

A. A. POKROVSKI  
B. S. ZVORŌKIN

FÜÜSIKA  
FRONTAALSED  
LABORATOORSED TÖÖD  
KESKKOOLIS

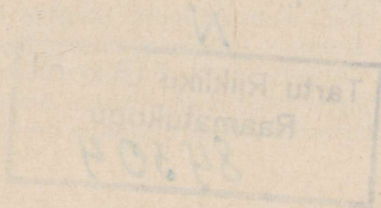


EESTI RIIKLIK KIRJASTUS ◦ TALLINN 1953

A-19739

A. A. POKROVSKI JA B. S. ZVORŌKIN

FÜÜSIKA  
FRONTAALSED LABORATOORSED  
TÖÖD KESKKOOLIS



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS  
TALLINN 1953

Originaali tiitel:

А. А. Покровский и Б. С. Зворыкин.

Фронтальные лабораторные занятия по физике в средней школе.  
Издательство Академии Педагогических Наук РСФСР. 1952.



TARTU ÜLIKOOLI  
RAAMATUKOGU

## EESSONA I VÄLJAANDELE.

Lugejaile esitatav töö on autorite poolt tehtud Moskva 315-nda keskkooli eeskujulikus füüsikakabinetis.

Autorite poolt väljatöötatud näidis riistade vajaliku hulga valmistamisel osutas olulist abi Pedagoogiliste Teaduste Akadeemia Õppemeetodite Instituudi näitlike õppevahendite osakonna eksperimentaalne töökoda. See andis võimaluse kogu õppeaasta vältel vahetult kooli tingimustes kontrollida uusi konstruktsioone praktikas.

Frontaalsete tööde varustuse täieliku komplekti valmistamine näidiste järgi, mida praegu omab 315-nda kooli füüsikakabinet, toimus PTA Õppemeetodite Instituudi näitlike õppevahendite osakonna juhataja K. J. Parmenovi üldisel juhtimisel, kes seejärel osutas suurt tähelepanu selle raamatu trükiks ettevalmistamisel.

Raamatus toodud paljude laboratoorsete tööde kirjelduste kogumist ja mõõtmiste esialgsete tulemuste saamist teostasid füüsikaõpetajad V. V. Platonova ja S. S. Belostotskaja.

Kõik fotod on tehtud autorite näpunäidete järgi. Õppemeetodite Instituudi laboratooriumi juhataja B. P. Konstantinovi poolt.

---

### EESSONA III VALJAANDELE.

Käesoleva käsiraamatu esimese trüki väljaandmisest, mis leidis füüsikaõpetajate hulgas väga pooldavat vastuvõttu, on möödunud kolm aastat. Selle aja jooksul on kirjeldatud varustus kantud VNFSV Haridusministeeriumi poolt avaldatud seitsmeaastase kooli ja keskkooli näitlike õppevahendite kohustuslikku nimekirja ning toodetakse peaaegu eranditult tööstuse poolt. Glavutštepromi tehaste poolt varustuse massilise tootmise ettevalmistamise käigus teostati muudatusi ja täiustusi üksikute riistade ning detailide konstruktsioonis ja kujus, mis seetõttu erinevad varem valmistatud katseriistadest.

Kõik see nõudis nii teksti kui ka illustratsioonide põhjalikku ümbertöötamist kolmanda väljaande jaoks. Uues väljaandes soovitatav varustus on täpselt sarnane käesoleval ajal Glavsnabprossi poolt turustatava varustusega.

Peale selle on raamatusse sisse toodud uus III peatükk: selles on üksikasjaliselt valgustatud laboratoorsete tööde korraldamise meetodilisi küsimusi ning on näidatud, kuidas saab kasutada varustust frontaalsete tööde korraldamisel «jagatava materjalina» õpetaja poolt antavate seletuste käigus.

Raamatu ümbertöötamisel on arvestatud õpetajate ja metoodikute mitmesuguseid märkusi ja soove, kes kasutades seda raamatut frontaalsete laboratoorsete tööde korraldamisel omandasid oma kogemused. Seetõttu on tehtud mõningaid muudatusi tööde kirjeldustes.

Kõigi saadetud või suuliselt avaldatud näpunäidete eest, mis võimaldasid parandada raamatut, avaldavad autorid seltsimeestele südamlikku tänu.

---

## SISSEJUHATUS.

Paljud füüsikaõpetajad teostavad käesoleval ajal ühtesid või teisi töid, mis on seotud füüsikalise eksperimendiga: organiseerivad füüsika praktikume, mitmesuguseid füüsikaringe, eksperimentaalseid koduseid ülesandeid jms. Nende mitmekesiste õpetamise vormide hulgas, mis aitavad kaasa õpilaste igakülgsel arenemisele, omavad eriti suurt tähtsust klassis frontaalselt teostatavad laboratoorsed tööd.

Teatavasti laboratoorsete tööde korraldamise frontaalne meetod keskkoolis omab rea tähtsaid positiivseid külgi. Eelkõige annab see meetod võimaluse õpilaste laboratoorsete tööde ja õpitava kursuse tihedaks sidumiseks. Frontaalse meetodi abil võib laboratoorseid töid korraldada sissejuhatusena kursuse ühte või teise ossa või illustratsioonina õpetaja seletusele, või õpitud materjali kordamiseks ja üldistamiseks.

Nii siis, õpilaste laboratoorne eksperiment muutub vajalikuks lüliks õpetamise protsessis, mis tunduvalt aitab kaasa materjali omandamisele nagu demonstreeritavad katsedki.

Peale selle võimaldab frontaalne meetod õpilastele mõningate algeliste praktiliste vilumuste andmist lihtsamate mõõteriistade ja muu aparatuuri käsitlemisel.

Praktika näitab, et õpetamise protsessis kogemusi ei või ega pea eraldama teadmistest. Kogemusi omandatakse järk-järgult koos teadmistega; nad nagu teadmisedki algul tekivad, siis formeeruvad ja arenevad. Seejuures on väga tähtis anda kohe algusest õpilasele õigeid kogemusi, et need, järk-järgult arenedes, leiaksid endale laialdase kasutamise: ebaõiged kogemused pea-aegu alati piiravad tugevasti heade tulemuste saavutamise võimalust ja on parandatavad suure tööga.

Sellest seisukohast omavad frontaalsed laboratoorsed tööd esmajärgulist tähtsust. Õige, nad võimaldavad vaid algeliste praktiliste kogemuste andmist õpilastele riistade käsitlemisel, kuna meetoodilistel kaalutlustel frontaalseteks töödeks valitakse lihtne õppevarustus, et selle omandamine ei viiks õpilasi kõrvale olulisest — füüsikaliste nähtuste ja seaduspärasuste tundmaõppimisest. Need kogemused omandatakse õpilaste poolt tihedas seoses füüsika kursuse õppimisega. Niisuguse tundmaõppimise juures omandavad õpilased väieldamatult õiged kogemused.

Ühe või teise ülesande täitmine laboratoorsete tööde käigus kulgeb õpetaja alalisel ja vahetul jälgimisel ning kogu klassi kollektiivses töös. Niisugusel juhul ilmneb iga viga kiiresti ja seda on kerge parandada kas õpetaja juhendeil või tugevamate seltsimeeste järgimisel.

Frontaalsed laboratoorsed tööd erinevalt praktikumist annavad täieliku võimaluse tunni lõpus kollektiivselt arutada ja hinnata iga üksiku lüli poolt saadud tulemusi võrdluse teel teiste lülide poolt saadud tulemustega. Niisugust kokkuvõtlikku arutelu võib korraldada vajaduse korral pärast igat laboratoorset tööd.

Tuleb märkida, et frontaalsete tööde valik (vt. lk. 8) ja nende teostamise meetodika on tüüpiliseks alguseks polütehnilise õpetuse ja kogemuste õigele edasiarendamisele füüsika praktikumi laboratoorsetes töödes keskkooli vanematele klassidele.

Siiski, vaatamata frontaalse meetodi kõigile nendele positiivsetele külgedele, mis on leidnud täielikku kinnitust praktikas, ei ole frontaalsed laboratoorsed tööd domineerivad meie keskkoolides.

Real põhjusil korraldatakse frontaalsete laboratoorsete tööde asemel korduvaid praktikume, millised organiseeritakse kursuse mõne osa või kogu aasta kursuse lõpul. Niisuguste praktikumide peamised ülesanded moodustavad: suurema iseseisvuse arendamise õpilastes, varem omandatud teadmiste ja kogemuste edasine arendamine, keerukamate tehniliste ja majanduslike riistadega tutvumine jne. Seepärast ei saa frontaalsetid asendada praktikumidega, neid on soovitatav korraldada vanemates klassides rööbiti frontaalsete töödega, nagu see on üksikasjaliselt kirjeldatud raamatus «Praktikumid füüsikast»<sup>1</sup>.

Üheks põhjuseks, mis pidurdas frontaalsete tööde levikut, oli varem tööstuse poolt väljalastava laboratoorse varustuse puudulikkus ja ebakomplektsus. See sundis õpetajat kulutama liigselt palju aega laboratoorseteks töödeks vajalike riistade valimisele. Seepärast olid mõned füüsikaõpetajad sunnitud korraldama laboratoorseid töid kooli tingimustes õpilaste poolt valmistatud riistadega.

Et aga laboratoorsed tööd rahuldaksid täielikult kaasaegseid meetodilisi nõudeid, ei tohi neid teostada ainult omavalmistatud riistadega. Füüsika laboratoorsed tööd nõuavad rea mitmesuguseid mõõteriistu, milledest vaid üksikuid võib valmistada koolis. Laboratoorsete tööde varustuse hulgas on olemas ka lihtsaid riistu ja seadeldisi, milliseid võivad õpilased ise ilma suurema raskuseta valmistada. Need lihtsamad omavalmistatud riistad ja detailid osutuvad sageli mitte halvemateks vabriku omadest, mispärast pole alati mõtet koormata nendega tööstust.

Et õigesti lahendada varustuse küsimust, on tarvis moodustada omavalmistatud ja tööstuslike riistade kombinatsioon. Ainult ühine

<sup>1</sup> А. А. Покровский и др., Практикум по физике в старших классах средней школы, М., изд-во АПН РСФСР, 1951.

ja hästi kooskõlastatud töö tööstuse ja füüsikaõpetajate vahel laboratoorseteks töödeks valmistatavate riistade osas võib viia laialdasele ja kiirele laboratoorsete tööde juurutamisele keskkoolis.

Käesolev raamat seab oma ülesandeks abistada õpetajaid laboratoorsete tööde korraldamisel ja teostamisel spetsiaalselt töödeldud ja valitud varustusega. Seda varustust omal ajal kontrolliti praktikas Moskva 315. koolis ja kiideti heaks VNFSV Haridusministeeriumi juures asuva näitlike vahendite komisjoni poolt. Peaaegu kõik komplekti kuuluvad riistad on tööstuse poolt toodetud ja müügile lastud.

Et abi oleks võimalikult täiuslikum, antakse raamatus kõigepealt varustuse üksikasjalik kirjeldus kindlas järjekorras — alates mõõteriistadest kuni materjalideni, kusjuures enamik samatüübilisi riistu ja detaile on esitatud joonistel ja spetsiaalseis pakendeis. See annab kujutluse riistadest ning nende hoidmise ratsionaalseist viisidest. Vajaduse korral võib kadmikke valmistada jooniste järgi oma jõududega.

Seejärel antakse juhised frontaalsete tööde teostamise metoodikast ja tuuakse küllaltki üksikasjaline kirjeldus tähtsamatest laboratoorsetest töödest, mida saab korraldada selle varustusega; on olemas seadeldiste joonised, mis aitavad kiiresti koguda varustuse mistahes kirjeldatud töö jaoks. Need joonised on varustatud antud töö jaoks varustuse loeteluga, mille lõppu on märgitud ka laboratooriumi jaoks ühised riistad (seinatermomeeter, baromeeter, demonstratsioonikell jms.).

Üldiste riistade kohta on antud igal eri juhtumil vastavad juhised.

Peale selle on esitatud peaaegu kõigis laboratoorsete tööde kirjeldustes konkreetseid näited 315-ndas koolis teostatud laboratoorsete tööde kogemustest ja arvestused saadud tulemuste maksimaalse suhtelise vea kohta.

Kõik see annab õpetajale võimaluse juba varem ette näha, mida võib esitatava varustusega praktikas saavutada ja kuidas seda kõige ratsionaalsemalt kasutada töö organiseerimiseks.

Nii siis selle juhise eesmärgiks on üksikasjaline frontaalsete laboratoorsete tööde korraldamise metoodika ja tehnika lahtimõtestamine, et õpetaja võiks oma aega kulutada produktiivsemalt varustuse valikul ja nende tööde organiseerimisel. Nii üksikute tööde kirjeldus kui ka juhised antakse ainult lühidalt ja kokkurestitult, eeldades, et need on üldtuntud ja esinevad metoodilises kirjanduses.

Tuleb meeles pidada, et laboratoorsete tööde ja varustuse kirjeldus on koostatud spetsiaalselt õpetajale. Seetõttu need kirjeldused ei saa kuidagi olla juhiseks õpilastele. Veel enam, kogemused näitavad, et kirjalikud juhised on õpilastele frontaalsete tööde teostamisel hoopiski ülearused.

Arvestades võimalikke raskusi laboratoorse varustuse ostmisel koolide poolt, kavastasid autorid kaks riistade, tarvete ja mater-

jalide muretsemise järjekorda. Varustuse järjestus on rajatud ühtede ja samade riistade ja tarvete kasutamise analüüsi (vt. I peatükk) tulemusele mitmesugustes laboratoorses töödes.

Varustuse komplekteerimisel on peetud silmas neid laboratoorseid töid, milliste sooritamist võib soovitada frontaalsel meetodil keskkoolis.

### Nimestik nr. 1 (VI ja VII klass)

1. Pikkuse mõõtmine, pindala ja ruumala määramine.
2. Anuma mahu ning tahke keha ruumala mõõtmine mensuuriga.
3. Kaalumine kangkaaludel.
4. Vedru gradueerimine ja jõu mõõtmine dünamomeetriga.
5. Tahkete kehade ja vedelikkude erikaalu määramine.
6. Kehade ujumistingimuste selgitamine.
7. Hõõrdumisjõu mõõtmine ja selle võrdlemine keha kaaluga.
8. Jõudude tasakaalu tingimuse selgitamine kangil.
9. Kasuteguri määramine keha tõstmisel mööda kaldpinda.
10. Soojusliku tasakaalu kontrollimine erinevate temperatuuridega vee segamisel.
11. Soojendaja kasuteguri määramine.
12. Naftaliini soojenemise ja sulamise jälgimine ja temperatuuri graafiku ehitamine.
13. Vee soojenemise ja keemise vaatlemine ja temperatuuri graafiku ehitamine.
14. Elektri vooluringi koostamine.
15. Ohmi seaduse kontrollimine vooluringi osas.
16. Takistuse määramine ampermeetri ja voltmeetri abil.
17. Elektrimootori või elektrilambi poolt tarvitatava võimsuse määramine.
18. Magnetiliste nähtuste vaatlemine.
19. Vooluga pooli magnetiliste omaduste tundmaõppimine.
20. Elektromagneti koostamine ja kasutamine.
21. Valguse peegeldumise tundmaõppimine tasapeeglist.
22. Valguse murdumise tundmaõppimine, tasaparalleelsed plaadis ja prismas.
23. Tõeliste kujutiste saamine läätse abil.

### Nimestik nr. 2 (VIII—XI klass)

24. Ühtlaselt kiireneva liikumise seaduste tundmaõppimine kaldpinnal.
25. Parabooli mööda liikuva keha liikumise uurimine.
26. Kahe teineteise suhtes nurga all mõjuva jõu liitmine.
27. Paralleelsete jõudude liitmine.
28. Jõudude momentide seaduse kontrollimine.

29. Hõõrdumiskoefitsiendi määramine.
30. Polüspasti kasuteguri määramine.
31. Tahkete kehade ja vedelike tiheduse määramine hüdrostaatilise kaalumise teel.
32. Vedeliku tiheduse määramine hüdroometri abil.
33. Kesktõmbejõu valemi kontrollimine.
34. Maa raskuskiirenduse suuruse määramine.
35. Aine erisoojuse määramine.
36. Jää sulamissoojuse määramine.
37. Boyle-Moriotte'i seaduse kontrollimine.
38. Gaasi oleku valemi kontrollimine.
39. Vedeliku pindpinevuse määramine.
40. Pinge jaotuse uurimine vooluringi järjestikustel osadel.
41. Juhtmete paralleelse ühenduse uurimine.
42. Vooluallika EMJ ja sisetakistuse määramine.
43. Joule'i soojuse mehaaniline ekvivalendi määramine.
44. Vase elektrokeemilise ekvivalendi määramine.
45. Magneti ja voolu vastastikuse toime vaatlemine.
46. Elektromagnetilise induktsiooni uurimine.
47. Kujutise konstrueerimine tasapeeglis.
48. Klaasi murdumisnäitaja määramine.
49. Nõguspeegli peafookuse kauguse määramine.
50. Kumerlääitse peafookuse kauguse määramine.
51. Nõguslääitse peafookuse kauguse määramine.
52. Kepleri pikksilma, mikroskoobi ja Galilei pikksilma mudelite koostamine.
53. Projektsiooniaparaadi mudeli koostamine.

Nimekirjadesse paigutatud tööde valik on määratud kahel põhjusel: meetoodilise vajadusega, mille aluseks on võetud tööde miinimum, mis on ette nähtud programmis, ja nende korraldamise tehnilise otstarbekusega. Seepärast mõned tööd, mis kuuluvad peamiselt vanematesse klassidesse ja milliseid nähtavasti oleks vaja korraldada samuti frontaalselt, puuduvad nimekirjadest. Nii-suguste tööde näiteiks võiksid olla: 1) hääle lainepikkuse mõõtmine resonansi meetodil; 2) valgustusseaduste kontrollimine; 3) õhu rõhu termilise koefitsiendi määramine; 4) soojuse mehaanilise ekvivalendi määramine ja mõned teised.

Viimaste tööde ettevalmistamise tingimuste, nende teostamise ja kõigi vajalike varustuse detailide analüüs sunnib need kandma praktikumi, mis, — nagu see eespool on tähendatud, peab olema organiseeritud VIII—IX klassides rööbiti frontaalselt töödega. Näiteks frontaalselt teostatud hääle laine pikkuse määramine resonansi meetodil ja valgustusseaduste kontrollimine raskendub tunduvalt sellega, et üheaegselt tuleb kõikides lülides kasutada hääleallikaid (vilesid, hääleharke jms.) esimeses töös ja valgusallikaid teises töös. See aga loob tingimused, mille puhul on raske teostada õigeid vaatlusi ja mõõtmisi. Seadeldis kolmanda töö jaoks — õhu rõhu termilise koefitsiendi määramine — on

seotud hapra elavhõbedaga täidetud klaasriistaga (gaastermo-meeter), mida kuidagi ei saa oma iseloomult soovitada kiireks üle-kandmiseks, lahtivõtmiseks või kokkupanemiseks.

Neljandas töös — soojuse mehaanilise ekvivalendi määra-mine — annavad kõik seni tuntud seadeldised suure ebatäpsusega tulemuse. Keerulisemad ja enam täiustatud riistad on sobivad ainult praktikumi jaoks, kus need võivad jääda kokkuseatuna pike-maks ajaks ja kus iga töö teostatakse kahe tunni jooksul.

Kummagi nimekirja kõik tööd on kontrollitud koolitöö prakti-kas; iga töö jaoks on arvestatud üks tund, s. o. 45 min., kuhu on kaasa arvatud ka riistade väljaandmine ja kokkupanek, millis-tega töötab kogu klass.

---

## I PEATÜKK

### VARUSTUS FRONTAALSETEKS LABORATOORSETEKS TÖÖDEKS.

Varustuse peamine ülesanne seisab riistade komplekti, tarvete ja materjalide valikus, milledega võiks korraldada meetoodiliselt õigesti ja tehniliselt kirjaoskuslikult kõik ettenähtud laboratoorsed tööd. Seejuures riistad ja tarbed peavad olema oma konstruktsioonilt kõige lihtsamad, mis peaaegu ei tõmba kõrvale õpilaste tähelepanu ega viida aega nende tundmaõppimisel ning nende ehitusega tutvumisel.

Kõik detailid peavad olema portatiivsed, et neid oleks mugav käsitseda nii töö vältel kui ka kappidesse hoiule paigutamisel. Varustus peab võimaldama selle väljaandmist ja koristamist vähima ajakaoga, sest laboratoorsete tööde korraldamise organisatsiooniline külg omab otsustavat tähtsust kogu töö edukuses.

On ilmne, et seda ülesannet ei saa lahendada ositi: algul valida ühe või teise töö või rühma tööde jaoks vajalik varustus ja seejärel mehaaniliselt ühendada need. Mitmeid riistu kasutatakse füüsika kursuse kõikides osades ja seepärast on vajalik välja töötada riistade konstruktsioon, lähtudes laboratoorsete tööde kogu kompleksist.

Olenevalt sellest tingimusest (tööde arv ja temaatika) omab varustuse ülesanne erinevaid lahendusi.

Antud juhul on juhendamise aluseks sissejuhatusse paigutatud laboratoorsete tööde nimestikud, millede jaoks ongi valitud allpool loetletud varustus. Riistade, tarvete ja materjalide kogu komplekt võimaldab frontaalsel meetodil läbi viia 53 tööd. Ühtlasi on ka see riistade komplekt minimaalne antud konkreetse juhtumi jaoks: loetelust ühe või teise, olgu isegi mistahes väikese detaili väljajätmine viib selleni, et osutub võimatuks läbi viia mingit üksikut või mitut tööd.

Iga üksiku riista või detaili lõplikul valikul ja konstruktsiooni töötlemisel on pööratud erilist tähelepanu nende lihtsusele ja ehitamise teostatavuse võimalusele, kahjustamata nende meetoodilisi ja praktilisi väärtusi.

Et valgustada küllaldase üksikasjalikkusega riistade ja tarvete ehitust ja otstarvet, esitada nende hoidmise viise ja võtteid, näi-

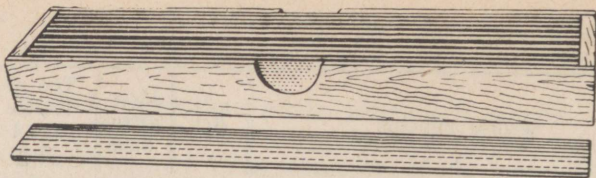
data tihedat seost kavastatud töödega jne., on kogu varustus koon-  
datud ühte üldisesse nimestikku ning illustreeritud vastavate joo-  
nistega.

Allpool toodud nimestikus peale järjekorra numbri, varustuse  
nimetuse, eksemplaride arvu ja muretsemise järjekorra, on kahes  
viimases veerus märgitud laboratoorsete tööde numbrid, millede  
puhul kasutatakse nimestikus loetletud riistu, tarbeid ja materjale.

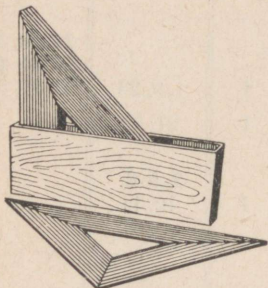
---

VARUSTUSE LOETELU

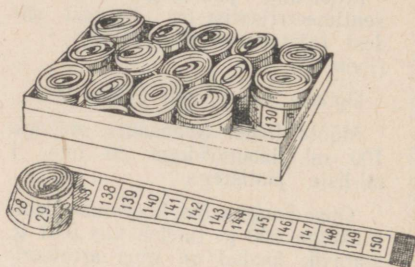
Jrk. nr.	Seadise nimetus	Arv	Järjekorralisus	Töö nr. loetelu nr. 1 järgi	Töö nr. loetelu nr. 2 järgi
	M õ õ t e r i i s t a d .				
1.	Mõõtejoonlaud, pikkusega 35 cm, millimeetrijaotistega, puust või plastmassist (joon. 1) . . . . .	15	I	1, 2, 5, 8, 21, 22	25, 26, 27, 32, 39, 47, 48
2.	Õpilase kolmnurk, hüpotenuusi pikkus 20—25 cm, ühel kaatetitest millimeetrijaotistega (joon. 2) . .	15	I		26, 28, 29, 37, 47, 48
3.	Mõõtelint, pikkusega 150 cm, sentimeetrijaotistega, linasest riidest (rätsepa «sentimeeter») (joon. 3) . . . . .	15	I	1, 9, 23	24, 29, 30, 33, 34, 49, 50, 51, 53
4.	Õpilase väike mall (joon. 4) . .	15	I	21, 22	
5.	Mõõtesilinder (mensuur), mahuga 100 ml, läbimõõduga 30 mm, 1 ml-liste jaotistega . . . . .	15	I	2, 5, 6, 10, 11	
6.	Oppe-kangkaalud, koormuse ülemääraga 200 g, tundelikkus 0,01 g, statiivil; kaalud on ilma arreteerijata, kuid tõstemuhviga, mis võimaldab piirata kaalukangi kalde nurka tasakaaluasendist (joon. 5 ja joon. 68) . . . . .	15	I	3, 5, 6, 11	33, 35, 36, 39, 43, 44
7.	Kaaluvihid 0,01 g kuni 100 g, kastis, pinsettidega; kõigi kaaluvihide üldine mass on 211,1 g (joon. 6) . . . . .	15	I	3, 5, 6, 11	33, 35, 36, 39, 43, 44
8.	Vedrudünamomeeter Bakušinski järgi, koormusele 400 g, jaotiste väärtusega 10 g (joon. 7), dünamomeetril on aas ülesriputamiseks . .	15	I	4, 7, 8, 9	26, 27, 28, 29, 30, 31
9.	Koormuste komplekt 6 tk-st, alusel hoidmiseks, iga koormus massiga 100 g, igaüks kahe konksuga (joon. 8) . . . . .	15	I	4, 7, 8, 9	26, 27, 28, 29, 30
10.	Termomeeter, keemiline — 10° kuni +100°, jaotatud kraadides (joon. 9) . . . . .	15	I	10, 11, 12, 13	35, 36, 38, 43
11.	Kooliampermeeter, laboratoorne, alalisvoolu (elektromagnetilise süsteemiga) (joon. 10) või Glavutštepromi poolt toodetud ampermeeter, skaalaga 2 amprit, jaotus kümnedikes amprites (joon. 11) . . . . .	15	I	15, 16, 17	41, 42, 43, 44



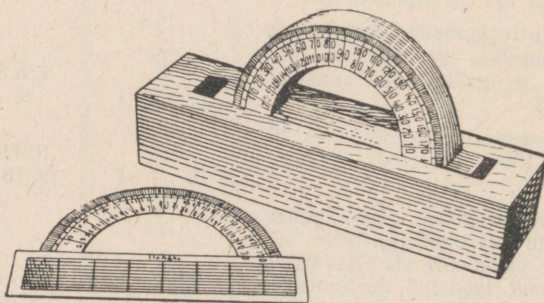
Joon. 1. Mõõtejoonlaud.



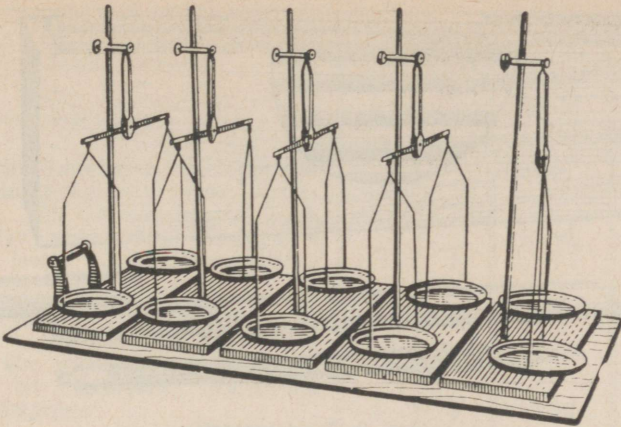
Joon. 2. Kolmnurgad.



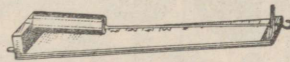
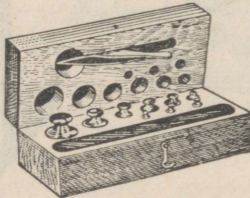
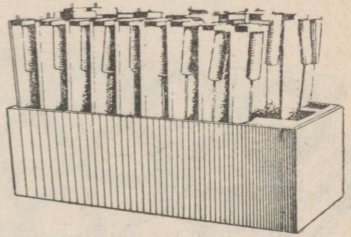
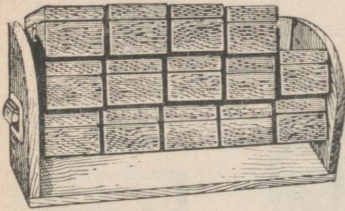
Joon. 3. Mõõtelindid.



Joon. 4. Mallid.

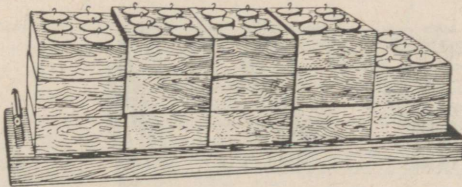


Joon. 5. Kangkaalud.



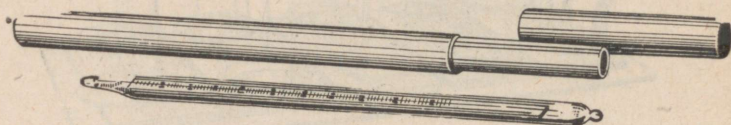
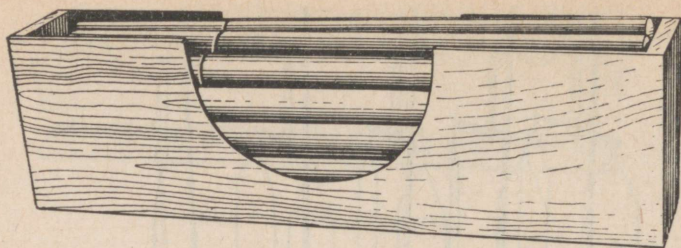
Joon. 7. Dünamomeetrid.

Joon. 6. Kaaluvihid.

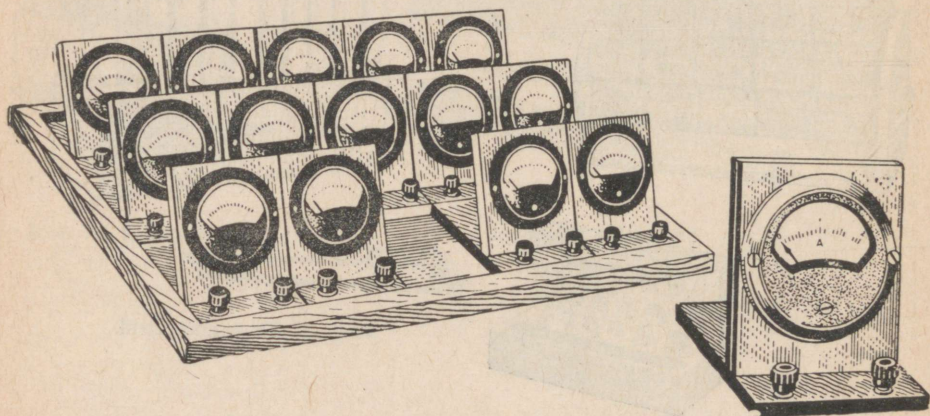


Joon. 8. Koormused  
katseteks mehaanika alal.

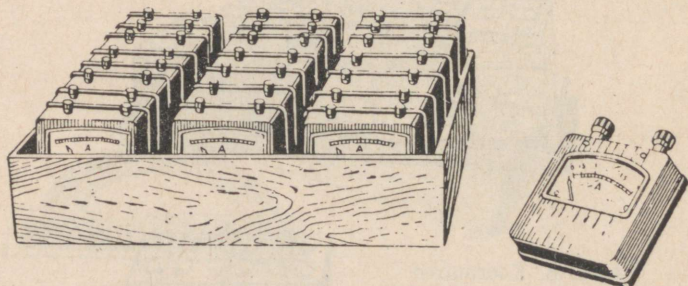




Joon. 9. Termomeetrid.



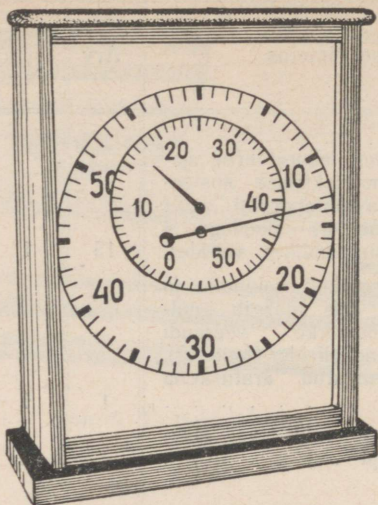
Joon. 10. Ampermeetrid kaldpaneelidel.



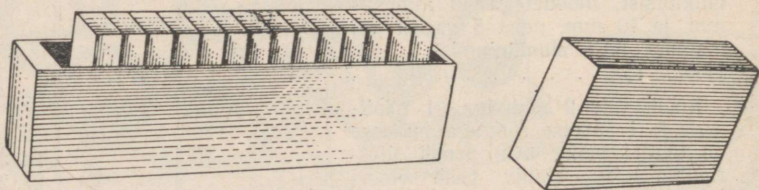
Joon. 11. Glavutšehpromi poolt toodetavad ampermeetrid.

Jrk. nr.	Seadise nimetus	Arv	Järjekorralisus	Töö nr. loetelu nr. 1 järgi	Töö nr. loetelu nr. 2 järgi
12.	Koolivoltmeeter, laboratoorne alalisvoolu (magnetelektrilise süsteemiga), või Glavutštehpromi poolt toodetav voltmeeter, skaalaga 4 volti, jaotus kümnendikes voltides.	15	I	15, 16, 17	40, 41, 42, 43
13.	Demonstratsioonikell sekundi- ja minutiosutitega, mis märgib kuuldavalt ajavahemikke veerandi kuni ühe sekundi piirides (joon. 12). Kell on varustatud äratuskella mehhanismiga <sup>1</sup> . . . . .	1	I	12, 13	24, 33, 34, 43, 44
14.	Baromeeter, aneroid- või elavhõbe, koolitüüpi . . . . .	1	I		37, 38
Laboratoorsed riistad ja juurdekuuluvad vahendid.					
15.	Komplekt 15-st kandilisest metallklotsist, mõõdetega 40 mm, 25 mm ja 10 mm, neist 5 vasest või malmist ja 5 alumiiniumist (joon. 13) . . . . .	1	I	1, 2, 5	
16.	Koolistatiiv 2 muhviga, 1 näpitsaga ja 1 väikese rõngaga, millesse on tehtud väike ava pendli ülesriputamiseks; statiiv peab olema kvaliteedilt lähedane Glavutštehpromi poolt toodetavale füüsikalisele statiivile . . . . .	15	I	3, 4, 8, 9, 11, 12, 13	24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 39, 45
17.	Tribomeeter, koosnev puujoonlauast, mõõdetega 50 cm, 5 cm ja 0,4 cm ning ühest risttahukakujulisest puuklotsist 2 konksuga ja avadega koormuste jaoks (joon. 73)	15	I	1, 7, 9	29
18.	Kang-joonlaud, pikkusega 50 cm ja kruvidega ning mutritega tasakaalustamiseks, eraldi metallteljega, mis kinnitatakse koolistatiivi külge, 4 terastraadist aasaga, koormuste riputamiseks kangile (joon. 14) . .	15	I	8	27, 28
19.	Puurenn, pikkusega 140 cm, kõrgusega 5 cm ja laiusega 2 cm (või nurkprofiiliga metallist, 20—25 mm ääristega) (joon. 96) . . . . .	15	I		24, 50, 51, 52, 53

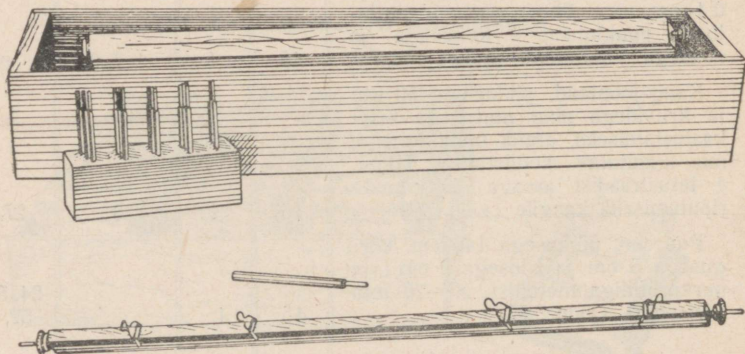
<sup>1</sup> Demonstratsioonikella võib asendada äratuskella või metronoomiga.



Joon. 12. Demonstratsiooni kell-metronoom.



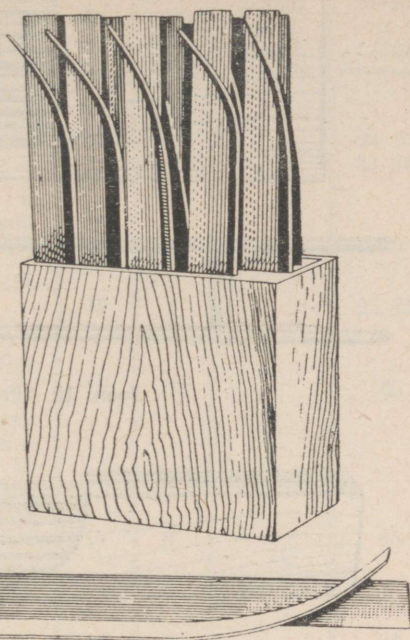
Joon. 13. Metallklotsid.



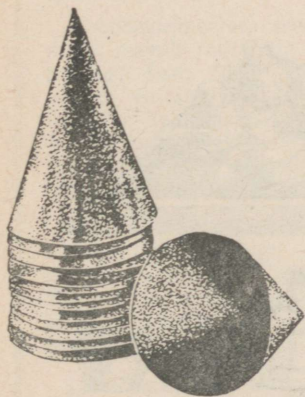
Joon. 14. Kangid.



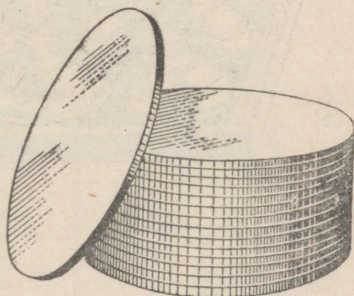
Joon. 15. Kuulikesed.



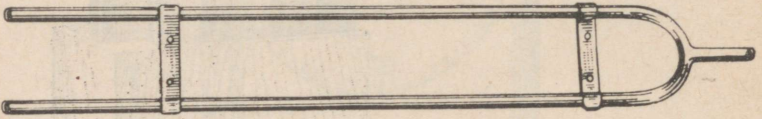
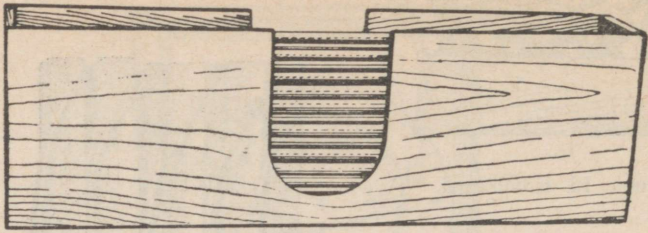
Joon. 16. Rennid kuulikeste langetamiseks.



Joon. 17. Paberkoonused kuulikeste püüdmiseks.



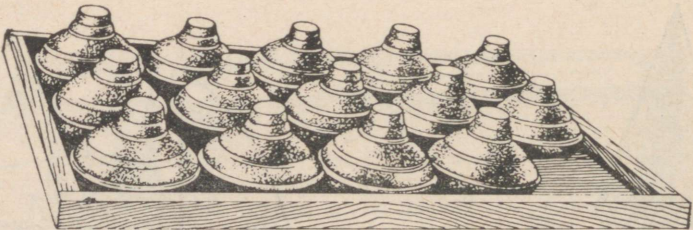
Joon. 18. Vineerkettad.



Joon. 19. Hüdromeetrid.

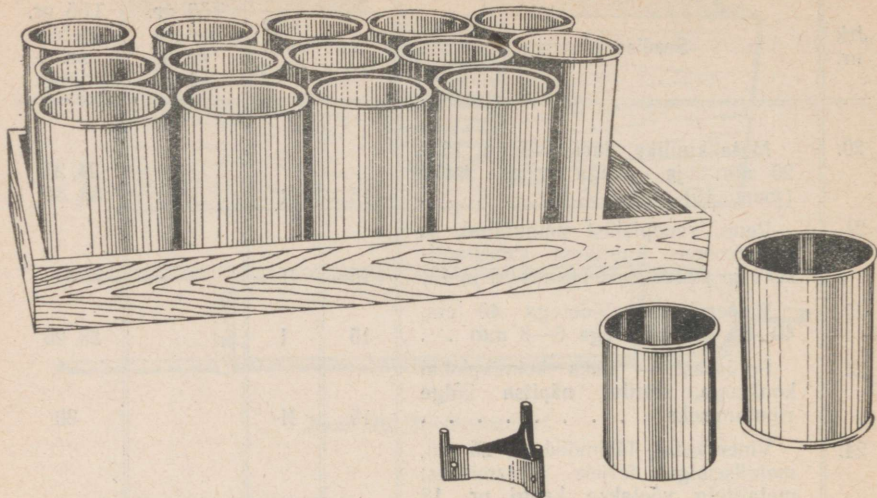


Joon. 20. Elavhõbeda sambaga klaastorud.

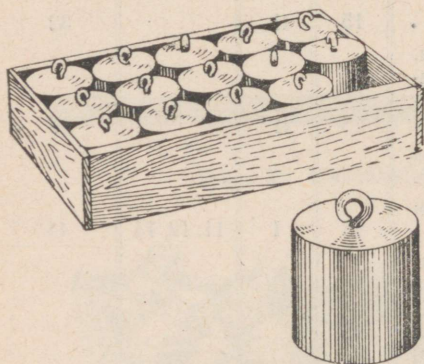


Joon. 21. Piirituslambid.

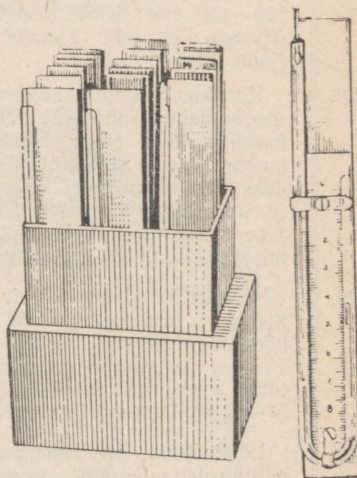
Jrk. nr.	Seadise nimetus	Arv	Järjekorralisus	Töö nr. loetelu nr. 1 järgi	Töö nr. loetelu nr. 2 järgi
20.	Metallkuulike, läbimõõduga 15—20 mm ja avaga niidi jaoks (joon. 15) . . . . .	15	I		24, 25, 33, 34
21.	Renn, raudplekist painutatud, ja paberkoonus kuulikese vabastamiseks ja püüdmiseks (joonis 16 ja 17)	15	II		25
22.	Vineerplaat, mõõdetega 40 cm, 40 cm ja paksusega 6—8 mm . .	15	I		25, 26
23.	Polüspast — kaks kolmikplokki konksuga, statiivi näpitsa külge riputamiseks . . . . .	15	II		30
24.	Vineerketas, läbimõõduga 25 cm, metallseibiga teljele asetamiseks; metalltelg võetakse kangi nr. 18 juurest. Ketast kasutatakse jõudude momentide seaduse tuletamiseks (joon. 18) . . . . .	15	II		28
25.	Hüdromeeter, kõrgusega umbes 45 cm, kahe metallklambriga kooli-statiivi külge kinnitamiseks (joon. 19) . . . . .	15	II		32
26.	Klaastoru, elavhõbeda sambaga, pikkusega 50 cm; toru on kinnitatud millimeetrijaotistega puujoonlauale (joon. 20) . . . . .	15	II		37
27.	Piirituslamp, metallist, mahuga 120—150 cm <sup>3</sup> ; lambi kaal koos piiritusega ei tohi ületada 200 g (joon. 21) . . . . .	15	I	11, 12, 13	44
28.	Koolikalorimeeter, seesmise anumaga mahult mitte üle 250 cm <sup>3</sup> ja massiga kuni 50 g; selline kalorimeeter vastab täielikult õppekaaludele (6), kalorimeetri kehadele (29) ja traatspiraalidele (38), Joule'i soojuste mehaanilise ekvivalendi määramiseks (joon. 22) . . . . .	15	I	10	31, 35, 36, 43
29.	Metallsilindrid kalorimeetrile, konksudega, läbimõõduga 30 mm ja kõrgusega 30 mm (või läbimõõduga 25 mm ja kõrgusega 40 mm): 5 tükki messingist, 5 — malmist ja 5 — alumiiniumist (joon. 23) . . .	15	I		24, 31, 35
30.	Lühendatud elavhõbemanomeeter, millimeetrijaotistega metallskaalal Bakušinski järgi (joon. 24) . . . .	15	II		38



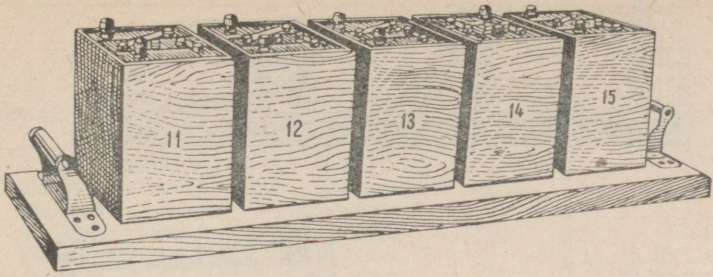
Joon. 22. Kalorimeetrid.



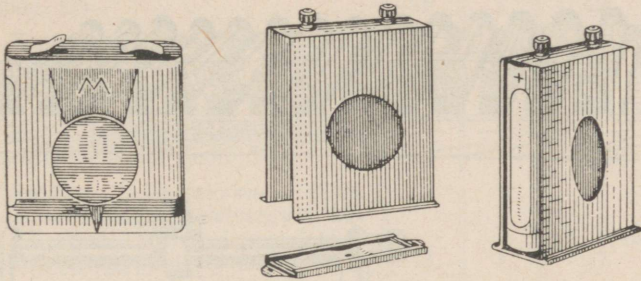
Joon. 23. Metallsilindrid.



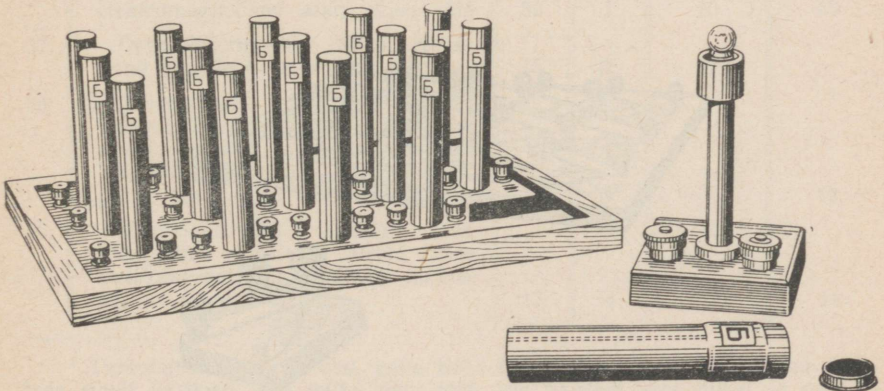
Joon. 24. Lühendatud elavhõbemanomeetrid.



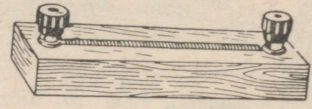
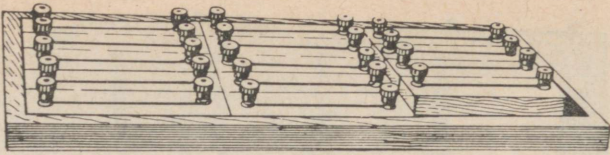
Joon. 25. Akumulaatorpatareid.



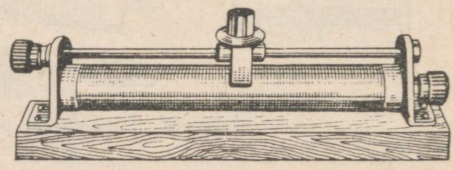
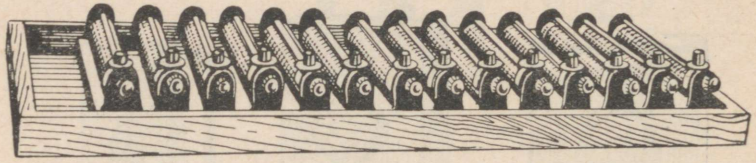
Joon. 26. Taskulambi patareid.



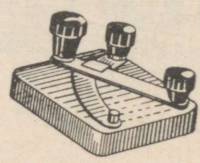
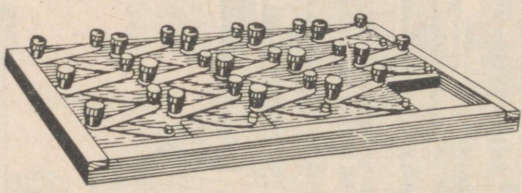
Joon. 27. Lambijalad madalpinge lampidega.



Joon. 28. Traattakistid.



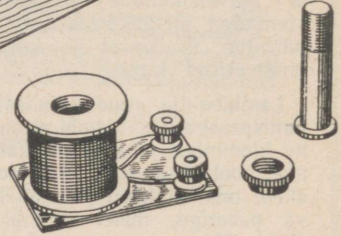
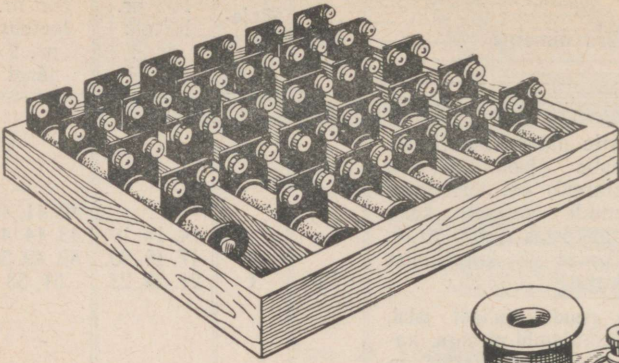
Joon. 29. Laboratoorsed reostaadid.



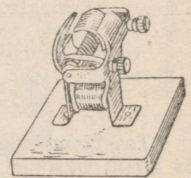
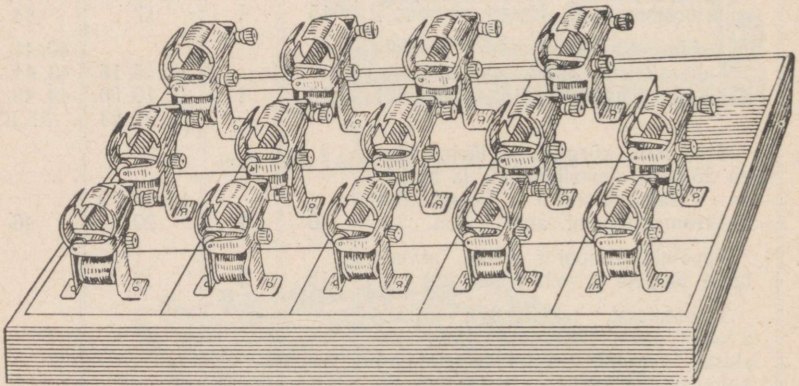
Joon. 30. Laboratoorsed lülitid.

Jrk. nr.	Seadise nimetus	Arv	Järjekorralisus	Töö nr. loetelu nr. 1 järgi	Töö nr. loetelu nr. 2 järgi
31.	Akumulaatorite patarei 3-HKH-10, ühises puukastis (joon. 25 on näidatud 5 patareid) või taskulambi kuivelementide patarei, kahe klemmiga, metallkestas (joon. 26 on näidatud üksikosad ja kogu riist monteeritud kujul) <sup>1</sup> . . . . .	15	I	14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23	40, 41, 42, 43, 44 45, 46, 49, 50, 51, 53
32.	Lambihoidja, ruudukuju'isel jalal, lambipesaga, taskulambi pirniga, kahe klemmiga ja kattega; kattes on ühel pool kitsas pilu, teisel pool aga aken, mis on kaetud poolläbipaistva paberiga, millel on täht «B» (joon. 27) . . . . .	15	I	14, 21, 22, 23	49, 50, 51, 52, 53
33.	Komplekt kolmest eraldi traatspiraalist takistustega, 1 oomi ja 2 oomi — voolule tugevusega 2 ampriit, 4 oomi — voolule tugevusega 1 amper; iga spiraal kahe klemmiga varustatud alusel (joon. 28) . . . .	15	I	15, 16	40, 41
34.	Reostaat, laboratoorne väike, liugkontaktidega, takistusega 6 kuini 7 oomi, voolule tugevusega 2 ampriit (joon. 29) . . . . .	15	I	14, 15, 16, 17	40, 41, 42, 44
35.	Laboratoorne lüliti, elektrivoolu sisse- ja väljalülitamiseks (joon. 30)	15	I	14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23	40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 49, 50, 51, 53
36.	Traatpool, kõrguse ja läbimõõduga 25 mm. raudsüdami ja mutriga (laboratoorsest komplektist elektromagnetismi alal) (joon. 31)	30	I	14, 16, 19, 20	46
37.	Õppe-elektrimootor väike, arvestatud pingele 4 voiti (joon. 32) . .	15	II	17	
38.	Traatspiraal, takistusega umbes 2 oomi, kahe klemmiga varustatud alusel; spiraali kasutatakse Joule'i soojusekivivalendi määramiseks (joon. 33) . . . . .	15	II		43
39.	Vaskelektroodid (paar) kahe klemmiga varustatud alusel, vase elektrokeemilise ekvivalendi määramiseks (joon. 34) . . . . .	15	II		44

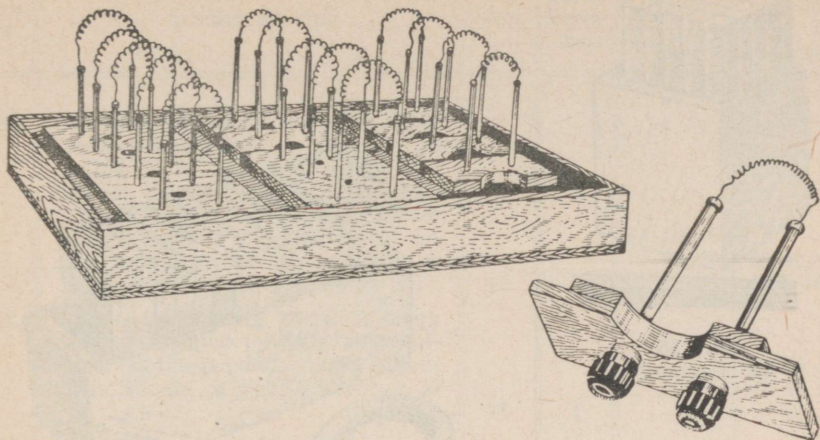
<sup>1</sup> Taskulambi patareide abil, mille EMJ töö kestel kiirelt langeb, saab teostada ainult üksikuid, aga mitte kõiki töid, mis vajavad vooluallikat ja on näidatud loetelus nr. 1 ja nr. 2. Seepärast tuleb akumulaatorite asendamist patareidega lugeda ajutiseks ja lubatavaks ainult äärmisel juhul.



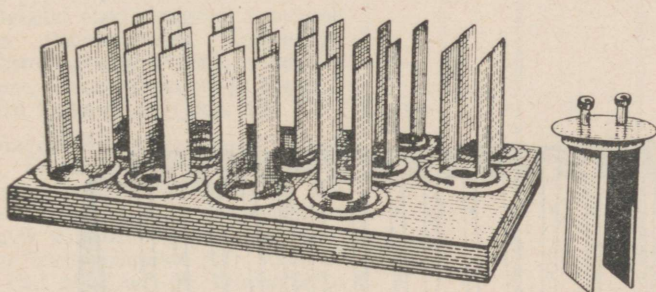
Joon. 31. Traatpoolid südamikuga.



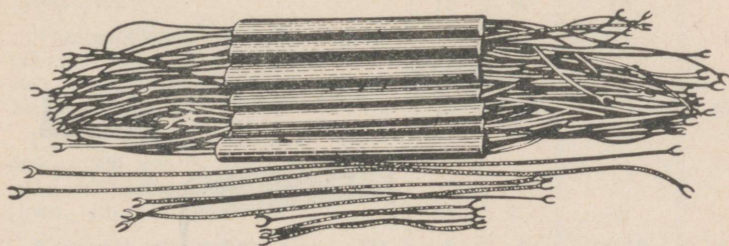
Joon. 32. Väikesed elektrimootorid.



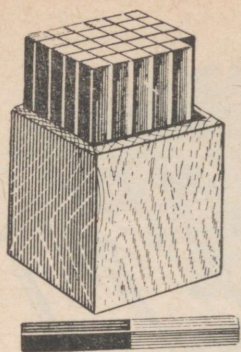
Joon. 33. Traatspiraaliid alustel.



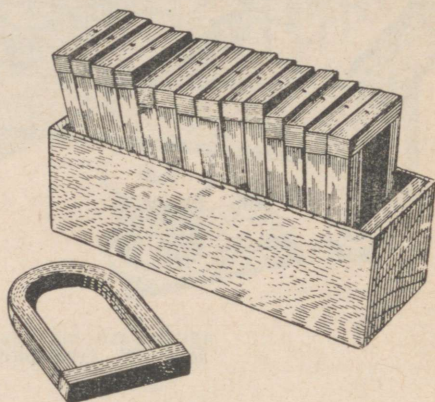
Joon. 34. Vaskelektroodid alustel.



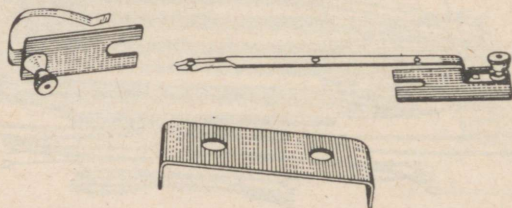
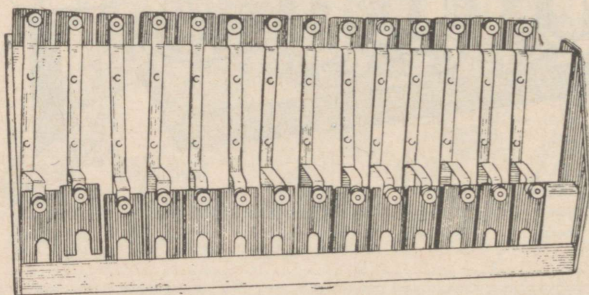
Joon. 35. Kahvel-kaablikingadega ühendusjuhtmed.



Joon. 36.  
Lattmagnetid.

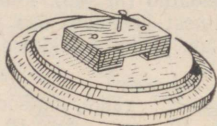
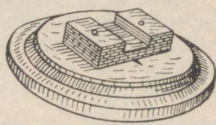
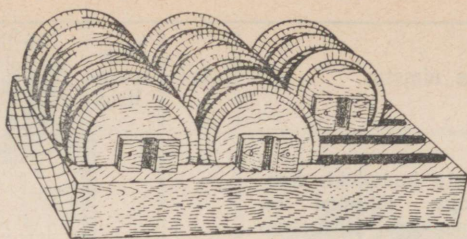


Joon. 37. Hobuserauakujulised magnetid.

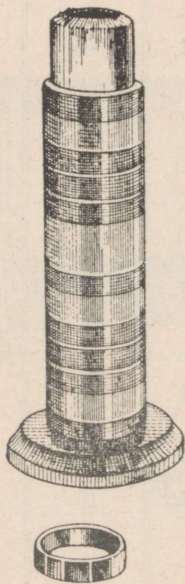


Joon. 38. Detailid elektromagneti koostamiseks.

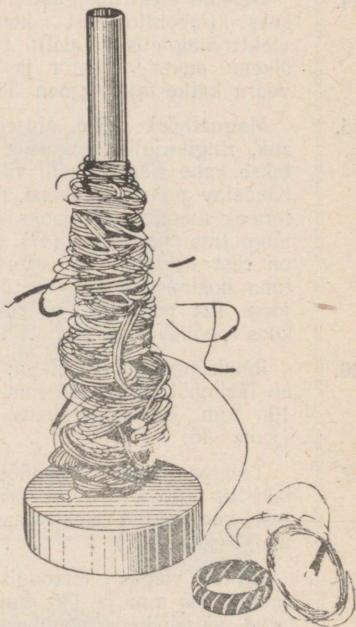
Jrk. nr.	Seadise nimetus	Arv	Järjekorralisus	Töö nr. loetelu nr. 1 järgi	Töö nr. loetelu nr. 2 järgi
40.	Ühendusjuhtmete komplekt, kahvel-kaablikingadega, juhtmed on paljukiulised, painduvad ja mehaaniliselt tugeva isolatsiooniga; komplekt koosneb 8 juhtmest ühises pappkestas: kaks 50 cm pikkust juhet, kolm — 30 cm pikkust ja kolm — 15 cm pikkust (joon. 35) .	15	I	14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23	40, 41, 42, 43, 44
41.	Ühendusjuhtmete komplekt, nagu eelpool näidatud (nr. 40), kuid kolmest juhtmest koosnev: üks pikkusega 50 cm ja kaks pikkusega 30 cm . . . . .	15	I		41, 45, 46, 49, 50, 51, 53
42.	Lattmagnet, väike, mõõdetega 100 mm, 10 mm ja 10 mm (joon. 36) . . . . .	30	II	18	
43.	Magnet, hobuserauakujuline, teraslatist, ristlõikega 10 mm × 10 mm (joon. 37) . . . . .	15	I	18	45, 46
44.	Detailid elektromagneti koostamiseks (laboratoorsest komplektist elektromagnetismi alal); raudplaadikene, ankur-vibraator ja kontaktvedru katkestajale (joon. 38) . . . . .	15	II	20	
45.	Magnetnõel, väike, alusel, keskel auk, ringikujulisele alusele kinnitatakse kahe sidetapi abil, väike, mahavõetav puust alusekene, millel on teravik magnetnõela jaoks ja väljalõige traatpoolikesele (47). Joon. 39 on riist näidatud nii ettevalmistatuna hoidmiseks kui ka töökorras; joon. 124 paremal on riist näha koos poolikesega . . . . .	15	I	18, 19	46
46.	Raudrõngas, mõõdetega: sisemine läbimõõt umbes 35 mm, kõrgus 10 mm ja seinapaksus 3 mm (joon. 40) . . . . .	15	II	18	
47.	Traatpoolikene, läbimõõt 40 mm, takistus umbes 10 oomi (laboratoorsest komplektist elektromagnetismi alal) (joon. 41) . . . . .	15	I	19	45, 46
48.	Ekraan valgest kartongist, mõõdetega 200 mm ja 140 mm, varustatud väljalõikega poolikeste jaoks (joon. 42) . . . . .	15	II	19	
49.	Karp-sõel, rauapuruga (joon. 43)	15	I	18, 19	



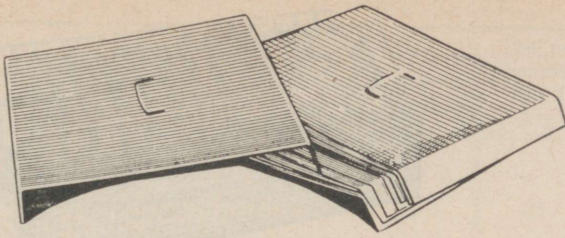
Joon. 39. Magnetnõelad alustel.



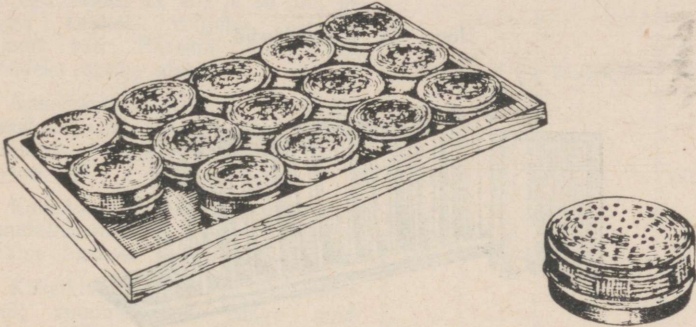
Joon. 40. Raudrõngad.



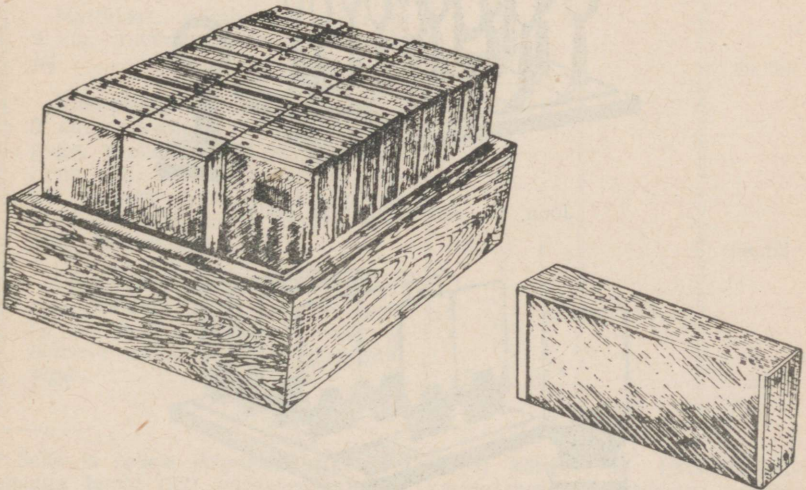
Joon. 41. Traatpoolikesed.



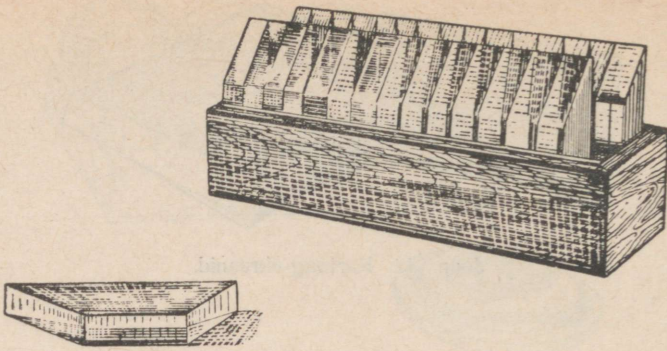
Joon. 42. Kartong-ekraanid.



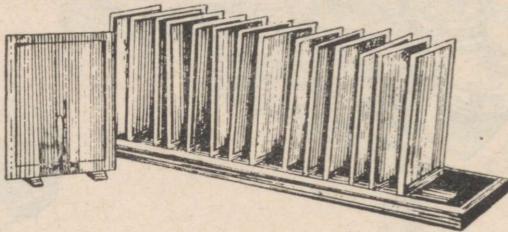
Joon. 43. Karbikesed rauapuruga.



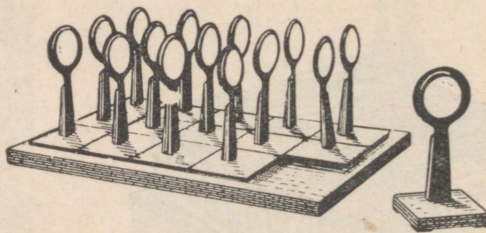
Joon. 44. Tasapeeglid.



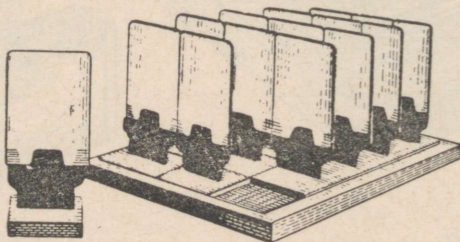
Joon. 45. Klaasplaadid.



Joon. 46. Vertikaalsed ekraanid, piluga.



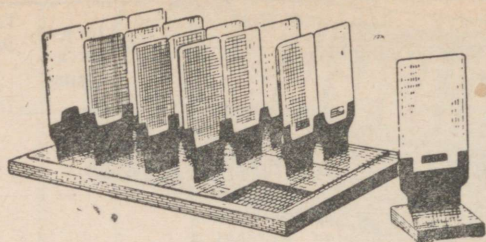
Joon. 47. Kaksikkumerad läätsed.



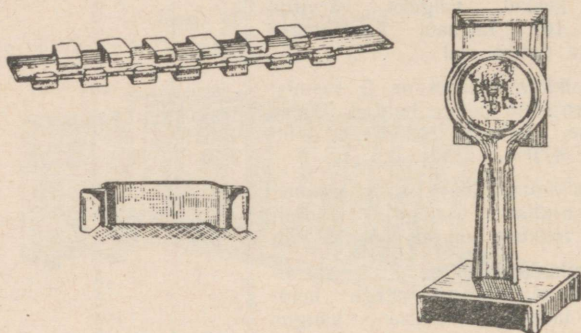
Joon. 48. Mattklaasid alustel.

Jrk. nr	Seadise nimetus	Arv	Järjekorralisus	Töö nr. loetelu nr. 1 järgi	Töö nr. loetelu nr. 2 järgi
50.	Tasapeegel, 4 cm × 9 cm, puuklotsist alusel (joon. 44) . . . . .	15	I	21	47
51.	Klaasplaat valguse murdumise uurimiseks, tasaparalleelne, kumbki ots on lõigatud erineva nurga all (joon. 45) . . . . .	15	I	22	48
52.	Vertikaalne metall-ekraan, mõõdetega umbes 12 cm ja 16 cm, piluga keskel, valgeks värvitud (joon. 16). Ekraani kasutatakse töödeks optika alal . . . . .	15	I	21, 22, 23	51, 53
53.	Kaksikkumer lääts nr. 2, raamis; ruudukujulise jalaga hoidjal; lääts fookuse kaugus 130—150 mm (joon. 47) <sup>1</sup> . . . . .	15	I	23	50, 52, 53
54.	Kaksikkumer lääts nr. 1, raamis; ruudukujulise jalaga hoidjal; lääts fookuse kaugus 65—75 mm . . . . .	15	I		51, 52, 53
55.	Kaksiknõgus lääts nr. 3, raamitud; ruudukujulise jalaga hoidjal, lääts fookuse kaugus 90 mm . . . . .	15	I		51, 52
56.	Nõguspeegel, raamitud, ruudukujulise jalaga hoidjal, peegli fookuse kaugus umbes 85 mm . . . . .	15	II		49
57.	Mattklaas, mõõdetega 6 cm ja 9 cm, ruudukujulise jalaga hoidjal . . . . .	15	I		49, 50
58.	Klaasplaat, mõõdetega 6 cm ja 9 cm, varustatud millimeetervõrguga, ruudukujulise jalaga hoidjal (joon. 49); plaati kasutatakse tõelise kujutise asukoha määramiseks paralleelsel meetodil ja kujutise suuruse mõõtmiseks . . . . .	15	I		50, 52
59.	Diapositiivi hoidja (plekk-klamber), asetatav lääts raamile; joon. 50 on hoidja näidatud eraldi ja läätsale asetatuna koos diapositiiviga . . . . .	15	II		53

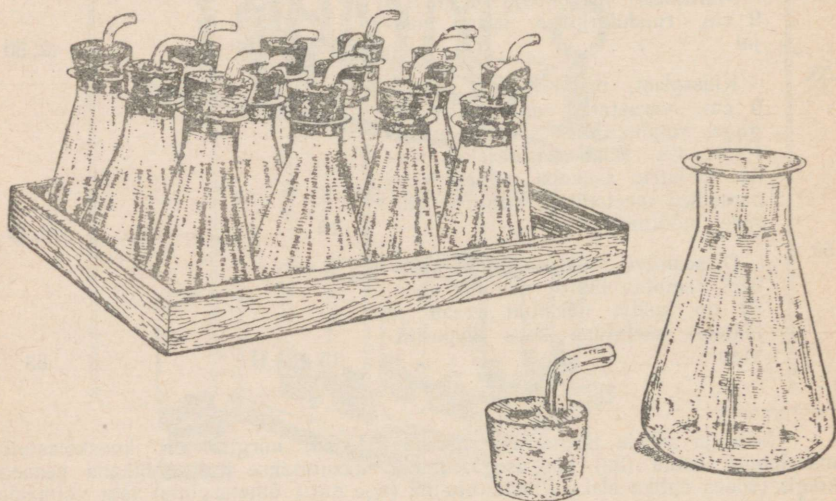
<sup>1</sup> Selle ja sellele järgnevate riistade (54—58) kõrgus on kooskõlastatud madalpinge lambi (32) kõrgusega, millist kasutatakse valgusallikana peaaegu kõigis töödes optika alal. Ruudukujuline (aga mitte ümmargune) jalg võimaldab neid riistu kergelt nihutada piki juhtliistu, milleks võib kasutada renni (19), ühtlaselt kiireneva liikumise saavutamiseks.



Joon. 49. Klaasplaadid võrguga.

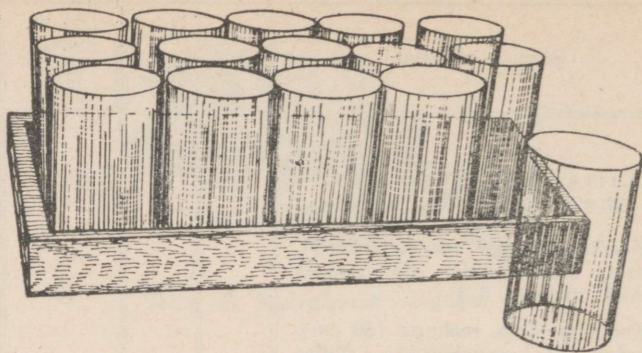


Joon. 50. Diapositiivide hoidjad.

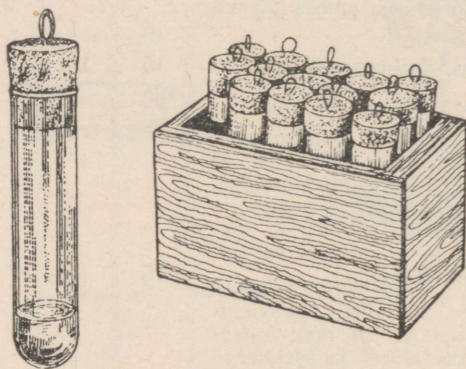


Joon. 51. Koonilised kolvid.

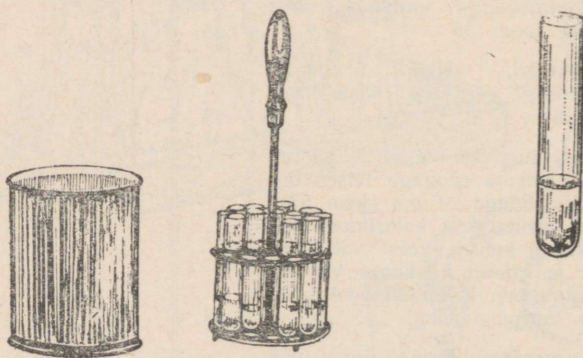
Jrk. nr.	Seadise nimetus	Arv	Järjekorralisus	Töö nr. loetelu nr. 1 järgi	Töö nr. loetelu nr. 2 järgi
	Anumad, väikesed esemed ja materjalid				
60.	Keedukann vee soojendamiseks, vasest, alumiiniumist või valgest plekist, mahuga 5 l . . . . .	1	I	10	35, 36, 38
61.	Kooniline kolb, mahuga 150 cm <sup>3</sup> , korgiga või kummikorgiga, milles on termomeetri ja klaastoru jaoks ava auru väljalaskmiseks (joon. 51)	15	I	2, 5, 11, 12, 13	39
62.	Galvaani elemendi purk, mahuga 650 cm <sup>3</sup> , sisemise läbimõõduga 85 mm ja kõrgusega umbes 120 mm (joon. 52) . . . . .	15	I	2, 5, 10, 11	31, 38, 44
63.	Keeduklaas, mahuga 500 cm <sup>3</sup> . . . . .	15	II		38
64.	Keeduklaas, mahuga 50 cm <sup>3</sup> . . . . .	30	I		32, 39
65.	Katseklaasist ujuk, uiumise uurimiseks, möödetega 70 mm ja 18 mm; ujuk on varustatud korgiga, traadist aasaga või konksuga ja konstantse raskusega, mis on kinnitatud tema põhja parafiini või vahaga abil (joon. 53) . . . . .	15	II	6	
66.	Katseklaas naftaliini sulatamiseks, 100 mm × 20 mm; katseklaasi hoitakse alusel ja asetatakse soojendamisel kuuma veega metallnõusse (joon. 54) . . . . .	15	II	12	
67.	Klaaslehter, kooniline, läbimõõduga umbes 5 cm; või sfääriline lehter, läbimõõduga umbes 3 cm, näidatud joon. 55 . . . . .	15	II		39
68.	Klaaskraan, väike, ühendava kummitoruga ja klaastilaga (joon. 56) . . . . .	15	I		32, 39
69.	Konks, tugevast traadist, pikkusega 25 cm ja rõngaga teises otsas, läbimõõduga 20 mm (joon. 57); konksu kasutatakse kalorimeetrite ja teiste kehade veest väljavõtmiseks ja samuti kuulikese värvist väljavõtmiseks, keha paraboolse liikumise uurimise puhul . . . . .	15	I	2, 5, 6	25, 35
70.	Ebakorrapärase kujuga keha (või portselanrull) väikese traataasaga; kasutatakse mahu määramiseks . . . . .	15	I	2, 5	



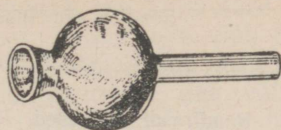
Joon. 52. Galvaani elemendi purgid.



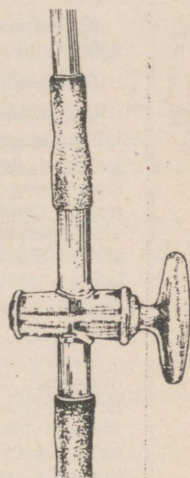
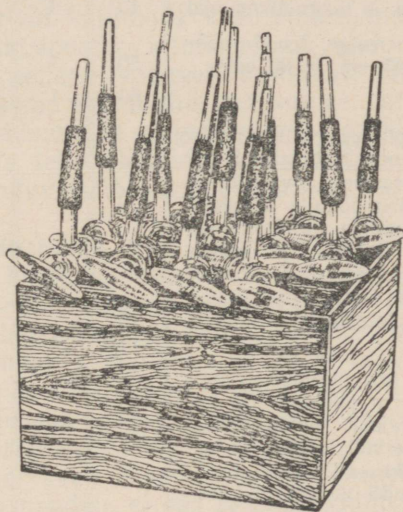
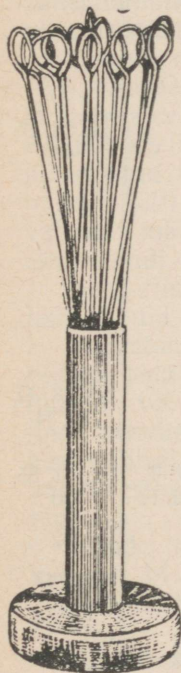
Joon. 53. Katseklaasist ujukid.



Joon. 54. Katseklaasid naftaliini sulatamiseks.

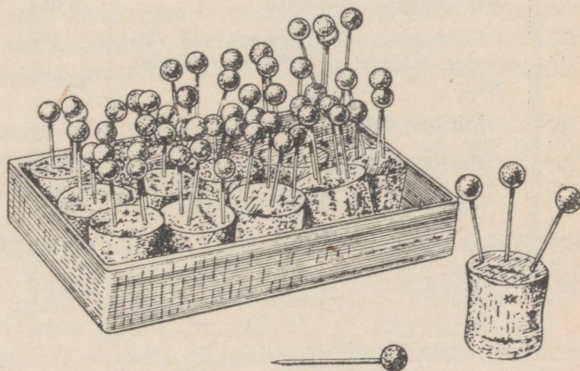


Joon. 55. Klaaslehtid.



Joon. 56. Klaaskraanid.

Joon. 57.  
Traatkonksud.



Joon. 58. Suure peaga nõöpnõelad.

Jrk. nr.	Seadise nimetus	Arv	Järjekorralisus	Töö nr. loetelu nr. 1 järgi	Töö nr. loetelu nr. 2 järgi
71.	Raudtraadi tükikesed, läbimõõduga 2 mm ja pikkusega umbes 15 mm, pappkarbikeses või tikutoosis: traadi tükikesi on vaja töödeks magnetismi alal ja koormusena kehade ujumise uurimisel . . . . .	15 krp.	I	6, 18	
72.	Kartong paks (või õhukene vineer), möödetega 24 cm ja 30 cm, katseteks optika ja magnetismi alal	15	I	18	47, 48
73.	Kirjutuspaber, va'ge, lehed möödetega umbes 20 cm ja 30 cm <sup>1</sup> .	60	I	18, 21, 22	25, 26, 47, 48
74.	Rõhknaelad . . . . .	60	I		25, 26
75.	Nööpnõelad, pikkusega 35 mm ja läbimõõduga 1 mm, valmistatud tugevast terastraadist, varustatud suure peaga (läbimõõduga umbes 7 mm); sobivad niitide kinnitamiseks vineerekraanile staatika- ja optikalaste tööde teostamisel; nõöpnõelad on asetatud 4-st nõelast koosnevate komplektidena korgile (joon. 58) . . . . .	15 kompl.	I		26, 28, 47, 48
76.	Linane niit või peenike tugev õngenõör, 200 cm pikkune niit kahe aasaga (vaja'lik polüspastile); 150 cm pikkune niit aasaga ja otsast tikust vaiakesega pendli kinnitamiseks; neli niiti 20 cm pikkusega kahe silmusega kummaski otsas (jõudude momentide seaduse tuletamiseks töö jaoks), 75 cm pikkune niit 5 silmusega, nurga all mõjuvate jõudude liitmiseks . . . . .	75 m	I		26, 28, 30, 33, 34
77.	Filterpaber, ringikujuline või väikestes lehtedes, filtrite valmistamiseks . . . . .	100	I	2, 5, 6, 11, 12, 13	25, 31, 35, 36
78.	Piiritus denatureeritud . . . . .	1 l	I		32
79.	Petrooleum . . . . .	1,5 l	I		31, 43
80.	Vasevitriol (küllastatud lahus) .	5 l	I	5	32, 44
81.	Naftaliin . . . . .	150 g	II	12	
82.	Tikud . . . . .	15 krp.	I	11, 12, 13	

<sup>1</sup> Loetelus on kõik materjalid näidatud sellistes kogustes, et oleks võimalik normaalselt teostada laboratoorseid töid paralleelklassideta koolis.

See nimestik annab eelkõige üldise pildi frontaalseteks laboraatorseteks töödeks vajalikust varustusest, mida peab omama keskkooli füüsikakabinet. Samaaegselt valgustab see küllaldase peensusega iga üksiku riista ja tarbe ehitust. Peale selle võib kahest viimasest veerust, kuhu on märgitud tööde numbrid, mille puhul kasutatakse antud riistu, kergesti leida varustuse ühe või teise laboratoorse töö jaoks, eraldi seitsmeaastase kooli ja vanemate klasside jaoks. Et anda piltlikku ettekujutust laboratoorse varustuse komplektist ühele lülile, selleks on toodud joonised 59 ja 60. Esimesel neist on kujutatud riistad, tarbed ja materjalid seitsmeaastase kooli jaoks, teisel — neid täiendav varustus VIII—XI klassile.

Nimestikust võib näha, et peaaegu kõiki enam-vähem suuremaid riistu (mis on kallimad) kasutatakse mitmetes töödes. Sellega on konstruktsioonide mitmekesisus viidud võimaliku miinimumini. Seoses sellega väheneb tunduvalt laboraatorseteks töödeks varustuse komplekti üldine maksumus, on kõrvaldatud riistade seisuaeg kabinetis ja kergendub riistade tundmaõppimine õpilaste poolt. Peale selle lihtsustab konstruktsioonide mitmekesisuse vähendamine tunduvalt tööstuse ülesannet, kes toodab laboraatorset varustust.

Erandi moodustavad vaid üksikud riistad, näiteks: polüspast (23), vineerist ketas jõudude momendi reegli tuletamiseks (24), hüdroomeeter vedeliku erikaalu määramiseks (25), klaasist toru elavhõbeda sambaga Boyle-Mariotte'i seaduse kontrollimiseks (26), lühendatud elavhõbeda manomeeter gaasi oleku valemil kontrollimiseks (30), väike elektrimootor (37), spiraal Joule'i soojusekvivalendi määramiseks (38), vasest elektroodid elektrokeemilise ekvivalendi määramiseks (39) ja mõned teised.

Need riistad omavad kitsast erialast tähtsust ja neid kasutatakse harva, kuid ilma nendeta ei saa läbi meetoodilistel kaalutlustel.

Varustuse nimekirja järgi on kerge määrata, missugused riistad omavad põhimist tähtsust ja leiavad laialdast kasutamist ühtede või teiste frontaalsete tööde organiseerimisel, mistõttu need peavad olema eriti praktilised, vastupidavad töös, mugavad käsitlemisel jne. Teisiti öeldes, võib näha, missugune varustus vajab erilist tähelepanu ja mida peab tööstus tingimata valmistama.

Nende hulka kuuluvad kõik mõõteriistad alates numbrist 1 kuni nr. 14 (incl.) ja peale selle: 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 40, 41, 43, 45, 47, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58.

Arvestades sellega, et kuigi mõningaid riistu kasutatakse ainult mõnes üksikus töös, kusjuures need on oma iseloomult lähedased ülalloetletuile ja ei kuulu omavalmistatud riistade hulka, siis tuleb lisada veel riistad 23, 24, 25, 26, 30, 37, 38, 39, 42, 44, 56.

Nõudest, väikestest detailidest ja materjalidest tõmbavad endale tähelepanu teekann vee soojendamiseks (60), kooniline kolb (61),

galvaani elemendi purk (62), valge kirjutuspaber (73), terasest nõõpnõelad (75) ja filterpaber (77). Neid kasutatakse tunduvalt sagedamini teistest ja seepärast tuleb omada füüsikakabineti niisuguste anumate (väljaarvatud teekann) ja materjalide mõningat tagavara.

Kõiki ülejäänud riistu, tarbeid ja seadeldisi võib õpetaja vabalt valmistada ja koguda koos õpilastega kooli tingimustes. Nende hulka kuuluvad näiteks raudplekist renn ja paberist koonus kera püüdmiseks (21), raudrõngas (46), papist ekraan (48), karp-sõel rauapuruga (49), diapositiivide hoidja (59), katseklaasist ujuk (65), traadist konks (69), raudtraadi tükikesed (71) jt.

Peale selle peab õpetaja ise valima ülejäänud nõud ja materjalid: klaastorude komplekti, klaaslehid, kolbid, klaasid, rõhknaelad, niidid jms.

Kogemused näitavad, et paljud koolid ei suuda korruga osta täielikku varustust laboratoorseteks töödeks. Seepärast tuleb määrata kõige ratsionaalsem järjekord nende muretsemiseks. Seda on kerge teha analüüsides ülaltoodud nimestikku.

Peatame algul seitsmeaastase kooli varustusel s. o. riistadel ja tarvetel, mille kohta on märkmeid eelviimasel veerul. Kui võtta kogu komplektist mõõteriistad (nr. 1 ja 3-st kuni 13-ni kaasa arvatud; kõik need esinevad 7-ndas klassis mitmes töös) ja seejärel teised riistad, tarbed ja materjalid, millised esinevad vähemalt kahes töös (nr. nr. 15, 16, 17, 27, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 40, 45, 49, 52, 61, 62, 69, 70, 71, 73, 77, 78 ja 82), siis see varustus moodustab endast baasi laboratoorsete tööde edasiseks arendamiseks.

Tõepoolest, jagades nimetatud varustuse tööde järgi, nagu seda on tehtud III peatükis enne iga töö kirjeldust, võib kergesti kindlaks teha, et see võimaldab sooritada täielikult 12 tööd (1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 14, 15, 16) s. o. poole nimestikus nr. 1 ettenähtud töödest, kusjuures need tööd, üldreeglina, on kõige tähtsamad ning kõige vajalikumad ja oma temaatikalt väga lähedased programmis soovitatuile.

Siiski selle esmajärjekordse varustuse jaotamisel tööde järgi jäävad kasutamata ja on ajutiselt ülearused mõõteriistadest — mall (4) ja teistest — väike magnetnõel (45), karp-sõel rauapuruga (49), ekraan katseteks optika alal (52), raudtraadi tükid (71) ja kirjpaber (73).

Juhul, kui esimeses järjekorras kuut viimast riista mitte soetada, mis on ka ilmselt ratsionaalne ja kanda ekraan (52) kolmandasse järjekorda ning kõik teised — teise järjekorda, kuhu lisada veel järgmised väikesed seadeldised: detailid elektromagneti koostamiseks (44), pool (47), ekraan valgest papist selle pooli juurde (48), tasapeegel alusel (50), ujuk korgiga ja raskusega ujumise tundmaõppimiseks (65), katseklaas naftaliini sulatamiseks (66) ja naftaliin (81), siis võimaldab see sooritada veel viis tööd nimestikust nr. 1 (6, 12, 19, 20 ja 21).

Peale kõige võib kolmandasse järjekorda kanda kogu varustuse, mida kasutatakse üksikutes töodes, nagu: 18, 28, 37, 42, 43, 46, 51, 52, 53, 60 ja 72. Frontaalselt võib sooritada siis veel ülejäänud kuus tööd (8, 10, 17, 18, 28 ja 23) ja lugeda laboratoorse varustuse soetamise seitsmeaastase kooli jaoks lõpetatuks: see võimaldab läbi viia kõik nimestikus nr. 1 ettenähtud tööd.

Kui sama süsteemi järgi määrata riistade soetamise järjekord keskkooli jaoks VI kuni XI klassini s. o. esimeses järjekorras soetada kõik riistad, mida kasutatakse vähemalt kahes töös, siis nendega on võimalik sooritada 17 tööd nimestikust nr. 1 ja 19 tööd nimestikust nr. 2.

Soetamise teise järjekorda kuuluvad kõik riistad, tarbed ja materjalid, mida kasutatakse ainult üksikutes töodes (21, 23, 24, 25, 26, 30, 37, 38, 39, 42, 44, 46, 48, 56, 59, 63, 65, 66, 67 ja 81). See võimaldab korraldada ülejäänud tööd: 6, 12, 17, 18, 19, 20 VI ja VII klassis ning 25, 28, 30, 32, 37, 38, 39, 43, 44, 49, 53 — vanemates klassides.

Lähtudes nendest kaalutlustest ongi kavastatud kaks järjekorda riistade, tarvete ja materjalide soetamiseks, mis on kantud varustuse nimestiku 4-ndale veerule.

On täiesti ilmne, et vajaduse korral on varustuse teist järjekorda kerge jagada kaheks osaks ja siis on järjekordi kolm, nagu see oli üksikasjaliselt näidatud seitsmeaastase kooli varustuse juures.

Tuleb siiski märkida, et täielik varustus võimaldab sooritada õpetaja soovil ka mõningaid teisi, nimestikust välja jäetud töid, näiteks: 1) termomeetri alaliste punktide kontrollimine, 2) vedeliku erisoojuse määramine, 3) vee aurumissoojuse määramine jms.

Seega nimestikus toodud varustus laboratoorseteks töödeks annab õpetajale võimaluse ilmutada oma initsiatiivi mitmesuguste laboratoorsete tööde korraldamisel.

Peale selle on jäetud õpetajale täielik võimalus edasiseks tööks mõningate riistade komplekti suurendamiseks kuni 30-ni, näiteks töödeks 1, 2, 6, 21, 22, 34, 37, 47, 48 jt. Meetodilistel kaalutlustel on soovitatav, et neid töid korraldaks iga õpilane individuaalselt, mitte aga lülides 2—3 õpilase kaupa.

Väga tähtis on alla kriipsutada, et paljud riistad ja tarbed, mis on märgitud varustuse nimestikus, võivad olla asendatud teiste samalaadsetega.

Näiteks, mõõtejoonlaud (1) võib olla mitte puust, vaid plastmassist või metallist, pikkusega mitte 35 cm, vaid 50 cm. Täpselt samuti võib võtta teistsuguse konstruktsiooniga õpilase kolmnurga (2), hüdroomeetri (25), elavhõbeda sambaga klaastoru (26) jt. Siia kuuluvad ka kogu laboratooriumi jaoks üldised riistad: demonratsioonikell (13), baromeeter (14), teekann (60). Akumulaatorpatareid (31) võib asendada galvaani elementidega, laboratoorseid lüliteid (35) — kellanuppudega, elektrilamp optikalastes töodes — küünla või petrooleumilambiga jne.

Kõik see võimaldab varustuse valikul frontaalseteks töödeks küllaltki laialdaselt kasutada esialgu mitmeid kooli füüsikakabineti olemasolevaid riistu ja tarbeid.

Siiski kõigil neil juhtumel tuleb meeles pidada, et parimad tulemused frontaalsete laboratoorsete tööde korraldamisel ning detailide väljaandmisel, kogumisel ja hoidmisel kui ka reas töötades ühete ja samade riistade (komplekti) kasutamisel, on saavutatavad ainult siis, kui kõik riistad valitakse nimestikus antud iseloomustuse järgi. Sellisel kujul on varustust korduvalt katsetatud ja kontrollitud praktiliselt kooli tingimustes.

Seepärast tuleb neis koolides, kus frontaalsete töödega alustatakse ja riistu alles soetatakse, varustust muretseda, rangelt kinni pidades nimestikus toodud iseloomustustest.

---



## II PEATÜKK.

### VARUSTUSE HOIDMISE SÜSTEEM JA FRONTAALSETE TÖÖDE ORGANISEERIMINE.

Frontaalsete laboratoorsete tööde õige korraldamine nõuab vähemalt 15 ühesuguse riista olemasolu. Sellele nõudele vastab täielikult I peatükis toodud minimaalse varustuse nimestik. See võimaldab rahuldada 30 õpilasega klassi (15 lüli, igas lüli 2 õpilast) või äärmisel juhul 45 õpilasega klassi, mis on jaotatud lülideks kolme õpilase kaupa. Joonisel 61 on toodud kahest õpilasest koosnev lüli laboratoorsete tööde juures.

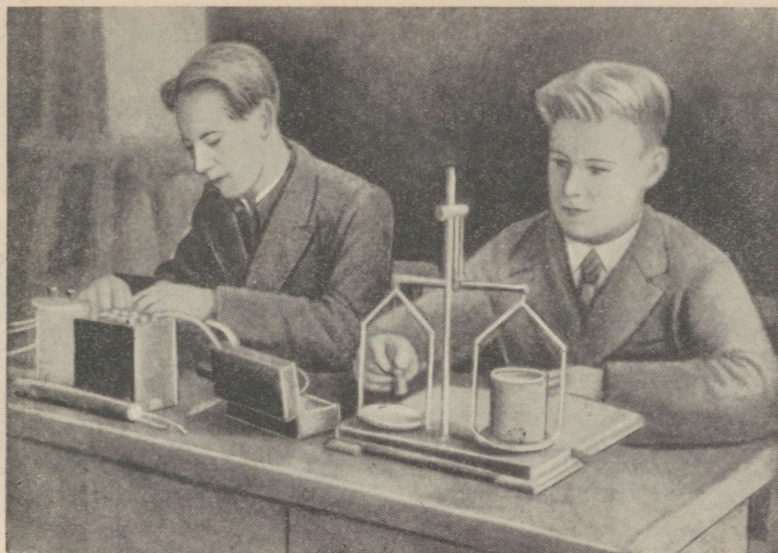
Kui võtta kokku nimestiku järgi riistad ja vahendid, mis on tüüpilised frontaalsete tööde jaoks ja kuuluvad 15-st või 30-st eksemplarist koosnevasse komplekti, siis neid osutub üle 850 tk., kust on eraldatud üldised riistad (mis on võetud ühes eksemplaris) ja materjalid. Kõiki omaette riistu ja vahendeid osutub sel juhul üle 80-ne.

Füüsikakabinetis niisuguse võrdlemisi suure hulga laboratoorsete riistade olemasolu, mis on rühmitatud gruppidesse 15-ne samatüübilise riista kaupa, nõuab abinõude tarvitusele võtmist nende õigeks hoidmiseks. Siin ei saa piirduda üksnes kappide riiulitega, milledele võiks paigutada need riistad.

Ülesanne osutub tunduvalt keerulisemaks ka seepärast, et kogu varustust tuleb õppeaasta vältel palju kordi õpilaste kätte anda ja uuesti koristada pärast igat laboratoorset tööd. Seejuures riistade väljaandmiseks ja koristamiseks kulub aeg, mida tuleb lugeda õpetamise seisukohast kaotatuks, peab olema võimalikult lühendatud.

Tuleb veel kord alla kriipsutada, et laboratoorsete riistade hoidmise küsimus on tihedalt seotud nende väljaandmise ja koristamisega ja väärib tõsist tähelepanu. Et aga samaaegselt kujutada kõiki raskusi selle lahendamisel, toome konkreetse näite.

Üheks kõige tavalisemaks frontaalseteks laboratoorseteks tööks on «Takistuse määramine ampermeetri ja voltmeetri abil». Selle töö ühe töökohta jaoks on tarvis 7 riista: vooluallikas, ampermeeter, voltmeeter, lüliti, reostaat, takistus, pool ja peale selle üks komplekt ühendusjuhtmeid. Teisiti öeldes, selle töö ettevalmistamiseks kogu klassile (15 töökohta) on tarvis lühikese ajaga kappidest välja



Joon. 61. Õpilased laboratoorse töö juures.

tõsta ja õpilaste laudadele paigutada kindlas järjekorras 105 riista ja 15 komplekti ühendusjuhtmeid. Arusaadav, et tööks ettevalmistamise protsessi ratsionaliseerimine omab siin erakordset tähtsust.

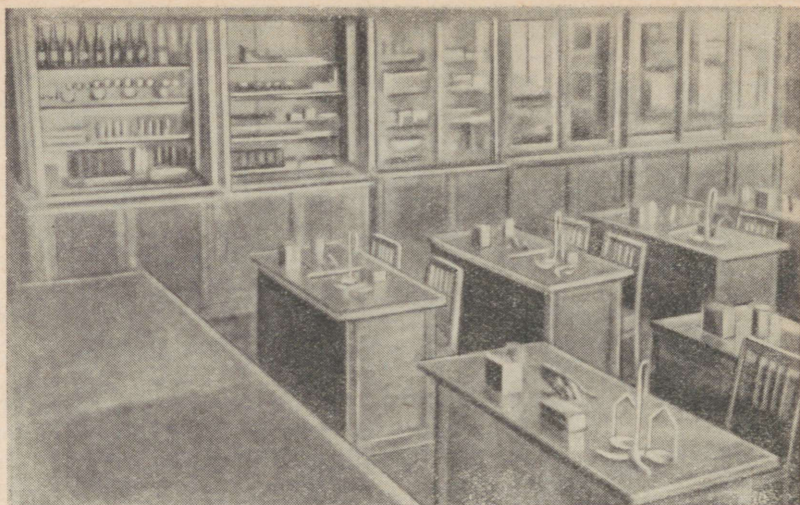
Paljud keskkooli füüsikaõpetajad osutuvad kõikidel vahetundidel real põhjusil seotuna ühe või teise järgmiseks tunniks vajaliku katse ettevalmistusega. See on kujunenud niivõrd tavaks, et sageli ühe või teise uue katse korraldamist vaadeldakse seoses võimalusega seda ette valmistada vaheajal.

Hinnates samast seisukohast laboratoorseid töid, avaldavad mõned õpetajad kahtlust laboratoorsete tööde süstemaatilise korraldamise võimalikkuses, viidates ühtlasi prepareerimisruumi ja kogemustega laborandi puudumisele.

Et hajendada selletaolisi kahtlusi, vaatleme üksikasjaliselt, kuidas peab olema organiseeritud laboratoorseteks töödeks ettevalmistumine.

Seda ülesannet tuleb lahendada kahes teineteisega seotud paralleelses suunas: välja töötada üksikud kõige ratsionaalsemad pakendid ja mitmesuguste riistade paigutamise viisid ja võtted ning luua kindel kord nende kasutamisel. Kõik see koos moodustabki laboratoorseteks töödeks ettenähtud hoidmise ja ettevalmistamise spetsiaalse süsteemi.

Eelkõige on vajalik, et kogu frontaalsete tööde varustus oleks käepärast, s. o. vahetult selles klassis, kus korraldatakse töid, isegi sel juhul kui füüsikakabinetis on olemas omaette prepareerimis-



Joon. 62. Üldine vaade laboratoorsete tööde klassile.

ruum katsete ettevalmistamiseks. Riistade kandmine kõrvalruumist klassi on alati seotud tee pikenedamisega ja ukse kasutamise vajadusega, mis piirab töödeks kõige vajaliku kiiret paigutamist õpilaste töökohtadele. Joonisel 62 on kujutatud frontaalsete tööde klassi ülevaade tunniks vajalikkude riistadega.

Seejärel on tarvis varustus (kappidesse paigutamiseks ja hoidmiseks) valida mitte füüsika kursuse osade ja tööde temaatika järgi, nagu seda sageli tehakse, vaid riistade nimetuse järgi, s. o. eraldi kõik kaalud, kõik kaaluvihid, kalorimeetrid, termomeetrid, kangid, raskuste komplektid jms. See annab võimaluse kasutada iga riista liigi jaoks niisugust paigutust, mis on kõige lähedasem riista iseloomule, gabariidile ning struktuurile ja on mugav kandmiseks ning kappidesse paigutamiseks.

Kandmikud võivad olla mitmesugused: 1) avaustega puust klotsid (joon. 8, 14, 55, 56); 2) vineerist valmistatud madalad kandikud või väikesed käepidemetega laudad ilma äärteta (joon. 10, 21, 22, 25, 27, 29 jt.); 3) lihtsad vineerist kastid või kastid pesakestega vastavalt riistade arvule (joon. 7, 9, 13, 30, 39 jt.); 4) erikandmikud üksikute riistade ja vahendite jaoks (joon. 38, 40, 41, 50, 54, 57 jt.).

Riistad paigutamiseks valitakse nii, et nende jagamisel õpilased ei saaks ülearuseid detaile, mis ei kuulu antud töö juurde, ja et koos sellega ei oleks kandmikude arv ülearuselt suur.

Näiteks, hoitakse koos jalaga lampe ja nende juurde kuuluvaid kupleid kuna ainult ühes töös lampi kasutatakse ilma kuplita. Elektroodid pakitakse kokku, kuid galvaani purkidest eraldi, milli-

seid kasutatakse mitte üksnes elektrolüüsi juures, vaid ka paljudes teistes töodes. Hüdromeetreid, lehtreid ja kraane hoitakse eraldi, kuna üheks tööks antakse kraanid koos hüdromeetritega ilma leht-riteta, teiseks aga — kraanid ja lehtrid, kuna hüdromeetreid ei kasutata.

Kasulik on pöörata tähelepanu sellele, et niisuguste kandmikkude kasutamine võimaldab mitte üksnes varustuse kiiret vahetamist igaks tööks, mis on teostatav ka hoidmise teise süsteemi juures, vaid annab võimaluse riistade hulga ja korrasoleku kiireks kontrollimiseks. Sel asjaolul on frontaalsete tööde juures väga suur tähtsus.

Oletame, et on tarvis organiseerida esialgseks mõõtmiseks tarvisminevate korrapäraste kehade, mehaanikaalaste koormiste või kalorimeetriliste katsete sooritamisel vajalikkude kehade hoidmist. Oleks ilmselt puudulik panna nimetatud riistade iga liik eraldi karp, neist jagada riistu laudadele ja töö lõppemisel koguda uuesti sinna tagasi. Niisugusel juhtumil võib kõikide riistade olemasolu kontrollida ainult loendamise teel, üht või teist riket võib märgata aga ainult iga üksiku riista karbist väljavõtmisel, milleks tavaliselt ei jätku aega.

Kui ühesugused riistad laduda või paigutada väga lihtsasse kandmikku, nagu see on näidatud ülal, siis võib õpetaja kontroll piirduda ainult pilgu heitmise ja klotside või karpide pesadele. Kindlustanud kontrolli, võib riistade väljaandmise ja koristamise julgusti teha ülesandeks õpilaste hulgast korrapidajatele ja olla kindel teatud korras kinnipidamises.

Laboratoorse varustuse niisugusel hoidmisel kandmikkudes saab kergesti paljudel juhtudel valida kokku ühesuguse kõrgusega riistad, mis võimaldab riulite õiget paigutamist kappidesse ja annab tunduva koha kokkuhoiu.

Joonisel 63 on esitatud kapp sellesse paigutatud laboratoorsete riistadega ja vahenditega, mis on määratud frontaalseteks töödeks. Riistad on asetatud riulitele ühte ritta nii, et iga kandmikku võib üksikult välja võtta, puudutamata seejuures teisi.

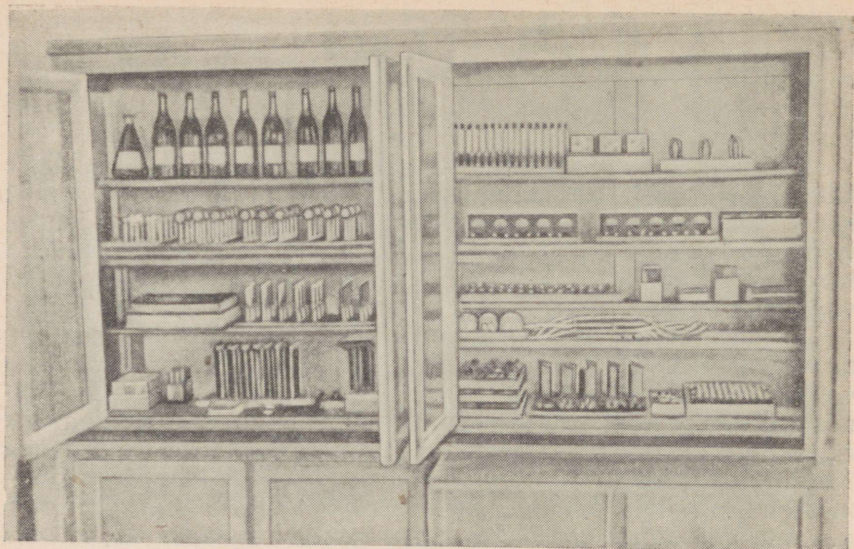
On arusaadav, et niisugused riistad nagu kooli statiiv (16), puust renn (19), vineerplaat (22) ja mõned teised, ei vaja kandmikke.

Kuidas tuleb organiseerida riistade väljaandmist ja koristamist iga üksiku töö jaoks varustuse niisuguse hoidmise puhul?

Kooli praktikast on hästi teada, et õppe-eksperimendi õige korraldamiseks füüsikakabinetis isegi väga kogenud füüsikaõpetajale läheb tarvis abilisi — laborante.

Mõnedes koolides, kus on olemas füüsikakabineti täielik varustus, on käesoleval ajal koosseisuline laborandi koht, kuna enamikes koolides seda pole. Seepärast peab füüsikaõpetaja enamasti ise hoolitsema abiliste eest eksperimentaalsete tööde sooritamisel.

Niisugust hoolitsust, kuigi mõnevõrra teisel kujul, peab õpe-



Joon. 63. Kapp laboratoorsete tööde riistadega.

taja ilmutama abiliste ettevalmistamisel õpilaste hulgast frontaalsete tööde organiseerimiseks. Seda enam on see vajalik, kuna siin ei ole kuidagi võimalik toime tulla ühe, isegi kõige kogenuma laborandiga, sest anda välja ja paigutada taas oma kohtadele sellist võrdlemisi suurt esemete hulka (keskmiselt 100 ümber üheks tööks) lühikese aja vältel suudavad vaid mitu inimest, täites kõiki ülesandeid samaaegselt.

Seepärast, nagu näitavad kogemused, on õigeks ja täiesti reaalseks väljapääsuks selle töö jaoks kolme kuni kuue õpilase eraldamine igas klassis, kus korraldatakse töid füüsikaalal. Neid kõige agaramaid, korralikumaid ja huvitundvamaid õpilasi peab õpetaja varem instrueerima, missugustes kappides riistad asetsevad. Peab näitama neile riistade käsitsemist: kuidas võtta neid kappidest ja kanda laudade vahel, kuidas neid paigutada laudadele ning seejärel uuesti kokku koguda ja asetada kappidesse rangelt kindlaksmääratud kohale. Peab korraldama nendega riistade väljaandmise ja koristamise proovi kaheks-kolmeks lähimas tulevikus eelseisvaks laboratoorseks tööks.

Kogemused näitavad, et niisugustes tingimustes omandavad õpilased võrdlemisi kiiresti selle töö kogu tehnika ja õpetaja kindlustab end pikemaks ajaks täiesti ustavate abilistega.

Ühtede laborantide asendamine teistega ei osutu peaaegu vajalikuks, sest eraldatud õpilased hindavad tavaliselt neile osutatud usaldust. Tekib omavaheline võistlus ja kõik ülesanded laboratooriumis täidetakse laitmatult. Niisugused laborandid vaa-

tavad igale väljavahetamisele kui karistusele mingi eksimuse eest.

Niisuguse suure hulga riistade ja detailide komplekti säilitamine nõuab eriti tähelepanelikku suhtumist varustuse väljaandmise ja koristamise tehnikale. Hooletuse ja korratuse ilmnemine viib siin möödapääsematult komplekti kiirele laostumisele (kaotused, rikked jms.) ja raskustele frontaalsete tööde edasises korraldamises: üksikute detailide puudumine lülitab välja üldisest tööst mitmed õpilaste lülid.

Laboratoorsete tööde korraldamise kolmeaastase praktika välitel on kujunenud ja end õigustanud järgmine süsteem.

Enne laboratoorse töö korraldamist tõstab õpetaja, kellel on vajaliku varustuse loetelu, kappidest välja kandmikud antud töö jaoks ja juhul kui seda nõuab töö sisu, valmistab ette demonstratsioonilauale üldise varustuse (keev vesi, jää, kell jms.). Riistade jagamine tehakse ülesandeks õpilastele-laborantidele. Igaüks neist võtab jagamiseks ühe kandmiku kogukamate riistadega või riistadega, mis nõuavad eriti ettevaatlikku käsitsemist (akumulaatorid, kaaluvihid, klaaspurgid jms.) või kaks-kolm kandmiku väikeste detailidega (kuulikesed, joonlauad, nõõpnõelad). Sama laborant koristab pärast tööd need riistad, mis ta ise jagas.

Õpilased, kes saavad laborandilt riistad, on vastutavad tema ees nende korrasoleku eest.

Kõgutud riistad annab laborant üle õpetajale, kandes õpetaja ees vastutust nende seisundi eest. Riistad tuleb kokku koguda enne tunni lõppu; igal juhul ei luba õpetaja õpilastel tõusta kohtadelt seni, kuni varustuse koristamine pole lõpetatud.

Väga sageli toimub tund mitu tundi järgimööda füüsikakabineti paralleelklassidele. Sellisel juhul tuleb kokku koguda pärast töö lõpetamist ainult väikesed detailid, jättes laudadele statiivid, kaalud, kaaluvihid jms. ja piirdudes ainult nende seisundi kontrolliga.

Lüli «vastutus» laborandi ees ning laborandi vastutus õpetaja ees seisneb eelkõige selles, et laborant ja ka õpetaja peavad täiesti kindlalt teadma, kes on tahtlik või mittetahtlik süüdlane riista kaotamises või tekitatud rikkes. Mitte ükski selline juhtum ei tohi jääda tähelepanematuks. Loomulikult peab õpetaja ilmutama pedagoogilist taktilisust juhtumisse suhtumises. Üksikuil juhtumel, kui riistale tekitatud rikut ei saa õigustada õpilase kogemuste puudumisega, peab viimane saama distsiplinaarkaristuse ja kandma materiaalselt vastutust.

Kõik õpilased peavad rangelt täitma üldisi reegleid, mis puutuvad tööde korraldamisse: 1) ei pane laudadele midagi muud kui tööks saadud riistu ja kirjatarbeid; 2) ei puuduta antud riistu ja vahendeid kuni töö alguseni; 3) jälgivad kogu töö vältel riistade ratsionaalset ja korralikku paigutamist ning ei anna riistu üle ühelt laualt teisele; 4) töö lõppemisel monteerivad lahti sea-

dise ja seavad kõik riistad ja vahendid niisugusesse seisundisse nagu need olid saadud enne tunni algust.

Laboratoorse varustuse hoidmise ja frontaalsete tööde organiseerimise kirjeldatud süsteem on täiesti end õigustanud. Kogemused näitavad, et sellise süsteemi juures võib ette valmistada mistahes nimestikkudes (vt. sissejuhatus) ettenähtud laboratoorse töö lühikese aja jooksul — ühest kuni 2½ minutini. See annab võimaluse mitte ainult vahetunni jooksul vahetada varustuse kaheks, teineteisele järgnevaks laboratoorseks tööks, vaid võimaldab õpetajal olla vaba vahetundidel ja välja anda ning koristada riistad vahetult õppetunnis.

---

### III PEATÜKK.

## FRONTAALSETE LABORATOORSETE TÖÖDE KORRALDAMISE METOODIKA.

Nii nagu oli öeldud sissejuhatuses, võib frontaalseid laboratoorseid töid korraldada mitmeti: kas sissejuhatusena füüsikakursuse ühte või teise ossa, või illustratsioonina õpetaja poolt esitatava uue materjali juurde, või läbivõetu kordamiseks ja üldistamiseks.

Sissejuhatava iseloomuga tüüpilisemateks laboratoorseteks töödeks on tööd: 3 — «Kaalumine kangkaaludel» ja 8 — «Magnetiliste nähtuste vaatlemine». Nendest esimese eesmärk seisneb selles, et tutvustada õpilasi praktiliselt tähtsa riista — kangkaalude ehitusega ja tööga ning harjutada nende käsitlemist kindlate reeglite järgi.

Selleks tekib vajadus eeskätt sellepärast, et kangkaalud koos kaaluvihtidega on keerulisim, täpseim ja kalleim riist frontaalse varustuse hulgas. Samaaegselt kasutatakse kangkaalusid laialdaselt alates VI klassi töödest väga mitmesugustes laboratoorsetes töödes.

Järelikult, kui õigeaegselt mitte keskendada õpilaste tähelepanu kangkaaludele ja mitte õpetada neid tundma ning mitte harjutada õpilasi neid õigesti käsitlema teiste tööde korraldamise käigus, kus neid kasutatakse, siis viib see tahtmatult kurbadele tagajärgedele. Kogemused näitavad, et sellisel juhul, isegi pärast esialgset kaalude demonstreerimist õpetaja poolt klassis, paljud õpilased omandavad praktilistes töödes ebaõigeid kogemusi, millele tavaliselt kaasneb kaalude rike. Seejuures nende ebaõigete kogemuste väljajuurimine on seotud suurte raskustega.

Enne laboratoorse töö korraldamist kaalumise alal peavad õpilased olema õpetaja poolt lühidalt informeeritud kangkaalude ehitusest ja selle üksikute osade (kaalukang prismaga, püstkan-dur, rõngad, sang kausiga, aretiiri ülesannet täitev muhv kruviga) ülesannetest.

Tööd ennast on parem teostada üksikute etappide kaupa, õpetaja üksikute korralduste järgi, nii nagu see on näidatud üksikasjaliselt kirjelduses (lk. 63—65). Nii saavad kõik õpilased konkreetse kujutluse sellest, kuidas tuleb käsitleda kaalu-

sid ja kaaluvihte. See loob reaalse aluse õigete kogemuste kinnistamiseks tulevikus, sest pärast niisuguse töö teostamist märkab vea teinud õpilane seda ise tavaliselt kiiresti ja ka parandab, või avastavad ja parandavad selle kergesti temaga koos töötavad seltsimehed peaaegu ilma õpetaja abita. Seega on kaalumi korraldav laboratoorne töö väga kasulikuks sissejuhatuseks järgmisteks laboratoorseteks töödeks, kus kasutatakse kaale.

Teist laboratoorset tööd «Magnetiliste nähtuste vaatlemine» võib korraldada sissejuhatuseks elektromagnetiliste nähtuste kursuse kindlale osale. Seda tööd, mis on üksikasjaliselt kirjeldatud lk. 86, on otstarbekas korraldada enne õpetaja seletusi magnetitest ja magnetismist. Säärase laboratoorse töö eesmärk seisneb selles, et anda õpilastele, kes tunnevad tavaliselt elavat huvi magnetiliste nähtuste vastu, võimalust tutvuda praktiliselt ja konkreetselt alaliste magnetite peamiste omadustega. Sellega ongi seletatav selle töö puhtkvalitatiivne iseloom, st. mingeid mõõtmisi katse ajal siin ei teostata.

Tööd tehes koguvad õpilased teatud ettevalmistava materjali, mis ühelt poolt vabastab õpetaja paljudestki tähelepanu kõrvalekiskuvatest küsimustest ja teiselt poolt võimaldab järgmises tunnis kergesti üle minna vajalikule süstematiseerimisele ja üldistustele, põhimistele järeldustele.

Et anda säärast liiki laboratoorsetele töödele sügavamat mõtet ja efektiivsust, tuleb kavastada kõige ratsionaalsem eksperimendi teostamise kord. Sel eesmärgil tuuakse töö kirjelduses tavaliselt küsimuste näidis-loetelu, millelele õpilased peavad vastama. Nende vastused peavad olemagi aruandeks tehtud töö kohta; nende järgi võib teatud määral otsustada saadud tulemuste üle.

Laboratoorsete tööde korraldamine nii, et need ühtiksid õpetaja seletustega ja kujuneksid õppetunni teatud lüliks, võib näidata 23-nda tööga «Tõeliste kujutiste saamine läätse abil».

Enne tunni algust saab iga lüli vajaliku varustuse, mis on näidatud töös (lk. 92). Tund algab õpetaja demonstratsiooniga, mis selgitab olulisima — läätse peafookuse mõiste. Sel eesmärgil suunatakse läätsele optilise ketta abil hajuvate ja seejärel koonduvate kiirte kimp ja selgitatakse fookuse mõistet kui punkti, millesse koonduvad läätse läbivad kiired. Seejärel korratakse katset, kuid paralleelsete kiirtega, mis koonduvad läätse peafookuse, kaugusel, mida nimetatakse peafookuse kauguseks.

Nüüd esitatakse õpilastele küsimus, kuidas määrata nende käes oleva läätse fookuse kaugust?

Suunavate küsimuste abil selgitatakse, et selleks tuleb kasutada mingit küllaltki kaugelt valgusallikat (kogu klassi jaoks ühine elektrilamp), mille kiiri võib lugeda peaaegu paralleelseiks. Koondanud läätse abil need kiired ekraanile s. o. selgitanud peafookuse, osutub kergesti võimalikuks fookuse kauguse määra-

mine lihtsa mõõtelindi abil. Teostanud mõõtmise, saavad õpilased lähisarvud, sest läätسد on kõikidel lülidel samad.

Edasi esitatakse õpilastele küsimus selle kohta, mis tekib ekraanile, kui valgusallikas paigutada mitte kusagile kaugemale, vaid kahekordse fookuse kaugusele läätsest. Esimesena valitakse just see juhtum, sellepärast et see katse sooritamise ja vajalike tulemuste saamise mõttes osutub kõige lihtsamaks ja selgemaks.

Õpilased lahendavad püstitatud ülesande nii nagu see on kirjeldatud töös nr. 23. Pärast seda võetakse saadud tulemused klassis arutlusele ja tehakse järeldusi: eseme kujutis, mis asetseb koondavast läätsest fookuse kahekordsel kaugusel on ümber pööratud, on suuruselt võrdne esemega ja asetseb teisel pool läätse fookuse kahekordsel kaugusel.

Loomulikult kerkib nüüd küsimus, kuidas saada läätse abil eseme suurendatud või vähendatud kujutist. Sel eesmärgil soovitatakse õpilastele algul nihutada lampi läätsele veidi lähemale fookuse kahekordsest kaugusest, et saada ekraanile eseme selget kujutist, ning seejärel läätsest kaugemale, et saada jälle ekraanile kujutist.

Nende katsete tulemuste vaatlemisel võib teha kergesti järelduse: kui ese läheneb läätse peafookusele, siis eseme kujutis suureneb ja eemaldub läätsest; kui aga ese eemaldub läätsest, siis tema kujutis väheneb ja läheneb peafookusele.

Lõppeks pöörab õpetaja õpilaste tähelepanu juhtumile, kui ese asetseb läätse peafookuses või fookusest lähemal. Optilise ketta abil näitab õpetaja, et nendel juhtumitel kiired, läbinud läätse, on kas paralleelsed või hajuvad s. o. nad ei saa lõikuda ja järelikult ei või anda kujutist ekraanil. Selles veenduvad ka õpilased kergesti, kui nad asetavad lambi peafookuse ja läätse vahele ja nihutavad ekraani mööda optilist peatelge.

Samatüübiliste tööde hulka tuleb kanda ka tunnid, kus frontaalse varustuse üksikuid elemente kasutatakse «jaotatava materjalina» s. o. antakse õpilastele kätte näitlikeks vahendeiks igale lülile õpetaja seletuste puhul. Oletame näiteks, et tunnis käsitletakse küsimust erinevatest takistustest vooluringis ja on tarvis tutvustada õpilasi tüübilise laboratoorse libiseva kontaktiga reostaadi konstruktsiooniga. Selleks jagatakse enne tundi õpilaste laudadele kaks erinevat traattakistust ja reostaat. Tunnis vajalikul momendil kasutatakse neid alljärgnevas korras.

Algul pöörab õpetaja õpilaste tähelepanu traattakistuse ehitusele (spiraal, klemmid, klots) ja takistuse suuruselt sõltuvalt traadi erinevatele keerdude arvule. Seejärel minnakse üle reostaadi vaatlemisele ja peatatakse tema peamistel osadel, milledeks on: traattakistus, isoleertoru, metallvarras libiseva kontaktiga, kilbid kahe klemmiga ja alus. Õpilased vaatlevad tähelepanelikult nende ees asetsevat reostaati näpunäidete järgi.

Edasi tehakse õpilastele ülesandeks jälgida, kuidas on mähitud isoleertorule traattakistus, mille üks ots on kinnitatud alu-

mise klemmi külge ja teine pole üldse välja toodud. Õpetaja näitab, et vooluringi lülitatud reostaadi libiseva kontakti nihutamisega piki varrast, selle takistus suureneb või väheneb järk-järgult, kuna vooluringi lülitatakse traattakistuse mähise suurem või väiksem arv keerde. Samas antakse ka praktiline juhend: reostaati vooluringi lülides, tuleb pöörata tähelepanu sellele, et libisev kontakt asetseks selles otsas, kus üleval on olemas klemm; kui kontakt on selles asendis, omab reostaat suurimat takistust.

Niisuguse, võrdlemisi harva kasutatava tööde korraldamise meetodiga füüsika alal võib edukalt tundma õppida varustuse jagatava materjali hulka kuuluvaid teisi detaile. Nende hulka kuuluvad: kaalud koos kaaluvihhtidega, vedrudünamomeeter, mensusuur, termomeeter, akumulaatorite patarei, elektromagnet, elektrilamp, koos pesaga alusel jms.

Lõppeks, kolmandat tüüpi laboratoorse töö näitena, kus korraldatakse ja üldistatakse varem õpitut, võib tuua töö nr. 52 — «Kepleri pikksilma, mikroskoobi ja Galilei pikksilma mudeli koostamine». Seda tööd teostatakse pärast seda, kui on tundma õpitud kiiri koondava ja hajutava läätse peamised omadused ja korraldatud 50. ja 51. laboratoorne töö läätse peafookuse kauguse määramiseks ning õpilased on hästi omandanud kujutiste ehitamise läätsetes.

Tuginedes nendele teadmistele, näitab õpetaja enne töö algust klassi tahvlile valmistatud jooniste abil, seletuste käigus mikroskoobis ning Kepleri ja Galilei pikksilmas läätsete asetuse ja iseloomu. Õpetaja vaatleb üksikasjaliselt kiirte käiku ja kujutiste ehitamist optilistes riistades, rõhutab nende iseärasusi ja erinevusi. Kui õpilased on aru saanud käsitlusest, omades oma vihkuis selgeid skeeme-jooniseid kiirte käigust nendes riistades, siis võib alustada ettenähtud tööd.

Õpilaste laudadele jagatakse töö kirjelduses näidatud vajalik varustus (kolm läätse, ekraanike, vaadeldav objekt) ja püstitatakse ülesanne: koostada nende vihkuis olevate jooniste järgi loetletud optiliste riistade mudelid.

Siin peavad õpilased iseseisvalt üle minema joonistes väljendatud teoreetilistelt põhjendustelt reaalsele tegelikkusele. Nad peavad kasutama oma teoreetilisi teadmisi ja praktilisi oskusi. Seepärast võib seda laadi töö kujuneda heaks kontrollimise võimaluseks: kirjeldatavas töös saadud praktiliste tulemuste põhjal pole raske teha järeldust, kuidas on omandatud õpitu geomeetrisest optikast ja millist ettevalmistust nad omavad sellest.

Tööd ennast on parem teostada ositi. Algul teha ülesandeks kõikidele lülidele, et nad koostaks näiteks mikroskoobi mudeli, valides selleks vajalikud läätseted. Kui seadeldised on valmis, siis kontrollida need kiiresti ja viidata sellele, et suurenduse mõõt on seda suurem, mida lähemal asetseb vaadeldav ese objektiiviga peafookusele. Õpilasele soovitatakse seda kontrollida praktiliselt ja veen-

duda selles, et ülemäärast suurendust ei tule taotleda tekkivate kujutiste tugevate moonutuste tõttu, mis selle juures esinevad.

Seejärel tuleb teha kõikidele lülidele ülesandeks Kepleri pikksilma mudeli üheaegne koostamine ja, kui seadeldised on valmis, juhtida tähelepanu suurenduse mõõte ligikaudse määramise lihtsale võttele. Selleks on tarvis vaadata objekti kahe silmaga korraga, kuid ühega läbi läätsede ja teisega neist mööda, niiviisi võib hinnata mitu korda üks nähtav kujutise pikkus või laius on suurem teise omast.

Edasi võib üle minna Galilei pikksilma mudeli koostamisele ja teostada selle ülesande osa nii, nagu see on kirjeldatud 52. töös.

Nagu sissejuhatuses on öeldud, võimaldab frontaalne laboraatorsete tööde teostamine korraldada töö lõpul vaatlustel ja mõõtmistel saadud tulemuste kollektiivset arutelu. See võimaldab õpetada õpilastele niisuguste resultaaside arutlemist ja õiget hindamist.

Seejuures osutub VI ja VII klassis küllaldaseks piirduda tulemuste viimistlemisel vaid ligikaudsete arvudega teostatavate tehete reeglitega ja vanemates klassides maksimaalse absoluutse ja maksimaalse suhtelise vea arvutamisega.

Ei ole vajalik vaadelda siinkohal niisuguste arvutuste ulatust ja iseloomu, sest see kõik on toodud küllaldase üksikasjalisusega hiljem VI ja VIII klassi jaoks enne laboraatorsete tööde kirjeldust ning hulgalistes näidetes valdava enamuse tööde lõpus.

Tuleb alati meeles pidada, et vigade arvutamise võtteid ja kogemusi laboraatorsete tööde teostamisel omandavad õpilased raskelt ja seetõttu ei tohi siin piirduda vaid mõningate üldiste provisorsete juhiste ning selgitustega. Neid kogemusi tuleb järjekindlalt ja püsivalt süvendada ja harjutada konkreetsete näidete varal pärast igat laboraatorset tööd, milles on tegu mõõtmisega.

Mõnede tööde puhul saadud tulemuste viimistlemine peab selgesti näitama uuritava protsessi üht või teist iseärasust, üht või teist sõltuvust füüsikaliste suuruste vahel. Säärasel juhul on tulemuste parimaks üldistuse vormiks graafikud.

Graafikute kasutamise konkreetne näidis on küllaltki üksikasjaliselt esitatud kahes töös — 12. ja 13., kus vaadeldakse naftaliini soojenemise ning sulamise ja vee soojenemise ning keemise protsessi.

Oleks ülearune peatuda siin teistel frontaalsete tööde korraldamise meetodilistel üksikasjadel. Need andmed on toodud tööde kirjeldustes ja peale selle kõike vajalikku, mis puudutab füüsikalaste laboraatorsete tööde meetodikat, on võimalik leida metoodilisest kirjandusest.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Проф. П. А. Знаменский, Методика преподавания физики в средней школе, Учпедгиз, 1947.

E. N. Gorjatškin. Füüsika õpetamise meetodika seitsmeaastases koolis, I. Eesti Riiklik Kirjastus, 1952.

Проф. И. И. Соколов, Методика физики, Учпедгиз, 1951.

К. Н. Елизаров, Организация урока физики, Учпедгиз, 1951.

#### IV PEATÜKK.

### LABORATOORSETE TÖÖDE KIRJELDUS.

Antud peatükis on laboratoorsed tööd kirjeldatud samas järjekorras, millises nad on loetletud nimestikkudes (lk. 8).

Kirjelduste koostamisel lähtutakse ülesandest anda põhimine materjal valmis kujul, mis vabastaks õpetaja mustast tööst ja kergendaks ettevalmistumist laboratoorsete tööde tundideks, et õpetajal oleks võimalik keskendada oma tähelepanu meetodilisele küljele.

Iga kirjelduse algusse on paigutatud ühe töökoha jaoks vajalik varustus ning mõningates töodes ka riistad, mis on ühised kogu klassile. Sulgudes olevad numbrid vastavad varustuse nimestiku (lk. 13—38) järjekorra numbritele.

Kõigis kirjeldustes on näidatud töö täitmise kord ja katse läbi viimise tehnika. Peale selle on reas teis antud mõningad meetodilised võtted ja juhised. Siiski valgustatakse enamail juhtudel laboratoorse tunni meetodilist külge mittetäielikult: toodud kirjeldusi võib õpetaja kasutada erinevalt vastavalt tunni eesmärgile. Lähtudes meetodilistest kaalutlustest ja kogemustest, võib õpetaja korraldada ühte või teist tööd käsitlusele tuleva teema sissejuhatusena, või teema kokkuvõttena, või praktilise kontrolltööna jms.

Sügavat tähelepanu on osutatud õpilaste teadliku suhtumise arendamisele saadava tulemuse suhtes. Sellel eesmärgil on VI ja VII klassi tööde kirjeldustes näidatud kõikjal, kus seda on peetud vajalikuks, ligikaudsete arvudega tehete reeglite praktiline kasutamine. Neil juhtumel võib tüvenumbrite arv teatud määral olla kriteeriumiks saadud arvilise tulemuse täpsuse hindamiseks.

Kirjeldustes toodud arvilised andmed, arvutused ja tulemused on võetud vahetult katsetest ja on seetõttu täiesti reaalsed.

Alates VIII klassist on õpilased suutelised teostama vigade elementaarset analüüsi ja seepärast on vanemate klasside laboratoorsete tööde kirjelduste koostamisel kõikjal, kus sellel on mõte, toodud suhteliste ja absoluutsete vigade arvutused.

Kahes töös (nr. 48 ja 49) on tulemuse hindamiseks kasutatud mitmekordse mõõtmise meetodit, mis vähendab juhuslike vigade mõju. Selle meetodiga tuleb õpilasi kindlasti tutvustada prakti-

selt. Kõigis töis ei ole võimalik seda kasutada laboratoorseks tööks ette nähtud aja nappuse tõttu.

Üksikasjaliselt on kirjeldatud kaks tööd (nr. 12 ja 13), millistes õpilased tutvuvad õpitavate nähtuste graafilise üleskirjutamisega ja üks instruktiivse iseloomuga töö (nr. 3), millist on kasulik sooritada õpetaja üldise korralduse järgi.

## TÖÖD VI JA VII KLASSILE.

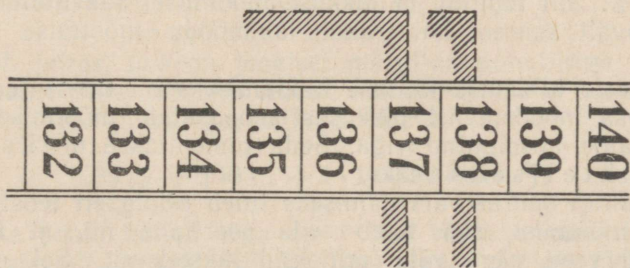
### Mõõtmised ja arvutused.

Laboratoorsete tööde teostamine on kõige sagedamini seotud mitmesuguste suuruste mõõtmisega. Mõõtmise tulemus ei saa kunagi olla täpne. Mistahes mõõtmise juures on alati vältimatu suurem või väiksem viga. Selle vea tõelist suurust tavaliselt ei teata, kuid võime alati määrata selle suurima väärtuse.

Näiteks, laua pikkuse mõõtmisel leidsime, et see võrdub 138 cm. Oletame, et mõõtmist teostati sentimeetriteks jaotatud mõõtelindiga, millele ei ole kantud millimeetreid ja seepärast jätsime ära sentimeetri osad, mis ületasid täissentimeetreid, kui see oli liiaga mitte üle 0,5 cm ja kui see oli suurem kui 0,5 cm, siis lugesime seda täissentimeetriks. Seega laua tõeline pikkus ei ületa 138,5 cm ega ole vähem kui 137,5 cm (joon. 64). Misugust väärtust see pikkus selles vahemikus ka ei omaks, viga, mis me teeme, võttes laua pikkuseks 138 cm ei ületa igal juhul 0,5 cm. Nimetame selle mõõtmise võimalikuks maksimaalseks absoluutseks veaks, või lihtsalt — absoluutseks veaks.

Toodud näite mõõtmise tulemus tuleb kirjutada järgmisel viisil:

$$l = 138 \text{ cm} \pm 0,5 \text{ cm}.$$



Joon. 64. Mõõtmised sentimeetritesse jaotatud mõõtelindiga.

Maksimaalse absoluutse vea suurus sõltub kasutatava mõõteriista ehitusest ja eksperimentaatori oskusest. Näiteks, metallist lati pikkuse mõõtmisel võime saada palju täpsema tulemuse kasu-

tades millimeetrist joonlauda kui sentimeetrilise mõõtelindiga mõõtmisel. Laboratoorse dünamomeetri kasutamisel, mille üks jaotus vastab 10-le grammile, loetakse tavaliselt tulemuse maksimaalseks absoluutseks veaks  $\pm 5$  G, kuid teatud vilumusega vaatljal on võimalik hinnata jaotuse kümnendosi silma järgi ja mõõta jõudu veaga, mis ei ületa 1 G.

Mõõdetava objekti iseloom ja mõõteriista konstruktsioon seavad teatud piirid mõõtmise täpsuse suurendamisele. Näiteks on täiesti võimalik paberile tõmmatud sirglõigu mõõtmisel millimeetritesse jaotatud joonlauaga saavutada täpsus, mille juures viga ei ületa 0,1 mm. Mensuuri kasutamisel, millele on kantud jaotused  $1 \text{ cm}^3$  kaupa, peame sellesse kallatud vedeliku ruumala mõõtmiseks lugema võimalikuks maksimaalseks veaks  $1 \text{ cm}^3$  mitte sellepärast, et me ei oska silma järgi hinnata mensuuri jaotuste kümnendosi (nad on tunduvalt suuremad kui millimeeter), vaid sellepärast, et vedeliku seis mensuuri seinte juures ei oma küllalt selgestieraldatavat piiri. Samuti pole mõtet püüda loendada jaotuse kümnendosi ampermeetri skaalal, kui selle gradueerimisel on tehtud vigu, mis on terve jaotuse väärtusega.

Absoluutse vea maksimaalne väärtus ei võimalda veel otsustada mõõtmise täpsuse astet. Kui näiteks, traaditüki mõõdete määramisel selle pikkus osutus rull-lindiga mõõtmisel võrdseks  $934 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$ , läbimõõt aga varbsirkliga mõõtmisel  $4 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ , siis pikkuse mõõtmisel tehtud maksimaalne absoluutne viga on tunduvalt suurem kui läbimõõdu mõõtmisel tehtud viga. Siiski esimesel juhul see moodustab

$$\frac{1}{934} \approx 0,0011;$$

s. o. 0,1% mõõdetavast pikkusest, teisel juhul aga

$$\frac{0,05}{4} \approx 0,012,$$

s. o. 1,2%. Siit nähtub, et pikkuse mõõtmisel saavutatud täpsus on tunduvalt suurem kui traadi läbimõõdu mõõtmise tulemuse täpsus.

Mõõtmise tulemuse täpsuse hindamiseks on tarvis teada, misuguse osa mõõdetavast pikkusest moodustab mõõtmisel tehtud maksimaalne absoluutne viga. Seda nimetatakse **m a k s i m a a l s e k s s u h t e l i s e k s** veaks.

Kui mingi suuruse arvutamiseks tuleb esialgselt teostada mitu erinevat mõõtmist, siis tuleb seda sooritada nii, et mõõtmise suhtelised vead väga vähe erineksid üksteisest. Sel eesmärgil tuleb mõõteriistad valida piirselt.

Ülaltoodud näites, traadi läbimõõdu määramisel tulnuks kasutada mikromeetrit, mis oleks võimaldanud suurendada läbimõõdu mõõtmise täpsust 10 korda. Vastupidi, traadi pikkuse mõõtmine veaga kuni 1 dm ei oleks halvendanud traadi ruumala arvutamise tulemust kuigi märgatavalt.

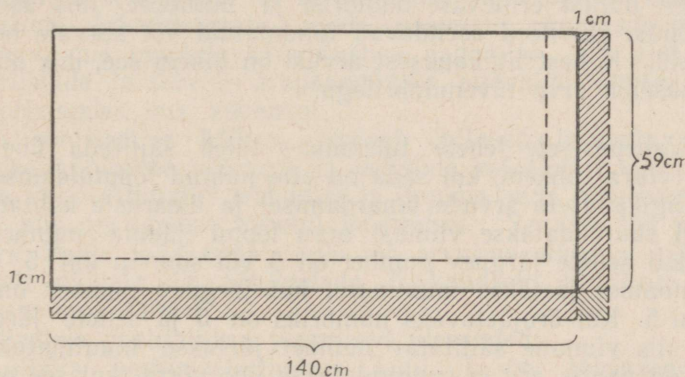
Mõõtmise tulemused laboratoorsetes töödes on tavaliselt järgnevate arvutuste materjaliks mingi füüsikalise suuruse määramisel, missugust ei ole võimalik leida vahetu mõõtmise teel. On mõistetav, et niisuguste arvutuste tulemus kui ka lähteandmed on ligikaudsed arvud, siis peavad meid huvitama need piirid, missugustes asetseb määratava suuruse tõeline väärtus.

Et selgitada piiride leidmise viisi, kasutame laboratoorses töös nr. 1 esinevaid andmeid — laua plaadi pindala arvutamine (lk. 61).

Joonisel 65 on pidevate joontega kujutatud laua plaat ja antud selle mõõted. Nende järgi on kerge määrata otsitavat pindala:

$$140 \cdot 59 = 8260 \text{ (cm}^2\text{)}.$$

Kuid need mõõted on ligikaudsed ja pindala tõeline väärtus võib olla kas suurem või väiksem nende mõõdede järgi saadud



Joon. 65. Laua plaadi ligikaudne mõõtmine.

suurusest, piires, mis on joonisel märgitud punktiiriga. Võimalik maksimaalne viga, mis on tehtud mõõtmisel ühele poole, on esitatud viirutatud pindalaga, milline võrdub

$$59 \cdot 1 + 140 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 200 \text{ (cm}^2\text{)}.$$

Teisele poole tehtud viga on 2 cm<sup>2</sup> võrra esimesest väiksem s. t. see võrdub 198 cm<sup>2</sup>. Nii siis, laua plaadi pindala tõeline väärtus asub arvude 8460 cm<sup>2</sup> ja 8062 cm<sup>2</sup> vahemikus. Tähendab, meie poolt varem saadud tulemuses 8260 cm<sup>2</sup>, mis on ka üheks pindala suuruse võimalikuks väärtuseks, on ainult esimene number täiesti usaldatav; teine number, kuigi kahtlane, on siiski lähedane tõelisele; ülejäänud arvudel pole mõtet ja neid võib asendada nulliga. Järelikult tuleb tulemus ümardada kuni 8300 cm<sup>2</sup>.

Siin toodud seletus teeb õpilastele arusaadavaks ligikaudsete arvudega tehete reeglid, milliseid nad peavad kasutama oma tulemuste viimistlemisel<sup>1</sup>. Need reeglid on järgmised:

1. Ligikaudseid arve tuleb ümardada, jättes neisse ainult usaldatavad numbrid ja mitte rohkem kui ühe mitte küllaldaselt usaldatava numbri, heites kõrvale või asendades nulliga kõik järgnevad numbrid.

2. Liitmisel või lahutamisel saadud summa või vahe ei pea sisaldama kümnendkohti nendes järkudes, missugustes need puuduvad mingis andmes.

3. Teistel juhtumitel peab arvutuste lõpptulemuses säilitama niimitu tüvenumbrit, kuimitu on neid kõige lühemas ligikaudses arvus. Ülejäänud numbrid asendatakse nullidega või heidetakse kõrvale ümardamise reeglite järgi.

Märkus. Ligikaudse arvu «tüvenumbriteks» nimetatakse kõiki tema numbreid, väljaarvatud nullid, mis asetsevad vasemal esimesest nullist erinevast numbrist ja nullidest, mis asetsevad arvu lõpus, kui need asendavad tundmatuid või kõrvale heidetud numbreid. Kahest ligikaudsest arvust on lühem see, mis on esitatud väiksema arvu tüvenumbritega.

4. Vahepealsete tehete tulemustes tuleb säilitada ühe tüvenumbri võrra rohkem, kui seda on ette nähtud lõpptulemuses.

5. Ligikaudsete arvude ümardamisel ja ülearuste kohtade ärajätmisel suurendatakse viimast arvu lõppu jäetud numbrit ühe võrra, kui sellele järgnev number on 5 või suurem kui 5 ja viimane number jäetakse muutmata, kui järgnev number on väiksem kui 5. Kui ärajäetavaks numbriks on 5 ja sellele järgnevad nullid, siis viimane säilitatav number jäetakse muutmata, kui selleks on paaris arv ja suurendatakse ühe võrra, kui see on paaritu arv.

Juba esimeste laboratorsete tööde teostamisel peavad õpilased nende tööde materjali põhjal omandama esiteks mõõtmise maksimaalse ja absoluutse ja maksimaalse suhtelise vea mõiste ja oskama neid määrata; teiseks — peavad oskama hinnata üksikute mõõtmiste täpsust suhteliste vigade võrdlemise najal; kolmandaks — peavad oskama kasutada arvutuste teostamisel ligikaudsete arvudega tehete reegleid.

---

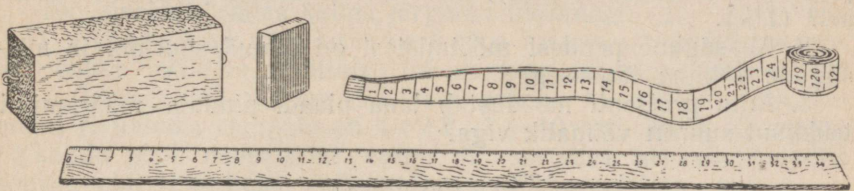
<sup>1</sup> Проф. В. М. Брадис, Средства и способы элементарных вычислений, из-во АПН РСФСР, 1951.

М. Л. Франк, Элементарные приближенные вычисления, 1932.

Проф. П. А. Знаменский, Лабораторные занятия по физике в средней школе, ч. I, Учпедгиз, 1948.

## 1. Pikkuse mõõtmine, pindala ja ruumala määramine.

Töövahendid. 1) Mõõtejoonlaud (1). 2) Mõõtelint (3). 3) Metallist risttahukas (15). 4) Tribomeetri juurde kuuluv puust risttahukas (17) (joonis 66).



Joon. 66. Töövahendid töö nr. 1 juurde.

See laboratoorne töö on esimeseks frontaalseks tööks VI klassi õpilastega ja sellepärast on tarvis tunni algul õpilasi tutvustada frontaalsete laboratoorsete tööde peamiste organisatsiooniliste reeglitega, mis puudutavad varustuse jagamise, töö ajal käitumise, riistade ja tarvete ärapanemiseks ettevalmistamise, varustuse koristamise jms. küsimusi.

Töö sooritamise käigus peavad õpilased tutvuma pikkuse mõõtmise põhimiste võtetega ja mõistma mõõtmisel suurima või vähima vea vältimatut tekkimist ja õppima seda arvestama tulemuses, mis on saadud vahetul mõõtmisel. See on töö peamine eesmärk. Peale selle annab selle töö arvuline materjal võimaluse õpilastele näidata ja põhjendada ligikaudsete arvudega tehete tulemuste ümardamist.

Õpilastele püstitatakse järgmised ülesanded:

- 1) Mõõta sentimeeterlindiga kuni 1 cm täpsusega laua plaadi pikkus ja laius ning leida selle pindala ruutsentimeetrites.
- 2) Mõõta joonlauaga kuni 1 mm täpsusega puust risttahuka pikkus, laius ja paksus ja leida selle ruumala kuupsentimeetrites.
- 3) Mõõta joonlauaga kuni 0,1 mm täpsusega metallist risttahuka pikkus, laius ja paksus ning arvutada selle ruumala kuupsentimeetrites (millimeetrite kümnendikud määratakse silma järgi).

Mõõtmise tulemused kujunevad umbes järgmisteks:

Laua plaat. Pikkus  $140 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$ ; laius  $59 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$ . Pindala  $140 \cdot 59 = 8260 \text{ cm}^2$  või ligikaudselt  $8300 \text{ cm}^2$ .

Puust risttahukas. Pikkus  $7,8 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$ ; laius  $4,2 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$ ; paksus  $2,7 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$ . Ruumala  $7,8 \cdot 4,2 \cdot 2,7 = 88,452 \text{ cm}^3$  või ligikaudselt  $88 \text{ cm}^3$ .

Alumiiniumist risttahukas. Pikkus  $40,3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ ; laius  $25,0 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ ; paksus  $10,0 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ . Ruumala  $4,03 \cdot 2,50 \cdot 1,00 = 10,075 \text{ cm}^3$  või ligikaudselt  $10,1 \text{ cm}^3$ .

Kasutades selle töö sooritamisel saadud arvulisi andmeid on kasulik anda õpilastele absoluutse ja suhtelise vea mõiste ja lahendada järgmised ülesanded:

1. Mitu protsenti moodustavad võimalikud maksimaalsed vead laua pikkuse ja laiuse mõõtmisel? (0,7%; 1,7%), puust risttahuka paksuse mõõtmisel? (3,6%), metallist risttahuka paksuse mõõtmisel? (1%).

2. Missugune nendest mõõtmistest on tehtud suurima ja misugune vähima täpsusega?

3. Mitu protsenti moodustab laua plaadi pindala määramisel tekkinud suurim võimalik viga?

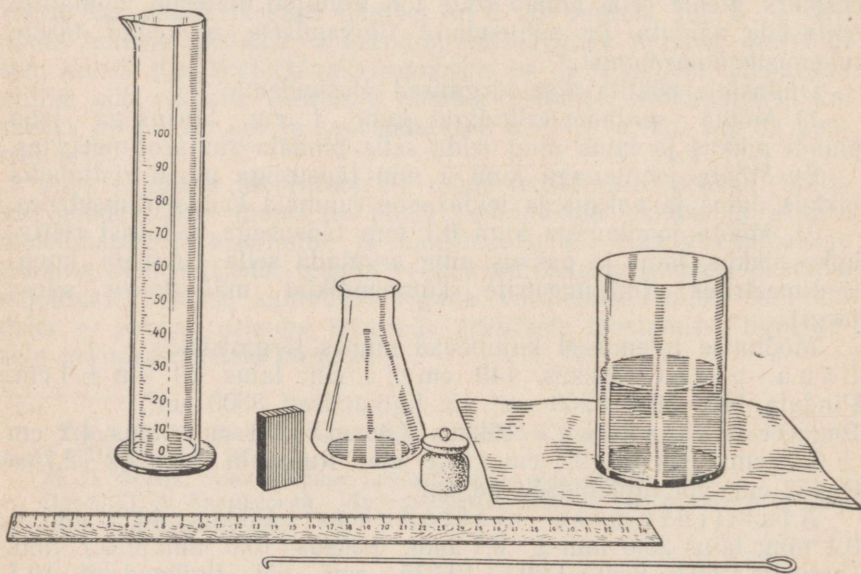
$$\frac{200}{8300} \cdot 100 = 2,4\%.$$

Võrrelge seda viga laua pikkuse ja laiuse mõõtmisel tehtud vigadega:

$$0,7\% + 1,7\% = 2,4\%.$$

## 2. Anuma mahu ja tahke keha ruumala mõõtmine mensuuriga.

Töövahendid: 1) Mõõtejoonlaud (1). 2) Mõõtesilinder (5). 3) Metallist risttahukas (15). 4) Kooniline kolb (61). 5) Patarei klaas (62). 6) Konks (69). 7) Korrapäratu kujuga keha (70). 8) Filterpaber (77) (joon. 67).



Joon. 67. Töövahendid töö nr. 2 juurde.

Tööd on otstarbekam alustada risttahukakujulise keha ruumala määramisest selle mõõdete järgi, mida õpilased õppisid juba tegema eelmises töös. Seejärel määrata selle risttahuka ruumala teistkordselt mensuuri abil.

Kahe saadud tulemuse võrdlemine annab õpilastele kindluse teostatud mõõtmise õigsuses.

Töö sisaldab endas kolme järgmist ülesannet:

1) Risttahukakujulise keha ruumala määramine. Risttahuka mõõdete mõõtmise tulemusena saadakse: pikkus  $4,0 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$ ; laius  $2,5 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$ ; paksus  $1,0 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$ . Sel puhul risttahuka ruumala on  $4 \cdot 2,5 \cdot 1 = 10 \text{ cm}^3$ . Nüüd täidetakse ligikaudu pool mensuurist veega ja asetades sellesse traadist konksu abil risttahuka, määratakse selle ruumala<sup>1</sup>.

Kui vee esialgne seis oli  $55 \text{ cm}^3 \pm 1 \text{ cm}^3$  ja pärast risttahuka asetamist vette osutus  $65 \text{ cm}^3 \pm 1 \text{ cm}^3$ , siis risttahuka ruumala on  $10 \text{ cm}^3 \pm 2 \text{ cm}^3$ .

2) Korrapäratu kujuga keha ruumala määramine. Märkinud vee esialgse seisu mensuuris, näiteks,  $55 \text{ cm}^3 \pm 1 \text{ cm}^3$ , paigutatakse konksu abil vette keha (portselanist rullike), mistõttu vee seis tõuseb kuni  $64 \text{ cm}^3 \pm 1 \text{ cm}^3$ . Siis otsitav ruumala võrdub  $64 - 55 = 9 \text{ cm}^3 \pm 2 \text{ cm}^3$ .

3) Anuma mahu määramine. Mensuuri valatakse  $100 \text{ cm}^3$  vett ja kallatakse see kolbi, mille mahtu on tarvis mõõta. Uuesti valatakse mensuuri samapalju vett ja täidetakse sellega kolb kuni kaelani. Mõõtes mensuuri jäänud vee hulga (näiteks  $55 \text{ cm}^3$ ), leitakse kolvi ruumala ( $100 - 55 = 45 \text{ cm}^3$ ;  $100 + 45 = 145 \text{ cm}^3 \pm 3 \text{ cm}^3$ ).

### 3. Kaalumine kangkaaludel.

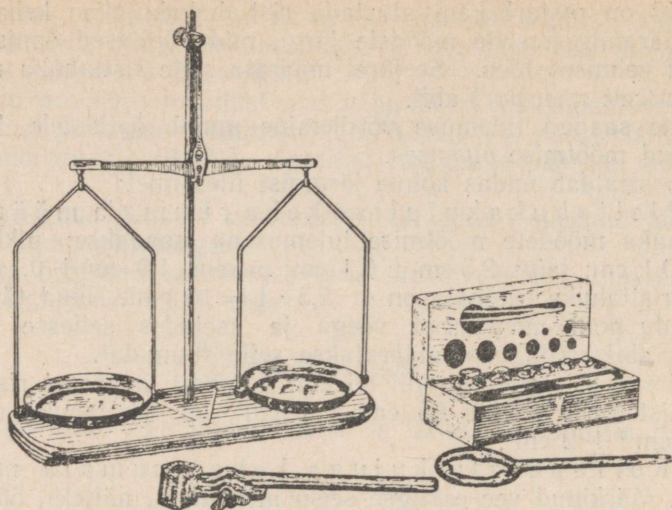
Töövahendid. 1) Kaalud (6). 2) Kaaluvihid (7). Statiivi rõngas ja näpits (16) (joon. 68).

Kohe kaalude esimesel tutvustamisel õpilasele tuleb rõhutada, et see on füüsikakabineti täpne riist, mis nõuab erilist käsitsemist.

Töö käigus peavad õpilased omandama ja ära õppima kaalumise reeglid. Seda võib saavutada mitte reeglite päheõppimisega, vaid rea korduvate kaalumiste teel, milledest esimene tuleb teostada õpetaja vahetel juhtimisel ja järgnevad tema tähelepanelikul jälgimisel.

Kaalumine õpetaja vahetel juhtimisel on võimalik vaid juhul, kui on olemas kaalult ühesuguste kehade täielik kogum: sel eesmärgil võib varustuse komplekti detailidest kasutada statiivi rõngaid; olemasolev väike erinevus nende kaalus tuleb juba varem

<sup>1</sup> Mensuuri põhjale tuleb varem asetada lühike kummitoru, et risttahuka juhuslikul kukkumisel ei puruneks mensuur.



Joon. 68. Töövahendid töö nr. 3 juurde.

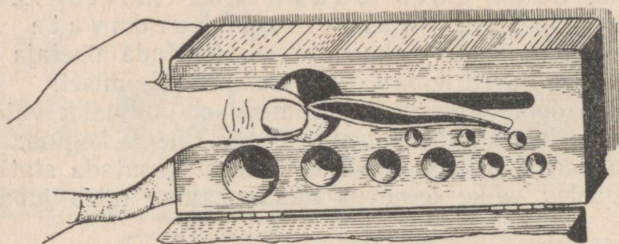
kõrvaldada s a b a o s a täpse mahaviilimise teel. Kaalu tuleb reguleerida nii, et grammide arv kõigi rõngaste jaoks oleks sama (erinevus võib esineda grammide osades) ja et kaalumiseks kasutatakse umbes pooled kõikidest kaaluvihetidest. Näiteks, rõnga kaal 136,23 g on väga mugav, kuna kaalumisel tulevad kasutamisele viis vihti: 100 g, 20 g, 10 g, 5 g ja 1 g.

Kaalumist õpetaja vahetul juhendamisel tuleb sooritada üksikute etappide kaupa, näiteks niisuguses järjekorras:

1) Asetada kaalud enda ette ja neist paremale kast kaaluvihetidega.

2) Panna kaalude vasemale kausile kaalumisele kuuluv raudrõngas.

3) Avada kaaluvihetide kast, võtta klaas grammi murdosadelt ja asetada see kasti ette. Vaadata ja jätta meelde, kuidas on asetatud pintsett, et pärast töö lõppu panna see samuti tagasi (pai-



Joon. 69. Pintseti väljavõtmine vihikasti pesast.

nutatud otstega pesa laiemasse ossa, nagu näidatud joon. 69).<sup>1</sup>

4) Suruda vasema käe sõrmega pintseti otstele. Võtta parema käega pintseti pidemest ja hoida kõverad otsad ülespoole.

5) Võtta pintsetiga pesast 100-grammine viht ja asetada see korralikult kaalude paremale kausile (on seda palju või vähe? Vähe!).

6) Asetada veel 50 g (nüüd on palju!).

7) Asetada pintsetiga 50 g viht kasti pesasse tagasi ning asetada kaalude kausile järgmine viht — 20 g (vähe!).

Nii viisi tuleb jätkata kaalumist õpetaja vahetult juhendamisel kuni on ära kasutatud grammised vihid. Edasist kaalumist grammi osadega jätkavad õpilased iseseisvalt.

Pärast seda teostatakse kaaluvihvide loendamine ning saadud tulemus kirjutatakse vihikusse. Seejärel paigutatakse kõik kaaluvihvid kasti pesadesse ja kogu kaalumise korratakse õpilaste poolt iseseisvalt, kusjuures nüüd kaalumist teostab lüli teine õpilane ja kaalub statiivi näpitsat.

Kaalumise lõpetamisel arutatakse saadud tulemusi, mille käigus selgitatakse kaalumisel tehtud absoluutset ja suhtelist viga ning antakse täiendavaid juhiseid kaalumise reeglite ja kaalude käsitlemise kohta.

#### 4. Vedru gradueerimine ja jõu mõõtmine dünamomeetriga.

Töövahendid. 1) Kinnise skaalaga dünamomeeter (8). 2) Raskuste komplekt (9). Statiiv muhvi, näpitsa ja rõngaga (16) (joon. 70).

Õpilastele tehakse ülesandeks gradueerida dünamomeeter, millega nad esmakordselt kokku puutuvad, kasutades raskusi, millel on märgitud nende kaal. Sellel ülesandel on mõte ainult siis, kui dünamomeetrid on gradueerimata. Sellepärast tuleb enne tööd dünamomeetrite skaalad kinni katta (katta või kinni kleepida valge paberiga).

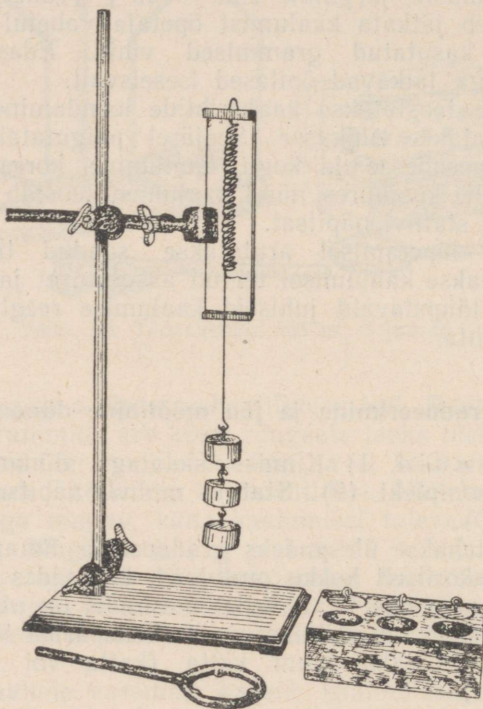
Sel viisil ettevalmistatud dünamomeeter kinnitatakse vertikaalsesse asendisse statiivi näpitsa vahele ja riputatakse esialgu dünamomeetri konksule mingi raskus. Reguleerinud pärast seda dünamomeetri asendit nii, et dünamomeetri liikuvad osad ei puudutaks tema alust, tehakse pliatsiga näitaja vastu horisontaalne kriipsuke. Seejärel riputatakse teine, kolmas ja neljas raskus, märkides iga kord vedru pikenemise. Kõrvaldades raskused, märgitakse näitaja nullseis ja tõmmatud kriipsukese vastu kirjutatakse arvud 0, 100, 200, 300, 400.

Tuleb pöörata õpilaste tähelepanu sellele, et kõik kriipsudevahelised kaugused osutusid võrdseiks. Sellest võib järeldada, et 50-grammine raskus oleks tekitanud vedru pikenemise poole võrra

<sup>1</sup> Enne töö algust tuleb kõik pintsetid kontrollida ja ette valmistada. Pintseti otsad tuleb lahti painutada nii, et kõige suurema vihi kaal mahuks pintseti otste vahele ja nõrga surve puhul ei libiseks sealt välja.

sellest, mille tekitas raskus 100 G ja kanda skaalale vahepealsed jaotused 50 G kaupa.

Kui dünamomeeter on gradueeritud, kaaluvad õpilased mõnda teist eset, näiteks statiivi rõngast koos muhviga. Pärast kaalumist võetakse skaalalt maha pabeririba ja nähakse dünamomeetri valmis skaalat. Võrreldes seda omavalmistatuga, õpilased veenduvad, et dünamomeetril skaala erineb omavalmistatust ainult suu-



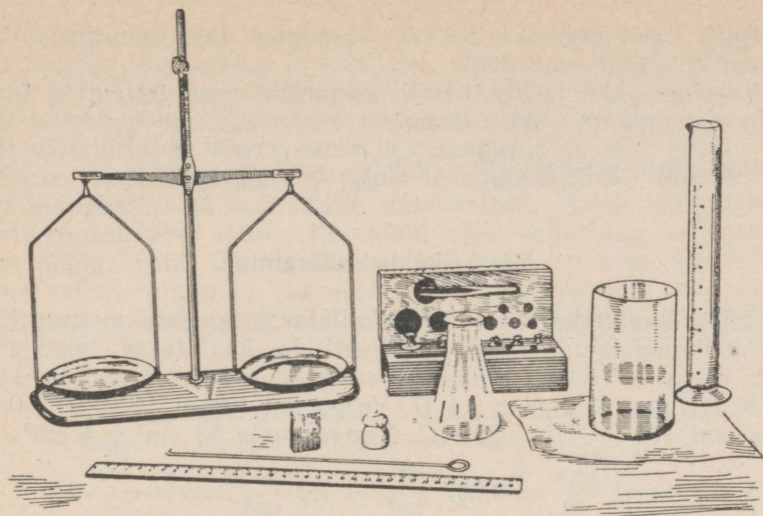
Joon. 70. Töövahendid töö nr. 4 juurde.

rema hulga jaotuste poolest: 100-grammised vahemikud on jaotatud mitte kaheks, vaid kümneks võrdseks osaks. Kaalunud rõnga koos muhviga teistkordselt, saavad nad umbes sama tulemuse kui omavalmistatud skaalaga kaalumisel.

### 5. Tahkete kehade ja vedelikkude erikaalu määramine<sup>1</sup>.

Töövahendid. 1) Mõõtejoonlaud (1). 2) Mõõtesilinder (5). 3) Kaalud (6). 4) Kaaluvihid (7). 5) Metallist risttahukas (15).

<sup>1</sup> Selles töös ei määrata mitte erikaalu, vaid tihedust, kuid kuna tiheduse ja massi mõiste nooremate klasside programmi ei kuulu, siis VI ja VII klassi töödes massi ja kaalu ühikuid kuni kalorimeetrini ei eraldata ja märgitakse tähega «G».



Joon. 71. Töövahendid töö nr. 5 juurde.

- 6) Kooniline kolb (61). 7) Patarei klaas (62). 8) Konks (69).  
 9) Korrapäratu kujuga keha (70). 10) Filterpaber (77).  
 11) Vasevtrioli lahus (80) (joon. 71).

Selles töös määravad õpilased mingi kahe erineva tahke keha ja kahe erineva vedeliku, näiteks, alumiiniumi ja portselani ning vee ja vasevtrioli lahuse erikaalu<sup>1</sup>.

### Alumiiniumi erikaalu määramine.

Kangkaaludel kaalutakse alumiiniumist risttahukas, rangelt kinni pidades kaalumise reegleist. Mõõdetakse joonlauaga risttahuka mõõted ja arvutatakse selle ruumala; kontrollitakse saadud ruumala mensuuriga.

Risttahuka kaal  $26,7 \text{ G} \pm 0,1 \text{ G}$ ; pikkus  $4,0 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$ ; laius  $2,5 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$ ; paksus  $1 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$ . Risttahuka ruumala  $4,0 \cdot 2,5 \cdot 1,0 = 10 \text{ cm}^3$ .

Alumiiniumi erikaal

$$\frac{26,7}{10} = 2,67 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3} \approx 2,7 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}.$$

### Portselani erikaalu määramine.

Pärast kaalumist asetatakse portselanist rull selle ruumala määramiseks traadist konksu abil veega täidetud mensuuri.

<sup>1</sup> Võib võtta marmori ja kivisöe tükke, kummikorke, piiritust ning keedu-soola küllastatud lahus jms.

Rulli kaal  $19,8 \text{ G} \pm 0,1 \text{ G}$ . Veepinna tase mensuuris algul  $83 \text{ cm}^3 \pm 1 \text{ cm}^3$ .

Veepinna tase pärast rulli asetamist vette  $92 \text{ cm}^3 \pm 1 \text{ cm}^3$ . Rulli ruumala  $92 - 83 = 9 \text{ cm}^3$ .

$$\text{Portselani erikaal } \frac{19,8}{9} = 2,2 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3} \approx 2 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}.$$

### Vee erikaalu määramine.

Algul kaalutakse tühi kolb; kallatakse sellesse mensuuri abil hoolikalt mõõdetud teatud hulk vett ja kaalutakse teistkordselt kolb veega.

Kolvi kaal  $31,2 \text{ G} \pm 0,1 \text{ G}$ . Veega kolvi kaal  $114,0 \text{ G} \pm 0,1 \text{ G}$ . Vee kaal  $114 - 31,2 = 82,8 \text{ G}$ . Vee ruumala  $83 \text{ cm}^3 \pm 1 \text{ cm}^3$ .

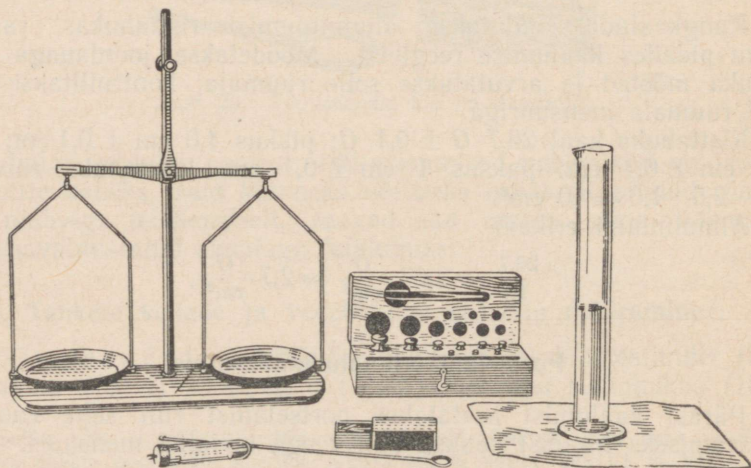
$$\text{Vee erikaal } \frac{82,8}{83} = 0,997 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3} \approx 1,0 \frac{\text{G}}{\text{cm}^3}.$$

Samal viisil määratakse teise vedeliku — vasevitrioli lahuse erikaal.

Pärast töö lõppu metallist risttahukas ja korrapäratu kujuga keha, mis asetati vette, kuivatatakse hoolikalt filterpaberiga.

### 6. Kehade ujumistingimuste selgitamine.

- Töövahendid. 1) Mõõtesilinder (5). 2) Kaalud (6).  
3) Kaaluvihid (7). 4) Katseklaas — ujuk (65). 5) Konks (69).  
6) Raudtraadi tükid (71). 7) Filterpaber (77) (joon. 72).



Joon. 72. Töövahendid töö nr. 6 juurde.

Töö algul täidetakse ujuk raudtraadi tükikestega ja sulgenud selle korgiga, kaalutakse ta kaaludel. Mensuuri kallatakse umbes 50 cm<sup>3</sup> vett, ning haakinud ujuki konksu külge, lastakse see vette. Ujuk langeb põhja. Kasutades mensuuri jaotusi, määratakse ujuki poolt väljatõrjutud vee ruumala ja selle järgi selle kaal.

Pärast seda tühjendatakse ujuk traaditükikestest, kuivatatakse see filterpaberiga ja kaalutakse teistkordselt. Ujuk paigutatakse uuesti konksu abil vette. Kui nüüd ujuk vabastada, ei vaju see enam põhja, vaid tõuseb veepinnale. Nüüd antakse ujukile võimalus vabalt ujuda ja, kasutades mensuuri jaotusi, määratakse ujuki poolt väljatõrjutud vee ruumala ja selle järgi väljatõrjutud vee kaal.

Mõõtmiste tulemused kantakse järgmisse tabelisse:

Katse nr.	Ujuki kaal	Väljatõrjutud vee kaal	Ujuki asend
1	38 G	19 G	vajub põhja
2	13 G	19 G	kerkib veepinnale
3	13 G	13 G	ujub

Järeldus. Keha vajub põhja, kui selle kaal on väljatõrjutud vee kaalust suurem ja ujub veepinnal, kui keha kaal on väiksem väljatõrjutud vee kaalust.

Ujuva keha kaal on võrdne tema poolt väljatõrjutud vee kaaluga.

## 7. Hõõrdumisjõu mõõtmine ja selle võrdlemine keha kaaluga.

Töövahendid. 1) Dünamomeeter (8). 2) Raskuste komplekt (9). 3) Tribomeeter (17) (joon. 73).



Joon. 73. Töövahendid töö nr. 7 juurde.

Laboratoorne töö hõõrdumise tundmaõppimiseks VI klassis peab omama võrdlemisi tagasihoidliku iseloomu: tutvustada õpilasi praktiliselt dünamomeetri abil hõõrdumisjõu mõõtmisega ja näidata, et hõõrdumisjõud ei ole võrdne keha kaaluga, et see enamasti on väiksem keha kaalust ja et hõõrdumisjõud suureneb keha kaalu suurenemisega ja ei olene hõõrduvate pindade pindala suurusest.

Katsete demonstreerimisega selgitatakse hõõrdumisjõu sõltuvust hõõrduvate pindade iseloomust, hõõrdumise suurendamise ja vähendamise võtteid, veeremise hõõrdumist jms.

Tööd sooritades kaaluvad õpilased esialgu dünamomeetriga risttahuka. Seejärel, asetanud risttahuka lapiti joonlauale (koormuseta), veavad seda ühtlase kiirusega dünamomeetri abil ja jälgivad skaalal näitaja seisut. Veojõu mõõtmisel on raske alal hoida risttahuka ranget ühtlast liikumist ja seepärast dünamomeetri näitaja võngub, mistõttu igat mõõtmist tuleb teostada mitu korda ja võtta näitaja äärmiste seisude keskmine väärtus.

Seda katset korraldatakse veel kolm korda, asetades algul risttahukale koormuse 100 G, seejärel 200 G ja lõpuks 300 G. Pärast pööratakse risttahukas serviti ja korratakse eksperiment ülalkirjelatud järjekorras. Katse põhjal veendutakse, et risttahuka asetamisel serviti jääb veojõu suurus kõigil juhtumel samaks, võrreldes selle veojõuga, mis leiti varem vastava koormuse juures, kui risttahukas oli asetatud lapiti.

Töö tulemused kirjutatakse kahte järgmisse tabelisse:

Keha kaal	Veojõud
40 G	8 G
140 „	30 „
240 „	50 „
340 „	72 „

Keha kaalu suurenemine	Veojõu suurenemine
140 : 40 $\approx$ 3,5 korda	30 : 8 $\approx$ 3,7 korda
240 : 140 $\approx$ 1,7 „	50 : 30 $\approx$ 1,7 „
340 : 240 $\approx$ 1,4 „	72 : 50 $\approx$ 1,4 „

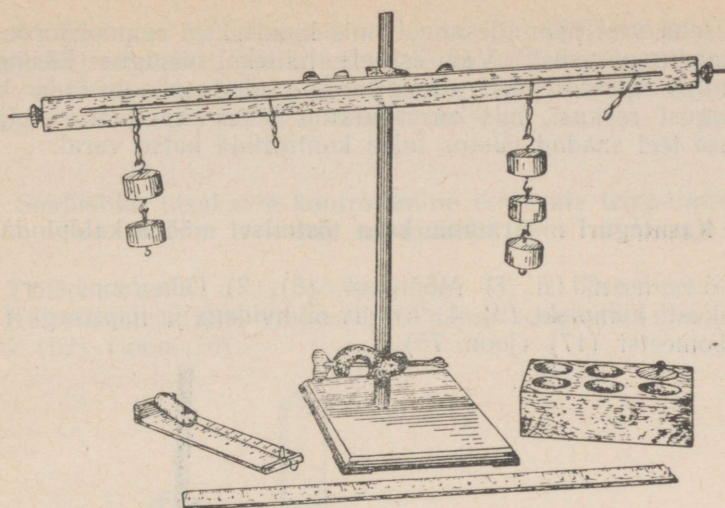
Järeldus. Veojõud horisontaalsel pinnal muutub niimitu korda kuimitu korda muutub keha kaal ja veojõud ei sõltu hõõrduvate pindade pindala suurusest.

## 8. Jõudude tasakaalu tingimuste selgitamine kangil.

Töövahendid. 1) Mõõtejoonlaud (1). 2) Dünamomeeter (8). 3) Raskuste komplekt (9). 4) Statiiv muhvidega (16). Kang (18) (joon. 74).

Jõudude tasakaalu tingimused kangil võivad olla tuletatud õpilaste poolt sooritatud katse tulemuste arutelu käigus.

Tööd teostatakse all-loetletud järjestuses.



Joon. 74. Töövahendid töö nr. 8 juurde.

1) Teljele, mis on kinnitatud statiivi muhvi külge, pannakse kang ja tasakaalustatakse see tema otstel olevate mutrite keeramise-ga. Kangi vasemale poolele riputatakse traadist rõngaste abil kaks ühesugust raskust, näiteks 18 cm kaugusel teljest, ja katsetamise teel leitakse koht, kuhu on vaja paigutada kolm sama-sugust raskust, et tasakaalustada kangi.

2) Kangi vasemale poolele 10 cm kaugusele teljest riputatakse neli raskust. Lahendatakse praktiliselt küsimus, mitu raskust tuleb riputada paremale, 20 cm kaugusele teljest, et tasakaalustada kangi.

3) Kolm raskust riputatakse 12 cm kaugusele teljest paremale. Dünamomeetri abil määratakse, missugune jõud tuleb rakendada punkti, mis asetseb 8 cm paremal raskuste riputamise punktist, et hoida kangi tasakaalus.

Selle kolme ülesande lahendamine on küllaldane selleks, et teha eksperimentaalsel teel saadud tulemuste põhjal usaldatavaid järeldusi. Kui aeg võimaldab, siis võib katsete arvu suurendada.

Töö tulemused kirjutatakse tabelisse:

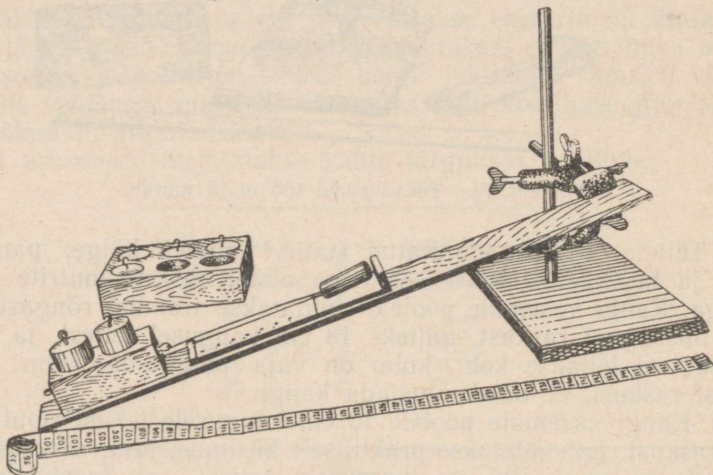
Katse nr.	I jõud	Jõu õlg	II jõud	Jõu õlg	Jõudude ja õlgade suhe
1	200 G	18 cm	300 G	12 cm	$200 : 300 = 12 : 18$
2	400 „	10 „	200 „	20 „	$400 : 200 = 20 : 10$
3	300 „	12 „	180 „	20 „	$300 : 180 = 20 : 12$

Pärast seda, kui töö tulemuste arutamise käigus sõnastatakse jõudude tasakaalu tingimus kangi kohta, tuleb anda õpilastele

harjutusena veel paar ülesannet, mis kinnitaksid eelpool formuleeritud seadusepärast. Võib esitada, näiteks, niisuguse küsimuse: kuhu tuleb riputada üks raskus kangile, et tasakaalustada kolm samasugust raskust, mis on riputatud 7 cm kaugusele teljest? Arvutuse teel saadud vastus tuleb kontrollida katse varal.

### 9. Kasuteguri määramine keha tõstmisel mööda kaldpinda.

- Töövahendid. 1) Mõõtelint (3). 2) Dünamomeeter (8).  
 3) Raskuste komplekt (9). 4) Statiiv muhvidega ja näpitsaga (16).  
 5) Tribomeeter (17) (joon. 75).



Joon. 75. Töövahendid töö nr. 9 juurde.

Tribomeetri joonlaud kinnitatakse statiivi abil kaldasendisse, nagu see on näidatud joonisel. Selleks kinnitatakse joonlaua ülemise otsa äär statiivi näpitsa vahele nii, et näpits ei segaks dünamomeetri liikumist.

Risttahukas, mis on koormatud kahe-kolme raskusega ja mille külge on haagitud dünamomeeter, veetakse ühtlaselt mööda kaldpinda üles ja mõõdetakse veojõud. Seejärel mõõdetakse mõõtelindiga joonlaua pikkus (tee) ja arvutatakse tehtud töö.

Olgu veojõu suuruseks 165 G ja tee pikkuseks 50 cm. Sel juhul kulutatud töö  $A_1 = 0,165 \cdot 0,5 = 0,0825$  kGm.

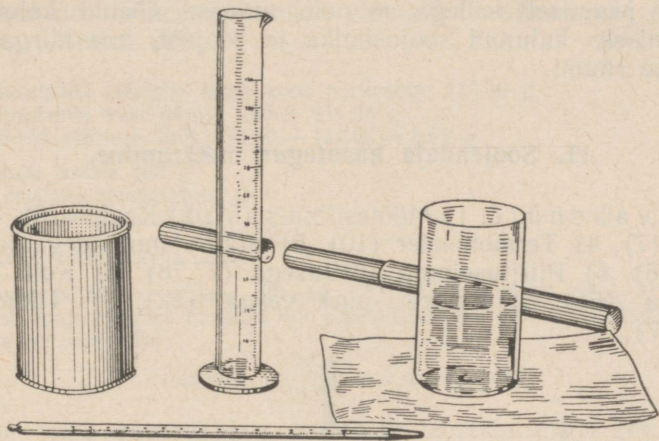
Kaalunud risttahuka koos koormustega ja mõõtnud tõusu kõrguse, leitakse kasulik töö. Kui risttahukas kolme koormusega kaalub 340 G ja kaldpinna kõrgus on 15 cm, siis kasulik töö  $A_2 = 0,34 \cdot 0,15 = 0,0510$  kGm. Järelikult

$$\text{kasutegur} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{0,0510}{0,0825} \approx 0,62 \text{ või } 62\%.$$

Kui joonlaua kaldenurgad on klassi igal lülil erinevad, siis ka lülide töö tulemused on erinevad. Seda võib ära kasutada kokkuvõttevestluses, et näidata ja selgitada õpilastele kasuteguri suurenemist kaldpinna kallaku suurendamisel.

## 10. Soojusliku tasakaalu kontrollimine erinevate temperatuuridega vee segamisel.

Töövahendid. 1) Mõõtesilinder (5). 2) Termomeeter (10). 3) Kalorimeeter (28). 4) Teekann kuuma veega (60).<sup>1</sup> 5) Patarei purk (62) (joon. 76).



Joon. 76. Töövahendid töö nr. 10 juurde.

Tööd teostatakse all-loetletud järjestuses:

1) Mensuuri abil valatakse patarei purki umbes  $100 \text{ cm}^3$  vett ja mõõdetakse selle temperatuur.

2) Seejärel täidetakse umbes pool kalorimeetri sisemisest anumast ja mõõdetakse sooja vee temperatuur.

3) Jättes termomeetri kalorimeetrisse, kallatakse sellesse külma vett ja segades ettevaatlikult termomeetriga segu, jälgitakse temperatuuri langust. Kui temperatuuri muutumist pole enam märgata, märgitakse segu temperatuur ja mõõdetakse mensuuriga kalorimeetris oleva vee üldine ruumala.

### Töö ligikaudsed tulemused.

Külma vee mass  $100 \text{ g}$   
Külma vee temperatuur  $25^\circ$   
Segu mass  $242 \text{ g}$

<sup>1</sup> Kogu klassi jaoks on vajalik üks teekann.

Segu temperatuur 56°

Kuuma vee mass  $242 - 100 = 142$  g

Kuuma vee temperatuur 80°

Kuuma vee poolt antud soojushulk  $142 (80 - 56) = 3408 \approx 3400$  cal

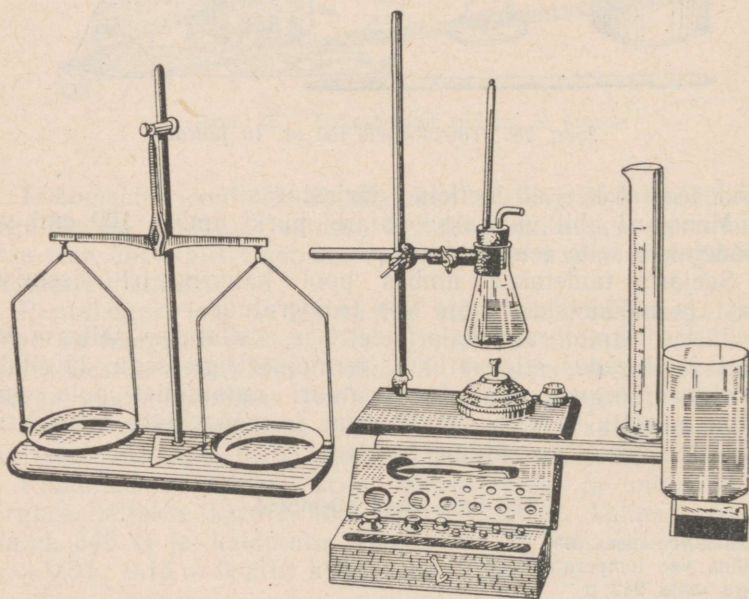
Külma vee poolt saadud soojushulk  $100 (56 - 25) = 3100$  cal

Ligikaudsete arvutuste reeglite põhjal kahes saadud tulemuses säilitatakse pärast ümardamist kaks tüvenumbrit, milledest esimene peab olema täiesti usaldatav, teine kahtlane, kuid väga lähedane tõelisele. Võrreldes saadud tulemusi, märkame, et nad erinevad ainult teise numbrist, millised ei saa olla usutavad.

Õpilaste tähelepanu pööratakse sellele, et teine arv on mõnevõrra väiksem esimesest. See on täiesti seaduspärane ja see on seletatav peamiselt sellega, et pole arvesse võetud kalorimeetri soojenemiseks kulunud soojushulka ja soojust, mis kiirgas ümbritsevasse ruumi.

## 11. Soojendaja kasuteguri määramine.

Töövahendid. 1) Mõõtesilinder (5). 2) Kaalud (6). 3) Kaaluvihid (7). 4) Termomeeter (10). 5) Statiiv muhvidega ja näpitsaga (16). 6) Piirituselamp piiritusega (27,78). 7) Kolb korgiga ja toruga (61). 8) Patarei purk veega (62). 9) Tikud (82) (joon. 77).



Joon. 77. Töövahendid töö nr. 11 juurde.

Klaasist kallatakse mensuuri umbes 100 cm<sup>3</sup> vett ja pärast selle ruumala mõõtmist valatakse see ümber kolbi. Kolb suletakse korgiga, mida läbib toru auru väljalaskmiseks ja korgi avausse pannakse termomeeter nii, et selle ots ulatuks vette. Kolvi kael kinnitatakse statiivi näpitsa vahele. Termomeetri järgi määratakse vee esialgne temperatuur. Kaalutakse piirituselamp koos piiritusega ja, olles asetanud selle vettsisaldava kolvi alla, süüdatakse.

Vesi soojeneb kolvis vähehaaval ja hakkab keema 10—12 minuti pärast. Selle aja vältel peavad õpilased ette valmistama oma vihikus kõik vajalikud üleskirjutused.

Kui vesi hakkab keema, kustutatakse piirituselamp (kaetakse taht kübarsulguriga) ja kaalutakse see teistkordselt.

Allpool on toodud mõõtmiste võimalikud tulemused ja kasuteguri arvutamise käik.

Piirituselambi esialgne mass koos piiritusega 114,00 g

Piirituselambi kaal pärast katset 111,05 g

Põletatud piirituse hulk 114,00 — 111,05 = 2,95 g

Vee mass kolvis 100 g

Vee esialgne temperatuur 24°

Vee lõpptemperatuur 100°

Piirituse kütteväärtus 7200  $\frac{\text{cal}}{\text{g}}$

Piirituse põlemisel eraldus soojust 7200 · 2,95 = 21240 cal ≈ 21200 cal

Sellest soojushulgast kasutati vee soojendamiseks 100 · (100 — 24) = 7600 cal  
Seega on seadeldise

$$\text{kasutegur} = \frac{7600}{21200} \approx 0,36 \text{ või } 36\%.$$

Selles töös opereeritakse arvutuste teostamisel järgmise nelja suurusega: piirituse kütteväärtus, põletatud piirituse mass, vee mass ja temperatuuride vahe. Esimesel ja neljandal suurusel on kaks tüvenumbrit, teisel ja kolmandal kolm tüvenumbrit. Kui kasutada õpilastele teadaolevaid ligikaudsete arvutuste reegleid, siis lõpptulemuses tuleb säilitada kaks tüvenumbrit, nii nagu seda on ka tehtud.

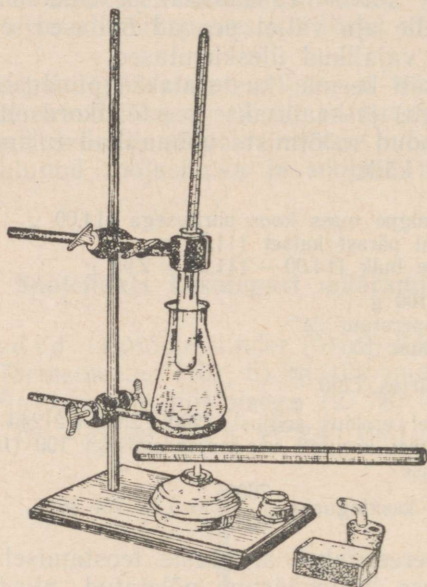
## 12. Naftaliini soojenemise ja sulamise jälgimine ning temperatuuri graafiku ehitamine.

Töövahendid. 1) Termomeeter (10). 2) Kell sekundiosuti-ga (13).<sup>1</sup> 3) Statiiv muhvidega, näpitsaga ja rõngaga (16). 4) Piirituselamp piiritusega (27, 78). 5) Kolb (61). 6) Katseklaas naftaliiniga (66, 81). 7) Tikud (82) (joon. 78).

Enne töö algust on tarvis sulatada termomeetrid naftaliini sisse. Selleks paigutatakse kõik alusele asetatud naftaliiniga katseklaasid (joon. 54) keeva veega metallist anumasse.

<sup>1</sup> Kogu klassi jaoks on tarvis üks kell.

Kui naftaliin on sulanud, võetakse alus katseklaasidega kuumast veest välja ja anumasse kallatakse nii palju külma vett, et katseklaasid sukelduksid sellesse ligikaudselt 1 cm sügavusse. Külma vee mõjul tahkestub katseklaasi põhjal olev naftaliin kiiresti, kuid jääb pealt vedelaks. Niisugusel kujul (sisse sulatatud termomeetritega) jaotatakse katseklaasid õpilaste laudadele töö teostamiseks.



Joon. 78. Töövahendid töö nr. 12 juurde.

Riistad kogutakse kokku, nagu see on näidatud joonisel 78. Seejärel pööratakse kogu seadeldist nii, et õpilane, kes hakkab jälgima temperatuuri, näeks termomeetri skaalat vähemalt vahemikus  $50^{\circ}$ -st kuni  $100^{\circ}$ -ni. Naftaliiniga katseklaas tuleb asetada vette kuni naftaliini tasemeni, kusjuures katseklaas ei tohi puudutada kolvi põhja.

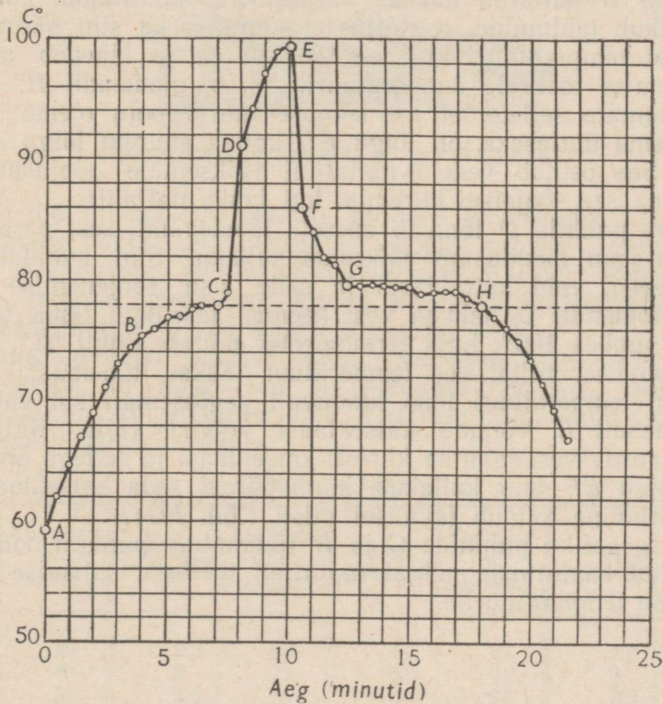
Asetanud kolvi alla piirituselambi, alustatakse vaatlusi. Üks õpilasist jälgib termomeetri järgi temperatuuri ja teatab seltsimehele, kui elavhõbeda sammas ilmub statiivi näpitsast kõrgemale. Pärast seda jälgib teine demonstratsioonilaul asetseva kella sekundiosutit ja loendab kuuldavalt aega iga poole minuti järele.

Esimene õpilane vaatab ja märgib aja loendamisel üles termomeetri näidud alljärgneva tabeli järgi.

Vaatluste tabel.

Aeg (minutid)	Temperatuur (kraad.)	Aeg (minutid)	Temperatuur (kraad.)	Aeg (minutid)	Temperatuur (kraad.)	Aeg (minutid)	Temperatuur (kraad.)
0	59	5,5	77	11	84	16,5	79
0,5	62	6	77,5	11,5	82	17	79
1	64,5	6,5	78	12	81,5	17,5	78,5
1,5	67	7	78	12,5	79,5	18	78
2	69	7,5	79	13	79,5	18,5	77
2,5	71	8	91	13,5	79,5	19	76
3	73	8,5	94	14	79,5	19,5	75
3,5	74,5	9	97	14,5	79,5	20	73,5
4	75,5	9,5	99	15	79,5	20,5	71,5
4,5	76	10	99,5	15,5	79	21	69,5
5	77	10,5	86	16	79	21,5	67

Kui vesi hakkab keema, kustutatakse piirituselamp, eemaldatakse kolb, jälgitakse naftaliini jahtumise ja tahkestumise temperatuuri.



Joon. 79. Naftaliini sulamise ja tahkestumise graafik.

Momendist, millal naftaliin hakkab sulama kuni naftaliini tahkestumise alguseni on tarvis seda kergelt segada termomeetriga, et temperatuur oleks ühtlane.

Tabelisse kantud andmete järgi joonestatakse graafik (joon. 79). Graafiku vaatlemisel nähtub eelkõige, et see tunduvalt erineb ideaalsest graafikust, milline tavaliselt on toodud õpikutes sulamise ja tahkestumise protsessi selgitamisel. Siin on tähtis pöörata õpilaste tähelepanu sellele, et praktikas väga harva õnnestub vaadelda ühte või teist nähtust puhtal kujul; sellele avaldavad alati teised nähtused suuremat või vähemat mõju. Antud juhul muudab tugevasti sulamise ja tahkestumise pilti termomeetri näitude hiline mine. Niisuguse soojenemise ja jahtumise kiiruse juures, nagu see leiab aset katse juures, termomeetri näitude hiline mine toimuvast protsessist ulatub 1—1,5°-ni.

Momendil, mis on graafikul märgitud punktiga *B*, hakkas naftaliin väljaspoolt juba sulama ja tema temperatuur saavutas siin juba sulamistemperatuuri, kuid kogu naftaliin ei jõudnud veel läbi soojeneda ja termomeeter jätkab temperatuuri aeglase tõusu näitamist. Sellepärast pole graafiku joon osal *BC* horisontaalne, vaid väikese kallakuga. Osa *GH* (tahkestumine) on samuti mõnevõrra kaldu ja lisaks asetseb kõrgemal sulamise osast, kuna momendil *G* naftaliin hakkas väljaspoolt tahkestuma, kuid seespool jätkub jahtumine, mistõttu termomeeter ka siin näitab algul kõrgemat temperatuuri kui see tõeliselt on ja läheneb aeglaselt tahkestumise tõelisele temperatuurile, s. o. momendil *H*.

Vaatamata sellele, et me soojuse juurdevoolu o'leme õigustatud lugema ühtlaseks, on lõigu *CD* kallak suurem lõigu *AB* kallakust. See osutab vedela naftaliini väiksemale soojusmahtuvusele, kuna see soojeneb kiiremini kui tahke naftaliin.

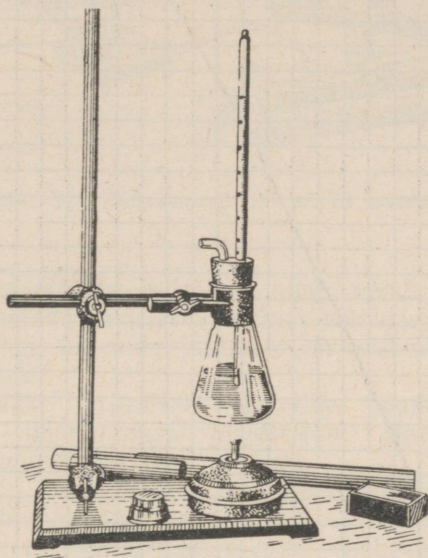
Murre punktis *D* tõmbab enesele tähelepanu, sest pärast seda graafiku joon moodustab väiksema kallaku. Siin avaldub mitte termomeetri, vaid katseklaasi ja selle sisu soojenemise hiline mine. Momendil *D* hakkab vesi keema, järelikult tema temperatuur on umbes 100°, kuid termomeeter näitab ainult 91°. Selge, et momendist, millal vee temperatuur lakkas tõusmast, toimub naftaliini temperatuuri tõus tunduvalt aeglasemalt kui varem.

Momendil *E* võtame katseklaasi kolvist välja. Katseklaasi pinnalt auruv vesi jahutab kiiresti katseklaasi ja sellega ongi seletatav lõigu *EF* suur kallakus, kuna pärast seda katseklaasi edasine jahtumine toimub tavalisel viisil (lõik *FG*).

Läbi graafiku punktide *C* ja *H* tõmmatud punktiirjoon vastab ülaltoodud kaalutluste põhjal naftaliini tõelisele sulamise ja tahkestumise temperatuurile.

### 13. Vee soojenemise ja keemise vaatlemine ja temperatuuri graafiku ehitamine.

Töövahendid. 1) Termomeeter (10). 2) Kell sekundiosutiga (13). 3) Statiiv muhvidega ja näpitsaga (16). 4) Piirituselamp piiritusega (27, 78). 5) Kolb korgiga (61). 6) Tikud (82) (joon. 80).



Joon. 80. Töövahendid töö nr. 13 juurde.

Selle töö tulemusena peavad õpilased joonestama katsel saadud andmete põhjal soojenemise ja keemise protsessi graafiku.

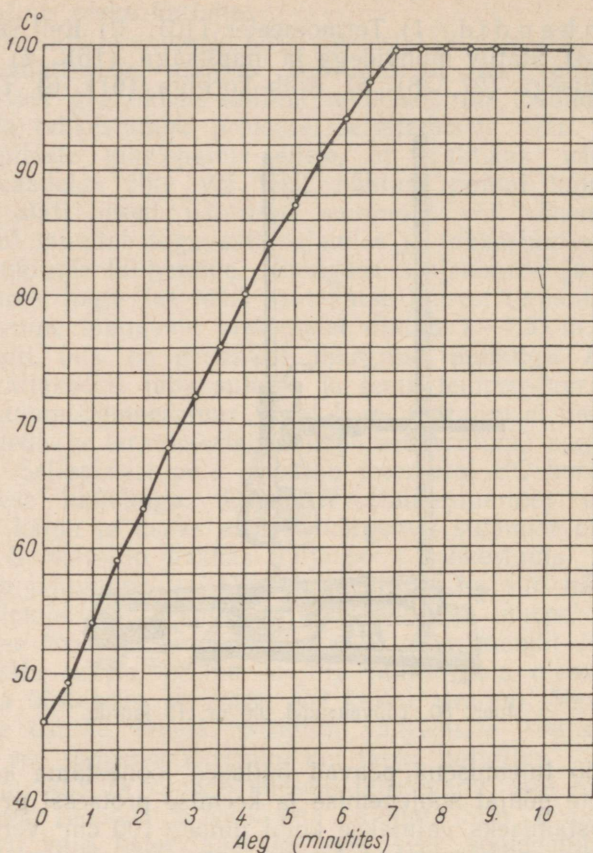
Töö teostamiseks valatakse kolvi umbes 100 cm<sup>3</sup> vett ja korgi avause, mis on varustatud toruga auru väljalaskmiseks, pannakse termomeeter nii, et selle ots ulatuks vette.

Kinnitanud kolvi statiivi külge, asetanud selle alla põleva piirituselambi, nii nagu see on näidatud joonisel, teostatakse vaatlusi samuti kui eelmises töös. Vaatluse võimalikud tulemused on toodud järgmises tabelis.

Vaatluste tabel.

Aeg (minutid)	Temperatuur (kraad.)	Aeg (minutid)	Temperatuur (kraad.)	Aeg (minutid)	Temperatuur (kraad.)	Aeg (minutid)	Temperatuur (kraad.)
0	46	2,5	68	5	87	7,5	99,5
0,5	49	3	72	5,5	91	8	99,5
1	54	3,5	76	6	94	8,5	99,5
1,5	59	4	80	6,5	97	9	99,5
2	63	4,5	84	7	99,5	—	—

Tabeli andmeil joonestatakse graafik ruudulisele paberile (joon. 81).



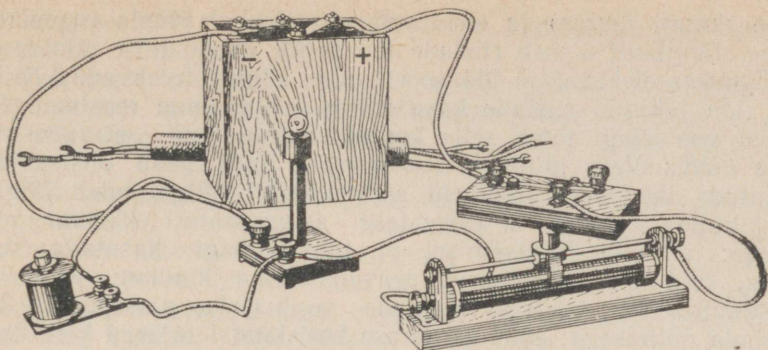
Joon. 81. Vee soojenemise ja keemise graafik.

Tuleb hoiatada õpilasi, et korgi äravõtmisel pärast katset peab hoidma termomeetrist käega kinni, sest see võib kolvi põhjale kukkumisel puruneda või purustada kolvi.

#### 14. Elektri vooluringi koostamine.

Töövahendid. 1) Akumulaatorpatarei (31). 2) Lamp, alusel (32). 3) Reostaat (34). 4) Lüliti (35). 5) Pool, raudsüdami-kuga (36). 6) Ühendusjuhtimed (suurem komplekt) (40) (joon. 82).

See esimene töö elektri alalt omab sissejuhatavat iseloomu, mille eesmärgiks on: 1) tutvustada õpilasi sagedamini kasutata-



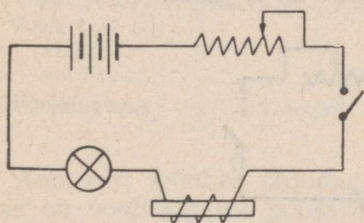
Joon. 82. Töövahendid töö nr. 14 juurde.

vate elektririistade ehituse ja tööga ning nende tingmärkidega skeemidel; 2) õpetada koostama elektri vooluringi antud lihtsamate skeemide järgi; 3) anda juhtmete järjestikuse ja paralleelse ühendamise mõiste<sup>1</sup>.

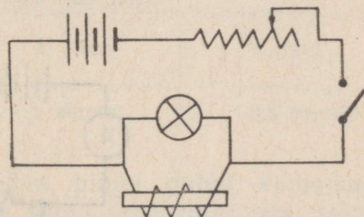
Töö korraldatakse järgmiselt. Tahvile joonestatud skeemi (joon. 83) järgi ühendatakse järjestikku: akumulaatorpatarei, reostaat, lüliti, südamikuga pool ja lamp.

Lülitanud voolu sisse, liigutatakse reostaadi liikuvat kontakti ja jälgitakse lambi põlemise heledust. Seejärel paigutatakse reostaadi kontakti nii, et saada maksimaalne vool, veendutakse pooli magnetilises toimes. Selleks puudutatakse südamikku mõne rauast esemega (sulepea sule jaoks oleva raudpesaga) ja jälgitakse külgetõmmet; voolu väljalülitamisega ilmneb magnetilise toime kadumine.

Koostatakse vooluring uue skeemi (joon. 84) järgi, kus lamp ja reostaat on lülitatud paralleelselt ja avastatakse, et reostaadi liikuva kontakti endises asendis põleb lamp heledamini (kui esi-



Joon. 83. Lambi ja elektromagneti järjestikku lülitamise skeem.



Joon. '84. Lambi ja elektromagneti paralleelse lülitamise skeem.

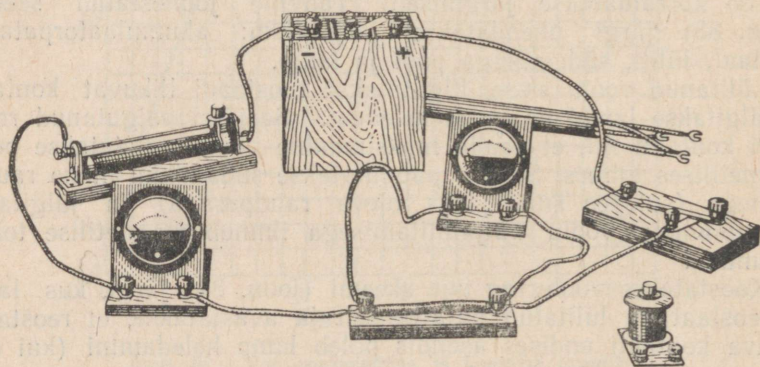
<sup>1</sup> Kolmanda ülesande võib eraldada omaette iseseisvaks tööks.

mese skeemi juures) ja elektromagnet tõmbab rauda tugevamini külge. Järelikult o'leneb riistade töö nende ühendamise viisist.

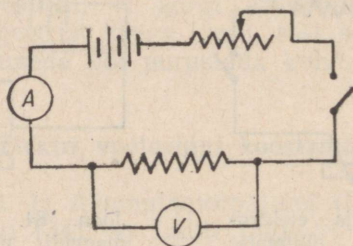
Esimese elektrilase töö sooritamise käigus tuleb anda õpilastele rida juhiseid riistade käsitlemise kohta: enne reostaadi lülitamist vooluringi tuleb selle kontakt asetada nii, et reostaadi kogu mähis oleks lülitatud vooluringi; lüliti peab olema välja lülitatud; ühendades juhtmeid akumulaatori külge, tuleb jälgida, et juhtme pistikud ei ühendaks akumulaatori klemmi purgi äärega; riistade käsitlemisel ei tule kunagi kasutada suurt jõudu, kuid kõik ühendused peavad olema kindlad; vooluringi koostamisel on kasulik alustada vooluallika plusspoolusest ja lõpetada miinusega; enne varustuse koristamist tulevad kõik ühendusjuhtmed sirgeks teha ja korralikult futlaari (kartongist torusse) pakkida.

### 15. Ohmi seaduse kontrollimine vooluringi osas.

Töövahendid. 1) Ampermeeter (11). 2) Voltmeeter (12). 3) Akumulaatorpatari (31). 4) Traattakistuste komplekt (33).



Joon. 85. Töövahendid töö nr. 15 juurde.



Joon. 86. Vooluringi riistade lülitamise skeem Ohmi seaduse kontrollimiseks.

5) Reostaat (34). 6) Lüliti (35). 7) Ühedusjuhtmed (suurem komplekt) (40) (joon. 85).

Töö jagatakse kahte ossa: 1) voolutugevuse sõltuvuse uurimine pingest vooluringi osas; 2) voolutugevuse ja takistuse vahelise sõltuvuse uurimine vooluringi osas jääva pinge puhul tema otstel.

Töö sooritamiseks koostatakse vooluring, akumulaatorpatareist, ampermeetrist, reostaadist, 2-oomilisest takistusest ja lülitist. Voltmeeter ühendatakse vooluringi takistusega paralleelselt (joon. 86). Sisse lüüdnud voolu ja suurendanud reostaadi abil pinget spiraali k'emmidel kuni 1 voldini, seejärel kuni 2 voldini ja lõpeks 3 voldini. Neil juhtudel mõõdetakse iga kord voolutugevust ja tulemused kirjutatakse tabelisse.

Mõõtmise tulemuste tabel.

Vooluringi osa jääv takistus 2 oomi			
Pinge	1 volt	2 volti	3 volti
Voolutugevus	0,5 amprit	1 amper	1,5 amprit

Nendest andmetest tehakse järeldus selle kohta, et voolutugevus on võrdeline juhtme otstel oleva pingega.

Voolutugevuse ja takistuse vahelise sõltuvuse selgitamiseks lülitatakse sama skeemi järgi vooluringi algul spiraal takistusega 1 oom, siis 2 oomi ja lõpuks 4 oomi. Reostaadi libisevat kontakti nihutatakse nii, et pinge uuritaval vooluringi osal jääks samaks; näiteks 2 volti. Seejuures mõõdetakse voolutugevus vooluringis ja tulemused kantakse tabelisse.

Mõõtmise tulemuste tabel.

Jääv pinge 2 volti			
Vooluringi osa takistus	1 oom	2 oomi	4 oomi
Voolutugevus	2 amprit	1 amper	0,5 amprit

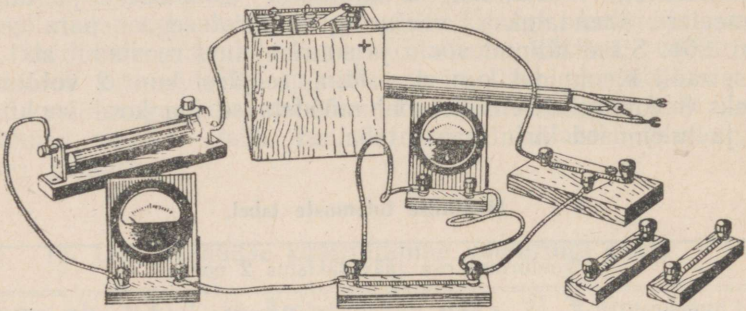
Andmeist tehakse järeldus, et jääva pinge puhul vooluringi osas on voolutugevus pöördvõrdeline sama vooluringi osa takistusega.

Mõlemad järeldused ühendatakse valemisse, mis avaldab Ohmi seadust vooluringi osa kohta:

$$J = \frac{V}{R}.$$

## 16. Takistuse määramine ampermeetri ja voltmeetri abil.

Töövahendid. 1) Ampermeeter (11). 2) Voltmeeter (12). 3) Akumulaatorpatarei (31). 4) Traattakistus 2 oomi (33). 5) Reostaat (34). 6) Lüliti (35). 7) Traatpool (36). 8) Ühendusjuhtmed (suurem komplekt) (40) (joon. 87).



Joon. 87. Töövahendid töö nr. 16 juurde.

Takistuse mõõtmiseks saavad õpilased kolm juhett: traat-spiraali, millele on märgitud selle takistuse suurus (2 oomi), elektromagneti pooli ja reostaadi. Kahe viimase riista takistus pole õpilastele teada.

Algul koostatakse eelmises töös näidatud skeemi (joon. 86) järgi vooluring; järjestikku ühendatakse: ampermeeter, traat-spiraal, lüliti, reostaat ja akumulaatorpatarei. Voltmeeter ühendatakse spiraali klemmide külge paralleelselt sellega. Lüüdinud voolu ahelasse, jälgitakse ampermeetri ja voltmeetri näitusid reostaadi libiseva kontakti erinevail asendeil ja märgitakse need näidud tabeli teisele ja kolmandale veerule. Lüüdinud voolu välja, arvutatakse takistus ja tulemused kantakse tabeli neljandale veerule.

Mõõtmise tulemuste tabel.

Katse nr.	Voolutugevus $I$	Pinge $V$	Takistus
1	0,6 ampri	1,2 volti	$\frac{1,2}{0,6} = 2$ oomi
2	1 amper	2 "	$\frac{2}{1} = 2$ "
3	0,7 ampri	1,5 "	$\frac{1,5}{0,7} = 2,1$ "
4	1,4 "	2,8 "	$\frac{2,8}{1,4} = 2$ "

Sooritanud selle töö põhimise osa, teevad õpilased kindlaks, et voolutugevuse erinevate väärtuste puhul vooluringis spiraali takistus jääb samaks ning võrrelnud spiraalile märgitud takistuse suurus saadud tulemusega, veenduvad õpilased saadud tulemuse õigsuses.

Asendades nüüd vooluringis traadist spiraali pooliga ja, sooritanud kaks-kolm mõõtmist nii nagu eelpool kirjeldatud, arvutatakse pooli takistus:

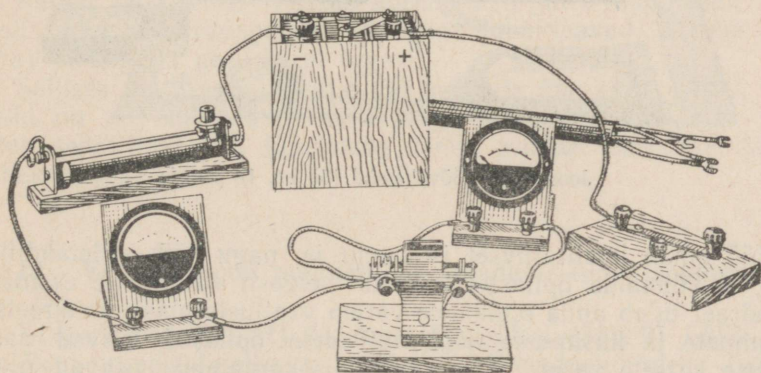
$$R_1 = \frac{2,7}{0,4} = 6,75 \text{ oomi}; R_2 = \frac{3,3}{0,5} = 6,6 \text{ oomi};$$

keskmine  $R = 6,7$  oomi.

Reostaadi takistuse määramine on täiendavaks harjutuseks ja seda võib soovitada neile õpilasile, kes teistest varem lõpetasid eelmised mõõtmised. Selleks lülitakse reostaadi kogu takistus vooluringi ja tema klemmide külge ühendatakse voltmeeter; pooli ja traadist takistust on soovitatav jätta vooluringi, et vältida lühiühendust reostaadi ebaõige lülimise puhul.

### 17. Elektrimootori või elektrilambi poolt tarvitatava võimsuse määramine.

Töövahendid. 1) Ampermeeter (11). 2) Voltmeeter (12). 3) Akumulaatorpatarei (31). 4) Reostaat (34). 5) Lülitid (35). 6) Elektrimootor (37) või elektrilamp alusel (32). 7) Ühendusjuhtmed (suurem komplekt) (40) (joon. 88).



Joon. 88. Töövahendid töö nr. 17 juurde.

Töö peamõte seisneb võimsuse valemi praktilises kasutamises reaalsele juhtumile. See konkretiseerib ja täiendab harjutusi antud andmetega ülesannete lahendamisel võimsuse arvutamiseks. Peale selle tutvuvad õpilased selles töös lihtsustatud elektrimootori töötava mudeliga.

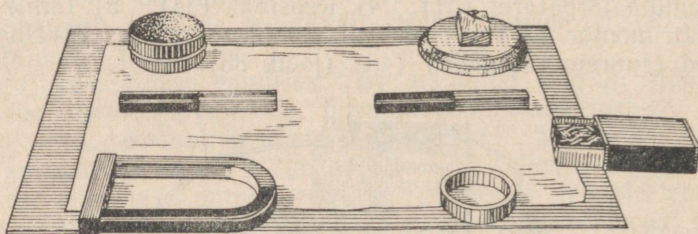
Töö teostamiseks ühendatakse järjestikku akumulaatorpatarei, reostaat, ampermeeter, elektrimootor ja lüliti. Voltmeeter lülitakse vooluringi paralleelselt elektrimootoriga. Sisse lüüdnud voolu, reguleeritakse elektrimootori pöörlemise kiirust reostaadiga. Kui elektrimootor on saavutanud normaalse kiiruse (reostaadi takistuse väljalülitamise puhul), mõõdetakse voolutugevus ja -pinge. Voolutugevuse mõõtmisel loetakse silma järgi ampermeetri skaala kümnendikud, et saada kahekohalist tulemust.

Töö annab ligikaudselt järgmised tulemused:  
 $I = 0,35$  amprit;  $V = 3,4$  volti;  $N = 0,35 \cdot 3,4 = 1,19$  vatti. Tulemuse ümardamisel saadakse  $N = 1,2$  vatti.

Vajaduse korral võib sama tööd korraldada ka alusel asetseva elektrilambiga (32), asendades sellega elektrimootori.

## 18. Magnetiliste nähtuste vaatlemine.

Töövahendid. 1) Kaks sirget magnetit (42). 2) Hobuse-  
 rauakujuline magnet (43). 3) Magnetnõel alusel (45). 4) Raud-  
 rõngas (46). 5) Karp-sõel rauapuruga (49). 6) Raudtraadi tüki-  
 kesed (71). 7) Kartong (72). 8) Valge paber (73) (joon. 89).



Joon. 89. Töövahendid töö nr. 18 juurde.

Töö omab kvalitatiivset iseloomu ja, nagu kõik sellelaadilised tööd, ei võimalda õpilastel küllaltki selgesti näha selle eesmärki. Seepärast tuleb anda õpilastele varem vaatluste plaan konkreetsete ülesannete ja küsimuste näol, millelele õpilased võivad saada vastuse katsete varal. Töö sooritamise aruandeks peavad olema lühikesed kirjalikud vastused ja joonised.

### Soovitavate küsimuste loetelu.

1) Kas magnet tõmbab külge naela, pliatsit, paberit, klaasi, kummi jms.?

2) Missugused magneti osad tõmbavad tugevamini külge raudesemeid, rauapuru?

3) Kuidas kõige lihtsamalt saab puhastada magneti selle külge tõmbunud rauapurust<sup>1</sup>?

4) Riputada magneti pooluse külge ketike raudtraadi tükikes-test ja võtnud käega kinni ülemisest tükikesest, eemaldada ettevaatlikult magnet. Mis juhtub ketikesega?

5) Asetada sirge magnet kahele ümmargusele pliiaatsile ja lähendada ühele tema otsale teine samasugune magnet. Mis toimub esimese magnetiga?

6) Kuidas asetub magnetnõel teravikul, kui magnetid ja kõik rauadesemed paigutada lauast kaugemale?

7) Rauapuru abil on tarvis saada ja joonestada: a) sirge magneti; b) hobuserauakujulise magneti; c) teineteise poole pööratud samanimeliste poolustega kahe sirge magneti; d) teineteise poole pööratud isenimeliste poolustega kahe sirge magneti; e) raudankru pooluste lähedusse asetatud ja hobuserauakujulise magneti; d) pooluste lähedusse asetatud raudrõnga ja hobuserauakujulise magneti spektrid.

8) Kuidas asetub magnetnõel, kui see asetada sirge magneti ümbruse erinevatesse kohtadesse?

Selge ja õige spektri saamiseks tuleb magnetile asetada valge paberiga kaetud kartong ja raputada rauapuru karp-sõelast ühtlaselt paberile. Seejuures on parem hoida karpi 25—30 cm kõrgusel ja kergelt koputada sellele sõrmega. Saanud ühtlase, kuid mitte tiheda rauapuru kihi, tuleb koputada paberi erinevatele kohtadele pliiaatsi teravikuga, jälgides, et rauapuru ei libiseks pooluste külge.

Pärast tööd, enne riistade koristamist, tuleb magneteid hool- sasti puhastada rauapurust (õpilased juba teavad, kuidas seda teha) ja koguda need karpi tagasi.

Sellises ulatuses võib selle töö teostada ühe tunni vältel. Kuid siiski on see küllastatud materjaliga ja nõrgema klassi jaoks tuleb seda tunduvalt lühendada 7-nda punkti osas või jagada kaheks tööks.

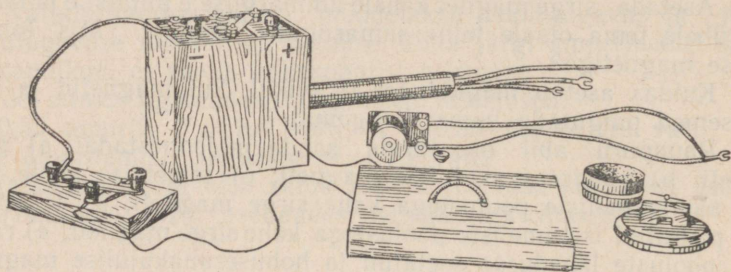
## 19. Vooluga pooli magnetiliste omaduste tundmaõppimine.

Töövahendid. 1) Akumulaatorpatarei (31). 2) Lülitid (35). 3) Pool raudsüdamikuga (36). 4) Ühendusjuhtmed (suurem komplekt) (40)<sup>2</sup>. 5) Magnetnõel alusel (45). 6) Traatmähis (47). 7) Ekraan piluga (48). 8) Karp-sõel rauapuruga (48) (joon. 90).

<sup>1</sup> Rauapuru tuleb poolustelt nihutada sõrmede või harjaga magneti neutraal- jonele, kust nad ise vabalt ära langevad.

<sup>2</sup> Keskkoolis, kus füüsikakabinetis on olemas frontaalsete tööde varustuse täielik komplekt, on siin ja töödes 21, 22 ja 23 otstarbekam kasutada ühendus- juhtmete väiksemat kogust (41).

Antud töö sisusse kuulub: ringvoolu spektri saamine ja selle joonestamine, harjutus kruvi reegli rakendamiseks magneti jõujoonte suuna määramisel ja selle reegli kontrollimine magnetnõela abil.



Joon. 90. Töövahendid töö nr. 19 juurde.

Töö teostamiseks asetatakse traatmähis kartongist ekraani avasse ja lüliti abil ühendatakse akumulaatorpatareiga. Vool peab olema seejuures välja lülitatud. Seejärel kaetakse ekraan sõelakese abil rauapuru ühtlase kihiga. Sisse lüüdnud voolu, koputatakse ettevaatlikult pliiatsi teravikuga ekraani pihta mitmes kohas ja kui on saadud küllaltki selge magnetispekter, lülitatakse vool välja.

Pärast seda joonestavad õpilased spektri koos traatmähise ja ekraaniga. Joonisel peab olema näidatud voolu suund traatmähises, mida võib kergesti määrata vooluallika pooluste järgi ning magneti jõujoonte suund, mida määratakse kruvi reegli järgi.

Katse lõpetamisel puistatakse rauapuru paberile ja sellelt karpi, kuid seadeldist ennast lahti ei võeta.

Selleks et kontrollida, kas eelmises katses on jõujoonte suund määratud õigesti, tuleb kasutusele võtta magnetnõel. Sel eesmärgil võetakse ümmarguselt aluselt latt magnetnõelaga ja pannakse see ekraanile traatmähise ette.

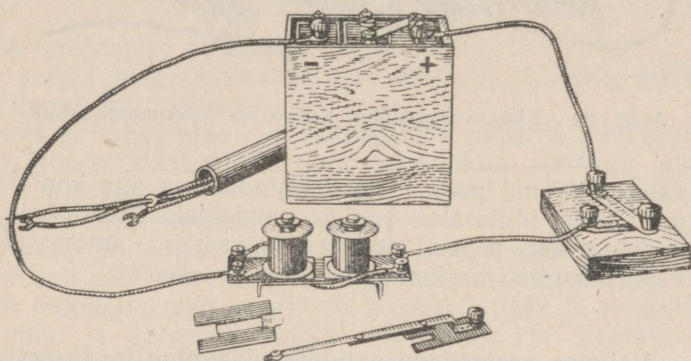
Kui sisse lülitada vool, siis asetub magnetnõel piki magneti jõujooni ja näitab põhjapoolusega nende suunda.

Väga kasulik on järgmine harjutus. Traatmähis kinnitatakse aluse ja sellele asetatud magnetnõela jaoks teravikuga varustatud risttahuka vahele ja asetatakse teravikule magnetnõel (vt. töö 46, joon. 124). Niiviisi saadud galvanoskoop asetatakse nii, et magnetnõel oleks traatmähise tasapinnas. Seejärel ühendatakse traatmähis lüliti abil akumulaatorpatareiga ja lülitakse sisse vool. Kasutades kruvi reeglit, määratakse voolu suund traatmähises magnetnõela kõrvalekaldumise järgi. Sellise määramise tulemust kontrollitakse vooluallika pooluste järgi.

See lihtne galvanoskoop tuleb kasutamisele ühes järgnevas töös, mispärast on soovitatav tutvustada õpilasi selle toimega käesolevas töös.

## 20. Elektromagneti koostamine ja rakendamine.

Töövahendid. 1) Akumulaatorpatarei (31). 2) Lüliti (35). 3) Kaks pooli raudsüdamikuga (36). 4) Ühendusjuhtmed (suurem komplekt) (40). 5) Detailid elektromagneti koostamiseks (44) (joon. 91).



Joon. 91. Töövahendid töö nr. 20 juurde.

Töö eesmärk seisneb selles, et tutvustada õpilasi elektromagneti ehituse ja toimega ning automaat-katkestaja ehituse ja toimega, mis leiab laialdast kasutamist tehnikas.

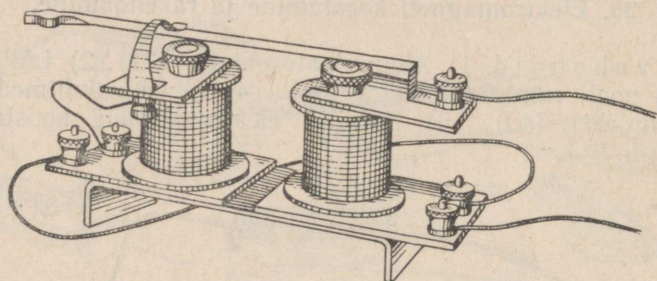
Töö algab valmis detailidest elektromagneti kokkumonteerimisega. Raudplaadile, mis on elektromagneti aluseks, kinnitatakse mutritega poldide abil kaks pooli. Selleks pistetakse läbi plaadi avauste poldid, pannakse nende otsa poolid ja kinnitatakse need ülalt mutritega (joon. 91).

Poolid ühendatakse omavahel järjestikku nii, et voolu sisselülitamisel poldide ülemistel otstel tekiks isenimelised poolused. Selleks otstarbeks kasutatakse mingit õpilastele tuttavat reeglit. Seejärel ühendatakse elektromagnet lüliti kaudu akumulaatorpatareiga, lülitatakse vool sisse ja lähendatakse poolustele teravikul asetsev magnetnoel.

Magnetnoela kõrvalekaldumise järgi määratakse poolused ja kontrollitakse reegli õiget kasutamist.

Järgnevalt asutakse automaatkatkestaja kokkumonteerimisele. Ankrü asetamisel poolustele kinnitatakse ankrü südamiku fiiberplaatike ühe mutri alla. Voolu lühiajalisel sisselülitamisel jälgitakse ankrü tõmbumist elektromagneti poolustele.

Teise mutri alla kinnitatakse plaadike kontaktvedruga, asetades selle risti ankruga (joon. 92). Kontaktvedru tuleb reguleerida nii, et ta puutuks vastu ankrut juba kerge vajutuse juures. Siis ühendatakse vooluallikast pooli klemmi külge tulev juhe ankru klemmi



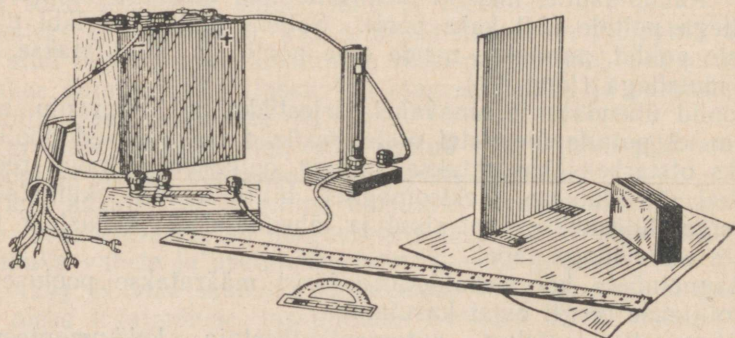
Joon. 92. Elektromagnetiline katkestaja kokkumonteeritult.

külge, vabaks jäänud pooli klemm ühendatakse aga kontaktvedru klemmiga. Edasi lülitatakse vool ja vaadeldakse katkestaja tööd<sup>1</sup>.

Töö seletamiseks peavad õpilased joonestama automaatkatkestajaga elektromagneti vooluringi lülitamise skeemi.

## 21. Valguse peegeldumise tundmaõppimine tasapeeglist.

Töövahendid. 1) Mõõtejoonlaud (1). 2) Mall (4). 3) Akumulaatorpatarei (31). 4) Lamp alusel kupliga (32). 5) Lülitid (35). 6) Ühendusjuhtmed (suurem komplekt) (40). 7) Tasapeegel (50). 8) Vertikaalne valge ekraan piluga (52). 9) Valge paber (73) (joon. 93).



Joon. 93. Töövahendid töö nr. 21 juurde.

<sup>1</sup> Automaatkatkestaja kokkumonteerimist võib eraldada iseseisvaks tööks.

Koostatakse vooluring akumulaatorpatareist, lambist ja lülitist. Asetatakse lambile kuppel nii, et selle kitsas aken asetseks lambi kohal. Niiviisi saadud valgustaja ette asetatakse piluga ekraan, mille taha pannakse valge paber. Seejärel, pärast voolu sisselülitamist leitakse katsetades valgustaja niisugune asend ekraani suhtes, mille puhul valguseriba paberil oleks selge ja hele. Kui tasapeegel panna põiki selle ribaga, siis riistade õige asetuse puhul tasapeeglit peegeldunud valgusekimp tekitab paberile samasuguse heleda ribakese.

See seadeldis võimaldab õpilastel jälgida peegeldunud kiire nihkumist: tasapeegli pööramisel on kerge märgata langemis- ja peegeldumisnurka ja pärast nende mõõtmist veenduda nende võrdsuses.

Töö teostatakse niisuguses järjekorras:

1) peegel paigutatakse ekraani ette nii, et saada paberil hele peegeldunud kiirte kimp.

Hästi teritatud pliiatsiga tõmmatakse paberile joon piki peeglit ja märgitakse kiirte kimbu langemispunktis ristlõigu aluspunkt. Edasi märgitakse langeva kiire algus (otse pilu kohal) ja peegeldunud kiire lõpp (paberilehe äärel).

2) Vool lülitatakse välja ja võetakse peegel paberilt. Malli ja joonlaua abil joonestatakse langemispunktist ristsirge sirgele, mis on tõmmatud piki peeglit ja seejärel langev ja peegelduv kiir. Langemis- ja peegeldumisnurk mõõdetakse ja kantakse nende suurused joonisele.

3) Katset korratakse mitu korda, asetades peeglit langeva kiire suhtes erinevate nurkade alla. Saadud jooniste põhjal tehakse järeldus, et langemisnurk võrdub peegeldumisnurgaga.

Tuleb silmas pidada, et töö korraldamiseks pole klassiruumi pimendamine sunduslik; ainult heleda päikesepaistelise päeva puhul on kasulik ruumi osaliselt pimendada.

## 22. Valguse murdumise tundmaõppimine tasaparalleelses plaadis ja prisma.

Töövahendid. 1) Mõõtejoonlaud (1). 2) Mall (4). 3) Akumulaatorpatarei (31.) 4) Lamp alusel, kupliga (32). 5) Lülitid (35). 6) Ühendusjuhtmed (suurem komplekt) (40). 7) Klaasplaat (51). 8) Vertikaalne valge ekraan (52). 8) Valge paber (73).

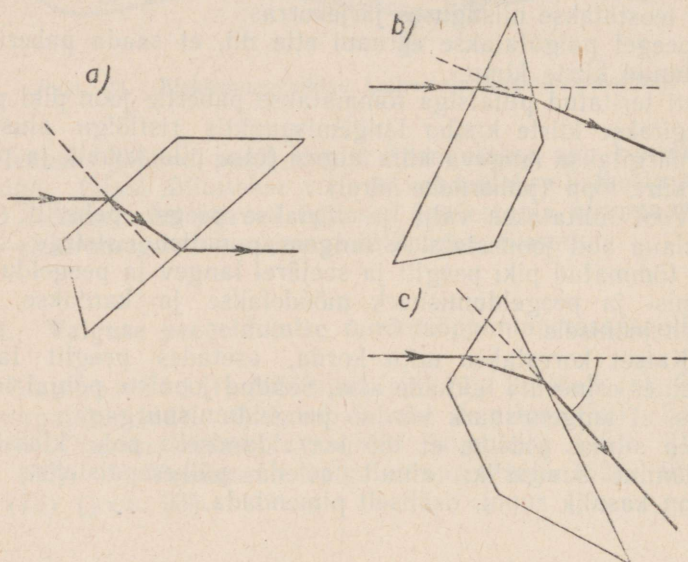
Seadeldis selle töö teostamiseks erineb eelmisest ainult selle poolest, et tasapeegli asemel pannakse paberile lõigatud nurkadeklaasist plaat.

Töö käigus peavad õpilased jälgima: 1) kiire suuna muutumist tema üleminekul ühest keskkonnast teise; 2) kiire nihkumist tasaparalleelse plaadi läbimisel; 3) kiire kaldumist prisma kahe tahulise nurga erinevatel suurustel.

Kõik see, eriti aga viimane katse, mis näitab, et murdumisnurga suurema väärtuse puhul kiir kaldub rohkem, aitab õpilastel mõista tulevikus läätsede toimet.

Kõigil kolmel katsel tõmmatakse pliiatsiga jooned piki murd-  
vaid tahke, kiirte ja ristjoonte suunas kiirte langemis- ja murdu-  
mispunktidesse. Pärast langemis- ja murdumisnurkade mõõtmist  
malliga kirjutatakse nende suurused joonisele ja tehakse alljärg-  
nevad järeldused:

1) kiire murdumisnurk klaasis on väiksem kui langemisnurk;  
2) tasaparalleelset plaati läbiv kiir nihkub, kuid ei muuda oma  
suunda; 3) prisma läbiv kiir kaldub prisma aluse poole seda rohk-  
kem, mida suurem on prisma murdjanurk.



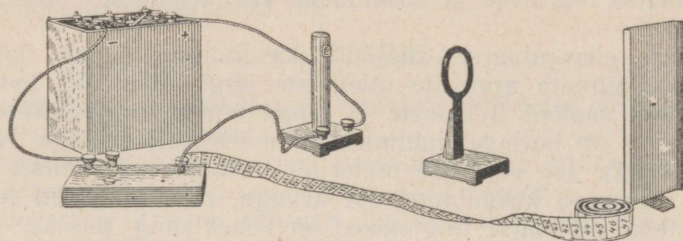
Joon. 94. Kiirte käik läbi klaasplaadi.

Joonisel 94 on näidatud klaasplaadi mugavaim asetus kiirte kimbu suhtes, mis väljuvad ekraani pilust; joonis a) kuulub esimese ja teise katse juurde, kuna joonised b) ja c) kuuluvad kolmanda juurde.

### 23. Tõeliste kujutiste saamine läätse abil.

Töövahendid. 1) Mõõtelint (3). 2) Akumu'aatorpatarei (31).  
3) Lamp alusel, kupliga (32). 4) Lüliti (35). 5) Ühendusjuhtmed  
(suurem komplekt) (40). 6) Vertikaalne valge ekraan (52),  
Kaksikkumer lääts (53) (joon. 95).

Tööd alustatakse läätse peafookuse kauguse määramisega lihtsamal viisil. Selleks saadakse läätse abil ekraanil mingi kaugemal asuva eseme (lamp, mis on ühine kogu klassile ja mis on paigutatud klassiruumi kaugemasse nurka) tõeline kujutis ja mõõdetakse läätse ja ekraani vaheline kaugus. Seda vahemaad võib ligikaudselt lugeda võrdseks läätse peafookuse kaugusega.



Joon. 95. Töövahendid töö nr. 23 juurde.

Seejärel koostatakse vooluring akumulaatorist, lambist ja lülitist. Lamp kaetakse kupliga nii, et täht oleks üleval ja paigutatakse see kahekordsele fookuse kaugusele läätsest, mis asetseb umbes laua keskepaigas. Teisele poole läätse asetatakse ekraan. Pärast voolu siselülitamist ja ekraani nihutamist leitakse selle niisugune asend, mille puhul ekraanile saadakse tähe selge kujutis. Mõõdetakse kujutise ja eseme suurus ning kujutise kaugus läätsest ja tehakse järeldus: eseme kujutis, mis asetseb koondavast läätsest kahekordsel fookuse kaugusel, on ümber pööratud ning niisama suur kui ese ja asetseb fookuse kahekordsel kaugusel teisel pool läätse.

Pärast seda nihutatakse lampi läätsele lähemale ja leitakse, et kujutis muutub ebaselgeks; ekraani eemaldamisel saadakse sellel jälle selge kujutis. Tehakse teine järeldus: kui ese läheneb läätse peafookusele, siis eseme kujutis suureneb ja eemaldub läätsest.

Lõppeks eemaldatakse lamp läätsest, saadakse uuesti selge kujutis ekraanil ja märgatakse, et eseme eemaldamisel tema kujutis väheneb ja nihkub peafookuse poole.

Teise ja kolmanda katse puhul pole vajadust mõõta saadud kujutise suurst ega tema kaugust läätsest. Silmaga on selgesti näha, et kujutis suureneb või väheneb, eemaldub või läheneb peafookusele.

## Vigade elementaarne analüüs.

Arvuliste tulemuste täpsuse hindamise kriteeriumiks, mis saadakse laboratoorsete tööde teostamisel nooremates klassides, võib olla mõningal määral tüvenumbrite arv. Selleks hindamiseks VIII—XI klassides on soovitatav täpsem määritlus, mille annab maksimaalse relatiivse ja absoluutse vea teadmine, mis tekivad mõõtmisel.

Vigade elementaarse analüüsi kasutamine annab õpilastele võimaluse hinnata arvuliste tulemuste järgi oma töö kvaliteeti, kasutamata saadud tulemuste ja tabeli andmete võrdlemist. Selline võrdlus on paljudel juhtudel põhimõtteliselt ebaõige. Näiteks, ei saa oodata ühe või teise materjali tiheduse määramisel katsel saadud tulemuse kokkulangemist arvuga, mis on antud tabelleis, sest, esiteks mõõtmise tingimused on teised ning teiseks, ei saa olla kindel selles, et katsetatav materjal on oma koosseisult ja struktuurilt täiesti ühesugune tabelis toodud materjaliga.

Esiialgu tuleb õpetada õpilastele absoluutse maksimaalse vea suuruse määramist ligikaudse arvulise tulemuse täpsuse arvutamise teel.

Kui õpilased on omandanud selle lihtsa ja arusaadava võtte, siis suudavad nad kergesti omandada ka keerulisema teoreetilise, kuid selle eest parema võtte, mis nõuab ligikaudsete valemite kasutamist.

Maksimaalse absoluutse vea määramine ligikaudse arvu piiride arvutamise teel.

Vaatleme seda võtet töös nr. 29 saadud arvuliste tulemuste põhjal, kus nõutakse puu hõõrdumiskoefitsiendi määramist.

Oletame, et dünamomeetri abil leiti, et jõu suuruseks, mis surub koormistega risttahukat tribomeetri joonlaua vastu on

$$P = 340G \pm 5G$$

ja hõõrdumisjõud

$$F = 72G \pm 5G.$$

Leiame hõõrdumiskoefitsiendi tõelise väärtuse piirid:

$$f_{\max} = \frac{77}{335} \approx 0,230; f_{\min} = \frac{67}{345} \approx 0,200.$$

Kui hõõrdumiskoefitsiendi ligikaudseks väärtuseks võtta leitud piirväärtuste aritmeetiline keskmine

$$f = \frac{0,230 + 0,200}{2} = 0,215,$$

siis erineb see kummastki piirväärtusest

$$\Delta f = \frac{0,230 - 0,200}{2} = \pm 0,015 \text{ võrra.}$$

See ongi maksimaalne absoluutne viga.

Ümardamise reeglite järgi (lk. 73) tuleb lõpptulemuses säilitada ainult üks kahtlane number. Leitud ligikaudses arvus hõõrdumiskoeffitsiendi jaoks  $f = 0,215$  on kaheldatavad kaks viimast numbrit ja seepärast ümardame saadud arvu, jättes sellesse kaks tüvenumbrit  $f \approx 0,22$ .

Pärast hõõrdumiskoeffitsiendi ümardamist see suurenes ja nihkus alumisest piirist 0,005 võrra; sama võrra tuleb suurendada ka  $\Delta f$ .

Järelikult lõpptulemuseks on:

$$f = 0,22 \pm 0,02.$$

Maksimaalse absoluutse vea leidmise kirjeldatud võte koondub viieks järgmiseks reegliks:

1) Leitakse otsitava suuruse maksimaalne ja minimaalne väärtus ja ümardatakse neid kui vahepealseid tulemusi.

2) Võetakse otsitava suuruse ligikaudseks väärtuseks leitud piirsuuruste aritmeetiline keskmine.

3) Arvutatakse leitud piirväärtuste poolvahe ja leitakse sel teel maksimaalse absoluutse vea suurus.

4) Absoluutse vea suuruse järgi tehakse kindlaks, missugused leitud ligikaudse arvu numbrid on täiesti usutavad ja missugused kaheldavad; ümardatakse saadud tulemus, jättes sellesse ainult üks kaheldav number.

5) Suurendatakse vea absoluutset suurust selle võrra, mille võrra tuleb ümardamisel suurendada või vähendada saadud ligikaudset arvu.

Maksimaalse absoluutse ja maksimaalse suhtelise vea määramine ligikaudsete valemite abil.

Suuruse  $A$  määramise vajadusel korrutame kaks ligikaudset arvu:  $a \pm \Delta a$  ja  $b \pm \Delta b$ .

Sel puhul korrutis  $A = ab$  on samuti ligikaudne. Leiame selle maksimaalse väärtuse:

$$\begin{aligned} A + \Delta A &= (a + \Delta a) (b + \Delta b) \text{ või} \\ A + \Delta A &= ab + b\Delta a + a \cdot \Delta b + \Delta a \cdot \Delta b. \end{aligned}$$

Vähendades võrduse mõlemad pooli  $A = ab$  võrra, saame käsitletava korrutise absoluutse vea

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

Jagades selle võrduse ja võrduse  $A = ab$  vastavate pooltega, leiame maksimaalse suhtelise vea

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta a \cdot \Delta b}{ab}.$$

Võrreldes teiste liidetavatega osutub viimane liidetav siin niivõrd väikeseks, et sellega ei tarvitse arvestada, siis

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

Siit järeldub, et korrutise suhteline viga võrdub tegurite suhteliste vigade summaga.

Analoogiliselt võib tuletada ligikaudsed valemid maksimaalsete suhteliste vigade arvutamiseks sagedamini, esinevate juhtumite jaoks:

$$A = a + b; \quad \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a + \Delta b}{a + b}$$

$$A = a - b; \quad \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a + \Delta b}{a - b}$$

$$A = ab; \quad \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$$

$$A = \frac{a}{b}; \quad \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$$

$$A = a^n; \quad \frac{\Delta A}{A} = n \frac{\Delta a}{a}$$

$$A = \sqrt[n]{a}; \quad \frac{\Delta A}{A} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta a}{a}.$$

Pärast seda, kui õpilased on omandanud maksimaalse absoluutse vea määramise võtte ligikaudse arvu piiride arvutamise teel, on otstarbekas kasutada siintoodud valemeid; nende kasutamise näited on toodud kõikides töödes, kus sellel on mõtet<sup>1</sup>.

#### 24. Ühtlaselt kiireneva liikumise seaduste tundmaõppimine kaldpinnal.

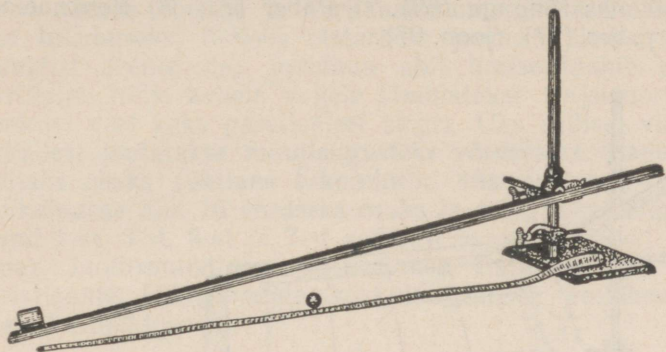
Töövahendid. 1) Mõõtelint (3). 2) Kell metronoom (13). 3) Statiiv muhvidega ja näpitsaga (16). 4) Renn (19). 5) Kuul (20). 6) Metallist silinder (29) (joon. 96).

Statiivi abil asetatakse renn kaldasendisse. Veereva kuuli pidurdamiseks võetakse metallist silinder (keha kalorimeetristeks töödeks) ja asetatakse see renni sinna kohta, kus on vaja peatada kuul.

Aega loetakse kogu klassile ühise metronoomi või mõne muu ajamõõtja järgi, mis on seatud 120 löögile minutis ja asetseb demonstratsioonilaual. Kuuli poolt läbitud teede pikkust mõõdetakse sentimeetritesse jaotatud mõõtelindiga.

<sup>1</sup> Vigade üksikasjalisema analüüsiga võib tutvuda raamatute järgi: проф. В. М. Брадис. Средства и способы элементарных вычислений, изд-ве АПН РСФСР, 1951, и М. Л. Франк. Элементарные приближенные вычисления, ГТТИ, М.-Л., 1932.

Algul määratakse katsega kuuli liikumise kiirendus kaldpinnal. Renni alumisse otsa asetatakse silinder ning olles lasknud renni ülemisest otsast kuuli liikuma, loeme metronoomi lööke. Taotletakse renni säärast asendit (kallakut) et metronoomi nel-



Joon. 96. Töövahendid töö nr. 24 juurde.

jas löök ühtuaks kuuli löögiga vastu silindrit<sup>1</sup>. Sellisel juhul on kuuli liikumise ajaks 2 sekundit. Saavutanud metronoomi ja kuuli löögi ühtelangemise, mõõdetakse kuuli poolt kahe sekundiga läbitud tee pikkus ja arvutatakse liikumise kiirendus.

Arvud võivad osutada, näiteks, järgmisteks:  $S = 132$  cm;  $t = 2$  sek.; siis, vastavalt võrrandile, kiirendus

$$a = \frac{2S}{t^2}$$

on

$$a = \frac{2 \cdot 132}{4} = 66 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}.$$

Edasi kontrollitakse liikumise tee seadusi. Teades kiirendust, arvutatakse selleks tee pikkused, mis kuul peab läbima poole sekundiga, ühe sekundiga, pooleteise sekundiga:

$$S_1 = \frac{66 \cdot 1}{2 \cdot 4} \approx 8,2 \text{ cm}; \quad S_2 = \frac{66 \cdot 1}{2} \approx 33 \text{ cm}; \quad S_3 = \frac{66 \cdot 9}{2 \cdot 4} \approx 74 \text{ cm}.$$

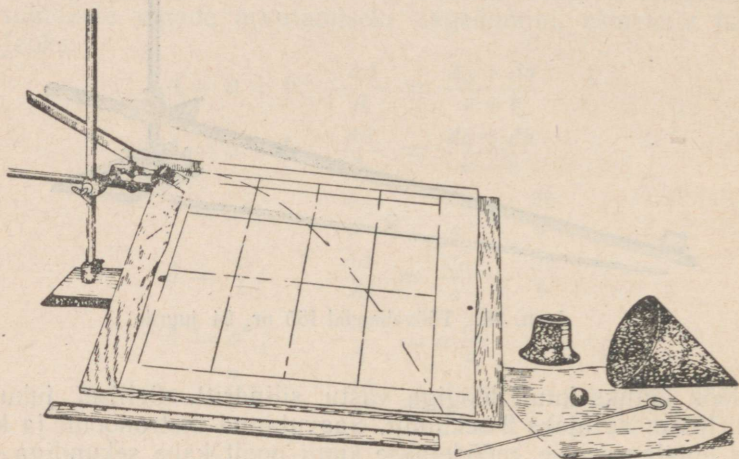
Arvutamise teel saadud tulemusi kontrollitakse katsega. Selleks asetatakse silinder kordamööda renni otsast leitud kaugustele ja jälgitakse metronoomi ning kuuli löökide ühtesattuvust.

Võrreldes leitud teelõikude pikkusi, tehakse kindlaks, et ühe, kahe, kolme sekundiga kuuli poolt läbitud vahemaad on tõesti võrdelised aja ruuduga, ning et üksteisele järgnevatel sekunditel läbitud teed on võrdelised järjestikuste paarituarvudega.

<sup>1</sup> Kuulikesse vabastamisel toimunud metronoomi löök loetakse null-löögiks.

## 25. Parabooli mööda liikuva keha liikumise uurimine.

Töövahendid. 1) Mõõtejoonlaud (1). 2) Statiiv muhvidega ja näpitsaga (16). 3) Kuulike (20). 4) Renn ja koonus kuulikese langetamiseks ja püüdmiseks (21). 5) Vineerplaat (22). 6) Traatkonks rõngaga (69). 7) Paber (73). 8) Rõhknaelad (74). 9) Filterpaber (77) (joon. 97).



Joon. 97. Töövahendid töö nr. 25 juurde.

Vineerplaat (ekraan) seatakse statiivi abil kaldasendisse umbes  $30^\circ$  nurga all lauaplaadi tasapinnaga. Selleks kinnitatakse ekraani ülemine vasakpoolne nurk koos renni väljaulatuva osaga statiivi näpitsasse, kusjuures renni painutatud ots peab olema suunatud horisontaalselt. Kogu seadeldis asetatakse nii, et ekraani alumine äär langeks kokku laua äärega. Ekraan kaetakse puhta paberilehega, mis kinnitatakse rõhknaelte abil.

Sel viisil koostatud seadeldis peab olema õppetöö algusel näidise kujul demonstratsioonilaual; see aitab õpilastel kiiremlt koostada oma seadeldist.

Tööd teostatakse allkirjeldatud järjekorras. Vasakul istuv õpilane laseb kuulikese mingisuguselt kõrguselt renni veerema. Paremal istuv õpilane püüab ekraani mööda veereva kuulikese kartongist koonusesse. Lühikese harjutamise tulemusena leitakse selline kõrgus, mille puhul kuulike veereb ekraanil läbi paberilehe alumise parempoolse nurga ja langeb allaasetatud koonusesse.

Seejärel kastetakse kuulikene tindipotti ja määratuna tindiga lastakse veereda renni mööda valitud kõrguselt.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tindipotist võetakse kuulike välja traatkonksu abil, millel on selleks otstarbeks vastasasetsevas otsas rõngas vastavalt kuulikese mõõtudele.

Nüüd joonistab ta paberile oma liikumise trajektoori ja langeb koonusesse.

Kohe pärast katset kuivatab üks õpilastest filterpaberiga traat-rõnga, teine kuulikese.

Tuleb uurida saadud kõverat, mis osutub kahe liikumise — horisontaalsuunas ühtlase ja vertikaalsuunas ühtlaselt kiireneva liitumise tulemuseks. Selleks otstarbeks joonestatakse trajektoori alguspunktist (renni ots) joonlaua abil horisontaalne sirge ja selle ristsirge. Neile kahele sirgele tõmmatakse trajektoori alumisest punktist veel kaks paralleelset sirget. Üks sellisel viisil saadud lõikudest jaotatakse mingisugusteks võrdseteks osadeks, näiteks neljaks osaks (ühtlane liikumine); siis jaotatakse temaga perpendikulaarne lõik 16 võrdseks osaks ja märgitakse lõigud, mis koosnevad 1-st, 3-st, 5-st ja 7-st sellisest osast (ühtlaselt kiirenev liikumine). Jaotuspunktidest püstitatakse ristjooned ja veendutakse ristjoonte lõikepunktide kokkulangemises kuulikese poolt joonestatud trajektooriga.

## 26. Kahe teineteise suhtes nurga all mõjuva jõu liitmine.

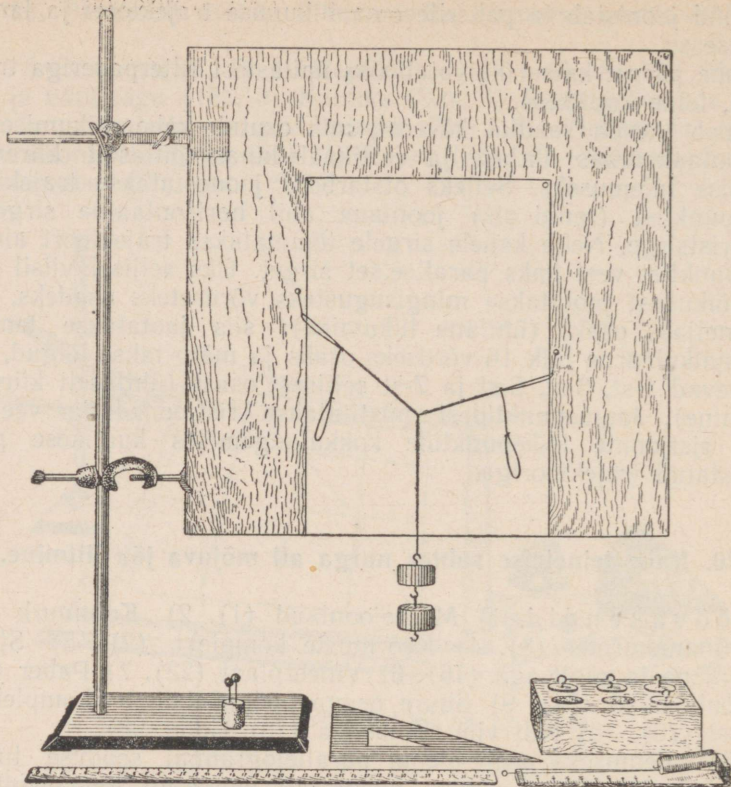
Töövahendid. 1) Mõõtejoonlaud (1). 2) Kolmnurk (2). 3) Dünamomeeter (8). 4) Koormuste komplekt (9). 5) Statiiv muhvidega ja näpitsaga (16). 6) Vineerplaat (22). 7) Paber (73). 8) Rõhknaelad (74). 9) Suure peaga nõõpnõelad — komplekt 4 nõelast (75). 10) Niit viie silmusega (76) (joon. 98).

Töö tulemuseks peab olema parallelogrammi seaduse tuletamine kahe teineteise suhtes nurga all suunatud jõu resultaadi leidmiseks. Õpilased koostavad seadmed õpetaja poolt tunni algul demonstratsioonilaul näidatava seadme eeskujul. Sellel seadmel selgitatakse esialgselt kogu töö käik, mis seisneb järgnevas.

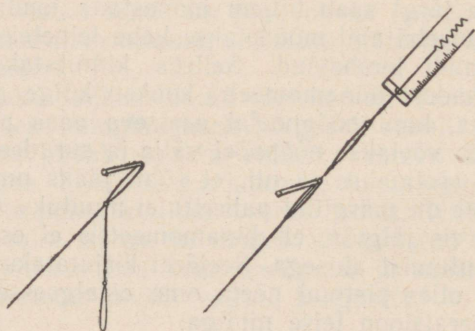
1) Paberi alumisele äärele märgitakse pliiatsiga: niidi suund, mille küljes on koormused, sõlme asukoht, mida vaadeldakse jõudude rakenduspunktina ja nõõpnõeltele kinnitatud niitide suunad. Nende märgete järgi saab hiljem joonestada jõudude vektorid.

2) Dünamomeetri abil mõõdetakse kahe teineteise suhtes nurga all suunatud niidi tõmbejõud. Selleks kinnitatakse üks vabalt rippuvatest aasadest dünamomeetri konksu külge ja tõmmatakse dünamomeetriga, kuni nõõpnõelal asetseva aasa pingestus vabaneb. Pärast seda võetakse nõõpnõel välja ja surudes dünamomeetri vastu ekraani, asetatakse ta nii, et sõlm jääks omale kohale ja niidi suund (see on märgitud paberil) ei muutuks (joon. 99). Sellejuures on tarvis jälgida, et dünamomeetris ei esineks liikuvate osade kokkupuutumist alusega. Seejärel kirjutatakse üles dünamomeetri näit ja olles pistnud nõela oma esialgsesse kohta, teostatakse sama operatsioon teise niidiga.

3) Seadeldis demonstreeritakse: niit koormustega eemaldatakse, nõõpnõelad tõmmatakse välja, statiivile kinnitatud plaat



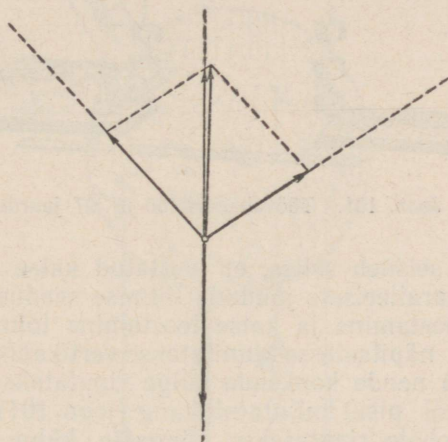
Joon. 98. Töövahendid töö nr. 26 juurde.



Joon. 99. Jõu komponentide mõõtmine dünamomeetri abil.

koos paberilehega võetakse lahti ja asetatakse lauale. Joonlaua abil tõmmatakse pliiatsiga sirgjooned jõudude rakenduspunkti kolme niidi suunas. Vabaltvalitud mastaabis ehitatakse nende sirgete järgi vastavalt dünamomeetri näitudele ja koormuste suuruste vektorid.

Nurga all suunatud kahe niidi tõmbejõu mõjumise resultaadiks on koormuste raskusjõudude tasakaalustav mõju. On selge, et sama tulemust (tasakaalu) võib saavutada ühe jõu mõjumisel, mis on võrdne koormuste raskustega ja suunatud vertikaalselt ülespoole. See jõud ongi otsitud resultaat; seda jõudu kantakse joonisele vektorina varemvalitud mastaabis. Seejärel tõmmatakse komponentvektorite lõpp-punktidest joonlaua ja kolmnurga abil neile vektoreile paralleelsed sirged. Sel viisil saadud parallelo-



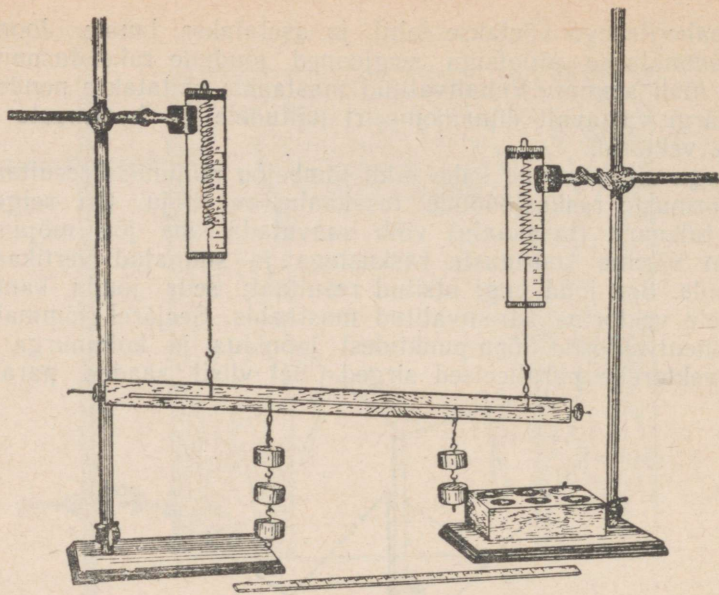
Joon. 100. Jõudude parallelogrammi konstrueerimine.

grammile joonestatakse diagonaal (joon. 100). Töö hoolikal teostamisel osutuvad resultantjõu vektor ja diagonaal suuruselt ja suunalt teineteisele küllalt lähedasteks, selleks et lugeda neid ühtivateks ja tuletada selle alusel jõudude parallelogrammi, seadus.

## 27. Paralleelsete jõudude liitmine.

Töövahendid. 1) Mõõtejoonlaud (1). 2) Dünamomeeter (2 tk.) (8). 3) Koormuste komplekt (9). 4) Statiiv muhvide ja näpitsaga (2 tk.) (16). 5) Kang (18) (joon. 101).

Töö teostamiseks on vaja kaks dünamomeetrit ja kaks statiivi. Varustuse loetelus on neid arvuliselt 15 tk., seetõttu tuleb selle töö teostamisel kogu klassiga ühendada õpilaste alagrupid kahekaupa.



Joon. 101. Töövahendid töö nr. 27 juurde.

Töö eesmärk seisneb selles, et teostatud katse alusel tuletada samasuunaliste paralleelsete jõudude liitmise seadus.

Seadeldise koostamine ja katse teostamine toimub järgmiselt.

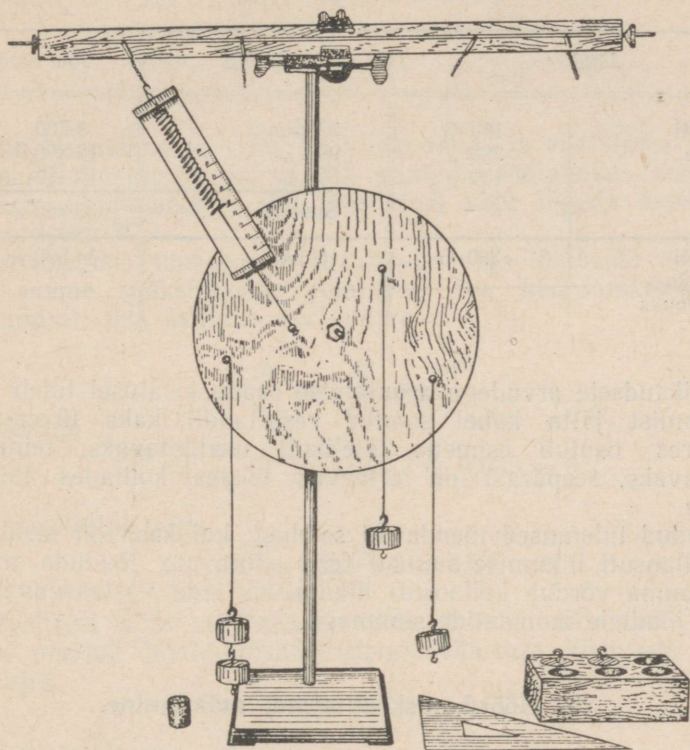
Kahe statiivi näpitsatesse kinnitatakse vertikaalses asendis kaks dünamomeetrit ja nende konksude külge riputatakse rõngaste abil horisontaalselt või pisut kallutatult kang (joon. 101). Kangi vabaltvalitud kahele kohale riputatakse rõngaste külge koormused ja märgitakse üles dünamomeetri näidud. Dünamomeetrite vedrude deformatsiooni vaadeldakse siin kui kahe allapoole suunatud paralleelse jõu, mille resultaati on tarvis leida, mõjumise summat. Resultaadi leidmiseks asendatakse kaks jõudu ühega, mis avaldab samasugust mõju. Teisiti öeldes, koormused võetakse maha ja riputatakse nad seejärel uuesti sellisele ühele kohale, et vedrude deformatsioon osutuks endiseks.

Õpilastele on vajalik selgitada, et selles töös ei esine dünamomeetrid mitte jõudude mõõtjatena, vaid nad on ainult indikaatorid, mille järgi otsustatakse jõudude mõju üle. Seepärast on tähtis kahe jõu asendamisel ühega püüda saavutada ainult dünamomeetrite osutite endist asendit.

On selge, et nüüd uuele kohale riputatud koormuste raskust võib lugeda resultantjõuks, mis võimaldab teha täiesti kindlat järeldust tema suuruse, suuna ja rakenduspunkti kohta. Vastassuunaliste paralleelsete jõudude liitmise seaduse tuletamiseks, pole vajadust teostada eraldi laboratoorset tööd, kuna see erineks tehniliselt vähe ülalkirjeldatud tööst.

## 28. Jõudude momentide seaduse kontrollimine.

Töövahendid. 1) Kolmnurk (2). 2) Dünamomeeter (8). 3) Koormuste komplekt (9). 4) Statiiv muhvidega ja näpitsaga (16). 5) Kang (18). 6) Teljega ketas (24). 7) Suure peaga nõõpnõelad (75). 8) Kahe aasaga niit (3 tk.) (76) (joon. 102).



Joon. 102. Töövahendid töö nr. 28 juurde.

Töö teostamiseks vajaliku seadeldise põhiliseks detailiks osutub puksiga vineerketas. See asetatakse teljele, mis kinnitatakse statiivi muhvisse. Ketta kohale kinnitatakse näpitsa abil rõngastega varustatud kang. Ketta vabaltvalitud kohtadesse torgatakse neli nõõpnõela ja neist kolmele riputatakse niitide abil koormused. Neljas nõõpnõel on dünamomeetri jaoks, mis haagitakse oma ülemise otsaga kangi rõnga külge. Nüüd kujutab ketas endast keha, millel on pöörlemisteel ja asetseb tasakaalus nelja jõu mõjumisel. Üht variantidest vt. joonisel 102.

Pärast seadeldise koostamist mõõdavad õpilased kolmnurga abil jõudude õlad (toetuspunkti sirgele, mida mööda mõjub jõud, tõmmatud ristlõigu pikkus). Seejärel, teades jõudude suursi, arvutatakse jõudude momendid. Tulemused kirjutatakse tabelisse, nagu on allpool näidatud, kus on toodud üks võimalikest variantidest.

Mõõtmistulemuste tabel.

Jõud		Jõu õlg	Jõu moment
Kellaosuti liikumise suunas	100 G	37 mm	3 700
	200 „	99 „	19 800
	190 „	55 „	10 450
		Summa . . .	33 950 $\approx$ 34 000
Kellaosuti liikumisele vastassuunas	300 G	115 mm	34 500 $\approx$ 34 000

Ligikaudsete arvudega arvutamise seaduste alusel tuleb pärast ümardamist jätta kahel saadud resultaadil kaks tüvenumbrit. Seejuures osutub esimene täielikult usaldatavaks, teine aga kaheldavaks, seepärast on erinevus teistes kohtades täielikult lubatav.

Saadud tulemused tõendavad seadust: kui keha on tasakaalus, siis kellaosuti liikumise suunas keha pööravate jõudude momentide summa võrdub kellaosuti liikumisele teda vastassuunas pööravate jõudude momentide summaga.

## 29. Hõõrdumiskoeffitsiendi määramine.

Töövahendid. 1) Kolmnurk (2). 2) Mõõtelint (3). 3) Dünamomeeter (8). 4) Koormuste komplekt (9). 5) Statiiv muhvide ja näpitsaga (16). 6) Tribomeeter (17) (joon. 75).

Ülesanne seisneb kahel allkirjeldatud viisil hõõrdumiskoeffitsiendi määramises puu hõõrdumisel puu vastu.

1) Puust risttahukas pannakse horisontaalselt asetatud joonlauale ja koormates teda alguses ühe, siis kahe ja kolme koormusega, tõmmatakse risttahukat dünamomeetri abil võimalikult ühtlaselt piki joonlauda. Sellisel viisil mõõdetakse tõmbejõudu (võrdne hõõrdumisjõuga). Olles seejärel kaalunud risttahuka ja koormused dünamomeetri abil (normaalne survejõud), leitakse hõõrdumiskoeffitsient  $f$ , s. o. hõõrumisjõu  $F$  suhe normaalse survejõuga  $P$ .

Allpool on esitatud töö tulemuse näidisandmed.

Mõõtmistulemuste tabel.

Keha kaal	Hõõrdumisjõud	$f = \frac{F}{P}$
140 G	30 G	$\frac{30}{140} \approx 0,21$
240 „	55 „	$\frac{55}{240} \approx 0,23$
340 „	72 „	$\frac{72}{340} \approx 0,21$

Siin on määratud keha kaal koormuste ja risttahuka raskuste summana, kusjuures on vajalik kaaluda risttahukas koos koormustega dünamomeetri abil. Sel viisil võib lugeda keha kaalu vea võrdseks 5C.<sup>1</sup>

Samasuguse suuruseni võib ulatuda viga tõmbejõu mõõtmisel. Siit saame maksimaalse relatiivse vea hõõrdumiskoefitsiendi määramisel, mis avaldub võrrandiga

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta P}{P},$$

mis võrdub

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{5}{30} + \frac{5}{140} = 0,17 + 0,035 \approx 0,2,$$

aga absoluutne viga

$$\Delta f = 0,21 \cdot 0,2 \approx 0,04.$$

Järelikult võib mõõtmistulemuste tabelis näidatud esimesel katsel saadud hõõrdumiskoefitsiendi väärtuse kirjutada järgmisel kujul:

$$0,21 \pm 0,04.$$

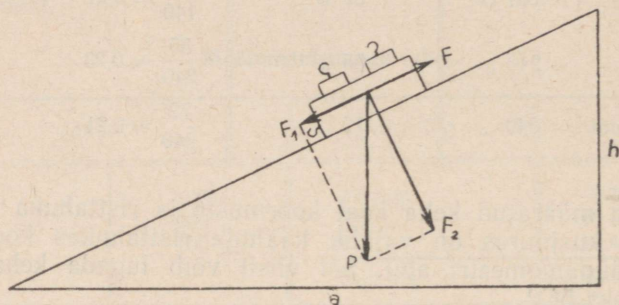
2) Teine hõõrdumiskoefitsiendi määramise viis ei nõua jõudude otsesest mõõtmist. Sel juhul pannakse alguses tribomeetri joonlaua'le puust risttahukas koormustega, seejärel aga tõstetakse pikkamööda joonlaua üht otsa senikaua ülespoole, kuni risttahukas väikese tõukamise järel hakkab enamvähem ühtlaselt alla poole libisema. Siis osutub liikumapanev jõud  $F_1$ , mis on raskusjõu komponendiks, suuruselt võrdseks hõõrdumisjõuga  $F$  (joon. 103). Hõõrdumiskoefitsient aga võrdub raskusjõu kahe komponendi suhtega: liikumapaneva jõu  $F_1$  ja normaalse survejõu  $F_2$  suhtega.

<sup>1</sup> Dünamomeetri skaala on jaotatud 10 C kaupa, kuid kahe kõrvuti asetseva jaotise vahel on küllaldane vahekaugus, mis võimaldab vabalt hinnata poolt jaotist, s. o. 5 G.

$$f = \frac{F_1}{F_2}, \text{ kuid } \frac{F_1}{F_2} = \frac{h}{a} \text{ (joon. 103),}$$

järelikult,

$$f = \frac{h}{a}.$$



Joon. 103. Jõudude lahutamine kaldpinnal.

Sellest nähtub, et pole vajadust jõudude mõõtmiseks; on küllaldane mõõta kaldpinna kõrgus ja alus ning arvutada nende suhe, mis osutub joon'aua kaldenurga tangensiks ja kujutab endast samal ajal hõõrdumiskoefitsienti.

Kaldpinna alus mõõdetakse sentimeetritesse jaotatud mõõtelindi abil täpsusega kuni 0,5 cm, kõrgus aga kolmnurga abil täpsusega kuni 1 mm. Meie näites  $h=11$  cm,  $a=49$  cm, siis

$$f = \frac{11}{49} \approx 0,224.$$

Viimane menetlus annab parema tulemuse, mis on näha vigade arvutusest:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta a}{a}; \frac{\Delta f}{f} = \frac{0,1}{11} + \frac{0,5}{49} \approx 0,02;$$

$$\Delta f = 0,22 \cdot 0,02 \approx 0,004,$$

järelikult,

$$f = 0,224 \pm 0,004.$$

Antud töö, mis on katseliselt lihtne, võib olla sobivaks juhuks õpilaste tutvustamiseks vigade elementaarse analüüsiga, mida nad peavad kasutama kõigis järgnevas töödes, peale kvalitatiivse iseloomuga tööde.

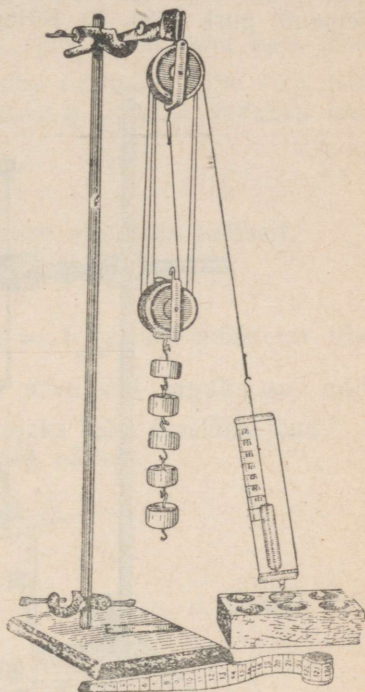
### 30. Polüspasti kasuteguri määramine.<sup>1</sup>

Töövahendid. 1) Mõõtelint (3). 2) Dünamomeeter (8). 3) Koormuste komplekt (9). 4) Statiiv muhvide ja näpitsaga (16). 5) Polüspast (23). 6) Kahe aasaga 2 m pikkune niit (76) (joon. 104).

Laua äärel asetatakse statiiv, mille ülemisse otsa on kinnitatud näpits. Näpitsasse kinnitatakse polüspasti hark. Raami alumise konksu külge seotakse niidi ots ja asetatakse niit järjekorras polüspasti kõigile kuuele ploki'le. Viimaseks ploki'ks, millel nõör liigub, peab olema ülemise hargi plokk.

Alumise hargi konksu külge riputatakse kõik olemasolevad koormused, niidi otsa aga haagitakse dünamomeeter. Dünamomeetri abil mõõdetakse polüspasti niidile rakendatud tõmbejõud niidi ühtlasel allapoole tõmbamisel, mõõtelindi abil aga koormuste tõstekõrgus ja väljatõmmatud niidi pikkus.

Kasulikuks tööks loetakse koormuste tõstmise tööd, kuid mitte-kasuliku töö hulka kuuluvad töö hõõrdumise ületamiseks ja töö alumise hargi ja plokkide tõstmiseks.



Joon. 104. Töövahendid töö nr. 30 juurde.

#### Katse tulemuse näidisandmed.

Tõstetavate koormuste kaal . . . . .	600 G
Koormuste tõstmise kõrgus . . . . .	20 cm
Tõmbejõud . . . . .	125 G
Niidiotsa poolt läbikäidud tee . . . . .	120 cm

Siit leiame kasuliku töö  $A_1 = 600 \cdot 20 = 12\,000 G \cdot \text{cm}$ , kogu tehtud töö aga  $A_2 = 125 \cdot 120 = 15\,000 G \cdot \text{cm}$ .

Järelikult on kasutegur

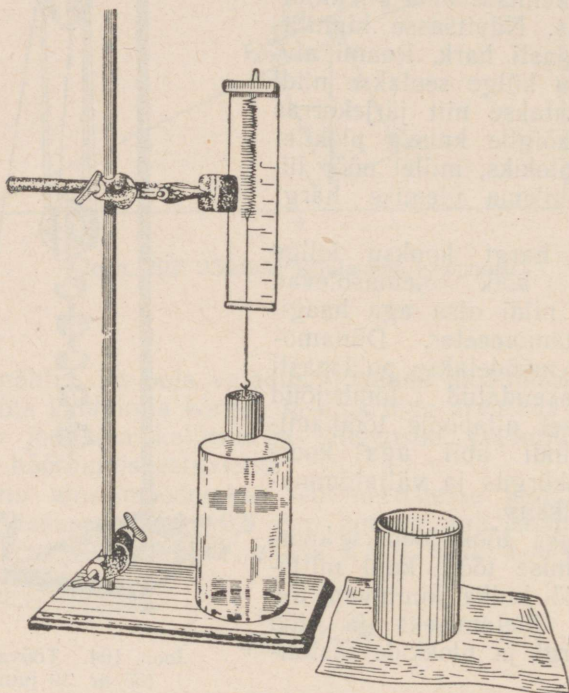
$$\eta = \frac{A_1}{A_2} = \frac{12000}{15000} = 0,8,$$

s. o. 80%.

<sup>1</sup> See töö on jõukohane VI klassi õpilastele ja seda võib võtta seitsme-aastase kooli tööde nimekirja.

### 31. Tahkete kehade ja vedelikkude tiheduse määramine hüdrostaatilise kaalumise teel.

Töövahendid. 1) Dünamomeeter (8). 2) Statiiv muhvide ja näpitsaga (16). 3) Kalorimeetri seesmine anum petrooleumiga (28, 79). 4) Konksuga metallsilinder (29). 5) Galvaani elemendi purk (62). 6) Filterpaber (77) (joon. 105).



Joon. 105. Töövahendid töö nr. 31 juurde.

Antud töös on kasutatud tundelike kangkaalude asemel, mida tavaliselt kasutatakse hüdrostaatilisel kaalumisel, kaunis ebatäpset 400 G-list dünamomeetrit jaotistega 10 G kaupu. See vähendab tulemuse täpsust, kuid lihtsustab tunduvalt katse teostamist ja võimaldab esile tõsta hüdrostaatilise kaalumise meetodi füüsikalist olemust.

Seadeldis koostatakse joonisel näidatud viisil ja kaalutakse metallsilinder dünamomeetri abil esmalt õhus ja seejärel vees. Kaalumisel hinnatakse silma järgi kümnendikjaotised ja seepärast võib eeldada, et vea suurus ei ületa 1 G. Mõõtmistulemused kujunevad näiteks järgmisteks:

Aine	Kaal õhus	Kaal vees	Vee üleslükkejõud
Valgevask	$185G \pm 1G$	$165G \pm 1G$	$20G \pm 2G$
Alumiinium	$58G \pm 1G$	$37G \pm 1G$	$21G \pm 2G$
Raud	$167G \pm 1G$	$145G \pm 1G$	$22G \pm 2G$

Nagu teada, on tihedus  $D = \frac{P}{gV}$ , kus  $P$  on keha kaal õhus, mõõdetud dünamomeetri abil;  $V$  — keha ruumala, mille võib määrata vedeliku üleslükkejõu  $P_1$  jagamisel  $g$  ja selle vedeliku tihedusega  $D_1$ :

$$V = \frac{P_1}{gD_1}.$$

Siis võib katsetatava metalli tiheduse avaldada selliselt:

$$D = \frac{P \cdot D_1}{P_1}.$$

Kuna antud juhul võib lugeda  $D_1 = 1 \frac{g}{cm^3}$ , siis mõõdetav tihedus saadakse ühikuis  $\frac{g}{cm^3}$  ja võrdub arvuliselt jagatiseaga, mille jagatavaks on keha kaal õhus ja jagajaks keha üleslükkejõud.

Valgevase puhul annavad arvutused näiteks

$$D = \frac{185}{20} \approx 9,3 \frac{g}{cm^3}.$$

Relatiivne viga võrdub:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta P_1}{P_1} \text{ ehk } \frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{185} + \frac{2}{20} \approx 0,1, \text{ s. o. umbes } 10\%.$$

Maksimaalne absoluutne viga:

$$\Delta D = 9,3 \cdot 0,1 \approx 0,9 \frac{g}{cm^3}.$$

Sel viisil võib kirjutada lõplikuks tulemuseks

$$D = 9,3 \frac{g}{cm^3} \pm 0,9 \frac{g}{cm^3}.$$

Samasugused arvutused alumiiniumi ja raua jaoks annavad vastavalt:

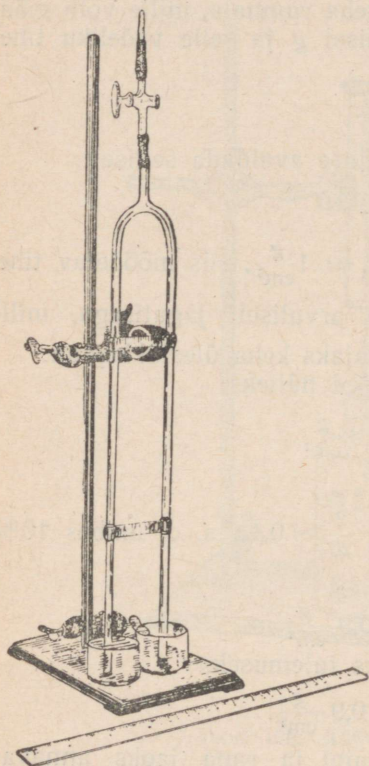
$$D = 2,7 \frac{g}{cm^3} \pm 0,3 \frac{g}{cm^3} \text{ ja } D = 7,6 \frac{g}{cm^3} \pm 0,9 \frac{g}{cm^3}.$$

Ühe alagrupi õpilased määravad ainult ühe ülalnimetatud metalli tiheduse, seejärel määravad aga harjutusena mingi vedeliku, näiteks petrooleumi, tiheduse. Selleks teostatakse veelkord keha kaalumine, mis on asetatud katsetatavasse vedelikku, ja arvutatakse selle tihedus üleslükkejõudude suhtena antud vedeliku ja vee puhul.

Oma iseloomult sobib see laboratoorne töö kontrolltööna, mille puhul õpilased peavad olema võimelised õigesti teostama katset ja hindama saadud tulemusi nende täpsuse seisukohalt.

### 32. Vedeliku tiheduse määramine hüdroomeetri abil.

Töövahendid. 1) Mõõtejoonlaud (1). 2) Statiiv muhvide ja näpitsaga (16). 3) Hüdroomeeter (25). 4) Klaaskraan tilaga (68). 5) Keeduklaasid, mahuga 50 cm<sup>3</sup>, või kristallisaatorid — 2 tk. (64). 6) Denatureeritud piiritus (78). 7) Vasevitrioli lahus (80) (joon. 106).



Joon. 106. Töövahendid töö nr. 32 juurde.

Statiivi näpitsasse kinnitatakse hüdroomeeter ja tema torud asetatakse alumiste otsadega vedelikkudega — vesi ja piiritus — täidetud klaasidesse. Hüdroomeetri ülemise toruga ühendatakse tilaga klaaskraan. Klaastila desinfitseeritakse eelnevalt piiritusesse kastmisega.

Olles avanud kraani, imeatakse ettevaatlikult õhk läbi tila välja ja kui piirituse sammu ulatub peaaegu kuni hüdroomeetri paindekohani, siis suletakse kraan. Olles veendunud, et kraan ei lase õhku läbi ja et vedelikusambad torudes ei alanee, mõõdetakse joonlaua abil vedelikusammaste kõrgused klaasis oleva vedeliku pinnast kuni samba ülemise tasemeni. Seejärel avatakse kraan õige vähe lühikeseks ajaks, selleks et vedelikusammaste tasemed pisut alaneksid, ja teostatakse uuesti mõõtmist. Sel viisil teostatakse katset mitu korda.

Vedelikusammaste kõrgus hüdroomeetri torudes, nagu teada, on pöördvõrdeline nende tihedustega:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{D_2}{D_1}.$$

Lugedes vee tiheduse võrdseks 1  $\frac{g}{cm^3}$ , määratakse sellest võrdest katsetatava vedeliku tihedus.

Harjutamiseks võetakse piirituse asemel vasevitrioli lahus ja määratakse tema tihedus samal viisil. Katse annab näiteks sellised tulemused:

Tabel 1

Sammaste kõrgus		Piirituse tihedus
Vesi	Piiritus	
299 mm	353 mm	$\frac{299}{353} \approx 0,847 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
271 „	320 „	$\frac{271}{320} \approx 0,847 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
263 „	310 „	$\frac{263}{310} \approx 0,848 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Tabel 2

Sammaste kõrgus		Vasevitrioli lahuse tihedus
Vesi	Vasevitriol	
357 mm	317 mm	$\frac{357}{317} \approx 1,125 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
352 „	312 „	$\frac{352}{312} \approx 1,128 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
340 „	303 „	$\frac{340}{303} \approx 1,122 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Maksimaalset viga vedelikusammaste kõrguste mõõtmisel joonlaua abil võib lugeda võrdseks 1 mm; siis kujuneb tulemuse relatiivne viga vastavalt tabeli 1 esimese rea andmetele:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{299} + \frac{1}{353} \approx 0,006, \text{ s. o. } 0,6\%;$$

siit saame absoluutse vea

$$\Delta D = 0,847 \cdot 0,006 \approx 0,005 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3},$$

järelikult on piirituse tihedus

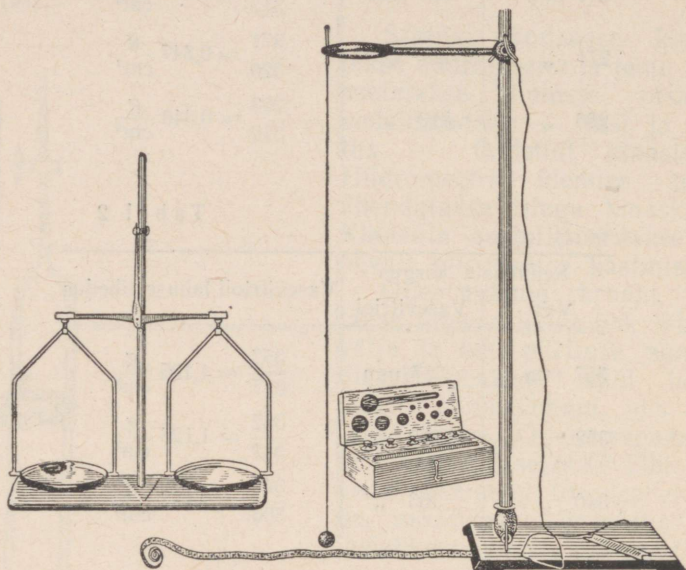
$$D = 0,847 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \pm 0,005 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}.$$

Samal viisil saadakse vasevitrioli lahuse jaoks

$$D = 1,125 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \pm 0,007 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}.$$

### 33. Kesktõmbejõu valemi kontrollimine.

Töövahendid. 1) Mõõtelint (3). 2) Kaalud (6). 3) Kaaluvihid (7). 4) Sekundiosutiga kell (13). 5) Statiiv muhvidega ja rõngaga (16). 6) Kuulike (20). 7) Sõlmega ja vaiakesega niit (76) (joon. 107).



Joon. 107. Töövahendid töö nr. 33 juurde.

Kesktõmbejõu suurust

$$F = \frac{4\pi^2 Rm}{T^2}$$

võib üsna lihtsalt määrata katse varal koonilise pendliga. Enne katset riputatakse niidi otsas statiivirõnga külge kuulike, mis on enne seda kaalutud. Selleks seotakse niidi alumisse otsa, mis pistetakse läbi kuulis oleva augu, sõlm kuulikese kinnihoidmiseks, ülemine ots aga pistetakse läbi statiivi rõngasse puuritud augu ja kiilutakse teritatud tikuga kinni. Sel viisil saadud pendel (joon. 108) pannakse horisontaaltasapinnas tiirlema, võttes kahe sõrmega kinnituspunkti juures niidist kinni. Tiirlemisraadius peab olema pisut väiksem kui kaugus tiirlemisteljest kuni statiivi aluseni: raadius mõõdetakse mõõtelindi abil.

Selleks et määrata pendli tiirlemisperioodi, kasutatakse kogu klaasi jaoks ühist suure sekundiosutiga demonstatsioonikella. Töö ajal üks õpilastest jälgib sekundiosutit, teine paneb pendli tiirlema ja loeb tema tiirlemise taktis «null, null, null...». Tabades

kellaosuti järgi sobiva momendi lugemise alguseks, ütleb esimene samuti «null!», seejärel jätkab teine kuuldavalt tiirude lugemist. Esimese kella jälgiva õpilase signaali järgi lõpetatakse ühe või kahe minuti pärast tiirude lugemine. Teades aega ja tiirude arvu, arvutatakse periood.

Saadud andmed ( $R$ ,  $m$  ja  $T$ ) asetatakse ülaltoodud valemisse ja leitakse kesktõmbejõu suurus.

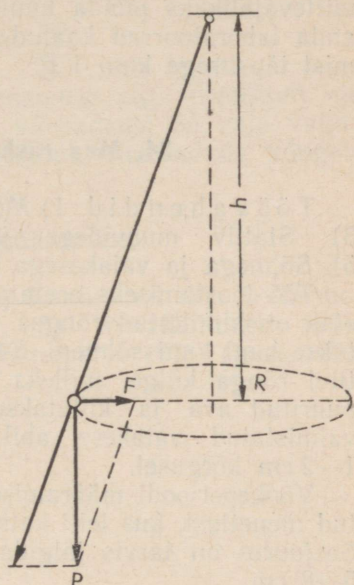
Koonilise pendli tiirlemisel osutub kesktõmbejõuks kuuli kaalu  $P$  horisontaalne komponent  $F$  (joon. 108). Järelikult võib kesktõmbejõudu määrata teisel viisil, lähtudes võrdest

$$\frac{F}{P} = \frac{R}{h}, \text{ ehk } F = \frac{PR}{h}. \quad (1)$$

Siin on  $P$  ja  $R$  juba teada eelmisest katsest ja selleks et määrata  $F$ , on tarvis veel mõõta  $h$ . Selleks tõmmatakse kuulike eelmises seadeldises kaugusele, mis võrdub tiirlemisraadiusega ja mõõdetakse lindi abil vertikaali pikkus kuuli keskpunktist kuni kinnituspunkti tasemeni. Asetatakse tuntud andmed võrrandisse (1) ja leitakse uuesti kesktõmbejõu suurus.

Kõrvutatakse kahel viisil saadud tulemused ja veendutakse, et nad on omavahel lähedased. Selles seisnebki töö eesmärk — kesktõmbejõu valemi kontrollimine.

Toome ühe katse konkreetset andmed:



Joon. 108. Tasakaaluasendist väljaviidud pendli raskusjõu lahutamine.

$$m = 26 \text{ g} \pm 1 \text{ g}, R = 17 \text{ cm} \pm 0,5 \text{ cm},$$

$$n = 50 \text{ pöõret}, t = 73 \text{ sek.} \pm 2 \text{ sek.}, h = 52 \text{ cm} \pm 0,5 \text{ cm}.$$

$$1) F = \frac{4\pi^2 R m}{T^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 17 \cdot 28 \cdot 50^2}{73^2 \cdot 981} \approx 9,0 \text{ G};$$

$$2) F = \frac{PR}{h} = \frac{28 \cdot 17}{52} \approx 9,1 \text{ G}.$$

Analüüsime vigu kesktõmbejõu määramise esimese ja teise viisi puhul.

$$1) \frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{2\Delta T}{T}; \frac{\Delta F}{F} = \frac{0,5}{17} + \frac{1}{28} + \frac{4}{73} \approx 0,12, \text{ või } 12\%;$$

$$2) \Delta F = 9 \cdot 0,12 = 1,08 \text{ G}; F = 9 \text{ G} \pm 1 \text{ G}.$$

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta h}{h}; \frac{\Delta F}{F} = \frac{1}{28} + \frac{0,5}{17} + \frac{0,5}{52} \approx 0,075, \text{ või } 7,5\%;$$

$$\Delta F = 9,1 \cdot 0,075 \approx 0,7; \quad F \approx 9,1G \pm 0,7G.$$

Sel viisil on selles töös kahe tulemuse lubatav maksimaalne erinevus võrdne  $1G + 0,7G = 1,7G$ .

Teostatud vigade uurimine näitab, et aja mõõtmist tuleb teostada suurima hoolikusega. Sel eesmärgil on kasulik lugeda võimalikult suur arv pendli tiirusid, suurendades sellega aega ja vähendades relatiivset viga perioodi määramisel. Vastupidi, siin osutub mittevajalikuks püüda kuulikest kaaluda täpsusega, mida võivad anda laboratoorsed kaalud. On täiesti küllaldane teostada kaalumist täpsusega kuni 1 g.

### 34. Maa raskuskiirenduse määramine.

Töö vahendid. 1) Mõõtelint (3). 2) Sekundiosutiga kell (13). 3) Statiiv muhvidega ja rõngaga (16). 4) Kuulike (20). 5) Sõlmega ja vaiakesega niit (76).

Töö teostamiseks asetatakse laua äärelle statiiv, mille ülemisse otsa on kinnitatud rõngas. Läbi kuuli ava pistetakse niit ja lastakse kuul kuni sõlmeni. Sel viisil saadud pendel riputatakse statiivi rõnga külge, milleks pistetakse niit altpoolt läbi rõngasse puuritud ava ja kiilutakse ülevalt poolt kinni teritatud tikust valmistatud vaiakese abil. Kuulike peab rippuma põrandast 1—2 cm kõrgusel.

Võnkeperioodi määramiseks kasutatakse eelmises töös kirjeldatud menelust, kus leiti katseliselt koonilise pendli tiirlemisperiood. Seejuures on tarvis jälgida, et pendli võnkeamplituud ei ületaks 5—8 cm.

Olles märkinud aja kella järgi ja loendanud pendli võngete arvu selle aja jooksul, mõõdetakse lindiga pendli pikkus täpsusega kuni 0,5 cm.

Katse tulemused võivad olla näiteks niisugused:

$$\text{võngete arv } n = 29,$$

$$\text{aeg } t = 69 \text{ sek. } \pm 2 \text{ sek.},$$

$$\text{pendli pikkus } l = 139 \text{ cm } \pm 0,5 \text{ cm.}$$

Kiirendus leitakse valemist:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ s. o.}$$

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

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

Asetades arvulised andmed, saame:

$$g = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 139 \cdot 29^2}{69^2} \approx 970 \frac{\text{cm}}{\text{sek.}^2}.$$

Leiame tulemuse suurima relatiivse vea:

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{2\Delta t}{t}; \frac{\Delta g}{g} = \frac{0,5}{139} + \frac{4}{69} \approx 0,06 \text{ või } 6\%.$$

Suurim absoluutne viga on:

$$\Delta g = 970 \cdot 0,06 = 58,2 \frac{\text{cm}}{\text{sek.}^2}.$$

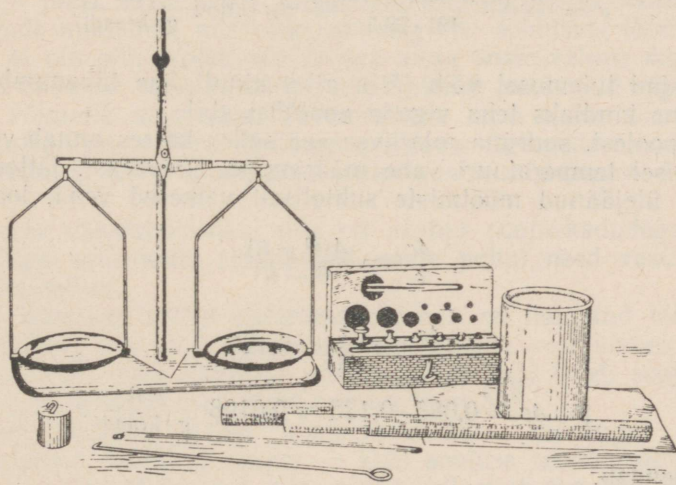
Sel viisil tuleb lõplik tulemus kirjutada selliselt:

$$g = 970 \frac{\text{cm}}{\text{sek.}^2} \pm 60 \frac{\text{cm}}{\text{sek.}^2}.$$

Siin, nagu ka eelmises töös, tekib tulemuse viga peamiselt aja mõõtmise arvel. Selleks et seda viga vähendada, on vaja valida võimalikult suur ajavahemik, teisiti öeldes, suurendada võngete arvu.

### 35. Aine erisoojuse määramine.

Töövahendid. 1) Kaalud (6). 2) Kaaluvihid (7). 3) Termomeeter (10). 4) Kalorimeeter (28). 5) Metallsilinder (29). 6) Keedukann (60). 7) Konks (69). 8) Filterpaber (77) (joon. 109).



Joon. 109. Töövahendid töö nr. 35 juurde

Töö teostatakse sellises järjekorras. Kaalutakse kalorimeetri seesmine anum, valatakse temasse pisut vähem kui poolest saadik vett ja kaalutakse uuesti, selleks et määrata vee massi. Olles seadnud kalorimeetri kokku, mõõdetakse vee algtemperatuur.

Ühisest keeva veega keedunõust võetakse traatkonksu abil metallsilinder. Kiirelt asetatakse ta kalorimeetrisse, segatakse

kergelt termomeetri abil kalorimeetris vett ja jälgitakse tema temperatuuri tõusmist. Kui temperatuur saavutab maksimaalse kõrguse ja lakkab tõusmast, märgitakse selle näit, võetakse silinder välja ja olles selle kuivatanud filterpaberiga, kaalutakse see.

Töö tulemused näite kujul:

alumiiniumist anuma mass  $m_1 = 44,5 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ ,  
 vee mass  $m_2 = 172,0 \text{ g} - 44,5 \text{ g} = 127,5 \text{ g} \pm 0,2 \text{ g}$ ,  
 vee algtemperatuur  $t_1 = 25,5^\circ \pm 0,5^\circ$ ,  
 silindri (valgevask) mass  $m = 191,0 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ ,  
 silindri temperatuur  $t_2 = 100^\circ \pm 0,5^\circ$ ,  
 vee lõpptemperatuur  $\Theta = 33,5^\circ \pm 0,5^\circ$ .

Soojusbilansi võrrandist

$$m_1 c_1 (\Theta - t_1) + m_2 c_2 (\Theta - t_1) = mc(t_2 - \Theta)$$

leitakse silindri aine erisoojus

$$c = \frac{(\Theta - t_1)(m_1 c_1 + m_2 c_2)}{m(t_2 - \Theta)},$$

$$c = \frac{8 \cdot (44,5 \cdot 0,21 + 127,5)}{191 \cdot 66,5} \approx 0,086 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{kraadi}}.$$

Saadud tulemusel võib jätta alles ainult ühe tüvenumbri, mis on lihtne kindlaks teha vigade analüüsi abil.

Tõepoolest, suurima relatiivse vea selles katses annab vee soojendamisel temperatuuri vahe määramine. Seepärast, jättes arvestamata ülejäänud mõõtmiste suhteliselt väikesed vead, loeme, et

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta(\Theta - t_1)}{\Theta - t_1},$$

siis

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{1}{8} \approx 0,125$$

$$\text{ja } \Delta c = 0,086 \cdot 0,125 \approx 0,0108 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{kraadi}}.$$

Tähendab,

$$c = 0,09 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{kraadi}} \pm 0,01 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{kraadi}}.$$

Toodud arutlustest on näha, et mida vähem vett valada kalorimeetrisse, seda suurem on tema temperatuuri tõus kuuma keha sisseasetamisel, ja tulemuse viga on tunduvalt väiksem. Siiski peab minimaalne veehulk kalorimeetris olema selline, et silinder oleks täielikult veega kaetud. Nimelt sellele juhule vastavadki töö arvulised tulemused ülaltoodud näites.

### 36. Jää sulamissoojuse määramine.

Töövahendid. 1) Kaalud (6). 2) Kaaluvihid (7). 3) Termomeeter (10). 4) Kalorimeeter (28). 5) Keedukann (60). 6) Filterpaber (77). 7) Jäätükid küvetis.

Töö teostatakse sellises järjekorras: kaalutakse kaaludel kalorimeetri seesmine anum ja olles valanud temasse vett, kaalutakse teistkordselt koos veega; seesmine anum veega asetatakse välisesse anumasse ja mõõdetakse vee temperatuur.

Seejärel asetatakse vette tükk jääd, olles ta eelnevalt kuivatunud filterpaberi abil.

Segades vett termomeetri abil, märgitakse üles kõige madalam temperatuur, mis seejuures kalorimeetris saavutatakse. Kalorimeeter kaalutakse uuesti ja määratakse vette lastud jää mass.

Jää sulamissoojus määratakse soojusbilansi võrrandist:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4,$$

kus  $Q_1$  on kalorimeetri anuma poolt äraantud soojus,  $Q_2$  — vee poolt äraantud soojus,  $Q_3$  — jää sulatamiseks kulutatud soojus, ja  $Q_4$  — jääst saadud vee soojendamiseks kulutatud soojus.

Vigade analüüsil, mis oleks analoogiline eelmistes töodes teostatule, ei ole siin mõtet; see ei saa anda enam-vähem õiget hinnangut tulemuse täpsuse kohta, kuna esineb tunduvald vigu, mida ei ole võimalik arvestada. Tüvenumbrite arvu määramiseks lõplikus tulemuses võivad õpilased piirduda ligikaudsete arvutuste seadustega ja jätta hindamata maksimaalse absoluutse vea suuruse.

Vigade vähendamiseks, mis on seotud soojuskadudega, tuleb luua kõige sobivamad tingimused, mille puhul need vead osutuvad vähimateks.

Kui kasutada sellist kalorimeetrit, mis on näidatud töövahendite loetelus, siis tuleb kalorimeetrisse valada vett umbes 150 g. Jäätükk tuleb võtta massiga umbes 30 g. Vesi tuleb soojendada kogu klassi jaoks ühises keedukannus kuni 35°.

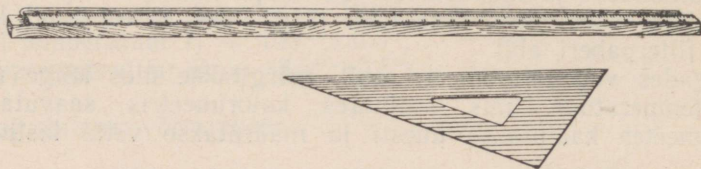
Nende andmete puhul kompenseeritakse mõningal määral katse alguses tekkinud soojus — kuid soojuse juurdevooluga väljastpoolt katse lõpul, kui pärast jää sulamist temperatuur jääb allapoole toatemperatuuri.

Seda tööd teostatakse tavaliselt talvisel ajal, kui jääd on kergelt saada. Siiski ei soovitata kasutada loomulikku jääd, kuna ta on enamikel juhtudel poorne ja enne vette asetamist on teda raske kuivatada. Parem on töö teostamise eelneval päeval asetada hästi läbikeedetud veega küvett või pann külma kätte — saadakse tihe ja poorideta jää.

### 37. Boyle-Mariotte'i seaduse kontrollimine.

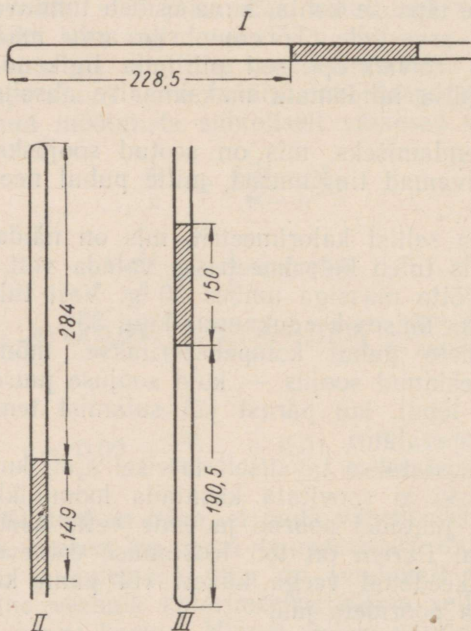
Töövahendid. 1) Kolmnurk (2). 2) Baromeeter (14).  
3) Elavhõbeda sambaga klaastoru (26) (joon. 110).

Selleks et kontrollida Boyle-Mariotte'i seadust, kasutatakse klaastoru, millesse on paigutatud elavhõbedat ja on kinnitatud millimeetrijaotistega joonlauale.



Joon. 110. Töövahendid töö nr. 37 juurde.

Alguses mõõdetakse torusse suletud õhu ruumala joonlaua jaotiste järgi ja leitakse ruumala korrutis õhu rõhuga toru mitmesuguste asendite puhul. Selleks on vaja teada atmosfäärilist rõhku ja elavhõbeda samba rõhku torus. Atmosfäärilist rõhku mõõde-



Joon. 111. Elavhõbeda sambaga toru horisontaalses ja vertikaalses asendis.

takse aneroid- või elavhõbebaromeetri abil (üks kogu klassi kohta), elavhõbeda samba kõrgust aga joonlaua jaotiste järgi.

Seejärel võrreldakse omavahel mahtude korrutist neile vastavate rõhkudega. Seejuures eeldatakse, et kogu katse ajal jääb temperatuur konstantseks.

Ruumala mõõtmise ühikuks võetakse 1 mm kõrgusega õhusamba maht, rõhu ühikuks aga 1 mm kõrgusega elavhõbeda samba rõhk.

Allpool on toodud tabelis mõõtmistulemused sellise toru kolme asendi kohta (joon. 111) baromeetrilise rõhu 754,5 mm elavhõbeda samba kõrguse puhul.

Mõõtmistulemuste tabel.

Toru asend	Rõhk $p$	Ruumala $V$	$C = pV$
I	754,5 mm el. s.	228,5 üh.	172 403
II	754,5 — 149 mm el. s. = = 605,5 m. el. s.	284 „	171 962
III	754,5 + 150 = 904,5 el. s. <sup>1</sup>	190,5 „	172 307

Ligikaudsete arvudega arvutamise seaduste alusel tuleb iga saadud korrutis ümardada, säilitades igaühes neist kolm tüvenumbrit. Sel viisil võrdub kõigis kolmes katses õhu ruumala korrutis tema rõhuga 172 000, mis tõendabki Boyle-Mariotte'i seaduse kehtivust.

Teostame vigade analüüsi.

Ruumala ja rõhu mõõtmisel loeme maksimaalseks võimalikuks veaks 0,5 mm, mis on seadmel ja baromeetril kergelt silma järgi hinnatav.

Võrrandist  $C = pV$  leiame maksimaalse relatiivse vea

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta V}{V}.$$

Korrutise suurima vea annab ruumala mõõtmine toru III asendi puhul; selle juhu valimegi näiteks:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{1}{904,5} + \frac{0,5}{190,5} = 0,0011 + 0,0026 \approx 0,0037 \text{ või } 0,4\%,$$

järelikult

$$\Delta C = 172\,000 \cdot 0,004 \approx 700.$$

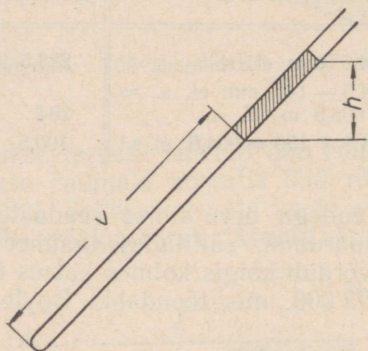
Siit võime kirjutada lõpliku tulemuse:

$$C = 172\,300 \pm 700.$$

<sup>1</sup> Erinevus elavhõbeda sammaste pikkustes (149 mm ja 150 mm) seadme II ja III asendi puhul on tingitud toru ava ebahõltsesest ristlõikest.

Peale vigade, mida siin arvestati, esineb töös vältimatuid vigu, mis antud töö tingimustes ei ole arvestatud. Need kutsutakse esile õhusamba temperatuuri muutumisest, toru ava ebaühtlasest ristlõikest jms. Nagu näha ülaltoodud tabelist, ei ületa tulemuste erinevus eespool arvatud maksimaalse vea piire, järelikult on need arvesse võtmata vead väikesed ega oma olulist tähtsust.

On kasulik, kui aeg seda lubab, teostada peale ülalkirjeldatud kolme katse veel neljas katse, asetades toru kaldasendisse. Sel juhul määratakse õhu ruumala samuti kui varemgi, kuid elavhõbeda samba kõrgust tuleb mõõta kolmnurga abil mitte piki toru, vaid vertikaalsuunas (joon. 112). Ka selle katse tulemus on lähedane varemsaadule.



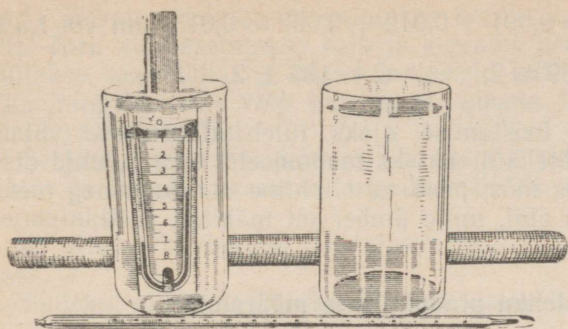
Joon. 112. Elavhõbeda samba toru kaldasendis.

Elavhõbeda samba sujuvamaks liikumiseks toru asendi muutmise puhul, samuti ka elavhõbeda väljavalamise vältimiseks, peab toru olema suletud teritatud tikuga abil, mille ümber on mähitud õhuke kiht vatti. Seda korki ei tohi välja võtta ka laboratoorse töö teostamise ajal, mille suhtes tuleb tingimata õpilasi ette hoiatada.

### 38. Gaasi oleku valemi kontrollimine.

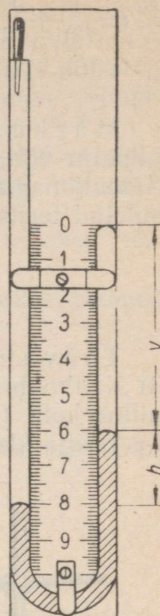
Töövahendid. 1) Termomeeter (10). 2) Baromeeter (14). 3) Elavhõbemanomeeter (30). 4) Keedukann (60). 5) Galvaani elemendi purk (62). 6) Keeduklaas 500 cm<sup>3</sup> (63) (joon. 113).

Katseseade, mis on eraldi kujutatud joonisel 114, asetatakse algul galvaani elemendi purki valatud külma vette. Vee temperatuur  $T$  mõõdetakse (määratakse absoluutse skaala järgi), toru kinnises harus oleva õhu ruumala  $V$  ja elavhõbeda nivoode vahe  $h$ .



Joon. 113. Töövahendid töö nr. 38 juurde.

Mõõtmistulemused kirjutatakse tabelisse (vt. allpool). Seejärel valatakse keeduklaasi keedukannus varem valmistatud kuuma vett ja katseseade asetatakse külmast veest ümber kuuma vee klaasi (joon. 113). Uuesti teostatakse samu mõõtmisi ja kirjutatakse tulemused tabeli teisele reale. Torus asetseva õhu rõhu määramiseks on tarvis mõõta atmosfääri rõhku. Katsel, mille tulemused on toodud allpool, on õhu rõhk elavhõbebaromeetri järgi 757 mm.



Joon. 114. Lühendatud elavhõbebaromeeter.

### Mõõtmistulemuste tabel.

Temperatuur	Ruumala $V$	Elavhõbeda nivoode vahe $h$	Rõhk $p = H - h$
283°	41 üh.	26 mm	757 — 26 = 731 mm. el. s.
357°	51 „	5 „	757 — 5 = 752 „ „ „

Kasutades tabeli andmeid, arvutatakse võrrandi

$C = \frac{pV}{T}$  järgi konstant  $C$  esimese ja teise katse puhul:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{731 \cdot 41}{283} \approx 106; \quad \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{752 \cdot 51}{357} \approx 105.$$

Võrreldes saadud tulemusi leitakse, et nad on omavahel lähedased, s. o. veendutakse, et ruumala ja rõhu korrutis, jagatud absoluutse temperatuuriga, on gaasi antud massi jaoks konstantne suurus.

Maksimaalne relatiivne viga arvutatakse võrrandi järgi

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta T}{T}, \text{ s. o.}$$

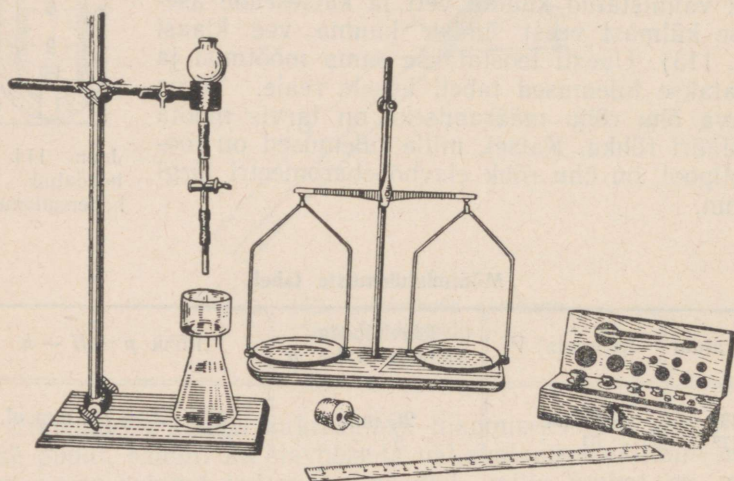
$$\frac{4C}{C} = \frac{1}{731} + \frac{0,5}{41} + \frac{0,5}{283} \approx 0,001 + 0,012 + 0,002 \approx 0,015 \text{ mm või } 1,5\%$$

$$C = 106 \cdot 0,015 = 1,59 \approx 2; \quad C = 106 \pm 2.$$

Märkus. Katse teostamise ajaks tuleb klaasidesse valada niipalju vett, et ta täielikult kataks manomeetri toru suletud otsa. Samuti nagu eelmises töös, peab toru lahtine ots kogu aeg olema suletud teritatud tikku abil, mille ümber on mähitud vatti.

### 39. Vedeliku pindpinevuse määramine.

Töövahendid. 1) Mõõtejoonlaud (1). 2) Kaalud (6). 3) Kaaluvihid (7). 4) Statiiv muhvide ja näpitsaga (16). 5) Kooniline kolb (61). 6) Keeduklaas 50 cm<sup>3</sup> (64). 7) Lehter (67). 8) Tilaga klaaskraan (68) (joon. 115).



Joon. 115. Töövahendid töö nr. 39 juurde.

Joonisel kujutatud seadeldist kasutatakse vedeliku pindpinevuse konstandi määramiseks tilkade meetodil. Uuritavaks vedelikuks on kõige sobivam kasutada destilleeritud vett. Töö teostatakse sellises järjekorras:

1) Mõõtejoonlaua abil mõõdetakse klaastoru ava läbimõõt, mille juures hinnatakse silma järgi kümnendikud millimeetrid. Sel juhul ei ületa mõõtmisviga 0,2 mm.

2) Tiljade kogumiseks ettenähtud keeduklaas kaalutakse sajandiku grammi täpsusega.

3) Kraan suletakse ja valatakse kolvist lehtrisse destilleeritud vett. Toru alla asetatakse kolb ja keerates kraani õige vähe lahti, püütakse saavutada, et tilgad langeksid küllalt aeglaselt (30—40 tilka minutis). Siis võib lugeda, et tilkade lahtirebimine toimub ainult raskuse mõjul.

Seejärel asetatakse toru alla klaas (ta pannakse kolvi suudme peale) ja lastakse temasse langeda mõnikümmend tilka, mille arv loendatakse.

4) Klaasi kaalumise teostatakse teistkordselt ja leitakse vee mass.

Selleks et saada pindpinevuse konstanti, kasutatakse valemit

$$\alpha = \frac{Mg}{n\pi D},$$

kus  $M$  on vee mass,  $n$  — tilkade arv,  $D$  — toru ava läbimõõt,  $g$  — raskuskiirendus.

Toome katsel saadud tulemustest näite:

tühja klaasi mass  $M_1 = 22,62 \text{ g} \pm 0,01 \text{ g}$ ,  
 klaasi ja vee mass  $M_2 = 30,97 \text{ g} \pm 0,01 \text{ g}$ ,  
 vee mass  $M = 8,35 \text{ g} \pm 0,02 \text{ g}$ ,  
 tilkade arv  $n = 100$ ,  
 toru ava läbimõõt  $D = 0,35 \text{ cm} \pm 0,02 \text{ cm}$ .

Siis

$$\alpha = \frac{8,35 \cdot 981}{100 \cdot 3,14 \cdot 0,35} \approx 74 \frac{\text{düün}}{\text{cm}}.$$

Tilkade arv kui loendamise tulemus on täisarv. Kui võtta  $\pi = 3,14$  ja  $g = 981 \frac{\text{cm}}{\text{sek.}^2}$ , siis nende suuruste kui ka tilkade massi relatiivsed vead on õige väikesed võrreldes toru ava läbimõõdu mõõtmise relatiivse veaga, selleks et tunduval määral mõjutada tulemuse relatiivse vea suurust. Seepärast võib lugeda

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta D}{D};$$

järelikult,

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{0,02}{0,35} \approx 0,057 \text{ või ligikaudu } 6\%.$$

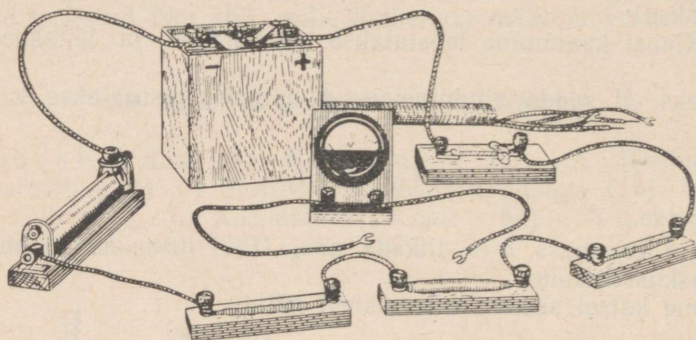
Sel viisil

$$\Delta\alpha = 74 \cdot 0,06 \approx 4,5 \frac{\text{düün}}{\text{cm}} \text{ ja}$$

$$\alpha = 74 \frac{\text{düün}}{\text{cm}} \pm 5 \frac{\text{düün}}{\text{cm}}.$$

#### 40. Pinge jaotuse uurimine vooluringi järjestikustel osadel.

Töövahendid. 1) Voltmeeter (12). 2) Akumulaatorpatarei (31). 3) Komplekt kolmest traattakistusest (33). 4) Reostaat (34). 5) Lüliti (35). 6) Ühendusjuhtmed (suur komplekt) (40) (joon. 116).



Joon. 116. Töövahendid töö nr. 40 juurde.

Kõik loetletud katseriistad peale voltmeetri ühendatakse vooluringi järjestikku. Voltmeetri klemmidega ühendatakse kaks juhet, jättes nende teised otsad vabaks. Vooluring ühendatakse ja mõõdetakse pinge igal spiraalil eraldi ja kogu takistuste grupi otsadel. Selleks puudutatakse voltmeetrilt tulevate juhtmete kaablikingadega traattakistuste otsi.

Selleks et oleks parem teostada lugemist voltmeetri skaala järgi, seatakse esimesel mõõtmisel reostaadi lükati sellisesse asendisse, mille puhul voltmeeter näitaks täisarvu kümnendikvolte. Tulemused kirjutatakse tabelisse.

Vooluringi osa takistus	1 oom	4 oomi	2 oomi	7 oomi
Pinge vooluringi osa otsadel	0,4 V	1,6 V	0,8 V	2,8 V

Tehakse järelused:

1) Pinge järjestikku ühendatud juhtmete grupi otsadel on võrdne pingete summaga, mis on saadud iga juhtme otstel mõõdetud pingete liitmisel.

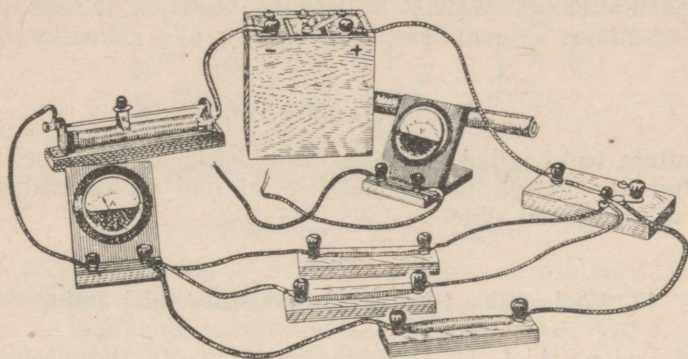
$$V = V_1 + V_2 + V_3.$$

2) Vooluringi järjestikustes osades jaotub pinge proportsionaalselt nende takistustega:

$$V_1 : V_2 : V_3 = r_1 : r_2 : r_3 \text{ ehk } \frac{V_1}{r_1} = \frac{V_2}{r_2} = \frac{V_3}{r_3} = I.$$

## 41. Juhtmete paralleelse ühenduse uurimine.

Töövahendid. 1) Ampermeeter (11). 2) Voltmeeter (12). 3) Akumulaatorpatari (31). 4) Komplekt kolmest traattakistusest (33). 5) Reostaat (34). 6) Lüliti (35). 7) Ühendusjuhtmed (suur ja väike komplekt) (40, 41) (joon. 117).



Joon. 117. Töövahendid töö nr. 41 juurde.

Loetletud katseseadmetest koostatakse elektriline vooluring: järjestikku ühendatakse ampermeeter, akumulaatorpatari, reostaat, lüliti ja grupp kolmest omavahel paralleelselt ühendatud spiraalist. Voltmeetri klemmidega ühendatakse kaks juhet, jättes nende teised otsad vabaks (joon. 118).

Reostaadi abil reguleeritakse vooluringis kindel voolu tugevus (valitud takistite puhul on sobiv võtta vool tugevusega 1,75 A). Seejärel lülitatakse ampermeeter magistraalset ümber ühte või teise harusse ja mõõdetakse voolu tugevust igas harus. Mõõtmistulemused kirjutatakse vihikusse.

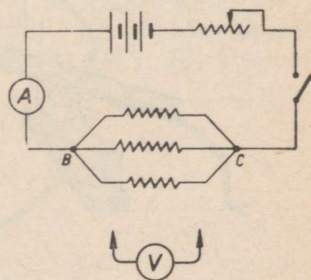
Voolu tugevus magistraalis  $I = 1,75$  A.

Voolu tugevus harudes  $i_1 = 1$  A;  
 $i_2 = 0,5$  A;  $i_3 = 0,25$  A.

Liites voolu tugevuse suurused harudes, tehakse järeldus, et voolu tugevus magistraalis võrdub voolu tugevuste summaga harudes.

$$I = i_1 + i_2 + i_3.$$

Voltmeetri abil mõõdetakse pinget punktide B ja C vahel (joon. 118) (meie näites võrdub see 1 V) ja määratakse Ohmi seaduse järgi paralleelselt ühendatud juhtmete grupi kogu takistus.



Joon. 118. Takistuste paralleelne ühenduskeem.

$$R = \frac{1}{1,75} \approx 0,57 \text{ oomi.}$$

Seejärel kasutades valemit

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3},$$

arvutatakse sama juhtmegrupi takistuse, milleks asetatakse valemisse kasutatud takistuste väärtused  $r_1, r_2, r_3$ :

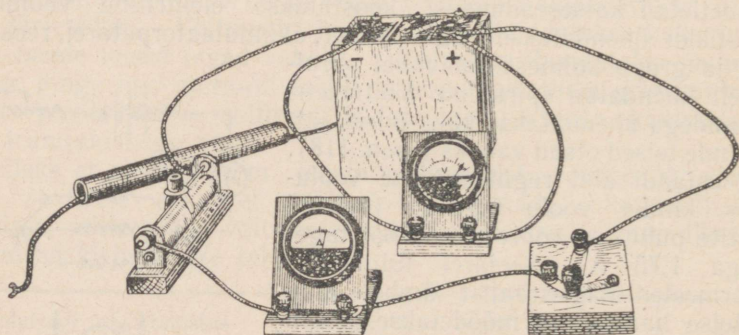
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} = \frac{4+2+1}{4} = \frac{7}{4};$$

$$R = \frac{4}{7} \approx 0,57 \text{ oomi.}$$

Arvutuse teel saadud tulemust võrreldakse varem vahetult katsel leitud tulemusega ja veendutakse, et nad on omavahel lähedased või langevad ühte.

## 42. Vooluallika EMJ ja sisetakistuse määramine.

- Töövahendid. 1) Ampermeeter (11). 2) Voltmeeter (12).  
 3) Akumulaatorpatarei (31). 4) Reostaat (34). 5) Lüliti (35).  
 6) Ühendusjuhtmed (suur komplekt) (40) (joon. 119).



Joon. 119. Töövahendid töö nr. 42 juurde.

Töö teostamiseks ühendatakse järjestikku: akumulaatorpatarei, ampermeeter, reostaat ja lüliti. Voltmeeter ühendatakse patarei klemmidega vahetult. Reostaadi abil reguleeritakse vooluringis vool, mille tugevus võrdub näiteks 1,89 A. Selle juures pingelangus vooluringi välistes osades, nagu näitab voltmeeter, võrdub 3,49 V. Vooluringi lahtilülitamisel suureneb voltmeetri näit kuni 3,74 V — see on patarei elektromotoorne jõud. Siit leitakse vooluallika seesmine pingelangus:

$$V = 3,74 \text{ V} - 3,49 \text{ V} \approx 0,25 \text{ V.}$$

Järelikult on kolmest elemendist koosneva kogu patarei sisetakistus

$$R = \frac{0,25}{1,8} \text{ oomi} = 0,139 \text{ oomi, aga ühe elemendi takistus}$$

$$r = \frac{0,139}{3} \text{ oomi} = 0,046 \text{ oomi.}$$

Loeme, et voolu tugevuse ja pinge mõõtmisel võrdub maksimaalne absoluutne viga 0,025 A ja 0,025 V (veerand mõõteriista skaala jaotisest). Siis on tulemuse maksimaalne relatiivne viga

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{0,05}{0,25} + \frac{0,025}{1,8} \approx 0,2 \text{ või } 20\%,$$

järelikult on maksimaalne absoluutne viga

$$\Delta r = 0,046 \cdot 0,2 \approx 0,01 \text{ oomi;}$$

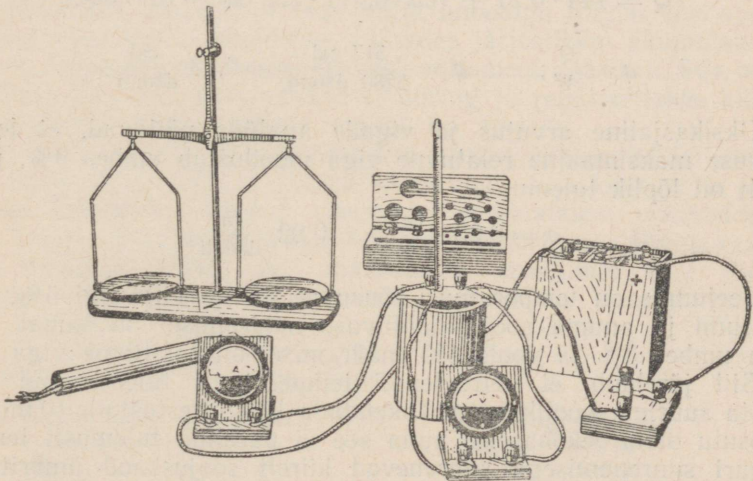
seega

$$r = 0,05 \text{ oomi} \pm 0,01 \text{ oomi.}$$

See kõik näitab, et selles töös on sobivam sisetakistuse mõõtmise objektiks valida leelisakumulaatori asemel taskulambi patarei. Sel on tunduvalt suurem sisetakistus, mille tagajärjel on tulemuse relatiivne viga palju väiksem.

#### 43. Joule'i soojuse ekvivalendi määramine.

Töövahendid. 1) Kaalud (6). 2) Kaaluvihid (7). 3) Termomeeter (10). 4) Ampermeeter (11). 5) Voltmeeter (12). 6) Sekundiosutiga demonstratsioonikell (13). 7) Kalorimeeter (28). 8) Akumulaatorpatarei (31). 9) Lüliti (35). 10) Soojendusspiraal (38). 11) Ühendusjuhtmed (suur komplekt) (40). 12) Petroleum (79) (joon. 120).



Joon. 120. Töövahendid töö nr. 43 juurde.

Vooluring koostatakse akumulaatorist, reostaadist, ampermeetrist, traatspiraalist ja lülitist. Kõik need katseseadmed ühendatakse järjestikku. Spiraaliga paralleelselt ühendatakse tema klemmide külge voltmeeter. Seejärel kaalutakse kalorimeetri seesmine anum; olles valanud selsesse pisut üle poole petrooleumi, kaalutakse ta uuesti ja määratakse petrooleumi mass. Kalorimeeter pannakse kokku, spiraal asetatakse petrooleumisse ja olles mõõtnud petrooleumi temperatuuri, lülitatakse vool sisse. Voolu sisselülitamise moment märgitakse kella järgi. Ampermeetri ja voltmeetri abil mõõdetakse voolu tugevust ja pinget. Umbes 10—15 minuti järgi, mille kestel on termomeetri abil mõningad korrad petrooleumi segatud, lülitatakse vool välja. Mõõdetakse teistkordselt petrooleumi temperatuur ja asutakse mõõtmistulemuste läbitöötamisele.

#### Näide tulemustest.

Kalorimeetri seesmise anuma mass . . . . .	44 g ± 0,5 g
petrooleumi mass . . . . .	167 — 44 = 123 g ± 1 g
voolu tugevus spiraalis . . . . .	1,27 A ± 0,05 A
pinge . . . . .	3,00 V ± 0,05 V
petrooleumi algtemperatuur . . . . .	27° ± 0,2°
soojendamise kestus . . . . .	600 sek. ± 1 sek.
temperatuuri tõus . . . . .	34,2° — 27° = 7,2° ± 0,4°

Soojendamiseks kulutatud elektrienergia arvutatakse valemi järgi

$$W = IVt; W = 1,27 \cdot 3 \cdot 600 \text{ džouli} \approx 2280 \text{ džouli.}$$

Petrooleumile ja kalorimeetri seesmisele anumale üle antud soojushulk on aga valemi järgi:

$$Q = (m_1c_1 + m_2c_2) \cdot (t^{\circ}_2 - t^{\circ}_1);$$

$$Q = (44 \cdot 0,21 + 123 \cdot 0,51) \cdot 7,2 \text{ cal} \approx 517 \text{ cal.}$$

Siit

$$q = \frac{Q}{W}; \quad q = \frac{517 \text{ cal}}{2280 \text{ džouli}} \approx 0,23 \frac{\text{cal}}{\text{džouli}}.$$

Üksikasjaline arvutus ja vigade analüüs näitavad, et leitud suuruse maksimaalne relatiivne viga moodustab umbes 9%, järelikult on lõplik tulemus

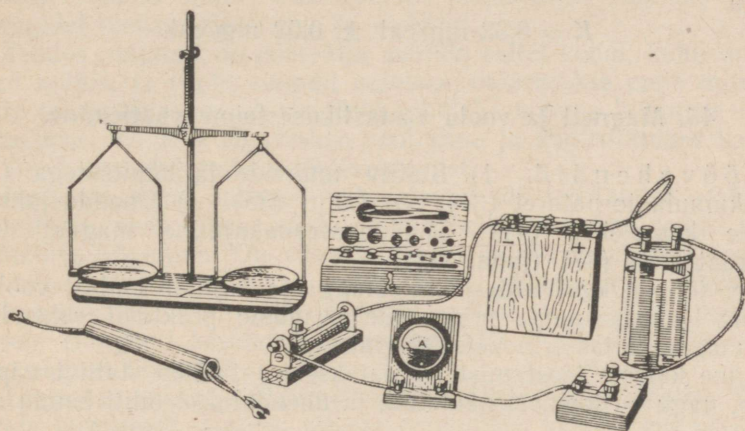
$$q = 0,23 \frac{\text{cal}}{\text{džouli}} \pm 0,02 \frac{\text{cal}}{\text{džouli}}.$$

Seejuures on temperatuuri tõusu relatiivne viga ligi 5%, petrooleumi ja anuma soojusmahtuvuse määramisel on samal ajal viga umbes 3% ja voolu töö määramisel on relatiivne viga 1%.

Siit järeldub, et petrooleumi temperatuuri tuleb antud töös mõõta suurima hoolikusega. Pikendada katse kestust üle 10 minuti, ei osutu otstarbekohaseks, kuna see ei paranda tulemust: temperatuuri suurenemisega suurenevad kiirelt soojuskaod ümbritseva keskkonna toimel.

#### 44. Vase elektrokeemilise ekvivalendi määramine.

Töövahendid. 1) Kaalud (6). 2) Kaaluvihid (7). 3) Ampermeeter (11). 4) Sekundiosutiga demonstratsioonikell (13). 5) Piirituslamp (27), elektripliit või ventilaator (elektroodide kuivatamiseks). 6) Akumulaatorpatarei (31). 7) Reostaat (34). 8) Lüliti (35). 9) Vaskelektroodid alusega (39). 10) Ühendusjuhtmed (suur komplekt) (40). 11) Galvaani elemendi purk (62). 12) Vasevitrioli lahus (80) (joon. 121).



Joon. 121. Töövahendid töö nr. 44 juurde.

Töö alguses kaalutakse võimaliku maksimaalse täpsusega üks vaskplaatidest, mida kasutatakse katoodina, märkides seejuures üles elektroodi numbrit, et teda mitte anoodiga hiljem segi ajada. Seejärel koostatakse vooluring, lülitades järjestikku: akumulaatorpatarei, ampermeetri, reostaadi, vask-voltameetri ja lüliti. Siis, olles märkinud üles aja, ühendatakse vooluring ja reguleeritakse kiirelt reostaadi abil voolu tugevus umbes 1,5 amprile.

10–15 minuti järel katkestatakse vool, võetakse katsel katoodiks olnud plaat välja ja kätega sadestunud vase kihti mitte puudutades loputatakse katood veega ja kuivatatakse piirituslambi leegi kohal, elektripliidi kohal või ventilaatori ees. Plaat kaalutakse hoolikalt uuesti ja määratakse eraldunud vase mass. Seejärel arvutatakse elektrokeemilise ekvivalendi summa valemi järgi  $K = \frac{m}{It}$ .

Katsel saadud tulemuste näide:

katoodi mass enne katset . . . . .	28 360 mg ± 5 mg
voolu tugevus . . . . .	1,80 A ± 0,05 A
aeg . . . . .	900 sek. ± 2 sek.
katoodi mass pärast katset . . . . .	28 870 mg ± 5 mg
eraldunud vase mass . . . . .	510 mg ± 10 mg

järelikult on vase elektrokeemiline ekvivalent

$$K = \frac{510}{1,80 \cdot 900} \approx 0,32 \text{ mg/cal.}$$

Tulemuse relatiivne viga võrdub:

$$\frac{\Delta K}{K} = \frac{10}{510} + \frac{0,05}{1,8} + \frac{2}{900} \approx 0,05 \text{ või } 5\%.$$

Maksimaalne absoluutne viga

$$\Delta K = 0,32 \cdot 0,05 = 0,016 \text{ mg/cal.}$$

Seega

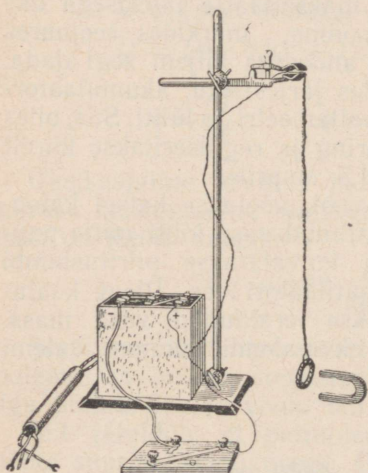
$$K = 0,32 \text{ mg/cal} \pm 0,02 \text{ mg/cal.}$$

#### 45. Magneti ja voolu vastastikuse toime vaatlemine.

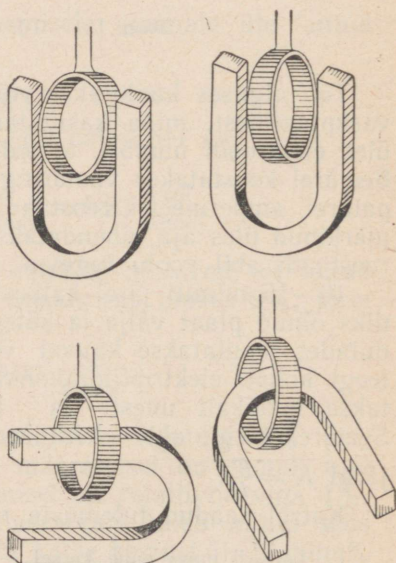
Töövahendid. 1) Statiiv muhvide ja näpitsatega (16).  
2) Akumulaatorpatarei (31). 3) Lülitid (35). 4) Ühendusjuhtmed (väike komp'ekt) (41). 5) Hobuserauakujuline magnet (43).  
6) Traatmähis (47) (joon. 122).

See töö on kvalitatiivse iseloomuga ja kujutab endast vooluga juhtme liikumissuunda määravate seaduste praktilist rakenduste rida magnetväljas erinevatel tingimustel.

Enne katsete teostamist riputatakse traatmähis statiivi näpitsa külge, nagu on joonisel näidatud, ja ühendatakse lüliti kaudu aku-



Joon. 122. Töövahendid töö nr. 45 juurde.



Joon. 123. Vooluga pooli ja hobuserauakujulise magneti asendid.

mulaatorpatareiga. Mähise juurde viiakse hobuserauakujuline magnet; alguses asetatakse ta meelvaldselt. Vool lülitatakse sisse ja vaadeldakse mähise üht- või teistsugust liikumist. Seejärel valitakse mähise ja magneti paljude võimalike suhteliste asendite variantidest neli asendit, mis on kujutatud joon. 123. Iga näidatud juhuse kohta lahendatakse eraldi küsimus sellest, kuidas liigub mähis ühe või teise voolu suuna puhul.

Magnetvälja jõujoonte suuna leiavad õpilased kergesti pooluste nimetuste järgi (magnetspektreid uuriti VII klassi laboratoorseses töödes). Voolu suund traatmähises määratakse kindlaks patarei klemmidel olevate tähistete + ja - järgi.

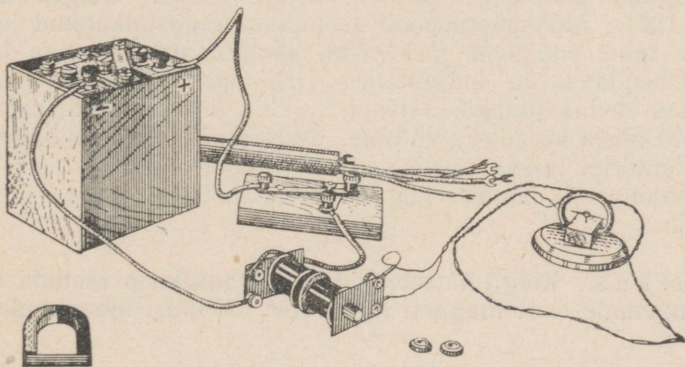
Teades magneti magnetvälja suunda sellel kohal, kuhu on asetatud mähis, ja voolu suunda mähises, määratakse enne mitmesuguste teadaolevate seaduste järgi kindlaks mähise liikumise suund ja iseloom. Seejärel lülitatakse vool sisse ja kontrollitakse katsega iga kord oma määramise tõelevastavust.

Joonistel, mida õpilased valmistavad töö teostamise ajal oma vihikutesse, peab olema näidatud magnetvälja suund, voolu suund ja mähise liikumine. On väga tähtis, et õpilased märgiks mähise liikumise järgmised staadiumid: tema pöördumine, tõmbumine ühele poolustest, asetumine magneti suhtes ja lõpuks, neutraaljoonele (magneti keskkohal) liikumine, kus ei ole märgata mähise mingisugust liikumist.

Teostatud vaatluse üldist järeldust võib lõppkokkuvõttes formuleerida järgmiselt: voolust läbitav traatmähis asetub oma liikumisel magnetväljas alati selliselt, et teda läbiks suur arv jõujooni.

#### 46. Elektromagnetilise induksiooni uurimine.

Töövahendid. 1) Akumulaatorpatarei (31). 2) Lülit (35). 3) Südamikuga traatpool (2 tk.) (36). 4) Hobuserauakujuline magnet (43). 5) Ühendusjuhtmed (väike komplekt) (41). 6) Magnetnõel alusel (45). 7) Traatmähis (47) (joon. 124).



Joon. 124. Töövahendid töö nr. 46 juurde

Töö on kvalitatiivse iseloomuga ja koosneb järgmistest omaette katsetest:

1) Induktsioonvoolu saamine pooli liikumisel püsivmagneti väljas.

2) Induktsioonvoolu saamine voolu sisse- ja väljaliikumisel pooli primaarmähises.

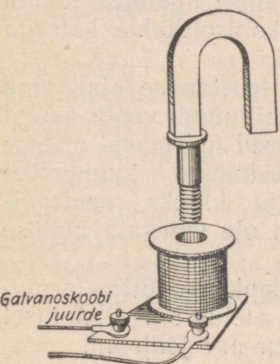
Indikaatorina induktsioonvoolu avastamiseks kasutatakse lihtsaimat galvanoskoopi, mis on koostatud traatmähisest ja magnetnõelast alusel ning on näidatud joonisel paremal.

Esimese katse teostamiseks ühendatakse galvanoskoobi otsad raudsüdamikuga pooli klemmide külge ja seatakse galvanoskoop

nõnda, et tema nõel asetseks traatmähise tasapinnas (piki magnetilist meridiaani). Võetakse südamik poolist välja ja olles teda lähendanud ühele hobuserauakujulise magneti poolustest, asetatakse uuesti pooli sisse (joon. 125); seejuures kaldub galvanoskoobi nõel märgatavalt kõrvale.

Kasutades kruvi ja vasaku käe reegleid, määratakse nõela kõrvalekaldumise järgi induktsioonvoolu suund galvanoskoobi poolis, seejärel aga temaga ühendatud pooli keerdudes. Induktsioonvoolu suuna järgi määratakse kindlaks tema magnetvälja jõujoonte suund ja veendutakse selles, et see väli on vastupidise suunaga pooli kujuneva magnetvälja suunale, millega tõendatakse Lenzi reegli kehtivust.

Analoogiliselt uuritakse teist juhust, kui induktsioonvool tekib poolist magneti väljavõtmisel. Teise katse teostamisel asetatakse galvanoskoobiga ühendatud pool küljeli ja tema kõrvale asetatakse teine



Joon. 125. Pooli, raudsüdamiku ja magneti asetus elektromagnetilise induktsiooni-alasel katsel.

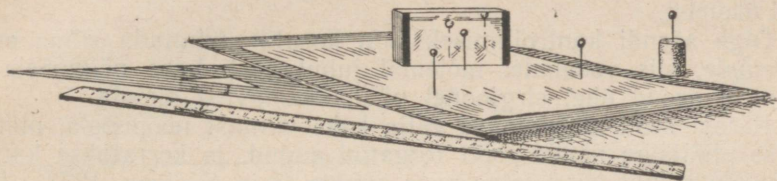
samasugune poolikene, nii et nende teljed langeksid ühte (joon. 124). Mõlemasse pooli asetatakse raudsüdamikud ja ühendatakse teine poolikene järjestikku akumulaatorpatareiga ja lülitiga. Ühendades ja katkestades voolu primaarahelas, saadakse sekundaarahelas induktsioonvool, millest annab tunnistust galvanoskoobi nõela kõrvalekaldumine. Määratakse induktsioonvoolu ja akumulaatorist tuleva voolu suunad ja kontrollitakse Lenzi reeglit induktsioonvoolu saamise juhtude jaoks ahela sulgemisel ja katkestamisel.

M ä r k u s. Kõigil katsetel tuleb galvanoskoop asetada magnetist kaugemale, sest magneti mõju võib tulemusi moonutada.

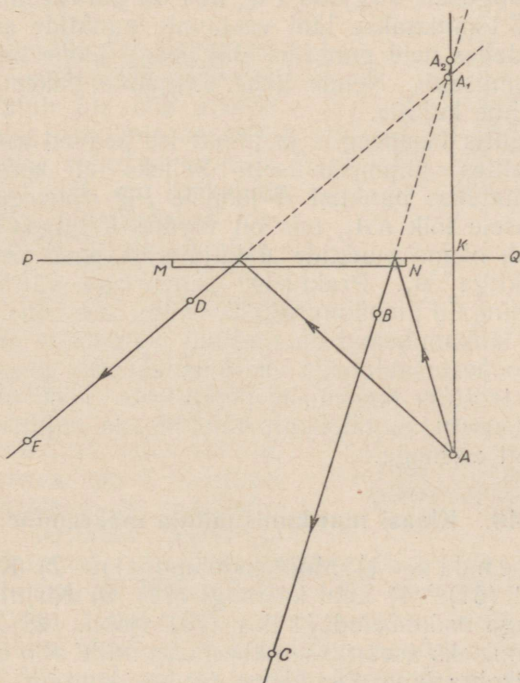
## 47. Kujutise konstrueerimine tasapeeglis.

Töövahendid. 1) Mõõtejoonlaud (1). 2) Kolmnurk (2). 3) Tasapeegel (50). 4) Leht kartongi (72). 5) Kirjutuspaber (73). 6) Suure peaga nõõpnõelad (4 tk.) (75) (joon. 126).

Ülesanne, mida õpilased lahendavad antud töö teostamisel, seisneb selles, et konstrueerida punkti näilist kujutist tasapeeglis ja kontrollida katsel näilise kujutise sümmeetrilist asendit peegli tasapinna suhtes.



Joon. 126. Töövahendid töö nr. 47 juurde.



Joon. 127. Näilise kujutise konstrueerimine tasapeeglis.

Kartongile asetatud paberile pannakse puuklotsist alusel tasa-pegel, nagu on näidatud joonisel 126, ja torgatakse paberisse vertikaalasendis nõõpnõel *A* selliselt, et tema kujutis oleks nähtav peeglis (joon. 127). Seejärel teise kohta, kuid peegli lähedale, torgatakse nõõpnõel *B* ja võimalikult suuremasse kaugusesse — nõõpnõel *C*. Viimased kaks nõõpnõela ja *A* kujutis peavad asetsema ühel sirgjoonel.

Selleks et võimalikult täpselt paigutada nõõpnõelu piki sirgjoont, tuleb asetada silm paberi tasapinnale ja vaadeldes ühe silmaga saavutada selline nõõpnõelte asend, mille puhul nad katavad üksteist.

Õige asendi kontrollimiseks on kasulik nihutada silma enne paremale, siis vasakule; mõlemal juhul peab kahe nõõpnõela ja kujutise asend ühel sirgjoonel näima samaviisi õigena.

Pärast seda mõõdetakse välja kaks viimast nõõpnõela, märgitakse pliiatsiga nende poolt torgatud augud, ja korratakse katset, et saada samal viisil teine paar punkte *D* ja *E* (joon. 127). Piki peeglit tõmmatakse teritatud pliiatsi abil sirgjoon *MN*, ja olles peegli paberilt ära võtnud, asutakse kujutise konstrueerimisele.

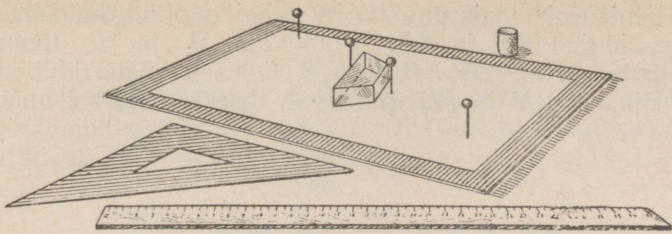
Peegelduspinnaks osutub peegli tagakülg, seepärast mõõdetakse joonlaua abil klaasi paksus ja joonestatakse kolmnurga ja joonlaua abil sellele kaugusele sirgjoon *PQ*, mis on paralleelne sirgjoonega *MN*. Seejärel tõmmatakse läbi vastavate punktide sirgjooned *BC* ja *DE*, pikendades neid punktiiri abil peegli joone taga kuni omavahelise lõikumiseni. Nende kahe sirgjoone lõikepunkt *A* ongi punkti *A* näiline kujutis.

Punkti kujutis tasapeeglis ja punkt ise peavad asetsema peegli tasapinna suhtes sümmeetriliselt. Selleks et kontrollida seda asendit, tõmmatakse punktist *A* joonele *PQ* ristsirge ja kantakse tema pikendusele lõik *KA<sub>2</sub>*, mis on võrdne lõiguga *KA*. Saadud punkt *A<sub>2</sub>* peab olema punktide *A* kujutis ja peab järelikult kokku langema punktiga *A<sub>1</sub>*. Praktikas esineb aga vältimatult nende punktide mõningaid lahkuminekuid, nagu see on näidatud ka joonisel 127; lahkuminekud on tingitud nõõpnõelte ebatäpsest paigutamisest, joonestusabinõude ebatäiuslikkusest, peegli ebatasasusest ja katse teostaja kogemuste puudusest. Siiski on lahkuminek sedavõrd tähtsusetu, et täielikult võib lugeda kujutist asetsevana sümmeetriliselt esemega.

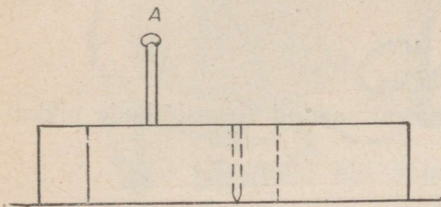
#### 48. Klaasi murdumisnäitaja määramine.

Töövahendid. 1) Mõõtejoonlaud (1). 2) Kolmnurk (2). 3) Klaasplaat (51). 4) Leht kartongi (72). 5) Kirjutuspaber (73). 6) Suure peaga nõõpnõelad (4 tk.) (75) (joon. 128).

Töö teostamiseks asetatakse paberilehe, mille alla on paigutatud kartong, keskohta klaasplaadikene (mille kontuur on trapetsikujuline) ja torgatakse tema taha vertikaalses asendis nõõpnõel. Silm asetatakse laua tasapinnale ja jälgides nõõpnõela läbi klaasi,



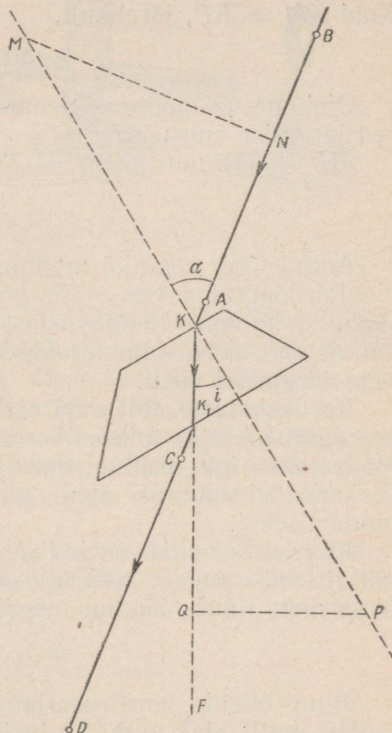
Joon. 128. Töövahendid töö nr. 48 juurde.



Joon. 129. Klaasplaadi ja nõõpnõela aetus valguse murdumise vaatlemiseks klaasis.

pööratakse plaadikest. Seejuures vaadeldakse nõõpnõela ülemise otsa, mis ulatub üle ühe plaadikese ja alumise osa, mis on nähtav läbi klaasi, suhte'ist asetust. Kui vaadeldav pilt on ligikaudu niisugune nagu on näidatud joonisel 129, kus on kujutatud nõõpnõel *A*, nagu ta on näha plaadi kohal ja läbi klaasi, torgatakse sisse nõõpnõel *B*, seejärel *C* ja *D* (joon. 130), kusjuures kõigi nelja nõõpnõela alumised otsad peavad vaatlejale paistma ühel sirgjoonel.

Olles nõõpnõelad välja võtnud, märgitakse nende poolt torgatud augud ringikestega ja joonestatakse hästi teritatud pliiatsiga plaadikese kontuurid. Seejärel võetakse plaat paberilt ära ja asutakse katse tulemuste töötlemisele. Läbi punktide *A* ja *B*, seejuures läbi *C* ja *D* tõmmatakse sirgjooned nende lõikumiseni trapetsi vastavate alustega, mis kujutavad endast plaadi murdvaid tasapindu. Lõikepunktid *K* ja *K<sub>1</sub>*, ühendatakse sirgjoonega ja pikendatakse seda punktiirjoonega kuni lehe ääreni. Läbi punkti *K* tõmmatakse punktiirjoonega plaadi servale perpendikulaarne sirg-



Joon. 130. Valguskiirte käik tasaparalleelses plaadis.

joon ja kantakse temale punktist  $K$  vabalt valitud, kuid ühesuguse pikkusega lõigud  $KM$  ja  $KP$ . Punktidest  $M$  ja  $P$  tõmmatakse perpendikulaarid kiirtele  $KB$  ja  $K_1E$ . Olles joonlaua abil mõõtnud saadud lõikude  $MN$  ja  $PQ$  pikkused, leitakse klaasi murdumisnäitaja

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin i},$$

$$\text{kus } \sin \alpha = \frac{MN}{KM}, \text{ aga } \sin i = \frac{PQ}{KP}.$$

Siis

$$n = \frac{MN \cdot KP}{KM \cdot PQ}.$$

Kuid  $KM = KP$ , järelikult,

$$n = \frac{MN}{PQ}.$$

Oletame, et mõõtmistulemusena on saadud siinuslõikude pikkused järgmise suurusega:

$MN = 112$  mm ja  $PQ = 73$  mm; siis

$$n = \frac{112}{73} \approx 1,53.$$

Antud töö, nagu ka mõningatel teistel töödel, on see iseärasus, et viga lõpptulemusel ei ole põhjustatud mitte sedavõrd mõõtmiste vigadest, kuivõrd ebatäpsustest nõopnõelte paigutamisel ja joonise valmistamisel. Niisugustes töödes leitakse maksimaalne absoluutne viga järgmisel viisil.

Korduskatsete abil määratakse otsitav suurus (antud juhul murdumisnäitaja) mitmel korral ja leitakse tema keskmine väärtus. Määratakse iga üksiktulemuse absoluutne viga, seejuures aga — keskmine absoluutne viga, mida kasutatakse saadud tulemuse hindamiseks<sup>1</sup>.

Kirjeldatud viisil on leitud, et relatiivne viga klaasi murdumisnäitaja määramisel võib ulatuda kuni 10%. Järelikult tuleb piirduda meie näites lõpliku tulemuse märkimisel teise numbriga, s. o.

$$n = 1,5 \pm 0,1.$$

Siinuslõikude konstrueerimise ja nende mõõtmise asemel võib mõõta malli abil nurki ja leides tabelist nende nurkade siinused, määrata nende suhe. Tuleb siiski võtta arvesse, et see menetlus annab halvemaid tulemusi.

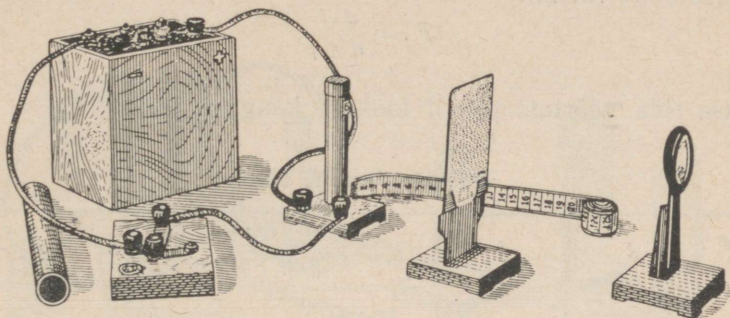
Paberilehte sellele tehtud joonisega on kasulik anda õpilastele koju kaasa, kus nad võivad iseseisvalt teha analoogilist konstrueerimist, kasutades plaadikese teist serva ja leida teistkordselt murdumisnäitaja.

Kahe leitud suuruse võrdlemine annab teostatud töö tulemusel palju õigema hinnangu.

<sup>1</sup> Vt. näidet järgnevas töös.

## 49. Nõguspeegli peafookuse kauguse määramine.

Töövahendid. 1) Mõõtelint (3). 2) Akumulaatorpatarei (31). 3) Kattega lamp alusel (32). 4) Lüliti (35). 5) Ühendusjuhtmed (väike komplekt) (41). 6) Nõguspeegel (56). 7) Mattklaas (57) (joon. 131).

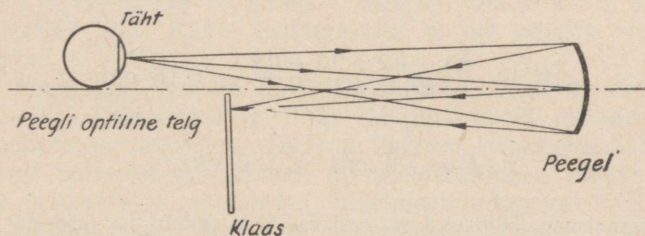


Joon. 131. Töövahendid töö nr. 49 juurde.

Töö teostamiseks ei ole vajalik klassiruumi pimendada. Algu- ses koostatakse vooluring lambist, akumulaatorpatareist ja lüli- tist; lambile antakse kate tähega ülespoole ja lülitatakse vool sisse. Valgustatud täht on «esemeks» tema kujutise saamiseks.

Seejärel asetatakse tähe ette 20—30 cm kaugusele nõguspeeg- el, tähe ja peegli vahele aga mattklaas, mida kasutatakse ekraa- nina. Ekraani liigutatakse edasi-tagasi ja püütakse saada sellel tähe terav kujutis.

Mattklaas ei tohi tähte ja peeglit omavahel varjata, seepärast asetatakse peegel nõnda, et tema optiline peatelg läheks tähe ja mattklaasi serva vahelt, nagu see on näidatud joonisel 132 (seadeldise pealtvaade).



Joon 132. Valgusallika, nõguspeegli ja ekraani asetuse tõelise kujutise saamiseks. (Joonisel — täht; peegli optiline peatelg; mattklaas; peegel.)

Fookustamisel vajaliku teravuse saavutamiseks on parem vaadelda tähe kujutist mattklaasil läbimineva valguse juures; sel eesmärgil asetatakse silm peegli vastaspool asetseva mattklaasi külje juurde. Olles saanud terava kujutise, mõõdetakse kaugus  $d$  — tähest kuni peegli ja  $f$  — peeglist kuni kujutiseni. Seejärel korratatakse katset mitu korda ja kirjutatakse tulemused tabelisse.<sup>1</sup>

Kasutades valemit

$$F = \frac{d \cdot f}{d + f},$$

leitakse rida väärtusi peegli fookuse kauguse jaoks.

Mõõtmistulemuste tabel.

Katse nr.	$d$	$f$	$F = \frac{d \cdot f}{d + f}$	$\Delta F = F_k - F$
1	50 cm	8 cm	$\frac{50 \cdot 8}{58} \approx 6,9$ cm	0,1 cm
2	41 „	8,5 „	$\frac{41 \cdot 8,5}{49,5} \approx 7,0$ „	0 „
3	11 „	21 „	$\frac{11 \cdot 21}{32} \approx 7,2$ „	0,2 „
4	14,5 „	14,5 „	$\frac{14,5 \cdot 14,5}{29} \approx 7,3$ „	0,3 „
5	350 „	7 „	$\frac{350 \cdot 7}{357} \approx 6,8$ „	0,2 „

Lõpliku tulemuse saamiseks leitakse saadud fookuse kauguste aritmeetiline keskmine ja üksik tulemuste absoluutsete suuruste aritmeetilise keskmise kõrvalekaldumine keskmisest tulemusest:

$$F_k = \frac{6,9 + 7,0 + 7,2 + 7,3 + 6,8}{5} \approx 7,0 \text{ cm},$$

$$\Delta F = \frac{0,1 + 0,2 + 0,3 + 0,2}{5} \approx 0,16 \text{ cm}.$$

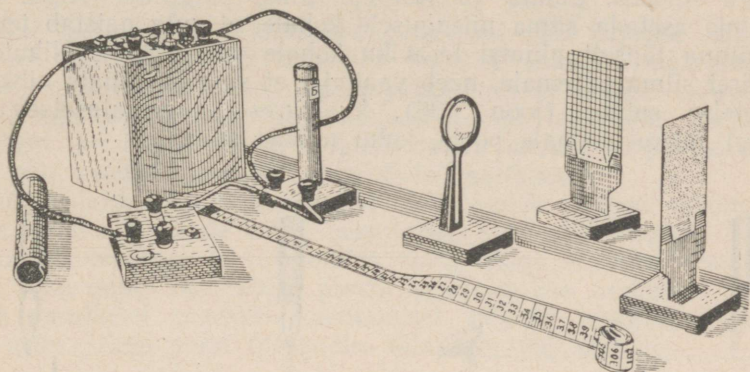
Seega

$$F = 7,0 \text{ cm} \pm 0,2 \text{ cm}.$$

<sup>1</sup> Viimase katse tulemused võimaldavad ilma arvutuseta määrata küllaldase täpsusega  $F$  väärtuse. Selle katse korraldamiseks võetakse lambilt kate ja asetatakse peegel nõnda, et saadakse klassi seinal lambi hõõgniidi kujutis. Kui kaugus seinani on küllalt suur (meie näites 3,5 m), siis asetseb lamp peeglist ligikaudu fookuse kaugusel.

## 50. Kumerlääitse peafookuse kauguse määramine.

Töövahendid. 1) Mõõtelint (3). 2) Renn (19). 3) Akumulaatorpatarei (31). 4) Kattega lambike alusel (32). 5) Lüliti (35). 6) Ühendusjuhtmed (väike komplekt) (41). 7) Kaksikkumerlääits (53). 8) Mattklaas (57). 9) Millimeetrivõrguga klaas (58) (joon. 133).



Joon. 133. Töövahendid töö nr. 50 juurde.

Selles töös püstitatakse kaks ülesannet: 1) Kumerlääitse peafookuse kauguse määramine. 2) Eseme tõelise kujutise asukoha määramine parallaksi meetodil.

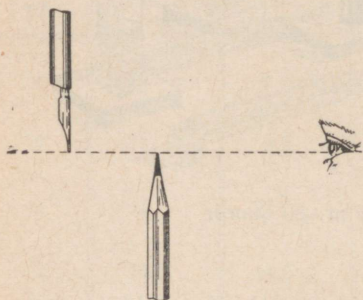
Selle töö esimene osa erineb vähe nõguspeegli peafookuse kauguse määramisest, kuid on palju hõlpsam teostada, sest siin on võimalik juhtjoonlauana kasutada töövahendite komplektist renni, mis on ette nähtud töödeks mehaanika alal. Piki seda renni asetatakse tihedalt tema vastu kattega lambike, lääts ja mattklaas. Mattklaasil saadakse tähe terav kujutis, ja olles mõõtnud kaugused, arvutatakse peafookuse kaugus samal viisil, nagu see tehti eelmises töös. Katse teostamiseks ei ole vajalik klassiruumi pimendada.

Töö teises osas peavad õpilased õppima eraldama tõelisi kujutisi näilistest kujutistest ja ilma läbipaistmatut ekraani kasutamata üles otsima koha, kus tekivad tõelised kujutised. Sel eesmärgil peavad õpilased mattklaasi, mida kasutatakse tõelise kujutise asukoha leidmiseks, asendama millimeetrivõrguga kaetud läbipaistva klaasiga, mis on sobiv parallaksi meetodil tõeliste kujutiste leidmiseks.

See menetlus väärrib erilist tähelepanu, kuna ta osutub ainukeks võimalikuks viisiks pimendamata ruumis tõelise kujutise asu-

koha kindlaksmääramiseks, kui see pole mitte ise valgusallikaks<sup>1</sup>. Peale selle tuleb arvesse võtta, et enamikel juhtumel vaadeldakse optilistes riistades tõelisi kujutisi ilma mattklaasita või ekraanita (teleskoop, mikroskoop, fotoaparaadi pildiotsija, stereoskoop, sihtimiseadeldised, spektroskoop jms.).

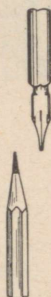
Menetluse põhimõte seisneb järgnevas. Silmast erinevatel kaugustel asetseva kahe eseme vaatlemisel ühe silmaga tekib nende kahe eseme näiv nihkumine teineteise suhtes, kui silma asukohta pisut muuta. Selgitame seda näite abil. Joonis 134 kujutab sulega sulepea, pliiatsi ja vaatleja silma paigutust. Algul võib vaatleja asetada silma niisugusele kohale, et sulg paistab temale asetatuna täpselt pliiatsi teraviku kohale (joon. 135). Nihutades seejärel silma paremale, näeb vaatleja, et sulg ja pliiats nihkusid teineteise suhtes (joon. 136), kusjuures kaugemalasetsev ese (sulg) nihkus samale poole, kuhu nihkus silm.



Joon. 134. Sule, pliiatsi ja silma  
asetus ühel sirgjoonel.



Joon. 135. Pliiats  
ja sulg langevad  
ühte.



Joon. 136. Pliiats  
ja sulg on parallaksi  
tõttu teineteise  
suhtes nihkunud.

Joonisel 135 kujutatud pilt ei anna selgust selles suhtes, kumb esemetest on asetatud silmale lähemale, kuid on vaja ainult silma nihutada ja küsimus lahendub kiiresti: kui vastastikust ümberasetumist ei toimu, tähendab, mõlemad esemed asetsevad võrdsetel kaugustel; kui esemed nihkuvad teineteise suhtes, siis asetseb see ese kaugemal, mis nihkub teise suhtes samale poole, kuhu nihkus silm.

Antud töös parallaksi meetodi rakendamiseks kasutatakse eelmisest tööst säilinud seadmete asetust, kuid mattklaas, mille saadi tähe terav kujutis, asendatakse läbipaistval klaasil kujun-

<sup>1</sup> Optikaalaste tööde tavalisel korraldamisel tekib õpilastel mulje, et kujutise saab ainult valgusallikatest ja tingimata ekraanil.

datud võrguga. Veendutakse, et nüüd võib näha kujutist ainult sel juhul, kui asetada silm võrgu taha optilisele peateljele. Kujutis on näha ainult läätsel foonil ja vaatleja silma nihutamisel ei nihku ta võrgu suhtes — see on tunnuseks sellest, et võrk ja tähe kujutis langevad täpselt kokku.

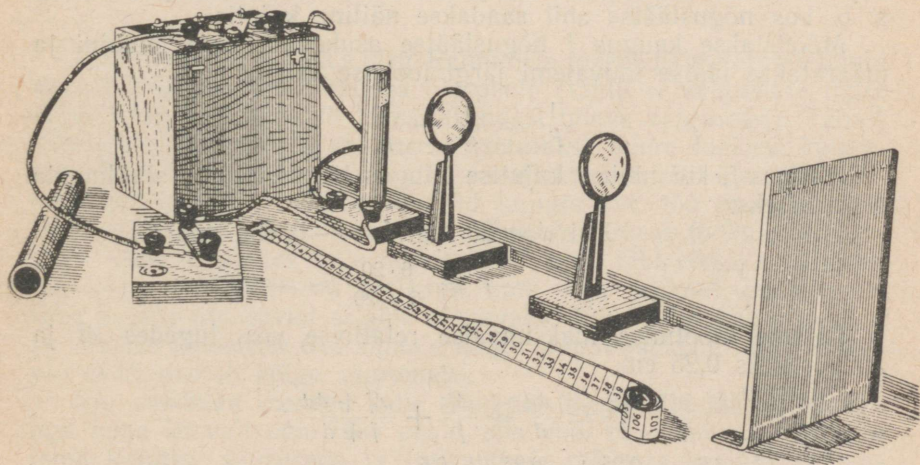
Võrk asetatakse läätselt kaugemale ja silma nihutatakse pisut üles- või allapoole. Pannakse tähele, et nüüd nihkuvad võrk ja kujutis teineteise suhtes. Võrk asetatakse uuesti niisugusesse asendisse, et parallaksi ei ole märgata — see annab õiguse märkida, et jällegi on leitud kujutise täpne asukoht.

Kui õpilastel on omandatud parallaksi abil kujutise leidmise meetod, siis tuleb seda kasutada kujutise asukoha määramiseks klassis asetseva mistahes eseme puhul, mis ei ole ise valgusallikaks, aga veel parem on kasutada samal lambitulel asetsevat tähekest, kuid kustutatud valguse puhul, selleks et pärast oleks võimalik saadud tulemusi kontrollida mattklaasil.

On vajalik pidada meeles, et lääts annab väikese moonutise, kuna kujutis ei saada mitte tasapinnal, vaid mingisugusel kõverpinnal. Sellepärast ei tule otsida mitte kogu kujutise asukohta, vaid selle mingi osa, kõige parem keskmise osa asukohta. Nõnda tuleb parallaksi meetodi kasutamisel jälgida kujutise keskosa, nihutades silma pisut ülespoole, allapoole või kõrvale.

### 51. Nõgusläätsel peafookuse kauguse määramine.

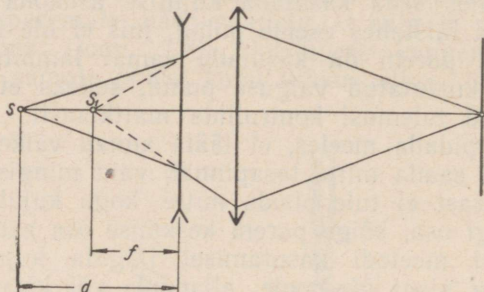
Töövahendid. 1) Mõõtelint (3). 2) Renn (19). 3) Akumu-  
laatorpatarei (31). 4) Kattega lambike alusel (32). 5) Lüliti (35).  
6) Ühendusjuhtmed (väike komplekt) (41). 7) Valge ekraan (52).  
8) Väikese fookuse kaugusega kaksikkumer lääts (54). 9) Kaksik-  
nõgus lääts (55) (joon. 137).



Joon. 137. Töövahendid töö nr. 51 juurde.

Selle tõttu et nõguslääts annab ainult näilise kujutise, mille asukohta pole võimalik vahetult ekraani abil määrata, on otstarbekas kasutada läätsede fookuse kauguse määramisel kaudset meetodit, kasutades kumerläätsi.

Selleks asetatakse põleva lambi ja ekraani vahele vastu renni nõguslääts ning tema ja ekraani vahele aga väikese fookuse kaugusega kumerlääts. Nihutades kumerläätsi ja ekraani, püütakse saada ekraanil lambi hõõgniidi teravat kujutist heleda punktina või ribana. Seadeldise skeem ja kiirte käik on näidatud joonisel 138. Pärast seda asetatakse rennile mõõtelint ja mõõde-



Joon. 138. Läätsede, valgustusallika ja ekraani asetuse skeem nõgusläätsede fookuse kauguse määramisel.

takse kaugus nõgusläätselt kuni lambini. Seejärel eemaldatakse nõguslääts; kujutis kaob ekraanilt. Lambi nihutatakse kumerläätselt järjest lähemale, kuni uuesti tekib ekraanil hõõgniidi terav kujutis. Ilmselt toimub see sel juhul, kui lamp asetseb punktis  $S_1$ , s. o. kus nõgusläätsi abil saadakse näiline kujutis.

Mõõdetakse kaugus  $f$  nõgusläätsi asukohast kuni lambini ja määratakse läätsi üldvalemi järgi fookuse kaugus

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}.$$

Kaugus  $f$ , kui näilise kujutise kaugus läätselt, tuleb siin lugeda negatiivseks.

Kui  $d = 20$  cm,  $f = -6$  cm, siis

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{20} - \frac{1}{6}; \quad F = \frac{6 \cdot 20}{6 - 20} \approx -8,6 \text{ cm.}$$

Leiame mõõtmise maksimaalse relatiivse vea, lugedes  $\Delta f$  ja  $\Delta d$  võrdseks 0,25 cm,

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta f + \Delta d}{f + d};$$

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{0,25}{20} + \frac{0,25}{6} + \frac{0,5}{14} \approx 0,09 \text{ või } 9\%.$$

Siit

$$\Delta F = 8,6 \cdot 0,09 \text{ cm} \approx 0,8 \text{ cm},$$

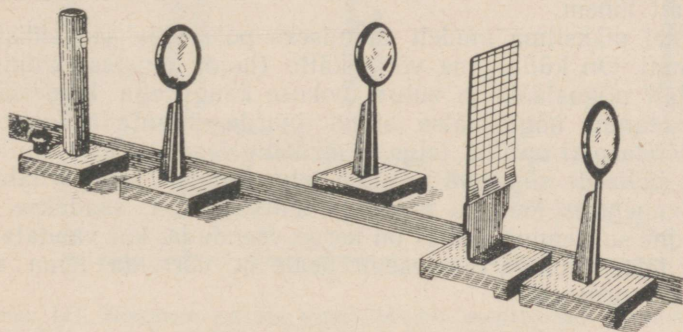
järelikult

$$F = -8,6 \text{ cm} \pm 0,8 \text{ cm}.$$

Seda tööd, nagu ka eelmisi, võib teostada pimendamata ruumis, asetades seadeldise sedaviisi, et ekraan oleks võimaluse pii-rides kaitstud akendest tuleva otsese valguse eest.

## 52. Kepleri pikksilma, mikroskoobi ja Galilei pikksilma mudelite koostamine.

Töövahendid. 1) Kattega lambike alusel (32). 2) Renn (19). 3) Suure fookuse kaugusega kaksikkumer lääts (53). 4) Väikese fookuse kaugusega kaksikkumer lääts (54). 5) Kaksiknõgus lääts (55). 6) Millimeetri võrguga klaasplaat (58) (joon. 139).



Joon. 139. Töövahendid töö nr. 52 juurde.

1) Kepleri pikksilm. Renni otsa juurde paigutatakse lambi alus kattega, asetatud tähega ülespoole (tähte ei valgustata mitte lambi abil, vaid vahetult klassi akendest tuleva valgusega). Tähest võimalikult suuremale kaugusele asetatakse suure fookuse kaugusega lääts ja otsitakse võrgu abil parallaksi meetodil üles tähe tõeline, vähendatud ja ümberpööratud kujutis (vt. töö nr. 50). Seejärel asetatakse võrgu taha tema lähedale väikese fookuse kaugusega lääts. Vaadates selle läätse nagu luubi läbi võrgule, liigutatakse läätse pikkamööda senikaua, kuni võrk ja koos temaga ka tähe kujutis muutuvad selgelt nähtavaks. Nüüd võetakse võrk ära ja leitakse katselisel teel silmale kõige parem asukoht, mille juures vaateväli osutub kõige suuremaks.

Kui vaade'lda korruga kahe silmaga, ühega läbi läätse, teisega aga tema kõrvalt otse tähe peale, siis võib tähe suurust võrrelda tema kujutise suurusega ja ligikaudselt määrata saadud suurenduse.

2) Mikroskoop. Mikroskoobi mudelis kasutatakse objektiiviks väikese fookuse kaugusega lääts, okulaariks aga suure fookuse kaugusega lääts; mõlema lääts fookuse kaugused peavad olema õpilastel enne tööd teada. Objektiiv asetatakse hästi valgustatud tähe juurde, kaugusele, mis on pisut suurem fookuse kaugusest, selleks et saada tähe tõeline, suurendatud ja ümberpööratud kujutis. See kujutis leitakse võrgu abil parallaksi meetodil ja vaadeldakse seejärel läbi okulaari kui läbi luubi. Mida lähemal on täht objektiivile peafookusele, seda suurem on suurendus, koos sellega tekivad kõik märgatavad moonutused, seepärast pole vaja püüda saada liiga suurt suurendust.

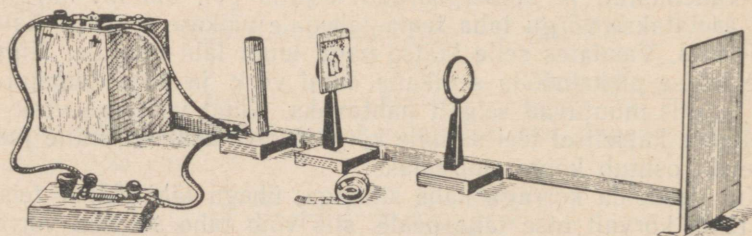
3) Galilei pikksilm. Galilei pikksilm erineb reast teistest optilistest riistadest selle poolest, et temas ei teki vaadeldavast esemest vahepealset tõelist kujutist, kuna objektiivist tulevate koonduvate kiirte kimp satub enne lõikumist nõguslääts, mida kasutatakse okulaarina. Sel viisil annab Galilei pikksilm otsekohe päripidise ja näilise kujutise, mille tõttu ta on Kepleri pikksilmast tunduvalt lühem.

Galilei pikksilma mudeli saamiseks pole vaja seadeldist koostada laual. On küllaldane võtta kätte (hoida alustest kinni) kokkupandult nõguslääts ja suure fookuse kaugusega kumerlääts ja olles asetanud nõguslääts silma juurde, liigutada kumerlääts pikkamööda piki optilist telge, kuni kaugelasetsev ese, millele on juhitud läätsede süsteemi optiline telg, muutub selgelt nähtavaks.

Töövahendite loetelus näidatud läätsede abil saadakse umbes 1,5-kordne suurendus. Selles on kerge veenduda, kui vaadata samaaegselt teise silmaga otse eseme peale ja võrrelda tema suurust kujutise suurusega.

### 53. Projektsiooniaparaadi mudeli koostamine.

Töövahendid. 1) Mõõtelint (3). 2) Renn (19). 3) Akumulaatorpatari (31). 4) Katttega lambike alusel (32). 5) Lülitid (35). 6) Ühendusjuhtmed (väike komplekt) (41). 7) Valge ekraan (52). 8) Suure fookuse kaugusega kaksikkumer lääts (54). 9) Diapositiivi hoidja (59) diapositiiviga 45 mm × 60 mm (joon. 140).

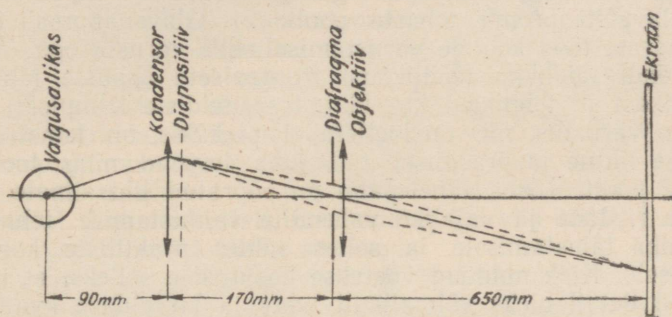


Joon. 140. Töövahendid töö nr. 53 juurde.

Seadeldise peamisteks osadeks on valgusallikas, kondensor, diapositiiv, objektiiv diafragma ja ekraan.<sup>1</sup> Kondensori kasutuselevõtmisega pole vaja suure valgustugevusega objektiivi, mistõttu tavaliselt objektiiv varustatakse diafragma. Meie seadeldises kasutatakse objektiiviks suure fookuse kaugusega lääts, millele on vaja asetada läbipaistmatu paberileht umbes 10 mm-lise läbimõõduga ümmarguse avaga.

Seadeldise koostamiseks asetatakse piki renni lambikene, millele on peale pandud kate (pilu ülespoole), väikese fookuse kaugusega lääts koos diapositiiviga, mis on kinnitatud kuue klambri abil, suure fookuse kaugusega lääts diafragma ja ekraan.

Joonisel 141 on kujutatud seadeldise skeem; seal on ligikaudselt näidatud üksikosade vahelised kaugused. Läätsede fookuste kaugused on 70 mm ja 135 mm.



Joon. 141. Seadmete asetuse skeem projektsiooniaparaadi koostamiseks. (Joonisel — valgusallikas; kondensor; diapositiiv; diafragma; objektiiv; ekraan.)

Lamp ühendatakse lüliti kaudu akumulaatorpatareiga ja suletakse ahel. Selleks et saada ekraanil teravat kujutist, liigutatakse objektiivi piki renni ühele või teisele poole.

Sel viisil ekraanil saadud diapositiivi kujutis võib osutada ebahühtlaselt valgustatuks. Sel puhul nihutatakse pisut kondensorit ja valgusallikat ja püütakse saavutada kõige selgemat ja ühtlasemalt valgustatud kujutist. See esineb sel juhul, kui hõõgniidi tõeline kujutis, mis on saadud kondensori abil, satub diafragma avasse.

Õpilased peavad oma aruandes ära tooma koostatud seadeldise skeemi, näitama sellel kiirte käigu ja üksikosade vahelised kaugused.

<sup>1</sup> Valgusallika paremaks ära kasutamiseks võetakse mõnikord kasutusele ka reflektor.

Tänapäeval osutub hädavajalikuks võtta meie keskkoolis laialdaselt kasutusele frontaalsed laboratoorsed tööd füüsika alal. Vastavalt nüüdisaegsetele metoodilistele seisukohtadele, mis on praktikas kontrollitud, peab see viima järsule ja märgatavale kvaliteedi paranemisele füüsika õpetamise alal; see aitaks tõsiselt kaasa mitte sõna vaid teoga võitluseks «kriidi» metoodikaga füüsika õpetamises, mis külvab formalismi õpilaste teadmistesse; s. t. paljude füüsikaliste nähtuste olemuse enda sügavama mõistmise puudumist. Frontaalsetes õppetundides omandavad õpilased esimesi praktilisi kogemusi, mis edaspidi võivad normaalselt edasi areneda ja täiustuda.

Füüsika-alaste frontaalsete laboratoorsete õppuste kiire juurutamine keskkoolis nõuab järgmise kolme tingimuse täitmist: 1) Kogu varustuse komplekti õigeaegset omandamist ja valmistamist Glavutštehprom'i tehaste poolt. 2) Glavsnabpros'i õiget ja plaanipärast tööd koolide varustamisel selle varustusega. 3) Õpetajate endi täielikku teadlikkust frontaalsete õppuste läbiviimise metoodikast ja tehnikast kirjeldatud seadeldiste komplekti abil.

Kogu varustus, mis on loetletud I peatükis, on konstruktsioonilt õige lihtne ja praegusel ajal juba levinud ning toodetakse tööstuse poolt. Tõsist tähelepanu on pööratud lihtsaimate laboratoorsete riistade ja vajalike vahendite valmistamise tehnoloogia ja tehnika täiustamisele ja selles suhtes praktiliste kogemuste kogumisele. Kõik abinõud võetakse kasutusele selleks, et iga valmistatud detail oleks võimalikult odav ja küllaldase kvaliteediga ja et iga seitsmeklassiline kool ja keskkool võiks esialgu omandada frontaalsete tööde I järjekorra varustuse komplekti, aga järgnevate 2—3 aasta jooksul II ja III järjekorra varustuse, ilma organiseerimisperioodi pikaksvenitamisetä.

Tööstuse poolt väljalastud frontaalse varustuse ostmise juures kaubandusvõrgust võib praktikas esineda mitmesuguseid võimalusi.

Uhel juhul neist võib seitsmeklassiline kool või keskkool, aga samuti ka pedagoogilised ja õpetajate instituudid ning õpetajate täiendusinstituudid korruga tellida kogu varustuse komplekti. Teisel juhul — algul ainult I järjekorra, seejärel aga II ja III järjekorra varustuse, või algul kahe esimese järjekorra varustuse ja siis III. Kolmandal juhul, mis tõenäoliselt kujuneb kõige sagedamalt esinevaks, valivad füüsikaõpetajad koolide jaoks laboratoorse varustuse komplekti iseseisvalt üksikute detailide kaupa, kohandades neid füüsikakabinetis juba olemasolevate seadmetega. Seejärel tuleb Glavsnabpros'il töötada välja niisugune süsteem koolide varustamiseks frontaalsete laboratoorsete õppevahenditega, mis täielikult kõrvaldaks senini teadaolevad raskused üksikute detailide ja tervete valitud komplektide ostmisel. Seejuures on tarvis seadmete tootmise plaanis võtta arvesse, esiteks, et labo-

ratoorne varustus kulub kiiremini kui näiteks demonstratsiooni-seadmed, ja tuleb sel viisil igal aastal osaliselt täiendada, teiseks, et seadmete kohalesaatmiseks ettenähtud taarat võib seal, kus see on võimalik, kasutada ka kastidena seadmete hoidmiseks füüsikakabinetis. Teisi hoidekaste võib lihtsalt sel viisil iseseisvalt valmistada.

Siiski võivad tööstuse poolt toodetavad ja koolide poolt ostetavad laboratoorsed seadmed tuua maksimaalset kasu ainult sel puhul, kui füüsikaõpetajad on frontaalsete laboratoorsete tööde teostamise meetodikas ja tehnikas vajalikul määral ette valmistatud.

Noored algajad õpetajad võivad sellist ettevalmistust kergelt saada pedagoogilistes ja õpetajate instituutides, kus igas füüsika meetodilises laboratooriumis peab olema kasutada täielik komplekt eespool kirjeldatud varustust. See annab lõpetavaile üliõpilastele — tulevastele õpetajatele — võimaluse algul omandada vilumust instituudis kõigiks laboratoorseteks töödeks vajalike seadeldiste koostamises (füüsikalise eksperimendi meetodika ja tehnika õppetundides), seejärel aga tutvuda frontaalsete tööde teostamisega selle varustuse abil vahetult kooli tingimustes.

Tuleb märkida, et kogu esimeses peatükis kirjeldatud varustuse komplekt on väga portatiivne. Ühe või kahe töö teostamiseks vajaminevaid seadmeid ja juurdekuuluvaid vahendeid võib vajaduse korral ilma raskusteta instituudist üle viia kooli, kus üliõpilased — praktikandid tunde annavad.

Sel viisil võib pedagoogiline praktika laboratoorsete tööde korraldamises teostuda normaalselt isegi neis koolides, kus sellist varustust veel pole.

Need õpetajad aga, kellel on juba staaž, kuid ei ole veel viinud läbi laboratoorseid õppusi füüsika alal ühel frondil, võivad varustuse komplektiga praktiliselt tutvuda õpetajate täiendusinstituutide kaudu, enne kui alustada oma kooli füüsikakabinetide jaoks varustuse valimist.

Kui täiendusinstituudis on täielik komplekt varustust, siis võib sellega iseseisvat tutvumist õpetajatele organiseerida kogu aasta jooksul või korraldada erilisi lühiajalisi kursusi laboratoorse füüsikalise eksperimendi meetodika ja tehnika alal.

Esialgne praktiline tutvumine varustuse komplektiga annab õpetajatele võimaluse esiteks tunduvalt praktilisemalt omas koolis välja valida kogu vajalikku frontaalseteks õppusteks, s. o. kasutades füüsikakabinetis juba olemasolevaid riistu, teiseks teostada frontaalsete õppusi algusest peale võimalikult maksimaalse eduga.

Asja õige korraldamise puhul võivad füüsikaõpetajatele suurt abi osutada kirjeldatud frontaalse varustusega praktilise tutvutamise mõttes ka rajooni pedagoogilised kabinetid oma meetodikute kaudu.

Autorid loodavad, et see raamat osutub kõigil niisugustel juhtumitel kasulikuks käsiraamatuks.

## SISUKORD.

	Lk.
Eessõna I väljaandele . . . . .	3
Eessõna III väljaandele . . . . .	4
Sissejuhatus . . . . .	5
I peatükk.	
Varustus frontaalseteks laboratoorseteks töödeks . . . . .	11
II peatükk.	
Varustuse hoidmise süsteem ja frontaalsete tööde organiseerimine . . . . .	44
III peatükk.	
Frontaalsete laboratoorsete tööde korraldamise meetodika . . . . .	51
IV peatükk.	
Laboratoorsete tööde kirjeldus . . . . .	56
Tööd VI ja VII klassile . . . . .	57
Mõõtmised ja arvutused . . . . .	57
1. Pikkuse mõõtmine, pindala ja ruumala määramine . . . . .	61
2. Anuma mahu ja tahke keha ruumala mõõtmine mensuuriga . . . . .	62
3. Kaalumine kangkaaludel . . . . .	63
4. Vedru gradueerimine ja jõu mõõtmine dünamomeetriga . . . . .	65
5. Tahkete kehade ja vedelikkude erikaalu määramine . . . . .	66
6. Kehade ujumistingimuste selgitamine . . . . .	68
7. Hõõrdumisjõu mõõtmine ja selle võrdlemine keha kaaluga . . . . .	69
8. Jõudude tasakaalu tingimuste selgitamine kangil . . . . .	70
9. Kasuteguri määramine keha tõstmisel mööda kaldpinda . . . . .	72
10. Soojusliku tasakaalu kontrollimine erinevate temperatuuridega vee segamisel . . . . .	73
11. Soojendaja kasuteguri määramine . . . . .	74
12. Naftaliini soojenemise ja sulamise jälgimine ning temperatuuri graafiku ehitamine . . . . .	75
13. Vee soojenemise ja keemise vaatlemine ja temperatuuri graafiku ehitamine . . . . .	79
14. Elektri vooluringi koostamine . . . . .	80
15. Ohmi seaduse kontrollimine vooluringi osas . . . . .	82
16. Takistuse määramine ampermeetri ja voltmeetri abil . . . . .	84
17. Elektrimootori või elektrilambi poolt tarvitatava võimsuse määramine . . . . .	85
18. Magnetiliste nähtuste vaatlemine . . . . .	86
19. Vooluga pooli magnetiliste omaduste tundmaõppimine . . . . .	87
20. Elektromagneti koostamine ja kasutamine . . . . .	89
21. Valguse peegeldumise tundmaõppimine tasapeeglist . . . . .	90
22. Valguse murdumise tundmaõppimine tasaparalleelses plaadis ja prismas . . . . .	91
23. Tõeliste kujutiste saamine läätse abil . . . . .	92

Tööd VIII—X klassile.

Vigade elementaarne analüüs . . . . .	94
24. Ühtlaselt kiireneva liikumise seaduste tundmaõppimine kaldpinnal . . . . .	96
25. Parabooli mööda liikuva keha liikumise uurimine . . . . .	98
26. Kahe teineteise suhtes nurga all mõjuva jõu liitmine . . . . .	99
27. Paralleelsete jõudude liitmine . . . . .	101
28. Jõudude momentide seaduse kontrollimine . . . . .	103
29. Hõõrdumiskoefitsiendi määramine . . . . .	104
30. Polüspasti kasuteguri määramine . . . . .	107
31. Tahkete kehade ja vedelikkude tiheduse määramine hüdrostaatilise kaalumise teel . . . . .	108
32. Vedeliku tiheduse määramine hüdromeetri abil . . . . .	110
33. Kesktõmbejõu valemi kontrollimine . . . . .	112
34. Maa raskuskiirenduse määramine . . . . .	114
35. Aine erisoojuse määramine . . . . .	115
36. Jää sulamissoojuse määramine . . . . .	117
37. Boyle-Mariotte'i seaduse kontrollimine . . . . .	118
38. Gaasi oleku valemi kontrollimine . . . . .	120
39. Vedeliku pindpinevuse määramine . . . . .	122
40. Pinge jaotuse uurimine vooluringi järjestikustel osadel . . . . .	124
41. Juhtmete paralleelse ühenduse uurimine . . . . .	125
42. Vooluallika EMI ja sisetakistuse määramine . . . . .	126
43. Joule'i soojuste ekvivalendi määramine . . . . .	127
44. Vase elektroemilise ekvivalendi määramine . . . . .	129
45. Magnet ja voolu vastastikuse toime vaatlemine . . . . .	130
46. Elektromagnetilise induktsiooni uurimine . . . . .	131
47. Kujutise konstrueerimine tasapeeglis . . . . .	133
48. Klaasi murdumisnäitaja määramine . . . . .	134
49. Nõguspeegli peafookuse kauguse määramine . . . . .	137
50. Kumerläätsse peafookuse kauguse määramine . . . . .	139
51. Nõgusläätsse peafookuse kauguse määramine . . . . .	141
52. Kepleri pikksilma, mikroskoobi ja Galilei pikksilma mudelite koostamine . . . . .	143
53. Projektsiooniaparaadi mudeli koostamine . . . . .	144
Lõppsõna . . . . .	146

Toimetaja E. Kaljuvee.  
Tehniline toimetaja A. Sepp.

Korrektorid L. Saulin ja  
H. Johannes.

Ladumisele antud 7. VIII 1953.  
Trükkimisele antud 28. IX 1953.  
Paber 60×92 sm, 1/16. Trüki-  
arv 4000. Trükipoognaid 9,5.  
Arvutuspoognaid 888. Tellimise  
nr. 3930. MB-12043. Trükikoda  
«Kommunist», Tallinn, Pikk t. 2.

На эстонском языке.

Hind rbl. 3.40.

Rbl.3.40

A

19739

4200996

Alphas 1. 1961. a.  
- rbl. 34. kop.

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00420099 6