

E. VILDE NIMELINE  
TALLINNA PEDAGOOGILINE  
INSTITUUT  
FÜÜSIKA KATEEDER

**füüsika  
metoodika  
praktikum  
töö-  
juhendid**

TALLINN 1970

AKH



A-31175.

ENSV KÕRGEMA JA KESK-ERIHARIDUSE MINISTEERIUM  
E.vilde nim. Tallinna Pedagoogiline Instituut  
Füüsika kateeder

FÜÜSIKA METOODIKA  
PRAKTIKUMI TÖÖJUHENDID

Koostanud A.Emmo

Tallinn 1970

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ЭССР

Таллинский педагогический институт им. З. Вильде  
Таллин, Нарвское шоссе 41

УКАЗАНИЯ ПРАКТИКУМА ПО МЕТОДИКЕ ФИЗИКИ

Составитель А.Эймо  
На эстонском языке

F<sub>2</sub>

Tartu Riikliku Ülikooli  
Raamatukogu

78 431

ARHIIVKOGU

Kaane kujundus A.Kallam

Korrektor E.Kaal Tehniline toimetaja H.Kopso

---

Trükkimisele antud 13.04.1970 Trükipaber nr.3 60 x 84 / 16  
Trükipoognaid 7,25, Tingtrükipoognaid 6,75 Arvestuspoognaid 6,5  
MB-01000 Trükiarv 300 Tell.nr.59/70 Eesti Maaviljeluse ja Maaparanduse TU Instituudi rotaprint, Saku

---

Hind 25 kop.



## I. Üldjuhendid praktikumis töötavatele üliõpilastele.

Praktikumis tutvuvad üliõpilased keskkooli 9.-11. klassis demonstreeritavate katsetega ja selleks vajalike katseriistadega, samuti ka lihtsate vahenditega, millega saab demonstreerida füüsika programmis loetletud katseid.

Praktikumi käigus peab üliõpilane

- 1) tutvuma katseriista ehituse ja tööprintsibiiga,
  - 2) oskama õigesti üles seada katset ja oskuslikult käsitleda vajalikke katseriistu ja abivahendeid,
  - 3) kiiresti seadma katseriista töökorra ja parandama riistata juures esinevad pisidefektid,
  - 4) hoolitsema, et katse oleks hästi nähtav ja efektiivne.
- Enne, kui asuda katse demonstreerimisele teatud teema kohta tuleb iga tööjuhendi lõpul toodud metoodilisest kirjandusest tutvuda:

- 1) programmi nõuetega,
- 2) teema käsitlemisega õpikus,
- 3) teema käsitlemisega populaarteaduslikus füüsika õpikus, näiteks Г.С. Ландсберг "Элементарный учебник физики".
- 4) iga tööjuhendi lõpul toodud kirjandusega vastava töö kohta,
- 5) tööjuhendiga.

Sobiv tööde järjestus on järgmine:

- 1) tähelepanelikult lugeda läbi tööjuhend ja leida katse otstarve ning eesmärk,
- 2) tutvuda katseriista ehituse ja töötamise tingimustega (lubatud voolutugevus, pinged, rõhk jne.),
- 3) kontrollida, kas katseriist on töökorras, kõrvaldada pisidefektid,
- 4) koostada katseseade ja demonstreerida katse,
- 5) üks üliõpilane demonstreerib katset ja teine jälgib kaugemalt katse nähtavust hinnates selle efektiivsust; tuleb saavutada katse parim nähtavus ja suurim efektiivsus,
- 6) mõelda, millised muudatused tuleb teha katseseadmes,

et katse oleks metoodiliselt väärtuslikum,

7) katse protokollida oma vihikusse, kuhu teha ka joonis katsest, märkida võtted, mis soodustavad katse paremat nähtavust ja suuremat efektiivsust, märkida ka katse demonstreerimiseks kuluv aeg ja muud vajalikud andmed, mis soodustavad katse õnnestumist.

Pärast töö sooritamist peab üliõpilane:

- 1) tundma katseriistu põhjalikult ja oskama neid käsitseda,
- 2) oskama üles seada ja demonstreerida õpitud katseid,
- 3) hindama katse häid külgi ja puudusi,
- 4) saama korraliku katsetulemuse,
- 5) oskama üldistada katseandmeid ja teha neist järeldusi,
- 6) tundma katse juures vajalikku ohutustehnikat,
- 7) suutma demonstreerida katset praktikumi juhatavale õppejõuele,

8) pärast katse rahuldavaks tunnistamist demonteerida katseseade ja seada kõik kasutatud riistad töökorda.

Iga töö protokollis peab olema:

- 1) töö teema,
- 2) kirjanduse loetelu,
- 3) lühike juhend katse ülesseadmise ja demonstreerimise kohta,
- 4) joonised ja skeemid koos arvuliste andmetega,
- 5) vastused tööjuhendis esitatud küsimustele.



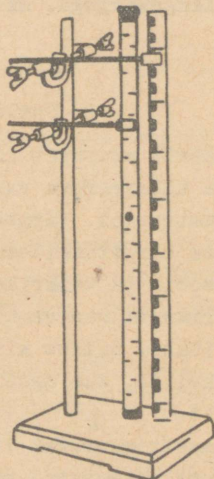
## II. Katseid kinemaatikast.

### 1. Ühtlane liikumine.

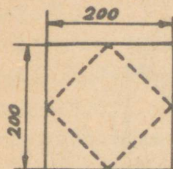
Ühtlast liikumist võib demonstree-rida mõlemast otsast suletud pika klaastoruga, milles on mingi suure viskoossusega vedelik, näiteks sili-kaatliim, glütseriin jm. Vedelikus lastakse langeda metallkuul. (Joon.1) Torus võib olla ka vesi, milles lii-  
gub õhumull.

Nendel katsetel kasutada teepikkuse nähtavakstegemisel demonstratsiooni-mõõtjoonlauda ja võrdsete ajavahe-mike esiletoomiseks metronoomi. Kat-sel kasutada fooni!

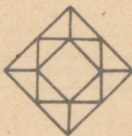
Ühtlast liikumist võib demonstree-rida ka teraskuulikese (hästi suure läbimõõduga) või vankrikese veereta-misega siledal pinnal (klaas, orgaani-line klaas jms.). Pind asetada pisut kaldu hõõrdejõu kompenseerimiseks.



Joonis 1.



a



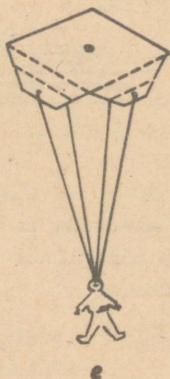
c



b



d



Joonis 2.



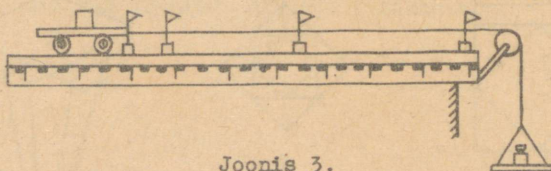
Nähtust võib demonstreerida ka elektrimootoriga käitatava autoga, vankrikesega või traktoriga (laste mänguasjad).

Ühtlasel liikumisel õhus saab näidata paberist tehtud langevarjuga, mille valmistamise käik selgub jooniselt 2 a-d.

## 2. Ühtlaselt muutuv liikumine.

Ühtlaselt muutuvat liikumist saab demonstreerida kaldpin-  
da mööda allaveereva vankrikesega või kuuliga. Ajavahemikke  
märgib metronoom. Võrdsetes ajavahemikes läbitud teelõike  
tähistada korgitükkidesse torgatud paberist lipukestega.  
Katsel sobib ka vankrike tilgutiga, millest tilguvad värvili-  
se vedeliku tilgad vankrikesee tee kõrvale asetatud valgele  
paberiribale. Hiljem kinnitada tilga jälgedega pabeririba  
klaastahvlile, kus saab mõõta tilkade vahemaid ja analüüsida  
liikumist.

Ühtlaselt muutuvat liikumist saab demonstreerida ka rõht-  
sale pinnale asetatud vankrikesega, mille külge seotud nööri  
on pandud üle ploki. Nööri teise otsa tuleb kinnitada pa-  
pist ketas, millele asetatakse koormusi (joon.3).



Joonis 3.

Tuleb arvutada ka ühtlaselt muutuva liikumise kiirus  
kasutades mõõdulinti ja stopperit, elektrilist sekundomeetrit  
või metronoomi.

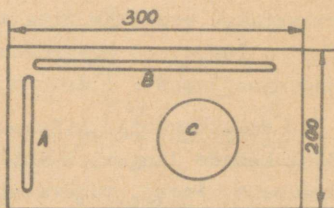
### 3. Liikumiste liitmine.

Üleskeeratava või elektrimootori jõul liikuva vankrikese-  
ga, mis on asetatud ratastel kergestiliikuvale liistule,  
saab näidata ühe- ja vastassuunaliste liikumiste liitmist  
(joon.4).



Joonis 4.

Nurgisuunatud liikumiste liitmise demonstreerimiseks tu-  
leb valmistada joonisel 5 kujutatud vineerist või kõvast pa-  
pist plaat, milles on sisselõiked A, B ja C. Plaat paiguta-  
takse klassitahvli ülemisse va-  
sakupoolsesse murka ja selle  
sisselõike B vasakusse otsa pan-  
nakse kriit. Plaat nihutatakse  
ühtlaselt tahvli äärt mööda  
allapoole, samal ajal viiakse  
kriiditükk ühtlase liikumisega  
paremale. Tahvli-le saadakse  
kriidijoon, mis kulgeb komponent-  
liikumise diagonaali mööda ja ku-  
jutab endast kahe täismurga all suunatud ühtlase liikumise  
trajektoori. Sama katset saab korrata, kui paigutada kriit  
sisselõikesse A ja plaati nihutada mööda tahvli ülemist  
äärt.



Joonis 5.

Sirg- ja ringliikumise liitmise demonstreerimiseks kasu-  
tatakse sisselõiget C.

#### Ülesanded.

1. Joonistada ühtlase liikumise ja ühtlaselt kiireneva lii-  
kumise tee graafik ja võrrelda neid omavahel.
2. Joonistada ühtlaselt aeglustuva liikumise tee graafik.



3. Joonistada ühtlase liikumise ja ühtlaselt kiireneva liikumise kiiruse graafik.

#### 4. Vabalangemine.

a. Keha vabalangemine viie meetri kõrguselt. Täpselt viie meetri kõrguselt lastakse tühjale kastile või plekitükile langeda teraskuulike. Metronoomiga mõdetakse aega. Loetakse metronoomi lööke: üks, kaks, hopp ja kuulatatakse, kas kuulike lööb vastu alust üheaegselt metronoomi järgmise löögiga (metronoomi löögid toimuvad iga sekundi tagant).

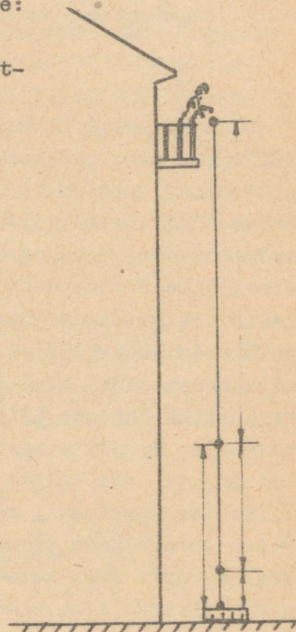
Valemist

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

arvutatakse vabalangemise kiirendus  $g$ .

Kuna on teada, et teepikkus  $S = 5$  m, langemise aeg  $t = 1$  sekund.

b. Vabalangemise kiirendust võib mõõta kehade langemise abil mistahes kõrguselt. Peene, tugeva niidi külge kinnitatakse raskusi (näiteks mutreid) nii, et nende vahelised kaugused oleks näiteks 1,25 m; 3,75 m; 6,25 m jne. Raskused lastakse langeda tühjale kastile või plekitükile (joon.6). Metronoom panna käima nii, et ta lööks iga poole sekundi tagant. Kuulikeste löögid langevad sel korral ühte metronoomi löökidega.

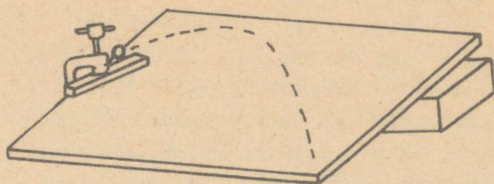


Joonis 6.

Vabalangemise kiirendust võib laboratoorsete töödena määrata mitme variandi järgi nagu on seda näidatud A.Emmo, A.Kõverjalg ja V.Paju "Füüsika praktikumi tööjuhendid" II trükk, 1967.a. kirjastus "Valgus".

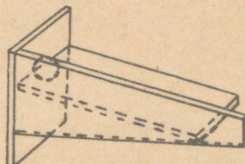
## 5. Horisontaalselt visatud keha liikumine.

1. Täiesti tasane laud, mis on kaetud mati musta värvi või musta riidega, asetatakse kaldu katselauale. Laua ääre külge kinnitatakse pitskruviga puuliist, mis juhhib ümmarguseks lõigatud kriiditükki. Liistu võib asetada kas laua äärega risti või mistahes murga all. Kriidikuulikesele antakse järsk tõuge, ja liikudes mustal laual, jätab ta sellele parabolikujulise jälje (joon.7).

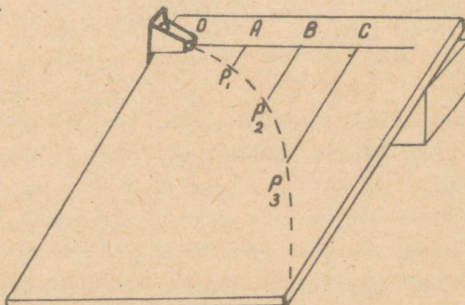


Joonis 7.

2. Keha horisontaalse viske demonstreerimiseks võib eelmises katstes kirjeldatud tasase laua ääre külge kruvida selleks valmistatud renni (joon.8). Katses võib kriiditüki asemel kasutada küllalt suurt tina- või teraskuuli (võimalikult rasket). Sel juhul tuleb laud katta valge paberiga, mille peale panna kopeermispaber ja sellele valge paber. Kuuli võib lasta langeda ühelt ja samalt kõrguselt mitu korda, siis jääb alumisele paberile selge trajektoori jälg. (Joon.9)



Joonis 8.



Joonis 9.



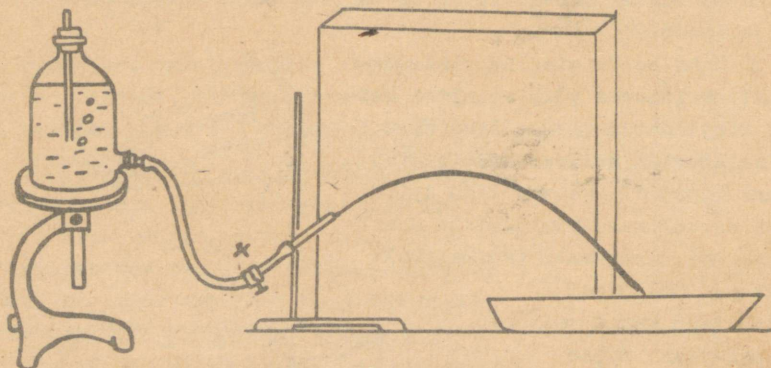
Valgelt paberilt võib mõõta lõigud:  $AP_1$ ,  $BP_2$ ,  $CP_3$  jne., kus  $OA = AB = BC$ . On näha, et  $AP_1 : BP_2 : CP_3 = 1 : 4 : 9$ .

Katsest teha järeldus!

3. Visatud keha trajektoori võib nähtavaks teha veejoo abil. Sobivam on värvitud vesi. Mariotte'i pudel värvitud veega asetatakse katselauast kõrgemale. Pudeli väljavoolutoru ühendatakse kummi-voolikuga, mille otsa pannakse puust hoidjasse kinnitatud klaastorust valmistatud düüs (joon.10). Düüsihoidja kinnitatakse statiivi külge. Voolik varustatakse näpitsaga k (joon.11). Asetades düüsi taha malli võib nähtavaks teha murga, mille all horisoni



Joonis 10.



Joonis 11.

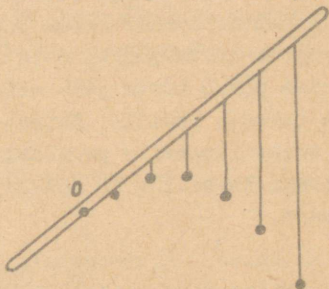
suhtes purskub veejuga. Joo ette katselauale asetatakse lai vann. Demonstreeritakse, et kõige kaugemale läheb juga, kui viskemurk on  $45^\circ$ .

Tõstes Mariotte'i ammat kõrgemale, läheb sama murga all lastud veejuga kaugemale (jättes düüsi samale kõrgusele).

Katseseadme taha asetada helendav ekraan.

## 6. Horisondiga kaldu visatud keha trajektoori mudel.

Sirgel latil märgitakse nullpunkt. Iga 100 mm tagant puuritakse lati sisse auk või kinnitatakse konks, mille külge peenikeste niitide otsa riputatakse värvilisi kuulikesi (plastiliinist). Niitide pikkused peavad suhtuma nagu järjestikuste täisarvude ruudud. Esimese niidi pikkuseks võtta 10 mm. Varda igasuguse asendi puhul asetsevad vabalt ripuvad kuulikesed paraboolil (joon.12). Niitide kinnituspunktide kaugused vastavad võrdsetel ajavahemikel läbitud teepikkustele ja on paigutatud keha liikumise algiiruse suunas. Mudelil võib näidata, et visatud keha läheb kõige kaugemale kui viskemurk on  $45^\circ$  ja et keha läheb sama kaugemale, kui visata  $45^\circ$ -st ühe ja sama võrra suurema või väiksema murga all. Seejuures kasutada demonstreerimisel demonstratsioonimalli.



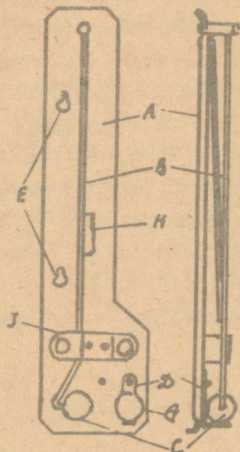
Joonis 12.

## 7. Jõudude mõju sõltumatuse printsiip.

Vastava katseriistaga (joon.12 a) saab näidata, et kaks keha, millest üks langeb parabooli mööda, teine aga vertikaalselt, jõuavad samalt kõrguselt langedes maapinnale üheaegselt. Sama katseriistaga võib uurida ka horisontaalselt visatud keha liikumist.

Vertikaalsele metallplaadile A on riputatud varras B, mille alumine ots on paigutatud täismurga all. Varda paigutatud otsale võib asetada karastatud teraskuulikesi C, milles on selleks auk. Teine kuulike G asub rõhtsal kronsteini D riulikesel.

Riista saab kahe kruvi abil, mil-



Joonis 12 a.



lede jaoks on aluses augud E, kinnitada klassitahvli ääre külge. Pikergune ava alusplaadi keskkohas on selleks, et katseriista kinnitada universaalstatiivile. Kronsteini riiulikesse võib pöörata ka vertikaalseks.

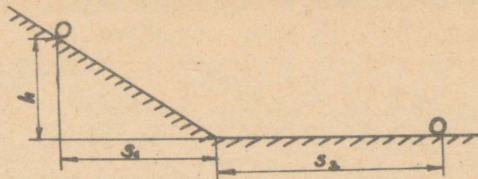
1. katse. Keha langeb ühe ja sama ajaga kas vertikaalselt või parabooli mööda. Katseriist kinnitatakse katselauale pandud statiivile. Üks kuulidest asetatakse varda kõverale otsale, teine - kronsteini riiulil olevasse auku. Varras viiakse teatud kõrgusele tasakaaluasendist välja ja lastakse siis lahti. Kuulike koos vardaga langeb ringi kaart mööda. Põrgates vastu paigalolevat kuulikest jääb seeseisma. Tsentraalse pörke tõttu jääb esimene kuul seisma andes oma impulsi üle teisele kuulile. Esimese kuuli langemine vertikaalsihis ja teise langemine parabooli mööda algab peaaegu üheaegselt. Korraga on kuulda ka mõlema kuuli löögid vastu lauda või põrandat.

2. katse. Horisontaalselt visatud keha liikumine. Belmine katseriist kinnitatakse kahe kruviga klassitahvli ääre külge. Kuulike pannakse varda kõverale otsale. Kronsteini riiulike pööratakse vertikaalseks, mistõttu pole takistatud kuulikese liikumine horisontaalsihis. Teist kuulikest ei kasutata.

Arvutatakse teoreetiliselt kuuli lennu kaugus ja pannakse sellele kohale tahvli äärele märg riidelapp. Kuulike lastakse langeda 30 cm kõrguselt (s.o. katseriista pikkus) ja jälgitakse, kas ta langeb ettearvestatud kohale (arvestada katseviga). Kuuli lennukaugus jaotada neljaks võrdseks osaks ja kõrgus h 16-ks osaks. Saadud jaotustele märkida klassitahvli vastavad punktid (kus jaotuspunktidest tahvli äärtele tõmmatud ristjooned lõikuvad) ja tõmmata neist läbi parabool. Lasta kuulil liikuda ja jälgida, kas ta läbib märgitud punkte, s.t. liigub parabooli mööda.

## Ülesandeid.

1. Anna seletus, kuidas võib arvutada joonisel 13 kujutatud katsest hõõrdeteguri, kui mõõta ainult pikkused  $h$ ,  $s_1$  ja  $s_2$ .



Joonis 13.

2. Nööri külge seotud raskuste vahemaad (joon.6) olid (altpoolt lugedes) 12, 48, 108, 192 ja 300 cm. Kas nööri vabalt langemisel kostavad kuu- likeste löögid vastu põrandat võrdsete ajavahemike tagant? Kui pikad on need ajavahemikud?

Kirjandus.

1. Рудольф Гирке, Георг Шпрокхоф, Эксперимент по курсу элементарной физики, часть 1.

## III. Katseid dünaamikast.

### 1. Inerts'i seadus (Newtoni I seadus)

Katseid inerts'i kohta leidub raamatus A.Emmo, V.Paju "Füüsika katseid kaheksaklassilises koolis", kirjastus "Valgus" 1969.a.

Tuleb näidata, et keha kiirus muutub ainult teiste kehade mõjumisel. Selleks tuleb kasutada vankrikest, teraskuuli, kummipalli, nööri, tugevat püsivmagnetit, joonlauda.

Näidata, et keha liikumise suunda saab muuta ainult teise keha mõjuga. Kasutada selleks joonlauda, teraskuuli, kummipalli, painduvat plekiriba (terasjoonlauda), klaasplaati, tugevat magnetit (keraamilist).

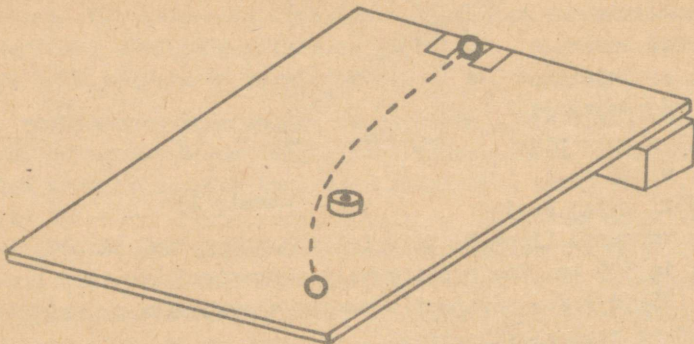
Katset selgitab joonis 14.

Trajektorid kõverduvad löögist, terasjoonlaua servest, magneti tõmbejõust (kaugmõju).

Lasta kaldrenni mööda langeda teraskuulil, nii et see jätkab teed kord siledal laupinnal, teinekord karedal riidel või ajalehel, millele on puistatud liiva.



Teha järeldus! Milline keha mõjutab siin kuuli liikumist?



Joonis 14.

Küsimusi.

1. Milliseid kehi tuleb kasutada katsetel kehade inertsid demonstreerimisel?

2. Kuidas võib anda inertsid mõiste õppimise järele jõu mõiste?

3. Milline keha põhjustab kõikide kehade vaba langemise?

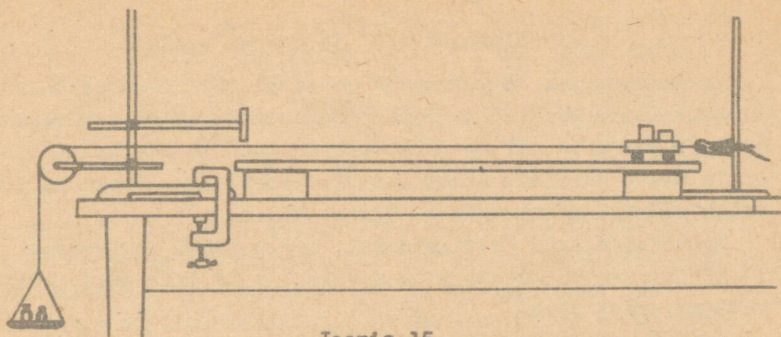
## 2. Newtoni II seadus.<sup>1)</sup>

Koolides leidub erineva konstruktsiooniga riistu kinemaatika ja dünaamika katseteks, mis on konstrueeritud A.I.Glazõrini poolt. Nimetatud katseriist on kujutatud A.Emmo, A.Kõverjalg, V.Paju "Füüsika praktikumi tööjuhendites". Aega võib mõõta kas metronoomi või elektrilise sekundomeetriga.

Katseid Newtoni II seaduse kehtivuse kohta võib demonstreerida kas nimetatud Glazõrini riistaga või tasasele pinnale asetatud vankrikesega (joon.15). Mõlemal juhul tuleb aluspind asetada pisut kaldu (hõõrdejõu kompenseerimiseks) nii, et vankrike kerge tõuke mõjul liiguks ühtlaselt.

1)

Newtoni II seaduse kohta on katseid kirjeldatud ka ajakirjas "Физика в школе" 1964. nr.2 lk. 54-55.



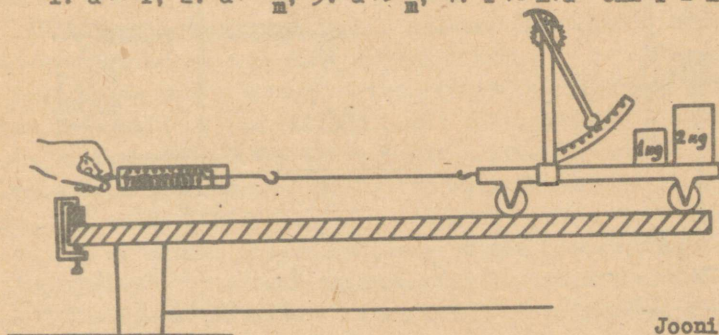
Joonis 15.

Lihtsat katseseadet kujutab joonis 15. Selle seadmega uuritakse: 1) kiirenduse sõltuvust jõust jääva massi puhul ja 2) kiirenduse sõltuvust keha massist jääva jõu korral.<sup>1)</sup>

Esimese katseseeria puhul lisatakse nööri otsa riputatud taldrikule raskusi võttes neid vankrikeselt, seega jääb kogu mass muutumatuks. Teise katse puhul lisatakse vankrikesele koormusi jättes koormused taldrikul endiseks. Plokk tuleb valida võimalikult väikese massiga ja kergestiliikuv.

Katseandmed kannab vastavasse tabelisse ja järelda neist Newtoni II seadus.

1.  $a \sim f$ ; 2.  $a \sim \frac{1}{m}$ ; 3.  $a \sim \frac{f}{m}$ ; 4.  $f \sim m \cdot a$  ehk  $f = k \cdot m \cdot a$



Joonis 16.

1)

$$s_1 = \frac{a_1 t^2}{2}; \quad s_2 = \frac{a_2 t^2}{2}; \quad \text{siit} \quad \frac{s_1}{s_2} = \frac{a_1}{a_2}$$



### 3. Akseleromeeter<sup>1)</sup> ja katsed sellega.

Akseleromeeter on kujutatud joonisel 16. Tutvu selle ehitusega! Koormatud vankri liikumapanemiseks tuleb kasutada lihassteijõudu, mida näitab dünamomeeter; see valida selline, mille osuti suurimat nihkumist näitab piiraja. Seega on võimalik määrata maksimaalset mõjuvat jõudu.

Korraldada kaks katseseeriat, mille puhul uuritakse: 1) kiirenduse sõltuvust keha massist ja 2) kiirenduse sõltuvust mõjuvast jõust.

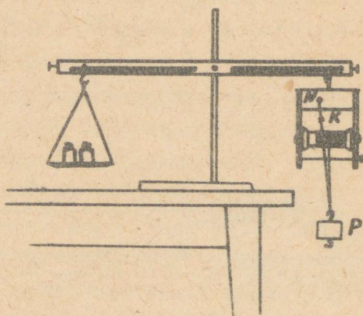
Andmete märkimine ja neist järelduste tegemine on sama, mis eelmises katses (nr 2).

### 4. Tasakaalu muutumine keha kiireneval langemisel.

Kahest vineeritükist (20 x 100 mm) või jämedast traadist ja niidirulli alusega ühepikkusest puuklotsist monteeritakse klamber (joon.17). Niidirulli alusele mähitakse tugev nöör, mille üks ots kinnitatakse rulli alusesse tehtud auku, teise otsa riputatakse koormus (100 grammi). Koormuse konksu külge



Joonis 17.



Joonis 18.

seotakse teine niit, mille teine ots kinnitatakse naela N

1)

Riista kirjeldus on ajakirjas "Физика в школе" 1961. nr.3 lk. 62-63. Teist tüüpi lihtsa riista kirjeldus on raamatus "Физический эксперимент в школе", выпуск 2. стр.9-10.

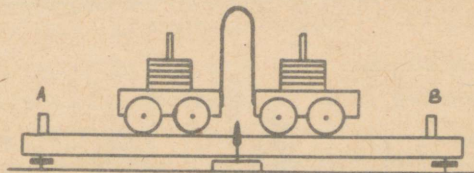
külge. Seade riputatakse sirgele kangile ja tasakaalustatakse koormusega (joon.18). Põletades kohas K niidi läbi, hakkab koormus P langema ja on näha, et kang ei jää enam tasakaalu.

Katset võib kasutada ka eksperimentaalse ülesande juures.

### 5. Newtoni III seadus.

a. Asetada kaks kergestiliikuvat vankrikest rõhtsale alusele. Vankrikestete vahele panna kõverakspaimutatud terasleht (terasjoonlaud või kokkusurutud silindriline vedru. Vankrikesed siduda niidiga kokku nii, et deformeeritud vedru jääks nende vahele (joon.

19). Vankrikesi kooshoidev niit põletada läbi. Vedru tõukab mõlemat vankrikest ühesuuruse jõuga ja nad hakkavad liikuma.



Joonis 19.

1-sel katsel koor-mata vankrikesed võrdsete massidega. Jälgida, kas vankrikesed põrkuvad vastu takistusi A ja B üheaegselt.

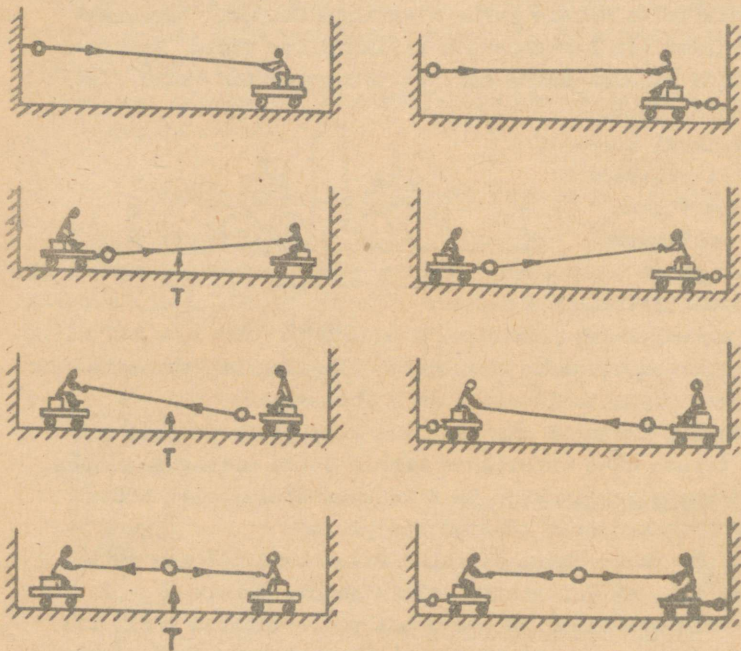
2-el katsel koormata üks vankrike kaks korda suurema massiga kui teine. Kahe vankrikesi vahele leida niisugune kaugus, et löögid vastu takistusi A ja B kostaks üheaegselt. Mõõta mõlema vankrikesi poolt läbitud tee pikkus.

3-da katse puhul ühendada vankrikesed kumminööriga venitades seda nii, et vankrikesed oleks vastu tõkkeid A ja B. Lasta vankrikesed lahti. Mõõta nende poolt läbitud teed, kui: a) neil on ühesugune mass ja b) kui ühel on kaks korda suurem mass, kui teisel.

b. Kui on olemas õppevahendite tööstuse toodetud kaks metallvankrikest, siis saab nendega edukalt demonstreerida Newtoni III seaduse kehtivust. Vankrikesed asetada täiesti siledale põrandale või küllalt pikale katselauale, mille otstele on pitskruvidega kinnitatud liistud, et vältida vankrikesi langemist põrandale. Kummalegi vankrikesele pannakse istuma õpilane, kes hoiab käes nööri ühte otsa. Teine nööri ots kin-



nitatakse kindla toe (seina) külge. Jõudu mõõdetakse demonst-  
ratsiooni-dünamomeetriga. Katsel võib kasutada: 1) kahte li-  
gikaudu võrdse massiga õpilast, 2) kahte õpilast, kusjuures  
üks on kaks korda suurema massiga, kui teine. Katse korralda-  
misel juhendatakse eelmisest katsest (a). Jooniselt 20 selgub  
katsete korraldamine ja nende järjekord. Keskkohal T märgitakse  
mingi märgiga.



Joonis 20.

c. Katseid reaktiivliikumise kohta on kirjeldatud alljärg-  
nevas kirjanduse loetelus tähistatud raamatus nr.1.

Kirjandus.

1. A.Emmo, V.Paju, Füüsika katseid kaheksaklassilises koolis, kirjastus "Valgus" 1969.a.
2. A.Emmo, A.Kõverjalg, V.Paju, Füüsika praktikumi tööjuhendid, kirjastus "Valgus"

3. A.A.Марголис, Н.Е.Парфентьева, И.И.Соколов, Практикум по методике физики, изд. "Просвещение", 1967.
4. Рудольф Гирке и Георг Широкшф, Эксперимент по курсу элементарной физики, ч.1.
5. Ajakiri "Физика в школе" 1959. Nr.5 lk. 76-77 ja 1965. nr.6 lk.64-67, nr.2 1954 lk. 44 ja Nr.6, 1950.  
/Самодельный секундомер./

#### IV. Katseid staatikast.

1. Demonstratsiooni-dünamomeeter ja selle kasutamine ühise mõjusirgega jõudude liitmiseks.

Tutvuda demonstratsiooni-dünamomeetri ehitusega. Dünamomeetri lahtimonteerimisel olla ettevaatlik, et ei puruneks selle klaas ega saaks vigastada osuti.

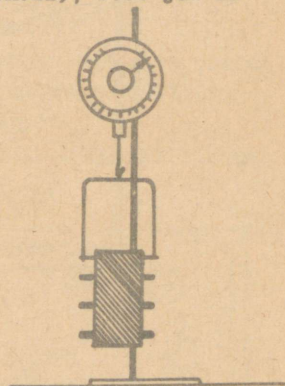
1. Näidata, et dünamomeetri näit ei muutu, kui keha riputata üles mingist teisest punktist (joon.21), sest jõu rakenduspunkti võib viia jõu mõjusirge mistahes punkti.

2. Näidata, et dünamomeetri näit ei muutu, kui dünamomeeter koos ülesriputatud kehaga viia üles või alla ühtlaselt.

3. Näidata, et dünamomeetri näit muutub, kui see viia üles või alla ebaühtlaselt.

4. Koormatud dünamomeetri ülemise konksu külge kinnitada nöör, mis tuleb panna üle ploki. Nööri teise otsa riputada koormus. Dünamomeeter näitab alumise konksu ja nööri otsa riputatud koormuste raskuste vahet (ühise mõjusirgega jõudude lahutamine).

5. Demonstreerida ühise mõjusirgega jõudude liitmist.

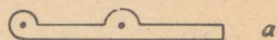


Joonis 21.

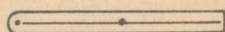


## 2. Kahe murgisuunatud jõu liitmine.

Jõu mõjusirge märkimiseks paberil või klassitahvil kasutada joonisel 22 a ja b kujutatud papist (a) või läbipaistvast plastmassist (b) nn. pikendajat. Katset demonstreerida raamil, millel on valge paberiga kaetud vineeritahvel (joon. 23). Kolm niiti siduda rõnga R külge. Dünamomeeter 3 näitab jõudude 1 ja 2 tasakaalustavat jõudu. Ehitada jõudude rööpkülik!

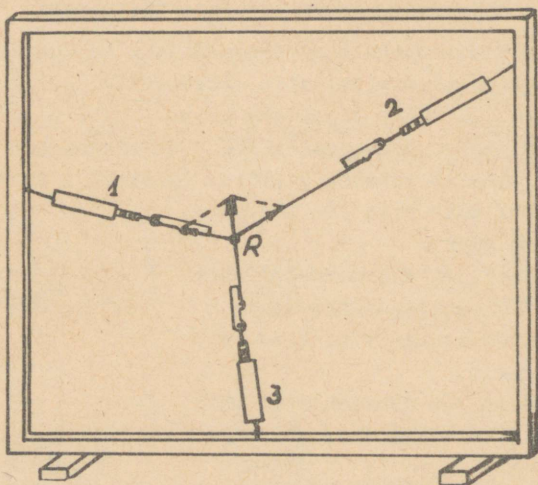


a



b

Joonis 22.



Joonis 23.

## 3. Resultantjõu suuruse sõltuvus komponentjõudude vahelisest murgast.

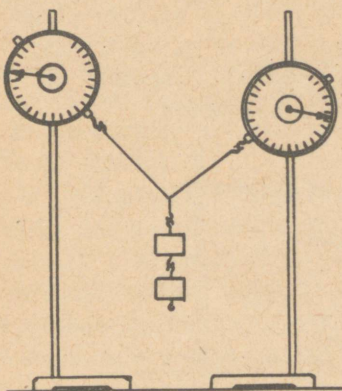
Katseseade on kujutatud joonisel 24.

Valida nurk  $\alpha$  komponentjõudude vahel  $0 < \alpha < 180^\circ$ .

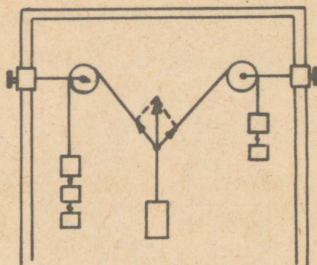
Vaadelda erijuhte, kus  $\alpha = 0$ , siis  $R = F_1 + F_2$

kui  $\alpha = 180^\circ$ , siis  $R = F_1 - F_2$ .

Võib kasutada ka joonisel 25 kujutatud katseseadet.



Joonis 24.



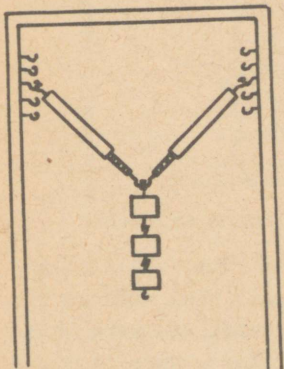
Joonis 25.

Kumb katsetest on ilmekam ja metoodiliselt parem?

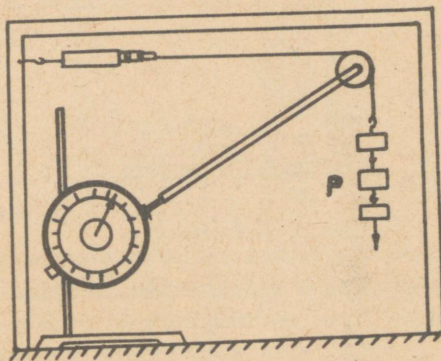
#### 4. Jõu lahutamine komponentideks.

a. Näidata joonisel 26 kujutatud katseseadmega, et antud jõudu võib komponentideks lahutada väga mitmel viisil (kui asetada dünamomeetrid teiste konksude otsa).

b. Kronsteinile riputatud koormuse (raskusjõud  $P$ ) lahutamine komponentideks on kujutatud joonisel 27.



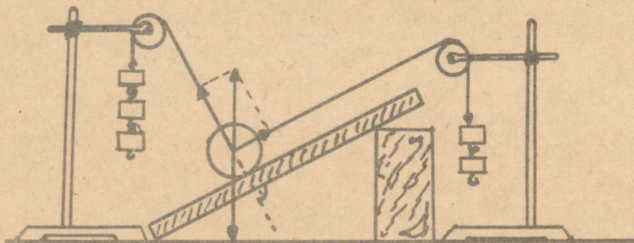
Joonis 26.



Joonis 27.



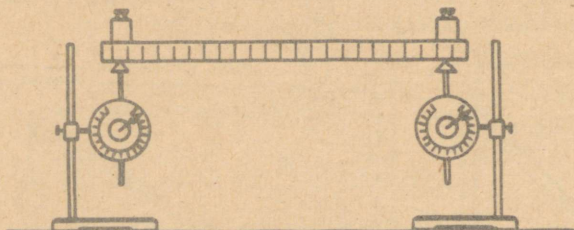
c. Lahutada kaldpinnal olevale kehale mõjuv raskusjõud komponentideks. Kaldpinna võib kõrvaldada ja niitide pingsused tasakaalustavad kaldpinnaga paralleelse ja kaldpinnaga risti oleva raskusjõu komponendi (joon.28). Koormuste ja plokkide asemel võib kasutada ka dünamomeetreid.



Joonis 28.

#### 5. Paralleelsete jõudude liitmine ja komponentideks lahutamine.

a. Asetada kahele demonstratsioonidünamomeetrile prismad ja neile tala. Seada dünamomeetrite osutid nullile. Asetada talale kaks erineva kaaluga vihti just tala toe kohale (joon. 29). Mõõta tugede vaheline kaugus ja märkida dünamomeetrite



Joonis 29.

näidud. Kõrvaldada vihid ja asetada talale viht, mille kaal on võrdne kahe eelmise vihi kaalude summaga. Vihi asukoht valida selline, et dünamomeetrid näitaksid sama, mis kahe vihi puhul. Mõõta vihi kaugus tala toetuspunktidest. Teha järeldus!

b. Demonstreerida jõu lahutamist kaheks paralleelseks kom-

ponendiks, millede mõjusirged on antud.

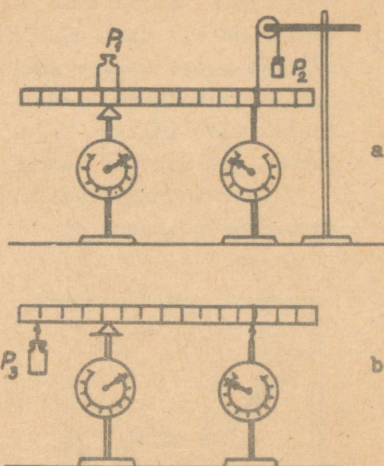
Töö käik on just vastupidine katses a kirjeldatule. Anda õpilastele\* toe reaktsiooni mõiste!

c. Määrata kahe antiparalleelse jõu resultantjõud (joon.30). Võtta  $P_2 < P_1$ . Märkida dünamomeetri näidud.

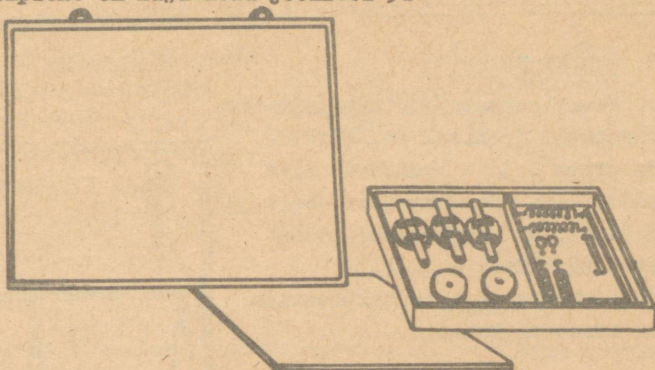
Kõrvaldada koormused  $P_1$  ja  $P_2$  ja asetada uus viht, mille kaal on  $P_3 = P_1 - P_2$  niisugusele kohale, et dünamomeetrid näitaksid endist. Mõõta kaugused jõudude rakenäpunpunkti-  
de vahel. Teha järeldus!

d. Näidata, et jõupaari ei saa tasakaalustada ühe jõuga.

6. Magnetiliste hoidjatega komplekt staatika katseteks<sup>1)</sup>  
Komplekt on kujutatud joonisel 31.



Joonis 30.



Joonis 31.

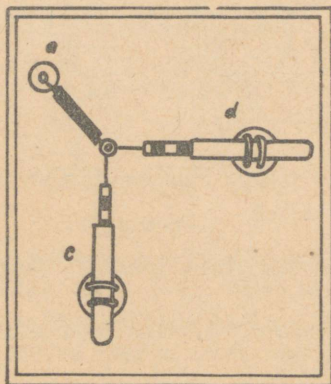
1)

Komplekti ja katseid sellega on lähemalt kirjeldatud ajakirjas "Физика в школе" 1961.nr.3, lk. 65-68.

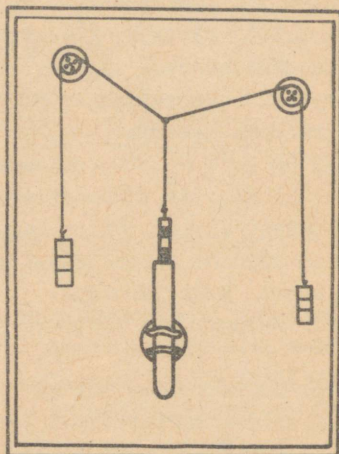


a. Paigutada metalltahvlile hoidja (a), sellesse vastav metallpulk, mille otsa riputada vedru (joon.32). Asetada täismurga all kaks dünamomeetrit c ja d. Tähistada metallist märgiga vedru konks. Märkida jõu mõjusirged. Kõrvaldada dünamomeetrid ja venitada vedru ühe dünamomeetriga kuni vedru konks tuleb jällegi märgi kohale. Märkida mõjuva jõu siht ja suurus (vektorina). Joonistada jõudude rööpkülik.

b. Resultantjõu sõltuvust jõudude vahelisest murgast on kujutatud joonisel 33.



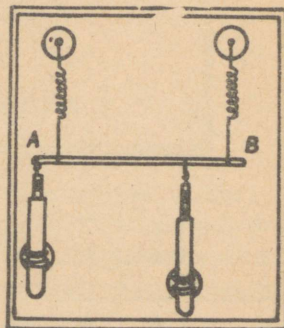
Joonis 32.



Joonis 33.

c. Paralleelsete jõudude liitmist on kujutatud joonisel 34. Märkida varda otsste A ja B asukohad. Siis asendada kaks dünamomeetrit ühega ja tõmmata sellest kuni varda otsad jõuavad märkideni A ja B.

Komplektiga võib demnstreerida kõiki staatika katseid.

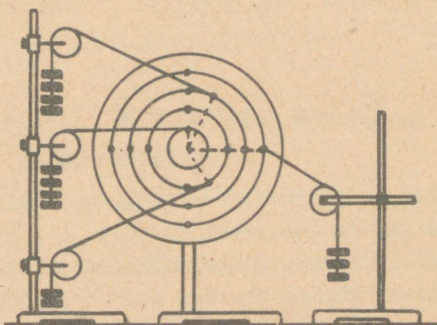


Joonis 34.

## 7. Pöörleva keha tasakaal.

Demonstreerimiseks kasutada vineerketast, millele on võrdsete vahedega joonistatud kontsentrilised ringid (joon. 35).

Kettasse lüüa ringide kohale naelu ja kinnitada see statiivile. Joonisel 22 kujutatud pikendajaid, nööre ja plokkide kasutades koormata ketast koormustega nii, et see jääks tasakaalu. Märkida kettal jõudude õlad ja anda jõumomendi (ehk pöördemomendi) mõiste.

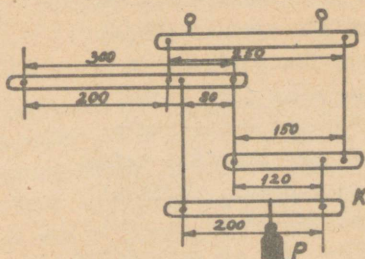


Joonis 35.

Katsest saadud andmed märkida vastavasse tabelisse tahvilil ja järeldada neist pöörleva keha tasakaalutingimas.

## 8. Detsimaalkaalude printsiip.

Valmistada joonisel 36 kujutatud ülesriputatavate detsimaalkaalude mudel. Demonstreerida sellel, et kaalude tasakaal ei muutu, kui koormust  $P$  tõsta mis tahes kohale platvormil  $K$ .



Joonis 36.

Ülesandeid.

1. Seada üles demonstratsioonkatse magnetiliste hoidjatega komplekti kasutades kahe antiparalleelse jõu liitmiseks.

2. Milliseid laboratoorseid töid võib õpilastele anda staatika käsitlemisel?



Kirjandus.

1. А.А.Марголис, Н.Е.Парфентьева, И.И.Соколов, "Практикум по методике физики", "Провещение", 1967.
2. Рудольф Гирке и Георг Шпрокхоф, Эксперимент по курсу элементарной физики, ч.1. Учпедгиз 1969.

## V. Ühtlane ringliikumine. Kõva keha pöörlemine.

### 1. Üldmärkeid.

Keskkoolis piirdatakse ühtlase ringliikumise ja kõva keha ühtlase pöörlemise käsitlemisega.

Ühtlase ringliikumise ja pöörlemise murkkiirus on muutumatu. Pöörlemisel sõltub aga iga punkti joonkiirus selle punkti kaugusest pöörlemisteljest (kui pöörlemine toimub jääva murkkiirusega).

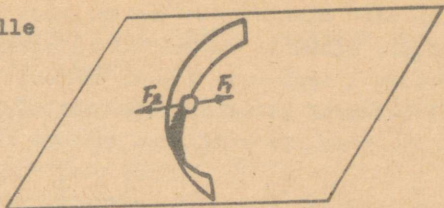
Igale ühtlaselt ringjoonel liikuvale materiaalsele punktile mõjub jõud, sest vastasel korral liiguks see inertselt tõttu ühtlaselt sirgjooneliselt ringi puutuja suunas. See jõud on kesktõmbe ehk tsentripetaaljõud ning on suunatud ühtlaselt ringliikumisel ringi keskpunkti poole. Newtoni III seaduse põhjal on aga igale jõule võrdne ja vastupidi suunatud jõud olemas, mis on rakendatud erinevatele kehadele ega saa seetõttu teineteist tasakaalustada. Joonisel 37 a on kesktõmbejõuks  $F_1$ , kesktõrjejõuks  $F_2$ , mis on rakendatud käele. Nööri katkemisel lakkavad mõlemad jõud. Joonisel 37 b on kesktõmbejõuks seina surve kuulikesele, kesktõrkejõuks aga kuulikese surve seinale ( $F_2$ ).

Kõigis selle peatüki katseis võib tsentrifugaalmehhanismi



Joonis 37 a.

asendada trill-puur, mille padrunisse kinnitatakse pöörlemapandav ese. Trillpuur pigistatakse laua külge kinnitatud kruustangide vahele.



Joonis 37 b.

## 2. Joon- ja murkkiirus.

Tsentrifugaalmehhanismi komplekti kuuluvale metallkettale (spektri värvuste liitumise demonstreerimiseks) kinnitatakse papist ketas, mille keskkoha pannakse küllalt suur täht. Teine samasugune täht kinnitatakse ketta äärele. Ketas pannakse pöörlema vertikaaltasapinnas õpilaste poole pööratuna. Paraja kiirusega pöörlemisel näevad õpilased selgesti tähte ketta keskkohas, kuna äärel asuv täht muutub kiirel liikumisel laialivalguvaks.

Seda, et joonkiirus on alati puutuja suunaline võib demonstreerida smirgelkäial, kus sädemed käiamisel lendavad käiale tõmmatud puutuja suunas. Samuti lendavad veepiisad tsentrifugaalmehhanismile kinnitatud märjast riidelapist.

## 3. Vesi ei lange välja tiirlevast anumast.

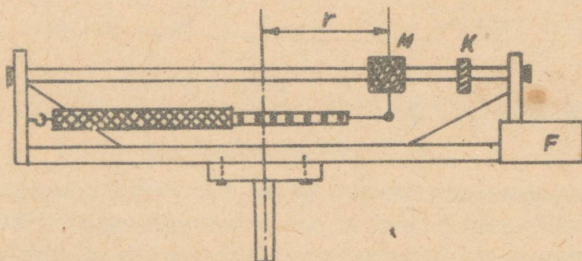
Konservi-purgi ümber põimitakse traadis karkass, mis varustatakse sangaga. Purk peab hästi sobima karkassi. Tugev nöör seotakse karkassi sanga külge ja tiirutatakse purki vee-ga vertikaaltasapinnas. Vesi ei voola purgist välja, kuigi purgi ava on tiirutamisel vahel allapoole.

## 4. Kesktõmbejõu mõõtmine.

a. Katseks vajalik riist tuleb ehitada kas puidust või metallist nii, nagu on joonisel 38 kujutatud. Katseriist kinnitatakse tsentrifugaalmehhanismi. Vedrudünamomeeter kinnitatakse katseriista külge horisontaalasendisse nii, et selle



otsas olev mass  $M$  oleks teisel pool pöörlemistelge sellele lähedal. Rõhtsale vardale kinnitatakse tõke  $K$ . Pannes seadme pöörlema liigub mass  $M$  kuni tõkkeni  $K$  ( dünamomeetri juures võib kasutada ka piirajat). Lati otsa külge kinnitatud karton-



Joonis 38.

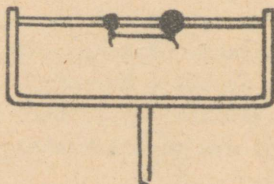
giriba  $F$  löökide najal vastu mingit kõva eset (statiiivi varrast) võib lugeda löökide arvu mõõdetud aja jooksul ja nii viisi leida tiirude arvu ajaühikus ( $n$ ). Mõõta saab ka massi, pöörlemisraadiust ja jõudu  $F$ . Katse abil saab uurida kesktõmbejõu avaldist:

$$F = 4\pi^2 n^2 R m \quad \text{ehk} \quad F = m \omega^2 R.$$

Arvutuste juures panna tähele, et kasutatavad suurused oleksid kõik ühes ja samas ühikute-süsteemis (kas CGS või SI).

b. Konkisuga metallkuul

seotakse piirajaga varustatud dünamomeetri konkso külge. Dünamomeetri rõnga külge seotakse tugev nöör. Katset sooritatakse väljas. Nööri otsa seotud dünamomeetrit ja kuuli tiirutatakse horisontaaltasapinnas (joon 39 a). Mõõtes



Joonis 39 a.

tiiru vält, keha massi, tiirlemisraadiuse ja jõu suuruse võib leida ligikaudselt seose  $F$ ,  $m$ ,  $r$  ja  $\omega$  vahel.

5. Katseid tsentrifugaalmehhanismi juurde kuuluvate detailidega.

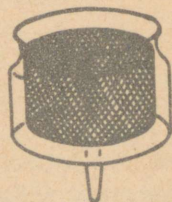
a. Siduda joonisel 39 a kujutatud metallkerad vardal kumminööriga. Näidata, et mida suurema murkkiirusega panna riist pöörlema, seda pikemaks venib kumminöör.

b. Siduda kuulikesed ühte tavalise nööriga ja valida neile vardal selline asend, et nad pöörlemisel ei nihkuks paigalt. mõõta kuulikeste kaugused pöörlemisteljest ja leida seos masside ja pöörlemisraadiuste vahel.

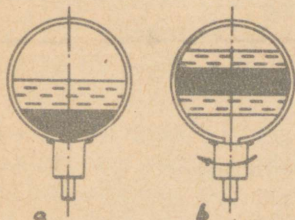
c. Näidata, et pöörlevas ammas muutub veepind nõgusaks (joon. 39 b ilma võrguta).

d. Demonstreerida erineva erikaaluga mittesegunevate vedelike (vesi, õli) eraldumist pöörlemisel (joon. 40).

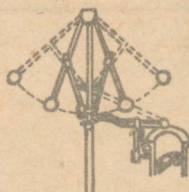
e. Demonstreerida tsentrifugaalregulaatori (joon. 41), tsentrifugaalkuivati (joon. 39 b) ja tsentrifuugi (joon. 42) tööd.



Joonis 39 b.



Joonis 40.



Joonis 41.

f. Panna pöörlema vetruvad rõngad (joon. 43). Nende abil selgitatakse ka seda, miks planeedid on muutunud pöörlemise tagajärjel lapikuks.

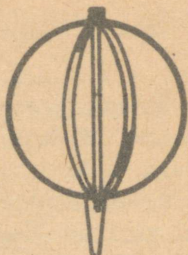
Kirjandus

sama, mis staatika katseteks.





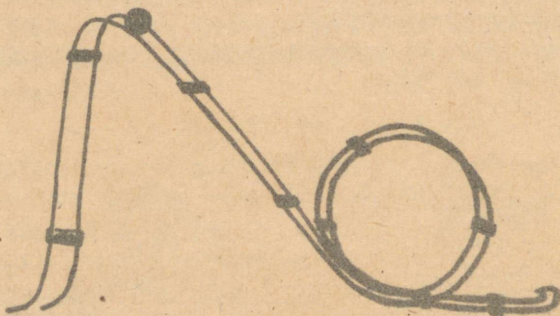
Joonis 42.



Joonis 43.

#### 6. Täiendavaid katseid.

A. "Surmasõlm vertikaaltasapinnas". Selle demonstreerimiseks on valmistatud kahest traadist-rööpast kaldtee, mis alumine osa on painutatud rõngaks vertikaaltasapinnas (joon. 44). Rööbasteed mõõda lastakse alla veereda teraskuul, mis



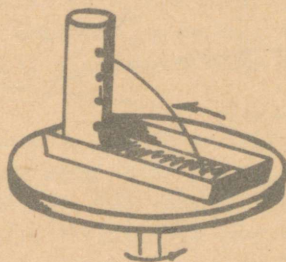
Joonis 44.

teeb vertikaaltasapinnas "surmasõlme". Kui kuuli kiirus ei ole küllalt suur, siis kuul ei suuda ringi kõrgeimas punktis püsida teel ja langeb vertikaalselt alla. Miks?

Katset võib demonstreerida seoses eksperimentaalse ülesande lahendamisega.

B. Coriolise jõu demonstreerimine. See ei kuulu kohustuslikku programmi, kuid võib klassivälise töö juures. Katse

demonstreerimiseks kinnitatakse tsentrifugaalmehhanismi tasane ketas, millele asetatakse lai vann. Vanni pannakse plekk-silinder, millel on piki moodustajat augud, mis peale ühe on suletud (joon. 45). Selleks, et silinder püsiks paremini vertikaalselt, pannakse selle põhja kaaluviht. Kohale vannis, kuhu purskub paigalolevast si-



Joonis 45.

lindrist vesi, paigutatakse lipuke. Ketas pannakse pöörlema. Vesi ei lange enam lipukesega märgitud kohale, vaid kõrvale. Veejooa kõrvalekalde suurus sõltub ka sellest, kui kaugelt pöörlemisteljest on asetatud silinder.

## VI. Vedelike ja gaaside voolamine.

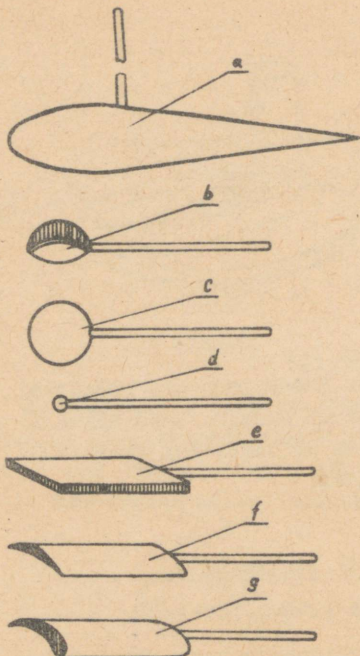
### 1. Aerodünaamiline kaal ja katseid sellega.

Komplekti kuuluvad ühesuuruse frontaallõikega, kuid erineva kujuga kehad (joon. 46): a - voolujooneline keha, b - poolkera, c - ketas ning kehad: d - väike ketas, e - ristkülikukujuline tiib, f - nõgus tiib ja g - voolujooneline tiib.

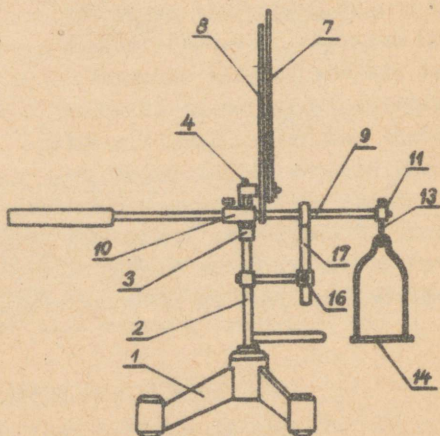
Õpilastele seletatakse, et on üheväärne, kas vaadelda liikuvat keha paigalolevas keskkonnas või vedeliku ja gaasi liikumist keha suhtes. Sellepärast on mõlemal juhul kehale mõjuv aerodünaamiline takistus ja üleslükkejõud ühesugune.

Aerodünaamiline kaal on kujutatud joonisel 47. Kaal koosneb malmalusest 1, terastoest 2, muhvist 3, selle külge kinnitatud skaalast 7 ja keskmisest muhvist 10. Viimasesse kinnitatakse varda küljes olev keha, mida tahetakse uurida ja teise otsa pannakse kaaluks 14, millele asetatakse vihte uuritava keha raskuse tasakaalustamiseks. Terastoe 2 külge kinnitatakse terasvedru 17. Vedru, mõjudes vardale 9, annab edasi survet, mida õhuvoolus avaldab kehale. Survet näitab osuti 8, mis liigub skaala 7 kohal.





Joonis 46.



Joonis 47.

Õhuvoolumis tekitatakse aerodünaamilise toruga (joon. 48), mis kinnitatakse statiivi varda külge.

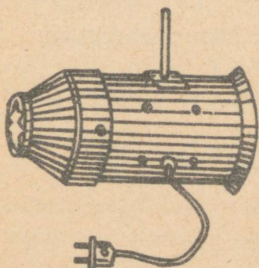
1. katse. Õhutakistuse (aerodünaamilise takistuse) sõltuvus keha kujust. Kehade a, b ja c (joon.46) frontaallõiked on ühesuurused. Üks, teine või kolmas keha kinnitatakse kaaludele ja tasakaalustatakse vihtide asetamisega kaalukaussile. Keha asetatakse ümmarguse lõikega liikumissuuna vastu. Kehale juhatakse tugev õhujuga ja jälgitakse osuti 8 hällvet. Vaadeldakse, millise keha puhul on takistus suurim ja millise puhul väikseim. Asetades katseriistale kehad: e, f või g paralleelselt vooluga, on näha, et väikseim takistus on kehal g ja suurim kehal e.

2. katse. Aerodünaamilise takistuse sõltuvus frontaal-  
lõike pindalast. Kaaludele asetatakse kord keha c, kord - d,  
millede frontaallõike pindalad on erinevad ja vooluga risti.  
Osuti hälve näitab, et suurema frontaallõikepindalaga kehale  
on aerodünaamiline takistus suurem.

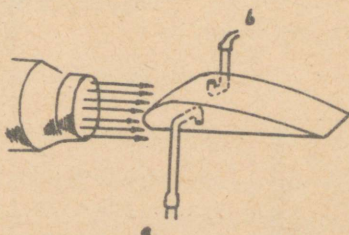
3. katse. Aerodünaamilise takistuse sõltuvus keha liiku-  
mise kiirusest. Õhujukka asetatakse mingi keha ja, muutes  
õhuvoolu tugevust (mootori pöörete arvu muutmisega reostaadi  
abil) näidatakse, et aerodünaamiline takistus on võrdeline  
voolukiiruse ruuduga.

## 2. Katseid aerodünaamilise toruga.

Aerodünaamiline toru on kujutatud joonisel 48.



Joonis 48.



Joonis 49.

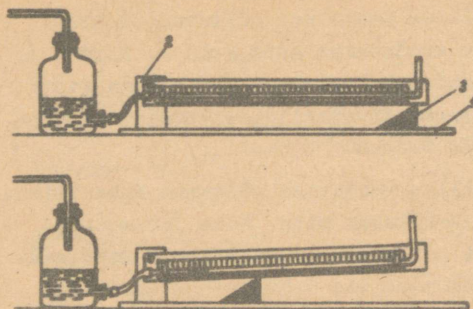
Seades toru ligikaudu vertikaalasendisse ja käivitades  
mootori püsib õhuvoolusse asetatud laste täispuhutav pall  
õhus ega lange maha. Toru võib isegi tunduvalt kallutada.

Rõhkude erinevust demonstreeriv katse on kujutatud joo-  
nisel 49. Voolikute a ja b otsad ühendatakse kalduolevate to-  
rudega U-toru manomeetriga. Rõhke kandepinna peal ja all võib  
mõõta ka joonisel 50 a kujutatud mikromanomeetriga.

Puhudes kõverate ülesriputatud plekitükide vahelt üle-  
valt alla õhujoa, tõmbuvad plekitükid teineteise vastu (joon.  
50 b).

Riputades aerodünaamilise toru üles kahe nõõri otsa ja



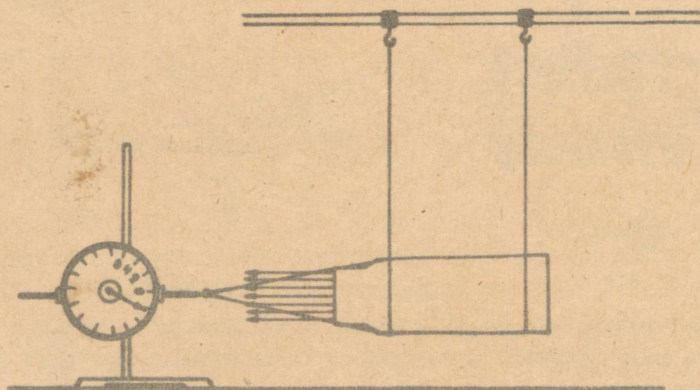


Joonis 50 a.



Joonis 50 b.

käivitades mootori, võib dünamomeetriga mõõta propelleri veojõudu ja määrata selle sõltuvust pöörlemiskiirusest (joon. 51).



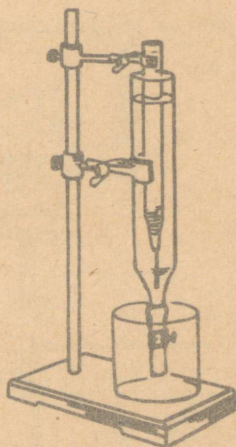
Joonis 51.

### 3. Vedeliku laminaarne voolamine..

Klaastoru pikkusega 30-40 cm, läbimõõduga 4-5 cm kinnitatakse vertikaalselt statii vi näpitsasse (joon. 52). Toru lõp-  
pegu alt peenema osaga, kuid võib kasutada ka ühtlast toru  
sulgedes see ühest otsast korgiga, millest on läbi pandud

peenem klaastoru. Viimase otsa tõmmatakse kummiwoolik, mis suletakse kruvinäpitsaga; selle abil saab reguleerida voolu kiirust.

Toru täidetakse puhta veega. Vette asetatakse statii vi näpitsasse kinnitatud pipett, mis on täidetud värvitud veega. Avades veidi kummiwoolikut sulgeva näpitsa, voolab läbipaistva vee juga koos selles oleva värvilise joaga. Vedelikud ei segune voolamisel. Kui aga suurendada voolukiirust, avades näpitsa enam, siis segunevad vedelikud voolamisel (voolamine muutub turbolentseks).



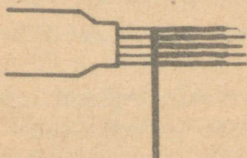
Joonis 52.

Katse juures kasutada helenduvat ekraani!

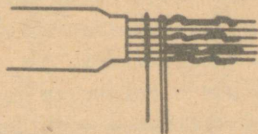
#### 4. Gaasi laminaarne voolamine.

Aerodünaamilise toruga tekitatud horisontaalsesse voolu asetatakse niidist sond (joon. 53). Sond valmistatakse sel teel, et sirge varda külge kinnitatakse 4-5 pikka värvilist niiti. Kui õhu voolukiirus on väike, siis niidid asetsevad piki voolujooni ja on üksteisega paralleelsed.

Kui õhuvoolusesse asetada plaat, siis selle taga sondi niidid keerduvad (joon. 54). Sel korral on tegu keeriselise ehk turbolentse voolamisega.



Joonis 53.

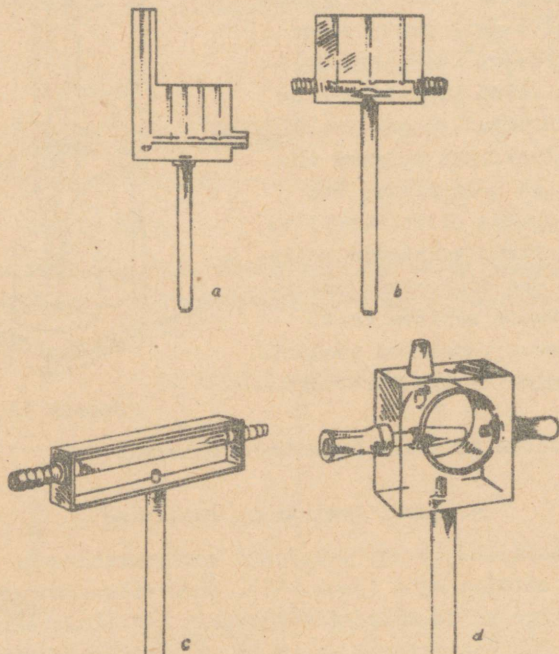


Joonis 54.



5. Katseid voolamise kohta orgaanilisest klaasist mudelitega.

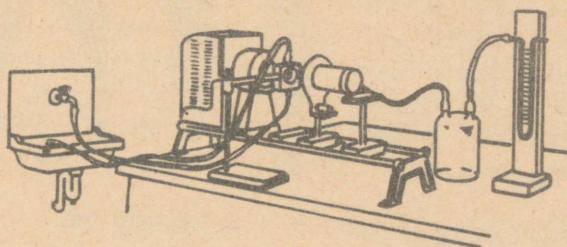
Vastavate katseriistade komplekt on kujutatud joonisel 55.



Joonis 55.

a abil saab näidata rõhu langemist voolamisel ühtlases voolutorus, b abil - rõhku ebauhtlases torus, c abil - laminaarset voolamist ja d abil - veejoa-õhupumba töötamist. Viimase katseriista kasutamist illustreerib joonis 56. Samasugust katseseadet tuleb kasutada ka teiste riistadega katsete sooritamisel.

Rõhkude erinevust voolutoru erinevate ristlõikepindaladega ristlõigetes saab demonstreerida joonisel 57 kujutatud riistaga. Manomeetritesse valatakse värvitud vedelikku. Õhu-



Joonis 56.

voolus tekitatakse aerodünaamilise toruga.

Küsimusi.

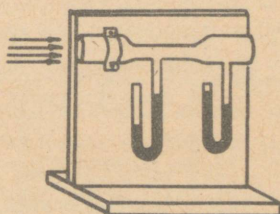
1. Kas rõhkude erinevuse demonstreerimiseks voolutorus tuleb kasutada suure või väikese läbimõõduga torusid?

2. Millisel juhul on rõhu langus torus praktiliselt tähelepandamatu?

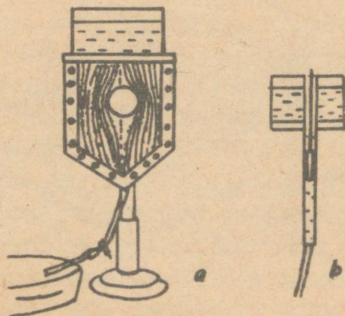
3. Milliseid abinõusid tuleb rakendada selleks et katsed vedelike voolamise kohta oleks hästi nähtavad?

6. Voolujooned ja vooluväli laminaarsel voolamisel.

Vedeliku laminaarset voolamist demonstreeritakse vertikaalprojektsioonis joonisel 58 kujutatud katseriistaga (joonisel 58 a on katseriist kujutatud perspektiivis ja joonisel b läbilõikes). Riista juurde kuulub komplekt läbipaistmatust plastmassist kehi (joon.



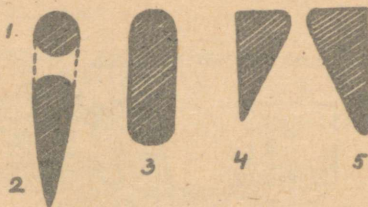
Joonis 57.



Joonis 58.



59), mis paigutatakse sellesse riista klaasseinte vahele, kus need püsivad hõõrdejõu mõjul. Uuritakse voolupilti keha 1, keha 2 ja 3 taga ja kehade 4 ja 5 vahel, s.t. voolukanali kitsas kohas. Kujutis tuleb pöörata päripidi-seks.



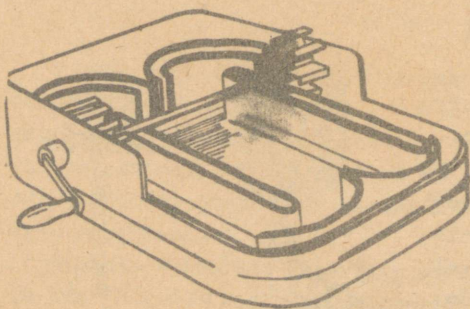
Joonis 59.

Ühte amumasse valatakse puhaskas vesi ja samaaegselt teise värvitud vesi. Vee voolukiirust reguleeritakse kruvinäpitsaga, mis on väljavoolutoru küljes.

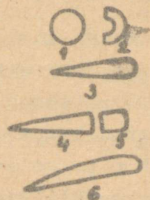
### 7. Keerised mitmesuguste kehade taga.

Õppevahendite tööstus toodab metallvanne, mille põhja keskmine osa on klaasist (joon. 60). Vann on varustatud võlli-ga, mille küljes on labidakesed. Vanni valatakse niipalju vett, et selle tase ületaks 1-2 mm võrra vanni asetatud keha ülemist pinda. Labidakestega võlli pööramisega saab panna vee liikuma. Pööramiseks on võll varustatud vändaga.

Katseriista juurde kuulub erineva kujuga kehi (joon. 61), mille taga võib horisontaalprojektsioonis jälgida keeriseid. Keeriste nähtavakstegemiseks tuleb vette puistata puru, mida



Joonis 60.



Joonis 61.

saadakse tammepuidu viilimisel. Projitseerimiseks kasutatakse universaalprojektorit optilisel pingil.

Kui panna kokku kehad 4 ja 5 nii, et nende vahele jääb 1-2 mm laiune pilu; võib näha, et puru voolab läbi pilu kandepinna alt (kui see keha kujutaks lennuki kandepinda) selle peale. See näitab, et rõhk lennuki kandepinna all on suurem kui kandepinna peal.

#### 8. Sisehõõrdumine vedelikes ja gaasides.

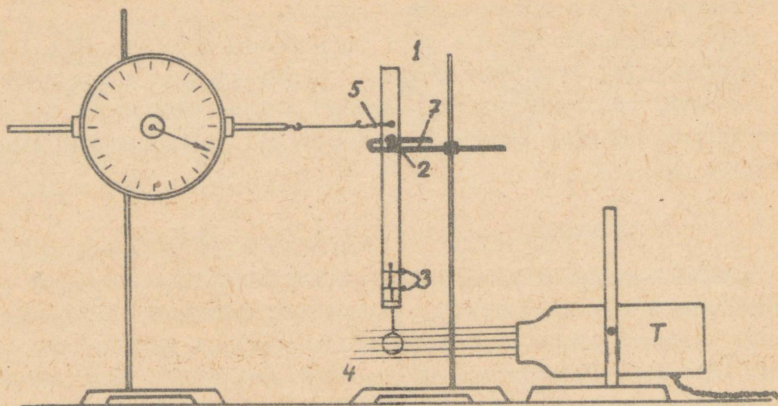
Tsentrifugaalmehhanismi kinnitatakse kuivati klaasamum (või asetatakse sinna kettale kinnitatud silindriline klaasamum). Kuivati amumaat võetakse välja auguline metallamum. Amum täidetakse poolest saadik veega (joon. 39 b). Veepinnale pannakse ujuma kork lipukesega. Kork ei või puudutada amuma seina. Amum pannakse pöörlema. On näha, et koos veega hakkab pöörlema ka kork.

Tsentrifugaalmehhanismi kinnitatakse tasane ketas. 1-2 mm kõrgusele sellest riputatakse rõhtsalt pappketas, millesse on torgatud paar lipukest. Kõitatakse tsentrifugaalmehhanism. Pöörlema hakkab ka ülemine ketas.

#### 9. Lihtsate vahenditega korraldatavaid katseid aero- ja hürdodünaamikast.

Puitliistu 1 sisse (joon. 62), mille pikkus on 400-500 mm, paksus 3-4 mm ja laius ca 30 mm, raiutakse peitliga auk, millesse sobib kas tükk kolmkantviili või ruudukujulise ristlõikega metallpulk 2 (metallristtahukate komplektist). Liistu teise otsa, laiema tahu sisse lõigatakse piki liistu soon ja mähitakse liistu otsa ümber kaks traaditükki 3. Soone sisse traatide alla torgatakse varras, mille otsas on uuritav keha 4 (kera, ketas, poolkera, silinder, voolujooneline keha või muud, mis on joonisel 46 kujutatud). Puitliistu teise otsa lähedale kinnitatakse traadist konks 5, mis niidist aasa abil ühendatakse demonstratsioonidünamomeetriga (võib olla ka omatehtud). Puitliistust läbipandud metallprisma serv toetatakse jämedast traadist või plekiribast painutatud aasale 7,



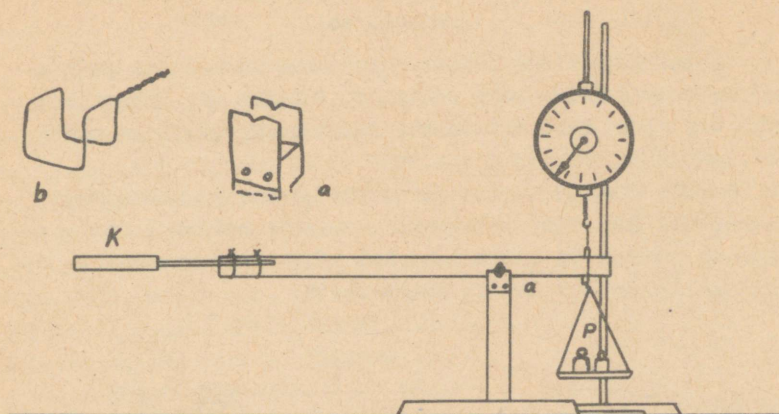


Joonis 62.

millesse on viilitud sälk, kuhu toetatakse prisma serv. Sälgud takistavad puitserva libisemist tuule mõjul. Õhuvoolus tekitatakse aerodünaamilise toruga T.

Kirjeldatud lihtsa katseseadmega saab uurida keskkonna takistuse sõltuvust: 1) keha kujust, 2) ristlõike pindalast ja 3) liikumiskiirusest. Uurides takistuse sõltuvust kiirusest muudetakse aerodünaamilise toru mootori pöörlemiskiirust mootorit läbiva voolu tugevuse kaudu, muutes viimast vooluringi lülitatud reostaadi abil.

Sama katseseadet kasutades saab demonstreerida aerodünaamilise üleslükkejõu sõltuvust (joon. 63): 1) keha kujust, 2) voolu kiirusest ja 3) atakinurgast. Kasutatakse sama puitliistu, mis eelmises katses, kuid metallprisma serv toetatakse puittoe otsa kinnitatud plekiribadele, milledesse on viilitud sälgud (joon. 63 a) või traadist painutatud aasale (joon. 63 b). Kang tasakaalustatakse koormastega P. Õhuvoolus tekitatakse ka siin aerodünaamilise toruga. Õhuvoolus suunatakse risti joonise pinnaga kehale K.



Joonis 63.

Joonisel 64 on toodud näitlik tabel aerodünaamilise takistuse sõltuvuse kohta keha kujust ja asendist.

|                     |       | %   | 0                           | 50 | 100 |
|---------------------|-------|-----|-----------------------------|----|-----|
| Õõnes poolkera      | → D   | 129 | [Hatched bar from 0 to 100] |    |     |
| Ketas               | →   O | 100 | [Hatched bar from 0 to 100] |    |     |
| Ruudukujuline plaat | →   □ | 94  | [Hatched bar from 0 to 94]  |    |     |
| Õõnes poolkera      | ○     | 41  | [Hatched bar from 0 to 41]  |    |     |
| Kera                | ○     | 29  | [Hatched bar from 0 to 29]  |    |     |
| Voolujooneline keha | ◡     | 15  | [Hatched bar from 0 to 15]  |    |     |
| — . — . — . —       | ◡     | 14  | [Hatched bar from 0 to 14]  |    |     |

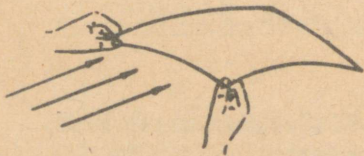
Joonis 64.



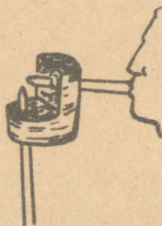
10. Lihtsaid katseid, mida saab seletada aerodünaamika seaduste abil.

1. Võttes paberilehe lühema serva kahe käe pöidla ja nimetissõrme vahele hoida serv rõhtsalt. Puhudes üle paberilehe kerkib see üles. Sama printsiibi järgi kerkib üles ka pealt kumer lennuki kandepind (joon. 65).

2. Suurde klaaslehtrisse asetatakse lehtriga ühesuurune paberkoormus. Lehtrisse puhutakse tugevasti hoides lehtri ava allapoole. Koormus ei lange lehtrist välja vaid vastupidi, nagu kleepub tugevasti lehtri seinte vastu.



Joonis 65.



Joonis 66.

3. Lihtne on valmistada pulverisaatorit. Suuremasse korgisse tehakse sisselõige (joon. 66), millesse ulatuvad korgist teineteisega ristisuunas läbi pandud klaastoru otsad, mis on tõmmatud leegil peenemaks. Vertikaalne toru ühendatakse U-toru manomeetriga ja puhutakse tugevasti rõhtsasse torusse. On näha rõhu vähenemist püsttorus.

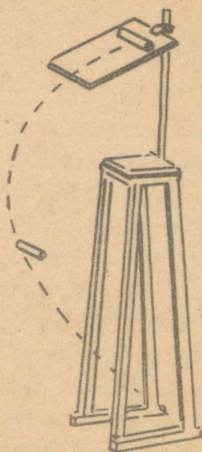
Püsttoru pistetakse värvitud vette ja rõhtsasse torusse puhutakse tugevasti. Värviline vesi pihustub õhujoas ning voolab välja rõhtsa toru otsast. Katset sooritada helendava ekraani ees.

4. Joonistuspaberist kleebitakse silinder (pikkus ca 200 mm, läbimõõt 50 mm). Silinder lastakse veereda kõrgele asetatud kaldpinda mööda alla (joon. 67). Trajektoor on joonisel kujutatud kriipsjoonega. Miks on trajektoorigil selline kuju?

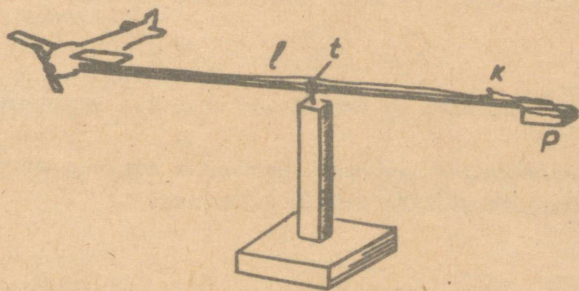
# 11. Propelleri veojõu demonstreerimine.

Mikromootori võlli otsa monteeritakse plekist propeller. Mootor kinnitatakse sirge puitliistul otsa (joon. 68). Liistu teise otsa kinnitatakse taskulambipatarei P ja lüliti K. Varda ja sellele monteeritud esemete raskuskeskmest puuritakse läbi varda auk, millesse pistetakse tihedalt ühest otsast kinni sulatatud klaastoru t. Viimane toetatakse püsttoesse kinnitatud nõelale. Mootor ühendatakse läbi lüliti taskulambipatareiga. Lülides sisse voolu, hakkab propeller pöörlema ja veab mootorit edasi mööda ringjoont. Tundliku dünamomeetriga võib mõõta propelleri veojõudu. Muutes propelleri labade kallet muutub ka veojõud (liikumine muutub kiiremaks või aeglasemaks).

Mootori võib asetada paksust paberist kleebitud lennukimudelisse, siis on katse huvitavam.



Joonis 67.



Joonis 68.



## VII. Katseid molekulaarfüüsikast.

### 1. Browni liikumise vaatlemine mikroskoobiga (individuaalselt).

Browni liikumise jälgimiseks toodab õppevahendite tööstus joonisel 69 kujutatud kambrikesi. Liikumist vaadeldakse kas üliõpilas- või bioloogilise mikroskoobiga. Kõlbab ka tavaline koolimikroskoop, millel on üks okulaar 10x ja objektiivid 8x ja 20x. Pole vaja kasutada suuri suurendusi (mitte üle 80x).

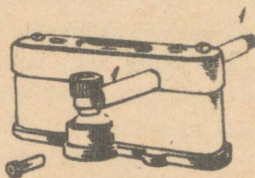
Suitsukambrisse viivad torud 1 avada ja puhuda kambrisse suitsu. Teine toru sulgeda ja paigutada kamber mikroskoobi preparaadi lauakesele. Süüdata

madalavoldiline (3,5 V) lamp, viia mikroskoobi objektiiv peaaegu suitsukambri vaateaknakese vastu ja nihutada objektiivi aeglaselt ülespoole kuni vaateväljas ilmuvad nähtavale helenõuavad liikuva tähekesed - suitsukübemed. Juhul, kui vaateväli on tume, tuleb kambrike kruvikeeraja abil lahti võtta ja lääts nõest puhastada.

Browni liikumist võib vaadelda ka vees, millesse on lisatud veidi piima või akvarellvärvi. Vedeliku tilk lastakse langetada preparaadiklaasile ja seda vaadeldakse läbi mikroskoobi.

#### Küsimised.

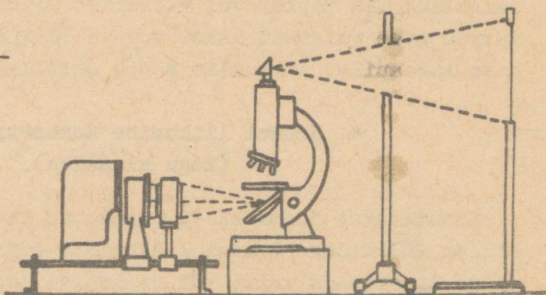
1. Millise objektiivi ja okulaariga saadakse parim nähtavus?
2. Miks mõnede objektiividega, vaatamata suurele suurendusele, pole võimalik jälgida Browni liikumist?



Joonis 69.

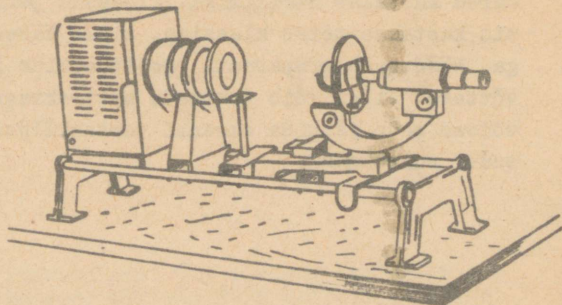
## 2. Mikroprojektsioon.

Mikroprojitseerimiseks kasutatakse mikroskoopi. Projitseerida võib mikroskoobi toru kahesuguse asendi: 1) vertikaalse või 2) horisontaalse puhul. Valgusallikana kasutatakse kas elektrikaarlampi või universaalprojektorit, milles on hõõglamp 500 W. Selleks, et mikroskoobi objektiiv liialt ei kuume-neks, pannakse kiirte teeale klaasvann, milles on 0,33%-ne vasksulfaadi ( $\text{CuSO}_4$ ) lahus. Vedelikukihi paksus peab olema 4–5 cm. Kondensoriga koondatakse valgus nii, et lambi või süte kujutis tekiks mikroskoobi objektiivis. Projitseeritakse väikese suurendusega okulaariga või ilma okulaarita. Selleks, et mikroskoobi toru vertikaalse asendi juures (joon. 70) tekiks pilt vertikaalsele ekraanile, pannakse toru otsa täisnurkne klaasprisma. Pilti ekraanil teravustatakse keerates mikroskoobi reguleerimiskruvisid.



Joonis 70.

Katseseade on lihtsam, kui mikroskoobi toru on horisontaalselt. Siis võib mikroskoobi asetada otse optilisele pingile (joon. 71). Sel teel saab projitseerida vastavaid preparaate: näiteks taime lõiget, putuka tiiba jne.



Joonis 71.



### 3. Kristallide kasvamise demonstreerimine.

Mikroprojektsioonis saab näidata kogu klassile kristallide tekkimist ja kasvamist. Selleks valmistatakse väikeses ammas küllastatud keedusoola või vasksulfaadi lahus. Eriti hästi sobib selleks naatriumhüposulfiit. Klaasile puistata pisut naatriumhüposulfiidi kristalle ja lisada neile tuletikuotsaga pisut vett. Klaasplaadikest koos hüposulfiidiga soojendatakse leegi või elektripliidi kohal kuni kristallid kaovad. Jahtumisel toimub kiire kristallide tekkimine, mida võib jälgida mikroskoobis (ka läbi luubi). Klaaspladike kasvavate kristallidega paigutatakse mikroskoobi alla ja projitseeritakse see ekraanile (joon. 70). Ekraani ja mikroskoobi vahele tuleb paigutada kas papist või vineerist sirm, milles on ava. Sirm varjab otse valgusallikast tuleva valguse ega lase sellel langetada ekraanile. Ekraaniks sobib mattklaas.

### 4. Browni liikumise demonstreerimine (kogu klassile).

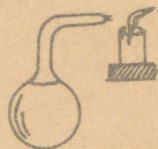
Kasutatakse joonisel 70 kujutatud katseseadet. Emulsiooni, milles jälgitakse Browni liikumist, võib valmistada vähese piima lisamisega vette või vesivärvi lahustamisega vees. Emulsioonitilk pannakse preparaadiklaasile ja projitseeritakse pilt lakke või ekraanile.

Paremaid tulemusi võib saada järgmiselt. Klaaspladikese ääred kaetakse 5φ-liimiga. Klaasile pannakse emulsioonitilk, mis kaetakse teise klaasiga, mille ääred on kaetud ka liimiga. Nüüd saab preparaati projitseerida joonisel 71 kujutatud võttega. Pildi võib tekitada matt-ekraanil, kus õpilased võivad seda jälgida ekraani vastasküljelt. Kasutada ei saa suuri suurendusi.

## 5. Pindpinevuse demonstreerimine.

1. Klaastoru ots muudetakse leegis pehmeks ja teravaotsalise sõepulgaga painutatakse toru ots lehtrikujuliseks. Sel-list toru kasutatakse seebimullide<sup>1)</sup> puhumiseks. Mulli demonstreeritakse helenduva ekraani ees või variprojektsioonis.

Lõpetanud mulli puhumise, hoitakse mulli ühendava toru ots küünlaleegi juures. Pindpinevuse tõttu tõmbub mull kokku ja temast väljuv õhujuga painutab küünlaleeki (joon. 72).



Joonis 72.

2. Paralleelsete seintega klaasvanni valatakse vee ja piirituse segu, mille erikaal on sama, mis oliivõlil. Vedelikku lastakse pipetist tilk oliivõli. Õlitilk võtab pindpinevuse tõttu kera kuju. Nähtus projitseeritakse universaalprojektori abil ekraanile.

## 6. Amorfsse keha voolavus.

Pigitükk asetatakse lauale ja lüüakse sellele vasaraga. Pigi puruneb, s.t. on rabe aine. Võib näidata, et pigi on ka voolav aine, seega pole rabeus ja voolavus vastandlikud mõisted.

Asetada tükk pigi lauatuukile ja pigile metallmutter. Mõne päeva möödumisel on mutter vajunud läbi pigi.

Pigitüki alla lauatuukile pannakse korgist ketas. Mõne aja möödumisel on korgitükk kerkimud pigi pinnale.

Soojendada klaastoru leegil. Kuuma toru võib venitada ja painutada. Temperatuuri tõustes suureneb voolavus, kuigi külmalt on klaas rabe aine.

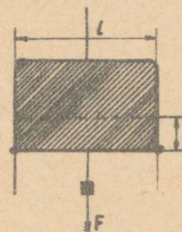
1)

Seebivee saamiseks lahustatakse valge seebi laaste 80 g sooja vees ning lisatakse sellele 50 g glütseriini. Lahust lastakse pimedas seista 2-3 päeva.



## 7. Pindpinevusjõu demonstreerimine.

Kasta seebivette joonisel 73 kujutatud raam. Rõhtsa traadi aasa külge riputada 10-20 grammine viht. Seebikelme venib selle raskuse mõjul välja. Kõrvaldades vihi, tõmbub kelme kokku. Vihi kaal valida selline, et pindpinevusjõud ja vihi kaal teineteist tasakaalustaks.



Joonis 73.

Vihi kaalu ja traadi pikkuse  $l$  kaudu võib arvutada pinna  $1\text{ cm}$  pikkusele mõjuva jõu dünnides:

$$2 l \cdot 4 \times 10^{-7} = F \cdot 4 \times 10^{-7}, \text{ siit } \sigma = \frac{F}{2l}$$

## 8. Pindaktiivsed ained.

Puhta, kuuma vee pinnale pannakse tüki steariinhapet. See sulab ja levib veepinnal õhukese kihina. Pärast vee jahtumist võetakse tahkestunud happeplaat veest ja lõigatakse kaheks tükiks. Ühele tükile lastakse pipetist tilk vett langeda plaadi ühele küljele. Ühel neist veetilk valgub laiali, teisel aga võtab poolkera kuju. Seega on molekulide asetus kummalgi plaadi küljel erinev. Järelikult on steariinhappe kristallil kuuma vee pinnal orienteerunud teisiti, kui pinnal, mis puutus kokku õhuga.

## 9. Emulsiooni püsivuse demonstreerimine.

Ühte katseklaasi vette lisatakse veidi petrooleumi, teise samasugusesse katseklaasi petrooleumi ja pisut seepi. Mõlemat klaasi loksutatakse tugevasti. Katseklaasis, kus on vesi ja petrooleum, kaob emulsioon kiiresti ja vee ning petrooleumi lahutuspiind on selgesti näha. Katseklaasis, kuhu lisati pisut seebivett, püsib emulsioon kauem.

## 10. Flotatsioon.

Parafiinkerasse sulatatakse mingi metallese (puidukruvi, nael jne.) nii, et kera, asetatuna ettevaatlikult vette, jääb selle pinnale ujuma. Tõugates kera läbi veepinna, vajub ta põhja.

Vette valatakse pisut mingit hapet (äädikhape, soolhape) ja lisatakse ka söögisoodat. Ammas tekib hulgaliselt gaasimulle, need kleepuvad parafiinkera külge ja tõstavad selle veepinnale. Kui vette asetada keha, mida vesi hästi märgab, siis selle keha külge gaasimulle ei jää. Seda võib demonstreerida järgmiselt. Paralleelsete seintega klaasvanni asetatakse kaks klaasplaati või katseklaasi, milledest üks on pestud piiritusega (rasvavaba), teine aga kaetud õhukese rasvakihi. Viimase plaadi külge jääb gaasimulle (vees on hapet ja söögisoodat).

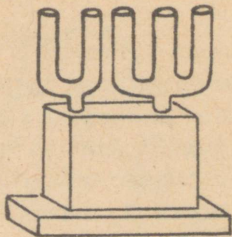
Kuidas teha katse kaugelt nähtavaks?

## 11. Sõe adsorbeeriv toime.

Pulbrilist aktiviseeritud sütt, mida saab apteegist, segatakse teelusikatäis 50 milliliitrisse värvilisse vedelikku (punane vein, marjamahl, fuksiin, kohvi jne.). Saadud vedelik filtreeritakse läbi lehttrisse asetatud filtreerimispaberi. Saadakse läbipaistev vedelik. Värvaine on adsorbeerunud söekübemete külge. Lastes värvilise vedeliku, näiteks vasksulfaadilahuse, läbi filterpaberi ei kao selle värvus.

## 12. Kapillaarsuse demonstreerimine.

1. Demonstreerimiseks on müügil kapillaartorud alusel (joon. 74). Torudesse valatakse näiteks värvitud vett või piiritust ja paigutatakse katseriist paralleelsete seintega klaasvanni, milles on vesi. Katse projitseeritakse universaalprojektori abil ekraanile.



Joonis 74.



Küsimus. Miks pannakse kapillaartorud projitseerimiseks vette?

Juhul, kui puudub vastav komplekt kapillaartorusid, siis on neid lihtne valmistada ise. Klaastoru, mille diameeter on 4–5 mm, soojendatakse leegis kuni see muutub pehmeks. Võttes



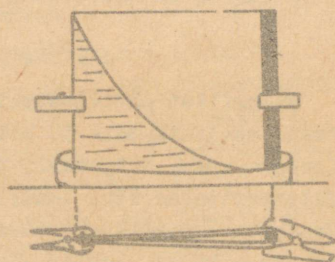
Joonis 75 a.



Joonis 75 b.

toru leegist välja venitatakse seda soovitud jämeduseni (joon. 75 a) ja peolitatakse peene osa keskelt. Kapillaarne osa paimitatakse W-kujuliseks (joon. 75 b).

2. Kaks ruudukujulist klaasplaati (fotoplaati), mille mõõted on orienteeruvalt 80 x 80 x 5 mm, pestakse piiritusega. Plaatide vahele pannakse õhuke plastmassriba ning surutakse plaadid teineteise vastu (näiteks pesulõksudega). Plaadid asetatakse otsapidi värvitud vette laia madalasse anumasse (joon. 76). Katse projitseeritakse ekraanile.



Joonis 76.

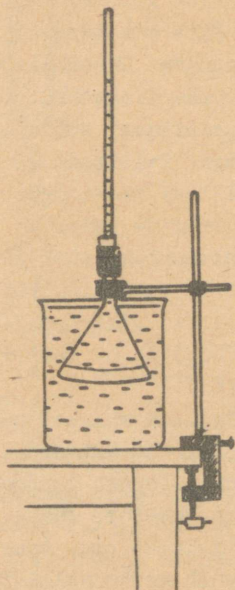
### 13. Osmootse rõhu demonstreerimine.

Osmootse rõhu demonstreerimiseks tuleb ehitada vastav seade. Klaaslehtri (lähimõõt 50 mm) serv ja äär hõõrutakse väljaspoolt kuni 30 mm ulatuses smirgelpaberiga karedaks. Lehtri serva ja ääre külge kleebitakse veekindla liimiga, näiteks 54-2, lehtri ava ette loomapõienahk või pergamentpaber. Hermeetilisuse suurendamiseks määratakse liimiga ka paberi või põienaha väline äär. Liimil lastakse kuivada

umbes 24 tundi.

Bespoolkirjeldatud viisil valmistatud lehtrisse valatakse kontsentreeritud suhkrulahus, mis on mingi värvainega värvitud. Leht-ri otsa tõmmatakse lühike tükk kummivoolikut. Kasutades pipetti täidetakse lehter kuni kummivooli-ku ülemise ääreni. Lehter kinnita-takse statiiivi näpitsasse ja sta-tiiv kinnitatakse pitskruviga laua külge (joon. 77) nii, et leh-ter kuni kummivoolikuni oleks kee-duklaasis puhtas vees. Membraan venib ja vajub nõgusaks, mille tõttu vedelikunivoo langeb. Siis pannakse kummivoolikule kummikork, millest on läbi pandud peenike klaastoru (pikkus 800-1000 mm ja läbimõõt 1,5-2 mm). Jälgida, kui kõrgele torus jääb värviline vede-lik. Mõne aja möödumisel on vedelik torus tõusnud. Vedeliku-samba kõrgus torus näitab osmootse rõhu suurust.

Tuletatakse meelde osmoosi tähtsust taime elus.

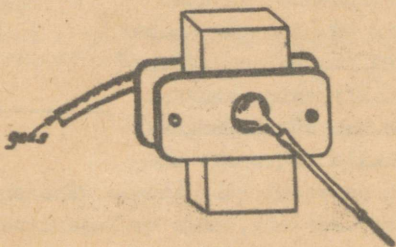


Joonis 77.

#### 14. Gaaside difusioon.

1. Gaaside difusiooni näitab lõhnade levimine (eeter, atsetoon, nafta-liin, vaniliin jne.).

2. Gaaside tungimist läbi põletatud savist ki-vi saab näidata joonisel 78 kujutatud katseriista-ga. Põletatud savist tel-lise külge kinnitatakse



Joonis 78.



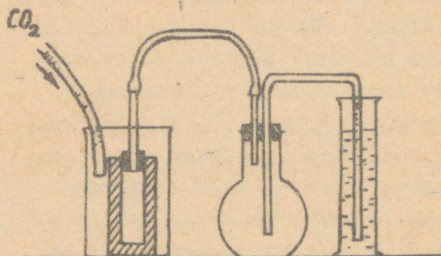
laudade ja poltidega teine teisele poole klaaslehtrid. Lehtri ja tellise liitekoht kitatakse kinni. Tellis kaetakse 2-3 korda õli- või sünteetilise värviga jättes kivipinna lehtri all katmata. Ühendades ühe lehtri gaasijuhtmega ja pannes teise otsa klaastoru, mille ots on tõmmatud peenemaks võib seal gaasileegi süüdata, kuna gaas tungib läbi tellise.

Märge. Tellisena ei kõlba silikaat-tellis ega klinkertellis, mis ei lase gaasi läbi.

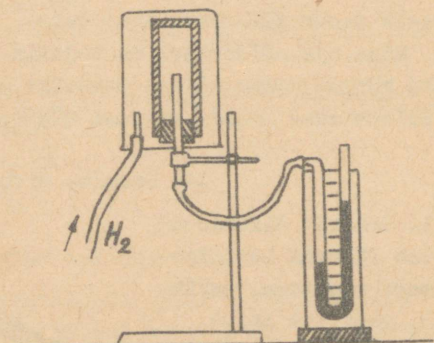
3. Gaaside erinevat difundeerumiskiirust läbi poorse vaheseina võib näidata: a) süsihappegaasiga ( $\text{CO}_2$ ) ja b) vesinikuga ( $\text{H}_2$ ).

Põletatud valgest savist poorseid anumaid koolidele toodab õppevahendite tööstus. Juhul, kui niisugune anum puudub, võib selle valmistada lillepotist, mille põhjas olevast avast panna läbi klaastoru, see kittida kiti või plastiiliiniga kinni poti külge. Poti ülemine ava sulgeda tsemendiga.

Katseseadet kujutab joonis 79. Poorses anumas olevad õhu molekulid tungivad kiiremini anumast välja kui süsihappegaasi molekulid poorsesse anumasse ja gaasi rõhk anumas väheneb. Rõhu vähenemist võib näidata kas nii, nagu on kujutatud joonisel või U-toru manomeetriga (joon. 80).



Joonis 79.



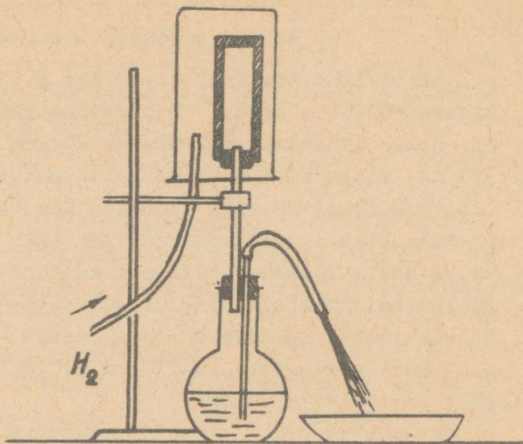
Joonis 80.

Võttes poorse amuma välja süsihappegaasist võib näha, et vesi kolvist voolab tagasi silindrisse.

Katset võib teiseda ka nii, nagu on kujutatud joonisel 81. Pannes poorse amuma vesiniku sisse toimub nähtus ümberpöörduvalt ja rõhk amumas suureneb.

Süsihappegaasi saab valmistada Gippi aparaadiga marmoritükikestest ja soolhapest.

Vesiniku saamiseks tuleb Gippi aparaati panna tšingitükikesi ja neile valada soolhapet. Viimasel juhul saadud vedelik kõlbab jootmisvedelikuna kasutada.



Joonis 81.

#### Kirjandus.

1. A.A.Pokrovski jt., Füüsika praktikum keskkoolis.
2. A.A.Марголис и др., Практикум по методике физики.
3. Физический эксперимент в школе, вып.2. И.М.Раезовский, Демонстрация процесса кристаллизации.
4. Рудольф Гирке и Георг Шпрокхоф, Эксперимент по курсу элементарной физики, ч.2.
5. А.А.Покровский, В.С.Зворыкин и др., Демонстрационные опыты по молекулярной физике и теплоте, М. 1960.

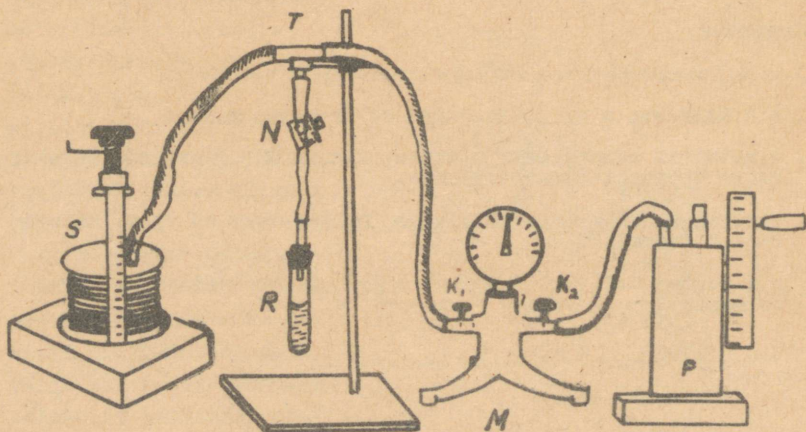


# VIII. Katseid aurude ja gaaside seaduste kohta.

## 1. Aurude omaduste demonstreerimine.

Kofreeritud plekist silindriga S (joon. 82), mida toodab õppevahendite tööstus, võib demonstreerida ka aurude omadusi. Selle silindri läbimõõt ja kõrgus venimata olekus on 100 mm. Silindri kaanes on harutoru, mille võib tugevaseinalise kummivooliku abil ühendada manovaakuummeetriga M. Kruvi abil saab ammut venitada pikemaks ja lühemaks, s.t. muuta selle ruumala. Silfooni kõrgust võib muuta piirides 75–150 mm. Skaalalt saab tingühikutes lugeda silfooni mahtu. Riista juurde kuuluva manovaakuummeetriga saab mõõta nii ala- kui ka ülerõhku. Silfooni ei või tagada ega põrutada, sest see võib puruneda.

Katseseade on kujutatud joonisel 82. Kolmiktoru T kaudu on silfoon S ühendatud manovaakuummeetriga M ja katseklaasiga R, kus on vedelik, mille auru tahetakse uurida. Manovaakuummeetri kaudu võib seade ühendada Komovski õhuhõrenduspumbaga P. Voolikut saab sulgeda kraani või kruvinäpitsaga N. Manovaakuummeetril on kraanid  $K_1$  ja  $K_2$ .



Joonis 82.

Enne katset tuleb proovida süsteemi hermeetilisust. Kogu seadmest pumbatakse õhk välja ja suletakse kraan  $K_2$ . 2-3 minuti vältel jälgitakse manovaakuummeetri näitu kas see muutub. Silfooni võib ka pumbata õhku, asetada see vette ja jälgida kas väljub silfoonist õhumulle.

1. katse. Küllastatud auru sõltumatus ruumalast. Katseklaas täidetakse poolest saadik eetriga ja suletakse kummikorgiga, millest on läbi pandud klaastoru nii, et toru ots ei ulatu vedelikku. Voolik suletakse näpitsaga N. Silfooni kaane alumine äär viiakse skaala seitsmenda jaotuskriipsu kohale. Pumba abil (kraanid  $K_1$  ja  $K_2$  on avatud) pumbatakse õhk silfoonist välja püüdes saada võimalikult suurt hõrendust. Kraan  $K_2$  suletakse. Näpitsa N avamisega ühendatakse süsteemiga katseklaas. Silfoon ja voolikud täituvad eetri auruga. Kuna katseklaasi jäi veel eetrit, siis on ruum aurust küllastatud. Manomeeter näitab seega küllastatud auru rõhku antud temperatuuril.

Küllastatud auru ruumala muudetakse silfooni kaane aeglase nihutamiseks üles-alla ja jälgitakse, et manomeetri näit ei muutu. Seega ei sõltu küllastatud auru rõhk jääval temperatuuril ruumalast ega kehti küllastatud auru kohta Boyle-Mariotte'i seadus.

2. katse. Küllastatud auru rõhu sõltuvus temperatuurist. Jättes näpitsa N avatuks asetatakse küllastatud auruga täidetud silfoon esiteks külma, siis eelnevalt  $40^{\circ}$ - $50^{\circ}$ -ni soojendatud vette. Esimesel juhul langeb auru rõhk, teisel juhul see tõuseb. Õpilaste tähelepanu on kasulik juhtida sellele, et eetri tase katseklaasis langeb silfooni paigutamisega sooja vette. Selle paremaks jälgimiseks peab katseklaas olema peenike.

3. katse. Küllastatud auru rõhu sõltuvus auru ainest ühesugusel temperatuuril. Silfoon jäetakse sooja vette, suletakse näpits N ja asendatakse katseklaas eetriga samasuguse katseklaasiga, milles on piiritus või bensiin. Siis pumbatakse võimalikult täielikult eetri aur silfoonist välja ja avatakse näpits N. Õpilaste tähelepanu juhitakse sellele, et piirituse



või bensiini auru rõhk on tunduvalt väiksem kui eetril.

4. katse. Mitteküllastatud auru rõhu sõltuvus ruumalast. Katseklaasi jäetakse pisut eetrit. Pärast seda, kui silfoon on tekitatud võimalikult suur rõendus, suletakse kraan  $K_2$  ja avatakse näpits N. Kogu eeter katseklaasis muutub auruks ja silfoon on küllastatud aur. Suurendades ja siis vähendades silfooni ruumala, jälgitakse rõhu muutumist (keh-  
tib Boyle-Mariotte'i seadus).

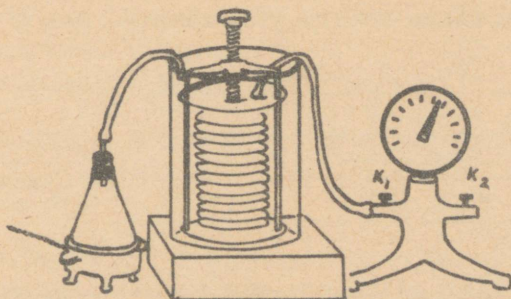
5. katse. Küllastatud auru üleminek mitteküllastatuks temperatuuri tõusmisel. Silfoon täidetakse küllastatud eetri auruga ja suletakse kraan  $K_2$ . Vedel eeter eraldatakse näpitsa N sulgemisega. Silfoon asetatakse  $40-50^\circ$ -ni soojendatud vette. Aur muutub küllastamatuks, mis nähtub sellest, et lastes silfooni kaane allapoole, kasvab rõhk, s.t. aur oli küllastamata. Siis pannakse silfoon külma vette ja vähendatakse ruumala, seejuures ilmneb rõhu muutumatus. Seega temperatuuri madaldamisel aur küllastus ja osa auru kondenseerus.

## 2. Katseid gaasi seaduste kohta.

Silfoon (joon.82) ühendatakse vaakuumvooliku kaudu manovaakuummeetriga.

1. katse. Boyle-Mariotte'i seaduse kehtivuse demonstreerimine. Nupust pöörates muudetakse silfooni ruumala, mille suurust (tingühikutes) loetakse skaalalt. Rõhku näitab manovaakuummeeter M. Katseandmed kantakse tabeli kujul klassitahvlile ja järeldatakse neist seadus.

2. katse. Gaasi ruumala sõltuvus temperatuurist jääval rõhul. Silfoon pannakse purki vette, milles ujuvad jää- või lumetükid ( $t = 0^\circ\text{C}$  ehk  $T = 273^\circ\text{K}$ ). Õhu rõhk silfoon on võtta 1 at (avades kraani  $K_2$  ühendada silfoon algul välisõhuga). Mõõta vee temperatuur ja õhu ruumala silfoon on ning märkida need vastavasse tabelisse tahvlil. Siis juhtida vette veeauru (joon. 83), mis seal veelõhub. Selle tagajärjel vee temperatuur tõuseb. Vett segatakse hoolikalt. Õhu rõhk silfoon on tõuseb, kuid õhu ruumala silfoon on tuleb sedavõrd suurendada, et manomeeter näitaks kogu aeg sama rõhku 1 at.



Joonis 83.

Katseandmed märkida järgmisse tabelisse:

| $T$ |
|-----|
| $V$ |

Katseandmete põhjal joonestada graafik ja arvutada gaasi paisumiskoeffitsient

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V \cdot \Delta T}$$

Küsimus.

Kuidas lühendada katse demonstreerimiseks kuluvat aega?

3. katse. Gaasi rõhu sõltuvus temperatuurist jääval ruumalal (Charlesi seadus). Katseseade on sama, mis katses nr.2. Nüüd aga ei muudeta silfooni ruumala. Ka siin märgitakse katseadmed tahvlile tabeli kujul ja joonistatakse graafik, mis kujutab sõltuvust suuruste  $P$  ja  $T$  vahel. Arvutatakse gaasi rõhu termiline koefitsient

$$\beta = \frac{\Delta P}{P_0 \cdot \Delta T}$$

4. katse. Gaasi rõhu, temperatuuri ja ruumala vaheline sõltuvus. Katseseade on kujutatud joonisel 83. Algul purki vett ei valata. Märgitakse silfoonis oleva õhu ruumala ja temperatuur. Siis asetatakse silfoon purki kuuma vette, mõõdetakse vee temperatuur ja loetakse rõhk. Seejärel korratakse



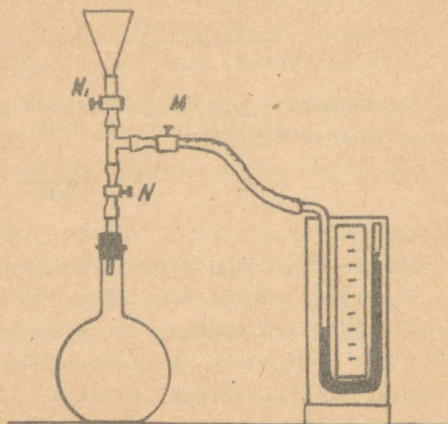
se katset jahedama veega, valides mitu temperatuuri väärtust. Katseandmed märgitakse tahvlile tabeli kujul.

| P    | V   | T°K | $\frac{PV}{T}$ |
|------|-----|-----|----------------|
| 1    | 0,7 |     |                |
| 1,55 | 0,5 |     |                |
| 0,9  | 0,9 |     |                |

3. Katseid küllastatud aurude kohta lihtsate vahenditega.

1. Küllastatud auru rõhk on erinevatel vedelikel erinev. Klaaslehtrist, klaaskolvist, kruvinäpitsast, U-toru manomeetrist ja kummivoolikutükkidest koostatakse joonisel 84 kujutatud katseseade. Lehtrisse valatakse piiritust või eetrit, avatakse näpitsad  $N_1$  ja N (M on suletud) ja lastakse vedelikul voolata kolbi. Näpits  $N_1$  suletakse (N ja M on avatud), piiritus kolvis aurub ja auru rõhk tekitab manomeetritorudes vedelikunivoode vahe.

Katset korratakse mingi teise vedelikuga (võib kasutada ka atsetooni) ja jälgitakse selle küllastatud auru rõhku. Katsest tehakse järeldus.



Joonis 84.

2. Küllastatud auru rõhu sõltuvus temperatuurist. Katse-seade on sama, mis eelmises katses. Kolbi tekitatakse küllastatud eetri või piirituse aur. Märgitakse toaõhu temperatuur ja sellele vastav piirituse või eetriauru rõhk. Siis paigutatakse kolb suuremasse anumasse vette, mille temperatuur on

kõrgem toaõhu temperatuurist ja loetakse küllastatud auru rõhk. Katset korratakse soojendades anumas vett või valades sellesse kuuma vett.

Katseandmed kantakse tabelisse.

| Temperatuur °C | 20 | 40 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|----------------|----|----|----|----|----|----|
|----------------|----|----|----|----|----|----|

Küllastatud  
auru rõhk

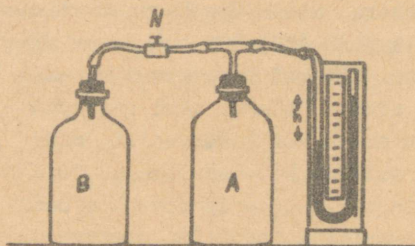
Katseandmetest joonistatakse graafik, millest järeldatakse auru rõhu sõltuvus temperatuurist. Võrreldakse vastavat seadust gaaside kohta.

Ülesanne.

Põhjendada molekulaarkineetilise teooria abil, miks ei sõltu küllastatud auru rõhk temperatuurist lineaarselt.

3. Küllastatud auru rõhu sõltumatus auru ruumalast jääval temperatuuril.

Katseseade on kujutatud joonisel 85. Pudelis A paigutatakse ampull või väike katseklaas eetri või piiritusega. Katseklaas suletakse korkiga. Näpits N suletakse. Pudelit raputatakse nii tugevasti, et katseklaas või ampull puruneks. Sellest



Joonis 85.

vabanenud vedelik aurub ja ruum pudelis muutub aurust küllastatuks. Märgitakse manomeetri näit. Kummivoolik, millel on näpits N, ühendatakse teise samasuguse pudeliga, mille korgist on läbi pandud klaastoru. Avatakse näpits ja aur pudelist A levib ka pudelisse B. Auru ruumala suureneb kahekordselt, kuid manomeeter näitab endist rõhku h.

Katsest tehakse järeldus.

Küsimusi.

1. Kas võib seda katset sooritada ampulli või katseklaasi



purustamata?

2. Kas muutub auru mass, kui pudel A ühendada pudeliga B?

3. Kas kehtib Boyle-Mariotte'i seadus küllastatud auru kohta?

4. Kas kehtib küllastatud auru kohta gaasi oleku võrrand?

Kirjandus.

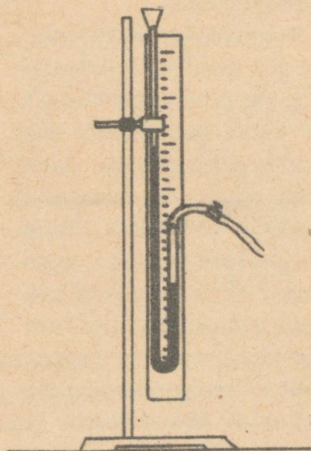
1. Ajakiri "Физика в школе" nr.4, lk. 56-59.

2. И.В.Румянцев, Демонстрации при изучении свойств паров.

3. Katseid gaasi seaduste kohta lihtsate vahenditega.

1. Boyle-Mariotte'i seadus.

1. variant. Võetakse U-kujuline klaastoru, mille üks haru on võimalikult pikk (100-150 cm), teine aga lühike. Mõlemad haru otsad on esialgu avatud. Lühema haru otsa pannakse kraan või kummivoolik, mida saab sulgeda kruvinäpitsaga. Toru kinnitatakse koos demonstratsioonimõõtjoonlauaga statiivi näpitsasse (joon. 86). Kraan või näpits avatakse ja torusse valatakse lehtri kaudu vett. Vedelikunivood toru mõlemas harus jäävad ühekõrgusele. Kraan või näpits suletakse. Toru lühemas harus on õhk välisõhust eraldatud ja on rõhu all 1 at. Toru pikema haru otsas oleva lehtri kaudu valatakse torusse vett juurde. Õhusammas toru lühemas harus lüheneb. Mõõdetakse selle pikkus ja vedelikunivoo vahe harudes. Valatakse vett juurde ja korratakse mõõtmisi.



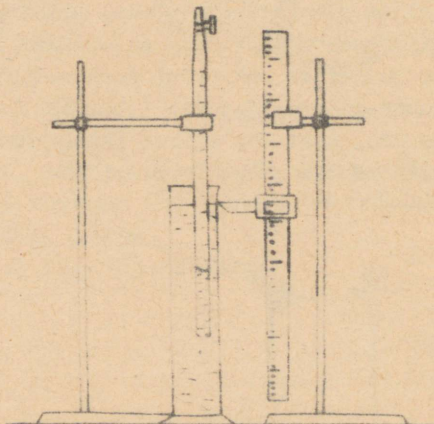
Joonis 86.

| Veesamba kõrgus<br>12 (mm) | Veesamba rõhk $p_2$<br>(mm Hg) | Üldine rõhk<br>$p = p_0 + p_2$ | Õhusamba kõrgus toru kinnises otsas<br>$1 \sim V$ | Rõhu ja ruumala korrutis<br>$pV \sim p_1(\text{torr. m})$ |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|

Kui toru sisemine läbimõõt on ühesugune, siis  $1 \sim V$  ja  $pV \sim p_1$ . Kõvera klaastoru asemel võib katses kasutada ka sirgeid torusid, mis on õhendatud küllalt pika kummivoolikuga. Suletud otsaga klaastorusse jääb õhk, mille rõhku saab suurendada tõstes avatud toru kõrgemale.

2. variant. Boyle-Mariotte'i seaduse demonstreerimine büreti abil. Esiteks määratakse ruumala büreti skaala viimase jaotuskriipsu ja kraani vahel. See ruumala täidetakse veega, mis siis kraani kaudu valatakse väiksesse mensuuri. Avatud kraaniga bürett kinnitatakse statiivi näpitsasse nii, et kraan oleks ülespoole. Büreti teine ots pistetakse kõrgesse silindrisse vette nii, et mitu skaala jaotust oleks vee all.

Vesi silindris ja büretis on ühel ja samal tasemel. Kraan suletakse ja bürett kas surutakse sügavamale vette või tõstetakse kõrgemale. Iga kord muutub veenivoo büretis (joon. 87) ja iga kord määratakse õhu ruumala büretis (skaala näidule lisada ruumala kraani ja skaala viimase jaotuskriipsu vahel). Joonlauaga mõõdetakse veenivoode vahe silindris ja büretis. Õhk büretis on rõhu all, mis võrdub atmosfääri rõhu ja vee nivoode



Joonis 87.

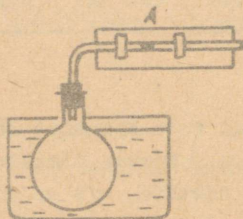


vahest tingitud rõhu summaga.

Katseandmed kantakse eelmises variandis näidatud tabelisse.

## 2. Gay-Lussaci seadus.

Seda seadust saab demonstreerida joonisel 88 kujutatud lihtsa katseriistaga, mis asetatakse teatud temperatuuriga vette. Ruumala suurenemist mõõdetakse torus oleva tilga A nihkumise järgi. Nähtust vaadeldakse muutes vee temperatuuri.

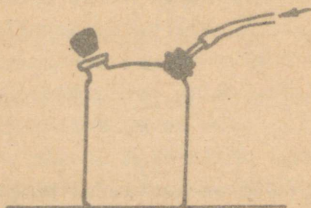


Joonis 88.

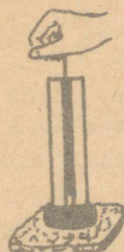
Gay-Lussaci seadust võib uurida ka laboratoorse tööga: "Õhu termilise paisumiskoeffitsiendi määramine". Ühendatud gaaside seadust uuritakse ka laboratoorse tööga. Mõlemate tööde juhendid õpilastele on toodud raamatus A.Emmo jt., "Füüsika praktikumi tööjuhendid".

## 3. Adiabaatne protsess.

Seda näidatakse kas kahekaelaga pudeli või pudeliga, millel on all harutoru. Pudeli niisutatakse seestpoolt vee ja piirituse seguga ning suletakse. Õhutihendus-pumbaga pumbatakse pudelisse õhku kuni kork sellelt ära lendab või järsu liigutusega ära võetakse (joon. 89). Sel momendil on pudelis näha udu, sest õhu kiirel paisumisel see jahtus. Katse on paremini nähtav valge ekraani ees.



Joonis 89.



Joonis 90.

Õhu kuumenemist kokkusurumisel näidatakse õhk-tulesüütaja-ga (joon. 90). Selle kolvis olevat õõnsust vähendatakse plas-tiliini lisamisega sinna. Plastiliinile tilgutatakse veidi eetrit. Silinder asetatakse lauale pandud pehmele alusele vertikaalasendisse ja järsu liigutusega tõugatakse kolb si-lindri põhja. Silindris on näha leegi sähvatust.

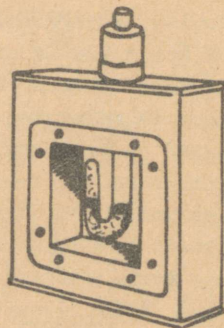
5. Vedeliku keemisel on auru rõhk võrdne välisrõhuga.

Katse demonstreerimiseks võetakse kinnise otsaga elavhõbe-manomeeter. Selles on elavhõbeda pinnal kinnises otsas mõni tilk puhast vett. Toru on pandud läbi kummikorgi, mis suleb klaasseintega metallist kambrikese (joon. 91).

Enne katset valatakse kambri-kesse vett, nii et selle tase 1-2 cm võrra ületaks manomeetri sule-tud haru. Kambrike paigutatakse universaalprojektori ette optili-sel pingil ja muudetakse pilt pä-ripidiseks (kasutades kas ümber-pööravat prisma või tasapeeglit).

Kambrikest soojendatakse ette-vaatlikult nii, et leek ei puudu-taks kambrikese klaasseinu ega kondensorit. Vesi manomeetri lühe-mas harus aurub. Kui temperatuur on tõusnud vee keemistäpini, siis on elavhõbeda tase toru mõlemas harus ühel ja samal tasemel. See näitab, et vedeliku auru rõhk on võrdne atmosfääri rõhuga.

Ülimalt ettevaatlik tuleb olla elavhõbedaga!



Joonis 91.



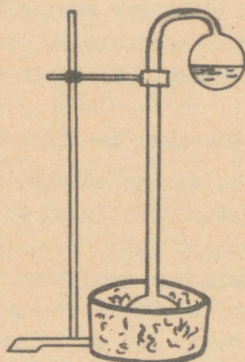
## 6. Krüofoor<sup>1)</sup>.

Krüofoori ja katset sellega kujutab joonis 92. Krüofooris on puhas vesi ja selle aur, kuna õhk on eemaldatud. Riistaga saab ilmekalt näidata, et vedeliku aurumiseks on vaja soojust, toimugu siis aurumine mistahes temperatuuril.

Valmistatakse jahutav segu (näiteks 2 kaaluosa peenekstambitud jääd või lund ja 1 kaaluosa keedusoola). Vesi krüofooris viiakse selle kõvera otsa lähedal olevasse kerasse. Krüofoori tühi kera paigutatakse jahutavasse segusse ja kaetakse üleni seguga. Alumises kerask, kus temperatuur on madal, kondenseerub veeaur, seega valitseb riist

tas väga madal rõhk, mille tagajärjel ülemises kerask vesi väga kiiresti aurub. Aurumiseks on vaja soojust, mida saadakse ülemises kerask olevast veest, mille temperatuur langeb ja vesi muutub jääks. Juhul, kui ülemises kerask ei teki jääd, tuleb toru kallutada nii, et pisut vett läheks alumisse kerasse. Jääkristallid satuvad selle tagajärjel ülemisse kerasse vette ja seal algab kiire kristallide tekkimine.

Märge. Krüofoori tuleb käsitseda ettevaatlikult, kuna selle seinad on õhukesed ja sisemises rõhk väga madal.



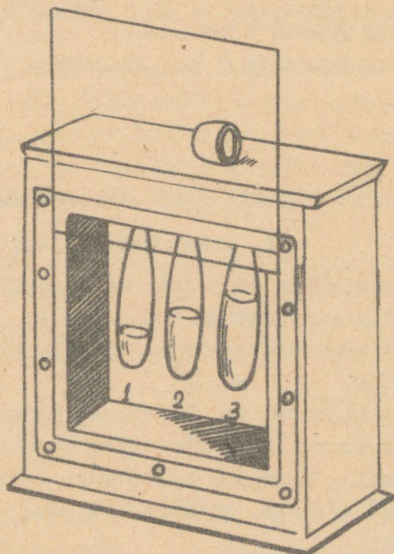
Joonis 92.

1) Kryos (kreeka keel) - külm, jää.

## 7. Eetri auru kriitilise oleku jälgimine Avenariuse riistaga.

Vastavaks katseriistaks on metallist kambrike, mille vastasseinad on klaasist. Kambrikesse on riputatud kolm klaas-ampulli, millest igaüks on erinev kogus eetrit. Eetri kogus ampullis on selline, et ampullis nr.1 (joon. 93) on kriitilisel temperatuuril rõhk madalam kriitilisest rõhust, ampullis nr.2 võrdne ja ampullis nr.3 kõrgem kriitilisest rõhust.

Demonstreerimisel riputatakse kambrike koos ampullidega staativile ja soojendatakse seda piirituslambi leegil või elektripliidil. Ampullidest tekitatakse ekraanile selge päripidine kujutis. Võib jälgida vedeliku aurumist ja jahtumisel auru kondenseerumist. Eriti huvitav on jälgida ampulli nr.2. Menisk muutub soojendamisel sirgemaks ja lõpuks kaob kriitilisel temperatuuril  $193,8^{\circ}\text{C}$ .



Joonis 93.

Siis on ampull täidetud eetri gaasiga ja ampull on ühtlaselt läbipaistev. Soojusallikas kõrvaldatakse ja jälgitakse vastupidist protsessi (jahtumist). Ampullis nr.1 kondenseerub eetri aur kriitilisest temperatuurist madalamal, ampullis nr.3 üleminekul kriitilisest temperatuurist tekib aurumull, mis kasvab ja saavutab esialgse ruumala. Ampullis nr.2 tekivad jahtumisel voolused, kuna erinevates kohtades on aine erineva tihedusega. Kui temperatuur jõuab kriitilise lähedale, siis tekivad



kondensatsioonitsentrid, millede ümber vedelikupiisakesed tekivad ja kohe kaovad. Vaateväli muutub tumedaks - uduseks. Järsku muutub ampull läbipaistvaks ja tekib menisk.

Kambriakese aknad olgu katse demonstreerimisel suletud, sest ampullid võivad neis valitseva kõrge rõhu tõttu lõhkeda.

Kirjandus.

1. А.Еммо jt., Füüsika praktikumi tööjuhendid.
2. Ажакірі "Фізика в школі" 1963. nr.3 ja 1966. nr.5.
3. А.А.Покровский и др., Демонстрационные опыты по молекулярной физике и теплоте.
4. А.А.Марголис и др., Практикум по методике физики.

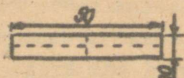
#### IX. Katseid elektrostaatikast.

##### 1. Elektrivälja jõujooned.

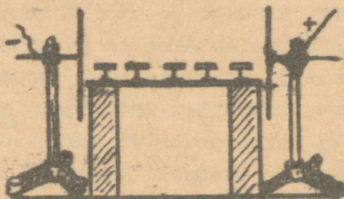
Elektrivälja jõujoonte nähtavastegemiseks kasutatakse klaasplaati mõõdetega 400 x 400 mm, mõjuelektrimasinat või muud kõrgepingeallikat ja omavalmistatud elektripendleid (joon. 94).

Elektripendel valmistatakse õhukesest paberist, 50 mm pikk ja 10 mm lai. Pabeririba keskkoha lõigatakse mõlemale poole sälk, murtakse see pikuti kokku ja asetatakse korgisse torgatud nõelale. Niisuguseid pendleid tuleb valmistada ca 20 tükki.

Elektripendlid paigutatakse korrapäraselt rõhtsalt asetatud klaasplaadile (joon.95). Plaadil otse lähedale paigutatak-



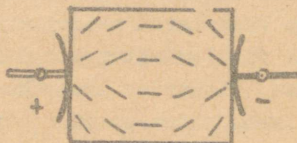
Joonis 94.



Joonis 95.

se isoleerivatesse statiividesse kinnitatud metallplaadid. Viimased ühendatakse kõrgepingeallika poolustega. Elektriväljas orienteeruvad pendlid elektrivälja jõujoonte sihis.

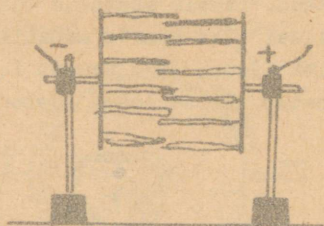
Kui tasased metallplaadid asendada poolsilindrikujuliste plaatidega, siis pendlite asetus on selline nagu joonisel 96.



Joonis 96.

b. Klaasplaadile kleebitakse stannioolist elektroodid kaks paralleelset riba, üks ketas, kaks ketast. Asetada klaasplaat kahele toele ja ühendada, kasutades plastiliini, elektroodid elektrofoormasina konduktoritega. Aeglaselt pöörates elektrofoormasina vändast tuleb klaasile puistata kas tükeldatud jõihi või mannat. Kübemed asetsevad piki jõujooni. Pilti võib näidata kas vari- või horisontaalprojektsioonis.

c. Homogeense elektrivälja pilti demonstreeritakse järgmiselt. Kahe metallplaadi külge kleebitakse ca 10 cm pikkused siidpaberiribad. Plaadid kinnitatakse vertikaalselt isoleerivatele statiividele ja ühendatakse elektrofoormasina konduktoritega. Masina käitamisel muutub paberiribade asend rõhtsaks, näidates homogeense elektrivälja jõujoonte asetust (joon.97).



Joonis 97.

Küsimusi.

1. Tuletada meelde veel katseid elektrivälja nähtavakstegevise kohta.
2. Kuidas rõhtsale klaasile paigutatud elektripendlite orientatsioon teha õpilastele nähtavaks?

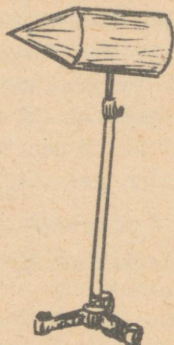


## 2. Ekvipotentsiaalpinnad ja -jooned

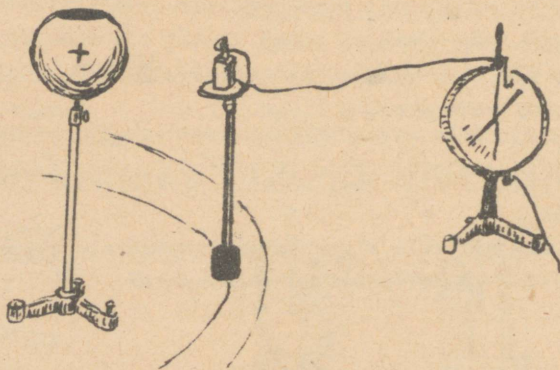
a. Maast isoleeritud metallkeha (joon. 98) laadides ühendada see elektrofoormasina ühe konduktoriga. Isoleeriva käepidemega varustatud proovikuulike ühendada Brauni elektromeetriga, mille kere maandatakse. Nihutades proovikuulikest mööda metallkeha pinda on näha, et elektromeetri näit ei muutu. Seega on juhi pind ekvipotentsiaalpind.

Andes metallkehale suurema laengu näitab elektromeeter kõrgemat potsentiaali, kuid keha igas punktis on see ikkagi ühesuurune.

b. Kasutatakse leek-sondi elektrivälja uurimiseks. Väikese küünla leeki (kõrgus 8–10 mm) asetatakse traadiots, millelt on isolatsioon kõrvaldatud. Traadi teine ots ühendatakse elektromeetri vardaga, mille mupp on kõrvaldatud ja metallkest maandatud. Lauale asetatud valgele paberile pannakse isoleerival alusel olev suurem metallkera, mis laetakse teatud potentsiaalini (joon. 99). Kerast 1,5–2 m kaugusele asetatakse elektromeeter. Viies leegi laetud kerale lähemale, näitab elektromee-



Joonis 98.



Joonis 99.

ter kõrgemat potentsiaali ja ümberpöörduvalt. Liigutada küünalt nii, et elektromeetri näit ei muutu. Kui kanda paberile küünla liigutamise tee, siis on näha, et see on ringjoon.

Küsimusi.

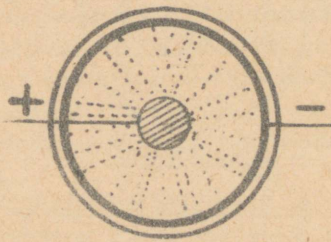
1. Miks ei või leek-sondi viia laetud kera lähedale?
2. Mis tähtsus on leegil?
3. Miks leek ei või olla suur?
4. Kuidas võib selle katse abil näidata, et välja punkti potentsiaal sõltub laengu suurusest keral?

### 3. Elektrivälja spekter projektsioonis.

Madalasse kristallisaatorisse valada 4-5 mm paksune kiht oliiv- või riitsinusõli, millesse sõeluda mannat. Kristallisaatorisse paigutada mitmesuguse kujuga metallkehi - elektroode (joon. 100), kasutades elektrofoormasinat või mõnda teist kõrgepingeallikat. Kristallisaatoris tekkinud jõujoonte spekter projitseerida kas lakke või ekraanile (vaata A.Emmo, V.Paju "Füüsika katseid kaheksaklassilises koolis", lk.26).

#### a. Väli kerakujulise keha

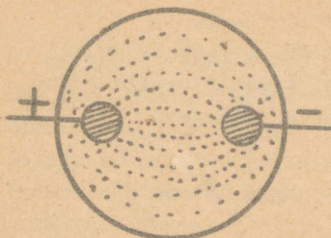
ümber. Juhtmega varustatud metallsilinder paigutada kristallisaatori keskohta, kristallisaatori külgselna juurde aga plekist metallrõngas, mis ühendada elektrofoormasina teise konduktoriga (joon. 100 a).



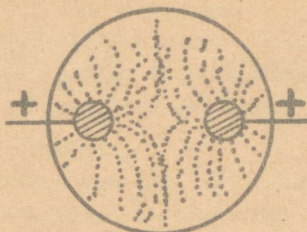
Joonis 100 a.

b. Väli kahe kerakujulise keha ümber. Kristallisaatorisse asetada elektroodideks kaks juhtmetega varustatud metallsilindrit, millest üks muuta katoodiks, teine anoodiks (joon. 100 b). Ühenimelistele laengutega kerade elektrivälja spektri demonstreerimiseks tuleb mõlemad metallsilindrid ühendada elektrofoormasina ühe ja sama konduktoriga, kuna teine konduktor maandatakse (joon. 100 c).





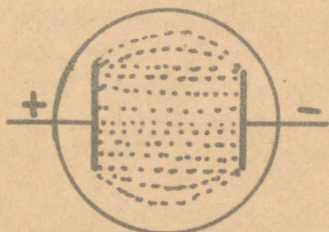
Joonis 100 b.



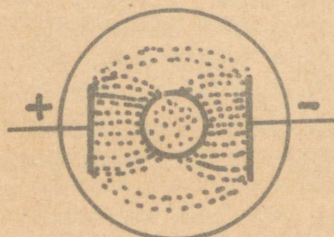
Joonis 100 c.

c. Homogeenne elektriväli. Kristallisaatorisse paigutatakse elektroodideks teineteisega paralleelselt kaks metallplaati. Plaatide vahel võib näha homogeense elektrivälja spektrit (joon. 100 d).

d. Metalli varjestav toime. Homogeensesse elektrivälja (eelmine katse) paigutatakse plaatide vahele metallrõngas. Rõnga sees manna ei korraldu (joon. 100 e).



Joonis 100 d.



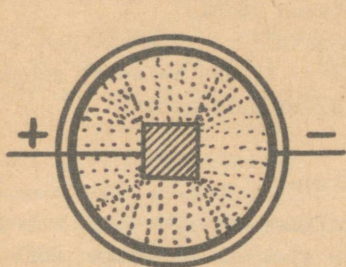
Joonis 100 e.

e. Elektriväli kuubikujuulise keha ümber. Kristallisaatorisse paigutada üheks elektroodiks metallist kuup, teiseks elektroodiks võtta plekist rõngas nagu katses a. Projektsioonis on näha, et kuubi servade juures on jõujoonte tihedus suurem kui tahkude juures (joon. 100 f).

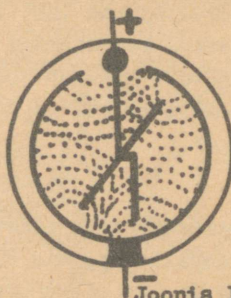
g. Brauni elektromeetri elektriväli. Plekist valmistada elektromeetri siluett (joon. 100 g). Nupp ja varras võtta üheks, korpus aga teiseks elektroodiks.

Lisaks eespoolkirjeldatutele võib projektsioonis näidata

mitmesuguse kujuga kehade elektrivälja spektreid.



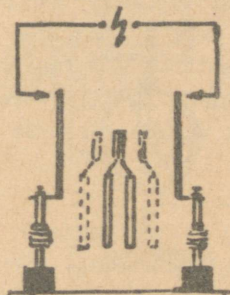
Joonis 100 f.



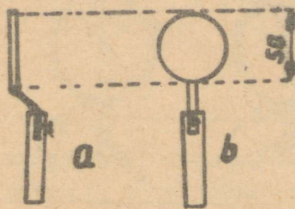
Joonis 100 g.

#### 4. Elektrostaatiline induktsioon.

Varrastega varustatud metallplaadid kinnitatakse isoleerivatele statiividele, mis on teineteisest ca 20 cm kaugusel (joon. 101). Kaks isoleerivate käepidemetega metallplaati viiakse homogeensesse elektrivälja eelmiste metallplaatide vahele nii, et need puudutaksid teineteist ja ühendatakse elektromeetri mupuga (kasutades isoleeriva käepidemega varustatud varrast). Elektromeeter ei näita laengut. Kui katset korrata nii, et isoleerivatel käepidemetel olevad metallplaadid elektriväljas enne teineteisest eemaldada ja siis ühendada üks plaat ühe ja teine plaat teise elektromeetriga, siis näitavad mõlemad elektromeetrid laengut. Näidata, et elektromeetritel on erinimelised laengud.



Joonis 101.



Joonis 102.



Kui katsed korrata, siis eemaldada metallplaatidelt enne laeng, tõmmates nad läbi piirituselambi leegi.

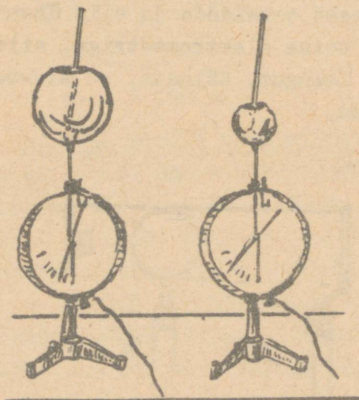
Isoleeriva käepidemega (polükloorviniül, kirjalakk jne.) plaadi ehitust kujutab joonis 102 a ja b, kus esimesel joonisel on plaati kujutatud külj- ja teisel eestvaates.

## 5. Elektrimahtuvus.

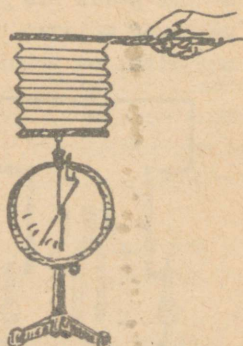
a. Isoleerivatele alustele asetatakse üks suurem ja teine väiksem metallann, mis ühendatakse elektromeetritega. Võib varustada ka ühe elektromeetri suurema ja teise väiksema metallõõneskeraga. Ühesuuruse kuulikesega, mis on isoleeriva käepidemega, kantakse elektrofoormasina konduktorilt laeng mõlemale anumale puudutades kuulikesega ammat seestpoolt (joon. 103), et laeng kuulikeselt anumale täielikult üle läheks. Elektromeetrid ei näita ühesugust hälvet. Miks?

b. Eelmise katseseadme abil näidatakse, et elektromeetrite laadimiseks ühesuguse potentsiaalini on vaja suuremale anumale anda suurem, väiksemale väiksem laeng.

c. Elektromeetritele asetatakse metallplaat ja sellele kinnitatakse stanniolpaberist kleebitud lõõts, mis varustatakse isoleeriva käepidemega (joon. 104). Lõõts laetakse elektro-



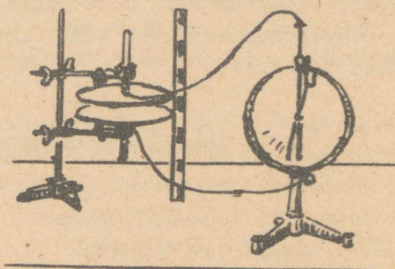
Joonis 103.



Joonis 104.

foormasinast. Surudes lõõtsa kokku näitab elektromeeter kõrgemat potentsiaali, venitades aga madalamat. Miks?

d. Millest ja kuidas sõltub plaatkondensaatori mahtuvus? Demonstreerida kahe teineteise suhtes nihutatava metallplaadiga. Plaadid ühendatakse elektromeetriga (joon. 105) ja laetakse. Muudetakse plaatide vahelist kaugust ja jälgitakse elektromeetri näitu. Tuuakse plaadid teineteise lähedale ja



Joonis 105.

viiakse nende vahele erinevaid dielektrikuid, nagu klaas, eboniit jne. ning jälgitakse elektromeetri näidu muutumist.

Nihutades ühte plaati teise plaadi suhtes kõrvale jälgitakse elektromeetri näidu muutumist.

Kolmest viimasest katsest tehakse järeldus.

e. Laetud elektromeetri kuuliile lähendatakse käsi. Osuti hälve väheneb. Käte eemaldamisel muutub hälve endiseks. Järelikult sõltub keha elektrimahtuvus ka teda ümbritsevatest kehadest.

f. Elektromeetri vardale asetatakse lakkisolatsiooniga metallplaat ja laetakse elektromeeter. Plaadile lähendatakse teine, samasugune lakkisolatsiooniga plaat, mis käe kaudu on maandatud. Ülemise plaadi võib asetada alumisele plaadile, sest lakikiht ei lase laengut alumisest plaadist ülemisse üle minna. Kui eemaldatakse ülemine plaat, siis näitab elektromeeter jällegi endist potentsiaali. See näitab, et laenguid pole elektromeetrilt lahkunud.

## 6. Kondensaatorite liigid.

1. Elektrolüütkondensaator avatakse ja näidatakse selle ehitust: elektrolüüdiga immutatud paberit, alumiiniumlehte ja oksiidikihti sellel, mis on dielektrikuks. Seletamisel saab kasutada ka vastavat tabelit.

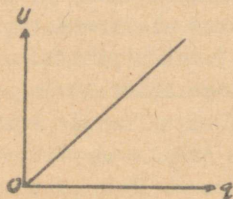


2. Muudetava mahtuvusega kondensaatori töötamist demonstreeritakse katsega. Demonstratsiooni-kondensaatori klemmid ühendatakse elektromeetriga. Pööratakse liikuvat plaatide süsteemi, elektromeetri näit muutub.

3. Tutvustatakse mitut tüüpi kondensaatoreid, mis on monteeritud paneelile.

## 7. Laetud kondensaatori energia.

1. Kondensaatoripatarei (ca  $60 \mu\text{F}$ ) laetakse ja tühjendatakse siis läbi taskulambipirni, mis selle tagajärjel sähvatab põlema. Õpilased näevad, et laetud kondensaatori energia muundus lambi hõõgniidi siseenergiaks. Laadimisel tõusis kondensaatori potentsiaal  $U$  võrdeliselt talle antud laenguga  $q$  (joon. 106). Potentsiaalini  $U$



Joonis 106.

laetud kondensaatori keskmine potentsiaal on  $U_K = \frac{U}{2}$ .

Laetud kondensaatori energia  $W_e$  on võrdne laadimistööga  $A$ , seega  $W_e = A = qU_K$ . Kuid  $q = CU$  (seosest  $C = \frac{q}{U}$ ), siis

$$W_e = \frac{CU^2}{2}$$

2. Saadud tulemust illustreeritakse järgmiste katsetega. Esiteks laetakse kondensaatoripatarei madalpingelisest vooluallikast (pinge 20–30 V), siis kõrgepingelisest (300–400 V). Tühjendades patarei ühel või teisel juhul läbi taskulambipirni näeme, et lambike sähvatab heledamini siis, kui patarei oli laetud kõrgema potentsiaalini. Katset korratakse muutes kondensaatoripatarei mahtuvust (ühendussvarda nihutamise teel), kuid laadides ühe ja sama potentsiaalini. Lambikese helenduse järgi otsustatakse, et laetud kondensaatori energia sõltub kondensaatori mahtuvusest.

Kasulik on puuditada ka küsimust, kus asub ja mis laadi on laetud kondensaatori energia. Selleks teeme järgmise arvu-

tuse:  $C = \frac{\epsilon S}{d}$  (plaatkondensaatori mahtuvus) ja  $U = E \cdot d$ , siis

$$W_e = \frac{CU^2}{2} = \frac{\epsilon S E^2 d^2}{2d} = \frac{\epsilon V E^2}{2},$$

kus  $V = Sd$  on plaatide vahel olev ruumala. Siit selgub, et energia paikneb plaatidevahelises ruumalas ja on võrdeline väljatugevuse  $E$  ruuduga.

Võib defineerida kondensaatori. See on dielektrikuga eraldatud juhtide süsteem, millesse võib koguda elektrilaenguid ja elektrivälja energiat.

Kirjandus.

1. А.А.Марголис и др. Практикум по методике физики, Учпедгиз 1960.
2. Р.Гирке, Г.Шпрокхоф, Эксперимент по курсу элементарной физики, ч. 5. "Просвещение" 1967.
3. Н.М.Шахмаев, С.Е.Каменецкий, Демонстрационные опыты по электричеству, Учпедгиз 1963.
4. А.Емо, V.Paju, Füüsika katsed kaheksaklassilises koolis, "Valgus" 1969.

## X. Ohmi seadus.

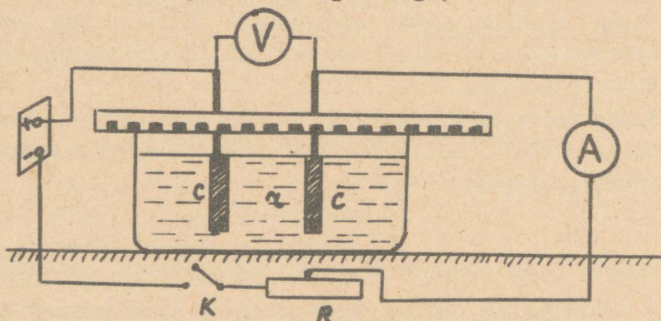
### 1. Ohmi seadus kogu vooluringi kohta.

a. Pikka klaasvanni, milles on väävelhappe vesilahus, asetatakse kaks süsielektroodi, mis ühendatakse vooluringiga nii, nagu on näidatud joonisel 107. Vannile asetatakse mõõtjooland, mis lubab mõõta elektrodide vahelist kangust. Iingreostaat viiakse hästi väikesele takistusele ja sõeplaadid asetatakse teineteisest sellisele kaugusele, et voolutugevus oleks väljendatud mingi ümarguse arvuga. Suurendatakse plaatidevahelist kangust 2 või 3 korda ja märgitakse ampermeetrit voolutugevus. Selgub, et vedelikusamba takistus on võrdeline samba pikkusega. Edasi näidatakse, et vedelikusamba takistus sõltub ka ristlõikepindalast.

b. Ohmi seaduse kehtivust kogu vooluringi kohta võib näidata kas kroonhappe või Volta elemendiga. Kroonhappe element



koosneb 20%-sest kroomhappekaaliumist ja väävelhappe lahusest, milles on amalgaamitud tsinkplaat ja süsi. Tsinkplaat tuleb katta amalgaamiga tõmbekapis või lahtise akna juures. Selleks puhastatakse tsinkplaat liivapaberiga, valatakse madalasse

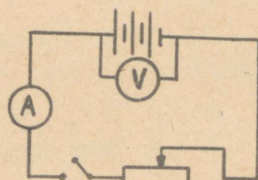


Joonis 107.

tassi väävelhapet ja mõni tilk elavhõbedat. Vana hambaharjaga kaetakse tsinkplaat elavhõbeda amalgaamiga (kasutada kummikindaid). Elektroodid paigutatakse pikka klaasvanni. Saadud element ühendatakse vooluringi, mille skeem on toodud joonisel 108.

Avatud vooluringi korral näitab voltmeeter elemendi elektromotoorset jõudu. See on kroomhappe elemendi puhul 1,9 V ja Volta elemendi puhul ca 1 V, kuid viimase puhul langeb seekiiresti.

Vooluring suletakse ja viiakse läbi rida katseid muutes reostaadi takistust. Katseandmed kantakse tabelisse.



Joonis 108.

| Emj.<br>(V) | Voolutug.<br>I (A) | Takistus<br>R (oomi) | Sisetakistus<br>$r = \frac{U}{I}$ | $R + r$ | $I(R + r)$ |
|-------------|--------------------|----------------------|-----------------------------------|---------|------------|
|-------------|--------------------|----------------------|-----------------------------------|---------|------------|

Kui võrrelda esimese ja viimase veeru arve, siis võib kirjutada, et  $E = I(R + r)$  ehk  $I = \frac{E}{R + r}$ .

## 2. Vooluallika elektromotoorne jõud ja klemmipinge.

Joonisel 108 toodud skeemi järgi koostatakse vooluring. Kasutada seejuures demonstratsiooniampermeetrit (šunt 3 A) ja voltmeetrit (5 V).

Kui vooluring on avatud, siis selles puudub vool ja voltmeeter näitab vooluallika elektromotoorset jõudu ( $E$ ). See märgitakse tabelisse. Vooluring suletakse ja jälgitakse voltmeetri näidu vähenemist. Vähenedes vooluringi takistust veelgi suureneb voolutugevus ja väheneb voltmeetri näit. Suletud vooluringi puhul näitab voltmeeter vooluallika klemmipinget ( $U_k$ ).

Andmed märgitakse tabeli kujul.

| Voolutugevus<br>I (A) | Elektrom. jõud<br>E (V) | Klemmipinge<br>$U_k$ (V) |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|

Kui vooluallika sisetakistus on  $r$  ja välistakistus  $R$ , siis Ohmi seaduse järgi kogu vooluringi kohta on:

$$E = Ir + IR,$$

kus  $IR$  on vooluallika klemmipinge ehk pingelang välisahelas ( $U_k$ ) ja  $Ir$  on pingelang vooluallika sees ( $U_s$ ). Järelikult

$$E = U_k + U_s.$$

Katsest on näha, et voolutugevuse ( $I$ ) suurenedes väheneb vooluallika klemmipinge. Lühise puhul on see minimaalne. Voolutugevuse vähenedes suureneb klemmipinge ja on vooluringi katkemisel võrdne elektromotoorse jõuga. Kuid alati on klemmipinge ja pingelangu summa vooluallika sees võrdne vooluallika elektromotoorse jõuga.

Nüüd võib defineerida vooluallika elektromotoorse jõu ja klemmipinge. Vooluallika elektromotoorne jõud on põhjus, mis tekitab ja säilitab pinget; seda iseloomustab energia, mida peaks kulutama vooluallikas selleks, et viia ühiklaengut läbi kogu vooluringi (sise- ja välisosa).

Klemmipinget iseloomustab energia, mida kulutab vooluallikas



ühiklaengu nihutamisel ainult läbi vooluringi välisosa.

### 3. Elementide ühendamine patareiks.

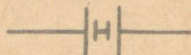
2, 3 jae. kuivelementi ühendatakse patareiks järjestikku. Tehakse järeldus järjestikku ühendatud elementide patarei elektromoteerse jõu kohta.

Sama katsed korratakse paralleelselt ühendatud elementide patareiga.

Ühendatakse patareiks 3 elementi ühe- ja 2 elementi vastasuunaliselt ning mõõdetakse sellise patarei emj.

Ühendatakse kaks elementi patareiks nii, nagu on näidatud joonisel 109. Mõõdetakse sellise patarei emj.

Küsimusi.



1. Miks tuleb enne katsed tsinkplaat katta amalgaamiga?

Joonis 109.

2. Kuidas näidata seda, et pinge elektroodidel väheneb, kui vooluringi välistakistus suureneb?

3. Kuidas näidata seda, et elemendi emj. ei sõltu sisetakistusest?

### 4. Traadi takistuse sõltuvus temperatuurist.

a. Peenikesest raudtraadist, mille pikkus on ca 200 cm mähitakse tihedate keerdudega spiraal, mis ühendatakse madalavoldilisse vooluringi, milles on ampermeeter. Spiraali pikkus valitakse selline, et ampermeetri osuti kalduks skaala äärmisesse asendisse. Spiraali kuumutatakse leegil, jälgitakse seejuures ampermeetri näidu vähenemist.

b. Raudtraadist spiraal mähitakse klaastorule ja ühendatakse spiraal patarei vooluringi koos 2-3-voldise lambiga. Spiraali takistus ja patarei emj. valitakse nii, et lambike vaevalt helendub. Savianumas valmistatakse süsihappelume ja eetri, piirituse või atsetooni segu (puitlabidakesega), mille temperatuur on ca  $-78^{\circ}\text{C}$ . Traatspiraal pistetakse süsihappelu-

me segusse. Lambike hakkab heledamini põlema. Miks?

Eksperimentaalne ülesanne.

Õõmeetriga mõõdetakse külma hõõglambi takistus. Seejärel määratakse selle takistus Ohmi seaduse najal siis, kui lamp helendub normaalselt. Miks tulemused erinevad?

Küsimusi.

1. Miks kasutatakse katsetes traadi takistuse temperatuurist sõltuvuse demonstreerimiseks raudtraati?

2. Miks valitakse eelmises küsimuses nimetatud traat küllalt pikk ja peenike?

3. Miks ei kasutata jahutava seguna puhast süsihappelund, vaid süsihappelume ja eetri, piirituse või atsetooni segu?

Kirjandus.

1. A.A.Марголис и др. Практикум по методике физики, Учпедгиз 1969.

2. Р.Гирке, Г.Шпрокхоф, Эксперимент по курсу элементарной физики, Ч. II.

3. Ajakiri "Физика в школе" 1947. nr.1; 1953 nr.4 ja 1955 nr.4.

## XI. Termoelekter.

### 1. Termopaar.

Termopaariks nimetatakse kinnist vooluringi, milles on kaks erinevatest metallidest jootekohta. Kui jootekohtade temperatuurid on erinevad, siis läbib vooluringi vool, mida põhjustab termoelektromotoorne jõud  $E$ . See on võrdeline jootekohtade temperatuuride  $t_1$  ja  $t_2$  vahega ( $t_1 - t_2$ ).

$E = c (t_1 - t_2)$ , kus  $c$  on konstantne arv juhul, kui jootekohtade temperatuuride vahe ei ole väga suur. Arv  $c$  ei küüni mõnekümne millivoldini kraadi kohta.



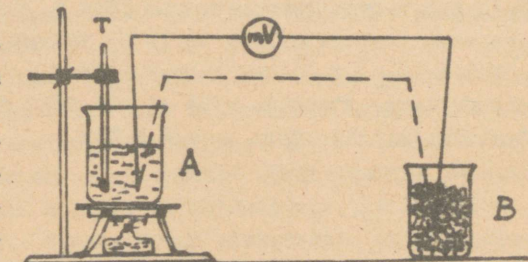
## 2. Termopaari valmistamine.

Erinevad metallid, milledest võib valmistada termopaare, on: raud - konstantaan, raud - vask jne.

Kahe erinevast metallist traadi (30-40 cm pikkused) otsad keerutatakse tihedalt kokku. Neid võib kokku mähkida ka peenikese traadiga. Otsad keevitatakse kokku elektriikaare leegis. Kasutades vahelduvvoolu pingel 220 V, tuleb kaarlambiga järjestikku lülida reostaat takistusega 25-36 oomi, mis kannatab voolu 5-6 A. Töötamisel tuleb kasutada tumedaid prille või vaadata leeki ainult läbi tahmatud või värvilise klaasi. Kahe erinevast materjalist traadi kokkukeerutatud ots pistetakse hetkeks kaarleegi sisse ja kastetakse siis booraksisse. Seejärel pannakse kokkukeerutuse koht uuesti leegi sisse, kus see kokku sulab. Pärast jahtumist kõrvaldatakse peenike traat, millega ühenduskoht oli kokku mähitud.

## 3. Termopaari gradueerimine.

Koostatakse joonisel 110 kujutatud katseseade. Anumasse A valatakse vesi, millesse paigutatakse termopaari üks jootekoht ja termomeeter T. Anumasse B pannakse jää või lume ja vee segu (temperatuur  $0^{\circ}\text{C}$ ). Ühest ja samast materjalist juhtmete otsad ühendatakse millivoltmeetri või demonstratsioonivoltmeetri. Termopaarile võib anda ka joonisel 111 näidatud kuju. Siin on juhtmed paigutatud klaasist T-kujulisesse torusse. Torus olevad juhtmed on kaetud kummivoolikuga. Jootekohad ulatugu toru otsast 3-4 mm võrra välja. Üks jootekohadest hoitakse temperatuuril  $0^{\circ}\text{C}$ , teine kohas, mille temperatuuri tahetakse mõõta.



Joonis 110.

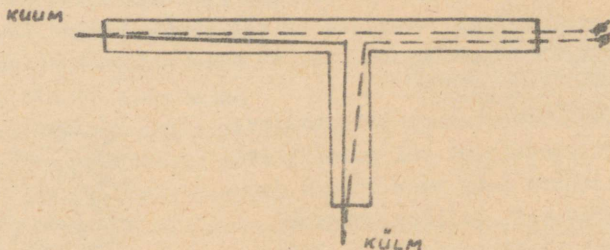
Tundlikum seade saadakse kui ühe termopaari asemel ühendada järjestikku 3-4 termopaari, mis asetatakse ühisesse Torusse.

Katse sooritamisel loetakse temperatuur iga 5 kraadi tagant ja samaaegselt märgitakse millivoltmeetri näit. Saadud andmeid kasutades joonistatakse millimeeterpaberile graafik  $E = f(t)$ , kus rõhtsale teljele kantakse  $E$  millivoltides ja püstteljele temperatuur.

Mitte väga suurtes temperatuurivahemikes on  $E = c\Delta t$ , kus  $c$  on sel juhul konstantne suurus. Katseandmetest määratakse valmistatud termopaari jaoks suurus  $c$  ( $\frac{mV}{deg}$ ).

Kasutades termopaari temperatuuri mõõtmiseks tuleb kasutada müügilolevat silda või ehitada see ise, kusjuures galvanomeeter tuleb ühendada silda.  $100^\circ$  puhul annab voltmeeter hällvet 2,6-3 jaotust, kusjuures iga jaotus vastab 1,2 mV-le.

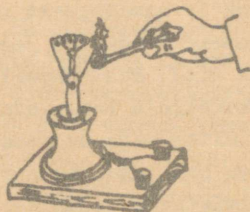
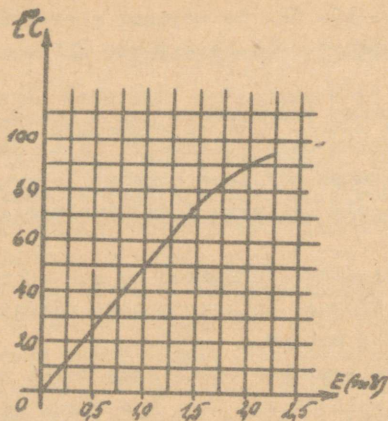
Termoelemendiga demonstreeritakse siseenergia muundumist elektriksi. Demonstreerimisel ja seletamisel tuleb näidata ja rõhutada seda, et termoelemendil on alati kaks jootekohta (joon. 110 ammas A ja ammas B). Seepärast ei ole esimestes katsetes termoelemendiga soovitatav kasutada müügilolevat termoelementi, kus on näha ainult üks jootekoht, kuna teine on peidetud. Katseid alata termoelemendiga, nagu see on kujutatud joonisel 110.



Joonis 111.

Katseandmed eespoolkirjeldatud termoelemendiga on kujutatud graafikul:





Joonis 112.

Kasutamiskõlbmatust elektrilambist võib ehitada ka joonisel 112 kujutatud termoelemendi.

#### 4. Termopatarei.

Lihtne on valmistada termopatarei savist lillepotile, millesse puuritakse spiraali mööda vajalik arv (näiteks 100–200) auke, võttes aukude vahemaaks ca 20 mm. Termopaarid valmistatakse näiteks raud- ja konstantaantraadist, lõigates traadi 130 mm pikkusteks tükkideks. Erinevate metallide otsad keevitatakse kokku ja asetatakse lillepotti puuritud aukudest läbi ning keevitatakse kokku traatide teised otsad. Seega jäävad ühed keevituskohad poti sisse, teised aga väljapoole (joon. 113).

Katse demonstreerimisel paigutatakse pott kas piirituselambi või gaasipõleti leegile, mistõttu poti sees olevad jootekohad soojenevad. Selline patarei näitab leegil elektromotoorset jõudu 1–2 V. Sellega võib süüdata madalavoltilise hõõglambi. Selle termopatareiga ühendatud demonstratsioonigalvanomeeter (voltmeeter) näitab voolu juba siis, kui lillepotti asetada käsi või hingata sellesse.



Joonis 113.

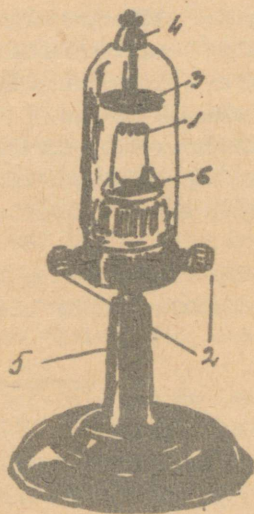
## XII. Elektrinähtused vaakuumis.

### 1. Isevalmistatud diod.

Kahe hõõgniidiga autolambil põletatakse ülepinge abil läbi teine hõõgniit. Selle kandevarras jääb anoodiks, kuna terveks jäänud hõõgniit jääb katoodiks. Selline diod ei ole küllalt näitlik, kuid võimaldab siiski vajalike katsete sooritamist.

### 2. Demonstratsioonid diod.

Õppevahendite tööstus toodab demonstratsioonidiodode (joon. 114), millel on kütteniit (1) katoodiks (klemmid 2), anood (3) on ühendatud klaasballooni ülemises otsas oleva klemmiga (4). Diod asetseb jalal (5). Klaasballooni siseküljel on gaasineelaja (6), mis neelab lambi töötamisel hõõgniidist eraldunud gaase ja aitab seega balloonis säilitada kõrgvaakuumi. Gaaside neelaja on moodustatud väikesest kogusest baariumist, magneesiumist või mingist muust aineist, mis on sadestatud klaaskonstruksioonile ja on nähtav tumeda sadestusena ballooni alumisel osal. Seal ei



Joonis 114.

takista see dioodi oluliste osade nägemist ega nende projitseerimist. Diodi normaalne küttepinge on 4V.



### 3. Katseid demonstratsiooni dioodiga.

a. Termoelektriline emissioon. Koostatakse dioodi küttevooluring akumulaatoripatareist, liugkontaktreostaadist (12-15 oomi) ja lülitist. Vooluring suletakse ja jälgitakse dioodi niidi hõõgumist.

Elektromeetrile asetatakse lakkisolatsiooniga kaetud metallketas ja sellele käepidemega varustatud samasuur lakkisolatsiooniga ketas. Viimane ühendatakse elektromeetri korpusel oleva kruvi kaudu maaga. Diodi anoodi ja elektromeetri varrast puudutatakse üheaegselt isoleeriva käepidemega varustatud vardaga. Kui eemaldada elektromeetrilt ülemine plaat, siis näitab elektromeeter hälvet. Laetud eboniit- või klaaspulga abil tehakse kindlaks elektromeetri laengu märk (see on negatiivne). Tugevdades dioodi niidi hõõgumist saab elektromeeter suurema laengu.

b. Elektromeeter laetakse positiivse laenguga ja selle varras ühendatakse dioodi anoodiga. Kui dioodi hõõgniit pannakse helendama, siis neutraliseeritakse sellega elektromeetri laeng. Miks?

Kui aga elektromeeter laadida negatiivselt, siis dioodi niidi hõõgumisel laeng elektromeetrilt ei kao. Miks?

### 4. Anoodvoolu saamine dioodiga.

Koostatakse joonisel 115 kujutatud katseseade. Reostaadi abil reguleeritakse dioodi hõõgniidi helendumine normaalseks. Anoodvooluringi ühendatakse demonstratsiooni galvanomeeter ja



Joonis 115.

alalisvoolu allikas ( $E = 20-30 \text{ V}$ ). Muutes küttevoolu tugevust võib jälgida anoodvoolu tugevuse muutumist.

Suurendatakse anoodpinget ja jälgitakse konstantse küttevoolu korral anoodvoolu tugevuse muutumist. Kui aga dioodi anood ühendada patarei katoodiga, siis galvanomeeter anoodvoolu ei näita. Viimane fakt on eriti oluline ja väärrib rõhutamist.

Kasutades kõrgepinge alaldit võib mugavalt demonstreerida anoodvoolu sõltuvust anoodpingest. Pinget reguleeritakse potentsiomeetriga.

## 5. Diod alaldina.

1. Magnetoelektrilise masina töötava mudeliga näidatakse vahelduvvoolu saamist. Selle demonstreerimiseks varustatakse demonstratsiooni voltmeeter eeltakistiga  $5 \text{ V}$  alalisvoolu jaoks. Pöörates rootorit aeglaselt on märgata galvanomeetri osuti kaldumist nullasendist kord vasakule, kord paremale. Suurendades järk-järgult rootori pöörlemiskiirust näeme, et osuti enam ei suuda teha võnkeid nii kiiresti, vaid ainult väriseb ja seisab nullasendi kohal. Siis lülitatakse generaatori vahelduvvoolu ringi eelnevalt heledalt hõõguma pandud niidiga diood. Pöörates müüd generaatori rootorit on näha, et galvanomeetri osuti kaldub müüd ainult ühele poole. See näitab, et vooluringis on ühesuunaline vool.

Seejärel demonstreeritakse võrguvoolu alaldamist ( $f=50 \text{ Hz}$ ). Selleks madaldatakse voolupinge  $12 \text{ V}$ -ni kasutades lahtivõetavat koolitransformaatorit. Akumulaatoripatareist saadava küttevooluga kuumitatakse dioodi hõõgniiti. Demonstratsiooni voltmeeter (alalisvool  $15 \text{ V}$ ) näitab dioodi vooluringis alalisvoolu.

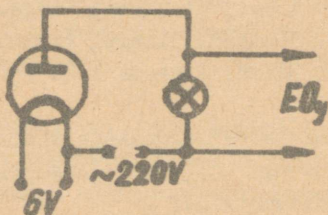
2. Kui on kasutada elektronostsillograaf, siis saab hästi näidata dioodi alaldavat toimet selle abil (J.Mendre "Füüsikakatseid elektronostsilloskoobi ja heligeneraatoriga", lk. 49).

Valgustusvõrku ühendatakse  $25 \text{ W}$ -ne hõõglamp, millega paralleelselt on ühendatud elektronostsillograaf. Ostsillograafi



ekraanile ilmub vahelduvvoolu graafik, mis näitab, et vool läbi lambi muutub nii suuruselt kui ka suunalt.

Poolperioodalaldi töö-  
tamispõhimõtte demonstree-  
rimiseks paigaldatakse  
diod demonstratsioonipa-  
neelile ja talle rakenda-  
takse anoodpinge valgus-  
tusevõrgust nagu on näidatud  
joonisel 116 (võib kasuta-  
da ka trioodi või mitme-

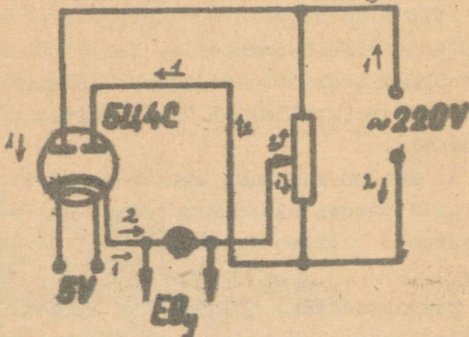


Joonis 116.

võrelist raadiolampi, mille võred ühendatakse anoodiga, muu-  
tes seega raadiolambi dioodiks). Kaksikdiodi (5Π 4C) kasuta-  
takse koolitüüpi kenotronaalidites, mille võib sealt laenata.  
Demonstreerimiseks ühendatakse anoodid omavahel kokku. Anood-  
ahelasse pannakse hõõglamp (25 W), millega paralleelselt ühen-  
datakse ostsillograafi y-sisend. Küttepinge võib lambile ra-  
kendada akumulaatorist või universaaltrafost. Kenotronil 5Π 4C  
on küttepinge 5 V. Sellise pinge saab universaaltrafo "6 V"  
tähisega pooli klemmidelt, kui trafo südamikku ankruga mitte  
sulgeda.

Ühendades vooluringi valgustusvõrguga, vaadeldakse ostsil-  
lograafi ekraanil poolperioodalaldina töötava diodi abil  
saadud pulseeriva voolu graafikut ja antakse vastav seletus.  
Kui diod lühistada, ilmub ekraanile vahelduvvoolu graafik.

Täisperioodalaldi  
töö uurimiseks tehak-  
se ühendused nagu  
näidatud joonisel 117.  
Tähisega 1 näidatud  
noodled osutavad voolu  
suunda vahelduvvoolu  
positiivse poolperioo-  
di korral, tähisega 2  
näidatud nooled - nega-  
tiivse poolperioodi



Joonis 117.

korral. Tarbijat (lampi) läbib mõlema poolperioodi korral ühesuunaline vool. Potentsiomeetrina ühendatud reostaadi liugkontakt peab olema keskkohal, vastasel korral ei ole poolperioodide amplituudid ühesugused.

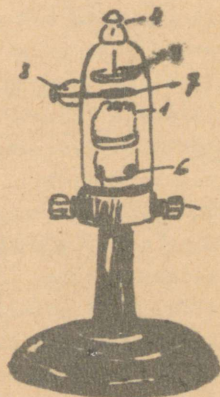
## 6. Kolme elektroodiga elektronlamp ehk triood.

Triood on oma ehituselt sarnane dioodiga, kuid tal on anoodi ja katoodi vahel, viimasele lähemale paigutatud, kolmas elektrood - võre. Demonstratsiooniks kasutatav triood on kujutatud joonisel 118.

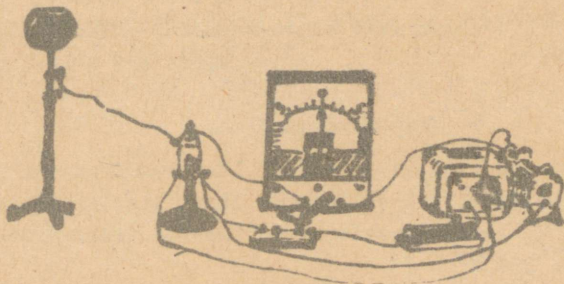
Peale dioodi (joon. 114) juures tutvustatud detailide on trioodis (joon. 118) võre 7, millega ühendamiseks on ballooni küljel kontaktkruvi 8. Balloonis on kõrgvaakuum rõhul  $10^{-6}$  mm Hg. Trioodi küttepinge on 3,5 V ja voolutugevus 1,5 A.

Trioodi detaile on sobiv tutvustada projektsioonis.

Võre toime demonstreerimiseks vajalik katseseade on toodud joonisel 119. Trioodi võre ühendatakse isoleerival vardal oleva metallkeraga. Pannes kütteniidi normaalselt helenduma vali-



Joonis 118.



Joonis 119.



takse anoodpinge 40-50 V, et galvanomeetri osuti oleks skaala 2. või 3-nda jaotuskriipsu kohal. Metallkerale lähendatakse elektriseeritud eboniitpulk (negatiivne laeng). Elektrostaatilise induksiooni tõttu tekib keral positiivne laeng ja võrel negatiivne. Võre negatiivne laeng tõukab hõõgniidist väljumud elektrone tagasi takistades nende liikumist anoodile, mille tagajärjel anoodvool nõrgeneb või isegi lakkab. Eemaldades eboniitpulga näitab galvanomeeter jällegi voolu.

Laetud klaaspulga (positiivne laeng) kasutamisel valitakse algul selline anoodpinge, et galvanomeeter veel voolu ei näita. Metallkerale lähendatakse ettevaatlikult positiivselt laetud klaaspulk. Galvanomeeter näitab voolu olemasolu. Pulga eemaldamisel vool kaob.

Võre tüüriivat toimet saab näidata võrele rakendatud pinge muutmise teel, mida saab teha taskulambipatareide lisamise või seleenalaldiga pinge muutmise. Eelmises katses kasutatud metallkera eemaldatakse ja trioodi katood ühendatakse alalispingeallika (taskulambipatareide) positiivse poolusega. Katood viiakse normaalse helendumiseni ja valitakse selline anoodpinge, et galvanomeeter näitaks veel voolu (2-3 skaalajaotust). Võrele antakse patareist negatiivne potentsiaal ja jälgitakse anoodvoolu tugevuse muutumist. Suurendada võre negatiivset potentsiaali veelgi, kuni lamp on "lukustatud".

Seejärel ühendatakse trioodi katood patarei negatiivse poolusega, võre aga positiivsega ja jälgitakse galvanomeetri näitu. Muudetakse võre potentsiaali ja jälgitakse anoodvoolu tugevuse muutumist.

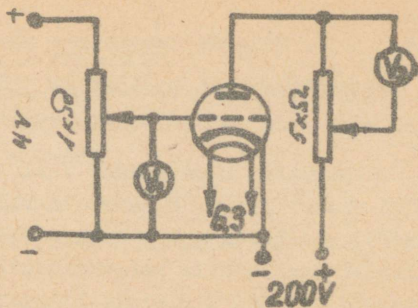
## 7. Triood võimendina.

1. Katseseade koostatakse joonisel 120 toodud skeemi järgi.  $V_1$  on demonstratsiooni voltmeeter lisatakistusega alalivoolule 5 V ja  $V_2$  demonstratsiooni voltmeeter lisatakistusega vahelduvvoolule 250 V.

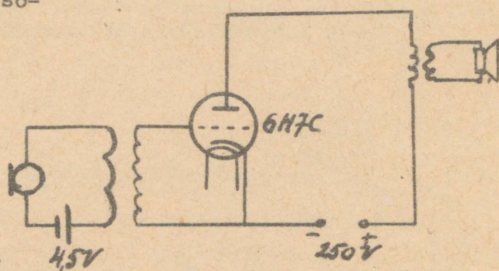
Trioodi kütte- ja anoodvool saadakse kenotronalaldist või elementide patareist (madalpinge 6,3 V). Takistus potentsio-

meetril valitakse selline, et võrepinge väikesed kõikumised (1-2 V) kutsuksid anoodahelas esile suured pingemuutused (10-20 V). Selles seisnebki trioodi võimendamine.

2. Heli võimendamist saab demonstreerida katsega, mille skeem on toodud joonisel 121. Kasutatakse raadiolampi 6H7C, mis sobib eelmises katses kasutatud paneelil olevasse pessa. Mikrofonivooluringi toidetakse taskulambipistareist. Sellesse vooluringi ühendatakse ka universaaltrafo pool 12 V; südamiku teisele harule asetatakse pool (120 + 220) V. Mikrofon viiakse muust katseseadmest võimalikult kaugemale ja sellena kasutatakse süsimikrofoni (ФЭП, 4,5 V) või omavalmistatud süsimikrofoni. Valjuhääldiks sobib trafoga varustatud valjuhääldi (4ГД 1, 4,5 V). Kui mikrofonile vastu toetatakse helisev helihark, või kõneldakse selle ees, siis kostab valjuhääldist tugev heli või kõne.



Joonis 120.



Joonis 121.

miku teisele harule asetatakse pool (120 + 220) V. Mikrofon viiakse muust katseseadmest võimalikult kaugemale ja sellena kasutatakse süsimikrofoni (ФЭП, 4,5 V) või omavalmistatud süsimikrofoni. Valjuhääldiks sobib trafoga varustatud valjuhääldi (4ГД 1, 4,5 V). Kui mikrofonile vastu toetatakse helisev helihark, või kõneldakse selle ees, siis kostab valjuhääldist tugev heli või kõne.

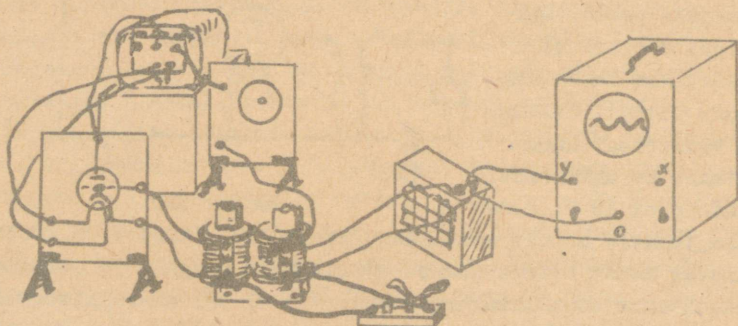


## 8. Trioodi kasutamine võnkumiste genereerijana.

(Väljavõtte brošüürist "Füüsika keskkoolis"

J.Hendre artikkel lk.112-114).

Generaator koostatakse X kl. füüsikaõpikus (joon.222) toodud skeemi järgi. Elektronlambiks on sobiv kasutada trioodi 6H7C, mis hästi sobib demonstratsioonpaneelile. Küttepinge rakendatakse lambile kenotronaaldis 6,3 V klemmidelt, anoodpinge 200 või 250 V klemmidelt. Avatud raudsüdamikule asetatakse universaaltransformaatori poolid nii, et 220 V tähisega pool jääks trioodi võreahelasse, 120 V tähisega pool moodustaks koos kondensaatoripatareiga võnkeringi. Katseseade on toodud joonisel 122.



Joonis 122.

Generaator pannakse kokku klassi ees õpilaste nähes. Ühte-aegu joonistatakse ühenduste tegemisel järkjärgult tahvlile ka generaatori skeem.

Lampgeneraatori töötamise demonstreerimiseks ühendatakse anoodvooluringi valjuhääldi. Kui on kasutada elektronostsillograaf, siis ühendatakse selle y-sisend paralleelselt kondensaatoripatareiga. Toitepinge rakendamisel hakkab generaator tööle, heli on kuulda valjuhääldis ja ostsillograafi ekraanil on näha ligilähedaselt sinoidsaalne kõver. Juhul, kui generaator tööle ei hakka, tuleb üks poolidest südamikul ümber

pöörata.

Järgneb generaatori töötamise seletamine.

Muutes kondensaatoripatarei mahtuvust või pooli induktiivsust (südameiku osalise sulgemisega) muutub helisagedus ja sinosoidi sagedus ostsilloskoobi ekraanil.

Kirjandus.

1. J.Hendre, Füüsikakatseid elektronostsilloskoobi ja heligeneraatoriga. "Valgus" 1968.
2. Н.М.Шахмаев, С.Е.Каменецкий, Демонстрационные опыты по электричеству, Учпедгиз 1963.
3. Г.Шпрокхоф, Эксперимент по курсу элементарной физики, ч. 5. "Просвещение" 1967.
4. А.А.Мокровский и др., Физический эксперимент в школе, "Просвещение" 1964.

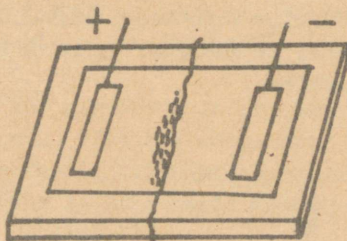
### XIII. Vool elektrolüütides.

#### 1. Ioonide liikumise demonstreerimine.

1. variant. Filterpaperi leht immutatakse keendsoola ( $\text{NaCl}$ ) või glaubrisoola ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) vesilahuses ja siis fenoolftaleini ja piirituse lahuses ning pannakse see puhata klaasplaadile (joon. 123), mis asetatakse õpilaste poole veidi kaldu.

Risti üle lehe pannakse

jäme puuvillane niit, mis on kastetud sööbenaatriumi ( $\text{NaOH}$ ) või sööbekaaliumi ( $\text{KOH}$ ) vesilahusesse. Kuna need lahused on sööbiva toimega, siis kasutatakse katse juures kummikindaid ja näpitsaid. Paber niidi all värvub vabarnapunaseks. Lehele asetatakse kaks metallplaati (Gorjatâkini komplektist) võrdsele kaugusele niidist. Plaadid ühendatakse alalisvoolualli-



Joonis 123.



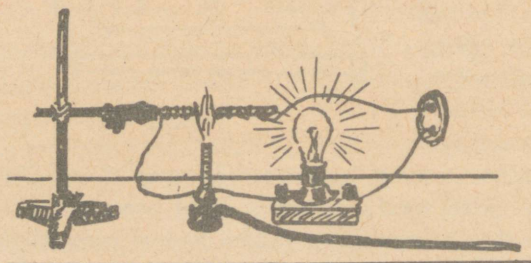
kaga (40–50 V). Sööbenaatriumi OH-ioonid liiguvad anoodi poole värvides paberi punaseks. Punase värvuse levimiskiiruse järgi saab määrata OH-ioonide liikumiskiiruse. Kiirus sõltub pingest ja on erinevatelioonidel erinev.

2. variant. Klaasplaadile võib asetada ka kaalisalpeetri ( $\text{KNO}_3$ ) vesilahuses immutatud filterpaberi. Põiki üle selle pannakse kaaliumpermanganaadi lahusesse kastetud jäme puuvillane niit või kaaliumpermanganaadi kristall. Vool juhitakse paberisse nii, nagu katse esimeses variandis.

On vaja tutvuda vastava osaga õpikust J.A.Štrauf "Füüsika II", kirjastus "Valgus", Tallinn 1965.a.

## 2. Klaasi elektrijuhtivuse demonstreerimine.

20 cm pikkuse klaastoru otste ümber mähitakse isolatsioonist vabastatud jäme vaskjuhe. Juhtme otste vahe jäetakse umbes 8–10 mm. Koostatakse joonisel 124 toodud skeemi järgi vooluring, milles on lamp 100–150 W. Vooluringi toidetakse vahelduvvoolu võrgust (pinge 220 V). Gaasi- või piirituselambi leegil kuumutatakse klaastoru helendumiseni. Kui toru juuba hõõgub, siis võib leegi kõrvaldada. Kuumalt juhib klaas elektrivoolu ja soojeneb selle mõjul. Seega püsib klaasi elektrijuhtivus.



Joonis 124.

### 3. Täiendavaid katseid.

1. Näidata, et destilleeritud vesi ei juhi elektrit. Juhtmete isolatsioonist vabastatud otsad pistetakse amumasse (klaasi) destilleeritud vette. Lamp ei põle, kuigi on ühendatud vooluvõrku, mille pinget on 220 volti. Kui destilleeritud vesi asendada kraanist võetud veega või tilgutada vette pisut happe- või soolalahust, siis lamp põleb.

2. Näidata, et lahuse juhtivus suureneb (takistus väheneb) temperatuuri tõustes. Võetakse keeduklaas destilleeritud veega ja ühendatakse vooluvõrku nagu eelmises katses. Lamp ei põle. Vette tilgutatakse pipetiga mõni tilk mingit happe- või soolalahust ja segatakse vedelikku klaaspulgaga kuni lamp nõrgalt helendub. Keeduklaas asetatakse asbestvõrgule leegil ja jälgitakse lambi helendumise muutumist. Kui pärast seda sama keeduklaas lahusega asetada lumme, siis lamp hakkab jällegi nõrgemini põlema.

3. Näidatakse vasksulfaadi ( $\text{CuSO}_4$ ) elektrolüüsi ja vase sadestumist sõepulgale. Selleks valmistatakse lahus, milles 500 ml-is destilleeritud vees lahustatakse 180 g vasksulfaati. Lahusele lisatakse 40 ml puhast värvilist happe, 60 ml piiritust ja destilleeritud vett, kuni lahust on 1000 ml. Voolutugevuseks valitakse ca 0,5 A ehk voolu tiheduseks 12 mA/cm<sup>2</sup>. Katse kestus on ca 10 minutit.

4. Näidata vasksulfaadi või glaubrisoola vesilahuse elektrolüüsi U-torus. Elektroodideks võetakse sõepulgad. Lahuse peale torus valatakse pisut fenoolftaleiinilahust piirituses. Kus tekib vabarnapunane värvus ja miks seal? Kasutada alalisvoolu!

5. Demonstreerida projektsioonis "Saturni puud". Õhukesse risttahukakujulisse klaasamumasse valatakse äädikhappe-pliilahust ("pliisuhkur"). Sellega tuleb olla ettevaatlik, sest see on mürgine! Elektroodideks võetakse pliiribad. Pliikristallid sadestuvad katoodile, mille tõttu tekivad seal taimedega sarnanevad moodustised.

6. Tutvuda Gorjatskini komplektiga elektrolüüsi katseteks!

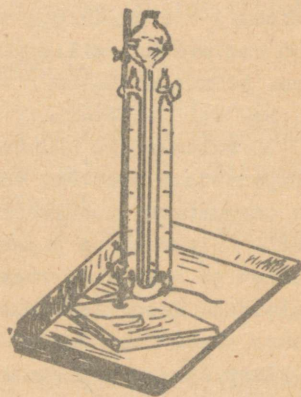


#### 4. Töötamine Hoffmanni riistaga.

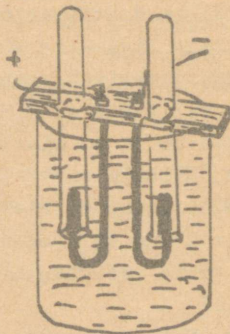
Nimetatud riista kujutab joonis 125. Avatakse kraanid ja valatakse riista väävelhappelahust (akuhape 20–30 %) kuni selle niivoo ulatub kraanideni. Suletakse kraanid ja ühendatakse elektroodid alalisvooluallikaga 30–40 V. Jälgitakse gaaside kogunemist kui kraanid on suletud. Kui gaase on kogunenud küllaldaselt, siis teha kindlaks, mis gaasid need on. Üks neist süttib, see on vesinik, teises hakkab hõõgus süsi pirru otsas heledamini põlema – see on hapnik.

Kui puudub Hoffmanni riist, siis võib elektrolüüsil eralduvaid gaase koguda katseklaasidesse. Sel juhul tuleb kasutada 2–3 %-st happelahust ja kummikindaid ning pärast katsed pesta käed hoolsasti seebiga. Elektroodideks tuleb võtta kas sööd tasakulambipatareist või plekid vana raadiolambist. Vedelikku ulatuvad juhtmed olgu kas kummi- või kloorvinüülsolatsiooniga. Arumana kasutatakse klaaskaussi või suuremat purki (joon. 126).

Katseklaasid kinnitatakse hoidjasse või statiivi näpitsatesse.



Joonis 125.

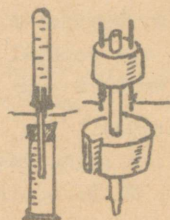


Joonis 126.

## 5. Faraday I seadus.

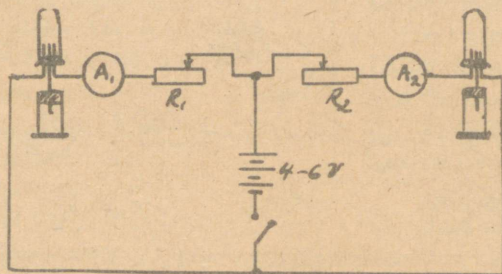
Katses tuleb kasutada kummikindaid ja -põlle, sest väävelhappelahus põletab ka väikese kontsentratsiooni puhul.

Ehitatakse lihtne voltameeter. Katseklaas täidetakse  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  vesilahusega ja suletakse kummikorgiga, millest on läbi pandud kaks sõepulka (taskulambi patareist) ja klaastoru, mille üks ots on peenem. Katseklaas pööratakse põhjaga ülespoole ja klaastoru peenike ots pistetakse läbi korgi, millesse on lõigatud sälk. Selle korgiga suletakse men-suur (joon. 127). Selliseid voltameetreid valmistatakse 2-3.



Joonis 127.

1. variant. Voltameetrid ühendatakse paralleelselt alalisvoolu ringi, milles on pinge 4-6 V (joon. 128). Võttes voolutugevuse läbi mõlema voltameetri kas erineva või ühesuguse,



Joonis 128.

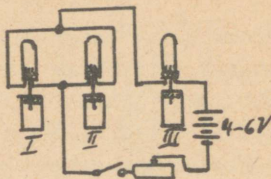
võib näidata, et eraldunud gaasikogused on võrdelised elektrolüüti läbinud elektrihulgaga  $Q$ .

Katseandmed kantakse järgmisse tabelisse.

| Aeg<br>t (s) | Voolu-<br>tugev.<br>I (A) | Elektri<br>hulk<br>Q (C) | Gaasi<br>ruumala<br>V (ml) | Gaasi<br>mass<br>m (g) | S u h e                                                 |                                                        |
|--------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|              |                           |                          |                            |                        | $\frac{V}{Q} \left( \frac{\text{ml}}{\text{C}} \right)$ | $\frac{m}{Q} \left( \frac{\text{g}}{\text{C}} \right)$ |



2. variant. Kui puuduvad alalisvoolu ampermeetrid, siis võib kolme voltameetrit kasutades koostada katse joonisel 129 toodud skeemi järgi. Voltameetrit I või II läbib sama aja jooksul kaks korda väiksem elektrihulk kui voltameetrit III.



Joonis 129.

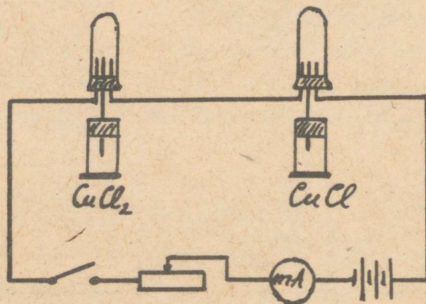
Küsimused.

1. Milline gaas eraldub voltameetris, kui vool seda läbib?
2. Mille poolest on nimetatud katse ohtlik?

## 6. Faraday II seadus.

Katseseade koostatakse joonisel 130 toodud skeemi järgi.

Ühte anumasse valatakse kloorvase ( $\text{CuCl}$ ) vesilahus, teise - kloorkaks-vase ( $\text{CuCl}_2$ ) vesilahus. Alalisvoolu läbimisel mõlemast elektrolüüdist (voolutugevus ca 200 mA, pinge 8 V) eraldub



Joonis 130.

mõlemas anumas katoodil metall - vask, kuid eraldunud vase mass on võrdeline ta elektrokeemilise ekvivalendiga. Kahevalentsel vasel on see  $0,329 \frac{\text{mg}}{\text{C}}$ , kuid ühevalentsel  $0,658 \frac{\text{mg}}{\text{C}}$ .

Katoodid riputatakse kaaludele või kaalutakse enne ja pärast katset.

Kui puudub kloorvask, siis võib seda valmistada kloorkaks-vasest. Selleks võetakse 100 ml 10%-st kloorkaks-vase vesilahust, millele lisatakse 50 g vaseviilmeid. Lahust soojendatakse kuni kaob lahuse rohekas värvus. Siis täiendatakse lahust kuni 400 ml-ni lisades sellele 1,5%-st keedusoolalahust. Kloorvase lahus valmistatakse vahetult enne katset, sest õhu mõjul

läheb see üle kloorkaks-vaseks ja lahus muutub uuesti rohekaks.

Kirjandus.

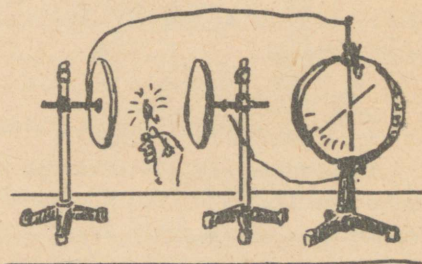
1. Е.Н.Горячкин, В.М.Орехов, Методика и техника физического эксперимента, стр. 389-397.
2. А.А.Марголис и др., Практикум по методике физики, стр. 225-231.
3. Н.М.Шахмаев, С.Е.Каменецкий, Демонстрационные опыты по электричеству.

#### XIV. Elektrivool gaasides normaalrõhul.

##### 1. Välise ionisaatori mõju.

Väliseks ionisaatoriks võib olla kas leek, röntgenikiirgus, radioaktiivne kiirgus või ultraviolettkiirgus.

a. Väliseks ionisaatoriks on leek. Isoleerivatele statiividele kinnitatakse paralleelselt kaks metallplaati, näiteks komplektist plaatkondensaatori mahtuvuse seletamiseks (joon. 131). Üks plaatidest ühendatakse elektromeetri vardaga, teine



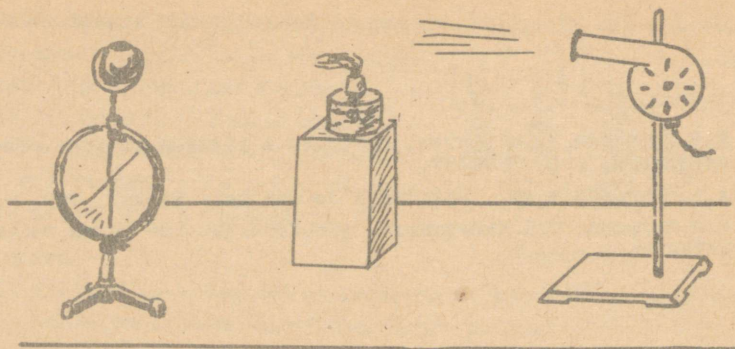
Joonis 131.

kruviga metallkestal. Elektromeeter laetakse ja see näitab hälvet. Metallplaatide vahele viiakse leek ja kohe on märgata elektromeetrilt hälbe kadumist.

b. Metallkeraga varustatud elektromeeter laetakse. Elektromeetrile juhitakse kas röntgeni- või ultraviolettkiirgust. Laeng elektromeetrilt kaob. Ultraviolettkiiri kiirgavad elektrikaarleek ja kvartslamp.

c. Ioonide rekombinatsioon. Elektromeeter laetakse. Selle lähedale asetatakse süüdatud gaasipõleti või piirituselamp.





Joonis 132.

Fööniga juhitakse leegi juurest õhujuga elektromeetri poole (joon. 132). Kui leek on elektromeetri lähedal, siis laeng sellelt kaob, viies leegi 1,5-2 meetri kaugusele ei vähene elektromeetri näit. Sellest järeldatakse, et leegi toimel õhus tekkinud ioonid jõudsid enne elektromeetrini jõudmist rekombineeruda.

## 2. Iseseisev ja mitteiseseisev elektrilahendus.

Isoleerivatele statiividele kinnitatakse paralleelselt kaks metallplaati, mis ühendatakse sädeinduktori kõrgepinge klemmidega. Viimastega ühendatud teravik ja plaadike eemaldatakse teineteisest. Induktor pannakse tööle. Plaatide vahel sädet ei hüppa. Kui plaatide vahele viia leek, siis algab lahendus. See on mitteiseseisev lahendus, kuna selle tekitamiseks oli vaja välist ionisaatorit.

Lüüme induktori välja ja viime plaadid teineteisele lähedale. Kui nüüd induktor tööle rakendada, siis toimub plaatide vahel elektrilahendus. Kuna puudub ionisaator, siis nimetatakse sellist lahendust iseseisevaks.

Küsimused.

1. Miks iseseisev lahendus tekib siis, kui plaatide vahe-

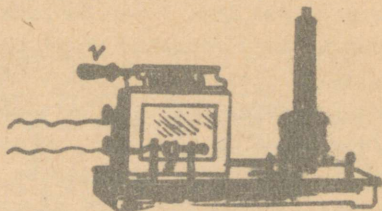
maa on väike?

2. Kuidas tekivad esimesed loonid, mis on vajalikud ise-  
seisva lahenduse alustamiseks?

3. Elektrilahenduste liigid gaasides atmosfäärirõhul.

a. Koroonalahendus. Isoleerivate statiivide vahele (pime-  
das ruumis) tõmmatakse pingule peenike ( $d = 0,1 \text{ mm}$ ) vask-  
traat, mis ühendatakse mõjuelektrimasina "-"-konduktoriga ku-  
na teine (+)-maandatakse. Isoleerivate statiivide vahele võib  
tõmmata ka paralleelselt kaks traati, millest üks ühendatakse  
mõjuelektrimasina ühe, teine teise konduktoriga. Traadi ümber  
ja teravikel on näha sinakat helendumist ja kuulda nõrka sisi-  
nat. Selline lahendus kannab koroonalahenduse nime.

Koroonalahendust võib näi-  
data ka peenikese traadi tük-  
kidest valmistatud pintslike-  
se otstel. Toredat koroonala-  
hendust saab demonstreerida  
Tesla transformaatoriga  
(joon. 133), kus sisemise  
(pika) pooli ülemise otsa  
juures resonantsi korral on  
näha 5-10 cm pikkust sinakat



Joonis 133.

sädemete kimpu. Säteinduktor ja Tesla transformaator on ühen-  
datud. Sädemikuga S reguleeritakse sädet ja lülitiga L, mis  
libiseb jämedast traadist primaarpooli keerde mööda, või var-  
da V nihutamise viiakse vooluringid resonantsi. Tesla trans-  
formaatori töötamine ei kuulu aga siinkohal programmi.

4. Elektrilahenduste kasutamine.

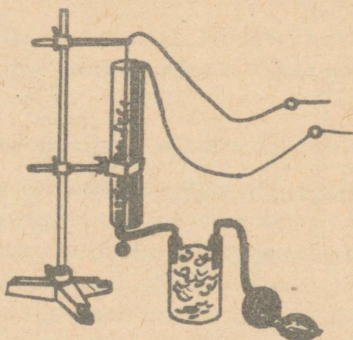
a. Klaaspurk täidetakse suitsutekitaja abil suitsuga. Pur-  
ki viiakse kaks isolatsiooniga juhet, millede alumised otsad  
on isolatsioonist puhastatud ja lähestikku paimutatud (joon.  
134). Juhtmed ühendatakse sädeinduktori või mõjuelektrimasina  
konduktoritega. Kui rakendada tööle kõrgepingeallikas, siis



kaob purgist suits. Anda nähtusele seletus!



Joonis 134.

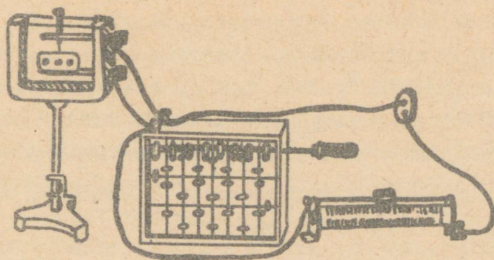


Joonis 135.

b. Tööstuses õhu puhastamiseks kasutatav elektrofilter on torukujuline, selle tööprintsibi demonstreerimist kujutab katse joonisel 135. 30-40 cm pikkuse ja 6-10 cm jämeduse klaastoru sisse pannakse paari sentimeetri laiune stannioli-riba, mille ülemine ja alumine ots kinnitatakse toru külge. Isoleeriva varda otsa riputatakse peenike vasktraat, mille alumises otsas ripub mingi raskus. Traat asetsegu piki silindri telge. Traat ja stannioliriba ühendatakse kõrgepinge allikaga (kas sädeindukti või mõjulektrimasinaga). Suitsutekitajast puhutakse suits torusse, mis koroonalahenduse mõjul peagi kaob.

c. Elektrisädeme demonstreerimist ja selle toimet vaata raamatust A.Emmo, V.Paju "Füüsika katsed kaheksaklassilises koolis", "Valgus" 1969.a.

d. Seadet elektrisädeme kasutamiseks metallide töötlemisel on kujutatud joonisel 136. Paralleelsete seintega vannis petrooleumi sees on kaks rõhtsat messingvarrast, milledest alumisse on kinnitatud žiletitera. Ülemine varras on nihutatav. Sellesse puuritud august on läbi pandud messingkruvi, mis lõpeb teravikuga. Sädemikuga paralleelselt on ühendatud kondensaatoripatarei (paberkondensaatoritest). Seadet toidetakse vahelduvvooluga linna võrgust või alalisvooluga 200 V. Sellesse vooluringi ühendatakse ka reostaat 100-200 oomi.



Joonis 136.

Žiletiterasse "hamba" söövitamist demonstreeritakse projekt-sioonis (optilisel pingil). Demonstratsiooni kestus olgu vaid 2-3 sekundit, siis korrata seda, kuid enne tuleb nihutada van-nis alumist messingvarrast koos žiletiteraga, et teravik teki-taks "hamba" uuel kohal.

Kasutada õppefilmi "Электрическая обработка металлов".

e. Kaarlahendus. Koostatakse vooluring, milles on elektri kaarlamp ja reostaat 36 oomi, siis võib kasutada vahelduvvoo-lu pingel 220 V. Õpilaste ja kaarlambi vahele paigutatakse läbipaistmatu ekraan. Statiivile kinnitatakse universaalpro-jektori objektiiv, mille abil tekitatakse ekraanile kaarleegi ja söeotste kujutis. Pärast söeotste kerkuviimist eemaldatakse need teineteisest parajale kaugusele.

Demonstreeritakse kaarleeki ka alalisvoolu kasutamisega. Sel juhul tekib positiivse söe otsa sisse "kraater".

f. Elektrikeyitusega tutvuda raamatust A.Emmo, V.Paju, "Füüsika katseid kaheksaklassilises koolis", "Valgus" 1969.a. Elektrikeyituse kohta on ka õppefilm "Электрическая сварка металлов"



## XV. Elektrilahendused gaasides madalal rõhul.

Järgnevate katsete demonstreerimisel tuleb arvestada seda, et nende puhul tekib röntgenikiirgus eriti siis, kui kasutada väga kõrget pinget. Õpilasi pole soovitatav lubada katseseadmele väga lähedale, eriti asuda katoodi vastu. Kasulik on õpilaste ja vaakuumtoru vahele asetada paksust klaasist ekraan.

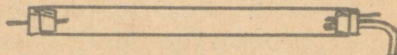
### 1. Elektrilahendus torus, milles rõhku järkjärgult vähendatakse.

Katses kasutatakse klaastoru harutoruga küljel, mis vaakuumvooliku abil ühendatakse Komovski pumbaga. Mõlemast otsast on torusse viidud elektroodid, mis ühendatakse sädeinduktori kõrgepingeklemmidega või mõjuelektrimasina konduktoritega. Käivitatakse Komovski pump eemaldades torust õhku. Teatud rõendusastmel tekib torus lilla valguspael. Valgusnähtused torus muutuvad vastavalt õhu rõendusastmele.

Komovski pumbaga saavutatav suurim rõendus lubab näha toru ühtlast roosakat helendumist. See on huulahendus.

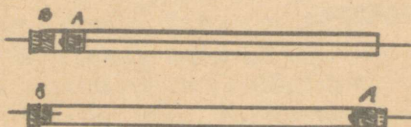
Kui vastav klaastoru puudub, siis võib selle ise valmistada. Jämeda klaastoru otsad suletakse õhukindlalt kummikorkidega. Neist pannakse läbi traadid - elektroodid. Ühest korgist pannakse läbi täismurga all painutatud klaastoru (joon. 137).

Kui puudub hea õhupump, siis võib vaakuumtoru valmistada 1-1,5 cm läbimõõ-



Joonis 137.

duga klaastorust. Valitakse kaks kummikorki, mis parajasti mahuvad torusse. Ühest neist pistetakse läbi lühike traadiots üheks elektroodiks, teisest korgist pistetakse läbi torust pikem traat. Pike-  
ma traadi ots keeratakse aasaks ja asetatakse selle alla vastu korki metallseib, mis lubab korki tõmmata läbi toru (joon. 138). Selleks, et



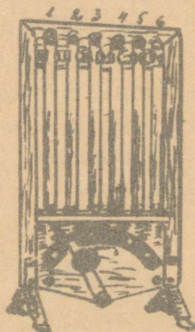
Joonis 138.

kork torus hästi libiseks tuleb seda määrida õli või vaseliiniga.

Hõrenduse saavutamiseks torus lükatakse kork A läbi toru selle teise otsa lähedale. Samast otsast tuleb torusse pista lühikese elektroodiga kork. Hoides toru tugevasti kinni tõmmatakse pikema traadiga kork A kuni toru teise otsani. Torusse jääb hõrendatud õhk. Korgist A läbiulatuva pikka traati lõigatakse lühemaks. Torust väljaulatuvad traatelektroodid ühendatakse mõjuelektrimasina konduktoritega või sädeinduktori kõrgepinge klemmidega. Vastavalt saadud hõrendusastmele on torus näha kas lilla pael või helendub kogu toru roosakalt.

## 2. Vaakuumtorude komplekt.

Õppevahendite tööstus toodab kuuest torust koosneva komplekti (joon. 139). Torud on monteeritud raamile ja vända pööramisega mõõda kontakte saab kõrgepinget sädeinduktorist juhtida läbi iga toru eraldi. Torudes on gaas erinevatel hõrendusastmetel.



Joonis 139.

1. torus on gaas rõhul 30 mm Hg
2. " " " " 10 " "
3. " " " " 4 " "
4. " " " " 0,5 " "
5. " " " " 0,2-0,1 "
6. " " " " 0,03-0,02 "

1. torus võib näha õhu helendumist lilla paelana;
2. torus helendab gaas peaaegu kogu toru ulatuses ja on märgata katoodi pimeruumi;
3. torus on selgesti näha katoodi pimeruum ja anoodsammas;
4. torus on näha vöödid, s.t. et anoodsammas on jagunenud kihtideks;
5. torus on katoodi pimeruum võtnud enda alla peaaegu kogu toru, vöödid on muutunud laiadeks ja hajuvateks. Gaas helen-



dub kahvatult ja tseru klaasseinad helenduvad rohekalt;  
6. torus on anoodhelendus täielikult kadunud ja katoodi vastas olevad toru seinad helenduvad rohekalt. Katoodi juures on näha nõrka sinakat helendumist.

### 3. Huumlahenduse kasutamine.

Huumlahendust kasutatakse neonlampides ja gaashelendus-  
ehk Geissleritorudes.

Neonlampi helendumist võib esiteks demonstreerida alalis-,  
siis vahelduvvoolu kasutamise. Muudetavat alalis- kui ka  
vahelduvpinget saadakse kooli jaotuskilbist. Neonlampiga pa-  
ralleelselt ühendatakse voltmeeter (250 V). Muutes pinget  
loetakse voltmeetritl lambi süttimispinge ja kustumispinge.

Tähelepanu juhitakse lampi helendumisele alalisvoolu kasu-  
tamisel, kus helendub ainult lampi üks elektrood - anood. See-  
ga saab sellist lampi kasutada poolusemäärajana. Vahelduvvoo-  
lu kasutamisel helenduvad (vaheldumisi) mõlemad elektroodid.

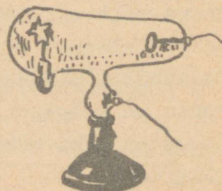
Sädeinduktorist saadava kõrgepingega pannakse helenduma  
gaashelendustorusid, milledes on mingi hõrendatud gaas (He,  
H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> jne.).

### 4. Katoodkiired ehk elektronkiired.

Katoodkiired tekivad hõrendustorus, kui seal on rõhk 0,01-  
0,001 mm Hg.

a. Katoodtoruga, milles on viisnurgakujuline tükk alumii-  
niumplekki (joon. 140) näidatakse, et katoodkiired levivad  
sirgjooneliselt ja ei tungi läbi alumiiniumpleki. Nad välju-  
vad risti katoodi pinnaga sõltuma-  
tult anoodi asukohast (anood on all).

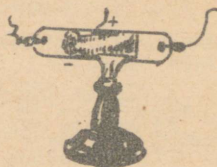
b. Katoodkiirte sirgjoonelist le-  
vimist, luminesentsi tekkimist  
ning paindumist elektri- ja magnet-  
väljas saab demonstreerida toruga,  
milles on piluga varustatud kiirte  
sihiga kalduolev ekraan (joon. 141).



Joonis 140.

Katoodkiirte mõjul hakkab ekraan fluorestseeruma, mistõttu kiir muutub nähtavaks.

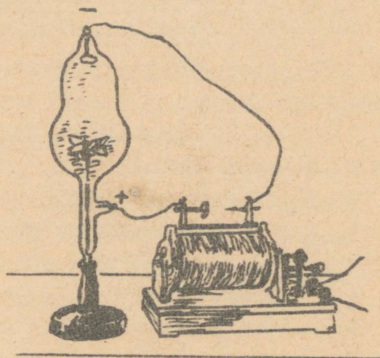
Rakendades torule kõrgepingetust ilmub ekraanile sirge helenduv triip. Hoides tugeva magneti ühe pooluse ekraani taga või ees otsa- ga ekraani poole, kaldub kiir kõrvale vastavalt vasaku käe reeglile.



Joonis 141.

Selleks, et näidata katoodkiirte paindumist elektriväljas, kleebitakse sama toru välisseinale üles ja alla lühike sentimeetrilaiune stannioliriba, mis ühendatakse mõjuelektrimasina konduktoritega. Esiteks jälgitakse sirget katoodkiire jälge. Siis pannakse töösse mõjuelektrimasin ja jälgitakse kiire paindumist positiivse riba poole, tehakse järeldus katoodkiirte laengu kohta.

c. Katoodkiirte kineetilise energia ja fluorestseeriva toime näitamiseks on mitmesuguste fluorestseeruvate ainete kaetud tiivik, mis katoodkiirte pealelangemisel hakkab helenduma ja pöörlema (joon. 142). Katood asetsegu üleval.



Joonis 142.

Kirjandus.

1. Н.М.Шахмаев, С.Е.Каменецкий, Демонстрационные опыты по электричеству, Учпедгиз 1963.
2. А.А.Марголис и др. Практикум по методике физики.
3. Г.Шпрокхоф, Эксперимент по курсу элементарной физики, "Просвещение" 1961, Т 1У.



## XVI. Pooljuhtide elektrilised omadused.

### 1. Töö katseteks ettevalmistamisel.

On vaja tutvuda:

1. X klassi füüsika programmi ja õpikuga,
2. kõrgemate koolide füüsika õpikuga J.A.Štrauf, Füüsika II, kirjastus "Valgus", 1965.a. lk. 172-182,
3. metoodilise kirjandusega antud teema kohta /Л.И.Резников, методика преподавания физики в средней школе, Ш. М. 1963.
4. katsetehnilise kirjandusega Н.М.Шахмаев, С.Е.Каменецкий, Демонстрационные опыты по электричеству, Учпедгиз, М. 1969.

5. raamatuga В.А.Буров, Методика изучения полупроводников в школе, изд. "Просвещение" М 1965.

6. instruksiooniga pooljuhtide komplekti kohta.

Tööks ettevalmistamisel tuleb pöörata tähelepanu järgmistele küsimustele.

1. Millised demonstratsioon katsed ja laboratoorsed tööd on programmis nõutud?
2. Milline on pooljuhtide oluline erinevus metalljuhtidest?
3. Milline on takistuse muutumise iseloom (soojendamisel, valgustamisel) metallidel ja pooljuhtidel?
4. Millised juhtivusviisid on puhastel pooljuhtidel?
5. Kuidas saadakse p- või n-tüüpi pooljuht?
6. Selgitada p-n ülemineku tekkimist ja selle omadusi.
7. Seletada pooljuhttermoelemendi tööprintsipi ja miks on sellel suurem kasutegur võrreldes metallist termopaariga.
8. Seletada seesmise fotoefektiga fotoelemendi tööprintsipi.
9. Mida tuleb jälgida töötamisel pooljuhtriistadega?

## 2. Komplekti kuuluvate riistade loetelu ja karakteristika.

1. Termotakisti. Temperatuuril  $20^{\circ}\text{C}$  on takistus  $10\text{ k}\Omega$ , temperatuuritegur  $2,4\%$  kraadi kohta. Maksimaalne töötemperatuur  $120^{\circ}\text{C}$ , suurim lubatud võimsus  $0,4\text{ W}$ .

2. Fototakisti. Valgustundlik pindala  $30\text{ mm}^2$ , takistus pimedas on suurem kui  $10^7$  oomi, suurim tööpinge  $400\text{ V}$ , eritundlikkus  $3000\frac{\mu\text{A}}{\text{lm}\cdot\text{V}}$ . Võimsus ei või ületada  $0,1\text{ W}$ .

3. Termoelement. Kui kuuma jootekoha temperatuur on  $100^{\circ}\text{C}$ , siis on termoelemendi emj. ca  $20\text{ mV}$ .

4. Fotoelement. Raud-seleen  $\text{APU}-20$ . Kasulik pindala  $20\text{ cm}^2$ , kui temperatuur ületab  $50^{\circ}\text{C}$ , siis fotoelement ei tööta.

5. Diod. Germaanium ( $\text{A}-73\text{K}$ ), nominaalvool  $100\text{ mA}$ . Vastupinge suurim amplituud  $400\text{ V}$ . Parameetrid olenevad suurel määral temperatuurist.

6. Triood. Germaanium  $\text{T}-14$ , võimendustegur voolu suhtes  $50$  (ühise emitteriga). Võimendatavate võnkumiste sageduse ülempiir  $1\text{ MHz}$ . Baasi takistus  $300$  oomi, kollektoripinge  $-5\text{ V}$ , emittervool  $10\text{ mA}$ , vastuvool emitterüleminekul mitte üle  $15\text{ }\mu\text{A}$ . Lubatud võimsus kollektoril  $150\text{ mW}$ . Töötamisel ettevaatust!

Ei või lubada termotakisti, fototakisti ega fotoelemendi ülekuumenemist. Mitte lahti sulatada termoelemendi jootekohata. Riistadele ei tohi rakendada lubatust suuremat pinget. Pidada meeles, et triood on väga tundlik ka lühiajalise ülekoormuse suhtes.

Pöörata tähelepanu õige galvanomeetri tüübi valikule iga katse puhul. On vaja, et galvanomeetri takistus oleks suuruselt lähedane kasutatava riista takistusele. Nii annab töötamine termoelemendiga parema efekti, kui kasutada demonstratsioonivoltmeetrit. Töötamisel fotoelemendiga aga demonstratsiooniampermeetrit.



### 3. Katseid pooljuhtide komplektiga.

#### 1. katse. Pooljuhi takistuse sõltuvus temperatuurist.

Koostatakse vooluring alalisvoolu allikast, mille pinge on 1,2 kuni 2,5 V, demonstratsiooni ampermeetrist, lülitist ja pooljuht-termotakistist (võib ka olla mitte komplekti kuuluv termotakisti). Kas on vaja vooluringi lülitada reostaati? Termotakistit ei tohi soojendada üle 120°C. Soojendamiseks asetatakse termotakisti klaasi sooja vette ja jälgitakse ampermeetri näitu. Jälgige ampermeetri näitu vee jahtumisel.

Termotakistina võib kasutada ka pliiatsi grafiiti. Leegil soojendada seda ettevaatlikult, kuna grafiit põleb.

Küsimusi.

1. Miks ei või termotakistit asetada otse leegile?
2. Kuidas muutub katse efektiivsus, kui võtta 2 või 3 termotakistit ühendades need paralleelselt?

#### 2. katse. Pooljuhi takistuse sõltuvus selle valgustusest.

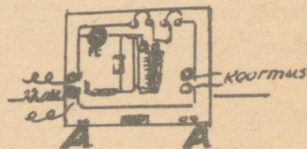
Koostatakse katsega nr.1 sarnane katseseade, kuid vahetatakse termotakisti fototakistiga (vooluallikas võib nüüd olla pingega kuni 4 volti). Galvanomeetrina kasutatakse demonstratsiooni voltmeetrit. Suletakse vooluring ja jälgitakse galvanomeetri näitu. Pikkamööda lähendatakse elektrilamp fototakistile ja jälgitakse galvanomeetri näitu. Kustutatakse lamp. Fototakistit ei või väga tugeva valgusega valgustada.

Küsimusi.

1. Milliste võtetega võib muuta fototakisti pinnavalgustust?
2. Kas muutub galvanomeetri näit, kui muuta fototakisti polaarsust?

#### 3. katse. Fotorelee töötamine.

Katseriistaks on fotorelee paneelil (joon. 143). Fototakistiks on vastavale alusele mähitud seleentraat, mille valgustamisel relee lülitab sisse kas elektri-

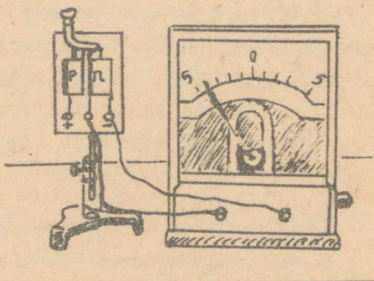


Joonis 143.

mootori või suurema lambi (220 V). Valgustuse nõrgenemisel või kustumisel katkestab relee voolu.

#### 4. katse. Pooljuhttermoelemendi töötamine.

Termoelement koosneb elektron- ja aukjuhtivusega pooljuhtidest, mis on ühendatud vaskplaadiga. Ühel plaadil on täht "p" (positiivne), s.o. aukjuhtivusega, teisel - "n" (negatiivne), s.o. elektronjuhtivusega. Galvanomeetrina kasutatakse demonstratsiooni voltmeetri. Koostatakse vooluring joonisel 144 toodud skeemi järgi.



Joonis 144.

a. Moodustatakse paar: juht ja n-pooljuht. Selleks ühendatakse termoelemendi keskmine ja parempoolne klemm galvanomeetri klemmidega. Soojendatakse termoelemendi ülemist joote kohta (vasest silda) kergelt kuumutatud kolviga, märgitakse voolu suund ja suurus.

b. Korratatakse katset paariga: juht ja p-pooljuht. Sel juhul ühendatakse galvanomeeter termoelemendi vasaku ja keskmise klemmiga.

c. Näidatakse termoelemendi tööd, kui selle mõlemad harud on ühendatud galvanomeetriga (äärmised klemmid).

Proovitakse, kummal juhul, kas demonstratsiooni voltmeetri või ampermeetriga saadakse parem efekt.

#### 5. katse. Pooljuht-fotoelemendi töötamine.

Fotoelemendi klemmid ühendatakse demonstratsiooni galvanomeetriga. Kumb selleks valida? Valgustatakse fotoelementi esiteks kaugemalt ja siis järjest lähemalt. Hoiduda liiga tugevast valgustamisest, sest see rikub fotoelementi.

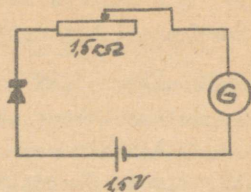
#### 6. katse. Pooljuhi ühepoolne juhtivus.

Koostatakse vooluring joonisel 145 toodud skeemi järgi. Taktiks võetakse liugreostaat ca 1500 eomi. Galvanomeetrina



kasutatakse demonstratsiooni ampermeetrit. Vooluallikas valida pingega 1,2 V.

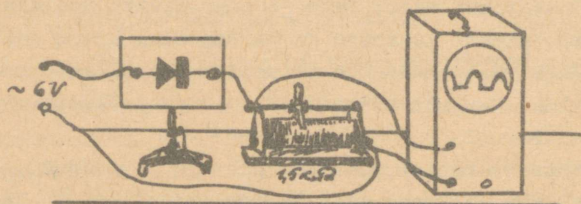
Pooljuhtdiodid lülitatakse esiteks voolu läbimise suunas, siis selle suuna vastu. Tehakse järeldus diodi juhtivuse kohta. Pidada mees, et diodi takistus juhtivuse suunas on väga väike ja ilma reostaadita galvanomeeter hävib.



Joonis 145.

## 7. katse. Pooljuhtalaldi töötamine.

Madaldatakse linna vooluringet lahtivõetava koolitransformatori abil kuni 6 voldini. Koostatakse joonisel 146 toodud skeemi järgi vooluring. Liugreostaadiga (1500 oomi) paralleel-

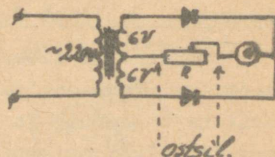


Joonis 146.

selt lülitatakse ostsilloskoop, mille ekraanil on näha alaldatud voolu graafik.

Koostatakse joonise 147 järgi vooluring ja jälgitakse täisperiodaalaldi poolt alaldatud voolu graafikut.

Esiteks tuleb näidata, et võrguvool on vahelduvvool. Siis ühendatakse reostaadi klemmid ostsilloskoobiga. Tähelepanu juhtida sellele, et pulseeriv vool on kaks korda suurema sagedusega kui poolperioodiga alaldatud vool.



Joonis 147.

On olemas ringfilm "Täisperiodaalaldi".

Kui puudub ostsilloskoop, siis tuleb reostaadiga järjestikku ühendada galvanomeeter, mis näitab alalisvoolu.

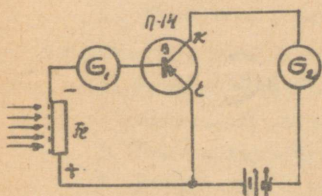
Kui lülida välja üks diodidest, siis muutub ostsillogramm.

Selleks ja järgmisteks katseteks ettevalmistamisel tuleb tutvuda raamatuga: J.Hendre, Füüsikakatseid elektronostsilloskoobi ja heligeneraatoriga, kirjastus "Valgus", Tallinn 1968. I peatükk ja II peatükk, 8.4.

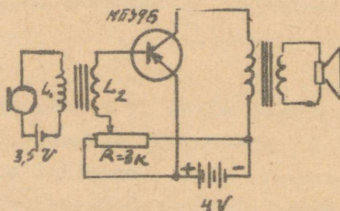
#### 8. katse. Transistor võimendina.

Kasutades transistorit paneelil, fotoelementi ja kahte galvanomeetrit koostatakse vooluring joonisel 148 toodud skeemi järgi. Fotoelemendile lähendatakse süüdatud hõõglamp niisugusele kaugusele, et galvanomeeter  $G_1$  vaevalt voolu näitab, siis annab galvanomeeter  $G_2$  maksimaalse hälve.

Tuleb hoiduda fotoelemendi liiga tugeva ja pikaajalise valgustamise eest.



Joonis 148.



Joonis 149.

#### 9. katse. Transistor heli võimendina.

Koostatakse vooluring joonisel 149 toodud skeemi järgi. Koolitrafole asetatakse poolid  $L_1$ , mis on ette nähtud pingele 220 V ja  $L_2$  pingele 6 V. Liugkontaktiga reostaat võetakse ca 3 kilo-ohmi. Katse alguses olgu liugkontakt nihutatud reostaadi vasaku otsa lähedale (jooniselt vaadates). Kasutatakse transistorit M395 mis on monteeritud paneelile. Valjuhääldi võetakse väljundtrafoga. Mikrofonina kasutatakse süsimikrofoni.

Kui katse on üles seatud, siis pannakse helihark helisema ja hoitakse selle jalg vastu mikrofoni. Valjuhääldist on siis



kuulda tugevat helihargi tooni. Võib võimendada ka inimese häält ja kõnet.

Tutvuda õppefilmiga "Pooljuhid ja nende rakendamine".

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. Üldjuhendid praktikumis töötavatele üliõpilastele .....                                       | 3  |
| II. Katseid kinemaatikast .....                                                                  | 5  |
| 1. Ühtlane liikumine .....                                                                       | 5  |
| 2. Ühtlaselt muutuv liikumine .....                                                              | 6  |
| 3. Liikumiste liitmine .....                                                                     | 7  |
| 4. Vaba langemine .....                                                                          | 8  |
| 5. Horisontaalselt visatud keha liikumine .....                                                  | 9  |
| 6. Horisondiga kaldu visatud keha liikumine .....                                                | 11 |
| 7. Jõudude mõju sõltumatuse printsiip .....                                                      | 11 |
| III. Katseid dünaamikast .....                                                                   | 13 |
| 1. Inertsia seadus (Newtoni I seadus) .....                                                      | 13 |
| 2. Newtoni II seadus .....                                                                       | 14 |
| 3. Akseleromeeter ja katseid sellega .....                                                       | 16 |
| 4. Tasakaalu muutumine keha kiireneval langemisel ....                                           | 16 |
| 5. Newtoni III seadus .....                                                                      | 17 |
| IV. Katseid staatikast .....                                                                     | 19 |
| 1. Demonstratsioonid dünamomeeter ja selle kasutamine ühise mõjusirgiga jõudude liitmiseks ..... | 19 |
| 2. Kahe nurgisuunatud jõu liitmine .....                                                         | 20 |
| 3. Resultantjõu suuruse sõltuvus komponentjõudude vahelisest nurgast .....                       | 20 |
| 4. Jõu lahutamine komponentideks .....                                                           | 21 |
| 5. Paralleelsete jõudude liitmine ja komponentideks lahutamine .....                             | 22 |
| 6. Magnetiliste hoidjatega komplekt staatika katsedeks                                           | 23 |
| 7. Pöörleva keha tasakaal .....                                                                  | 25 |
| 8. Detsimaalkaalude printsiip .....                                                              | 25 |
| V. Ühtlane ringliikumine. Kõva keha pöörlemine .....                                             | 26 |
| 1. Üldmärkmeid .....                                                                             | 26 |
| 2. Joon- ja murkkiirus .....                                                                     | 27 |
| 3. Vesi ei lange välja tiirlevast anumast.....                                                   | 27 |
| 4. Kesktõmbejõu mõõtmine.....                                                                    | 27 |



|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5. Katseid tsentrifugaalmehhanismi juurde kuuluvate detailidega .....          | 29 |
| 6. Täiendavaid katseid .....                                                   | 30 |
| VI. Vedelike ja gaaside voolamine .....                                        | 31 |
| 1. Aerodünaamilised kaalud ja katseid nendega .....                            | 31 |
| 2. Katseid aerodünaamilise toruga .....                                        | 33 |
| 3. Vedeliku laminaarne voolamine .....                                         | 34 |
| 4. Gaasi laminaarne voolamine .....                                            | 35 |
| 5. Katseid voolamise kohta orgaanilisest klaasist mudelitega .....             | 36 |
| 6. Voolujooned ja vooluväli laminaarsel voolamisel ...                         | 37 |
| 7. Keerised mitmesuguste kehade taga .....                                     | 38 |
| 8. Sisehõõrdumine vedelikes ja gaasides .....                                  | 39 |
| 9. Lihtsate vahenditega korraldatavaid katseid aero- ja hüdrodünaamikast ..... | 39 |
| 10. Lihtsaid katseid, mida saab seletada aerodünaamika seaduste abil .....     | 42 |
| 11. Propelleri veojõu demonstreerimine .....                                   | 43 |
| VII. Katseid molekulaarfüüsikast .....                                         | 44 |
| 1. Browni liikumise vaatlemine mikroskoobiga (individaalselt) .....            | 44 |
| 2. Mikroprojektsioon .....                                                     | 45 |
| 3. Kristallide kasvamise demonstreerimine .....                                | 46 |
| 4. Browni liikumise demonstreerimine .....                                     | 47 |
| 5. Pindpinevuse demonstreerimine .....                                         | 47 |
| 6. Amorfse keha voolavus .....                                                 | 47 |
| 7. Pindpinevusjõu demonstreerimine .....                                       | 48 |
| 8. Pindaktiivsed ained .....                                                   | 48 |
| 9. Emulsiooni püsivuse demonstreerimine .....                                  | 48 |
| 10. Flotatsioon .....                                                          | 49 |
| 11. Sõe adsorbeeriv toime .....                                                | 49 |
| 12. Kapillaarsuse demonstreerimine .....                                       | 49 |
| 13. Osmootse rõhu demonstreerimine .....                                       | 50 |
| 14. Gaaside difusioon .....                                                    | 51 |

|       |                                                                    |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------|----|
| VIII. | Katseid aurude ja gaaside seaduste kohta .....                     | 54 |
| 1.    | Aurude omaduste demonstreerimine .....                             | 54 |
| 2.    | Katseid gaasi seaduste kohta .....                                 | 56 |
| 3.    | Katseid küllastatud aurude kohta<br>lihtsate vahenditega .....     | 58 |
| 4.    | Katseid gaasi seaduste kohta lihtsate vahenditega                  | 60 |
| 5.    | Vedeliku keemisel on selle auru rõhk võrdne<br>välisrõhuga .....   | 63 |
| 6.    | Krüüfoor .....                                                     | 64 |
| 7.    | Eetri auru kriitilise oleku jälgimine Avenariuse<br>riistaga ..... | 65 |
| IX.   | Katseid elektrostaatikast .....                                    | 66 |
| 1.    | Elektrivälja jõujooned .....                                       | 66 |
| 2.    | Ekvipotentsiaalipinnad ja -jooned .....                            | 68 |
| 3.    | Elektrivälja spekter projektsioonis .....                          | 69 |
| 4.    | Elektrostaatiline induktsioon .....                                | 71 |
| 5.    | Elektrimahtuvus .....                                              | 72 |
| 6.    | Kondensaatorite liigid .....                                       | 73 |
| 7.    | Laetud kondensaatori energia .....                                 | 74 |
| X.    | Ohmi seadus .....                                                  | 75 |
| 1.    | Ohmi seadus kogu vooluringi kohta .....                            | 75 |
| 2.    | Vooluallika elektromotoorne jõud<br>ja klemmiping.....             | 77 |
| 3.    | Elementide ühendamine patareiks .....                              | 78 |
| 4.    | Traadi takistuse sõltuvus temperatuurist .....                     | 78 |
| XI.   | Termoelekter .....                                                 | 79 |
| 1.    | Termopaar .....                                                    | 79 |
| 2.    | Termopaari valmistamine .....                                      | 80 |
| 3.    | Termopaari gradueerimine .....                                     | 80 |
| 4.    | Termopatarei .....                                                 | 82 |
| XII.  | Elektrinähtused vaakuumis .....                                    | 83 |
| 1.    | Isevalmistatud diood .....                                         | 83 |
| 2.    | Demonstratsiooni diood .....                                       | 83 |
| 3.    | Katseid demonstratsiooni dioodiga .....                            | 84 |
| 4.    | Anoodvoolu saamine dioodiga .....                                  | 84 |



|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5. Diood alaldina .....                                                  | 85  |
| 6. Kolme elektroodiga elektronlamp ehk triood .....                      | 87  |
| 7. Triood võimendina .....                                               | 88  |
| 8. Trioodi kasutamine võnkumiste genereerijana .....                     | 90  |
| XIII. Vool elektrolüütides .....                                         | 91  |
| 1. Ioonide liikumise demonstreerimine .....                              | 91  |
| 2. Klaasi elektrijuhtivuse demonstreerimine .....                        | 92  |
| 3. Täiendavaid katseid .....                                             | 93  |
| 4. Töötamine Hoffmanni riistaga .....                                    | 94  |
| 5. Faraday I seadus .....                                                | 95  |
| 6. Faraday II seadus .....                                               | 96  |
| XIV. Elektrivool gaasides normaalarõhul .....                            | 97  |
| 1. Väliste ionisaatori mõju .....                                        | 97  |
| 2. Iseseisev ja mitteiseisev elektrilahendus .....                       | 98  |
| 3. Elektrilahenduse liigid gaasides atmosfäärirõhul ..                   | 99  |
| 4. Elektrilahenduste kasutamine .....                                    | 99  |
| XV. Elektrilahendused gaasides madalal rõhul .....                       | 102 |
| 1. Elektrilahendus torus, milles rõhku<br>järgjärgult vähendatakse ..... | 102 |
| 2. Vaakuumtorude komplekt .....                                          | 103 |
| 3. Huumlahenduse kasutamine .....                                        | 104 |
| 4. Katoodkiired ehk elektronkiired .....                                 | 104 |
| XVI. Pooljuhtide elektrilised omadused .....                             | 106 |
| 1. Töö katseteks ettevalmistamisel .....                                 | 106 |
| 2. Komplekti kuuluvate riistade loetelu<br>ja karakteristika .....       | 107 |
| 3. Katseid pooljuhtide komplektiga .....                                 | 108 |





A-

④

31175

78 431

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00504405 4