

## Kolmefaasilise transformaatoriga tutvumine.

Töövahendid. Kolmefaasiline demonstratsioontransformaator, ühendusjuhtmed, ampermeeter, voltmeeter ja reostaat.

Kolmefaasilist demonstratsioontransformaatorit 220/127 V kasutatakse pinge madaldamiseks 12 voldini.

Nii primaar- kui ka sekundaarmähiseid võib transformatori ümbertõstetavate kahvlite abil ühendada nii tähte kui ka kolmnurka. Transformaatori iga faasi võimsus on 40 vatti.

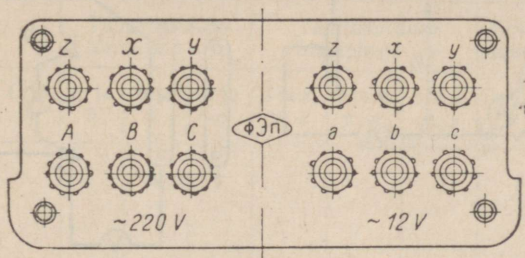
Transformaatori peal asub plastmassist paneel klemmidega. Klõmmide alla võib ühendada juhtmeid ja metallist kahvleid. Klõmmid on tähistatud alljärgnevalt:

Mähis	I faas (punane)	II faas (kollane)	III faas (roheline)
<i>Primaarmähis</i> (220 V)			
Algus	A	B	Z
Lõpp	X	Y	C
<i>Sekundaarmähis</i> (12V)			
Algus	a	b	c
Lõpp	x	y	z

Klõmmid on paneelil asetatud selliselt, et ühenduskahvlite abil võib kiiresti ühendada mähiseid tähte ja kolmnurka (vt. joon. 123).

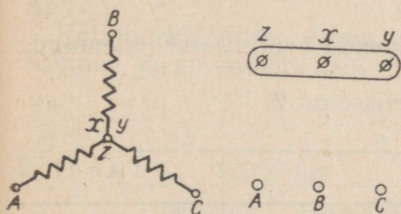
**Töö käik.** 1. Ühenda primaarmähised tähte. Selleks ühenda kolmefaasilisse 220 V võrku klõmmid A, B ja C, klõmmid X, Y ja Z aga lühista vastavate plaadikestega (joon. 124).

2. Mõõda voltmeetriga faasi- ja liinipinged. Liinipinge mõõtmiseks ühenda voltmeeter klemmide A ja B või B ja C või C ja A vahele. Faasipinge mõõtmiseks ühenda voltmeetri üks ots kas klemmi A, B või C külge ja teine klemmide Z, X, Y ühendusplaadi külge. Tulemused märgi tabelisse nr. 1.

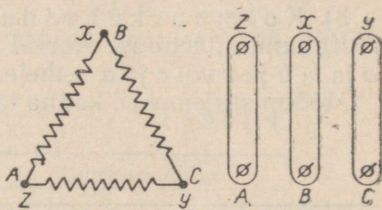


Joon. 123

C või C ja A vahele. Faasipinge mõõtmiseks ühenda voltmeetri üks ots kas klemmi A, B või C külge ja teine klemmide Z, X, Y ühendusplaadi külge. Tulemused märgi tabelisse nr. 1.



Joon. 124



Joon. 125

Tabel 1

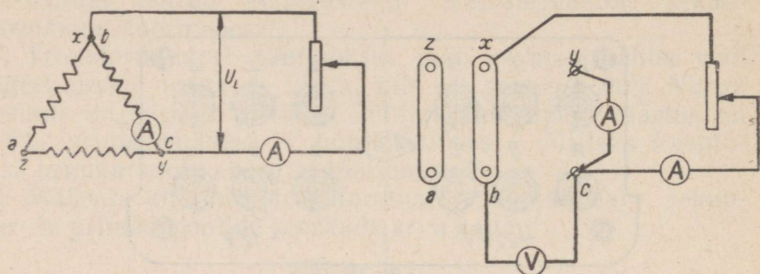
Liinipinge			Faasipinge		
A ja B	B ja C	C ja A	A ja Z, X, Y	B ja Z, X, Y	C ja Z, X, Y

3. Kontrolli tabeli andmete põhjal, kas kehtib seos

$$U_F = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$$

Nagu eeltoodust selgub, võib tähtühenduse korral kolme-faasilise transformaatore primaarmähiste klemmidelt saada peale 220 V pinge veel pinget 127 V.

4. Mõõda sekundaarmähise pinged tähtlülituse ja kolmnurklülituse korral.



Joon. 126.

a) Tähtühendus.

Liinipinge mõõda klemmide  $a$  ja  $b$  või  $b$  ja  $c$  või  $c$  ja  $a$  vahel. Faasipinge mõõda klemmide  $a, b, c$  ja ühendatud  $z, x, y$  klemmide vahel.

b) Kolmnurkühendus.

Kolmnurkühenduse korral ühenda voltmeeter klemmide  $a$  ja  $b, b$  ja  $c$  või  $c$  ja  $a$  vahele.

Mõõtmistulemused kanna tabelisse nr. 2.

Tabel 2

Tähtühendus						Kolmnurkühendus		
Liinipinge V			Faasipinge V			Liinipinge V		
$a$ ja $b$	$b$ ja $c$	$c$ ja $a$	$a$ ja $z, x, y$	$b$ ja $z, x, y$	$c$ ja $x, z, y$	$a$ ja $b$	$b$ ja $c$	$c$ ja $a$

5. Ühenda primaarmähised kolmnurka (joon. 125) ja mõõda liinipinge  $A$  ja  $B, B$  ja  $C, C$  ja  $A$  vahel.

6. Ühenda sekundaarmähis «tähte» ja mõõda voltmeetriga faasipinge klemmide  $a, b$  või  $c$  ja  $x, y, z$  ühendusklemmi vahel.

7. Ühenda voltmeeter klemmide  $a$  ja  $b$  või  $b$  ja  $c$  või  $c$  ja  $a$  vahele ja mõõda liinipinge.

Mõõtmistulemused märgi tabelisse nr. 3.

Primaarmähis			Sekundaarmähis								
Liinipinge V			Tähtühenduse liinipinge V			Tähtühenduse faasipinge V			Kolmnurk ühenduse liinipinge V		
A ja B	B ja C	C ja A	a ja b	b ja c	c ja d	a ja x, y, z	b ja x, y, z	c ja x, y, z	a ja b	b ja c	c ja a

8. Tee kolme mõõtmistulemuste tabeli põhjal kindlaks, milliseid pingeid on võimalik saada kolmefaasilise transformaatori abil.

9. Mõõda sekundaarmähise liini- ja faasivoolud nii tähtkui ka kolmnurkühenduse puhul. Tulemused märgi tabelisse nr. 4.

Kolmnurklülituse skeem on antud joonisel 126. Tähtlülituse skeem koosta ise.

Tabel 4

Tähtlülitus		Kolmnurklülitus	
Liinivool A	Faasivool A	Liinivool A	Faasivool A

Tähelepanu! Sekundaarmähise voolu tugevus ei tohi ületada 12 A!

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kuidas saaks antud kolmefaasilise transformaatori sekundaarahelasse ühendada 20,8 V hõõglampe, et nad hõõguksid normaalselt.

2. Kuidas leida kolmefaasilise transformaatori juures ülekandearvu?

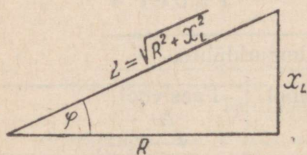
3. Kuidas arvutada kolmefaasilise transformaatori kasutegurit?

## Pooli induktiivsuse määramine.

Töövahendid: Voltmeeter 250 V, ampermeeter 5 A, reostaat  $30 \Omega$  5 A, pool (transformaatori primaarmähis), juhtmed, lüliti, oommeeter või alalisvoolu volt- ja ampermeeter, vooluallikas.

Vahelduvvoolu kohta on kehtiv Ohmi seadus  $I = \frac{U}{Z}$ , kus  $Z$  tähendab ahela kogutakistust. Juhtme takistus vahelduvvoolule erineb üldiselt takistusest alalisvoolule, sest ta oleb veel induktiivsusest ja vahelduvvoolu sagedusest. Juhtme takistust alalisvoolule nimetatakse aktiivtakistuseks e. oomiliseks takistuseks ja juhtme induktiivsusest tingitud takistust vahelduvvoolu induktiivtakistuseks. Induktiivtakistuse suurus  $X_L = 2\pi fL$ , kus  $X_L$  on induktiivtakistus oomides,  $f$  — voolu sagedus hertsides ja  $L$  — induktiivsus henrides.

Induktiivsuse tõttu tekkib juhtmes voolutugevuse muutumisel pinge, mille suund on vastupidine esialgse pingemuutuse suunale. Seega mõjub juhtme induktiivsuse tõttu tekkinud pinge muutliku tugevusega voolule takistusena, mis lisandub juhtme oomilisele takistusele. Seejuures ei toimu aga takistuse liitumine algebraliselt, vaid geomeetriliselt. Takistuste liitumist võib graafiliselt kujutada täisnurkse kolmnurga abil (joon. 127).



Joon. 127. Skeem vahelduvvoolu ahela kogutakistuse  $Z$  määramiseks.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}.$$

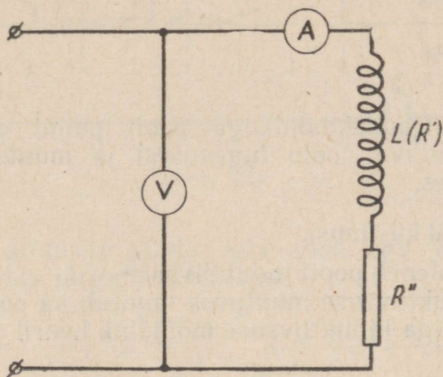
Suurust  $Z$  nimetatakse ahela kogutakistuseks ja mõõdetakse oomides.

Nurk kolmnurga külgede  $Z$  ja  $R$  vahel võrdub pinge ja voolu vahelise nurgaga  $\varphi$ .

$$\text{Järelikult } \cos \varphi = \frac{R}{Z}; \tan \varphi = \frac{X_L}{R}.$$

**Töö käik.** 1) Koosta vooluring joonisel 128 antud skeemi kohaselt.

2) Mõõda oommeetriga pooli ja reostaadi aktiivtakistused  $R'$  ja  $R''$ .



Joon. 128.

3) Arvuta vooluringi aktiivtakistus

$$R = R' + R''.$$

4) Ühenda vooluring vahelduvvoolu võrku ja mõõda voltmeetriga pingelang aktiiv- ja induktiivtakistusel ning ampermeetriga voolutugevus. Mõõtmistulemused märgi tabelisse.

5) Ohmi seadusest arvuta ahela kogutakistus

$$Z = \frac{U}{I}.$$

6) Valemist  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$  arvuta pooli induktiivtakistus  $X_L$ .

7) Valemist  $X_L = 2\pi fL$  arvuta pooli induktiivsus  $L$  (valgustusvõrgus  $f = 50$  Hz).

8) Arvuta valemist  $\cos \varphi = \frac{R}{Z}$  võimsustegur  $\cos \varphi$ .

9) Leia tabelist pinge ja voolu vaheline nurk  $\varphi$  ja joonista takistuskolmnurk (joon. 127).

10) Aseta pooli raudsüdamik ja tee kõik mõõtmised uuesti.

Jrk. nr.	Pool	Andmed								
		$R'$	$R''$	$R$	$U$	$I$	$Z$	$X_L$	$L$	$\cos \varphi$
1.	Südamikuta . .									
2.	Südamikuga . .									

Märkus: Raudsüdamikuga pooli puhul oleneb induktiivsus kasutatava voolu tugevusest ja muutub voolutugevuse muutudes.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Millest oleneb pooli induktiivsus?
2. Kas induktiivsuse muutudes muutub ka  $\cos \varphi$ ?
3. Definiirida induktiivsuse mõõtühik henri!

### Töö nr. 69.

#### Aktiivtakistus, induktiivsus ja mahtuvus vahelduvvoolu ahelas.

Töövahendid. Voltmeeter, ampermeeter, vattmeeter, induksioonpool, kondensaator, reostaat, lüliti, juhtmed.

Töö käik. Järjestikku ühendatud vahelduvvoolu ahela kogutakistus leitakse valemiga

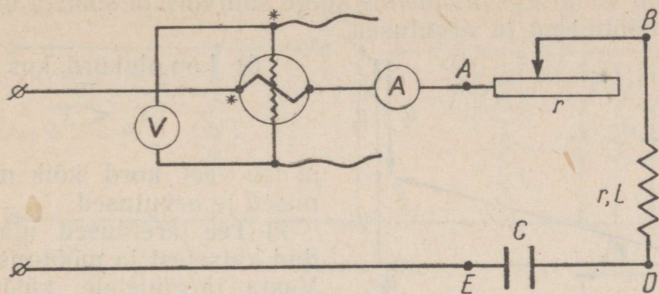
$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Kui  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ , siis esineb ahelas nn. pingeresonants. Sel juhul on ahela kogutakistus minimaalne ja võrdub aktiivtakistusega, s. t.

$$Z = R$$

ja voolu efektiivväärtus saavutab suurima võimaliku väärtuse.

1. Koosta vooluring joonisel 129 antud skeemi kohaselt.
2. Muuda induktiivsust või mahtuvust selliselt, et  $X_L > X_C$  ( $X_L$  — induktiivtakistus,  $X_C$  — mahtuvuslik takistus). Mõõda pinge ja aktiivvõimsus ahela  $AE$  vahelise lõigu igas osas (punktide  $AB$ ,  $BD$  ja  $DE$  vahel).



Joon. 129.

3. Saadud andmete põhjal leia ahela iga osa ja kogu antud lõigu kohta järgmised andmed.

$$R = \frac{N}{I^2}; \quad Z = \frac{U}{I}; \quad X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$U_a = IR; \quad U_x = IX; \quad \tan \varphi = \frac{X}{Z}.$$

(Andmete selgituseks jälgi joonist 130).

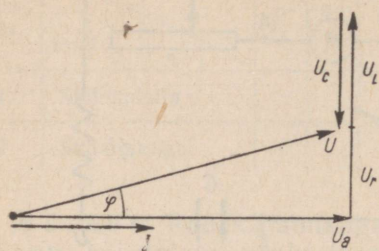
4) Mõõtmis- ja arvutustulemused märgi tabelisse.

Ahela osa	Ahela osa	U	I	N	R	Z	X	$U_a$	$U_r$	$\tan \varphi$	$\varphi$
1. $X_L > X_C$	Reostaat										
	Pool										
	Kondensaator										
2. $X_L = X_C$	Kogu ahel										
	Reostaat										
	Pool										
3. $X_L < X_C$	Kondensaator										
	Kogu ahel										
	Reostaat										
	Pool										
	Kondensaator										
	Kogu ahel										

5) Loo olukord, kus

$$X_L = X_C$$

(siis on voolutugevus ahelas kõige suurem) ja soorita uuesti kõik mõõtmised ja arvutused.



Joon. 130. Pingete vektor-diagramm.

6) Loo olukord, kus

$$X_L < X_C$$

ja tee veel kord kõik mõõtmised ja arvutused.

7) Tee järeldused ülaltoodud katsetest ja mõõtmistest! Vasta järgmistele küsimustele:

a) millal esineb antud ahelas pingeresonants?

b) millal esineb ahelas kõige suurem võimsus?

### Täiendavaid küsimusi.

1. Millist mõju avaldab mahtuvus alalisvoolu ahelas?
2. Millist mõju avaldab induktiivsus vahelduvvoolu ahelas?
3. Millist mõju avaldab induktiivsus alalisvoolu ahelas?
4. Ehitada kõigi kolme juhu kohta pingete vektordiagrammid ja takistuskolmnurgad.

### Töö nr. 70.

#### Pooli ja kondensaatori paralleelühendus. Võimsusteguri parandamine.

Töövahendid. Vattmeeter, kolm ampermeetrit, voltmeeter, induksioonpool, kondensaatorite patarei, lülitid, ühendusjuhtmed.

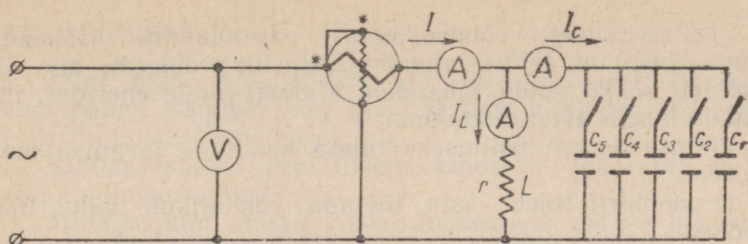
Suure praktilise tähtsusega on vooluahel, mis koosneb paralleelselt ühendatud poolist ja kondensaatorist, mis on ühise pingega all.

Vool ahela mittehargnevas osas on pingega faasis, kui

$$I_L = I_C.$$

Sel juhul esineb ahelas nn. vooluresonants, s. t. nurkpinge ja voolutugevuse vektori vahel on 0. Vahelduvvoolu võimsus

$$N = IU \cos \varphi.$$



Joon. 131.

Vooluresonantsi korral

$$N = IU$$

(kui  $\varphi = 0$ , siis  $\cos \varphi = 1$ ).

Kui viia ahelas  $\cos \varphi$  üheni, siis väheneb tarbija võimsuse muutumatuks jäädes vool tarbijat (antud juhul pooli) võrguga ühendavates juhtmetes. Järelikult väheneb vool ka võrgus ning võrku toitvates transformatorites ja generaatorites.

Generaator, transformaator, kaabel jne. valmistatakse nimivooludele ja -pingetele.

Generaatori võimsust kasutatakse kõige täielikumalt, kui ta töötab nimipingega, tarbitav vool on võrdne tema nimivooluga ja tarbitava võimsuse  $\cos \varphi = 1$ . Sel korral

$$N = IU \cos \varphi = IU.$$

Kui generaator töötab nimipingega ja -vooluga, kuid sõltuvalt elektrienergia tarbijast muutuva võimsusteguriga, siis on generaatori aktiivvõimsus võrdeline võimsusteguriga. Järelikult, mida väiksem on  $\cos \varphi$ , seda väiksema osa generaatori või transformaatori võimsusest saab ära kasutada.

Kui tarbija töötab konstantse aktiivvõimsusega ja konstantsel pingel, kuid muutuva võimsusteguriga, siis tarbija vool on pöördvõrdeline võimsusteguriga.  $\cos \varphi$  vähenemisel tarbija vool suureneb. Seega võimsuskadod generaatoris ja ühendusjuhtmetes  $\cos \varphi$  vähenemisel suurenevad.

Kuna väike võimsustegur ei võimalda täielikult ära kasutada elektrienergia installaatorid võimsust ja põhjustab suuri energiakadusid, siis on kasulik hoida tarbijate võimsustegureid võimalikult lähedal ühele.

Asünkroonmootorite võimsustegur sõltub koormusest. Mootori tühijooksul on võimsustegur 0,1—0,3, nimikoormusel aga 0,83—0,85.

Elektriseadmete võimsusteguri parandamine (lähendamise ühele) on tähtis rahvamajanduslik probleem, mis võimaldab kokku hoida tuhandeid kilovatt-tunde energiat, mis muidu läheks asjatult kaduma.

Võimsusteguri tõstmiseks tuleks kasutada järgmisi mudeleid:

1) mootorit tuleb lasta töötada võimalikult vähe tühi-  
jooksul;

2) masinate juures tuleb kasutada töö iseloomule vastava võimsusega mootorit;

3) võimsusteguri suurendamiseks lülitatakse vajaduse korral mootoriga paralleelselt kondensaatorid.

**Töö käik.** Koosta vooluring joonisel 131 toodud skeemi kohaselt, ja suurendades kondensaatori mahtuvusi tee tabelis nõutud mõõtmised. Mõõtmistulemused kirjuta tabelisse.

Jrk. nr.	Kondensaatorite mahtuvus $C$	$U$	$I$	$I_L$	$I_C$	$N$	Mahtuvuslik takistus $X_c = \frac{U}{I_c}$	$\cos \varphi = \frac{N}{I \cdot U}$
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								

## 2) Joonesta graafikud

$$I_C = f(X_c) \qquad I = f(X_c)$$

$$\cos \varphi = f(X_c) \qquad I = f(\cos \varphi).$$

3) Analüüsi tabelit ja graafikuid ning vasta järgmistele küsimustele:

- millise  $\cos \varphi$  väärtuse korral on voolutugevus  $I$  kõige suurem?
- milliste  $I_L$  ja  $I_C$  omavaheliste väärtuste korral on  $\cos \varphi$  kõige suurem? kõige väiksem?
- millistel tingimustel kasutatakse kõige ökonoomselt antud seadet?

## Täiendavaid küsimusi.

1. Jälgi mõne elektrimootoriga töötava seadme tööd (saag, pump, treipink jne.) ja püüa teha kindlaks, kas seadet kasutatakse ökonoomselt.

2. Kuidas saaks praktiliselt kindlaks määrata selle seadme võimsustegurit?

3. Mida kujutab endast  $\cos \varphi$ ? Joonestada  $\cos \varphi = 0,5$  vastavad vahelduvvoolu pinge ja voolu sinusoidid.

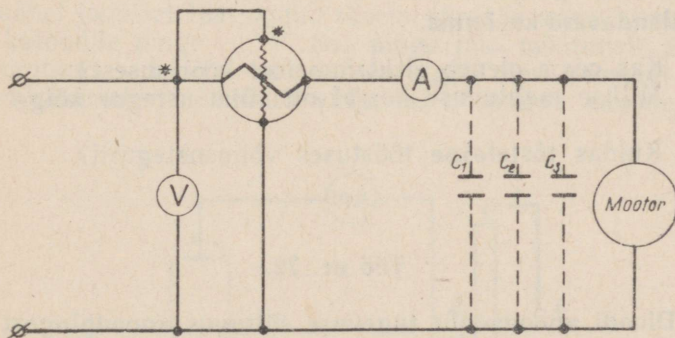
## Töö nr. 71.

### Elektrimootori võimsusteguri uurimine ja parandamine.

Töövahendid. Ühefaasiline elektrimootor, vattmeeter, voltmeeter 250 V, ampermeeter 5 A, paberkondensaatorid 3—4 tk. à 2  $\mu\text{F}$  600 V, lülitid, juhtmed.

Töö käik. Antud tööd puudutavate teoreetiliste küsimuste lühike ülevaade on toodud töös nr. 70.

1. Elektrimootori võimsusteguri uurimiseks koosta vooluring joonisel 132 näidatud skeemi kohaselt.



Joon. 132.

2. Märki üles mootori sildiandmed.

3. Ühenda mootor vooluringi, tee kindlaks voltmeetri, ampermeetri ja vattmeetri näidud ja märki need tabelisse. Arvuta  $\cos \varphi$ :

$$\cos \varphi = \frac{N}{IU}.$$

4. Ühenda vooluringi elektrimootoriga paralleelselt üks kondensaator ja mõõda uuesti pinget, voolutugevust ja võimsust. Arvuta  $\cos \varphi$ .

5. Tee samad mõõtmised 2 ja 3 kondensaatori korral.

6. Kui võimalik, siis lase mootorit käia tühijooksul ja nimivõimsusele lähedasel võimsusel ning arvuta mõlemal korral võimsustegur.

Jrk. nr.	Koormus	Mahtuvus	Vattmeetri näit	Voltmeetri näit	Ampermeetri näit	$\cos \varphi$
1.						
2.						
3.						
4.						
5.	Tühijooks					
6.	Nimi-koormus					

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kas  $\cos \varphi$  oleneb elektrimootori koormusest?
2. Millise mahtuvuse korral oli võimsustegur kõige suurem?
3. Kuidas tõstetakse tööstuses võimsustegurit?

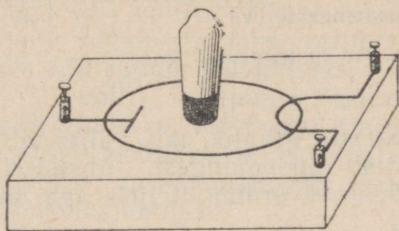
### Töö nr. 72.

#### Diiodi anoodvoolu tugevuse sõltuvus anoodpingest ja võrepingest.

Töövahendid. Diiod koos alusega, küttepatarei (elektromotoorse jõuga .... volti), väikese takistusega reostaat küttepinge reguleerimiseks, voltmeeter küttepinge mõõtmiseks (mõõdupiirkonnaga .... volti), anoodpatarei (elektromotoorse jõuga .... volti) või kenotronalaldaja, suure takistusega reostaat anoodpinge reguleerimiseks, milliampermeeter anoodvoolu tugevuse mõõtmiseks (mõõdupiirkonnaga .... mA) ja ühendusjuhtmed.

**Töö käik.** Tutvu diodi ehituse ja töötamisega (füüsika õpikus § 104).

Diodi anoodvoolu tugevus sõltub anoodi ja katoodi vahelisest pingest (anoodpingest). Mida suurem on anoodpinge, seda rohkem elektrone jõuab katoodilt anoodile ja seda suurem on anoodvoolu tugevus. Teatava anoodpinge puhul jõuavad kõik katoodilt väljunud elektronid anoodini. Sellest momendist alates anoodpinge edasine suurendamine anoodvoolu tugevust enam ei suurenda. Tekib nn. küllastusvool.

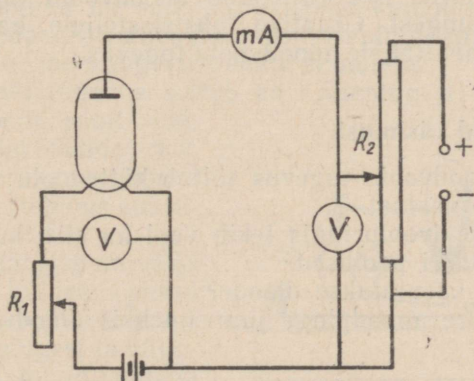


Joon. 133. Diod alusel.

Anoodvoolu tugevus sõltub ka küttepingest, kuna sellest sõltub katoodi poolt emiteeritud elektronide arv. Küttepinge suurendamisel anoodvoolu tugevus suureneb.

Töö eesmärgiks on välja selgitada, kuidas antud diodi anoodvoolu tugevus sõltub anoodpingest ja küttepingest ning väljendada need sõltuvused graafiliselt.

1. *Anoodvoolu tugevuse sõltuvus anoodpingest.* Koosta vooluahel joonisel 134 toodud skeemi järgi ja anna reostaadi abil katoodile pinge ... V. See pinge jäta mõõtmiste ajaks konstantseks. Lülita anoodvooluringis olev reostaat  $R_2$  (potentsiomeeter) täielikult välja (s. t. muuda anoodpinge



Joon. 134. Vooluahel diodi tunnusjoonte uurimiseks.

võrdseks nulliga). Nüüd hakka anoodpinget järk-järgult suurendama, kuni reostaat on täielikult sisse lülitatud, ja registreeri anoodvoolu tugevused 0-, 5-, 10-, 15-voldise jne. anoodpinge korral. Mõõtmistulemused kanna järgmise tabelisse.

Anoodpinge $U$ (V)	0	5	10						
Anoodvoolu tugevus $I$ (mA)									

Koosta graafik, mis väljendab anoodvoolu tugevuse sõltuvust anoodpingest. Abstsisssteljele kanna anoodpinge väärtused, ordinaatteljele aga anoodvoolu tugevuste väärtused.

2. *Anoodvoolu tugevuse sõltuvus küttepingsest.* Lülitada reostaat  $R_2$  nii, et anoodvoolu tugevus on maksimaalne ja jäta see edasise katse juures muutmatuks. Seejärel reguleeri reostaadi  $R_1$  abil küttepinge minimaalseks. Edasi muuda järk-järgult katoodvooluringi takistust ning registreeri küttepinged ja sellele vastavad anoodvoolu tugevused. Küttepingset ei tohi suurendada üle lambi jaoks lubatud piiri (... V).

Mõõtmistulemused kanna järgmise tabelisse.

Anoodvoolu tugevus $I$ (mA)					
Küttepinge $U$ (V)					

Koosta graafik, mis väljendab anoodvoolu tugevuse sõltuvust küttepingsest. Graafiku abstsisssteljele kanna küttepinge ja ordinaatteljele anoodvoolu tugevus.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kas anoodvoolu tugevus sõltub küttevoolu suunast või ei? Põhjenda vastust.
2. Kas anoodvooluringis tekib vool ka siis, kui vahetada ära anoodpatarei poolused?
3. Milleks kasutatakse diode?
4. Kui suure anoodpinge juures tekkis diodis küllastusvool?

### Trioodi anoodvoolu tugevuse sõltuvus võrepingest ja küttepingest.

Töövahendid. Triood koos vastava alusega, küttepatarei (elektromotoorse jõuga .... volti), väikese takistusega reostaat küttepinge voolu reguleerimiseks, voltmeeter (mõõtepiirkonnaga .... volti) küttepinge mõõtmiseks, patarei (elektromotoorse jõuga .... volti) võrepinge tekitamiseks, reostaat võrepinge reguleerimiseks, voltmeeter (mõõtepiirkonnaga .... volti) võrepinge mõõtmiseks, anoodpatarei (elektromotoorse jõuga .... volti), milliampermeeter anoodvoolu tugevuse mõõtmiseks, ühendusjuhtmed.

**Töö käik.** Tutvu kõigepealt õpiku järgi trioodi ehitusega ja töötamise põhimõttega (§ 113).

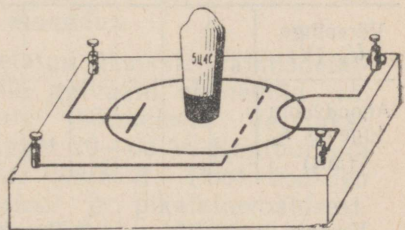
Trioodi anoodvoolu tugevus sõltub võre ja katodi vahelisest pingest (võrepingest). Olgu trioodi anoodring suletud ja võre katodi suhtes negatiivse pingega. Kui negatiivne pingega on küllalt suur, siis puudub anoodvool täielikult. Kõik katodilt väljunud elektronid tõugatakse elektrivälja jõudude poolt katoodile tagasi. Vähendades järk-järgult võre negatiivset pinget, ilmneb, et teatud pingel tekib nõrk anoodvool, mis edasise negatiivse võrepinge vähendamisel suureneb.

Kui võrepinge on null, siis võre elektronide liikumist enam ei mõjuta ja triood töötab diodina.

Positiivne võrepinge kiirendab elektronide liikumist ja suurendab seega anoodvoolu tugevust. Kui positiivne võrepinge on saanud nii suureks, et kõik katodilt vabanenud elektronid pääsevad anoodile, siis võrepinge edasine suurendamine anoodvoolu tugevust enam ei muuda.

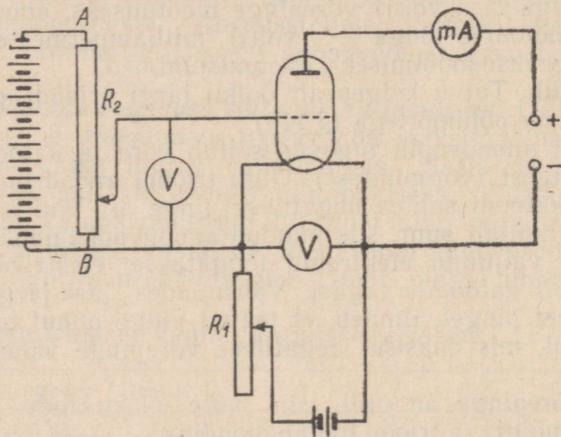
Anoodvoolu tugevus sõltub ka küttepingest, kuna sellest sõltub katodi poolt emiteeritud elektronide arv. Küttepinge suurenemisel anoodvoolu tugevus suureneb.

Töö eesmärgiks on välja selgitada, kuidas antud trioodi anoodvoolu tugevus sõltub võrepingest ja küttepingest ning väljendada need sõltuvused graafiliselt.



Joon. 135. Triood alusel.

1. Anoodvoolu tugevuse sõltuvus võrepingest. Koosta vooluring joonisel 136 näidatud skeemi kohaselt ja anna reostaadi  $R_1$  abil katoodile pinge ... V, mis jääb kogu mõõtmise ajaks muutumatuks. Algul lülita võrepatarei nii, et võrepinge oleks negatiivne. Reostaat  $R_2$  olgu seejuures täielikult sisse lülitatud (reostaadi libisev kontakt asub punktis  $A$ ). Nüüd vähenda reostaadi takistuse muutmise teel järk-järgult negatiivset võrepinget kuni nullini ja registreeri iga kord anoodvoolu tugevuse ja võrepinge väärtused. Kui reostaat on täielikult välja lülitatud (s. o. kui libisev



Joon. 136. Skeem triodi tunnuskõverate määramiseks.

kontakt asub punktis  $B$ ), siis vaheta küttepatarei poolused. Suurenda järk-järgult võrepinget ja jätka mõõtmisi seni, kuni reostaat  $R_2$  on täiesti sisse lülitatud. Mõõtmistulemused kannu järgmisse tabelisse.

Võrepinge $U_v$ (V)																			
Anoodvoolu tugevus $I_a$ (mA)																			

Koosta graafik, mis väljendab anoodvoolu tugevuse sõltuvust võrepingest. Abstsissteljele kannu võrepinge ja ordinaatteljele anoodvoolu tugevus.

2. Anoodvoolu tugevuse sõltuvus küttepingest. Lülita reostaat  $R_2$  nii, et anoodvoolu tugevus on maksimaalne, ja jäta see kogu edasise mõõtmise ajaks muutmatuks. Seejärel reguleeri reostaadi  $R_1$  abil küttepinge minimaalseks. Nüüd hakka kütteringi takistust järk-järgult vähendama ja registreeri iga kord küttepinge ja sellele vastav anoodvoolu tugevus. Küttepinge suurendamisel tuleb olla ettevaatlik, et mitte ületada antud lambi jaoks lubatud piiri (... volti). Mõõtmistulemused kanna järgmisse tabelisse.

Küttepinge $U_k$ (V)										
Anoodvoolu tugevus $I_a$ (mA)										

Koosta graafik, mis väljendab anoodvoolu tugevuse sõltuvust küttepingest. Abstsissiteljele kanna küttepinge ja ordinaatteljele anoodvoolu tugevus.

#### Täiendavaid küsimusi.

1. Miks reostaat  $R_2$  on ühendatud küttepatareiga potentsiomeetriliselt, aga mitte järjestikku?
2. Milleks kasutatakse trioodi?

#### Töö nr. 74.

##### Lihtsamate raadiovastuvõtjate koostamine.

Töövahendid: Osade komplekt raadiovastuvõtja koostamiseks, akumulaatorite patarei 2-HKH-10 või 3-HKH-10, anoodpatarei, antenn, maandus.

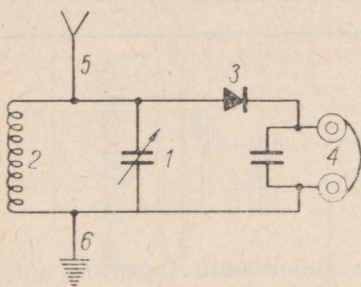
**Töö käik.** Tutvu töölauale asetatud üksikute valmisdetailidega. Vooluallikaks võivad olla galvaani elemendid või akumulaatorid. Lampvastuvõtjate töötamiseks vajatakse küttepinget 1,5—2 V ja anoodpinget 20—60 V. Kontuurpool on nelja klemmiga ruudukujulisel paneelil. Pool koosneb kahest eri mähisest — kesklaine- ja pikalainemähisest. Tagasisidepool on kahe klemmiga ristkülikukujulisel paneelil. Pöördkondensaatorid on kinnitatud alusele ja varustatud kolme klemmiga. Lambipesade paneelidel on neli klemmi:  $A$  — anood,  $E$  — varivõre,  $K$  — küte. Detektori

paneel on kahe pesaga detektori jaoks ja kahe klemmiga vooluringi lülitamiseks. Küttereostaadil on kaks klemmi. Peale ülaltoodu läheb vaja veel mõned takistused ja kondensaatorid.

Töö tee kolmes osas.

1. *Detektorvastuvõtja koostamine.* Detektorvastuvõtja koosta joonisel 137 toodud printsiipiaalse skeemi järgi.

Kui vastuvõtja koostatud ja ühenduste õigsus kontrollitud,



Joon. 137. Detektorvastuvõtja skeem.

siis aseta pähe peatelefonid. Kui detektoril on jääv kontakt, siis pööra aeglaselt kondensaatori käepidet seni, kuni saab kuuldavaks mingi raadiojaama saade. Sellise detektori kasutamisel, mis nõuab tundliku punkti otsimist, aseta vedru teravik kristalli mitmesugustele kohtadele kondensaatori käepideme mitmesuguste asendite puhul, ja kui saab kuuldavaks mingi jaama töötamine, siis sea see kondensaatori abil hästi kuuldavaks.

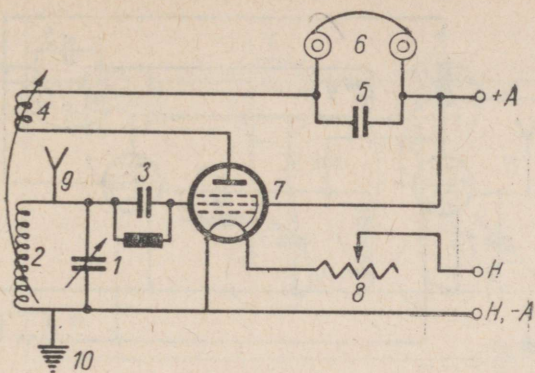
Edasi vaheta pool ja sea vastuvõtja jaamale, mis töötab teisel lainealal.

2. *Ühelambilise vastuvõtja koostamine.* Ühelambiline regeneraator koosta joonisel 138 toodud skeemi järgi.

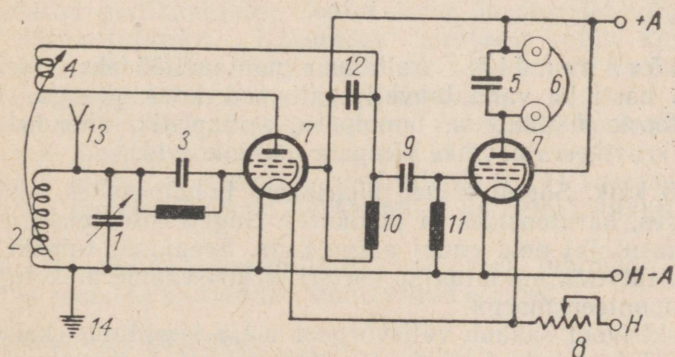
Pärast vastuvõtja koostamist sea küttereostaadi liugkontakt maksimaalsele takistusele ja aseta tagasisidepool kontuurpoolist eemale. Siis pööra reostaadi käepidet umbes poole pöörde võrra. Edasi pööra muudetava mahtuvusega kondensaatori käepidet seni, kuni saab kuuldavaks mõni töötav raadiojaam. Edasi lähenda kontuurpoolile tagasisidepool. Kui selle juures tekib genereerimine (vile ja hääle moonutamine), siis on tagasisidepool lülitatud õigesti. Kui genereerimist ei teki, siis tuleb tagasisidepooli juhtme otsad klemmidel ära vahetada.

3. *Kahelambilise vastuvõtja koostamine.* Kahelambiline vastuvõtja koosta kas skeemi 0-V-1 (joon. 139) või 1-V-0 (joon. 140) järgi. Töö käigus tuleb silmas pidada sama järjekorda, mis ühelambilise vastuvõtja koostamisel.

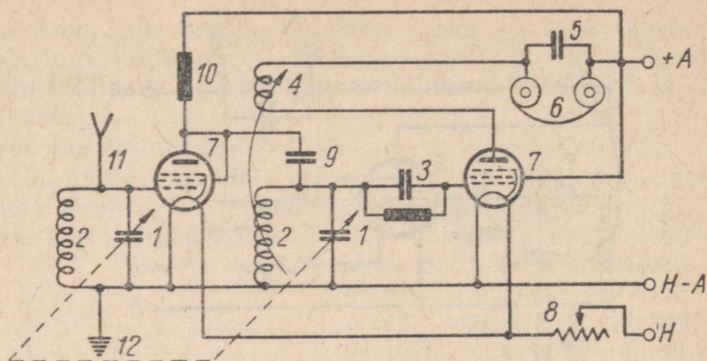
Genereerimiseni viidud vastuvõtja muutub saatjaks ja põhjustab raadiohäireid (segamisi), sellepärast tuleb võimalikult vältida tagasiside viimist genereerimiseni. Tuleb jälgida, et lampide küttepinge ei ületaks 2 V.



Joon. 138. Ühelambiline vastuvõtja. 1 — muudetava mahtuvusega kondensaator; 2 — võnkeringi pool; 3 — gridlik (koosneb paralleelselt ühendatud 1–2 megaoomilisest takistusest ja kondensaatorist 200 pF); 4 — tagasiside pool; 5 — kondensaator; 6 — telefon; 7 — lamp; 8 — küttereostaat; 9 — antenn; 10 — maandus.



Joon. 139. Kahelambilise raadiovastuvõtja 0-V-1 skeem. 1 — muudetava mahtuvusega kondensaator; 2 — võnkeringi pool; 3 — gridlik; 4 — tagasiside pool; 5 — kondensaator; 6 — telefon; 7 — lamp; 8 — küttereostaat; 9 — kondensaator 1000–2000 pF; 10 — takistus 20 000 Ω; 11 — takistus 0,5 MΩ; 12 — sidestuskondensaator; 13 — antenn; 14 — maandus.



Joon. 140. Kahelambilise raadiovastuvõtja 1-V-0 skeem. 1 — muudetava mahtuvusega kondensaatorite plokk; 2 — võnkeringi pool; 3 — gridlik; 4 — tagasiside pool; 5 — kondensaator; 6 — telefon; 7 — lamp; 8 — küttereostaat; 9 — sidestuskondensaator 1000 pF; 10 — takistus 20 000—50 000 Ω; 11 — antenn; 12 — maandus.

### Töö nr. 75.

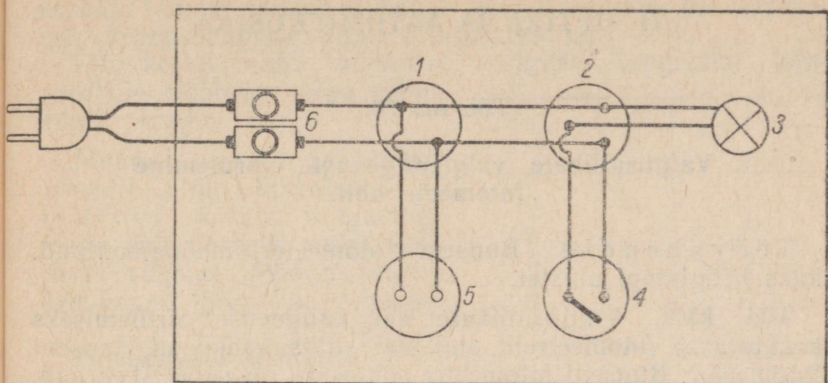
**Kaitsmetest, harutoosist, lambipesast, pistikupesast ja seinapistikust koosneva juhtmestiku monteerimine ja selle proovimine.**

**Töö vahendid.** Puitalus montaažitöödeks (selleks sobib hästi ka vana tahvel), kaitsmed koos pesaga, kaks harutoosi, pistikupesa, lambipesa, seinapistik, ühendusjuhtmed, kruvikeeraja, väike käsipuur, puidukruvid.

**Töö käik.** Sageli esineb pisirikkeid lambipesades, pistikupesades, harutoosides ja pistikutest. Sageli tuleb elektrienergia kasutajal neid endal paigaldada. Seepärast tulebki õpilastel tutvuda miniatuurse korteri elektriseadme maketiga ja selle monteerimisega.

Elektrivool saabub välisvõrgust maja siseliinide kaitsmetesse. Edasi kulgeb voolu tee läbi arvesti, kaitsmete, harutooside, pistikupesade, pistikute ja lülitite kaudu korteris asuvasse elektriseadmesse.

Maketi valmistamisel monteeri algul stendile (joon. 141) vajalikud harutoosid, (1, 2) lambipesa (3), lüliti (4), seinakontakt (5) ja kaitsmete alused (6). Edasi puhasta juhtmete otsad 1 cm ulatuses isolatsioonist.



Joon. 141. Montaažistend.

Pendeljuhtmete ühte otsa kinnita seinapistik. Selle kaudu pääseb vool maketti. Juhtmete vabad otsad kinnita kaitselemendi klemmide külge. Puhastatud juhe aseta ümber kruvi kinnikeeramise suunas, sest muidu kruvi kinnikeeramisel juhe keerab end kruvi ümber lahti. Kaitselemendi teiste klemmide külge kinnita juhtmed, mis läbivad harutoosi ja suubuvad lambipessa. Juhtmed ühenda harutoosi klemmide külge nii, nagu on näidatud joonisel 141. Esimese harutoosi klemmidelt hargneb vool ka paralleelselt ühendatud pistikupesasse (5). Teisest harutoosist väljuvad aga lüliti juhtmed. Kasutades harutoosi kolme klemmi, koosta seade nii, et hõõglamp oleks ühendatud vooluringi paralleelselt, lüliti aga lambiga järjestikku.

Alles pärast seda, kui õpetaja on vooluringi kontrollinud, võib selle ühendada vooluvõrguga.

Lülita makett vooluvõrku, kontrolli lüliti (4) korrasolekut ja mõne tarbijaga (lamp, elektripliit) ka seinakontakti korrasolekut.

Pärast maketi kontrollimist monteeri juhtmed uuesti lahti ja eemalda ka stendile monteeritud esemed.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kuidas on ühendatud vooluringi korteris asuvad voolutarvitajad?

2. Kuhu on korteri vooluvõrgus asetatud arvesti?

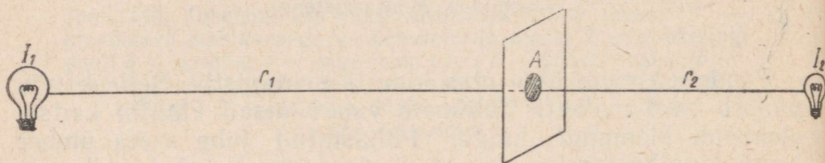
## VI. OPTIKA JA AATOMIFÜÜSIKA.

Töö nr. 76.

### Valgusallikate valgustugevuste võrdlemine fotomeetri abil.

Töö vahendid. Bunseni fotomeeter, mõõdujoonlaud, kaks hõõglampi alustel.

Töö käik. Valgusallikate valgustugevuse võrdlemiseks kasutatakse fotomeetreid, milledest lihtsaimaks on Bunseni fotomeeter. Bunseni fotomeetri põhiosaks on paberist ekraan. Ekraani keskele on tehtud õlilaik (A).



Joon. 142.

Aseta fotomeeter kahe valgusallika vahele, mille valgustugevusi on tarvis võrrelda. Õlilaik asugu võimalikult valgusallikaid ühendaval sirgel ja ekraan olgu selle sirgega risti. Kui mõlemad valgusallikad valgustavad õlilaiku ühetugevusest, siis paistab õlilaik mõlemalt poolt vaadatuna enam-vähem sama heledana kui ülejäänud ekraani osa. Kui aga õlilaigule langeb ühelt poolt suurem valgusvoog, siis paistab see nõrgemini valgustatud poolelt vaadatuna heledamana kui ekraan. Ekraani edasi-tagasi nihutamiseks võib saavutada olukorra, kus õlilaik võimalikult vähe erineb ekraani ülejäänud pinnast. Sel juhul on ekraani mõlemate poolte valgustugevused võrdsed ja lampide valgustugevuste  $I_1$  ja  $I_2$  vahel kehtib seos:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}, \quad (1)$$

kus  $r_1$  ja  $r_2$  on lampide kaugused ekraanist. Mõõtes  $r_1$  ja  $r_2$ , saab siit arvutada valgustugevuste suhte  $\frac{I_1}{I_2}$ .

Kui õlilaik täielikult ei kao, siis vaatle kordamööda (või peeglite abil korruga) mõlemaid ekraani külgi. Kui õlilaik

ekraani taustal paistab mõlemalt poolt ühesuguse heledusega, siis ekraani külgede valgustustugevused on võrdsed.

Töö kestel väldi kõrvalise valguse langemist fotomeetritele (tööruum olgu võimalikult pime).

Muuda ekraani ja lampide asendit ning korralda 4—5 mõõtmist, arvuta valgustugevuste suhe ja selle suhte keskmine väärtus. Mõõtmistulemused kannu järgmisse tabelisse.

Jrk. nr.	$r_1$	$r_2$	$\frac{I_1}{I_2}$
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

### Täiendavaid küsimusi.

1. Tutvu õpikust valemi (1) tuletuskäiguga.
2. Defineeri luumen, luks ja fott.
3. Mida mõistetakse valgusallika valgustugevuse ja pinna valgustustugevuse all?

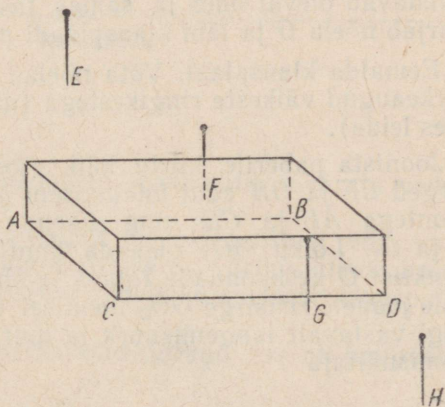
### Töö nr. 77.

#### Klaasi murdumisnäitaja määramine.

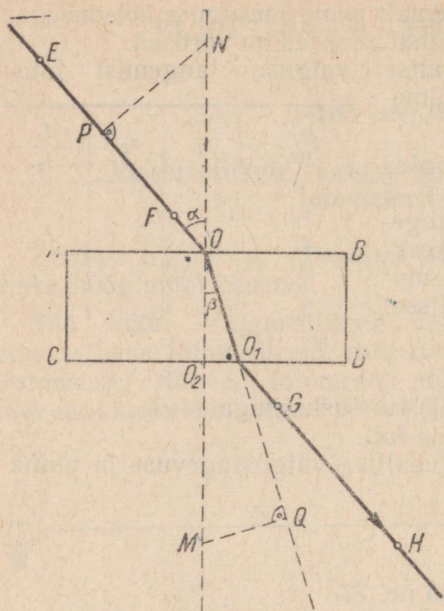
Töövahendid. Tasaparalleelne klaasplaat, 4 nööpnõela, sirkel, mõõdujoonlaud, kolmnurk, valge paberileht, vineerplaat või papitükk.

Töö käik. Valguskiir, tungides läbi läbipaistva tasaparalleelse plaadi, ei muuda oma kulgemise suunda, kuid nihkub oma esialgsest teest kõrvale (vt. õpikust § 148). Mida suurem on plaadi aine murdumisnäitaja, seda suurem on muude tingimuste võrdsuse korral kõrvalekaldu mine. Seetõttu võib seda nähtust kasutada plaadi aine murdumisnäitaja määramiseks.

Klaasi murdumisnäi-



Joon. 143. Klaasi murdumisnäitaja määramine.



Joon. 144. Joonis klaasi murdumisnäitaja määramiseks.

taja määramiseks pane vineerplaadile valge paberileht ja paberilehe keskele klaasplaat. Märki terava pliitsiga paberile klaasplaatide servad  $AB$  ja  $CD$  (joon. 143). Pliits peab olema võimalikult terav ja jooned asugu võimalikult plaadi külgtahkude tasapindades (mitte aga nendest mõne millimeetri võrra eemal). Töö edasises käigus peab klaasplaat jääma täpselt samale kohale, sest plaadi vähimigi nihkumine põhjustab suure mõõtmisvea.

Torka kaks nõöpnõela plaadi taha vertikaalselt paberisse nii, et neid läbiv sirge oleks plaadi tagumise tahuga kaldu.

Üks nõöpnõel asugu plaadi ligidal, teine aga kaugemal. Samuti asetame plaadi ette kaks nõela ja nimelt nii, et kõik neli nõela (nendest kahte tagumist vaatleme läbi klaasplaadi) paistavad olevat ühes ja samas tasapinnas (seega nõel  $H$  varjab nõela  $G$  ja läbi klaasplaadi paistavad nõelad  $F$  ja  $E$ ).

Eemalda klaasplaat. Võta nõelad välja ja ümbritse nõelte torkeaugud väikeste ringikestega (nii on kergem auke pärast üles leida).

Joonista paberile kiirte käik (joon. 144). Selleks tõmba sirded  $EF$  ja  $GH$  kuni lõikumiseni prisma tahke kujutatavate joontega  $AB$  ja  $CD$  ning ühenda tekkinud lõikepunktid  $O$  ja  $O_1$ . Lõiku  $OO_1$  pikenda kuni paberi servani. Tõmba punktist  $O$  keskkondade (klaas ja õhk) lahutuspinna kujutavale joonele ristsirge  $OO_2$ . Joonisel tekkinud nurgad  $\alpha$  ja  $\beta$  ongi vastavalt langemisnurk ja murdumisnurk. Seega murdumisnäitaja

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}.$$

Nurkade  $\alpha$  ja  $\beta$  siinuste määramiseks kanna sirkli abil punktist  $O$  sirgele  $OO_2$  kaks võrdse pikkusega lõiku  $ON$  ja  $OM$ . Tõmba punktist  $N$  ristlõik sirgele  $EO$  ja punktist  $M$  — sirgele  $OO_1$ . Tekkinud täisnurksetest kolmnurkadest  $\triangle OPN$  ja  $\triangle OQM$  järgneb, et

$$\sin \alpha = \frac{PN}{ON};$$

$$\sin \beta = \frac{QM}{OM}.$$

Kuna  $ON = OM$ , siis

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{PN}{QM}.$$

Mõõtes lõikude  $PN$  ja  $QM$  pikkused, võib arvutada murdumisnäitaja.

Töö juures tuleb silmas pidada, et mõõtmisviga sõltub siin eelkõige joonestamise täpsusest.

Muuda prisma ja nõõpnõelte asendit ning korralda sellega 3 mõõtmist. Mõõtmistulemused kanna järgmise kujuga tabelisse.

Jrk. nr. nr.	$PN$	$QM$	Murdumisnäitaja $n$
1.			
1.			
3.			
Keskmine			

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kuidas on kirjeldatud meetodil võimalik määrata vedeliku murdumisnäitajat.

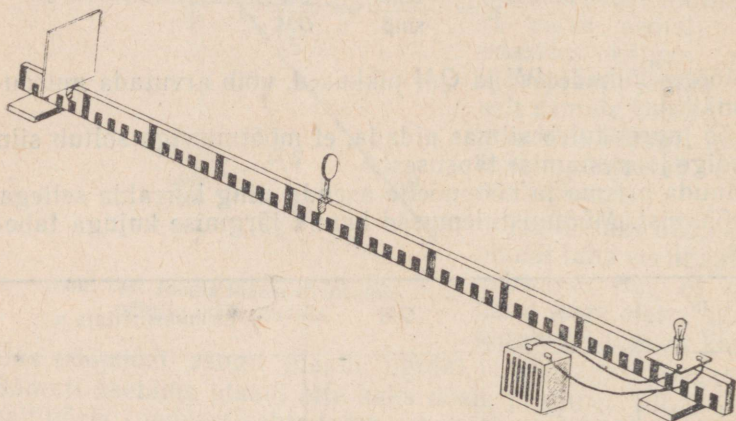
2. Sulatatud klooraanhüdraadist ja glütseriinist võib valmistada segu, mille murdumisnäitaja on võrdne klaasi murdumisnäitajaga. Miks sellisesse vedelikku asetatud klaaspulk muutub nähtamatuks?

3. Miks allveesporti harrastajad teevad vee all kauguste hindamisel sageli vigu?

## Kumerlääitse peafookuskauguse määramine.

Töö vahendi d. Mõõdujoonlauast valmistatud optiline pink, kumerlääits koos optilisel pingil nihutatava läitsehoidjaga, ekraan nihutataval alusel, hõõglamp nihutataval alusel, vooluallikas, ühendusjuhtmed.

Töö käik. Pane optilisele pingile ekraan, taskulambipirn ja nende vahele kumerlääits (joon. 145). Nihuta läitse seni, kuni ekraanil tekib lambi hõõgniidi terav kujutis.



Joon. 145. Optiline pink koos läitse, ekraani ja hõõglambiga.

Loe optilise pingi skaalalt hõõgniidi ja kujutise kaugused läitsest ja arvuta valemi

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{k}$$

järgi läitse fookuskaugus.

Muuda läitse ja ekraani asendit ja korralda 5—6 mõõtmist. Arvuta iga kord fookuskaugus, leia fookuskauguse keskmine väärtus, kõrvalekaldumine keskmisest väärtusest ja keskmine absoluutne ning relatiivne viga. Tulemused registreeri vihikusse järgmise skeemi järgi.

Mõõtmistulemused (sentimeetrites).

Jrk. nr.	Hõõgniidi kaugus läätsest $a$	Kujutise kaugus läätsest $k$	Fookuskaugus $f$	Fookuskauguse keskmine väärtus $\bar{f}_k$	Kõrvalekaldu mine keskmine väärtusest $\Delta f_n = \bar{f} - \bar{f}_k$
1.	25	38	15,1	15,0	0,1
2.	20	58	14,6		— 0,4
3.	22	46	14,9		— 0,1
4.	35	27	15,2		0,2
5.	40	25	15,4		0,4

Fookuskauguse keskmine väärtus:

$$f_k = \frac{15,1 + 14,6 + 14,9 + 15,2 + 15,4}{5} = \frac{90,2}{5} = \approx 15,04 \approx 15,0 \text{ cm.}$$

Keskmine absoluutne viga:

$$\Delta f = \frac{|\Delta f_1| + |\Delta f_2| + |\Delta f_3| + |\Delta f_4| + |\Delta f_5|}{5} = \frac{0,1 + 0,4 + 0,1 + 0,2 + 0,4}{5} = \frac{1,2}{5} = 0,24 \text{ cm.}$$

Keskmine relatiivne viga:

$$\frac{\Delta f}{f_k} = \frac{0,24}{15} = 0,016 = 1,6\%.$$

**Täiendavaid küsimusi.**

1. Arvutada läätse optiline tugevus.

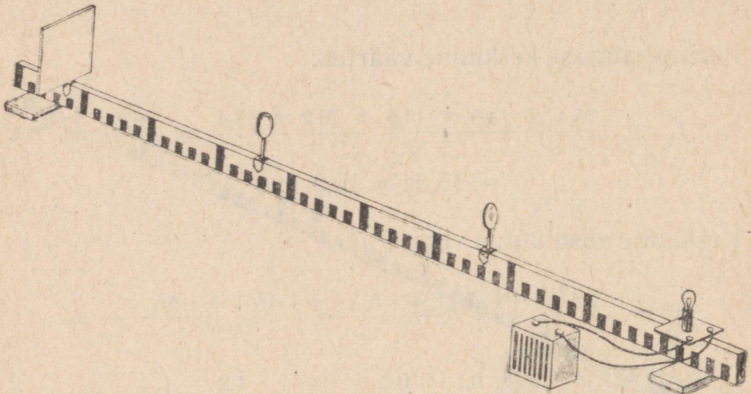
2. Kas antud optilise pingi abil saab määrata prilliklaasi fookuskaugust, kui selle klaasi optiline tugevus on väiksem kui 2 dioptrit?

3. Määrata kumerläätse fookuskaugus järgmise lihtsa võtte abil. Tekitada akna vastasseinale akna terav kujutis ja mõõta mõõdujoonlauaga läätse kaugus seinast. Kuna läätse kaugus aknast on läätse fookuskaugusega võrreldes väga suur, siis tekib akna kujutis läätse fookuse lähedale. Seega läätse kaugus seinast ongi ligikaudu võrdne läätse fookuskaugusega.

## Nõgusläätsse peafookuskauguse määramine.

(1. variant.)

Töö vahendid. Mõõdujoonlauast valmistatud optiline pink koos nihutatavate alustega läätsede jaoks, nõguslääts, väikese fookuskaugusega kaksikkumer lääts, ekraan nihutataval alusel, valgusallikas (taskulambi pirn) nihutataval alusel, vooluallikas, ühendusjuhtmed.



Joon. 146.

**Töö käik.** Läätsse fookuskauguse leidmiseks määratakse eseme (hõõglambi niidi) kaugus läätsest ( $a$ ) ja kujutise kaugus läätsest ( $k$ ). Fookuskaugus ( $f$ ) arvutatakse läätse valemi

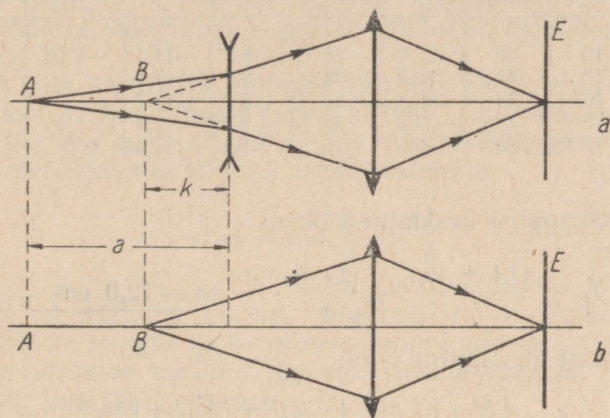
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{k} \quad (1)$$

järgi. Nõguslääts korral tuleb kujutise kaugus  $k$  ja fookuskaugus  $f$  lugeda negatiivseteks.

Kuna nõguslääts annab esemest näilise kujutise, siis ei ole võimalik seda vahetult ekraanile tekitada ja selle kaugust ekraanist otseselt mõõta. Seetõttu kasutatakse nõgusläätsse fookuskauguse määramisel abivahendina kumerlääts. Fookuskauguse määramine toimub järgmiselt.

Paiguta optilisele pingile (joon. 147) ekraan (E) ja hõõglamp (punkti A) ning nende vahele nõguslääts. Ekraani ja

nõgusläätsse vahele pane kumerlääts. Nihuta kumerlääts ja ekraani seni, kuni ekraanil tekib hõõgniidi terav kujutis (joon. 147, a). Seejärel loe optilise pingi skaalalt (möödujoonlaualt) valgusallika kaugus joonlaua otsast ( $x_1$ ) ja nõgusläätsse kaugus joonlaua otsast ( $x_2$ ).



Joon. 147.

Eemalda nüüd nõguslääts ning jätka kumerlääts ja ekraani asend endiseks. Kujutis kaob ekraanilt. Nihuta hõõglampi kumerläätsse lähemale seni, kuni ekraanil tekib uuesti hõõgniidi terav kujutis (joon. 147, b). Kuna kumerlääts ja ekraani asend jäi endiseks, siis peavad kiired langema kumerläätsse samasugustes suundades nagu enne nõgusläätsse eemaldamist. Seega asub hõõglamp nüüd selles punktis, kus varem lõikusid nõgusläätsse läbinud kiirte pikendused, s. o. selles punktis, kus varem oli nõgusläätsse poolt tekitatud näilik kujutis (punktis B). Määra nüüd valgusallika uue asendi kaugus joonlaua otsast ( $x_3$ ). Seega on kõik vajalikud andmed nõgusläätsse fookuskauguse määramiseks olemas.

Korralda vähemalt 5 mõõtmist valgusallika, ekraani ja läätsse eri asendite korral, arvuta iga kord valemi (1) järgi fookuskaugus, fookuskauguse keskmine väärtus, keskmine absoluutne viga ja keskmine relatiivne viga. Tulemused kanna töövihikusse järgmise skeemi järgi.

Mõõtmise järk. nr.	Valgusallika kaugus joonlaua otsast $x_1$	Nõgusläätselise kaugus joonlaua otsast $x_2$	Näilise kujuti- se kaugus joon- laua otsast $x_3$	Eseme kaugus läätselt $a = x_2 - x_1$	Näilise kujutise kaugus läätselt $k = x_3 - x_2$	Fookuskauguse $f$	Fookuskaugus keskmise väärtus $f_k$	Kõrvalekaldu- mine keskmise väärtusest $\Delta f = f - f_k$
1.	10	38	29,8	28	-8,2	-11,4	-12,0	0,6
2.	10	41	32,3	31	-8,7	-12,1		-0,1
3.	10	44	35,3	34	-8,7	-11,7		0,3
4.	10	47	37,7	37	-9,3	-12,4		-0,4
5.	10	50	40,6	40	-9,4	-12,3		-0,3

Fookuskauguse keskmine väärtus:

$$f_k = \frac{11,4 + 12,1 + 12,4 + 12,3}{5} \approx \underline{\underline{-12,0 \text{ cm.}}}$$

Keskmine absoluutne viga:

$$f = \frac{|\Delta f_1| + |\Delta f_2| + |\Delta f_3| + |\Delta f_4| + |\Delta f_5|}{5} =$$

$$= \frac{0,6 + 0,1 + 0,3 + 0,4 + 0,3}{5} = 0,34 \text{ cm.}$$

Keskmine relatiivne viga:

$$\frac{\Delta f}{f_k} = \frac{0,3}{12} \approx 0,03.$$

$$\frac{\Delta f}{f_k} = 3\%$$

Seega fookuskaugus:

$$f = (-12 \pm 0,3) \text{ cm.}$$

### Täiendavaid küsimusi.

1. Milline peab olema kumerläätselise fookuskaugus, et seda võiks kasutada nõgusläätselise fookuskauguse määramisel?

2. Kas nõgusläätselise poolt tekitatud näilik kujutis kaugeneb läätselt või läheneb läätselisele, kui eset nihutada läätselise lähemale?

## Nõgusläätsede peafookuskauguse määramine.

(2. variant).

Töövahendi d. Mõõdujoonlauast valmistatud optiline pink, nõguslääts, tuntud optilise tugevusega kumerlääts, läätselõhaja, hõõglamp, ekraan, vooluallikas, ühendusjuhtmed.

**Töö käik.** Optilistes riistades (fotoaparaadis, mikroskoobis, teleskoobis) kasutatakse sageli liitläätsi, mis koosnevad üksteise kõrvale asetatud kumer- ja nõgusläätsedest. Kui liitlääts on õhuke, siis allub ta samuti valemile:

$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{k}, \quad (1)$$

kus  $D$  on liitläätsede optiline tugevus,  $f$  — fookuskaugus,  $a$  — eseme kaugus ja  $k$  kujutise kaugus läätsedest. Osutub, et sellise liitläätsede optiline tugevus võrdub üksikute läätsede optiliste tugevuste summaga.

$$D = D_1 + D_2 + \dots + D_n. \quad (2)$$

Koosnegu liitlääts näiteks kahest läätsedest — kumerläätsedest optilise tugevusega 15 dioptrit ja nõgusläätsedest optilise tugevusega — 5 dioptrit. Sel juhul on liitläätsede optiline tugevus

$$D = 15 + ( - 5 ) = 10 \text{ dioptrit}$$

ja fookuskaugus

$$f = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ m.}$$

Seda liitläätsede omadust võib kasutada nõgusläätsede fookuskauguse määramiseks.

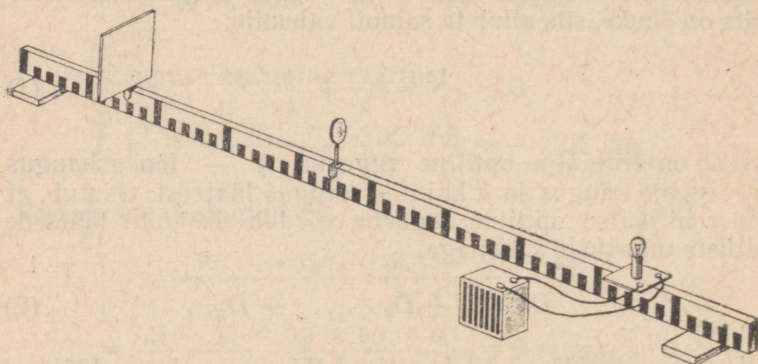
Nõgusläätsede fookuskauguse määramiseks koosta liitlääts nõgusläätsedest ja tuntud optilise tugevusega kumerläätsedest. Kumerläätsede optiline tugevus peab olema suurem nõgusläätsede optilise tugevuse absoluutväärtusest. Sel juhul on liitlääts koondavaks läätsedeks, mille optilist tugevust võib samuti määrata nagu kumerläätsede optilist tugevust.

Töö läbiviimiseks pane kumerlääts ja nõguslääts tihedalt teineteise vastu ja kinnita nad ühisesse läätselõhajas. Läätselõhaja, ekraan ja hõõglamp pane optilisele pingile nii,

nagu see on näidatud joonisel 148. Ühenda lamp patareiga. Nihuta läätse seni, kuni ekraanile tekib hõõgniidi terav kujutis. Loe optilise pingi skaalalt hõõgniidi ja tema kujutise kaugused läätsest ja arvuta liitläätse optiline tugevus  $D$ . Saadud andmetest leia valemi (2) põhjal nõgusläätse optiline tugevus:

$$D_n = D - D_k,$$

kus  $D_n$  ja  $D_k$  on vastavalt nõgus- ja kumerläätse optilised tugevused. Arvuta nõgusläätse fookuskaugus.



Joon. 148.

Korda mõõtmist 4—5 korda ja leia mõõtmistulemuste aritmeetiline keskmine.

Mõõtmistulemused registreeri järgmiselt.

Mõõtmistulemuste tabel.

Jrk. nr.	Eseme kaugus läätsest $a$	Kujutise kaugus läätsest $k$	Liitläätse optiline tugevus $D$	Kumerläätse optiline tugevus $D_k$	Nõgusläätse optiline tugevus $D_n$	Nõgusläätse fookuskaugus $f$
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
Keskmine väärtus						

## Täiendavaid küsimusi.

1. Kas nõgusläätsel optilist tugevust on võimalik määrata ka sellise kumerläätsel abil, mille fookuskaugus on suurem kui nõgusläätsel fookuskaugus?

2. Liitlääts koosneb kahest kumerläätsel, mille fookuskaugused on 60 cm ja 30 cm. Kui suur on liitläätsel fookuskaugus?

3. Millisel fookuskaugusel lääts tuleb lisada kumerläätsel fookuskaugusel 20 cm, et saada liitläätsel fookuskaugusel 50 cm?

## Töö nr. 81.

### Filmoskoobi objektiivil fookuskaugusel määramine.

Töövahendid. Filmoskoop koos filmiga, mõõdulint, täpne millimeeterjaotistega mõõdujoonlaud.

**Töö käik.** Projektsiooniaparaadi objektiivil on koondav lääts. Koondaval läätsel fookuskaugust võib määrata läätsel valemi

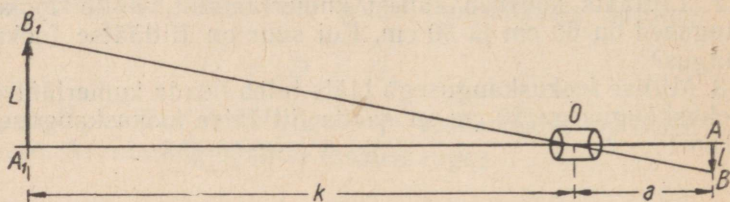
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{k} \quad (1)$$

abil. Mõõtes filmil kaugusel objektiivil ( $a$ ) ja seinale tekita- tud kujutisel kaugusel objektiivil ( $k$ ), võiks selle valemi järgi määrata filmoskoobi objektiivil fookuskaugusel  $f$ .

Kirjeldataud viisil ei ole siin siiski sobiv toimida, sest filmil ja objektiivil vahelisel kaugusel mõõtmisel tekib väga suur mõõtmisviga. Filmoskoobi objektiivil paksus on 4—5 cm ja selle optilisel keskpunktil on raske kindlaks määrata. Samuti on film ja objektiiv varjatud, mis raskendab mõõtmist. Kui näiteks objektiivil ja filmil vaheline kaugus on 6 cm ja me eksime selle mõõtmisel 1,5 cm võrra, siis saaksime relatiiv- seks veaks 25%. Seetõttu tuleb kasutada fookuskaugusel määramisel sellist teed, mis väldib filmil ja objektiivil vahelisel kaugusel mõõtmist.

Fookuskaugusel määramisel mõõda võimalikult täpselt filmikaadri (üksikvõtte) pikkus  $l$ . Kui mõõdujoonlaud on küllalt kvaliteetne, siis võib kaadri pikkust vähese harjutamisel järel mõõta ka kümnendikmillimeetrisel täpsusel. See- järel pane film filmoskoopil, juhi kiired võimalikult risti sei- naga ja tekita seinale terav kujutis. Mõõda mõõdulindiga kaadri kujutisel pikkus  $L$  ja objektiivil keskpunktil ning seinal

vaheline kaugus  $k$ . Objektiiv optiline keskpunkt asub objektiivis sees umbes kahe kuni kolme sentimeetri kaugusel eesmisest läätsesest. Mõõtmisel tuleb silmas pidada, et mõõdulint oleks seinaga risti.



Joon. 149. Kiirte käik filmoskoobi objektiivis.  
(AB- film;  $A_1B_1$  kujutis; O — objektiiv).

Joonisel 149 kujutatud kolmnurkade sarnasusest järgneb, et

$$\frac{l}{a} = \frac{L}{k};$$

Siit järgneb, et

$$a = \frac{lk}{L}.$$

Pannes  $a$  väärtuse valemisse (1), saame:

$$\frac{1}{f} = \frac{L}{lk} + \frac{1}{k};$$

$$\frac{1}{f} = \frac{kL + lk}{lk^2};$$

$$f = \frac{lk}{L + l}.$$

Muuda filmoskoobi kaugust seinast ja korralda 4—5 mõõtmist ning arvuta iga mõõtmise andmete põhjal  $f$ . Mõõtmistulemused registreeri järgmise tabeli kujul.

Jrk. nr.	Kaadri pikkus $l$ (cm)	Kujutise pikkus $L$ (cm)	Kujutise kaugus $k$ (cm)	Fookuse kaugus $f$ (cm)

Arvuta mõõtmistulemuste aritmeetiline keskmine.

## Täiendavaid küsimusi.

1. Mida nimetatakse kujutise suurenduseks?
2. Arvuta iga mõõtmise jaoks suurendus.
3. Kui suur on antud objektiiv optiline tugevus?

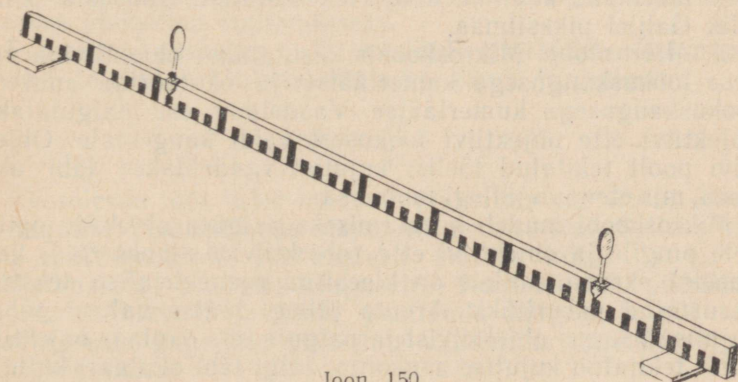
## Töö nr. 82.

### Kepleri pikksilma, Galilei pikksilma ja mikroskoobi mudelite koostamine.

Töövahendid. Mõõdujoonlauast valmistatud optiline pink, suure fookuskaugusega kaksikkumer lääts ( $f_1 = \dots \dots \text{cm}$ ), väikese fookuskaugusega kaksikkumer lääts ( $f_2 = \dots \dots \text{cm}$ ), nõguslääts, nihutatavad läätsehoidjad, ekraan nihutataval alusel, tükk paberit peenekirjalise tekstiga, seinatabel või plakat jämedakirjalise tekstiga, mõõdulint.

**Töö käik.** 1. *Kepleri pikksilm.* Kepleri pikksilmas on objektiiviks suure fookuskaugusega lääts. Objektiiv tekitab vaadeldavast esemest tõelise kujutise, mida vaadeldakse okulaariga kui luubiga.

Kepleri pikksilma mudeli koostamiseks riputa töölauast mõne meetri kaugusel asuvale hästi valgustatud seinale mingi tabel. Tabel olgu laua kõrgusel. Optiline pink suuna võimalikult risti seinaga ja kinnita siis sellele objektiiv. Selleks et leida okulaari ligikaudset asendit, määra objek-



Joon. 150.

tiiv poolt tekitatud kujutise kaugus  $k$ , kasutades selleks läätse valemit

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{a} + \frac{1}{k}.$$

Objektiiv fookuskaugus  $f_1$  on antud; eseme kaugus objektivist ( $a$ ) tuleb moodsulindiga ära mõõta.

Edasi paiguta okulaar objektiiv poolt tekitatud kujutise asukohta (s. o. objektivist kaugusele  $k$ ). Jälgi silmaga läbi okulaari kujutist ning nihuta okulaari objektivist kaugemale, kuni kujutis muutub selgesti nähtavaks.

Joonesta kiirte käik Kepleri pikksilmas ja arvuta pikksilma suurendus  $K$ , kasutades valemit

$$K = \frac{f_2}{f_1},$$

kus  $f_2$  on objektiiv fookuskaugus ja  $f_1$  on okulaari fookuskaugus.

2. *Galilei pikksilm.* Galilei pikksilm erineb Kepleri pikksilmast selle poolest, et siin kasutatakse okulaarina nõguslääts. Okulaar asetatakse objektiivile nii lähedale, et objektiiv läbinud kiired, enne kui nad jõuavad lõikuda ja tekitada tõelise kujutise, langevad okulaarile. Okulaarist väljub hajuv kiirtekimp. Kui need kiired langevad meie silma, siis näeme päripidist eseme ebakujutist.

Galilei pikksilma mudeli koostamiseks asenda Kepleri pikksilma okulaar uue okulaariga — nõguslääts. Nõguslääts paiguta objektiiv poolt tekitatud kujutise asukohta. Jälgi läbi okulaari kujutist ja nihuta okulaari objektivist seni lähemale, kuni näed teravat kujutist. Joonesta kiirte käik Galilei pikksilmas.

3. *Mikroskoop.* Mikroskoobis kasutatakse objektiivina väikese fookuskaugusega kumerlääts ja okulaarina suurema fookuskaugusega kumerlääts. Vaadeldav ese paigutatakse objektiiv ette objektiiv fookusest veidi kaugemale. Objektiiv poolt tekitatud tõelist kujutist vaadeldakse läbi okulaari, mis etendab jällegi luubi osa.

Mikroskoobi mudeli koostamiseks paiguta objektiiv optilisele pingile ja objektiiv ette (objektiivist umbes  $\frac{3}{2} f_2$  kaugusele) ekraan, millele on kleebitud peenekirjalise tekstiga varustatud paberitükk. Arvuta jällegi läätse valemi põhjal kujutise kaugus objektivist ja paiguta siis okulaar objektiiv poolt tekitatud kujutise asukohta. Jälgi läbi okulaari kujutist

ja nihuta okulaari objektiivist senikaua kaugemale, kuni kujutis muutub teravaks.

Joonesta kiirte käik mikroskoobis ja arvuta mikroskoobi suurendus  $K$ , kasutades valemit

$$K = \frac{\delta D}{f_1 \cdot f_2}.$$

$\delta$  on siin läätsedevaheline kaugus ja  $D$  parima nägemise kaugus ( $D \approx 25$  cm).

### Täiendavaid küsimusi.

1. Millised eelised on prismabinoklil võrreldes Kepleri pikksilmaga?

2. Miks praktikas kasutatavate pikksilmade ja mikroskoopide objektiivid koosnevad mitmest läätsest?

### Töö nr. 83.

#### Pikksilma suurenduse määramine.

Töö vahendid. Statiivi külge kinnitatud prismabinokkel, demonstratsioon-möödujoonlaud ja statiiv möödujoonlaua kinnitamiseks.

**Töö käik.** Prismabinokkel koosneb kahest Kepleri pikksilmast, milles objektiivi poolt tekitatud tõelise kujutise ümberpööramiseks kasutatakse prismsid. Vaadeldes seda kujutist okulaariga, mis etendab luubi osa, saame temast suurendatud ebakujutise. Okulaari poolt tekitatud ebakujutise vaatenurga ja palja silmaga vaadeldava eseme vaatenurga suhet nimetatakse pikksilma suurenduseks.

Pikksilma suurendus  $K$  avaldub objektiivi fookuskauguse  $f_1$  ja okulaari fookuskauguse  $f_2$  kaudu järgmiselt:

$$K = \frac{f_1}{f_2}.$$

Käesolevas töös tuleb määrata pikksilma suurendus eseme ja kujutise vaatenurkade otsese võrdlemise teel. Selleks kinnita möödujoonlaud vertikaalselt statiivi külge ja vii ta pikksilmast 4—5 meetri kaugusele. Kontrolli läbi pikksilma skaala nähtavust ja tõsta joonlauda kõrgemale või lase madalamale, kuni läbi pikksilma vaadatuna paistab selgelt skaala keskosa.

Okulaari pööramisega teravusta pikksilm. Vaata ühe silmaga skaalat läbi mikroskoobi ja samaaegselt teise silmaga otseselt. Väheste harjutamise järel oled suuteline nägema ühe silmaga skaalat otseselt ja teise silmaga läbi pikksilma skaala kujutist. Pööra pikksilma nii, et pikksilmas nähtav kujutis oleks skaala kohal.

Loe, mitu palja silmaga nähtavat skaala jaotist katab üks skaala kujutise jaotis. Saadud arv ongi pikksilma suurendus (kujutise ja eseme vaatenurkade suhe). Kui näiteks ühele pikksilmas tekkiva kujutise jaotisele vastab 8 palja silmaga nähtavat jaotist, siis on pikksilma suurendus 8.

Korralda 4—5 mõõtmist, muutes iga kord pikksilma ja skaala vahelist kaugust, ning leia mõõtmistulemuste aritmeetiline keskmine.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kui suur on antud pikksilma suurendus sel juhul, kui vaadata läbi pikksilma tagurpidi, s. t. kasutada objektiivi okulaarina ja okulaari objektiivina? Kontrollida katseliselt vastuse õigsust.

2. Miks prismabinokkel on lühem kui niisama suure suurendusega Kepleri pikksilm?

### Töö nr. 84.

#### Mikroskoobi suurenduse määramine.

Töö vahendid. Mikroskoop, traaditükid läbimõõduga 0,1—0,5 millimeetrit, mõõdujoonlaud, tükk joonelist või ruudulist paberit, kruvikaliiber.

**Töö käik.** Mikroskoobi suurenduseks nimetatakse mikroskoobi poolt tekitatud kujutise ja eseme vaatenurga suhet, eeldades, et nii ese kui ka tema kujutis asuvad parima nägemise kaugusel.

Mikroskoobi suurendust  $K$  võib matemaatiliselt arvutada järgmise valemi abil:

$$K = \frac{25\delta}{f_1 f_2}, \quad (1)$$

kus  $\delta$  on mikroskoobi optiline pikkus cm-tes, kordaja 25 — parima nägemise kaugus cm-tes ning  $f_1$  ja  $f_2$  vastavalt objektiivi ja okulaari fookuskaugused cm-tes. Mikroskoobi opti-

lise pikkuse all mõistame objektiivi ja okulaari sisemiste fookuste vahelist kaugust.  $\delta$  on ligikaudu võrdne mikroskoobi toru pikkusega.

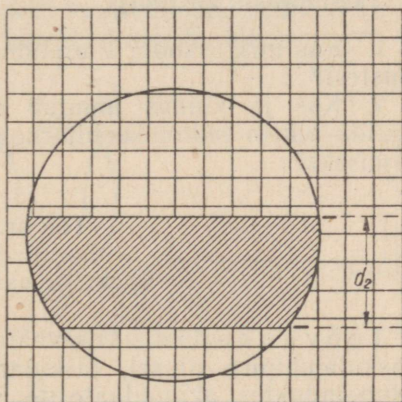
Objektiivi suurenduse  $K_1$  ja okulaari suurenduse  $K_2$  kaudu avaldub mikroskoobi suurendus järgmiselt:

$$K = K_1 K_2. \quad (2)$$

Kuna tavaliselt objektiivi ja okulaari suurendused on teada, siis seda seost kasutataksegi kõige enam praktikas mikroskoobi suurenduse määramisel.

Mikroskoobi suurendust võib määrata ka otsese vaatluse teel. Selleks paiguta mikroskoobi alla mingi tuntud läbimõõduga ese — näiteks traaditükk, mille läbimõõt  $d_1$  on eelnevalt kruvikaliibriga mõõdetud.

Teravusta mikroskoop ja paiguta traaditüki lähedale mingile kindlale alusele (näiteks raamatuvirinale) ruuduline või jooneline paberitükk. Paberitükk peab asuma okulaarist parima nägemise kaugusel. Vaata ühe silmaga läbi mikroskoobi, teise silmaga (seda pilukil hoides) aga otseselt paberitükki. Vähesel harjutamisel järel oled suuteline nägema ühe silmaga paberitükki ja teise silmaga läbi mikroskoobi paberitüki taustal traadi kujutist (joon. 151).



Joon. 151. Mikroskoobis vaadeldav pilt.

Paiguta paber nii, et selle joonestik oleks paralleelne traaditüki kujutise servadega (mõõtmisvea vältimiseks) ja märgi kahe kriipsukesega paberile traaditüki kujutise piirjooned. Mõõdujoonlauaga mõõda kujutise läbimõõtu  $d_2$ . Jagades selle traadi tegeliku läbimõõduga  $d_1$ , saadki mikroskoobi suurenduse:

$$K = \frac{d_2}{d_1}, \quad (3)$$

sest kujutise ja eseme läbimõõdu suhe on praktiliselt võrdne vastavate vaatenurkade suhtega.

Mikroskoobi suurenduse määramiseks korralda vähemalt 4—5 mõõtmist, kasutades erineva läbimõõduga traaditükke.

## Mõõtmistulemused kanna järgmisse tabelisse.

Jrk. nr.	Traadi läbimõõt $d_1$ (mm)	Kujutise läbimõõt $d_2$ (mm)	Suurendus $K$

Leia mõõtmistulemuste aritmeetiline keskmine.

Loe mikroskoobi okulaarilt ja objektiivilt nende suurendused, arvuta valemi (2) põhjal mikroskoobi suurendus ja võrdle saadud tulemust otsese vaatluse teel saadud tulemu-  
segaga.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Kas mikroskoobi suurendus oleneb vaateleja silma omadustest?

2. Kas ja kuidas muutub mikroskoobi suurendus, kui valida pikem mikroskoobitoru, jättes okulaari ja objektiivi endiseks?

### Töö nr. 85.

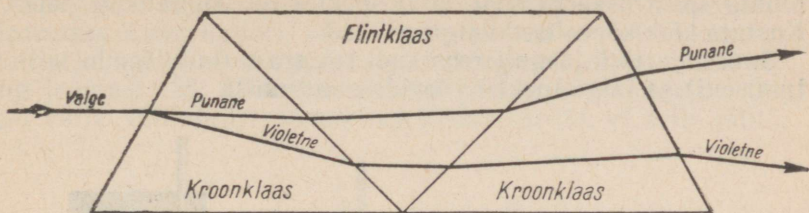
#### Spektrite vaatlemine.

Töö vahendid. Otsevaatespektroskoop, kaks statiivi, taskulambipirn alusel, taskulambipatarei, reostaat, kõrgepingeinduktor, akumulaatorite patarei induktori toitmiseks, piirituslamp, traadi otsa kinnitatud asbestitükk, keedusoolalahus, ühendusjuhtmed, värvipliatsid, must ekraan.

**Töö käik.** Tavaliselt kasutatakse spektroskoope, mille põhi-  
osadeks on kaks toru — kollimaator ja pikksilm — ja nende vahel asuv klaasprisma. Tutvu sellise spektroskoobi ehitusega õpiku järgi.

Kahe toruga spektroskoobis kalduvad kiired tunduvalt oma esialgsest suunast kõrvale, mistõttu kollimaator ja pikksilm moodustavad teineteise suhtes küllaltki suure nurga.

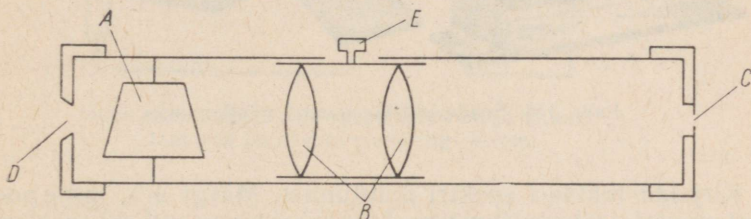
Otsevaatespektroskoobis kasutatakse tavalise prisma asemel nn. otsevaateprismat. Otsevaateprisma koosneb mitmest erineva murdumisnäitajaga klaasprismast. Valides sobiva murdumisnäitajaga klaasisordid ja prismade murdvad nurgad, saadakse selline liitprisma, mis lahutab kiired spektriiks, ilma et seejuures kiirte keskmine suund märgatavalt muu-



Joon. 152. Otsevaateprisma skeem.

tuks (joon. 152). Sellise prisma varustatud spektroskoopi võib monteerida sirgesse torusse.

Lihtsa koolis kasutatava otsevaatespektroskoobi (joon. 153) põhiosadeks on otsevaateprisma *A*, kahest läätses koosnev luup *B*, pilu *C* ja ava spektri vaatlemiseks *D*. Luup on spektroskoobi torus nihutatav kinnituskrugi *E* abil.



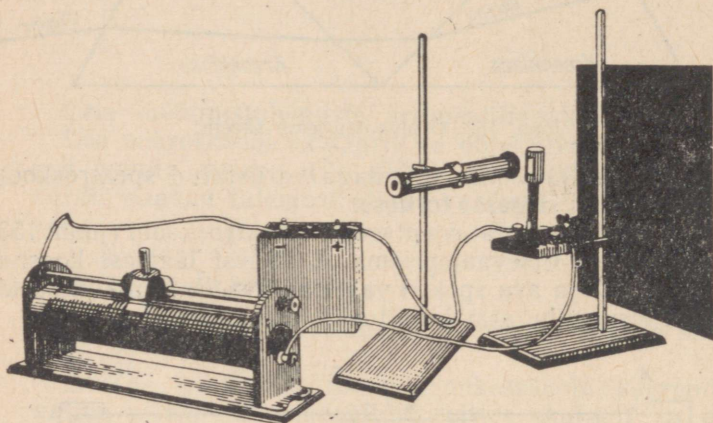
Joon. 153. Otsevaatespektroskoop.

Kui juhtida spektroskoobi pilule ühevärviline valgus, näiteks naatriumileegi kollane valgus, siis on läbi spektroskoobi vaadates näha kollast riba (s. o. pilu suurendatud päripidist näilikku kujutist). Kuna prisma kallutab eri värvi kiiri erinevalt kõrvale, siis valge valguse vaatlemisel tekib suur hulk üksteise kõrval asuvaid ja üksteist osaliselt katvaid pilu kujutisi. Need kujutised moodustavadki pideva spektri.

1. *Pideva spektri vaatlemine helenduva keha temperatuuri muutumisel.* Kinnita ühe statiivi näpitsasse hõõglambi alus ja teise statiivi näpitsasse spektroskoop, nii et lambi hõõgniit asub spektroskoobi pilu kõrgusel (joon. 154). Lambile aseta kate, mille aken on kaetud õlitatud paberiga. Seadme taha paiguta must ekraan. Ühenda lamp läbi reostaadi vooluallikaga (taskulambipatareiga). Spektri vaatlemiseks aseta spektroskoop nii, et tema pilu oleks vertikaalne ja asuks aknakesest mõne sentimeetri kaugusel. Jälgi spektrit ja

nihuta spektroskoopi seni, kuni spekter on võimalikult hele. Kustuta kõik kõrvalised valgusallikad.

Suurenda järk-järgult reostaadi takistust (kuni lambi kustumiseni) ja jälgi spektri värvide muutumist.



Joon. 154. Seade pideva spektri vaatlemiseks.

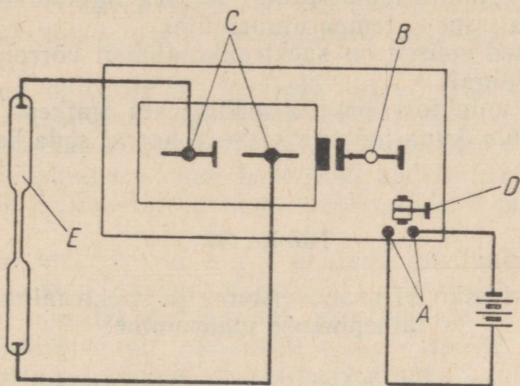
Kirjelda lühidalt spektri muutumist. Märki ära, mille poolt madala temperatuuriga keha spekter erineb kõrge temperatuuriga keha spektrist. Joonesta (kasutades värvipliiat-seid) vihikusse 1) täispinge juures helenduva hõõgniidi spekter ja 2) vaevalt helenduva hõõgniidi spekter.

2. *Joonspektrite vaatlemine.* Hõrendatud gaaside joonspektrite vaatlemiseks kasutatakse spektraaltorusid. Spektraaltoru kujutab endast uuritava hõrendatud gaasiga täidetud klaasballooni, mis on keskelt peenem ja mille otstes asuvad elektrodid. Kui ühendada elektrodid induktoriga või mõne teise kõrgepingeallikaga, hakkab gaas helenduma.

Induktor kujutab endast kõrgepingetransformaatorit, mille primaarmähise klemmidega *A* (joon. 155) on ühendatud alalisvooluallikas. Kuna alalisvoolu ei saa transformeerida, muudetakse akumulaatorist saadav vool katkesti *B* abil pulseeruvaks vooluks. Suure keerdude arvuga sekundaarmähise klemmidega *C* ühendatakse spektraaltoru *E*. Kommutaatori *D* abil võib voolu sisse ja välja lülitada ja muuta voolu suunda.

Kui induktoriga töötamisel juhtub, et voolu sisselülitamisel katkesti ei hakka mingil põhjusel tööle, siis tuleb vool kohe välja lülitada (vastasel korral primaarmähis kuumeneb üle).

Joonspektri vaatlemiseks kinnita hõõglambi asemel statiivi näpitsasse spektraaloru nii, et selle kitsam osa oleks vertikaalne ja asuks spektroskoobi pilu kõrgusel. Koosta vooluring joonisel 155 näidatud skeemi järgi (kommutaator *D* olgu välja lülitatud). Aseta spektroskoop nii, et selle pilu



Joon. 155. Induktorist, spektraalorust ja akumulaatorist koostatud vooluringi skeem.

oleks mõne sentimeetri kaugusel spektraaloru kitsast osast ja sellega paralleelne. Sea spektraaloru induktoriga ühendavad juhtmed nii, et nad ei puutuks vastu metallesemeid ega mööduks nendest liiga ligidalt (vastasel korral võib säde üle hüpata). Lülita vool sisse ja nihuta spektroskoopi niikaua, kuni spekter paistab maksimaalse heledusega.

Vaatle kirjeldatud viisil ka teiste hõrendatud gaaside spektreid.

Süüta piirituslamp. Niisuta traadi külge kinnitatud asbestitükki keedusoolalahusega ja kinnita traadi teine ots statiivi külge nii, et asbestitükk on piirituslambi leegis. Jälgi spektroskoobi abil leegis tekkivate naatriumaurude spektrit.

Kirjelda lühidalt joonspektreid ja tee igast vaadeldud spektrist (värvipliatsitega) joonis. Iga joonise juurde märgi aine, millele spekter kuulub.

3. *Fraunhoferi joonte vaatlemine.* Pane spektroskoop koos statiiviga aknale ja suuna selle toru taevale (mitte suunata päikesele!). Jälgi päikese spektrit ja selles esinevaid nõrku neeldumisjooni. Joonesta vaadeldud spekter töövihikusse.

## Täiendavaid küsimusi.

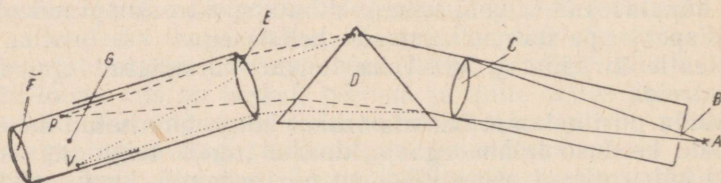
1. Millised kinnistähed — kas punakalt, kollakalt või valgelt helenduvad — on kõige kõrgema temperatuuriga? Milliste tähtede temperatuur on kõige madalam?
2. Terasest karastamisel on oluline, et karastataval esemel oleks mingi kindel temperatuur. Kuidas ligikaudu otsustada karastatava eseme temperatuuri üle?
3. Millised eelised on spektraalanalüüsil võrreldes keemilise analüüsiga?
4. Miks induktori primaarmähis, kui katkesti ei tööta, kuumeneb üle, kuna töötava katkesti korral seda karta ei ole?

## Töö nr. 86.

### Spektroskoobi gradueerimine ja spektraaljoonte lainepikkuse määramine.

Töövahendid. Kahe toruga spektroskoop, kaks spektraalitoru (üks heeliumiga ja teine elavhõbedauruga või vesinikuga), statiiv, kõrgepingeinduktor, akumulaatorite patarei, ühendusjuhtmed, must ekraan.

Töö käik. Käesolevas töös kasutatava spektroskoobi põhisadadeks on kaks toru — kollimaator ja pikksilm — ning nende vahel asuv klaasprisma (joon. 156).



Joon. 156. Kiirte käik spektroskoobis.

Kollimaatoritoru prismapoolses otsas on koondav lääts *C* ja teises otsas pilu *B*. Pilu asub läätsel fokaaltasapinnas.

Pikksilm koosneb kahest teineteise suhtes nihutatavast torust. Ühe toru otsas asub objektiiv *E* ja toru teises otsas okulaar *F*. Okulaaritorusse on kinnitatud kollimaatori piluga paralleelne peenike niit *G*. Niit on paigutatud okulaarist

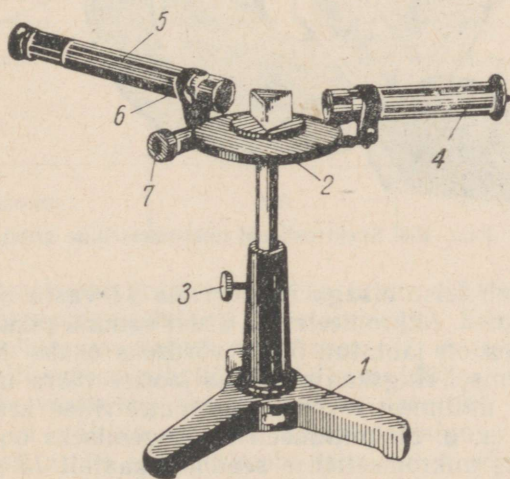
sellisele kaugusele, et läbi okulaari vaadates oleks näha niidi terav kujutis.

Kiirte käik spektroskoobis on järgmine. Kollimaatori pilu ees asuvast valgusallikast *A* langevad kiired läbi pilu läätsele *C* ja väljuvad läätsest paralleelse kiirtekimbuna. Prisma lahutab kiired värvilisteks paralleelsete kiirte kimpudeks. Kuna eri värvi kiired kalduvad prisma kõrvale eri nurkade all, siis väljuvad need kiirtekimbud prismast erinevates suundades.

Pikksilma objektiiiv *E* koondab värvilised kiirtekimbud oma fokaaltasapinna erinevatesse punktidesse, kusjuures iga kiirtekimp annab kollimaatori pilu ühevärvilise tõelise kujutise. Nende kujutiste reast koosnebki spekter, mille punane äär *P* asub prisma tipu pool ja violetne äär *V* prisma aluse pool.

Tekkinud spektrit vaatle läbi okulaari kui luubi. Pilu värvilised kujutised asuvad okulaarist erinevatel kaugustel. Sellepärast spektri vaatlemisel läbi okulaari võib saada terava kujutise ainult suhteliselt väikese spektri osa kohta. Spektri teiste osade vaatlemisel tuleb terava kujutise saamiseks veidi nihutada pikksilma liikuvat osa (s. o. okulaartoru).

Spektroskoobi prisma asub ümmargusel lauakesel 2 (joon. 157), mis on kruvi 3 abil kinnitatud massiivse kolmajala 1



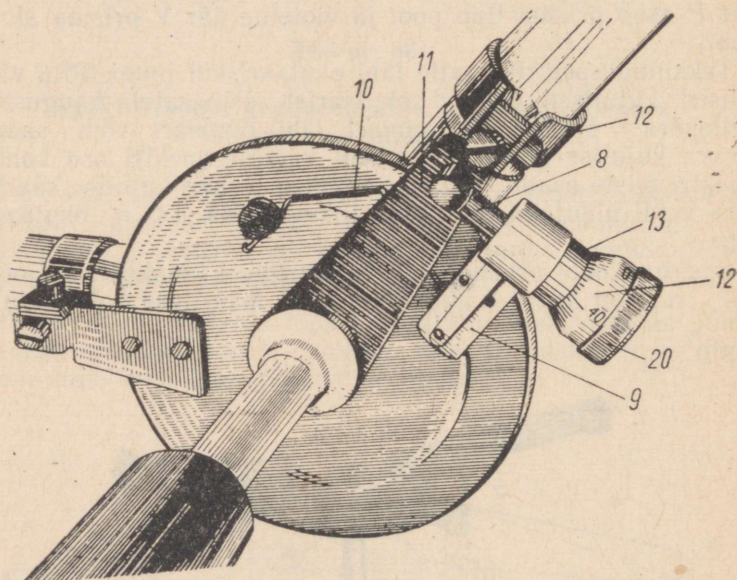
Joon. 157. Kahe toruga spektroskoop.

külge. Töö ajal on prisma kaitstud kõrvaliste kiirte eest plastmassist kattega.

Kollimaator 4 on kinnitatud lauakese külge liikumatult.

Pikksilma 5 prismapoolne toru on kinnitatud liikumatult rõnga 6 külge. Rõngas on ühendatud laua teljega šarniiri abil ja teda võib koos pikksilmaga mikromeetrilise seadme 7 abil nihutada. Pikksilma väike nurkliikumine horisontaalses tasapinnas on vajalik selleks, et oleks võimalik seada niidi kujutist ühte või teise spektri ossa.

Mikromeetrilise seadme ehitus on kujutatud joonisel 158. Mikromeetriline kruvi 8 keeratakse kronsteinis 9 olevasse keermetisse. Vedru 10, mille üks ots on kinnitatud lauakese



Joon. 158. Spektroskoobi mikromeetriline kruvi.

külge, surub teise otsaga šarniiri õla 11 vastu mikromeetrilise kruvi otsa. Mikromeetrilise kruvi sammu pikkus on 1 mm ja tema pea on jaotatud 50-ks võrdseks osaks. Seega kruvi pea pööramisel ringskaala 12 ühe jaotise võrra nihkub kruvi edasi 0,02 millimeetri võrra. Mikromeetrilise kruvi täispöörde arvu (s. o. täismillimeetrite) lugemiseks on skaala 13. Kui näiteks mikromeetrilise seadme skaalalt 13 saame arvu 6 ja ringskaalalt 12 arvu 42, siis skaala näit on 6,84 mm.

Selleks et spektroskoopi saaks kasutada spektraaljoonte

lainepikkuse määramiseks, tuleb ta enne gradueerida, s. o. määrata mitmesugustele spektraaljoontele, mille lainepikkused meil on teada, vastavad mikromeetrilise seadme näidud. Spektroskoobi gradueerimiseks kasuta heeliumi spektraaljooni.

*Mõnede elementide spektraaljoonte lainepikkusi*

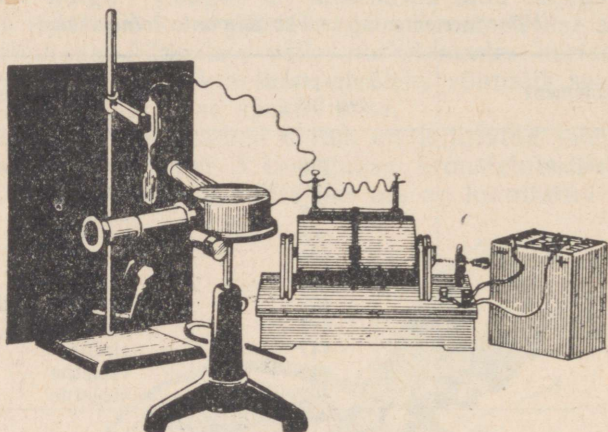
Element	Lainepikkus m $\mu$ -tes	Spektraaljoone värvus
Heelium	728	tumepunane
	706	punane
	668	punane
	588	kollane
	505	roheline
	502	roheline
	492	sinakasroheline
	471	sinine
	447	sinine
	412	violetne
402	violetne	
Elavhõbe	612	oranž
	578	kollane
	546	roheline
	492	sinakasroheline
	436	sinine
	408	violetne
	405	violetne
Vesinik	656	punane
	486	sinakasroheline
	434	violetne
	410	violetne
Naatrium	589	kollane

Spektroskoobi gradueerimiseks tutvu töö nr. 56 juhendi järgi kõrgepingeinduktori kasutamisega. Kinnita spektraal- toru heeliumiga statiivi näpitsasse nii, et toru kitsam osa oleks kollimaatori pilu kõrgusel (joon. 159).

Koosta vooluring akumulaatorite patareist ja induktorist. Selleks et vältida seintelt hajunud valguse spektroskoopi sattumist, aseta spektroskoobi taha must ekraan. Ühenda spektraal- toru induktoriga ja lülita vool sisse. Vii kollimaatori pilu otse spektraal- toru kitsama koha juurde, jälgi läbi oku-

laari spektrit ja nihuta spektroskoopi seni, kuni spekter on võimalikult hele.

Nihuta okulaaritoru sissepoole või väljapoole seni, kuni saad vaatevälja keskele heeliumi spektraaljoonte teravad kujutised.



Joon. 159. Katseseade spektrite vaatlemiseks.

Spektroskoobi gradueerimiseks võib kasutada heeliumi spektraaljoonte tabelit. Tabeli kasutamist raskendab aga asjaolu, et spekter sõltub mitte ainult torusse suletud põhilisest gaasist (heeliumist), vaid ka torusse sattunud paratamatutest lisanditest. Samuti võivad mõned uuritavad spektraaljooned kahe lähedase joone kattumise või joone väga nõrga intensiivsuse tõttu jääda nähtamatuks. Sellepärast

(Selle joonise annab õpetaja.)

Joon. 160. Heeliumi spekter.

selgita joonise 160 järgi välja, millised spektraaljooned kuuluvad uurimisele. Uurimisele tulevad jooned on joonisel kujutatud pikemate kriipsudena, juhuslikud, uurimisele mittekuuluvad jooned aga lühemate kriipsudena. Uuritavate joonte juurde on märgitud nende lainepikkused millimikronites.

Mikromeetrilise kruvi abil nihuta spektrit niikaua, kuni äärmine punane joon on niidist vasakul. Teravusta spektri punane osa ja vii parempoolne punane joon täpselt niidi alla. Registreeri mikromeetrilise seadme näit ja joone lainepikkus. Samuti määra teiste joonte näidud, hoolitsetes kogu aeg selle eest, et jooned oleksid võimalikult teravad.

Spektraaljooni tuleb kogu aeg niidi alla viia ühes suunas (vasakult paremale), et vältida vigu, mis võivad tekkida mikromeetrilise kruvi loksumise arvel. Kui mõõtmist on vaja mingil põhjusel korrata, siis vii joon uuesti niidist vasakule ja alles seejärel niidi alla.

Mõõtmistulemused registreeri järgmisse tabelisse.

*Heeliumi spektraaljooned*

Jrk. nr.	Joone värvus	Mikromeetri näit	Lainepikkus

Koosta graafik, mis näitab mikromeetri näidu sõltuvust spektraaljoonte lainepikkusest. Abstsissiteljele kanna mikromeetri näidud ja ordinaatteljele lainepikkused.

Saadud kõverat nimetatakse spektroskoobi tunnuskõveraks.

Asenda heeliumiga täidetud spektraalitoru vesinikuga täidetud spektraalitoruga. Määra selle spektraaljoontele vastavad mikromeetrilise seadme näidud ja leia spektroskoobi tunnuskõveralt joontele vastavad lainepikkused.

Võrdle mõõtmistulemusi spektraaljoonte lainepikkuste tabelis toodud andmetega.

## Valguse lainepikkuse määramine difraktsioonivõre abil.

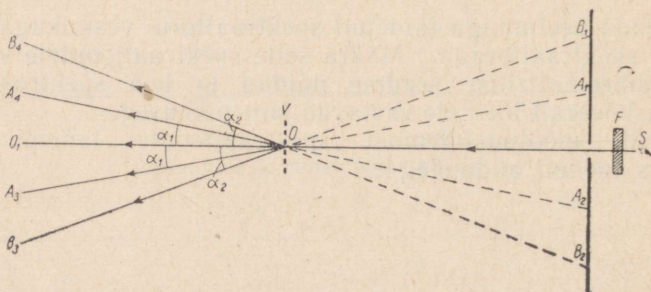
Töö vahendid. Riist valguse lainepikkuse määramiseks, difraktsioonivõre (konstandiga .... mm), laboratoorse laua alus või statiiv, sirge hõõgniidiga elektrilamp alusel.

**Töö käik.** Kohates oma teel takistust, paindub valgus sirgjoonelisest teest kõrvale. Seda nähtust nimetatakse valguse difraktsiooniks (vt. õpikust § 172). Eriti teravalt tuleb difraktsiooninähtus ilmsiks selliste pilude ja tōkete korral, mille laius ei ületa kuigi palju valguse lainepikkust. Difraktsiooninähtust saab praktiliselt rakendada rea võrdse laiusuga üksteise kõrval asuvate pilude — nn. difraktsioonivõre — abil.

Difraktsioonivõre koosneb suurest hulgast väga kitsastest paralleelsetest, näiteks teemandiga klaasile kriimustatud joontest. Kriimustatud kohad on tuhmid ega lase valgust läbi, kriimustamata kohti valgus läbib ja need moodustavad seega pilud. Enamasti valmistatakse difraktsioonivõred fotograafiliselt.

Kaugust ühe pilu servast teise pilu samapoolse servani nimetatakse difraktsioonivõre konstandiks. Kui näiteks difraktsioonivõre ühe millimeetri kohta tuleb 100 joont, siis võre konstant on  $\frac{1}{100}$  millimeetrit.

Langegu difraktsioonivõrele  $V$  (joon. 161) valgus läbi pilu  $P$ , mis on tehtud laia ekraani sisse ja on võre joontega paralleelne. Valgusallika  $S$  ja pilu vahele olgu paigutatud valgusfilter (värviline klaas)  $F$ , mis laseb läbi ainult ühevärvilist valgust. Vaadates pilu läbi difraktsioonivõre, näeme peale pilu veel tervet rida pilu ühevärvilisi kujutisi  $A_1, A_2, B_1, B_2$



Joon. 161. Difraktsioonispektrite tekkimine.

(ja teisi, mida joonisel ei ole kujutatud). Need kujutised paiknevad pilu suhtes sümmeetriliselt.

Selle nähtuse põhjus on järgmine. Kui kitsas kiirtekimp langeb difraktsioonivõrele, siis võre igast pilust levib hajuv kiirtekimp. Need hajuvad kiirtekimbud osaliselt kattuvad ja interfereeruvad. Interferentsi tõttu teatud suundades valgus tugevneb, teistes suundades aga nõrgeneb (praktiliselt kustub). Suunad, milles valgus tugevneb, on määratud järgmise valemiga:

$$\lambda n = a \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

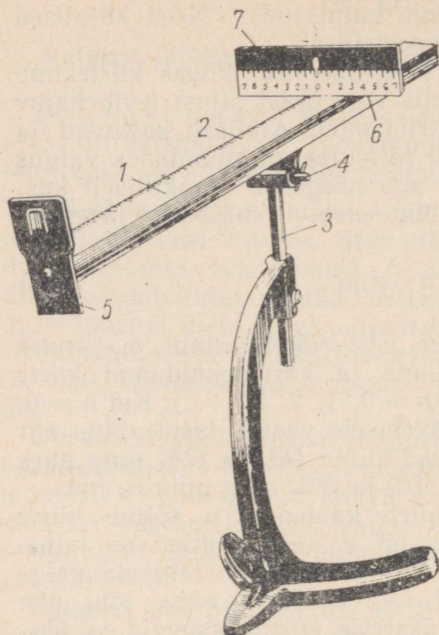
$\lambda$  on siin valguse lainepikkus,  $a$  — võrekonstant,  $\alpha$  — nurk valguse levimise esialgse suuna ja kõrvalekaldunud kiirte vahel ja  $n$  — mingi täisarv ( $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ). Kui  $n = 0$ , siis ka  $\alpha = 0$ . Sellele  $n$  väärtusele vastab tsentraalne kiir  $OO_1$ .  $n$ -i väärtusele 1 vastavad kiired  $OA_3$  ja  $OA_4$  ning nurk  $\alpha_1$  ja  $n$ -i väärtusele 2 kiired  $OB_3$  ja  $OB_4$  ning nurk  $\alpha_2$  jne.

Valemist (1) nähtub, et kiirte kaldenurk  $\alpha$  sõltub kiirte lainepikkusest. Mida suurem on  $\alpha$ , seda suurem on lainepikkus. Kui eemaldada filter ja lasta pilule langeda valge valgus, siis on punktides  $A_1, A_2, B_1$  ja  $B_2$  näha pilu ühe kujutise asemel terve rida üksteise kõrval asuvaid ja üksteist osaliselt katvaid värvilisi pilu kujutisi. Need kujutised moodustavad pideva spektri. Punktide  $A_1$  ja  $A_2$  ümbruses paistvaid spektreid nimetatakse esimest järku difraktsioonispektriteks ja punktides  $B_1$  ja  $B_2$  paistvaid spektreid teist järku difraktsioonispektriteks. Seega spektri järk võrdub  $n$ -i väärtusega.

Difraktsioonivõre võib kasutada valguse lainepikkuse määramiseks. Mõõtes nurga  $\alpha$ , teades võre konstanti  $a$  ja spektri järku  $n$ , võib valemi (1) põhjal arvutada valguse lainepikkuse  $\lambda$ . Käesoleva töö ülesandeks on mõõta pideva spektri nähtavate piiride (s. o. punase piiri ja violetse piiri) lainepikkused.

Valguse lainepikkuse määramise riista aluseks on puulaud 1 (joon. 162), millel on sentimeeter- ja millimeeterjaotistega skaala 2. Laua alumise pinna keskele on šarniiri abil kinnitatud varras 3 mutriga 4. Varras asetatakse tõstetava laua alusele või kinnitatakse statiivi näpitsatesse.

Laua eesmisele otsale on asetatud raam 5, millesse kinnitatakse difraktsioonivõre. Seejuures võre asend ühtib laua skaala nullkriipsuga. Piki lauda võib liikuda nihkur 6, mille külge on kinnitatud kilp 7. Kilbi alumisele äärele on kantud täpne millimeeterjaotistega skaala (joon. 163), mille null-

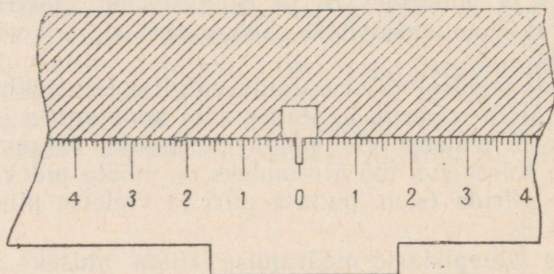


Joon. 162. Valguse lainepikkuse määramise riist.

kriips asub keskel. Skaala nullkriipsu peale on lõigatud aken ja akna alla kitsas sihtimispilu. Kilbi ülemine osa on mustaks värvitud.

Pideva spektri tekitamiseks tuleb kasutada sirge hõõgniidiga lampi või mõnda teist lampi, mille hõõgniit on ühes tasapinnas.

Töö sooritamiseks asetatakse lamp difraktsioonivõrest 4—6 meetri kaugusele. Valguse lainepikkuse määramise riist kinnitatakse statiivi külge nii, et lambi hõõgniit asuks pilu kõrgusel. Pane lamp sellisesse asendisse, et töökohalt vaadatud lambi hõõgniit paistaks vertikaalse sirgena.



Joon. 163. Kilp skaalaga ja sihtimispiluga.

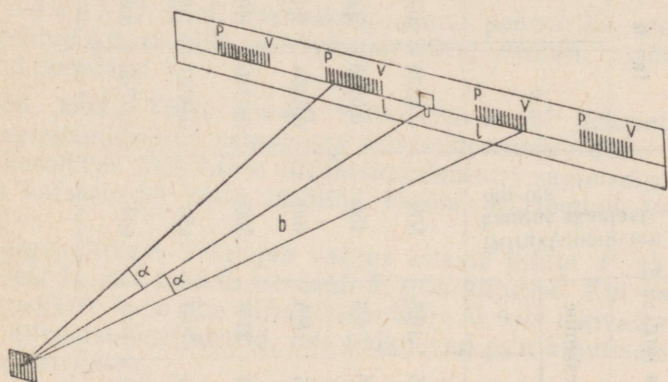
Vaata läbi difraktsioonivõre ja suuna riist lambile nii, et läbi sihtimise pilu oleks näha lambi hõõgniit ja et see oleks skaala ülemise äärega risti. Siis tekivad mõlemal pool akent kilbi mustale foonile difraktsioonispektrid. Kui spektrite asetus skaala suhtes on kaldu, siis pööra difraktsioonivõre raami (5) koos võreaga seni, kuni kalle kaob.

Määra läbi võre vaadeldes kilbi skaala järgi esimest ja teist järku spektrite punaste ja violetsete piiride (otste) kaugused ( $l$ ) skaala nullpunktist (millimeetrites; joon. 164). Spektri piiri kaugus määra nii nullpunktist vasakul kui ka temast sümmeetriliselt paremal asuva spektri järgi ja võta tulemusest aritmeetiline keskmine. Aluslaual oleva skaala järgi mõõda difraktsioonivõre kaugus kilbist, olgu see  $b$ .

Avaldades valemist (1) lainepikkuse, saame

$$\lambda = \frac{a \sin \alpha}{n}.$$

Nurk  $\alpha$  on esimest ja teist järku spektrite jaoks väga väike.



Joon. 164. Pidevad difraktsioonispektrid ( $p$  — spektri punane äär,  $v$  — spektri alumine äär).

Väikeste nurkade siinus erineb väga vähe nende nurkade tangensist. Seega saame:

$$\lambda = \frac{a \tan \alpha}{n},$$

kus  $\tan \lambda = \frac{l}{b}$ , siis

$$\lambda = \frac{al}{nb}.$$

Tee mõõtmised kilbi kolme eri asendi korral. Mõõtmistulemused kannu tabelisse järgmise näidise kohaselt.

Järjekorra nr.	Spektri järk	Spektri nähtavad piirid skaala järgi <i>mm</i> -tes						Difraktsioonivõre kaugus skaalast <i>mμ</i> -tes	$\tan \alpha$		Võre konstant <i>mμ</i> -tes	Valguslaine pikkus <i>mμ</i> -tes	
		vasak		parem		keskmine			<i>p</i>	<i>v</i>		<i>v</i>	<i>p</i>
		<i>p</i>	<i>v</i>	<i>p</i>	<i>v</i>	<i>p</i>	<i>v</i>						
1.	1	18	10	19	11	18,5	10,5	500	0,0370	0,0210	2000	740	420
2.	1	16	9	17	10	16,5	9,5	450	0,0366	0,0211	2000	732	422
3.	1	14	8	15	9	14,5	8,5	400	0,0363	0,0212	2000	726	424
4.	2	37	21	37	21	37,0	21,0	500	0,0740	0,0420	2000	740	420
5.	2	33	19	33	19	33,0	19,0	450	0,0733	0,0422	2000	733	422
6.	2	29	17	29	17	29,0	17,0	400	0,0722	0,0422	2000	722	422
Keskmine											732	421	

## Täiendavaid küsimusi.

1. Kas difraktsioonivõret on võimalik kasutada spektroskoopides prisma asemel?

2. Milliseid difraktsiooniga seletatavaid nähtusi esineb looduses?

## Töö nr. 88.

Valguse lainepikkuse määramine difraktsioonivõre abil.

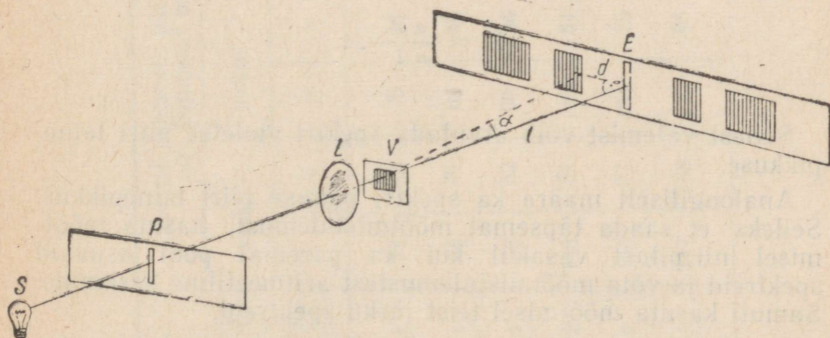
(II variant.)

Töö v a h e n d i d. Filmoskoop, must pabeririba, millesse on tehtud kitsas pilu, difraktsioonivõre, ekraan, möödulint, möödujoonlaud.

**Töö käik.** Tööle asudes tutvu töö nr. 87 juhendi järgi difraktsioonispektri saamiseks difraktsioonivõre abil.

Käesolevas töös tuleb difraktsioonispektri saamiseks kasutada katseseadet, mille optiline skeem on toodud joonisel 165.

Valgusallikast  $S$  langeb valgus kitsale pilule  $P$  ja sealt läätsele  $L$ , mis tekitab ekraanil  $E$  pilu kujutise. Kui paneme valguskiirte teele ette difraktsioonivõre  $V$ , siis tekivad ekraanile difraktsioonispektrid, mis paiknevad pilu kujutise suhtes sümmeetriliselt.



Joon. 165. Difraktsioonispektrite saamine.

Töö eesmärgiks on kasutada sel teel saadud difraktsiooni-spektreid pideva spektri nähtavate piiride (s. o. punase ja violetse piiri) lainepikkuste määramiseks.

Töövahendina kasuta filmoskoopi, millesse keera filmi asemele kitsa piluga varustatud must pabeririba. Suuna filmoskoobi objektiiv ekraanile, nii et kiired langevad ekraaniga võimalikult risti. Filmoskoobi objektiivi ette asetada silindriline papist karbik, mis läheb tihedalt objektiivi katile ja mille põhja sisse on monteeritud difraktsioonivõre. Teravusta pilu kujutis ja pööra karp koos võreaga nii, et võre jooned on paralleelsed piluga.

Mõõda mõõdulindiga pilu kujutise kaugus  $l$  võrest (joon. 165). Samuti mõõda mõõdujoonlauaga 1. järgu spektri violetse piiri kaugus pilu kujutise keskkohast.

Kasutades valemit

$$\lambda = \frac{a \sin \alpha}{n}$$

võib kergesti leida lainepikkuse.  $\alpha$  on selles valemis võrekonstant (kaugus mingi pilu servast selle pilu naaberpilu samapoolse servani),  $\alpha$  — kiirte kaldenurk ja  $n$  — spektri järk. ( $n = 1, 2, \dots$ ). Antud juhul  $a = \dots$ . Kuna väikeste nurkade korral

$$\sin \alpha \approx \tan \alpha = \frac{d}{l},$$

siis

$$\lambda = \frac{a d}{n l}.$$

Sellest valemist võib arvutada spektri violetse piiri lainepikkuse.

Analoogiliselt määra ka spektri punase piiri lainepikkus. Selleks et saada täpsemat mõõtmistulemust, kasuta mõõtmisel nii pilust vasakul kui ka paremal pool asuvaid spektreid ja võta mõõtmistulemustest aritmeetiline keskmine. Samuti kasuta mõõtmisel teist järku spektreid.

Muuda filmoskoobi ja ekraani vahelist kaugust ning tee 2—3 mõõtmist. Mõõtmistulemused registreeri järgmiselt.

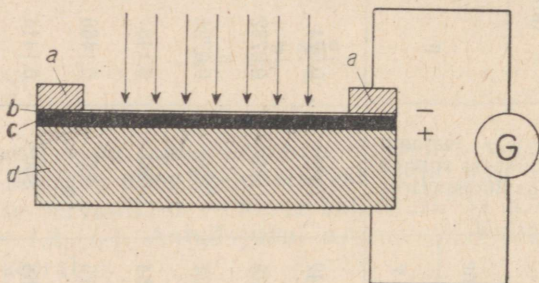
Mõõtmistulemused

Järjekorra nr.	Spektri järk	Spektri nähtavate piiride kaugus pilu kujutisest mm-tes						Difraktsioonivõre kaugus ekraanist mm-tes	tan $\alpha$		Võre konstant m $\mu$ -tes	Valguslaine pikkus	
		vasak		parem		keskmine			p	v		p	v
		p	v	p	v	p	v						
1.	1	73	40	75	44	74	42	1000	0,074	0,042	1000	740	420
2.	1	64	36	68	40	66	38	900	0,0732	0,0422	1000	732	422
3.	1	56	32	60	36	58	34	800	0,0726	0,0424	1000	726	424
4.	2	148	84	148	84	148	84	1000	0,148	0,084	1000	740	420
5.	2	130	77	134	75	132	76	900	0,1466	0,0844	1000	733	422
6.	2	117	68	115	68	116	68	800	0,1444	0,0844	1000	722	422
Keskmine											732	421	

## Fotoelemendi gradueerimine.

Töö vahendid. Seleenfotoelement, statiiv, galvanomeeter, tuntud valgustustugevusega hõõglamp alusel, mõõdulint.

Töö käik. Seleenfotoelement koosneb raudplaadist, mille peale on kantud seleenikiht (joon. 166). Seleenikiht on omakorda pealt kaetud väga õhukese valgust läbilaskva metallikihiga (näiteks plaatinakihiga). Kui ühendada pealmine metallikiht läbi galvanomeetri raudplaadiga ja valgustada seleenikihti, siis galvanomeeter näitab voolu. Tekkinud fotovoolu tugevus sõltub seleenikihi valgustustugevusest.



Joon. 166. Seleenfotoelement (*a* — metallrõngas; *b* — plaatinakiht; *c* — seleenikiht; *d* — raudplaat).

Selleks et fotoelementi koos galvanomeetriga saaks kasutada valgustustugevuse mõõtmiseks, tuleb ta enne gradueerida, s. o. määrata fotoelemendi seleenikihi erinevatele valgustustugevustele vastavad galvanomeetri näidud.

Valgustades fotoelemendi seleenikihti tuntud valgustustugevusega lambiga, võib kergesti määrata valgustustugevuse:

$$E = \frac{I}{r^2}. \quad (1)$$

Siin  $E$  on seleenikihi valgustustugevus,  $I$  lambi valgustustugevus rahvusvahelistes küünaldes ja  $r$  fotoelemendi ja lambi vaheline kaugus meetrites.

Fotoelemendi gradueerimiseks kinnita fotoelement statiivikülge nii, et tema valgustundlik pind oleks võimalikult

vertikaalne ja et fotoelemendi keskkohast asuks lambi hõõgniidi kõrgusel. Ühenda galvanomeetri klemmid juhtmete abil fotoelemendi klemmidega. Kui meil on kasutada ühepoolse skaalaga galvanomeeter, siis peab vooluringi koostamisel silmas pidama galvanomeetri ja fotoelemendi klemmide juurde märgitud tähiseid («+» ja «-»). Lähenda statiivi koos fotoelemendiga lambile seni, kuni galvanomeetri näit on maksimaalne. Jälgi, et fotoelemendi pind oleks seejuures risti temale langevate kiirtega. Registreeri galvanomeetri näit ja fotoelemendi kaugus lambist. Viies fotoelemendi järk-järgult lambist kaugemale, korralda 6—10 mõõtmist ja arvuta iga kord valemi (1) järgi valgustustugevus. Mõõtmistulemused kannu järgmisse tabelisse.

Mõõtmise nr.	Galvano-meetri näit	Valgusallika kaugus fotoelemendist (m)	Lambi valgustugevus (rk)	Fotoelemendi valgustugevus (Lx)

Koosta graafik, mis näitab galvanomeetri näidu ja seleenikihi valgustustugevuse vahelist sõltuvust. Abstsissiteljele kannu galvanomeetri näit ja ordinaatteljele valgustustugevus.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Mõõda gradueeritud fotoelemendi abil oma töölaual valgustustugevus luksides. Mõõtmisel olgu fotoelemendi valgustundlik pind paralleelne lauaplaadiga.

2. Otsustada graafiku põhjal, milline funktsionaalne sõltuvus on antud fotoelemendi korral fotovoolu tugevuse ja fotoelemendi pinna valgustustugevuse vahel.

3. Miks fotoelemendi valgustundliku kihi valmistamiseks ei saa kasutada näiteks vaske?

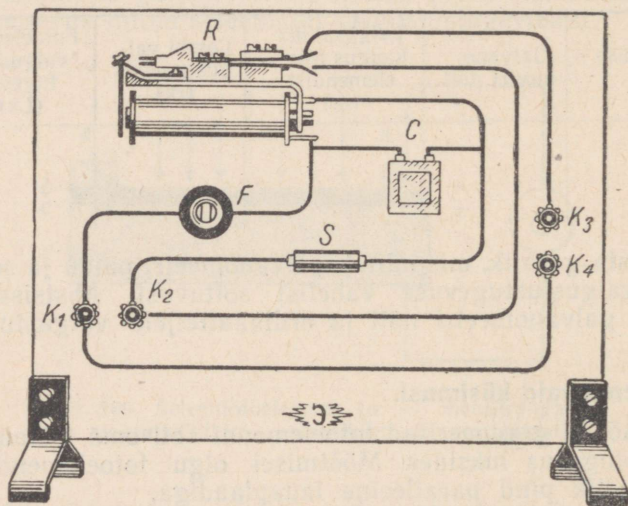
### Töö nr. 90.

#### Fotorelee ehituse tundmaõppimine.

Töövahendid. Fotorelee, valgusallikas (taskulamp, mis annab kitsa kiirtekimbu või filmoskoop), hõõglamp (15—25 W), elektrikell, ühendusjuhtmed.

**Töö käik.** Tänapäeva tehnikas kasutatakse laialdaselt mitmesuguseid automaate, mille põhisaks on fotorelee. Fotorelee rakendused on väga mitmekesised. Tema abil võib sisse ja välja lülitada majakate ja boide valgustust, tänavalaternaid, sorteerida ja loendada mitmesuguseid esemeid, panna käima või jätta seisma elektrimootoreid jne.

Fotorelee põhisaks on fotoelement (vt. õpikust § 186) või fototakisti. Fototakisti erineb tavalisest oomilisest takistist ainult selle poolest, et valguse mõjul tema takistus muutub. Pimedas on fototakisti takistus väga suur, valguse käes aga väike.



Joon. 167. Fotorelee.

Oma ehituselt võivad fotoreleed olla väga mitmesugused. Käesolevas töös kasutatav fotorelee on kujutatud joonisel 167. Ta koosneb klemmidest  $K_1$  ja  $K_2$ , mille abil relee lülitatakse vahelduvvoolu võrku (pingega 127 V või 220 V), klemmidest  $K_3$  ja  $K_4$ , mis ühendatakse signaallambiga, seleenalaldajast  $S$ , kondensaatorist  $C$ , elektromagnetilisest releest  $R$  ja fototakistist  $F$ . Fotorelee on monteeritud vertikaalsele kilbile.

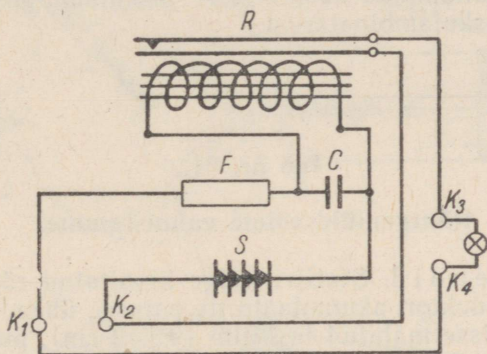
Fotorelee elektriline skeem on kujutatud joonisel 168. Klemmilt  $K_2$  suundub vool seleenalaldaja  $S$ , relee  $R$  mähise ja fototakisti kaudu teise klemmini  $K_1$ . Seleenalaldaja teki-

tab vooluringis pulseeriva alalisvoolu. Selle voolu silumiseks on paralleelselt rele mähisega lülitatud kondensaator.

Võrgupinge all olevate klemmide  $K_1$  ja  $K_2$  külge on lülitatud veel teine vooluring, mis koosneb elektromagnetilise rele kontaktidest ja signaallambist.

Kui fototakisti pinnale ei lange valgust, siis läbib rele mähist nii nõrk vool, et rele kontaktid ei sulgu. Seega signaallambi vooluring on avatud ja lamp ei põle.

Valgustades fototakistit selle takistus väheneb, voolutugevus suureneb ja rele kontaktid tõmbuvad kokku. Sellega lülitatakse signaallamp sisse.



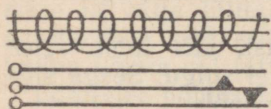
Joon. 168. Fotorelee elektriline skeem.

Töö teostamiseks tutvu fotorelee ehitusega, koosta joonisel 168 näidatud vooluahel ja kontrolli fotorelee töötamist. Selleks suuna filmskoobist, millelt on objektiiv eemaldatud, kitsas kiirtekimp fototakistile ja veendu, kas signaallamp hakkab põlema. Varja raamatuga või vihikuga fototakistile langev valgus ja oota seni, kuni lamp kustub. Korda sama katset, kasutades signaallambi asemel elektrikella.

Joonista vihikusse fotorelee elektriline skeem.

Kasutades sellist elektromagnetilist releed, kus voolu puudumisel mähises rele kontaktid on avatud ja voolu läbimisekul suletud, võib ehitada fotorelee, mis võrreldes kirjeldatud fotoreleega töötab ümberpöörduvalt. Sellise fotoreleega varustatud vooluringis põleb signaallamp siis, kui fototakistile valgust ei lange, ja on kustunud sel juhul, kui fototakisti on valgustatud.

## Täiendavaid küsimusi.



Joon. 169. Kahe kontak-  
tiga elektromagnetiline  
relee.

1. Kasutades kahe kontaktiga elektromagnetilist releed, (joonis 169) on võimalik ehitada selline fotorelee, kus oma soovi kohaselt võib kasutada ühte kahest järgmisest lülitusviisist: 1) fotoelemendi valgustamisel signaallamp kustub või 2) fotoelemendi valgustamisel hakkab signaallamp põlema. Koosta sellise fotorelee skeem.

2. Muuta joonisel 168 toodud skeem nii, et signaallambina kasutatakse taskulambipirni ja selle toitmiseks taskulambipatareid.

## Töö nr. 91.

### Röntgeniülesvõtete valmistamine.

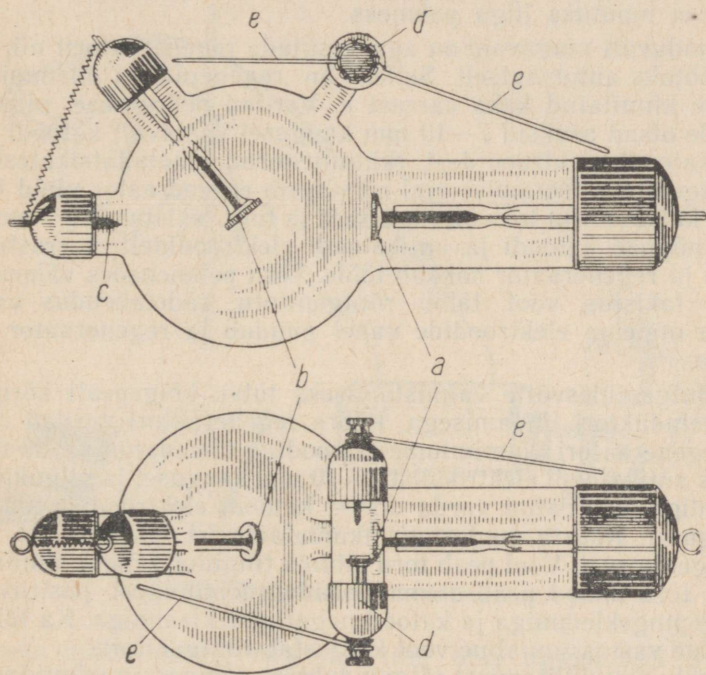
Töövahendid. Statiivi külge kinnitatud röntgenitoru, kõrgepingeinduktor, akumulaatorite patarei, ühendusjuhtmed, musta paberisse mähitud tasafilm ( $9 \times 12$  cm), pudel ilmutilahusega, pudel kinnistilahusega, kolm fotovanni (ilmuti, kinnisti ja vee jaoks), kaks fotonäpitsat ja kell.

**Töö käik.** Röntgenitorus tekivad röntgenikiired kiirete elektronide põrkumise tõttu vastu kõrge sulamistemperatuuriga metallist valmistatud plaati, mida nimetatakse antikatoodiks. Kiireid elektrone võib saada kahel teel, olenevalt toru liigist. Elektronitorudes tekitavad röntgenikiiri hõõgkatoodilt väljuvad termoelektronid (vt. õpikust joonis 323). Käesolevas töös kasutatakse nn. ioontoru, millel puudub hõõgkatood (joon. 170).

Ioontorus, kus hõrendusaste ei ole nii suur nagu elektronitorus, tekivad kiired elektronid tõukeionisatsiooni tulemusena (s. o. samuti nagu katoodtorus). Ioontorus on kolm elektroodi: katood *a*, antikatood *b* ja anood *c*, mis on ühendatud antikatoodiga. Röntgenitoru toitmiseks kasutatakse sädeinduktorit. Toru anood ühendatakse induktori positiivse klemmiga ja katood — negatiivse klemmiga.

Selleks et toru töötaks normaalselt, peab õhurõhk torus olema teatud kindlates piirides (umbes 0,001 mm Hg). Kui rõhk ja seega ka õhu tihedus on liiga suured, siis anoodi suu-

nas liikuvad elektronid põrkuvad väga sageli vastu õhumolekule. Seetõttu nende kiirus kahaneb ja nende energia ei ole küllaldane röntgenikiirte tekitamiseks. Sellist toru nimetatakse «pehmeks». Kui aga rõhk torus on väiksem lubatavast minimaalsest rõhust, siis katoodilt väljunud elektronid ei kohta oma teel nii palju molekule, et tekitada tõukeionisatsiooni teel küllalt suurt hulka elektrone. Sellise toru juhtivus kahaneb järsult — toru muutub kalgiks ja lakkab töötamast.



Joon. 170. Röntgenitoru (kahes vaates). *a* — katood; *b* — antikatoode; *c* — anood; *d* — regeneraator; *e* — regeneraatori vardad.

Toru seinad ja elektroodid neelavad aja jooksul torus leiduvat õhku ja toru muutub üha kalgimaks. Röntgenitoru uuesti töökorda seadmiseks tuleb teda regenerereerida ehk «pehmen-dada», s. t. viia torusse teatud kogus õhku. Selleks on toru varustatud regeneraatoriga *d* (joon. 170). Regeneraator on röntgenitoruga ühendatud klaastoruks, millesse on joodetud

kaks elektroodi: alumiiniumist vardake ja vilgukiviplaadike-sega lõppev elektrood.

Kui toru muutub kalkiks, siis regenereritakse teda järgmiselt. Kõrgepingeinduktori plussklemm ühendatakse regeneraatori alumiiniumelektroodiga ja miinusklemm — teise elektroodiga, mille külge on kinnitatud vilgukiviplaat. Lülitades voolu sisse, tekib regeneraatoris elektrilahendus. Lahenduse mõjul eraldub vilgukivist gaasi ja toru kaotab osa oma kalkust. Aeg-ajalt kontrollitakse toru töötamist ja jälgitakse, et toru ei muutuks liiga pehmeks.

Tunduvalt mugavam on aga kasutada regeneraatorit nii, et ta töötaks automaatselt. Selleks on regeneraatori klemmide külge kinnitatud kaks varrast *e*. Vardad pööratakse nii, et nende otsad asuksid 7—10 mm kaugusel vastavalt katoodi ja antikatoodi elektroodidest (kinnitustorude metallotsikutest). Röntgenitoru töötamise ajal reguleerib regeneraator nüüd ise toru kalkust. Kui toru on liiga kalk ja toru takistus liiga suur, siis hüppab katoodi ja antikatoodi elektroodidelt varraстеle säde ja regeneraator hakkab tööle. Toru pehmenedes väheneb toru takistus, vool läbib röntgenitoru, sädelahendus varraste otste ja elektroodide vahel puudub ja regeneraator ei tööta.

Röntgeniülesvõtte valmistamiseks tutvu kõigepealt kõrgepingeinduktori töötamisega. Pööra regeneraatori vardad nii, et regeneraatori alumiiniumelektroodiga ühendatud varda ots oleks antikatoodi elektroodist 7—10 mm kaugusel ja vilgukivi-plaadiga ühendatud varda ots — katoodi elektroodist samal kaugusel. Koosta vooluring akumulaatorist, induktorist ja röntgenitorust. Vool peab toru läbima tingimata õiges suunas, s. o. toru anood peab olema ühendatud induktori positiivse kõrgepingeklemmiga ja katood negatiivse klemmiga. Ka lühiajaline vastassuunaline vool kahjustab röntgenitoru.

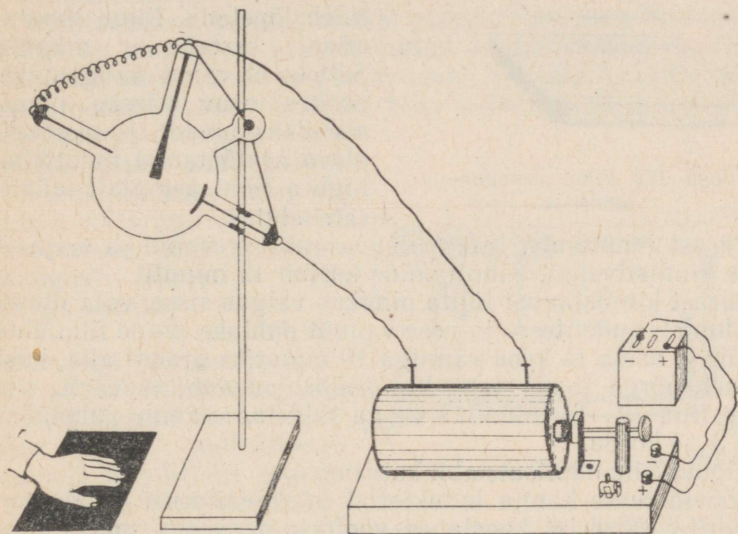
Voolu sisselülitamisel jälgi induktori primaar- ja sekundaarmähise klemmide juurde kirjutatud märke «+» ja «—» ning voolu sisselülitamisel pööra induktori lülitit noolega näidatud suunas.

Röntgenitoru induktoriga ühendavad juhtmed ei tohi mööduda statiivist liiga ligidalt, sest vastasel korral võib säde statiivile üle hüpata.

Röntgenitoru on kinnitatud statiivi külge selliselt, et tema antikatoodi pind oleks laua plaadiga paralleelne, s. t. et kiired langeksid lauale vertikaalselt. Toru kõrgust (... cm) ei tule muuta, sest vastasel korral võime filmi alla või üle valgustada (säriaeg sõltub antikatoodi ja filmi vahelisest kaugusest).

Röntgenitoru korrasoleku kontrollimiseks pimenda ruum ja lülita sisse vool. Kui toru on korras ja voolu suund on õige, siis tekib toru klaasseinal antikatoodi vastas rohekas laik (laigu tekitavad antikatoodilt väljalöödud elektronid).

Röntgeniülesvõtte tegemine toimub täie valguse juures. Filmi valgustatakse röntgenikiirtega läbi musta paberi, mis kaitseb filmi valgustundlikku kihti valguse eest, kuid osutub röntgenikiirtele täiesti läbipaistvaks.



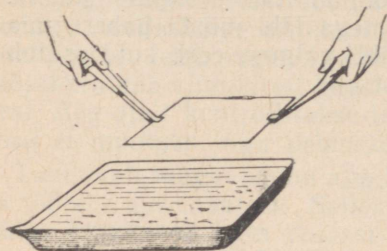
Joon. 171. Röntgeniülesvõtte valmistamine.

Aseta musta paberi sees olev film otse antikatoodi alla lauale või statiivi alusele. Pane filmile mõni metallise (võti, metallraha) ja sellele oma käsi (joon. 171). Lülita vool sisse... sekundiks.

Röntgenitoruga töötamisel tuleb olla ettevaatlik, sest röntgenikiired avaldavad silmadele kahjustavat toimet. Röntgenitoru ei tule jätta voolu alla kauemaks, kui see on vajalik röntgeniülesvõtte tegemiseks. Samuti tuleb hoiduda töötava toru kestvast vaatlemisest.

Töö ülejäänud osa tuleb teha fotopimikus. Vala ilmuti- ja kinnistilahused vannidesse. Kolmas vann täida veega. Vannid paiguta nii, et pimeduses ei oleks karta nende äravahetamist. Pane lauale näpitsad ja film. Filmi emulsiooniga külg pööra

ülespoole (vt. mustale katepaberile kirjutatud märkust «emulsiooniga kaetud külg»). Pimenda ruum. Võta film paberist välja ja kinnita selle servad näpitsate vahele (joon. 172) nii, et emulsiooniga kaetud külg oleks ülevalpool, ja pane see



Joon. 172. Filmi asetamine ilmutisse.

ilmutivanni. Filmi ilmutamise algmoment teata väljaspool pimikut olevale teisele õpilasele, kes jälgib kogu aeg kella ja teatab, millal ilmutamine tuleb lõpetada. Filmi ilmutamine kestab... minutit. Selleks et vanni kaugemates osades asuv värske ilmuti asendaks plaadi emulsioonil oleva äratöötanud ilmutikihi, liiguta filmi aeg-ajalt näpitsate abil.

Pärast ilmutamist aseta film korraks veevanni ja seejärel kohe kinnistivanni. Kinnitamine kestab 15 minutit.

Pärast kinnistamist lülita pimikus valgus sisse, vala ilmuti ja kinnisti pudelitesse ja pese vannid puhtaks. Pane film ühte vanni ja aseta ta koos vanniga 10 minutiks kraani alla, kust nüriseb nõrga joana vett. Kui koolis puudub veevärk, siis pane film 10—15 minutiks veega täidetud vanni, vahetades vett 3—4 korda.

Riputa film näpitsate abil kuivama.

Töövihikusse kanna induktorist, röntgenitorust ja akumulaatorite patareist koostatud vooluringi skeem, märgi üles säriaeg ja ilmutamise kestus ja kleebi sinna ka tehtud ülesvõte.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Otsustada ülesvõtte järgi, milline aine — kas lihased, luu või metall — neelab kõige rohkem röntgenikiiri. Milline nendest ainetest neelab kõige vähem röntgenikiiri?

2. Kuidas sõltub röntgenikiirte neeldumine metalli tihedusest?

3. Millist mõju avaldab ilmutamisprotsess fotoplaadile?

## Stsintillatsioonide vaatlemine.

Töö vahendid. Spintariskoop.

**Töö käik.** Stsintillatsioonideks nimetatakse sähvatusi, mis tekivad vääveltsingiga kaetud ekraanil  $\alpha$ -osakeste toimel. Stsintillatsioonide vaatlemiseks kasutatakse spetsiaalset riista — spintariskoopi.

Spintariskoop kujutab endast plastmassist toru, mille põhja külge on kinnitatud vääveltsingiga kaetud ekraan  $E$  (joon. 173). Ekraani ette on paigutatud nõel  $N$ , mille teraviku küljes on broomraadiumi või mõne teise  $\alpha$ -osakesi kiirgava radioaktiivse aine terake. Toru teises otsas asub kahest läätsest koosnev luup  $L$ . Luup on toruga ühendatud keermetise abil ja tema kaugust ekraanist võib seega muuta.

Tutvu spintariskoobi ehitusega joonise ja spintariskoobi väliskuju järgi, võttes spintariskoobi karbist välja poolhämarias ruumis ja vältides tugeva valguse sattumist ekraanile.

Tugeva valguse sattumisel ekraanile hakkab ekraan ühtlaselt helenduma. See helendus kestab 10—20 minutit ja raskendab selle aja jooksul  $\alpha$ -osakeste vaatlemist.

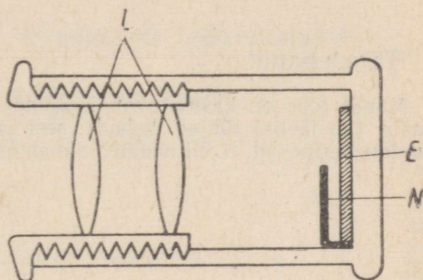
Stsintillatsioonide vaatlemiseks tuleb minna hästi pimendatud ruumi. Kui oled pimeduses viibinud 5—10 minutit, siis tõsta spintariskoop vasaku käega silma ette ja pööra parema käega luupi ühele või teisele poole seni kuni saad terava kujutise.

5—10 minutiline ooteaeg on vajalik silma kohanemiseks nõrga valgusega. Kui proovida vaadelda stsintillatsioone otsekohe pärast heledalt valgustatud ruumist tulekut, siis see ei õnnestu.

Joonesta töövihikusse spintariskoobis vaadeldud pilt ja spintariskoobi läbilõige.

### Täiendavaid küsimusi.

1. Keerata spintariskoobist välja luup ja tutvuda spintariskoobi ehitusega.



Joon. 173. Spintariskoobi läbilõige.

2. Valgustada vääveltsingiga kaetud ekraani tugeva valgusega, panna seejärel luup oma kohale ja vaadelda pimedas ruumis läbi luubi ekraani. Mida märkate? Millise füüsika kursusest tuntud optilise nähtusega on siin tegemist?

3. Miks  $\beta$ -osakeste poolt tekitatud stsintillatsioonid ei ole võimalik vaadelda spintariskoobi abil?

### Tähelepanu!

Mõnes töös on kasutatavate seadmete kohta vajalikud andmed märkimata (on jäetud tühjad kohad), sest erinevate seadmete juures on need andmed erinevad. Need andmed annab õpetaja.

## SISUKORD

Sissejuhatus . . . . .	3
------------------------	---

### I o s a

#### ÜLDTEADMISI FÜSIKA PRAKTIKUMI LÄBIVIIMISEKS

##### I. Mõõtmisvead ja nende arvutamine

Mõõtmistulemuste ligikaudsus . . . . .	5
Mõõtmistulemuse absoluutne viga . . . . .	6
Mõõtmise täpsus ja relatiivne viga . . . . .	8
Mõõtmisvigade arvutamine . . . . .	10
Vigade arvutamine elektrimõõteriistadega mõõtmisel . . . . .	21
Õigete mõõtmisvõtete kasutamises . . . . .	23

##### II. Üldisi juhendeid praktikumis töötavatele õpilastele

Üldisi juhendeid . . . . .	25
Kaalude kasutamise juhendid . . . . .	25
Juhendi ohutuks katsetamiseks . . . . .	27

### II o s a

#### FÜSIKA PRAKTIKUMI TÖÖJUHENDID

##### III. Mehhaanika

1. Tutvumine noonijusega. Mõõtmine nihkkaliibriga . . . . .	29
2. Tutvumine kruvikaliibriga. Traaditüki ruumala arvutamine . . . . .	33
3. Kaalumine kangkaaludel ja tahke keha tiheduse arvutamine . . . . .	35
4. Ühtlaselt kiireneva liikumise uurimine . . . . .	37
5. Keha vaba langemise kiirenduse määramine (1. variant) . . . . .	39
6. Keha vaba langemise kiirenduse määramine (2. variant) . . . . .	44

7. Kaldpinnal asuvale kehale mõjuvate jõudude tasakaalutingimuste uurimine	46
8. Lõikuvate mõjusirgetega jõudude liitmine	49
9. Jõu, massi ja kiirenduse vahelise seose uurimine (1. variant)	51
10. Jõu, massi ja kiirenduse vahelise seose uurimine (2. variant)	54
11. Elastsel pörkel mõjuva jõu ja pörke kestuse määramine	56
12. Elektrimootori võimsuse määramine lintpiduri abil	59
13. Elektrimootori võimsuse määramine koormuse tõstmisel	62
14. Keha liikumine parabooli mööda	64
15. Vedru võnkeseaduste uurimine	70
16. Tooni lainepikkuse ja hääle levimiskiiruse määramine õhusamba resonantsi meetodil (1. variant)	73
17. Tooni lainepikkuse ja hääle levimiskiiruse määramine õhusamba resonantsi meetodil (2. variant)	76
18. Tahke keha erikaalu määramine hüdrostaatilise kaalumise teel	79
19. Öhu erikaalu määramine	81
20. Pidevuse võrrandi tuletamine katsest	81

#### IV. Molekulaarfüüsika ja soojus

21. Vedeliku pindpinevusteguri määramine tilgameetodil	84
22. Vedeliku pindpinevusteguri määramine vedeliku pinnast lahti- rebimise meetodil	85
23. Tahke keha joonpaisumisteguri määramine (1. variant)	88
24. Tahke keha joonpaisumisteguri määramine (2. variant)	90
25. Browni liikumise vaatlemine	92
26. Öhu termilise ruumpaisumisteguri määramine (Gay-Lussaci seadus) (2. variant)	94
27. Öhu termilise ruumpaisumisteguri määramine (Gay-Lussaci seadus) (2. variant)	96
28. Boyle'i- Mariotte'i seaduse uurimine	98
29. Gaasi oleku valemi kontrollimine	100
30. Vee aurumissoojuse määramine	101
31. Öhu relatiivse niiskuse määramine (1. variant)	104
32. Öhu relatiivse niiskuse määramine (2. variant)	108
33. Soojuse mehhaanilise ekvivalendi määramine	111
34. Traadi elastsusmooduli määramine venitusest	114
35. Seatina-inglistina sulami tahkumiskõvera määramine	117

#### V. Elekter

36. Vedeliku erisoojuse määramine elektrikalorimeetri abil	120
37. Voltmeetri kontrollimine	122
38. Vooluallika elektromotoorse jõu ja sisetakistuse määramine	124

39. Takistuse mõõtmine võrdlusmeetodil . . . . .	126
40. Juhi eritakistuse määramine . . . . .	127
41. Hõõglambi tunnuskõvera määramine . . . . .	129
42. Juhi takistuse mõõtmine Whetstone'i silla abil . . . . .	131
43. Metall eritakistuse temperatuuriteguri määramine . . . . .	134
44. Termopaari gradueerimine . . . . .	137
45. Termoristi gradueerimine . . . . .	139
46. Vase elektrokeemilise ekvivalendi määramine . . . . .	141
47. Ampermeetri kontrollimine voolu keemilise toime järgi . . . . .	143
48. Töö termilise ekvivalendi määramine . . . . .	146
49. Elektriokedukannu kasuteguri määramine . . . . .	148
50. Juhtmes esinevate pingekadude uurimine . . . . .	150
51. Pooli magnetvälja uurimine . . . . .	152
52. Vooluringi koostamine elektromagnetilise releega . . . . .	154
53. Suntide ja eeltakistuste valimine galvanomeetritele . . . . .	156
54. Oommeetri ehitamine ja gradueerimine . . . . .	158
55. AVO-meetri kasutamine . . . . .	160
56. Vahelduvvoolu võimsuse mõõtmine . . . . .	164
57. Voolu energia arvesti kontrollimine . . . . .	167
58. Vahelduvvoolu elektrimõõduriistade komplekti tundmaõppimine . . . . .	170
59. Alalisvoolu mootori tundmaõppimine ja tema lülitamine voolu- ringi . . . . .	174
60. Kolmefaasilise voolu võimsuse mõõtmine . . . . .	176
61. Tarbijate tähtühendus . . . . .	179
62. Tarbijate kolmnurkühendus . . . . .	181
63. Asünkroonmootori tundmaõppimine ja tema käivitamine . . . . .	183
64. Vahelduvvoolu alaldaja kasutamine akumulaatorite patarei laa- dimiseks . . . . .	186
65. Transformaatori ülekandearvu ja kasuteguri määramine . . . . .	189
66. Transformaatori tundmaõppimine . . . . .	190
67. Kolmefaasilise transformaatoriga tutvumine . . . . .	192
68. Pooli induktiivsuse määramine . . . . .	196
69. Aktiivtakistus, induktiivtakistus ja mahtuvus vahelduvvoolu ahelas . . . . .	198
70. Pooli ja kondensaatori paralleelühendus. Võimsusteguri paran- damine . . . . .	200
71. Elektrimootori võimsusteguri uurimine ja parandamine . . . . .	203
72. Diodi anoodvoolu tugevuse sõltuvuse uurimine anoodpingest ja võrepingest . . . . .	204
73. Triodi anoodvoolu tugevuse sõltuvuse uurimine võrepingest ja küttepingest . . . . .	207
74. Lihtsamate raadiovastuvõtjate koostamine. . . . .	209
75. Kaitsmest, harutoosist ja lambipesast, seinakontaktist ja hargist koosneva juhtmestiku monteerimine ja selle proovimine . . . . .	212

## VI. Optika ja aatomifüüsika

76. Valgusallikate valgustugevuste võrdlemine fotomeetri abil . . . . .	214
77. Klaasi murdumisnäitaja määramine . . . . .	215
78. Kumerläätse peafookuskauguse määramine . . . . .	218
79. Nõgusläätse peafookuskauguse määramine (1. variant) . . . . .	220
80. Nõgusläätse peafookuskauguse määramine (2. variant) . . . . .	223
81. Filmoskoobi objektiivifookuskauguse määramine . . . . .	225
82. Kepleri pikksilma, Galilei pikksilma ja mikroskoobi mudelite koostamine . . . . .	227
83. Pikksilma suurenduse määramine . . . . .	229
84. Mikroskoobi suurenduse määramine . . . . .	230
85. Spektrite vaatlemine . . . . .	232
86. Spektroskoobi gradueerimine ja spektraaljoonte lainepikkuse määramine . . . . .	236
87. Valguse lainepikkuse määramine difraktsioonivõre abil (1. variant) . . . . .	242
88. Valguse lainepikkuse määramine difraktsioonivõre abil (2. variant) . . . . .	247
89. Fotoelemendi gradueerimine . . . . .	250
90. Fotorelee ehituse tundmaõppimine . . . . .	251
91. Röntgeniülesvõtte valmistamine . . . . .	254
92. Stsintillatsioonide vaatlemine . . . . .	259

Э м м о, Александр Юрьевич  
Кыверьяльг, Антс Аугустович  
Паю, Венда Петрович

ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ  
(РУКОВОДСТВА)

На эстонском языке.

Эстонское Государственное Издательство.

Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

\*

Toimetaja R. Siirak  
Kunstiline toimetaja I. Torn  
Tehniline toimetaja A. Sepp  
Korrektorid T. Kokla ja O. Sepp

Ladumisele antud 11. VIII 1960. Trükkimisele antud 27. II 1961. Paber 54×84, 1/16.  
Trükipoognaid 16,5. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 13,53. Arvutus-  
poognaid 12,87. Trükiarv 3000. MB-00392. Tellimise nr. 7320.  
Trükikoda «Kommunist», Tallinn, Pikk tn. 2.

Hind 45 kop.

45 kop.

A-23782

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00366267 5