A. POKROVSKI
A. GLAZŌRIN
A. DUBOV
B. ZVORŌKIN
S. ŠURHIN

Füüsika PRAKTIKUM

EESTI RIIKLIK
KIRJASTUS

A-22328

A. POKROVSKI, A. GLAZORIN, A. DUBOV,
B. ZVOROKIN, S. SURHIN

FÜÜSIKA PRAKTIKUM

KESKKOOLI VANEMATES KLASSIDES

KÄSIRAAMAT ÕPETAJATELE

A. POKROVSKI toimetusel

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1958

Originaali tiitel:

Академия педагогических наук РСФСР. Институт методов обучения.
А. А. Покровский, А. И. Глазырин, А. Г. Дубов,
Б. С. Зворыкин, С. А. Шурхин

Практикум по физике

встарших классах средней школы.

Пособие для учителя.

Под редакцией А. А. Покровского.

Учпедгиз 1956.

Tõlkinud M. Usai.

2

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
43943

EESSÕNA.

Kolmandat korda väljaantava «Füüsika praktikumi» (teise väljaande uuesti ümbertöötatud ja täiendatud trükk) ülesandeks on abistada füüsika õpetajaid õpilaste laboratoorsete tööde organiseerimisel ja läbiviimisel keskkooli vanemates klassides (VIII—XI kl.). Haridusministeeriumi poolt kehtestatud füüsika uute programmide kohaselt.

Käesolevas raamatus kirjeldatud füüsika praktikum on oma sisult, süsteemilt ja läbiviimise metoodikalt tihedas kooskõlas varem küllaltki täiuslikult kirjeldatud frontaalsete laboratoorsete töödega.[1] Praktikum aga ei *dubleeri* frontaalseid laboratoorseid töid, vaid kujutab endast laboratooriumis *iseseisvalt* tehtavate tööde teist astet. Ta kindlustab suurel määral konkreetsete, täpsete ja tõhusate teadmiste ning polütehnilise iseloomuga väärtuslike praktiliste oskuste omandamist.

Selle käsiraamatu aluseks on süstemaatiline eksperimentaalne töö, mis tehti aastatel 1949 ja 1953 VNFSV Pedagoogiliste Teaduste Akadeemia Õppemeetodite Instituudi näitlike õppevahendite osakonna ja füüsika metoodika laboratooriumi kaastöötajate poolt vanema teadusliku töötaja A. Pokrovski vahetul juhtimisel. Kogu töö toimus Moskva keskkooli nr. 315 füüsika kabinetis. Seal ja osaliselt ka koolis nr. 657 kontrolliti praktikumiks ettenähtud varustust ja tööde läbiviimise metoodikat.

Käsiraamatu koostamisel oli ülesandeks luua nõukogude kooli eesmärkidele vastav praktiliste tööde ratsionaalseim süsteem, teha valik koolidele juba tuntud ja tööstuse poolt väljalastavast varustusest ning konstrueerida täiesti uusi, etteseatud ülesandele vastavaid riistu ja õppevahendeid.

---

[1] A. A. Pokrovski, B. S. Zvorõkin. **Füüsika frontaalsed laboratoorsed tööd keskkoolis.** ERK. Tallinn 1953.

Uued riistad valmistati näitlike õppevahendite osakonna eksperimentaalse töökoja poolt, esitati VNFSV Haridusministeeriumi õppe-metoodilisele nõukogule ja kinnitati tootmiseks. Käesoleval ajal toodetakse juba suuremat osa neist katseriistadest Glavutštehpromi poolt, ülejäänud katseriistu hakatakse tootma lähemal ajal.

Kuna paljud õpetajad ei tunne hästi füüsika praktikumi metoodikat ja organisatsiooni kombinatsioonis frontaalsete töödega, siis on käesolevas raamatus antud lühike metoodiline sissejuhatus, milles on selgitatud praktikumi ülesandeid, tema sisu ja spetsiifilisi iseärasusi võrreldes frontaalsete laboratoorsete töödega. Õpetaja leiab selles käsiraamatus töövahendite täieliku nimekirja, mis aitab tal teadlikumalt soetada praktikumiks ettenähtud üksikuid katseriistu või katseriistade komplekte. Uued ja vähetuntud katseriistad ning nende kasutamise tehnika ja metoodika on kirjeldatud täpsemini ning täielikumalt kui muu osa.

Praktikum töötati läbi kaastöötajate grupi poolt järgmiselt:

A. Glazõrin tööd nr. nr. 11; 15; 16; 18; 19; 24; 25; 26; 29.
A. Dubov tööd nr. nr. 1; 3; 7; 8; 9; 10; 13; 20; 27.
B. Zvorõkin tööd nr. nr. 4; 17; 21; 22; 23; 28; 30.
S. Šurhin tööd nr. nr. 2; 5; 6; 12; 14.

Kõik tööd tegid autorid koos juhataja A. Pokrovskiga, kes peale selle kirjutas sissejuhatuse, I ja II peatüki ning lõppsõna.

Märkused selle käsiraamatu kohta tuleb saata õppemeetodite Instituudi näitlike õppevahendite osakonda (Москва, Любковский пер. 5/16).

VNFSV Pedagoogiliste Teaduste Akadeemia Õppemeetodite Instituudi näitlike õppevahendite osakond ja füüsika metoodika laboratoorium.

SISSEJUHATUS.

Juba ÜK(b)P XVIII kongressil juhiti tähelepanu vajadusele õpetada loodusteaduslikke ja teisi aineid meie keskkoolis nii, et kooli lõpetanud õpilased võiksid saadud teadmisi oma praktilises tegevuses viljakalt rakendada. NLKP XIX kongressil võttis see mõte konkreetse kuju otsuses viia keskkooli järkjärguliselt sisse polütehniline õpetus.

Polütehniline suund ja õpilaste teadmiste kvaliteedi tõstmine füüsika õpetamisel sõltuvad suurel määral füüsikalisest eksperimendist ja selle laialdasest ning õigest rakendamisest õpetamise protsessis. Tõeliste teadmiste kujunemises on eriline tähtsus õpilaste praktilistel töödel füüsika kabinetis ja eriti füüsika praktikumil VIII—XI klassides.

Milline peaks siis olema füüsika praktikumi maht, sisu, iseloom ja metoodika keskkooli vanemates klassides, et ta aitaks kaasa polütehnilise õpetuse printsiibi teostamisele?

Seda küsimust ei saa lahendada lahus keskkooli füüsika laboratoorsete tööde ratsionaalse korraldamise kogu süsteemist, kuna praktikum peab olema vaid üheks orgaaniliseks osaks selles süsteemis. Sellepärast ei saa näiteks kõige paremaks lugeda sellist korda, kus kõigi laboratoorsete tööde organisatsioon seisab ainult õppeaasta lõpul (enne eksameid) minimaalse arvu laboratoorsete tööde läbiviimises.

Selline, kaunis sageli meie koolides esinev kord näitab, et praktikumi organiseerides ei kujuta õpetajad alati selgesti ette selle laboratoorsete tööde liigi pedagoogilisi lõppeesmärke. Paljudel põhjustel nad lähevad siin mõnikord väikseima vastupanu teed: korraldavad ainult miinimumi nendest töödest, mida võib korraldada füüsika kabinetis olemasolevate vahenditega ja kaugeltki mitte alati ei mõtle tõsiselt praktikumi sisule ja läbiviimise metoodikale.

Tõsi, ka selline praktikum toob teatud kasu, kuna ta viib õpilased vahetusse kokkupuutesse füüsikaliste nähtustega ja ei lase neil piirduda ainult nähtuste tutvumisega raamatu abil. Siiski näitab õppeprotsessi sügavam analüüs, et mitte ainult demonstratsioon, vaid ka laboratoorne eksperiment osutub efektiivsemaks sel juhul, kui ta orgaaniliselt sulab ühte õppeprotsessiga.

Püüdest leida laboratoorse töö kogu õppeprotsessiga kokkusulamise vormi on nähtavasti tärganudki omal ajal idee rakendada frontaalset meetodit laboratoorsete tööde läbiviimisel keskkoolis, kus õpilased esmakordselt algavad süstemaatiliselt füüsika kursuse õppimist.

Teatavasti on füüsika laboratoorsete tööde frontaalsel meetodil rida tähtsaid positiivseid metoodilisi külgi, mida võib kokku võtta järgmiselt. Frontaalne meetod annab võimaluse üsna tihedalt siduda õpilaste laboratoorsed tööd õpitava materjaliga; ta lubab anda laboratoorseid töid sissejuhatusena ühele või teisele väiksemale kursuse osale, illustratsioonina õpetaja seletusele, tuntud materjali üldistusena või läbivõetu kordamisena. Frontaalne meetod õpetab õpilasi kollektiivsele tööle, kus iga tehtud viga kiiresti parandatakse õpetaja või tugevama kaasõpilase abiga; teadmiste omandamise kõrval kasvatab see meetod järgmisi oskusi ja vilumusi: kasutada õigesti lihtsamaid mõõduriistu, käsitseda keemia riistu, soojus-, valgus- ja elektrienergia allikaid ning rakendada mõningaid igapäevases elus ja tehnikas kasutatavaid lihtsamaid riistu [1].

Vaatamata kõikidele frontaalse meetodi positiivsetele külgedele ei saa siiski järeldada, et keskkoolis võib piirduda ainult frontaalsete laboratoorsete töödega. Vastupidi, frontaalseid laboratoorseid töid tuleb lugeda vaid esimeseks vajalikuks etapiks ja seda sellepärast, et frontaalsete laboratoorsete tööde tegemisel saadud õigete vilumuste ja oskuste algeid ei saa siiski lugeda küllaldaseks üldharidusliku keskkooli lõpetajatele.

Asi seisab nimelt selles, et peaaegu kõik frontaalsete tööde jaoks tarvitatavad riistad võetakse oma konstrukt-

[1] Täpsemalt frontaalsest meetodist vt. A. A. Pokrovski ja B. S. Zvorõkin. **Füüsika frontaalsed laboratoorsed tööd keskkoolis.** ERK. Tallinn 1953.

sioonilt kõige lihtsamad, peamiselt need, mida kasutatakse õppeotstarbeks. See asjaolu on tähtis kõigepealt metoodilisest küljest, sest riistade ehituse tundmaõppimine ei tohi võtta aega ning juhtida õpilaste tähelepanu kõrvale peamisest ülesandest — füüsikaliste nähtuste ja seaduspärasuste tundmaõppimisest. Peale selle peavad laboratoorsete tööde riistad olema odavad, et kool saaks neid muretseda vajalikul arvul (10—15 eksemplari).

Seepärast need praktilised vilumused, mis on omandatud selliste lihtsaimate riistadega, on elementaarsed ning need vajavad edasiarendamist ja süvendamist. Kui esimeses füüsika õppimise staadiumis (VI—VII kl.) neid lihtsaid vilumusi võib lugeda täiesti jõukohasteks ja ka küllaldasteks, siis vanemate klasside kohta seda öelda ei saa. Vastupidi, VIII—XI klasside õpilased õpivad küllaltki põhjalikult füüsika kursust ning neil on tarvis uute teadmiste baasil varem saadud vilumusi edasi arendada ja süvendada.

Sellepärast tekib tõsine küsimus keskkooli õpilaste teadlikust praktilisest tutvusest mitte ainult füüsika õppimise algstaadiumile vastavate lihtsate õppevahenditega ja tehnilise aparatuuriga, vaid ka keerukama tehnilise varustuse ja riistadega. Tekib vajadus tutvustada õpilasi mõningate lihtsamate mõõtmise meetoditega, mida kasutatakse tänapäeva tehnikas ja millega neil sageli tuleb kokku puutuda pärast kooli lõpetamist tehastes, transpordis, põllumajanduses jne.

Peale selle on vaja vanemate klasside õpilastes arendada praktilisi oskusi i s e s e i s v a l t käsitseda laiemalt levinud mõõduriistu, mitmesugustes tingimustes kiiresti orienteeruda riista rakendamispiirides ja vastava kirjanduse abil iseseisvalt koostada keerukamaid seadeldisi ning nendega katseid sooritada. Kõike seda ei anna frontaalsed tööd.

Oskuse puudumisele iseseisvalt siduda õpitud teoreetilist materjali praktilise tööga juhivadki tähelepanu paljud kõrgemad õppeasutused, kuhu astuvad keskkooli lõpetanud õpilased. Seda võib tähele panna ka elus, kui kooli lõpetanud õpilased satuvad tootmisse ja ei suuda oskuslikult rakendada koolis saadud teadmisi.

Eeltoodu viib järeldusele, et kõikides vanemates klassides, alates VIII klassist, tuleb p a r a l l e e l s e l t fron-

taalsete laboratoorsete töödega sisse viia füüsika praktikumid kindla ja läbimõeldud sisuga ning metoodikaga. Sellisesse praktikumi on otstarbekohane võtta töid, mis lubaksid ühelt poolt korrata, süvendada ja üldistada läbivõetud kursuse kõige tähtsamaid küsimusi ning teiselt poolt annaksid võimaluse teha praktilisi töid uuel ja kõrgemal eksperimentaalsel baasil kui see, millele ehitatakse üles frontaalsed tööd. Siis ei ole nii praktikumil kui ka frontaalsetel töödel suuremate kogemuste omandamine (tehniliste mõõduriistade ja teiste riistade käsitsemine, mõõtmise meetodite omandamine, eksperimendi organiseerimise ja läbiviimise iseseisvuse arendamine jne.) lahutatud füüsikas saadud teoreetilistest teadmistest, vaid sulab nendega ühte. See lubab praktikumi tööde valikul vältida võimalikku äärmust — liialdatud innustumist tehnikast, kus mitmesugused kõrvalised tehnilist laadi obejektid võivad varju jätta füüsika ja kõrvale kallutada õpilasi füüsika õppimisel vajalikust loogilisest süsteemist.

Kui palju siis niisugusel juhul peab olema töid praktikumis? Millest tuleb praktiliselt lähtuda laboratoorsete tööde teemade valikul?

Kõigepealt tuleb siin silmas pidada tundide arvu, mida võib üldisest, kogu füüsika kursusele (VIII kuni XI kl.) määratud tundide arvust eraldada praktikumi jaoks. Peale selle tuleb arvestada füüsika kabinetis olemasoleva varustusega. See määrab ära igas klassis praktikumi võimaliku mahu ja sisu.

Paljude eesrindlike õpetajate kogemused näitavad, et tundide arv sellele võrdlemisi uuele õppetöö liigile keskkoolis võib olla järgmine: 10 tundi kaheksandates ja üheksandates klassides, s. o. kummaski klassis praktikum, mis koosneb viiest tööst ja 6 tundi kümnendates ja üheteistkümnendates klassides, s. o. kummaski klassis praktikum, mis koosneb kolmest tööst. Sellisel tingimusel hakkab õpetaja vahetul juhtimisel toimuvate frontaalsete tööde osatähtsus klassis vähenema (protsendiliselt laboratoorsete tööde üldise arvu suhtes) ja praktikumis tehtavate tööde arv suurenema. Niiviisi toimub märkamatult õpilaste järkjärguline üleminek iseseisvale praktilisele tööle, mis XI klassis moodustab 60% kõikidest õpilaste poolt laboratooriumis veedetud tundidest.

Kuna kogu klassiga viiest tööst koosnevat praktikumi harilikul viisil läbi viia ei saa (ei jätku töökohti) ja jaotada klassi õpilasi praktiliste tööde puhul rühmadeks pole mitmesugustel põhjustel võimalik, siis tuleb iga laboratoorse töö jaoks kasutada dublikaatide süsteemi. Siis on viie erineva töö puhul ja kahekordse varustuse juures kümme töökohta ning kolmekordse puhul viisteist töökohta.

Niisugune süsteem lubab rakendada tööle korraga klassi, milles on 30 õpilast. Peale selle võimaldab see süsteem korraldada praktikumi mitte õppeaasta lõpul, nagu seda tehakse praegu paljudes koolides, vaid jaotada neid ajaliselt ja metoodiliselt ratsionaalsemalt.

Analüüsides füüsika programmi ja võttes arvesse vanemate klasside frontaalsete tööde temaatikat, kuid samuti ka olemasolevat varustust, võime ära märkida kõige aktuaalsemad laboratoorsed tööd kõigi nelja praktikumi jaoks.

Peale programmis toodud tööde miinimumi pole tänapäeva metoodilises kirjanduses antud selles suhtes mingeid kindlaid juhtnööre ega rangelt kindlaksmääratud norme. Sellepärast tuleb sageli õpetajal endal määrata ja valida tööd. Kõik see sundis käesolevas käsiraamatus kõigepealt kirjeldama programmis näidatud töid (neid võib lugeda põhilisteks). Peale selle on kirjeldatud ka teisi väga kasulikke töid, mida võib käesoleval ajal teha tööstuse poolt juba väljalastud ja paljudesse koolide füüsika kabinettidesse soetatud varustuse alusel. See osutub praegu eriti tähtsaks sellepärast, et füüsika praktikumid hakkavad arenema järk-järgult ja õpetajad võivad soetada nende jaoks vajaliku varustuse vaid kahe-kolme aasta jooksul.

Lisatöödeks on näiteks «Horisontaalselt, vertikaalselt ja horisondi suhtes mingi nurga all visatud keha liikumise uurimine», «Hüdraulilise pressi tehnilise karakteristiku ja purustavate pingete määramine deformatsiooni juures», «Transformaatori kasuteguri määramine» jt.

Seega võib õpetaja toodud 30-st tööst alati valida keskkooli osa jaoks vajalikud 20 tööd, arvestades valiku juures muidugi kabinetis olemasoleva varustusega. Tavaliselt tuleb ka seejuures olemasolevale varustusele teha väike täiendus, kõige sagedamini mõõduriistade osas, kuna

tavaliselt pole neid keskkooli füüsika kabinetis küllaldaselt.

Kõik see annab võimaluse veel kord kontrollida kooli tingimustes raamatus soovitatud töid ja lõplikult täpsustada füüsika praktikumi temaatikat. Peale selle aitavad õpetajate poolt kogutud tähelepanekud koostada õpilastele füüsika praktikumi käsiraamatut, mille järele praegu on tungiv vajadus.

I PEATÜKK.

PRAKTIKUMI VARUSTUS.

Füüsika praktikumi tööde läbiviimine nõuab ilmselt õppevarustust (töövahendeid), mis on keerukam kui frontaalsete tööde oma.

See varustus peab täielikult rahuldama praktikumi metoodilist ülesannet, peab leidma maksimaalset rakendamist õppeprotsessis ja olema samal ajal hinnalt koolile kättesaadav.

Kõike seda on arvestatud varustuse valikul. Varustuse nimekiri antakse allpool.

Tuleb pidada silmas, et nimekirjas on toodud varustus kõigi kolmekümne töö jaoks. Füüsika praktikumi organiseerimisel on kerge eraldada põhilised riistad kõrvalistest ja kõigepealt soetada see varustus, mis võimaldab teha laboratoorseid töid vastavalt kehtivale programmile.

Parema ülevaate saamiseks on töövahendite nimekiri paigutatud kolme ossa: 1) mõõduriistad; 2) laboratoorsed riistad ja nende juurde kuuluvad vahendid; 3) anumad ja materjalid, kusjuures materjalid on paigutatud tähestikulises järjekorras. Peale järjekorra numbrite ja töövahendi nimetuse on antud veel vajalik riistade arv ja nende laboratoorsete tööde numbrid, millede puhul kasutatakse nimetatud riista, tarbeid või materjale.

Riistade arv on antud kahe numbriga, esimene nendest peegeldab esialgset vajadust, teine aga täielikku ühes vastavate dublikaatidega.

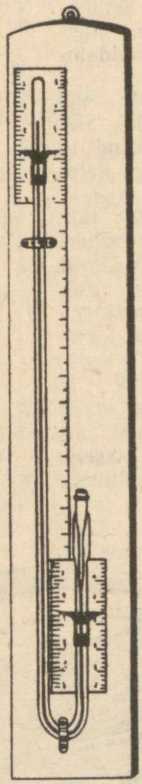
Kõik seadiste nimetused antakse nimekirjas küllaldase üksikasjalisusega, nii et selle põhjal võib saada esialgset vajalikku kujutlust varustusest. Peale selle on peaaegu kõikide nimekirjas loetletud riistade joonised antud laboratoorsete tööde kirjelduste juures. Ainult mõnede riistade joonised on antud otse nimekirjas sellepärast, et need

riistad vajavad üksikasjalisemat kirjeldust ja neid pole toodud nende tööde joonistes, kus neid kasutatakse.

Nimekirja koostamisel on eeldatud, et füüsika kabinetis, milles toimub praktikum, on 120-voldiline vahelduvvool ja veevärk. Peale selle on kabinetis pimekambrid või üks hästi pimendatav väike tuba (näiteks katsete ettevalmistamise ruum), kus võib teha fotogaaria-alaseid töid, läbi viia vaatlusi spintariskoobiga ja ostsillograafiga.

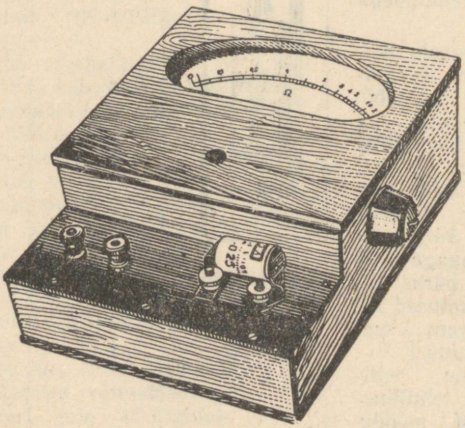
Jrk. nr.	Seadise nimetus	Arv	Tööde numbrid, milledes rakendatakse riista
1	2	3	4
	I. Mõõduriistad		
1	Mõõdulint, pikkusega 1,5 *m*, mõlemapoolse sentimeetrijaotistega (rätsepa mõõdulint)	2—6	2, 4, 9
2	Demonstratsioonimeeter hästi nähtavate detsimeetrijaotistega	1	29
3	Mastaapjoonlaud pikkusega 500 *mm*, millimeetrijaotistega	2—6	3, 7, 8, 11, 12
4	Nihkkaliiber 15 *cm*, täpsusega 0,1 *mm*	1—3	1, 7, 8, 15
5	Mikromeeter kuni 25 *mm*, mis võimaldab teha mõõtmisi täpsusega 0,01 *mm*	1—3	1, 7, 12
6	Mensuur (silindriline) ruumalaga 50 *ml*	1—3	30
7	Mensuur ruumalaga 250 *ml*	1—3	30
8	Tehnilised kangkaalud koormuse ülemmääraga 200—500 *g*, tundlikkusega 0,01 *g*	1—3	1, 11
9	Kaaluvihid 0,1 *g*-st kuni 100 *g*-ni, kastis, pintsetiga	1—3	1, 11
10	Vedrudünamomeeter koormusele kuni 400 *G*, 10 *G*-ste jaotistega	1—3	11
11	Vedrudünamomeeter koormusele 3—5 *kG*, 100 *G*-ste jaotistega	1—3	6, 8
12	Elavhõbe sifoonbaromeeter, kooli tüüpi (joon. 1)	1	13
13	Metronoom, lihtne (elektrivõrku lülitamise võimaluseta)	1	2
14	Stopper, mis võimaldab aja mõõtmist täpsusega 0,2 *sek*	1—3	5

1	2	3	4
15	Pöörete loendaja	1—3	5
16	Kammertoonide (heliharkide) kogu (3 tükki, sagedusega 250 *Hz*, 450 *Hz* ja 600 *Hz*)	1	3, 9, 22
17	Toatermomeeter	1	9, 12
18	Termomeeter, keemiline, skaalaga —10° kuni 110° sentikraadjaotusega	2—6	13, 14, 18
19	Termomeeter, tehniline, skaalaga 0°—100°, sentikraadjaotusega, termomeetri jala pikkus 120 *mm* . . .	1—3	17
20	Termomeeter, skaalaga 0°—30° (50°) jaotustega 0,1° tagant	1—3	11
21	Koolihügromeeter, laboratoorne . . .	1—3	14
22	Juushügromeeter .	1	14
23	Psühhromeeter .	1—3	14
24	Alalisvoolu ampermeeter, tehniline, tüüp *MM*, mõõdupiirkonnaga 1 amper, klemmidega alusel	1—3	19
25	Vahelduvvoolu ampermeeter, tehniline, tüüp *ЭМ*, mõõdupiirkonnaga 1 amper, klemmidega alusel . . .	1—3	20
26	Vahelduvvoolu ampermeeter, tehniline, tüüp *ЭМ*, mõõdupiirkonnaga 5 amprit, pärast 1 amprit jaotused 0,2 ampri tagant, klemmidega alusel . .	1—3	18, 20
27	Alalisvoolu voltmeeter, tehniline, tüüp *MM*, mõõdupiirkonnaga 30 *V*, klemmidega alusel	1	19



Joon. 1. Elavhõbeda sifoonbaromeeter.

1	2	3	4
28	Vahelduvvoolu voltmeeter, tehniline tüüp *ЭМ*, mõõdupiirkonnaga 150 või 250 *V*, klemmidega alusel	1—3	20
29	Voltmeeter *M*-63 või *ПМ*-70, täpsuseklass 1,5, alalisvoolule, mõõdupiirkond 3 *V*, ümberlülitamisega 300 *V*-le, monteeritud klemmidega kaldalusel	1—3	22
30	Milliampermeeter *M*-61 või *ПМ*-70, täpsuseklass 1,5, alalisvoolule, mõõdupiirkond 15 milliamprit, klemmidega kaldalusel	1—3	22
31	Milliampermeeter *ПМ*-70, täpsuseklass 1,5, alalisvoolule, mõõdupiirkonnaga 5—0—5 *mA* (nullpunkt keskel), on galvanomeetriks Wheatstone'i silla jaoks, monteeritud klemmidega kaldalusele	1—3	17
32	Galvanomeeter, 10^{-4} *V* ja 10^{-6} *A* ühele jaotusele	1—3	18, 24
33	Oommeeter kuni 20 oomini, mis võimaldab takistusi täpsusega 0,1-st kuni 1 oomini sõltuvalt skaala intervallist.	1	20

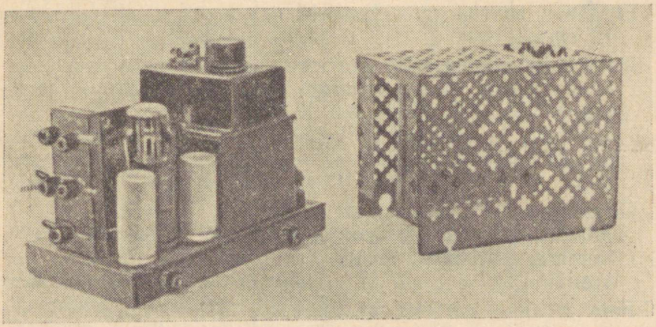


Joon. 2. Oommeeter.

1	2	3	4
34	Takistuskast 10, 20, 20 ja 50 oomi	1—3	17
35	Spektroskoop, kahe toruga, mikromeetrilise kruviga ja skaalaga	1—3	26
36	Riist valguslaine pikkuse määramiseks, difraktsioonivõrega 50 või 100 jaotust 1 *mm* kohta	1—3	25
	II. Laboratoorsed riistad ja juurdekuuluvad vahendid		
37	Riist kinemaatika ja dünaamika seaduste uurimiseks, kahe koormusega à 150 *G* ja kahe lisakoormusega à 10 *G*	1—3	2
38	Riist vaba langemise kiirenduse määramiseks koos silindriga helihargi võnkumiste märkimiseks	1—3	3
39	Ballistiline püstol	1—3	4
40	Riist elektrimootori võimsuse määramiseks	1—3	5
41	Riist mitmesuguste liikumiste edasiandmiste uurimiseks. Ta koosneb järgmistest osadest: statiivi külge kinnitatav kitsas raam; hammasrattad (4 tükki), milledest kaks on üksikud ($D = 153$ *mm* ja $Z = 100$, $D = 63$ *mm* ja $Z = 40$) ja kaks kinnitatud ühele teljele ($D = 100$ *mm* ja $Z = 65$, $D = 33$ *mm* ja $Z = 20$); kaks plokki ($D = 55$ *mm*); kaks eraldiseisvat telge; vänt	1—3	6
42	Riist tõmbedeformatsiooni uurimiseks	1—3	7
43	Hüdrauliline press varva venitamise ja augu sissesurumise seadega, varbade tagavaraga ja metallplaadiga, mille paksus on 2 *mm*	1—3	8
44	Resonantstoru diameetriga 40—50 *mm*, pikkusega 900 *mm* ja kolviga; toru kasutatakse hääle kiiruse määramiseks	1—3	9
45	Riist soojuse mehhaanilise ekvivalendi määramiseks	1—3	11

1	2	3	4
46	Riist joonpaisumise koefitsiendi määramiseks	1—3	12
47	Riist õhurõhu termilise koefitsiendi määramiseks	1—3	13
48	Aurukatel, otsevoolu, koosneb aurutekitajast ja selle veega toitmise seadest	1—3	15
49	Aurumasin (töötav mudel)	1—3	15
50	Auruturbiin (töötav mudel)	1—3	15
51	Sisepõlemismootor, kahetaktiline (lahtivõetav õppemudel)	1—3	16
52	Magnetoelektriline alalis- ja vahelduvvoolu masin (väike töötav mudel)	1—3	15, 21
53	Generaator-elektrimootor, alalisvoolule ja ühefaasilise vahelduvvoolule (lahtivõetav, töötav mudel)	1—3	19
54	Akumulaatorite patarei 3-*HKH*-10	4—12	10, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 26
55	Anoodpatarei, kuivelementidest, pingega 20—60 *V* (*EC*-70)	1—3	23
56	Ühendusjuhtmed, pikkusega 15 *cm*, 30 *cm* ja 50 *cm*, kahvelkaablikingadega	50—150	10, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 26
57	Lüliti, laboratoorne, elektriahela katkestamiseks	2—6	5, 10, 19, 20, 21
58	Magnetnõel, demonstratsiooniks, ilma aluseta	1—3	19
59	Reohord 500 *mm*, kahekordse lülitiga; reohord on Wheatstone'i silla koostamiseks	1—3	17
60	Reostaat 12—15 oomi, voolutugevusele 2—3 amprit, liugkontaktiga	2—6	18
61	Reostaat 50—70 oomi, voolutugevusele 2—3 amprit, liugkontaktiga	1—3	19, 20, 26
62	Küttereostaat 25 oomi, kahe klemmiga alusel	1—3	22
63	Potentsiomeeter 10 000—15 000 oomi, liugkontaktiga	1—3	22

1	2	3	4
64	Traatpool, klemmidega, asetatud katseklaasi kuumendamiseks; riist on juhtme termilise takistuse määramiseks	1—3	17
65	Termopaar raud- ja konstantaantraadist diameetriga 2 *mm*, klemmidega isoleeritud alusel	2—6	18
66	Termorist raud- ja konstantaantraadist diameetriga 0,3 *mm* nelja klemmiga alusel	1—3	18
67	Transformaator, kooli tüüpi, lahtivõetav, transformeerib pinget 120-st voldist 12 voldini (220 *V*-st 6 *V*-ni)	1—3	18—20
68	Kellatransformaator, lahtine, monteeritud vertikaalsele klemmidega alusele	1—3	21
69	Ostsillograaf, kooli, elektromagnetiline, alusel	1—3	21
70	Peegelprisma, alusel pöörlev	1—3	21
71	Seleenalaldaja (või kuproksalaldaja) neljast elemendist, monteeritud klemmidega alusele	1—3	21
72	Täisperioodiline kenotronalaldaja lambiga *ВО*-188 või 5*Ц*4*С*, mis annab alaldatud pinge kuni 300 volti (joon. 3)	1	22
73	Elektronlamp, kolme elektroodiga *УБ*-107 nelja klemmiga alusel	1—3	22
74	Peatelefonid, piesoelektrilised	1—3	22



Joon. 3. Kenotronalaldaja.

1	2	3	4
75	Telefoni kapsel, elektromagnetiline, kahe telefoni pesaga	1—3	22
76	Takistus 20 000 oomi, alusel, kahe klemmiga ja telefoni pesadega	1—3	22
77	Detailide komplekt (alustel) raadiovastuvõtja koostamiseks: detektor ühelambiline, kahelambiline ühe astmega madalsagedusvõimendaja; komplekti juurde kuulub kogu ühendustraate	1—3	23
78	Antenn, välis (või tubane)	1—3	23
79	Sädeinduktor *HB*-50	1—3	16, 26
80	Lamp 3,5 *V*, alusel, klemmidega, kattega	1—3	15, 21, 26
81	Elektrilamp, sirge hõõgniidiga (sofitt) alusel oleva pesaga ja nöörjuhe koos kahvelpistikuga	1	25
82	Elektrilamp 6 *V* 18 *W* hariliku sokliga (pesa võetakse lambist nr. 81)	1—3	19
83	Lääts, kaksikkumer, lühikese fookusega (F=65—75 *mm*), alusel	1—3	21, 28
84	Lääts, kaksikkumer, pika fookusega (F=130—150 *mm*), alusel	1—3	28
85	Lääts, kaksiknõgus (F=—90 *mm*), alusel	1—3	28
86	Millimeetrivõrguga klaasplaat, alusel	1—3	28
87	Ekraan, suurusega (umbes) 12 *cm*×16 *cm*	1—3	28
88	Riist valgustustugevuse seadiste uurimiseks, fotoelemendiga, eraldi võetud lambiga 3,5 *V*, (alusel), ja läätsega (F=150 *mm*) diameetriga 3,5 *cm* (alusel)	1—3	24
89	Gaasitorukeste kogu spektraalanalüüsiks (kogus 3 toru: heeliumiga, elavhõbeda auruga ja vesinikuga)	1—3	26
90	Fotoaparaat 9 *cm*×12 *cm*, kahe kassetiga, mattklaasiga ja statiiviga	1—3	30

1	2	3	4
91	Komplekt optilise prismabinokli koostamiseks	1—3	29
92	Mikroskoop (tüüp *МИУ*-1) ühe okulaariga (10 korda) ja kahe objektiiviga (8 ja 20 korda)	1—3	10, 27
93	Kamber Brown'i liikumise vaatlemiseks suitsus, taskulambi pirniga ja läätsega	1—3	10
94	Spintariskoop	1—3	27
95	Statiiv	1—3	3
96	Statiiv, laboratoorne, kahe muhviga, rõngaga ja näpitsaga	2—6	4, 6, 17, 18, 26, 29
97	Lauake, tõstetav, laboratoorne	1—3	25, 29
98	Kaaluvihtide kogu (1, 2, 2, 5 *kg*)	1	6, 8
99	Malmist risttahukas 40×25×10 *mm*³	1—3	1
100	Alumiiniumist risttahukas 40×25×10 *mm*³	1—3	1
101	Terasvarras, diameetriga 4—5 *mm*, pikkus umbes 75 *mm*	1—3	1
102	Piirituslamp, laboratoorne	2—4	3, 13, 17
103	Priimus või elektripliit juhtmega ja hargiga (või mingi teine kuumendaja)	2—6	12, 13, 15, 17, 18
104	Teekann (vee soojendamiseks)	1	13, 17
105	Föön, elektriline (või lauaventilaator) negatiivide kuivatamiseks	1	30
106	Fotolaboratooriumi latern	1—3	30
107	Alus negatiivide kuivatamiseks 9 *cm*×12 *cm*	1—3	30
108	Kopeerimisraam 9 *cm*×12 *cm*	1—3	30
109	Fototeatmik (valgustuse tabel ja ilmuti kasutamise skeem)	1—3	30
110	Vasar, kummist, helihargi löömiseks	1—3	3, 9, 22
111	Lapiktangid	1—3	15
112	Kruvikeeraja, väike	2—6	15, 16
113	Tellitav (nn. inglise) mutrivõti	1—3	16
	III. Anumad ja materjalid.		
114	Kolb 250 *cm*³, auru saamiseks, kooniline, lamedapõhjaline, korgiga, klaasist või kummist toruga auru juhtimiseks	1—3	12
115	Kristallisaator 10—12 *cm*	1—3	12

1	2	3	4
116	Kastrul, umbes 2 *l* mahuga (lume jaoks)	1—3	17
117	Pesemisvann (küvett) 9 *cm*×12 *cm* ilmuti jaoks	1—3	30
118	Pesemisvann (küvett) 13 *cm*× ×18 *cm* kinniti ja pesemise jaoks	2—6	30
119	Vann 50 *cm*×60 *cm*, emaileeritud, tööde jaoks elavhõbedaga	1—3	13, 15
120	Klaasnõu, keemiline, 250 cm^3	2—6	11, 18
121	Silindriline metallnõu diameetriga umbes 70 *mm* ja kõrgusega ligikaudu 110 *mm* või vastava suurusega keemiline klaasnõu	1—3	15, 17
122	Patarei neljast kuivelemendist taskulambi jaoks	1—3	22
123	Nöör pikkusega 3 *m*	2—6	6, 8
124	Paber 40 *cm*×60 *cm* (tükk tapeeti)	1—3	4
125	Fotoplaatide hoidja ilmutamise ajal	2—6	30
126	Papp, üheltpoolt valge, teiseltpoolt must, suurusega 25 *cm*× ×30 *cm*, kasutatakse valgust peegeldava ja neelava ekraanina	2—6	21, 24, 26
127	Petrooleum	200—600 g	3, 11
128	Rõhknaelad	1 karp	4
129	Akvarellvärv (gummigutt) või kuivtušš	1 tabl.	10
130	Must riie 0,5 m^2, kasutatakse fotoaparaadi katmiseks ülesvõtte ajal	1—3	30
131	Keedusool	10—30 g	26
132	Käterätik käte kuivatamiseks	1—3	30
133	Juhid, peened, pehmed, pikkusega 60—80 *mm* spektraaltorude ühendamiseks induktoriga	2—6	26
134	Raudtraat läbimõõduga 0,2—0,3 *mm* ja umbes 0,5 *mm*, igaüks pikkusega 1 *m*	1—3	7
135	Vasktraat läbimõõduga 0,5—0,7 *mm* ja umbes 1 *mm*, igaüks pikkusega 1 *m*	1—3	7
136	Puust vahetükid helihargi pigistamisel statiivi näpitsasse	2—6	3

1	2	3	4
137	Ilmuti, kontsentreeritud (kolm lahust)	1 *l*	30
138	Võrk asbestiga	1—3	18
139	Denatureeritud piiritus	0,5—1,5 *l*	15, 26, 30
140	Tulitikud	1 toos	3, 15, 26
141	Klaas, mikroskoobis vaadeldava asja jaoks	2—6	10, 27
142	Klaas katmiseks	2—6	10, 27
143	Helendav aine (1—2 terakest)	1—3	27
144	Tampoon vatist, traadil, naatriumileegi saamiseks	1—3	26
145	Kummvoolik, diameeter 5—7 *mm*, pikkus 45—50 *cm*, klaasist otstega	1—3	15
146	Lapid töölaua pühkimiseks	1—3	3, 15
147	Fotoplaadid 9 *cm*×12 *cm*	3—9 tükki	30
148	Fotopaber 9 *cm*×12 *cm*	5—15 lehte	30
149	Kinnisti	1 *l*	30
150	Vääveleeter	50—100 cm^3	14

Eelpooltoodud nimekirjas on antud täielik varustus nii põhiliste kui lisatööde jaoks. Siiski tuleb silmas pidada, et kaugeltki mitte kõik selles varustuses pole spetsiifiline praktikumi jaoks ja et kõike seda ei varuta füüsika kabinetti ühenduses ainult laboratoorsete tööde selle liigiga.

Nimekirja tähelepanelikul lugemisel võime näha, et praktikumi jaoks kasutatakse paljudel juhtudel riistu, mis on samal määral vajalikud katsete demonstreerimisel ja mis on füüsika kabineti üldiseks laboratoorseks varustuseks.

On ilmne, et need riistad peavad olema igas füüsika kabinetis, sõltumata sellest, kas praktikumi korraldatakse või mitte. Selliste seadmete näiteks võiksid olla metronoom, toatermomeeter, mõõdujoonlaud (meeter), füüsikaline statiiv, elektripliit, lahtivõetav transformaator, sädeinduktor *HB*50, hüdrauliline press, aurukatel, aurumasin, auruturbiin jne.

Samuti on paljud nimekirjas toodud riistad vajalikud frontaalsete laboratoorsete tööde läbiviimisel. Sellisteks riistadeks on mõõdulint, mastaapjoonlaud, silindriline mensuur 250 *ml*, dünamomeeter, keemiline termomeeter kuni 110°, akumulaatorite patarei 3-*HKH*-10, ühendusjuht-

med, laboratoorsed lülitid, alusel olev 3,5 *V* lamp, läätsed alustega jne.

Ja ainult üks osa kogu nimekirjas toodud varustusest on spetsiaalselt praktikumi jaoks ja soetatakse täiendavalt kabineti üldise varustuse ja frontaalsete tööde varustuse juurde. Seda tuleb arvestada praktikumi organiseerimisel.

Sellisteks spetsiaalseteks riistadeks, juurdekuuluvateks vahenditeks ja materjalideks kõikidest nimekirja võetutest on riistad 4; 5; 6; 8; 9; 14; 15; 19; 20; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 44; 45; 46; 47; 53; 55; 59; 62; 63; 64; 65; 66; 68; 71; 75; 77; 88; 91; 92; 93; 94; 101; 106; 107; 108; 109; 117; 118; 121; 122; 125; 126; 129; 130; 134; 135; 136; 137; 141; 142; 143; 147; 148 ja 149.

Praktikumi varustuse valikul ja nimekirja koostamisel on läbiviidud võimalik unifikatsioon, et vältida ühe ning sama nimetusega riistade konstruktsioonide tarbetut mitmekesidust. Näiteks on kõikide tööde jaoks, kus on tarvis mõõta väiksemaid pikkusi, rakendatud ühte ja sama mikromeetrit (mõõdupiirkonnaga 25 *mm* ning täpsusega 0,01 *mm*); kus aga oli tarvis mõõta pikkust täpsusega kuni 0,5 *cm*, on rakendatud sentimeetrijaotistega mõõdulinti; temperatuuri mõõtmiseks — termomeetrit mõõdupiirkonnaga kuni 110° jne. Ainult vähestel juhtudel, kus seda nõudsid erilised töötingimused, on kasutatud teisi riistu, näiteks: heliharke sagedusega 250 *Hz* ja 450 *Hz*, termomeetrit 0°—30° 0,1°-liste jaotistega või 50 *ml* mensuuri.

Sama võib öelda nimekirjas praktikumiks küllaldasel arvul näidatud anumate ja materjalide suhtes. Anumaid ja materjale on praktikumis enamasti vaja niisuguseid, mis peavad olema igas füüsika kabinetis, praktikumist sõltumata, näiteks keemilised klaasid, kolvid, kristallisaatorid, küvetid jne.; või materjalidest petrooleum, denatureeritud piiritus, vääveleeter, tulitikud, paber, rõhknaelad jne.

Vaadeldes nimekirjas anumaid ja materjale, mida üldiselt rääkides on vaja praktikumiks väga vähe, on raske öelda, mida siin õieti lugeda praktikumi jaoks spetsiifiliseks. Spetsiifilisteks tuleks lugeda ainult üksikuid materjale, nagu paberileht suurusega 20 *cm* × 60 *cm* (tükk

tapeeti) või must ekraan papist, suurusega 30 *cm* × 40 *cm* ja võib-olla ka fototarbed.

On täiesti selge, et nimekirjas toodud praktikumi varustust ei saa koolile soetada korraga, vaid järk-järgult. On täiesti võimalik teha seda näiteks kolmes järgus.

Alguses tuleb varustada programmile vastavad tööd töövahenditega ühes eksemplaris ilma dublikaatideta. See annab koolile võimaluse korraldada esialgselt mitte kolm, vaid kaks praktikumi: üks IX klassis, võttes siia sisse ka VIII klassi kursuse (siis on selles praktikumis kokku 10 tööd) ja teine — XI klassis õppeaasta lõpul elektrist ja optikast (jällegi 10 tööd).

Teises järjekorras tuleb soetada töövahendite dublikaadid VIII ja IX klassi tööde jaoks ning korraldada pärast seda kolm praktikumi: VIII, IX ja XI klassides.

Lõpuks, tuleb kolmandas järjekorras osta dublikaadid elektri ja optika tööde jaoks. Siis on võimalik sisse seada kõik neli praktikumi: igas klassis üks.

Vajalikku varustust võib muretseda ka mingis teises, eelpooltoodust erinevas järjekorras. Siiski peab see igal tingimusel olema selline, et kõik ostetud asjad läheksid kohe ratsionaalselt käiku, ootamata järgmist järjekorda. Füüsika kabinetti tulnud riistad ja juurdekuuluvad vahendid ei tohi jääda asjatult seisma.

II PEATÜKK.

PRAKTIKUMI ETTEVALMISTUS JA TÖÖDE LÄBIVIIMISE METOODIKA.

Praktikumi ülesanded (läbivõetu kordamine ja süvendamine, iseseisvuse arendamine, polütehnilise iseloomuga oskuste andmine, mõnede eksperimentaalsete uurimismeetoditega tutvumine jne.) ja tingimused (kahetunniline töö, viis tööd praktikumis, töökohti 15, igas lülis kaks õpilast) nõuavad tööde ettevalmistamise õiget süsteemi ja nende läbiviimise vastavat metoodikat.

Vaatleme esialgu praktikumi töövahendite ettevalmistamise ja õpilaste ettevalmistamise küsimusi.

Töövahendite ettevalmistus.

Pärast vajalike riistade muretsemist tuleb kogu muretsetud varustus jaotada üksikute tööde järgi ja tööd ise paigutada õigesti õpilaste laudadele.

Tööde paigutamisel tuleb tähelepanelikult silmas pidada seda, et iga töö oleks asetatud läbiviimise suhtes kõige sobivamatesse tingimustesse. Nii näiteks mehhaanika praktikumi (VIII klassis) töö vaba langemise kiirenduse määramiseks tuleb paigutada nii, et kõik kolm seadet oleksid tahmalambi läheduses, kuna viimane on antud töös ühine. Elektrimootori võimsuse määramise töö tuleb paigutada klassi kõige kaugemasse nurka või üles seada katsete ettevalmistamise ruumi, sest mootorite müra segab teisi õpilasi.

Kinemaatika ja dünaamika tööde seaded on vaja paigutada kõrvuti, et õpilased võiksid selgesti kuulda nende tööde jaoks ühise metronoomi võrdsete ajavahemikkude tagant toimuvaid lööke.

Peale selle tuleb pidada silmas seda, et mõne töö varustus ulatub laua piiridest üle. Kinemaatika ja dünaamika töö juures näiteks ulatub riist üle laua ääre ja horisontaalselt, vertikaalselt ning nurga all visatud keha liikumise uurimise juures ulatub laua piiridest välja laua külge kinnitatud ballistiline püstol. Need tööd tuleb asetada nii, et teised õpilased ei saaks katsetamist segada.

Analoogilisi näiteid võib tuua ka teiste klasside töödest, sellepärast ei saa praktikumi tööde paigutus olla juhuslik. Vastupidi, tööde paigutus tuleb korralikult läbi mõelda, arvestades kõiki konkreetseid tingimusi (klassiruum, tehtavad tööd, elektri- ja veeallikad, soojusallikad, üldkasutatavad riistad jne.).

Selliselt ülesseatud praktikumi tööd jäävad paigale kogu praktikumi ajaks (10 tundi). Kogemused näitavad, et pole ratsionaalne varustust igal korral koristada ja siis uuesti üles seada. Niisugust süsteemi saab lubada ainult erakordsel juhul, kuna see viib alla õpetuse kvaliteedi ja peaaegu ei võimalda vältida riistade mõningat riknemist.

Pärast seda, kui kõik tööd on paigutatud oma kohtadele, tuleb i g a s e a d e n i n g i g a r i i s t a töötamist kontrollida. Asi seisab selles, et ühetaoliste riistade ja seadete hulgas leidub alati selliseid, millel on ühed või teised iseärasused. Näiteks võivad valgustustugevuse seaduste uurimise riistade fotoelemendid olla erinevate parameetritega, mille tõttu tuleb nendes riistades tugevdada või nõrgendada valgusallikat; mõnel reohordil võib liugkontakt olla halvas ühenduses keelega ning on tarvis kontakti vedru kõvendada jne.

On reegliks, et kõik praktikumi riistad peavad olema aegsasti sellises korras, et õpilastel ei tuleks aega viita nende korraldamisega, rääkimata remondist.

Selle eesmärgiga võib õpetaja vahetevahel tundidest vabal ajal ja ringide töö korras rakendada tööle õpilasi.

Ettevalmistustöös võib tõhusat abi osutada laborant. Eriti tähtis on vilunud laborandi olemasolu sel juhul, kui ühel või teisel põhjusel pole võimalik eraldada füüsika kabinetis klass-laboratooriumi kogu praktikumi ajaks ja riistad tuleb igakord üles seada ning pärast tööd jälle ära koristada.

Tänapäeval on keskkoolides olemas füüsika kabineti laborandi koosseisuline koht. Ometi pole aga veel olemas

laborantide ettevalmistamise õppeasutust ega kursusi. Sellepärast peab õpetaja ise leidma sobiva kandidaadi sellele kohale ning järk-järgult teda tööle õpetama. Äärmisel juhul võib alaliste laborantidena kasutada 2—3 õpilast, kes tunnevad huvi füüsika vastu ja soovivad töötada õpetaja abilistena füüsika kabinetis.

Pärast riistade kohtadele asetamist koostatakse praktikumi tööde tähtaegade plaan. Selleks nummerdatakse tööd ja jagatakse klassi õpilased kogu praktikumi ajaks gruppideks. Allpool on toodud praktikumi tööde umbkaudne plaan.

Praktikumi plaan.

Grupi nr.	Õpilase nimi	25. III	29. III	1. IV	5. IV	8. IV
1	Kask Sepp	nr. 1	nr. 2	nr. 3	nr. 4	nr. 5
2	Sinivee Puusepp	nr. 1	nr. 2	nr. 3	nr. 4	nr. 5
3	Haljaste Sillaste	nr. 1	nr. 2	nr. 3	nr. 4	nr. 5
4	Nurm Süvalepp	nr. 2	nr. 3	nr. 4	nr. 5	nr. 1
	. . . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .
15	Männik Helisto	nr. 5	nr. 1	nr. 2	nr. 3	nr. 4

Õpilaste ettevalmistus.

Õpilaste ettevalmistamine praktikumiks toimub tundides järk-järgult ning süstemaatiliselt kogu õppeaasta vältel. Õppides tunnis näiteks soojuse ja mehhaanilise energia vahelist kvantitatiivset seost, fotomeetriat, valguse difraktsiooni jne., tuleb rääkida õpilastele soojuse mehhaanilise ekvivalendi määramisest, fotomeetria sea-

duste kontrollist, valguslaine pikkuse määramisest difraktsioonvõrega ning nendest riistadest, millega neil tuleb töötada praktikumis. Seejuures tuleb õpilastele selgeks teha mitte üksi määramise meetod ja näidata riistu, vaid anda lühidalt ka näpunäiteid riistade kasutamiseks; need näpunäited on neile vajalikud edaspidi.

Sellise esialgse ettevalmistustöö käigus peavad õpilased tegema riistast skemaatilise joonise, loetlema katseks vajalikud abiriistad ja märkima läbiviimise meetodist tuleneva laboratoorse töö läbiviimise korra. Läbiviimise meetodit peavad õpilased tundma ja oskama jutustada seda nii, nagu nad jutustavad Joule'i katsest soojuse mehhaanilise ekvivalendi määramisel.

Niiviisi tutvustatakse esialgselt VIII ja IX klasside õpilasi viie ning X ja XI klassi õpilasi kolme praktikumisse kuuluva tööga.

Eeltoodust ei piisa aga selleks, et õpilased võiksid täie eduga iseseisvalt sooritada töid praktikumis. Kogemused näitavad, et enne praktilisi töid tuleb õpilastele anda lühike kirjalik instruktsioon, mis sisaldab töö meetodi ja sisu, riistade kirjelduse, töö läbiviimise korra ja resultaatide ning arvestuste ülesmärkimise viisi.

Kolmandas peatükis on toodud nende tööde üksikasjaline kirjeldus, mida ühes või teises kombinatsioonis võib soovitada teha praktikumis. Need kirjeldused ei saa aga olla õpilastele tööjuhenditeks, kuna nende ülesanne on teine. Kirjeldustes on antud kõik vajalik materjal abiks õpetajale, nii et kasutades täielikult seda materjali saaks õpetaja mitte ainult valida töövahendeid, vaid ka õigesti organiseerida õpilaste ettevalmistamist: anda aasta jooksul tundides praktikumist vajalikud teatmed ja arvestades seda koostada tööjuhendid, mida peavad kasutama õpilased enne laboratoorseid töid ja ka tööde tegemise ajal.

Et konkreetsemalt kujutleda, mida peavad sisaldama tööjuhendid sellise ettevalmistussüsteemi juures, tuuakse allpool kaks näidet. Mõlemad tööjuhendid on võetud nende hulgast, mida kasutasid Moskva kooli nr. 315 õpilased (õpetaja E. N. Gorohova ja aspirant T. B. Vatatsi) ja kooli nr. 657 õpilased (õpetaja A. G. Dubov), kus esimest korda korraldati kirjeldatud praktikumi. Peale selle tuuakse ära ka üks õpilase tehtud töö aruanne.

Kaldu horisondiga visatud keha liikumise uurimine.

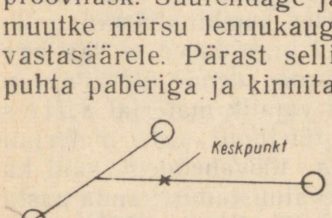
Töövahendid. 1) Ballistiline püstol, 2) mõõdulint, 3) statiiv muhviga ja rõngaga, 4) leht paberit suurusega 20 cm × 60 cm, 5) rõhknaelad.

Töö käik.

1. Mürsu lennukauguse ja mürsu väljalennu nurga vahelise sõltuvuse uurimine. On teada, et tulistamisel 45° nurga all peab mürsu lennukaugus olema kõige suurem ja kahe nurga jaoks, mis täiendavad teineteist 90°-ni, võib lugeda lennukaugusi võrdseteks.

Kontrollige seda katseliselt.

Selleks tutvuge algul üksikasjaliselt ballistilise püstoli ehitusega (joon. 15). Keerake selle surukruvi laua ääre külge nii, et mürsk lendaks mööda laua pinda. Seadke püstol nurgamõõtja ja loe abil 45° nurga alla, asetage mürsk püstolisse. Suruge vedru alguses vähe, nii et päästik jääks pidama varda esimese hamba taha ja tehke proovilask. Suurendage järk-järgult vedru kokkusurvet ja muutke mürsu lennukaugust niikaua kuni ta kukub laua vastasäärele. Pärast sellist ettevalmistust katke laud puhta paberiga ja kinnitage see rõhknaeltega.



Joon. 4.

Nüüd asetage püstol 20°—30° nurga alla horisondi suhtes ja tehke kolm lasku. Suruge vedru seejuures alati ühteviisi, s. o. sama hamba taha, mis oli esialgse seade juures. Igale märgile, mis te saate paberile mürsu kukkumisest, tõmmake pliiatsiga ring ümber. Ühendage need ringid omavahel ja leidke geomeetriliselt keskmine punkt, nii nagu on näidatud joonisel 4.

Suurendage püstoli kaldnurka järk-järgult 5° võrra kuni 70°-ni ja jätke seejuures vedru surve muutumatuks. Saate rea keskmisi punkte, mille kaugused püstolist mõõtke ära mõõdulindiga.

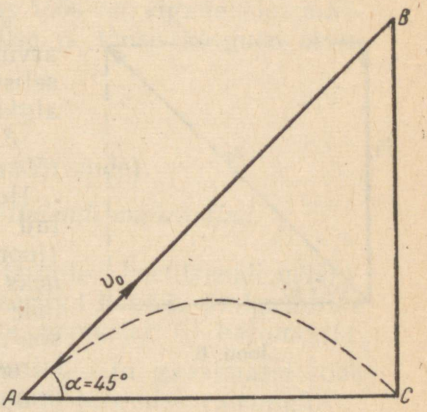
Mõõtmise tulemused kandke tabelisse nii nagu on näidatud allpool:

α	S	α	S
20°		70°	
25°		65°	
30°		60°	
35°		55°	
40°		50°	
45°			

Võrrelge tulemusi teises ja neljandas veerus. Kas võib öelda, et vastavad kaugused on ligikaudu võrdsed ja mürsu lennukaugus 45° puhul on suurim?

2. Mürsu algkiiruse määramine. Vaatleme horisondi suhtes 45° all lastud mürsu liikumist, mis on kujutatud joonisel 5 punktiiriga. See on liitliikumine. Joont AB mööda liigub mürsk algkiirusega v_0 ja läbib tee

$$AB = v_0 t \quad \ldots\ldots \quad (I).$$



Joon. 5.

Kuid samaaegselt esimese liikumisega võtab mürsk raskusjõu mõjul osa teisest liikumisest — langeb ühtlaselt kiirenevalt maapinna poole.

Mürsu poolt vertikaalses suunas läbitud tee

$$BC = \frac{gt^2}{2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (II).$$

Eelmises ülesandes me juba katseliselt leidsime tee $AC = s$ 45° puhul.

Nende andmete põhjal me võime arvutada algkiiruse v_0.

Lahendame täisnurkse kolmnurga ABC:

$$AB^2 = AC^2 + BC^2, \quad \text{kust} \quad AB^2 = 2s^2;$$

järelikult $AB = \sqrt{2s^2} = v_0 t$, siit $v_0 = \frac{\sqrt{2s^2}}{t}$.

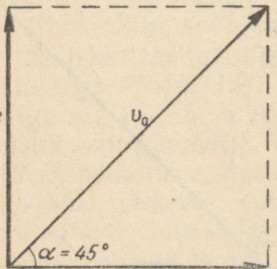
Viimases avaldises esineva tundmatu aja t leiame võrrandist (II).

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

$$\text{Siis } v_0 = \frac{\sqrt{2s^2}}{\sqrt{\frac{2s}{g}}} = \sqrt{\frac{2s^2 g}{2s}}$$

või

$$\boxed{v_0 = \sqrt{sg}}$$



Joon. 6.

Kasutades seda võrrandit arvutage esimese ülesande katseliste tulemuste põhjal mürsu algkiirus.

3. 45° all lastud mürsu tõusukõrguse määramine.

Horisondi suhtes 45° all lastud mürsu algkiirust v_0 (joon. 6) võime lahutada kaheks komponendiks: v_1 — ühtlase liikumise kiiruseks horisontaalses suunas ja v_2 — algkiiruseks ühtlaselt aeglustuva liikumise jaoks vertikaalselt üles.

Kuid $v_1 = v_2$, järelikult $v_0^2 = v_1^2 + v_2^2 = 2v_2^2$ või $v_2^2 = \frac{v_0^2}{2}$.

Tõusu kõrgus h vertikaali mööda määratakse algkiiruse v_2 kaudu järgmisest avaldisest:

$$h = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{v_0^2}{2{,}2g} \quad \text{või} \quad h = \frac{v_0^2}{4g}.$$

45° nurga all laskmisel kujunenud tõusu kõrguse võite järelikult arvutada lähtudes teises ülesandes leitud kiirusest.

Et seda asjaolu katseliselt kontrollida, meenutagem, et

$$v_0 = \sqrt{sg}, \quad \text{siis} \quad h = \frac{v_0^2}{4g} = \frac{sg}{4g} = \frac{s}{4},$$

s. o. püstoli 45° kalde puhul on suurim tõusukõrgus $\frac{1}{4}$ lennukaugusest.

Kontrollige seda järgmiselt: püstolist $\frac{s}{2}$ kaugusel (ka mürsu langemise kohast kaugusel $\frac{s}{2}$) asetage laskesuunale vertikaalses tasapinnas statiiv rõngaga. Rõnga keskpunkt asetage lauast $\frac{s}{4}$ kõrgusele. 45° nurga all laskmisel peab mürsk täpselt läbima rõnga.

Märkus. Käesolevas töös on vigade ülemmäärade arvutamised algkiiruse ja tõusu kõrguse arvutamistel välja jäänud.

Tööjuhend nr. 13 (näide).

Õhurõhu termilise koefitsiendi määramine.

Töövahendid. 1) õhurõhu termilise koefitsiendi määramise riist, 2) puust või emaileeritud kandik, 3) keemiline klaas, 4) piirituslamp, 5) toatermomeeter, 6) baromeeter.

Töö käik. On teada, et muutumatu gaasimassi rõhk antud temperatuuri juures avaldub järgmise valemiga:

$$p_1 = p_0(1 + \alpha t_1),$$

kus p_0 — gaasi rõhk 0° C juures; α — rõhu termiline koefitsient; t_1 — temperatuur, mis on loetud 0° C-st.

Sellest võrrandist, mis on rakendatav ka õhu juures, võib arvutada α, kui eelnevalt mõõta õhurõhk toatemperatuuril t_1 ja rõhk p_0 — 0° C juures.

Koolide tingimustes on tülikas mõõta õhurõhku 0° C juures (peab olema sulavat jääd), sellepärast tuleb valemist see suurus kõrvaldada.

Kirjutame eelpooltoodud valemi mingi teise temperatuuri t_2 jaoks:

$$p_2 = p_0(1 + \alpha t_2).$$

Jagame nüüd esimese valemi teisega, saame:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{p_0(1+\alpha t_1)}{p_0(1+\alpha t_2)} \quad \text{või} \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{1+\alpha t_1}{1+\alpha t_2}$$

Lahendame saadud võrrandi α suhtes:

$$p_1 + p_1\alpha t_2 = p_2 + p_2\alpha t_2$$

või

$$\alpha(p_1 t_2 - p_2 t_1) = p_2 - p_1,$$

mis annab $\alpha = \frac{p_2 - p_1}{p_1 t_2 - p_2 t_1}$,

või

$$\boxed{\alpha = \frac{\Delta p}{p_1 t_2 - p_2 t_1}} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(III)}$$

Kõik valemi (III) paremal pool esinevad suurused on kergesti mõõdetavad, nagu seda näidatakse allpool. Järelikult võib sellest valemist määrata õhurõhu termilist koefiitsienti α.

Tähelepanelikult tutvudes riista ehitusega, mis on antud joonisel [1], asuge töö läbiviimisele järgmises korras:

1. Seadke elavhõbeda nivoo riista mõlemas torus täpselt skaala nullile, nihutades selleks paremat (lehtriga) toru poolt üles või alla.

2. Mõõtke ballooni õhu algtemperatuur t_1 (see on võrdne ümbritseva õhu temperatuuriga) ja algrõhk p_1 (see on võrdne baromeetri näiduga).

3. Sulgege kraan, et eraldada ballooni õhku ümbritsevast ruumist.

4. Asetage klaasnõu kuuma veega rõngale ja rõnga alla pange piirituslamp ning pistke balloon vette. Lehtrit elavhõbedaga tõstke järk-järgult üles, hoides vasakpoole elavhõbeda nivoo kogu aeg nullil.

5. Kui vesi hakkab keema ($t_2 = 100°$) märkige ära vasakpoolse toru elavhõbedasamba nivoo (mis peab seisma skaala nullil) ja parempoolse haru elavhõbedasamba nivoo vahe Δp.

[1] Siin peab olema tööjuhendi joonis 62.

6. Pärast seda koristage ära klaasnõu ja laske seejuures kohe toru parem pool alla. Seda on tarvis teha selleks, et balloonis õhu jahtudes sinna ei satuks elavhõbedat.

7. Katse tulemused kandke tabelisse, kusjuures rõhk avaldage elavhõbedasamba millimeetrites ja temperatuur Celsiuse kraadides.

Nr.	p_1	Δp	$p_2 = p_1 + \Delta p$	t_1	t_2	α

Asetage suuruste leitud väärtused valemisse (III) ja arvutage õhurõhu termiline koefitsient α.

Vea ülemmäära arvutamiseks kasutage valemit (III) juhu jaoks, kus $t_1 = 0$. Peale selle jätke ära väiksuse tõttu viga, mis saadakse $p_2 - p_1$ mõõtmisel ja mis on kuni 1 *mm*.

Siis võtab relatiivse vea ülemmäära arvutamise valem järgmise kuju:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta p_1}{p_1} + \frac{\Delta t_2}{t_2}$$

Arvutage selle valemi põhjal relatiivne ja siis ka absoluutne viga ja kirjutage õhurõhu termiline koefitsient lõplikul kujul.

Nendest näidetest nähtub, et tööjuhend peab alati sisaldama järgmisi elemente: 1) lühikesi teatmeid uuritava küsimuse teooriast; 2) riistade lühikese kirjelduse (kui riistad on õpilastele tundmatud); 3) töö läbiviimise meetodi; 4) mõõtmise ja arvutamise tulemuste ülesmärkimise korra.

Tööjuhendi maht ja selle üksikasjalisus sõltuvad peamiselt sellest, kui hästi on praktilise töö sisu õpilastele klassis selgeks saanud ja ka töö enda iseloomust.

Nii vajavad laboratoorsed tööd hääle levimiskiiruse ja metallide takistuse termilise koefitsiendi määramiseks märgatavalt vähem mitmesuguseid praktilisi näpunäiteid tööjuhendis õpilastele kui näiteks tööd fotograafiast ja spektroskoopiast või aurumasina ja turbiini uurimisest. Tööd mehhaanikast, nagu kinemaatika ja dünaamika sea-

duste uurimine, vertikaalselt, horisontaalselt ning kaldu horisondiga visatud keha liikumise uurimine nõuavad uuritavate küsimuste teooriast rohkem näpunäiteid, kui näiteks tööd õhuniiskuse määramiseks jne.

Tööjuhendi koostamisel tuleb arvestada ka seda, et kaks eelpoolnimetatud tööd mehhaanikast ja samuti mõned tööd teistelt aladelt lähevad oma ulatuselt kahe tunni piiridest välja. Need vajavad ettevalmistusel erilist tähelepanu või mõningat materjali vähendamist, nagu seda on tehtud esimeses eelpooltoodud näites (tööjuhend nr. 4), kus töö sisu on väiksem kui III peatükis sama töö kirjelduses.

On tarvis pöörata tähelepanu sellele, et tööjuhendid oleksid hästi vormistatud (masinal kirjutatud, selgete ja täpsete joonistega), õpilase vihiku formaadis ja õmmeldud tugevate kaante vahele, mille peale on märgitud töö nimetus ja number.

Niisugusel kujul saab tööjuhendeid anda õpilastele ka kojuviimiseks, nad säilivad seejuures hästi, vaatamata sellele, et nad aasta jooksul käivad palju kordi käest kätte.

Õpilaste ettevalmistuse viimaseks etapiks on kahetunniline sissejuhatav vestlus, mis peab toimuma VIII klassis vahetult enne praktiliste tööde algust. Sellise vestluse sisuks peavad olema järgmised küsimused: 1) praktikumi ülesanne; 2) praktikumi sisu; 3) töö organiseerimine; 4) mõõtmiste võtted, vigade analüüs, ligikaudsed arvutused; 5) tehtud tööde aruannete koostamine [1].

Vestluse sisu kahte esimest punkti on eelpool küllaldaselt puudutatud, sellepärast peatume siin vaid kolmandal, neljandal ja viiendal punktil.

Käsitledes töö organiseerimist, teatab õpetaja õpilastele antud klassi jaotamisest gruppideks, tutvustab tööde kalenderplaaniga ja riputab selle nähtavale kohale. Järgnevalt jaotab õpetaja vastavalt kalenderplaanile tööjuhendid ja teeb teatavaks edaspidise tööjuhendite vahetamise korra õpilasgruppide vahel. Siin tehakse ka märkus vajadusest tööjuhendiga korralikult tutvuda, ilma selleta ei

[1] On ilmne, et sissejuhatav vestlus IX ja X ning XI klassis võtab vähem aega ja koosneb peamiselt teadetest praktikumi sisu ja organisatsiooni kohta.

saa õpilasi lubada töö juurde, sest tööjuhendi mittetundmine on kõige sagedamaks asjatu ajaviitmise põhjuseks ja samuti riistade rikkumise põhjuseks.

Edasi räägitakse vajadusest pidada töölaual täielikku korda, töökoha korrastamisest pärast tööd ja aruande kirjutamisest selleks võetud vihikusse pärast iga töö lõpetamist. Lõpuks antakse väiksemaid praktilisi juhendeid elektrivoolu, gaasi või mingi teise soojusallika, vee ja tööriistade kasutamisest jne.

Pärast seda selgitatakse mõõtmisvõtete küsimust ja üht tähtsamat tööelementi — vigade analüüsi, mida peavad õpilased omandama laboratoorsete tööde jooksul.

Õppeprotsessi vältel peavad paljud demonstratsioonikatsed ja enamus laboratoorseid töid avama füüsikaliste nähtuste kvantitatiivse külje ja samaaegselt tutvustama õpilasi mitmesuguste mõõtmismeetoditega. Kui demonstratsioonikatsetes kasutatakse mõõduriistu alati indikaatoritena (pärast neid katseid ei vaadelda tehtud mõõtmisi usaldusväärsuse astme seisukohalt), siis laboratoorsetes töödes ja praktikumi töödes tõuseb mõõtmiste täpsuse küsimus esikohale. Selles seisneb laboratoorsete katsete tähtsaim metoodiline eelis demonstratsioon-katsetega võrreldes.

Sissejuhatavas vestluses tuleb juhtida õpilaste tähelepanu sellele, et iga mõõtmine toimub ligikaudselt ning sellise täpsusega, mis rahuldab praktilisi või teaduslikke ülesandeid, kusjuures täpsusaste sõltub mõõtmisviisist, mõõduriistade täiuslikkusest, katsetaja isiklikest võimetest ja mõnedest teistest põhjustest. Sellepärast ei seisa ühe või teise suuruse määramise ülesanne mitte selle suuruse tõelise väärtuse otsimises, vaid vahemiku määramises, milles see suurus peab asetsema, rakendades antud konkreetseid riistu ja instrumente ning mõõtmisviisi. See ülesanne on täidetav iga mõõtmise juures ja ei tohi puududa peaaegu ühestki mõõtmisega ühenduses olevast praktikumi tööst.

Kooli laboratoorsete tööde praktikas puutuvad õpilased kokku nii o t s e s t e kui k a u d s e t e mõõtmistega.

Otseste mõõtmiste näideteks võivad olla pikkuste otsesed mõõtmised joonlauaga, massi (kaalu) mõõtmised kaalude abil, voolutugevuse mõõtmised ampermeetriga jts. Selle mõõtmise liigi iseärasuseks on suhteline lihtsus, või-

malus mõõtmist paljukordselt korrata ja mõõtmistulemuste otsene saamine.

Kõiki füüsikalisi suurusi ei saa aga mõõta vahetult; paljud nendest leitakse kaudsel teel. Selliste mõõtmiste lihtsaimaks näiteks võib olla laua pindala määramine joonlaua abil või silindrilise juhtme (traadi) ristlõike pindala määramine mikromeetri abil. Nii esimesel kui teisel juhul mõõdetakse otseselt j o o n s u u r u s i; siis, kasutades tuntud funktsioone, arvutatakse otsitavad p i n d a l a d.

Esimesel juhul piisab, kui ühe ja sama ühikuga avaldatud laua pikkuse korrutame laiusega; teisel juhul tuleb mõõdetud diameeter D asetada valemisse:

$$S = \frac{\pi D^2}{4},$$

kus S on ristlõike pindala.

On ilmne, et kehade vaba langemise kiirenduse, soojuse mehhaanilise ekvivalendi, juhtme takistuse termilise koefitsiendi ja valguslaine pikkuse määramine ning enamus käesolevas raamatus kirjeldatud ülesandeid on oma loomult näited mitmesuguste füüsikaliste suuruste kaudsest mõõtmisest.

Vestluse jooksul on tarvis näidata õpilastele põhilised erinevused vigade arvutamise võtete vahel otseste ja kaudsete mõõtmiste juures.

Juhul kui on võimalik korraldada mitmekordseid otseseid mõõtmisi, kasutatakse vigade määramiseks teatavasti aritmeetilist keskmist:

$$\mathrm{A} = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \ldots + A_n}{n},$$

kus $A_1, A_2, A_3, \ldots, A_n$ on otsese mõõtmise teel saadud väärtused ja n — mõõtmiste arv.

Siis võetakse aritmeetilise keskmise ja otsesel mõõtmisel saadud väärtuste vahed

$$\begin{aligned} A - A_1 &= a_1, \\ A - A_2 &= a_2, \\ &\ldots\ldots\ldots, \\ &\ldots\ldots\ldots, \\ A - A_n &= a_n. \end{aligned}$$

Edasi arvutatakse mõõtmise absoluutne viga

$$a = \frac{(a_1)+(a_2)+\ldots+(a_n)}{n}.$$

Kui näiteks pikkuse mõõtmisel $A = 123{,}1\ cm$ ja suurus $a = 0{,}5\ cm$, siis lõplik tulemus kirjutatakse järgmiselt:

$$A = 123{,}1\ cm \pm 0{,}5\ cm.$$

See üleskirjutus tähendab seda, et mõõdetava suuruse tõeline väärtus on tõkete 122,6 ja 123,6 vahel.

Kui otsitava suuruse väärtuse määramine toimub kaudsel teel (teiste suuruste vahetule mõõtmisele järgneb arvutus, mille tulemusena saadaksegi otsitav suurus) ja mitmekordselt mõõta pole võimalik, siis võimalike vigade arvutamine toimub teisiti. Sel juhul võetakse arvesse täpsus, mida võimaldab üks või teine mõõduriist (kaalud, dünamomeeter, baromeeter, ampermeeter jne.) ja funktsioon, milles etendavad osa mõõdetud suurused otsitava suuruse saamiseks.

Lühidalt läbi arutades mõne tuntud näite, tuleb õpilastele siinjuures meelde tuletada mõõtmisvea arvutamist ligikaudse arvu ülem- ja alamtõkke otsimise teel. Seda võtet on nad korduvalt rakendanud frontaalsetes laboratoorsetes töödes, sellepärast võib seda eduga võrrelda nende jaoks uue võttega, kui tuleb tarvitusele võtta ligikaudsete valemite spetsiaalne tabel.

Oletame, et tribomeetri ja Bakušinski dünamomeetri abil määratakse hõõrdetegur $f = \frac{F}{P}$. (Bakušinski dünamomeeter võimaldab praktiliselt mõõta jõudu täpsusega kuni 5 G). Mõõtmisel leiti, et $P = 340\ G \pm 5\ G$ ja $F = 72\ G \pm 5\ G$.

Hõõrdeteguri maksimaalne ja minimaalne väärtus on ilmselt järgmine:

$$f_{max.} = \frac{72+5}{340-5} \approx 0{,}230; \quad f_{min.} = \frac{72-5}{340+5} \approx 0{,}194.$$

Kui hõõrdeteguri ligikaudseks väärtuseks lugeda nende tõkete aritmeetilist keskmist, siis saame:

$$f = \frac{0{,}230 + 0{,}194}{2} = 0{,}212.$$

See erineb tõketest $\Delta f = \frac{0{,}230 - 0{,}194}{2} \approx \pm 0{,}018$ võrra.

See ongi mõõtmistulemuse absoluutse vea ülemmäär, mis on leitud ülem- ja alamtõkke arvutamise teel. Absoluutse vea ülemmäär võimaldab lõppresultaati kirjutada nii:

$$f = 0{,}21 \pm 0{,}02.$$

Märgatavalt kiiremini võib saada sama resultaadi, kui kasutada tuntud reegleid, mis on antud allpooltoodud tabelis ja arvutada algul relatiivse vea ülemmäär ja siis absoluutse vea ülemmäär.

Korrutise relatiivne viga on võrdne üksikute mõõtmiste (tegurite) relatiivsete vigade summaga, s. o.

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta P}{P}, \text{ siit } \frac{\Delta f}{f} = \frac{5}{72} + \frac{5}{340} \approx 0{,}085$$

Suuruste mõõtmiste tulemustele vastavalt hõõrdetegur

$$f = \frac{72}{340} \approx 0{,}212.$$

Absoluutse vea ülemmäär on järelikult

$$\Delta f = 0{,}085 \cdot 0{,}212 \approx 0{,}018,$$

s. o. sama arv, mille saime esimese meetodi abil.

Seda liiki vigade arvutamise teisi näiteid on toodud III peatükis tööde nr. 1; 3; 9 ja 12 kirjeldustes.

Et õpilased ei võtaks tabelis toodud andmeid täiesti dogmaatiliselt, tuleb tuua ühe funktsiooni, näiteks korrutise absoluutse ja relatiivse vea valemite tuletamine.

Olgu mingi suurus A kahe teise suuruse a ja b korrutiseks:

$$A = ab. \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(I)}$$

Siis võib kirjutada:

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

või

$$A + \Delta A = ab + b\Delta a + a\Delta b + \Delta a \cdot \Delta b. \quad \ldots \quad \text{(II)}$$

Lahutades valemi (I) valemist (II), saame võetud korrutise absoluutse vea

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

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

Kuid jagades seda valemiga (I) saadakse relatiivne viga

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

Kahe viimase valemi viimased liidetavad on nii väiksed (teist järku väiksed), et neid võib ära jätta ja siis saadakse tabelis antud valemitega ühtivad valemid.

Ärajäetud liikme väiksuses võib õpilasi veenda mingi arvulise näite abil.

Sissejuhatavas vestluses tuleb öelda ka seda, kuidas koostatakse lühike kirjalik aruanne.

See aruanne peab peegeldama õpilase arusaamist tehtud töö olemusest. Sellepärast pole vajadust aruandes korrata tööjuhendis antud riistade ja materjalide loetelu, riistade ehitust, praktilisi märkusi riistade kasutamise kohta jts.

[1] «Absoluutse vea ülemmäära» asemel öeldakse sagedasti lihtsamalt «absoluutne viga». Analoogiline lugu on relatiivse vea ülemmääraga.

Tõlkija.

Aruanne peab põhiliselt sisaldama katseseadme skemaatilise joonise, katse läbiviimise kirjelduse, vaatluste ja mõõtmiste tulemused, tulemuste läbitöötamise (vigade arvutamise või graafiku).

Allpool tuuakse ära näitena üks õpilase aruanne, kust võib näha selle sisu vajalikke osi. Sissejuhatavas vestluses pole muidugi vaja rääkida aruande kõikidest detailidest. Kõige parem on pöörduda aruande juurde veelkord tagasi pärast seda, kui õpetaja on kontrollinud esimesi aruandeid ja saanud seega konkreetset materjali.

Tehtud töö aruanne koostatakse kohe pärast tööd ja antakse õpetajale kontrollimiseks. Ainult erandjuhtumil võib see jääda koduseks tööks.

Ühenduses sellega oleks väga kasulik koostada kooli tunniplaan nii, et praktikum toimuks kahel viimasel tunnil. Siis võiksid õpilased vajaduse korral jääda pärast tunde mõneks ajaks füüsika kabinetti tööde lõpetamiseks. Kogemused näitavad, et selle järele on vajadust mõnel õpilasel, peamiselt praktikumi alguses, sest kõik õpilased ei kodune ühesuguse kiirusega uue tööliigiga praktikumis.

Füüsika praktiliste tööde aruannete jaoks on soovitav sisse seada erivihik.

Aruanne tööst nr. 4 (näide).

«Kaldu horisondiga visatud keha liikumise uurimine».

Ülesanne 1. Mürsu lennukauguse ja laskenurga vahelise sõltuvuse uurimine.

Seadsime püstoli laua otsa külge ja tegime kindlaks, et vedru surumisel viienda hamba taha lendab mürsk peaaegu laua vastasotsani. Mõõtsime ära kolme lasu keskmise kauguse.

Edaspidises töökäigus laadisime püstoli viie hamba taha, asetasime ta mitmesuguste nurkade alla ja tegime iga uue nurga puhul kolm lasku. Igast mõõdetud kauguse kolmikust võtsime keskmise.

α	S	α	S
30°	115,5 *cm*	60°	115 *cm*
35°	126,5 *cm*	55°	126,2 *cm*
40°	134 *cm*	50°	134 *cm*
45°	138,5 *cm*		

Tabelist on näha, et laskmisel 45° nurga all on lennukaugus kõige suurem ja et nurkade puhul, mis täiendavad teineteist 90°-ni võib lennukaugusi lugeda võrdseteks.

Ülesanne 2. Mürsu algkiiruse määramine.

Laskmisel 45° nurga all saab mürsk algkiiruse v_0 ja lendab kõverat mööda, mis on näidatud joonisel punktiiriga[1]. See on liitliikumine: AB mööda — ühtlane ja BC mööda — ühtlaselt kiirenev (vaba langemine).

Et leida v_0 tuleb teada teepikkust AB ja aega t. Teepikkust AB saame leida võrdhaarsest kolmnurgast ABC.

$$AB = \sqrt{AC^2 + BC^2}.$$

Kuid $AC = BC = 138{,}5$ *cm*, nagu nähtub esimesest ülesandest. Järelikult

$$AB = \sqrt{2{,}138{,}5^2}\ cm.$$

Mürsu liikumise aja me leidsime vaba langemise valemist

$$t = \sqrt{\frac{2BC}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 138{,}5}{980}}\ sek.$$

Seega

$$v_0 = \frac{\sqrt{2 \cdot 138{,}5^2 \cdot 980}}{\sqrt{2 \cdot 138{,}5}} = \sqrt{138{,}5 \cdot 980} \approx 367\ \frac{m}{sek.}$$

[1] Tuuakse joonis 5 selle töö juhendist.

Ülesanne 3. Mürsu tõusukõrguse määramine laskmisel.

Kui laskenurk on 45° siis võime mürsu algkiiruse lahutada kaheks võrdseks komponendiks:

v_1 — ühtlase liikumise kiirus horisontaali mööda ja v_2 — ühtlaselt aeglustava liikumise algkiirus vertikaali mööda [1].

Järelikult

$$v_0^2 = v_1^2 + v_2^2 = 2v_2^2,$$

või

$$v_2^2 = \frac{v_0^2}{2} = \frac{367^2\ cm^2}{2\ sek^2}$$

Mürsu tõusukõrguse vertikaali mööda määrasime algkiiruse v_2 kaudu järgmiselt:

$$h = \frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_0^2}{4g}, \text{ seega } h = \frac{367^2}{4 \cdot 981} \approx 34{,}4\ cm.$$

Tõusukõrgust võib määrata ka teisiti:

$$h = \frac{sg}{4g} = \frac{s}{4}$$

ja kui teepikkus laskmisel 45° nurga all võtta esimesest ülesandest, siis

$$h = \frac{138{,}5}{4} \approx 34{,}6\ cm.$$

Neid arvutusi kontrollisime katseliselt. Statiiv koos rõngaga oli asetatud püstolist $\frac{s}{2} = 69{,}3\ cm$ kaugusele ja statiivi rõnga tõstsime kõrgusele $h = 34{,}6\ cm$ lauast, siis tegime lasud 45° nurga all, kusjuures vedru oli viienda hamba taga. Kuulike lendas seejuures täpselt läbi rõnga. Vastavalt tööjuhendile ei tehtud vigade arvutamisi.

Praktikumi korraldamise metoodika.

Õpilaste järkjärguline ettevalmistus praktikumiks tavaliste õppetundide ajal, kuid samuti ka varem kirjeldatud vajaliku varustuse vastav ettevalmistus määravad juba ise praktikumi korraldamise metoodika.

[1] Tuuakse joonis 6 töö juhendist.

Erinevalt frontaalsetest töödest, mis toimuvad programmi uue materjaliga ja õpetaja vahetul juhendamisel, on praktikumi töödes antud õpilastele maksimaalne iseseisvus, kuna siin nad puutuvad kokku varem läbitöötatud küsimustega. Kasutades tööjuhendeid (mille peamine sisu on võetud läbivõetud programmi osadest) ja vajalikke riistu ning nende juurde kuuluvaid vahendeid ja materjale, koostavad õpilased üksikutest osadest seadme, korraldavad sellega katse ja teevad katsega seoses olevad vaatlused ning mõõtmised; kasutades teatmikke, töötavad nad läbi mõõtmiste tulemused ja koostavad aruande.

Õpetaja ülesanne praktikumis on märksa erinev ülesandest harilikus tunnis, kus esitatakse uut materjali, lahendatakse näidetena ülesandeid, küsitletakse õpilasi jms. See ülesanne seisneb peamiselt iga grupi töö igakülgses jälgimises.

Praktikumi jälgimise jooksul annab õpetaja üksikutele õpilastele näpunäiteid riistade kohta, hoolitseb selle eest, et õpilased saaksid õiged praktilised kogemused. Vajaduse korral korrigeerib õpetaja ühe või teise grupi tööd, annab näpunäiteid, mis aitavad õigeaegselt lõpetada katsetamist ja sobiva tulemuse saamist, kuid samuti annab nõu saadud tulemuste läbitöötamise ja aruande koostamise suhtes jms.

Töö jälgimine võimaldab õpetajal kindlaks teha, kes õpilastest paremini valmistus tööks (tunneb teooriat, kujutleb selgesti töö käiku, teab iga riista ülesannet) ja kes halvemini. Esimestel õpilastel töö edeneb, nad tunnevad end kindlamini, küsivad õpetajalt suhteliselt harva ja kui küsivad, siis selge- ning kindlakujuliselt. Teiste juures võib tähele panna ebakindlust ja mahajäämist; nad pöörduvad iga pisiasjaga õpetaja või tugevamate kaasõpilaste poole, need õpilased vajavad abi.

Peale selle võib õpetaja kergesti näha, kes õpilastest teeb tööd ettevaatlikult ja korralikult, püüdes saada paremaid tulemusi ning kes rutates, ilma vajaliku hooleta, formaalselt ja mõnikord isegi sisust aru saamata.

Kõik see annab õpetajale rikkaliku materjali praktikumi tööde organiseerimise edasiseks parandamiseks ja iga õpilase õiglaseks hindamiseks.

Õpilaste teadmiste hindamine praktikumis on praktikumi korraldamise metoodika olulisi külgi. Hinne kujuneb

siin õpilaste aruannetest ja õpetaja poolt tehtud vaatlusandmetest, kuna hindamisel ei tule arvestada ainult aruande kvaliteeti, vaid kogu praktilise töö kvaliteeti.

Viimast asjaolu on tähtis allakriipsutada sellepärast, et aruanne mõnikord ei peegelda õpilase enda tööd, vaid võib mõnikord viia eksiteele: aruanne osutub heaks, kuid töö läbiviimine jätab tegelikult palju soovida.

Aruandeid peab õpetaja kontrollima süstemaatiliselt pärast iga tööd. Kontrollimisel vaadatakse läbi saadud tulemused, seadmete joonised, protsesside graafikud, mitmesugused skeemid ja praktilist ülesannet määravate teoreetiliste lähtekohtade õigsus. Seejuures teeb õpetaja vihikusse omad märkused ja parandused ning lõpuks, võttes arvesse kogu praktilist tööd tervikuna, paneb hinde.

Selline üldhinne võõrutab õpilasi formaalsest suhtumisest asjasse: ilma eelneva tõsise tööta ainult taga ajada head aruannet. See sunnib pühendama tähelepanu õigele ja ratsionaalsele riistade käsitsemisele, mis kasvatab järkjärgult ettevaatlikkust ja korralikkust.

Tööde korraldamise õige metoodika sunnib õpilasi praktikumisse suhtuma täie vastutustundega, tõsiselt selleks ette valmistama, ettevaatlikult riistadega ümber käima ja mitte lubama nende rikkumist, korda seadma oma töökohta, nagu ta oli enne tööd jne.

Nendel üsna harvadel juhtudel, kus õpetajal on raskusi praktikumi hindamisega, võib ta õpilast küsitleda järgneval tunnil ja lähemalt välja selgitada tema teoreetilisi ning praktilisi teadmisi tehtud tööst. Pärast sellist küsitlust paneb õpetaja hinde vihikusse ja klassipäevikusse.

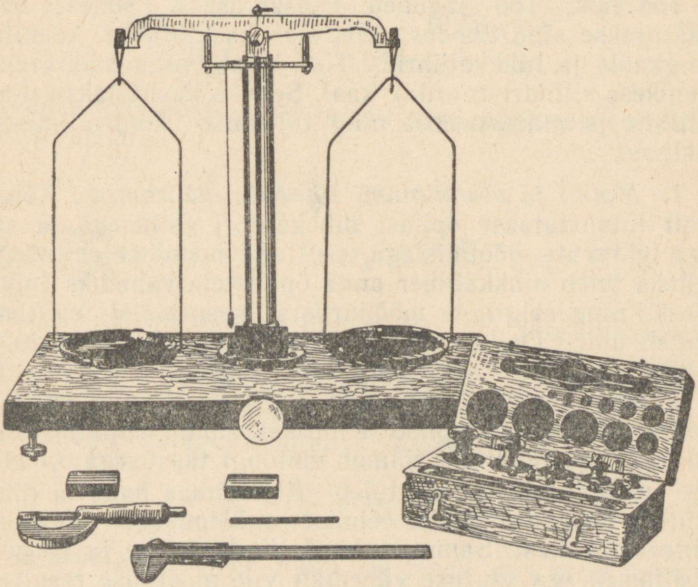
III PEATÜKK.

LABORATOORSETE TÖÖDE KIRJELDUSED.

MEHHAANIKA JA AKUSTIKA.

1. Pikkuse mõõtmine ja kaalumine.

Töövahendid (joon. 7). 1) Tehnilised kangkaalud 200—500 *g* jaoks, tundlikkusega 0,01 *g*, 2) kaaluvihtide komplekt (vihid 0,01 kuni 100 *g*), 3) mikromeeter mõõdupiirkonnaga 25 *mm*, mis võimaldab teha mõõtmisi täpsu-



Joon. 7. Töövahendid töö nr. 1 jaoks.

sega 0,01 *mm*, 4) nihkkaliiber mõõdupiirkonnaga 15 *cm*, millel on noonius mõõtmiseks täpsusega 0,1 *mm*, 5) malmist risttahukas 40 *mm* × 25 *mm* × 10 *mm*, 6) alumiiniumist risttahukas 40 *mm* × 25 *mm* × 10 *mm*, 7) terasvarras diameetriga 4—5 *mm* ja pikkusega umbes 75 *mm*.

Praktikas on sageli tarvis mõõta esemete pikkust ning määrata nende kaalu. Nende suuruste enam-vähem täpseteks mõõtmisteks kasutatavate riistade (tehnilised kaalud, mikromeeter, varbsirkel) ebaõige käsitsemine võib aga põhjustada mõõtmistulemuste jämeda moonutamise või isegi mõõduriistade rikkumise. Töö nr. 1 ülesandeks on tutvustada õpilasi mikromeetriga ja nihkkaliibriga tehtavate mõõtmiste õ i g e tehnikaga ja õigete kaalumisvõtetega kangkaaludel.

Eespoolmainitud põhiülesande kõrval selgitatakse suhteliselt lihtsate näidetega ka seda, et iga mõõtmine, isegi täpsete riistadega, on seotud teatud veaga, et mõõtmise ülesanne ei ole hinnata või määrata mõõdetava suuruse «tõelist» väärtust, vaid seda vahemikku, milles asetseb see suurus.

Töö käik. Töö jaguneb kaheks osaks. Esimeses osas määratakse aine tihedus. Selleks kasutatakse tehnilisi kangkaale ja nihkkaliibrit. Töö teises osas määratakse peenikese silindri (varda) kaal. Selleks kasutatakse nihkkaliibrit ja mikromeetrit ning tulemuse kontrollimiseks kaalusid.

1. *Malmi ja alumiiniumi tiheduse määramine.* Kõigepealt tutvustatakse õpilasi nihkkaliibri ehitusega ja sellega tehtavate mõõtmistega, eriti aga nooniuse ehitusega. Selleks tuleb nihkkaliiber anda õpilastele vahetuks tutvumiseks ning selgitada mõõduriista kasutamist suurema mudeli abil. Õpilaste tähelepanu tuleb pöörata ka nihkkaliibri kasutamist käsitlevale kirjandusele.

Riista ehituse selgitamisele järgnegu alumiiniumist ja malmist risttahukate pikkuse mitmekordne mõõtmine nihkkaliibri abil. Mõõtmine toimub muidugi täpsusega 0,1 *mm*. Iga mõõtmise juures tuleb risttahukas haarata nihkkaliibri nokkade vahele, eelmise mõõtmisega võrreldes erinevast kohast. Samuti tuleb talitada laiuse ja kõrguse mõõtmisel. Iga suuruse vähemalt viie mõõtmise resultaadid kantakse vastavasse tabelisse (vt. allpool).

Rangelt kinni pidades tehniliste kangkaalude kasutamise reeglitest, kaalutakse mõlemad risttahukad täpsusega 0,01 *g*. Kaalumise tulemused kantakse tabelisse.

Alumiinium					Malm				
Katse nr.	Pikkus *a*	Laius *b*	Kõrgus *h*	Mass *m*	Katse nr.	Pikkus *a*	Laius *b*	Kõrgus *h*	Mass *m*
1	40,0	25,2	10,0		1	40,1	24,8	9,9	
2	40,2	25,1	10,0		2	40,2	24,9	10,1	
3	40,1	25,1	10,0	26,90	3	40,0	24,9	10,1	68,56
4	40,1	25,1	10,0		4	40,1	24,8	10,0	
5	40,1	25,2	10,0		5	40,1	25,0	9,8	
Keskmine	40,1	25,14	10		Keskmine	40,1	24,88	9,98	

Tabeli andmete põhjal määratakse alumiiniumist risttahuka ruumala (V_a) ja malmist risttahuka ruumala (V_m) valemi $V = abh$ põhjal.

$$V_a = 40{,}1 \cdot 25{,}14 \cdot 10{,}0 = 10{,}08 \ cm^3;$$

$$V_m = 40{,}1 \cdot 24{,}88 \cdot 9{,}98 = 9{,}98 \ cm^3.$$

Teades risttahuka massi ja ruumala, määratakse nende tihedus valemi

$$D = \frac{m}{V} \text{ abil.}$$

$$D_a = \frac{26{,}90}{10{,}08} = 2{,}67 \ \frac{g}{cm^3} \text{ ja } D_m = \frac{68{,}55}{9{,}98} = 6{,}86 \ \frac{g}{cm^3}.$$

Saadud tulemuste õige hindamine on ilmselt seotud mõõtmisel tekkinud vigade arvestamisega. Vaatame millised on vead, kui tihedust arvutame näidatud viisil.

Relatiivse vea ülemmäär oleneb antud juhul kaalumise veast ja ruumala mõõtmise vigadest:

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

$\frac{\Delta m}{m}$ on arvutada kerge, kuna on teada, et kaalud lubavad kaaluda täpsusega 0,01 *g*.

Meie esimese näite jaoks (alumiinium):

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{0{,}01}{26{,}9} = 0{,}04\%.$$

$\frac{\Delta V}{V}$ arvutame lähtudes valemist $V = abh$, s. o.

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

Siin Δa, Δb ja Δh on igaüks 0,1, sellepärast, et pikkust, laiust ja kõrgust mõõdeti nihkkaliibriga, mille noonius annab täpsuse 0,1 *mm*.

Järelikult

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{0{,}1}{40{,}1} + \frac{0{,}1}{25{,}14} + \frac{0{,}1}{10} = 1{,}65\%.$$

Seega alumiiniumi jaoks

$$\frac{\Delta D}{D} = 0{,}04 + 1{,}65 = 1{,}7\%.$$

Täpselt samuti arvutatakse relatiivse vea ülemmäär malmi jaoks. See tuleb jällegi ligikaudu 1,7%.

Siit tuleneb, et absoluutse vea ülemmäär alumiiniumi tiheduse määramisel:

$$\Delta D = 2{,}67 \cdot 0{,}017 \approx 0{,}05$$

ja malmi jaoks:

$$\Delta D = 6{,}86 \cdot 0{,}017 \approx 0{,}1.$$

Järelikult lõppresultaati tuleb kirjutada nii:

$$D_a = 2{,}67 \frac{g}{cm^3} \pm 0{,}05 \frac{g}{cm^3}; \qquad D_m = 6{,}9 \frac{g}{cm^3} \pm 0{,}1 \frac{g}{cm^3}.$$

2. *Varda massi (kaalu) määramine mõõtude järgi.* See töö osa nõuab varda massi (kaalu) määramist mõõtmisel saadud joonmõõtude kaudu. Selliseid ülesandeid esineb teatavasti sagedasti mitmesuguste tehniliste arvutuste juures.

Kuna varras kujutab endast terasest püstsilindrit diameetriga d ja pikkusega l, siis ruumala

$$V = \frac{\pi d^2 l}{4}, \quad \text{kus} \quad \pi = 3{,}14.$$

Varda mass $m = DV$ avaldub valemiga:

$$m = \frac{\pi d^2 D}{4},$$

kus D on varda aine tihedus (määratakse varem ja tehakse õpilastele teatavaks).

Varda diameeter mõõdetakse mikromeetriga täpsusega 0,01 *mm* ja pikkus nihkkaliibriga täpsusega 0,1 *mm*.

Enne mõõtmisele asumist tutvuvad õpilased mikromeetri ehituse ja mõõtmisvõtetega. Seejuures tuleb juhtida tähelepanu mikromeetri liikuvale peale, mille abil saab mõõtmisel alati ühesuguse surve. Viimane aitab vältida individuaalseid vigu.

Toome ühe sellise töö juures saadud tulemused. Mõõtes varda pikkust nihkkaliibriga ja diameetrit mikromeetriga viis korda, saadi keskmiseks väärtuseks: $d = 3{,}93$ *mm* ja $l = 74{,}8$ *mm*; varda tihedus $D = 7{,}97 \frac{g}{cm^3}$.

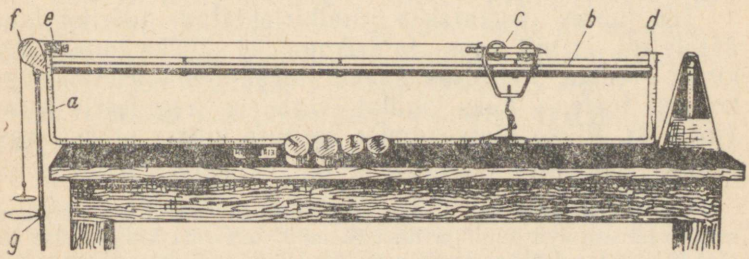
Asetades mõõtmise tulemused ülaltoodud valemisse, saame arvutamise tulemusena

$$m = \frac{3{,}14 \cdot (3{,}93)^2 \cdot 74{,}8 \cdot 7{,}97}{4} = 7{,}18\ g.$$

Otsesel kaalumisel kangkaaludel veendume arvutamise teel saadud massi väärtuse õigsuses. Varda mass on 7,2 *g*.

2. Kinemaatika ja dünaamika seaduste uurimine.

Töövahendid (joon. 8). 1) Kinemaatika ja dünaamika seaduste uurimise riist, 2) kaks raskust à 150 *G*, 3) kaks



Joon. 8. Töövahendid töö nr. 2 jaoks.

lisaraskust à 10 *G*, 4) mõõdulint sentimeetrijaotistega, 5) metronoom (ühine kogu klassile).

Töö toimub spetsiaalse riista abil, mis oma võimaluste poolest asendab täiesti Atwood'i masinat, olles sellest parem gabariidi, ehituse lihtsuse ja käsitsemise mugavuse poolest [1].

Katseriist (joon. 8) koosneb metallraamist *a*, pikkusega 1150 *mm* ja kõrgusega 200 *mm*. Sellele on tõmmatud terastraat *b* diameetriga 3 *mm*. Traat toetub kolmele kruvile, mis ei lase teda painduda. Seda traati kui juhtjoont mööda liigub kahe rattaga vankrike *c*, mille mass on 300 *g*. Raami ühele otsale on kinnitatud lõks *d*, mis hoiab vankrikest esialgses asendis. Samale otsale on kinnitatud reguleeriv kruvi, mille abil võib raamile anda mitmesuguseid kaldenurki. Raami teises otsas on elastne klemm *e*, mis tee lõpul peatab vankrikese ja ei lase teda traadilt maha hüpata, ning kerge alumiiniumist plokike *f*, mille üle tõmmatakse jääva raskusega (10 *G*) ja taldrikuga niit. Raami samale otsale riputatakse konksu abil varb, pikkusega 850 *mm*, mille küljes on liigutatav lauake *k*. Lauakese abil peatatakse raskus selles punktis, kus tahetakse mõõta kiirust ja kontrollida kiiruste seadust.

Raami alumises osas on nihkurile kinnitatud fiksaator. Fiksaatorit võib selle tõttu kergesti nihutada ja kruvi abil raami mis tahes kohta kinnitada. Fiksaator märgib ära vankrikese läbimise momendi ühest või teisest tee punktist. Fiksaatori ehituse üksikasjad on näidatud joonisel 9. Jooniselt selgub kergesti ka fiksaatori töötamise printsiip. Kui vankrike vasakule liikudes riivab trikli *m* ülemist osa, siis trikli alumine osa nihkub paremale ja vabastab ülestõmmatud vedru *n*. Vedru lööb temale joodetud kuulikesega vastu nihkurit.

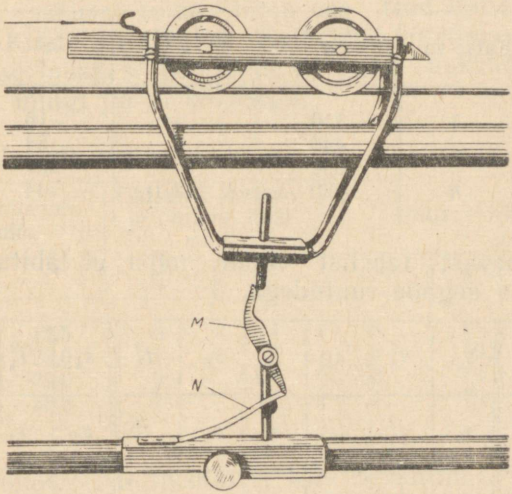
Töö juures asetatakse ülalkirjeldatud tööriist laua äärele nii, et niit koos taldrikuga ei jääks laua külge kinni. Riista stabiilsus saavutatakse tema asetamisega kolmele toele — kaks kindlat jalga ja reguleeriv kruvi (joon. 8). Riista ülesseadmise kõrguse juures tuleb arves-

[1] Glavutštehprom on teinud ettevalmistusi selle riista väljaandmiseks lihtsustatud kujul ja ilma raamita; uus riist kinnitatakse töö ajal ühe otsaga tavalise statiivi näpitsa külge, teine ots jääb aga toetuma väljakeeratavale jalale.

tada seda, et niidile kinnitatud raskus puudutaks põrandat sel momendil, kui vankrike on läbinud traadi kogu pikkuse ja jõuab klemmini *e*.

Riista juurde kuulub kaks raskust à 150 *G* ja kaks lisaraskust à 10 *G*.

Töö käik. Töö ülesandeks on ühtlaselt kiireneva liikumise poolt läbitud teede ja kiiruste seaduste ning Newtoni teise seaduse kontrollimine.



Joon. 9. Fiksaatori ehitus.

1. *Läbitud teede seaduse kontroll.* Reguleeriva kruvi abil antakse riistale mingi selline kalle, mille juures vankrike liiguks veerema paneva jõu mõjul ühtlaselt kiirenevalt. Metronoom seatakse ajavahemikule 0,5 *sek.*

Edasi toimub töö järgmiselt. Vankrike lastakse lahti üheaegselt metronoomi löögiga ja märgitakse ligikaudu kaugus, mille vankrike läbib 3—4 metronoomi löögi jooksul (10—11 *cm*). Siis asetatakse sellele kaugusele fiksaator ja püütakse saavutada metronoomi löögi ja fiksaatori löögi täpset ühtimist. Pärast seda mõõdetakse läbitud tee.

Nii määratakse mitmesugustele ajavahemikele vastavate teede pikkused. Pärast katseid kontrollitakse konstantse a puhul seost

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{t_1^2}{t_2^2}.$$

Toome näitena selle riistaga tehtud katsete tulemused, kui ajavahemikud on võrdsed 0,5 sekundiga.

Mõõtmistulemuste tabel.

Katse nr.	s	t	t^2
1	110	4	16
2	440	8	64
3	690	10	100
4	990	12	144

Järgnevast tabelist võime näha, et läbitud teed on võrdelised aegade ruutudega.

s_2	t_2^2	s_3	t_3^2	s_4	t_4^2	s_3	t_3^2	s_4	t_4^2	s_4	t_4^2
s_1	t_1^2	s_1	t_1^2	s_1	t_1^2	s_2	t_2^2	s_2	t_2^2	s_3	t_3^2
4	4	6,28	6,25	9	9	1,57	1,56	2,25	2,26	1,43	1,44

2. *Kiiruste seaduse kontroll.* Riist seatakse niisugusesse asendisse, et kogu traadi ulatuses oleks vankrikese liikumine ühtlane.

Seda saavutatakse praktiliselt järgmise lihtsa võttega. Reguleeriva kruviga antakse riistale niisugune kaldenurk, mille puhul veerema panev jõud tasakaalustub hõõrdejõuga. Sel korral hakkab vankrike kerge tõuke juures ühtlaselt liikuma. Vankri ühtlast liikumist saab paljudel juhtudel kindlaks teha palja silmaga.

Vankrikesele lisatakse täiendav 150 G raskus ja rakendatakse siis vankrikesele üle ploki visatud niidi abil jõud 10 G (taldrik). Ühtlasi kinnitatakse riista külge varras

liikuva lauakesega. Metronoom seatakse nagu varemgi ajavahemikule 0,5 *sek.*

Metronoomi mingi löögiga üheaegselt lastakse vankrike lahti ja jälgitakse ta liikumist. Kaugusele, mida läbib vankrike 2—3 metronoomi löögi jooksul, asetatakse fiksaator nii, et metronoomi löök ühtiks täpselt fiksaatori löögiga. Siis viiakse vankrike fiksaatori juurde ja tõstetakse pärast seda liikuv lauake tõmbejõudu moodustava taldriku kõrgusele.

Kui nüüd viia fiksaator edasi, ligikaudu 250—300 *mm* kaugusele ja uuesti lasta vankrike lahti, siis ta jääva jõu (taldriku raskuse) toimel läbib osa teed ühtlaselt kiirenevalt. Kuid siis lakkab tõmbejõud mõjumast (taldrik peatatakse lauakese poolt) ja vankrike hakkab liikuma ühtlaselt mingi jääva kiirusega.

Mõõtmistulemuste tabel.

Ühtlaselt kiirenev liikumine		Ühtlaselt kiirenev ja ühtlane liikumine		Ühtlane liikumine		
t'	s''	t''	s''	$t''-t'$	$s''-s'$	v
2	12,5	8	74	6	61,5	10,25
3	23,0	7	79	4	56,0	14,00
4	39,0	7	94	3	55,0	18,30
5	58,5	6	81	1	22,5	22,50

Metronoomi ja fiksaatori löökide ühtimise meetodiga (seda on kirjeldatud eelpool) määratakse pärast tõmbejõu lakkamist toimuva ühtlase liikumise tee ja sellele vastav aeg (metronoomi löökide arv).

Saades vajalikud andmed, arvutatakse kiirused mitmesugustes tee punktides ja nende põhjal tehakse otsus kiiruste seaduse õigsuse kohta.

Vaadeldes lk. 54 ülal toodud tabelis antud kiiruste ja aegade suhteid ja võttes arvesse mõõtmisega seotud paratamatuid vigu, võib teha järelduse, et kiirused kasvavad võrdeliselt ajaga.

3. *Newtoni teise seaduse kontroll.* Riist seatakse üles nii, et vankrike raskustega 320 G (kaks à 150 G ja kaks à 10 G) liiguks ühtlaselt.

Fiksaator asetatakse 900—950 *mm* kaugusele (sel

v_2	t_2	v_2	t_3	v_4	t_4	v_3	t_3	v_4	t_4	v_4	t_4
v_1	t_1	v_1	t_1	v_1	t_1	v_2	t_2	v_2	t_2	v_3	t_3
1,39	1,50	1,81	2,30	2,20	2,50	1,31	1,33	1,60	1,66	1,23	1,25

juhul saadakse täpsemad tulemused). Vankrikesele rakendatakse liikumapanev jõud 10 *G*, pannakse käima metronoom ja selle löögiga üheaegselt lastakse lahti vankrike. 10 *G*-se jõu toimel läbib vankrike ühtlaselt kiirenevalt mingi teelõigu, mis märgitakse ära fiksaatoriga. Vastav aeg mõõdetakse metronoomiga, teepikkus mõõdulindiga ja saadud väärtuste järgi arvutatakse kiirendus

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

Siis võetakse vankrikeselt üks 10 *G*-ne raskus ja asetatakse taldrikule.

Nüüd on liikumapanev jõud kaks korda suurem (20 *G*), kuid liikuv mass jääb samaks.

Tehakse uuesti katse ja arvutatakse kiirenduse uus väärtus.

Lõpuks asetatakse vankrikeselt taldrikule veel 10 *G* ja sooritatakse katse ja mõõtmine kolmandat korda.

Mõõtmistulemuste tabel,
kui $m = 630$ *g*[1] *ja* $s = 900$ *mm.*

F	t	a	$\frac{f_1}{t_2}$	$\frac{a_1}{a_2}$
10	7	36,75	2,00	1,96
20	5	72,00	3,00	3,06
30	4	112,20	0,67	0,64

Siit on näha, et jääva massi puhul muutub kiirendus võrdeliselt mõjuva jõuga.

[1] Liikuva massi moodustavad vankrikese mass 300 *g*, kahe raskuse mass 300 *g* ja taldriku mass koos lisaraskuste massiga, kokku 30 *g*.

Asetatakse vankrikesele kaks raskust à 150 *G* (kokku seega 300 *G*) ja 10 *G*-se liikuva jõu puhul määratakse kiirendus samuti nagu eelmises katses. Siis võetakse vankrilt üks 150 *G*-ne raskus ja korratakse katset uue massiga, kuid endise liikumapaneva jõuga ning määratakse jällegi kiirendus. Lõpuks eemaldatakse ka teine raskus ning määratakse jällegi kiirendus.

Mõõtmistulemuste tabel,
kui f=10 G ja s=900 mm.

m	t	a	$\frac{m_1}{m_2}$	$\frac{a_1}{a_2}$
610	7	36,75	1,35	1,36
460	6	50,00	1,96	1,96
310	5	72,00	1,44	1,48

Tabelist on näha, et jääva liikumapaneva jõu puhul on kiirendus pöördvõrdeline massiga.

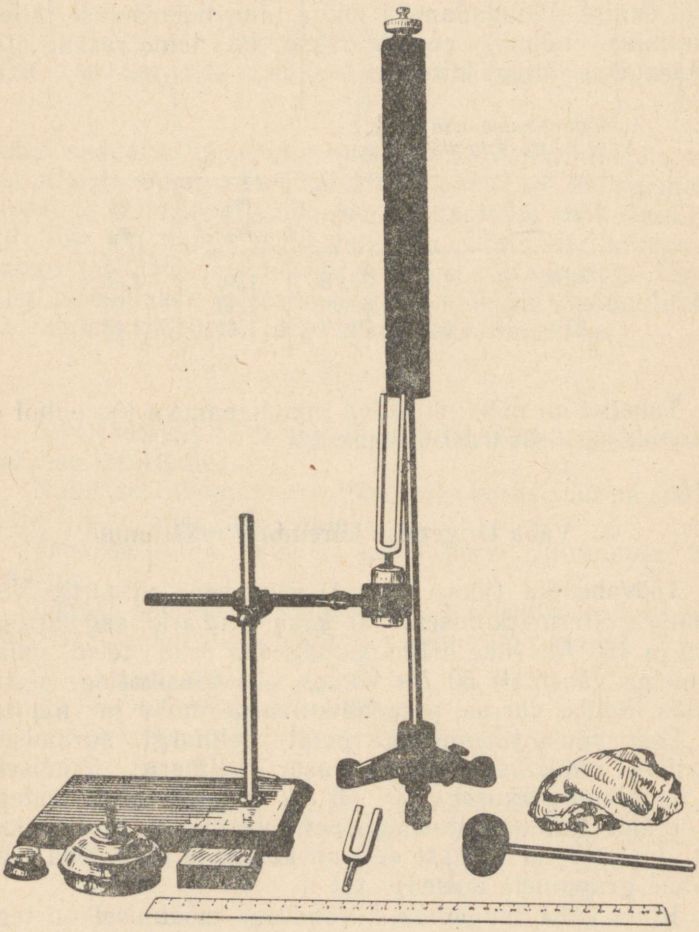
3. Vaba langemise kiirenduse määramine.

Töövahendid (joon. 10). 1) Riist koos silindriga võnkumiste ülesmärkimiseks, 2) kaks heliharki sagedustega 250 ja 450 *Hz* (ühe helihargi sagedus peab teise omast erinema vähemalt 50 *Hz* võrra), 3) füüsikaline statiiv (alus, lühike varras, perpendikulaarne muhv ja näpits), 4) kaks puust tihendrõnga poolt helihargi surumiseks statiivi näpitsasse, kummivasar helihargi löömiseks, 6) joonlaud pikkusega 30—50 *cm* millimeeterjaotustega, 7) tahmalamp (piirituslamp petrooleumiga), 8) tulitikud, 10) lapp (kolm viimast eset on kõikidele seda tööd tegevatele gruppidele ühised).

Kuna vaba langemise kiirenduse mõõtmisel on tegemist väikeste ajavahemikkude (sekundi kümnendikud) mõõtmisega, kusjuures relatiivne viga ei tohi ületada 1—2%, siis selle läbiviimine klassi tingimustes on raskendatud.

Allpool kirjeldatud graafiline meetod, mis seisab helihargi võnkumiste üleskirjutamises langeva silindri nõeta-

tud pinnale, lubab üsna lihtsalt ületada need raskused. Graafiline meetod annab võimaluse määrata vaba langemise kiirendust otseselt vabal langemisel umbes 3%-lise veaga.



Joon. 10. Töövahendid töö nr. 3 jaoks.

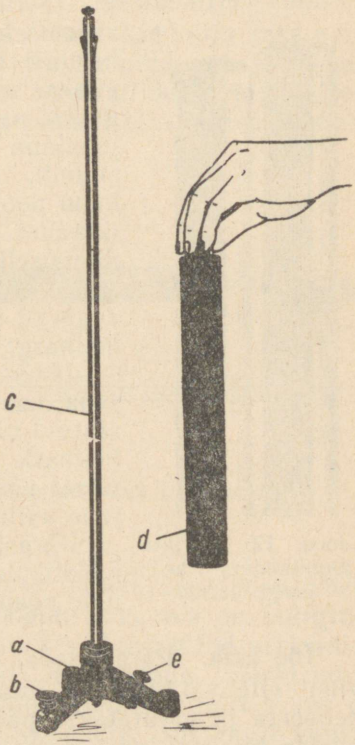
Võnkumiste üleskirjutamise riist (joon. 11) koosneb kolme jalaga alusest *a*, reguleerimise kruvist *b*, torukujulisest varvast *c*, alumiiniumsilindrist *d* ja silindri päästikust *e*.

Silinder on asetatud torukujulisele vardale ja seisab ülal kahe vetruva traadist klambri abil. Vajutades aluse ühe jala sisse monteeritud päästikule lähevad klambrid toru sisse, silinder vabaneb ja kukub vabalt alla. Alusele on kinnitatud kummikork, mis kukkumisel tungib silindrisse ja hoiab ära silindri tagasipõrkumise.

Enne katset silindri pind tahmatakse.

Nagu nähtub joonisest 10, on silindri alumise otsa kõrgusele seatud helihark, mis on kahe tihendrõnga poole abil surutud statiivi näpitsasse.

Helihargi ühe haru külge on kleebitud harjas, mis viiakse silindri aluse juurde. Pannes helihargi kummivasara abil helisema ja lastes silindril kukkuda, saadakse selle pinnal graafikuna sinusoid. Helihargi võnkumiste isokroonsus ühelt poolt ja selgesti nähtavad perioodid graafikul teiselt poolt võimaldavad suure täpsusega mõõta silindri langemise aega ja arvutada vaba langemise kiirenduse.



Joon. 11. Riist vaba langemise kiirenduse määramiseks.

Riista ettevalmistus. Ülemist kruvi lahti keerates võetakse silinder statiivi vardalt. Aeglaselt nihutades ja pöörates silindrit suitseval leegil, tahmatakse kogu silindri pind. Pärast seda asetatakse silinder oma kohale.

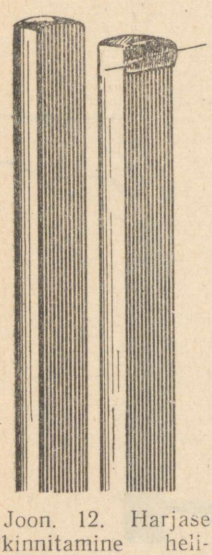
Siis tõmmatakse helihargi jala otsa tükk kummitoru (seda tuleb pikuti lõhki lõigata, et pealetõmbamine oleks kergem) ja koos tihendrõnga pooltega surutakse helihark statiivi näpitsasse.

Helihargi ühe haru ülemise otsa külge kleebitakse vaha või kingsepapigiga harjas, mis on võetud riide- või

hambaharjast (joon. 12). Harjase pikkus peab ulatuma helihargi haru servast üle 5—7 *mm* võrra.

Edasi paigutatakse riist nii, nagu näidatud joonisel 10, pidades silmas, et harjas oleks viidud vahetult silindri aluse juurde ja oleks temast 1,5—2 *mm* allpool.

Edasi on tarvis korrigeerida reguleeriva kruviga silindri vertikaalsust. Selleks võetakse joonlaua üks ots vasema käe nimetissõrme ja pöidla vahele nii, et joonlaud vabalt ripuks, ja viiakse see harjase juures 3—4 *mm* kaugusele silindri moodustajast. Võrreldes joonlaua ääre ja silindri moodustaja suundi, on kerge näha, kui palju ja kuhu poole kaldub silinder kõrvale vertikaalist. Reguleeriva kruviga parandame selle vea.



Joon. 12. Harjase kinnitamine heli-hargi harule.

Et reguleerimine oleks mugav, on aegsasti tarvis reguleeriv kruvi asetada helihargi harjase suhtes vastaspoolele.

Järgnevalt kontrollitakse hoolsalt seda, kas silinder langemisel ei riiva statiivi näpitsat, mille külge on surutud helihark. Et seda ei juhtuks, tuleb näpitsat pöörata kõrvale ja heliharki natuke kallutada silindri poole.

Pärast sellist kontrollimist surutakse päästikule. Silinder kukub ja tema pinnale peab tekkima sirge joon.

Töö käik. Pärast seda, kui seade on eelpoolkirjeldatud viisil ette valmistatud, lüüakse kummivasaraga helihark helisema ja vajutatakse päästikule. Silinder kukub ja harjas jätab silindri pinnale sinusoidi-kujulise jälje. Selliseid sinusoide tekitatakse silindrile kummagi helihargiga 3—4 tükki.

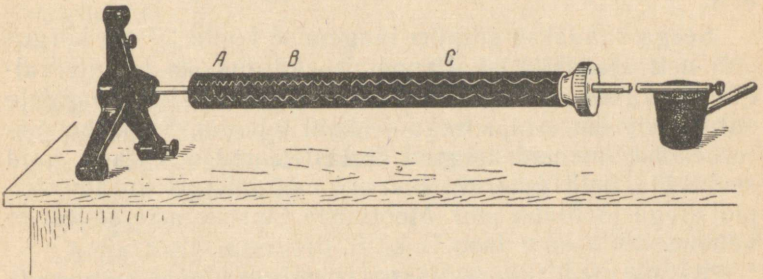
Pärast graafikute saamist asetatakse riist nii, nagu on näidatud joonisel 13. Selles asendis on väga mugav vaadelda graafikuid ja loendada perioodide arvu igas intervallis.

Peeneks teritatud pliiatsi otsaga puhastatakse silindril nõest ringid 3 *cm*, 12 *cm* ja 27 *cm* kaugusel silindri alusest. Need ringid jaotavad silindri pikkuse kolmeks

intervalliks: A — pikkusega 3 *cm* (alusest esimese ringini), *B* — pikkusega 9 *cm* ja *C* — pikkusega 15 *cm*, s. o. suhtes 1 : 3 : 5 (joon. 13).

Kuna vabalt langeva silindri liikumise üleskirjutis algab momendist, kus silindri kiirus on null, siis silindri kukkumise ajad intervallides *A*, *B* ja *C* on omavahel võrdsed.

Esimesest graafikute grupist valitakse välja kaks paremini õnnestunut (suuremate amplituudidega) ja nendel loendatakse täisperioodide arv intervallides *B* ja *C*. Loendamist on kasulik teha terava pliiatsi otsaga, tehes märke graafikule.



Joon. 13. Riista asetus võnkumiste arvu loendamisel.

Loendamisel veendutakse, et lainete arv, s. o. helihargi võnkumiste täisperioodide arv, mis on märgitud intervallis *B*, on võrdne intervallis *C* märgitud perioodide arvuga. Esimeses intervallis *A* loendada üleskirjutise järgi lainete arvu pole võimalik, kuna silindri kiirus on langemise algul väga väike, võrreldes helihargi võnkumise perioodiga, mille tagajärjel üks laine peaaegu katab järgmist [1].

Sellest, et silindri langemise ajad on intervallides võrdsed, järgneb, et perioodide arv intervallis *A* peab olema samuti võrdne perioodide arvuga teistes intervallides.

---

[1] On kerge kindlaks teha, et töötamisel helihargiga 300 *Hz* peab vabalt langeva silindri esimesel millimeetril olema rohkem kui neli lainet.

Silindri langemise aja määramiseks langemisel 27 *cm* kõrguselt toimetatakse järgmiselt: loendatakse lainete arv mingis ühes intervallis, korrutatakse see kolmega ja veel antud helihargi perioodiga. Võib loendada ka korraga lainete arvu kahes intervallis (*B* ja *C*), jagada see kahega, saadud arv tuleb korrutada siis kolmega ja helihargi perioodiga.

Kogemused näitavad, et teine arvutamise viis on seotud väiksema veaga, sellepärast soovitatakse kasutada silindri langemise aja määramisel teist võtet.

Samal viisil määratakse silindri langemise aeg ka kahe teise graafiku järgi, mis on saadud teise helihargi abil.

Seega saadakse silindri langemise kohta 27 *cm* kõrguselt neli ajamõõtmist. Langemise kõrgus ise ja intervallide suurused saadakse tänu pealejoonestatud ringidele suhteliselt suure täpsusega — kuni 0,1 *mm*. Siiski on otstarbekohasem neid kaugusi õpilastele mitte teatada, vaid soovitada neid määrata otsese mõõtmisega millimeetrijaotistega joonlaua abil. Mõõtmiste täpsuse aste sellest ei vähene.

Teades vaba langemise aja ja kõrguse, võime arvutada kiirenduse valemi $g = \frac{2s}{t^2}$ järgi.

Nelja katse tulemuste tabel (näide).

Nr.	Perioodide arv intervallides *B* ja *C* kokku	Perioodide arv intervallides *A*, *B* ja *C* kokku	Silindri langemise aeg 27 *cm* kõrguselt	2*s*	*g*	Keskmine *g* väärtus
1	46,5	68	0,234 *sek*	54 *cm*	982 $\frac{cm}{sek^2}$	980 $\frac{cm}{sek^2}$
2	46,0	69	0,238 *sek*	54 *cm*	955 $\frac{cm}{sek^2}$	
3	67,0	101	0,232 *sek*	54 *cm*	1002 $\frac{cm}{sek^2}$	
4	68,0	102	0,234 *sek*	54 *cm*	982 $\frac{cm}{sek^2}$	

1. ja 2. katses kasutati heliharki sagedusega 290 *Hz* (periood $\frac{1}{290}$ *sek*) ja katsetes 3 ja 4 — sagedusega 435 *Hz* (periood $\frac{1}{435}$ *sek*).

Selgitame, milline on saadud tulemuste täpsus. Selleks arvutame algul relatiivse vea ülemmäära, näiteks esimese katse jaoks.

Valemist

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

järgneb, et $\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta s}{s} + \frac{2\Delta t}{t}$.

Nagu eespool näidati, on silindri mõõdud ja silindri peale tehtud ringide kaugused teineteisest mõõdetud küllaldase täpsusega. Kuid harjast me ei saanud tihedalt viia alusele, vaid pidi jääma mingi vahe; sellepärast võib teepikkuse mõõtmise vea võtta praktiliselt võrdseks 1 *mm*-ga.

Aega kahe intervalli *B* ja *C* peal määratakse täpsusega kuni pool perioodi (graafikus on hästi eraldatavad poollained) ja kõigi kolme intervalli viga ei ületa $\frac{3}{4}$ antud helihargi perioodi.

Sõltuvalt sellest on esimeses katses kiirenduse määramise relatiivse vea ülemmäär:

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{1}{270} + \frac{2 \cdot 0{,}75}{68} = 0{,}0037 + 0{,}022 = 2{,}57\%\ ^{1}.$$

Kui arvutada samal viisil kolmanda ja neljanda katse vead, siis saame 1,87%.

Seega on relatiivse vea keskmine

$$\frac{2{,}57 + 1{,}87}{2} = 2{,}2\%$$

ja absoluutne viga

$$980 \cdot 0{,}022 = 22\ \frac{cm}{sek^2}$$

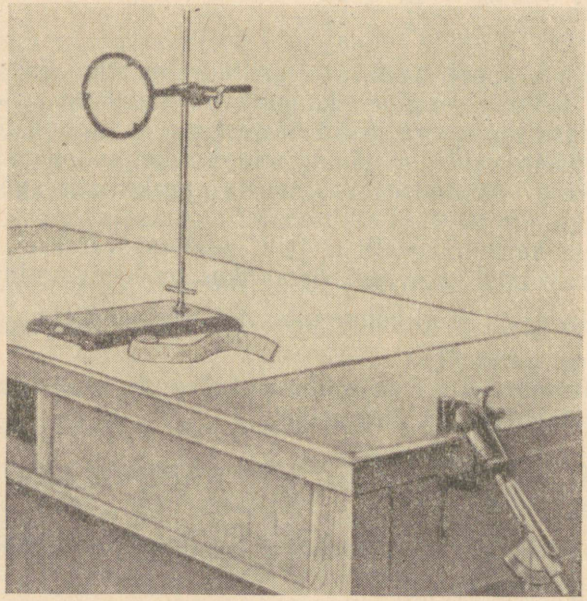
[1] Sama suur tuleb relatiivse vea ülemmäär ka teise katse juures.

Järelikult mõõtmiste lõplik tulemus on järgmine:

$$g = 980 \frac{cm}{sek^2} \pm 22 \frac{cm}{sek^2}.$$

4. Horisontaalselt, vertikaalselt ja kaldu horisondiga visatud kehade liikumine.

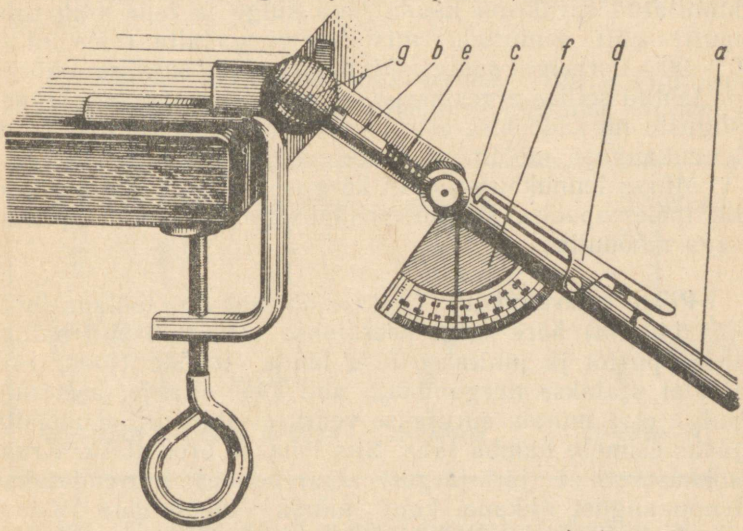
Töövahendid (joon. 14). 1) Ballistiline püstol, 2) mõõdulint, 3) laboratoorne statiiv muhviga ja rõngaga, 4) leht paberit 20 *cm* × 60 *cm*, 5) rõhknaelad.



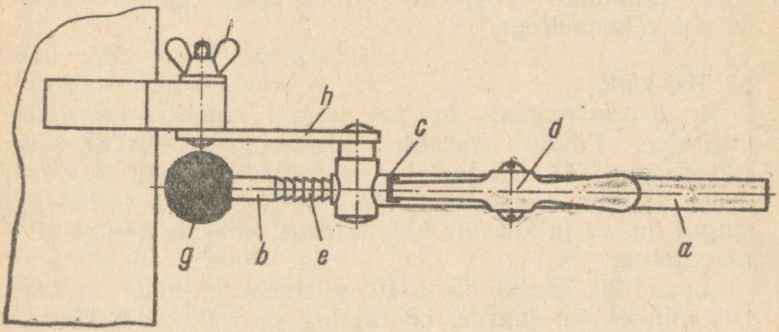
Joon. 14. Töövahendid töö nr. 4 jaoks.

Selle töö juures on põhiliseks riistaks ballistiline püstol, mis on kujutatud eraldi joonistel 15 ja 16 (vaade küljelt ja ülalt). Püstol kujutab endast metalltoru *a* diameetriga 10 *mm* ja pikkusega 130 *mm*. Toru sisse on pandud terasvedru ja metallpulk *b*. Vedru on ühe otsaga kinnitatud toru tagumise otsa külge ja teise otsaga — pulga

külge. Toru esimeses osas on sisselõige, millesse käib päästiku *d* hammas. Pulgal on mitu soont *e*, mille abil päästik hoiab vedru kokkusurutud olukorras. Toru alla on joodetud veerandringi kujuline plaat *f*, millel on väike



Joon. 15. Ballistiline püstol.



Joon. 16. Ballistiline püstol (vaade ülalt).

osuti — lood ja pool malli kaart. See täidab nurgamõõtja ülesannet riista seadmisel mingi antud nurga alla. Pulga väljaulatuva peenema otsa peale asetatakse lahtiselt metallkuul *g* diameetriga umbes 24 *mm*. Kuulil on kuni

keskpunktini auk, millesse käib pulga peenem osa. Kuul on mürsuks, tal on rihveldatud pind, mille tõttu ta jätab kukkumisel ribalise jälje lauale asetatud paberile.

Riista toru on plaadi *h* abil, mis on hästi nähtav joon. 16, kinnitatud surukruvi kaudu laua külge ja teda võib tiibmutri abil kinnitada mistahes nurga alla (vahemikus 0°—90°) horisondi suhtes. Püstoli kinnitus surukruvi külge on tehtud sellise arvestusega, et püstoli asetamisel mitmesuguste nurkade alla ei nihkuks mürsu keskpunkt ja et lennukauguse mõõtmisel lähtepunkt jääks muutumatuks.

Mürsu lennukauguse või kõrguse mõõtmiseks on vajalik mõlemapoolse sentimeetrijaotisega ja 150 *cm* pikkusega mõõdulint.

Riista ettevalmistus. Õpilase kahekohalise töölaua (pikkus 140 *cm*) ääre külge keeratakse surukruvi abil ballistiline püstol ja juhitakse toru lauda mööda (joon. 14). Püstol seatakse nurgamõõtja abil 45° alla ja, asetanud pulga otsa mürsu, surutakse vedru esialgu nii, et päästik jääks esimese hamba taha. Siis tehakse proovilask. Kruvi kokkusurumist järk-järgult suurendades suurendatakse lennukaugust niikaua, kuni mürsk kukub laua vastasäärele. Tehakse kindlaks, millise hamba taga asus sellise lasu korral päästik. Pärast seda kaetakse laud valge paberiga (mistahes sorti) ja kinnitatakse kahest-kolmest kohast rõhknaeltega.

Töö käik.

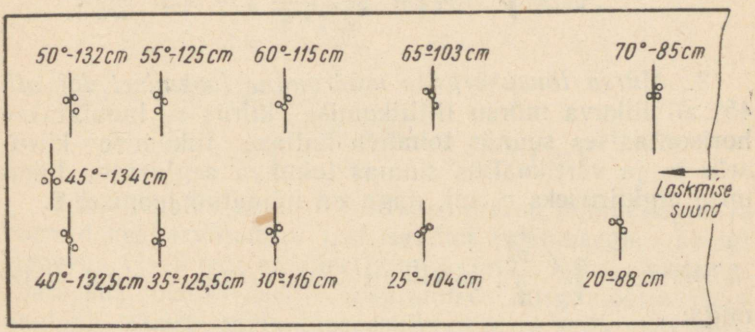
1. *Lennukauguse ja laskenurga vahelise sõltuvuse uurimine.* Püstol seatakse mitmesuguste nurkade alla (20-st kuni 70°-ni) ja tehakse igast asendist kolm-neli lasku. Mürsu langemise kohtadele tõmmatakse pliiatsiga ringid ümber ja kõrvale kirjutatakse märkus nurga suuruse kohta.

Lasud 20, 25, 30, 35 ja 40° all tehakse ühes suunas. Üle minnes 45° juurde, pööratakse püstolit veidi kõrvale ja veelkord pööratakse samale poole, kui lastakse 50° all. Selles viimases suunas toimub laskmine lõpuni, s. o. kuni 70° nurgani.

Joonisel 17 on lehele märgitud lasketulemused (mürskude langemise kohad) punktidena. Nagu joonisest nähtub, on igast asendist tehtud kolm lasku. Kui määrata iga

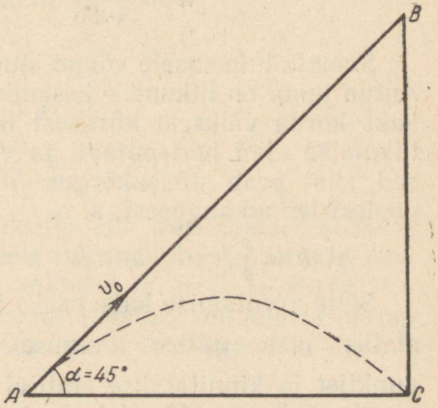
asendi jaoks keskmine punkt ja mõõta selle punkti kaugus lähtepunktist, siis selgub, et 45° all laskmisel on laskekaugus kõige suurem ja kahe nurga jaoks, mis kokku annavad 90°, võib lugeda laskekaugusi võrdseteks.

2. *Mürsu algkiiruse määramine.* Mürsu algkiiruse määramiseks tuleb kasutada eelmise uurimise tulemusi.



Joon. 17. Paber, millel on punktidena märgitud mürsu langemise kohad laskmisel mitmesuguste nurkade all.

Kui aga seda tööosa võetakse iseseisvana, siis tuleb püstol asetada 45° alla, teha kolm lasku ja mõõta ära lennukaugus. Meil näiteks oli lennukaugus 45° juures 134 *cm*. Vaadeldes mürsu liikumist liitliikumisena (joon. 18), mida saab lahutada ühtlaseks liikumiseks AB mööda kiirusega v_0 ja ühtlaselt kiirenevaks liikumiseks BC mööda ($BC = AC$) saame:



Joon. 18.

$s = BC = \frac{gt^2}{2}$; $AB = v_0 t = s\sqrt{2}$, kuna nurk $\alpha = 45°$;

kiirus $v_0 = \frac{s\sqrt{2}}{t}$, kus liikumise aeg $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$.

Järelikult $v_0 = \sqrt{\frac{2s^2 g}{2s}} = \sqrt{sg}$.

Seega avaldub mürsu kiirus meie näites arvuga

$$v_0 = \sqrt{134\ cm \cdot 981\ \frac{cm}{sek^2}\ 2} \approx 362\ \frac{cm}{sek}\ .$$

3. *Mürsu tõusukõrguse määramine laskmisel 45° all.* 45° all liikuva mürsu liitliikumise kiirus v_0 lahutatakse horisontaalses suunas toimuva ühtlase liikumise kiiruseks v_1 ja vertikaalses suunas toimuva aeglustava liikumise algkiiruseks v_2 nii, nagu on näidatud joonisel 6.

Siis $v_2 = \sqrt{\frac{v_0^2}{2}}$; järelikult tõusukõrgus avaldub valemiga:

$$h = \frac{v_2}{2g} = \frac{\frac{v_0}{2}}{4g}$$

See annab meie näites kiiruse $v_0 = 362\ \frac{cm}{sek}$ puhul:

$$h = \frac{362^2}{4 \cdot 981} = 33{,}5\ (cm).$$

Samale tulemusele võime jõuda ka järgmise aruteluga. Antud juhul on liikumise keskmine kiirus vertikaali mööda kaks korda väiksem kiirusest horisontaali mööda. Kui liikumise ajad horisontaali ja vertikaali mööda on võrdsed, siis peab tõusukõrgus olema kaks korda väiksem poolest lennukaugusest, s. o.

$$h = \frac{s}{4},\ \text{mis annab}\ h = \frac{134}{4} = 33{,}5\ (cm).$$

Selle arvutamise katseliseks kontrollimiseks asetatakse statiiv meie näites kaugusele $\frac{s}{2} = 67\ cm$ mürsu lähtepunktist ja kinnitatakse statiivi varda külge rõngas kõrgusele 33,5 *cm*, 45° all laskmisel lendab mürsk täpselt rõngast läbi.

4. *Lennukauguse määramine horisontaalsel laskmisel.* Laua otsale kinnitatakse statiiv ja sellele kinnitatakse võimalikult kõrgele horisontaalses asendis püstol. Mürsu kõrgus lauast mõõdetakse ära mõõdulindiga. Varem leitud mürsu väljalennu kiiruse ja mõõdetud kõrguse järgi arvutatakse lennukaugus $s=v_0t$, kus $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$; järelikult

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

Olgu $h=57$ *cm*, siis:

$$s=\sqrt{\frac{2\cdot 362^2\cdot 57}{981}}=123\ (cm).$$

Edasi tehakse lask, mõõdetakse mürsu lennukaugus ja võrreldakse arvutamise teel saadud tulemusega. Mingi erinevus (4—5 *cm*) on siin täiesti lubatav, kuna väiksemgi ebatäpsus püstoli asendi määramises nurgamõõtja järgi avaldab suurt mõju lõppresultaadile ja seda eriti horisontaalse laskmise juures.

5. *Mürsu tõusukõrguse määramine vertikaalse laskmise puhul.* Teades mürsu algkiirust ($362\ \frac{cm}{sek}$), määratakse teoreetiliselt tõusu kõrgus valemist

$$h=\frac{v_0^2}{2g}.$$

Meie näites see avaldub arvuga

$$h=\frac{362^2}{2\cdot 981}=67\ (cm).$$

Püstol seatakse surukruvi abil vertikaalsesse asendisse ja arvutamisel saadud tulemust kontrollitakse eksperimentaalselt. Erinevus seejuures ei ületa 1—2 *cm*.

Vertikaalses suunas laskmise puhul on tarvis mürsk kinni püüda, kuna ta kukkumisel võib vigastada püstoli detaile.

Praktilisi märkusi. Kui pole võimalik läbi viia laboratoorset tööd tervikuna, siis tuleb silmas pidada seda, et

töö põhiliseks osaks on esimene ülesanne — lennukauguse sõltuvuse uurimine laskenurgast. Selle läbiviimist tuleb soovitada esimeses järjekorras ja äärmisel juhul võib sellega piirdudagi. Kuid see katseline uurimine annab oma sisult peale selle veel praktilist materjali väikseks teoreetiliseks uurimiseks — mürsu algkiiruse selgitamiseks. Ja kui õpilastele esitatakse teine ülesanne, siis täieliku rahulduse saamiseks tekib tahtmatult vajadus arvutamise teel saadud tulemuse praktiliseks kontrollimiseks. Sel eesmärgil võib teha mistahes osa nimetatud tööst, kui selles aga esineb arvutatud kiirus. Sellist katselist kinnitust võime kõige paremini saada lennukõrguse määramisel vertikaalse laskmise puhul ja ka laskmisel 45° all.

5. Elektrimootori võimsuse määramine lintpiduri abil.

Töövahendid. 1) Mootori võimsuse määramise riist koos pöörete arvu mõõtjaga ja lülitiga, 2) stopper.

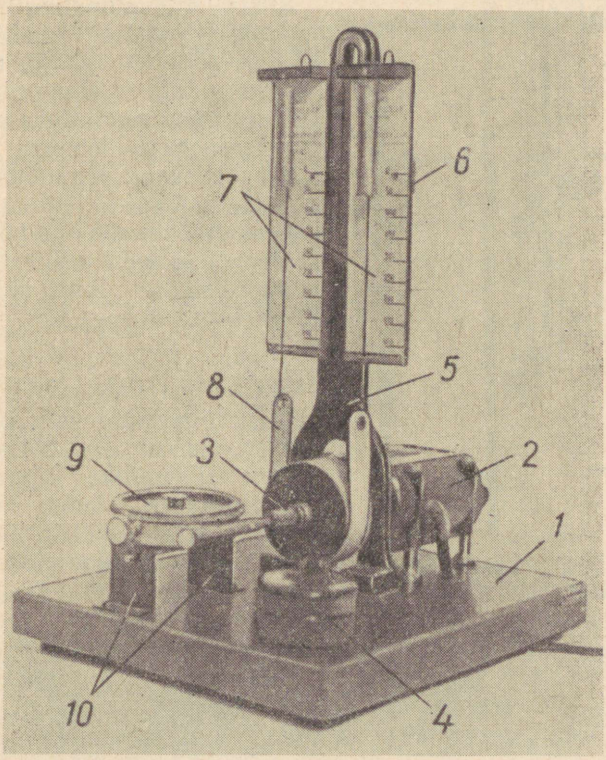
Mootori võimsuse määramise riist (joon. 19) koosneb puust alusest *1* suurusega 250 *mm* × 220 *mm* × 125 *mm*, millele on kindlalt asetatud õmblusmasina elektrimootor *2*. (Ühefaasilise vahelduvvoolu elektrimootor võimsusega 50 *W*, arvestatud pingele 120 *V* või 220 *V*.) Mootori võllile on asetatud puust rihmaratas *3* laiusega 25 *mm* ja diameetriga umbes 60 *mm*. Rihmarattal on väikesed äärised, et vältida töö ajal rihma libisemist. Mootori telg ulatub rihmarattast läbi ning võimaldab seega mootorit ühendada pöörete arvu mõõtjaga.

Alusel on peale mootori veel lüliti *4* ja malmist püstkandur *5*, mille pikilõiget mööda võib liikuda põikliist *6* ja mida saab tiibmutriga kinnitada mitmesugustele kõrgustele. Põikliist ja tiibmutter on hästi nähtavad joonisel 20.

Põikliistu külge on kinnitatud kaks kooli-dünamomeetrit (joon. 19, *7*) skaala ulatusega 400 *G* jaotustega iga 10 *G* tagant. Dünamomeetrite konksude otsa on riputatud õhuke nahkrihm 8 laiusega 15 *mm*, mis käib ümber mootori ratta. Rihma pikkus tuleb valida selline, et liikuva liistu alumises asendis oleksid dünamomeetrite osutid nullil.

Pöörete arvu mõõtja *9* jaoks on ette nähtud spetsiaalne

hoidja *10*, mis on kinnitatud puust alusele. Hoidja konstruktsioon annab võimaluse mõõtjat liigutada mootori telje suunas, teda ühendada mootoriga või täielikult lahutada temast. Mõõtja ja mootori ühendamiseks on mõõtja



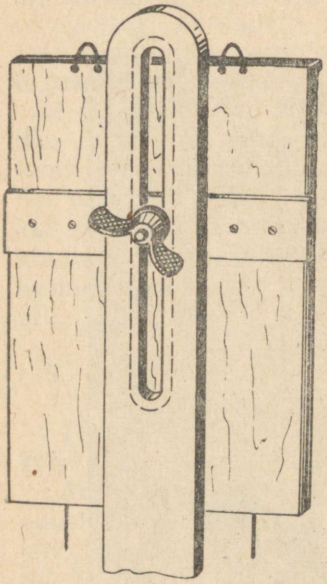
Joon. 19. Töövahendid töö nr. 5 jaoks.

teljele tõmmatud kummitoru ja mootori teljele kummist «seeneke», mis on hästi nähtav joonisel 21.

Pöörete arvu mõõtja (joon. 21) koosneb kerest *1*, tigukruvist *2*, millel on pikk urvikruvi, skaalaga hammasketas *3* ja pöörde-rõngas *4* koos osutiga *5*. Tigukruvi on hambumises hammaskettaga, mis on vabalt asetatud riista teljele. Tigukruvi pöörlemisel hakkab pöörlema ka skaalaga hammasketas. Skaalal on 100 ühesugust jaotust ja

ta on arvestatud 200 pöördele. Seega vastab skaala iga jaotus tigukruvi kahele pöördele.

Rõnga pööramisega võib riista osutit igal ajal seada nullile.

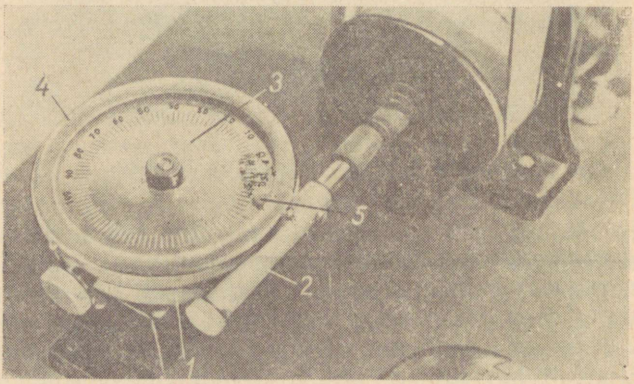


Joon. 20. Dünamomeetrite hoidja.

Riista ettevalmistus. Riist asetatakse õpilase lauale. Siis seatakse pöörete mõõtja nii, et urvikruvi ots paksuseinalise kummitoruga puudutaks kummist «seenekest» mootori võllil.

Põikliist koos dünamomeetritega paigutatakse sellisesse asendisse, et mõlemad dünamomeetrite osutid jääksid nullile. Mootor ühendatakse lüliti abil vahelduvvoolu võrguga.

Töö käik. Pärast riista ülesseadmist lülitatakse vool ja käivitatakse mootor. Tõstetakse dünamomeetrid natuke kõrgemale ja pingutatakse rihma. Rihma ja rihmaratta vahelise hõõrde tõttu näitavad dünamomeetrid



Joon. 21. Pöörete arvu mõõtja.

vastavalt jõude F_1 ja F_2, s. o. erinevalt. Need näidud kantakse tabelisse.

Siis jälgitakse pöörete arvu mõõtjat ja sel momendil, kui skaala null ühtub liikumatu osutiga, lastakse käiku stopper. Pöörete mõõtja skaalalt loendatakse näiteks 1000 mootori võlli pööret ja mõõdetakse stopperiga vastav aeg. Saadud tulemused, s. o. mootori pöörete arv ja vastav aeg kantakse samuti tabelisse.

Mõõtmistulemuste tabel (näide).

Mootori pöörete arv n	Aeg t	Esimese dünamomeetri näit. F_1	Teise dünamomeetri näit. F_2	Pidurdamise jõud $F=F_1-F_2$	Mootori võimsus N
1000	12,4	50	10	40	6,0
1000	15,4	100	20	80	10,6
1000	16,5	150	35	115	13,0
1000	21,0	200	50	150	13,3
1000	30,0	250	65	185	11,5
500	31,2	300	80	220	6,5

Pärast seda (mootorit peatamata) vabastatakse pidurdamiskruvi ja tõstetakse põikliist kõrgemale selle arvestusega, et ühe dünamomeetri näit oleks ligikaudu 50 G. Pidurdamiskruvi keeratakse kinni ja tehakse uuesti kõik eelpoolkirjeldatud mõõtmised.

Järk-järgult rihma pingutades tehakse katseid kuni mootori täieliku pidurdamiseni. Pinget on soovitav suurendada ühtlaselt (50 G tagant) ja jälgida seda dünamomeetri järgi, mille näidud on suuremad.

Mootori võimsus, mis on tabeli viimases veerus, arvutatakse valemi

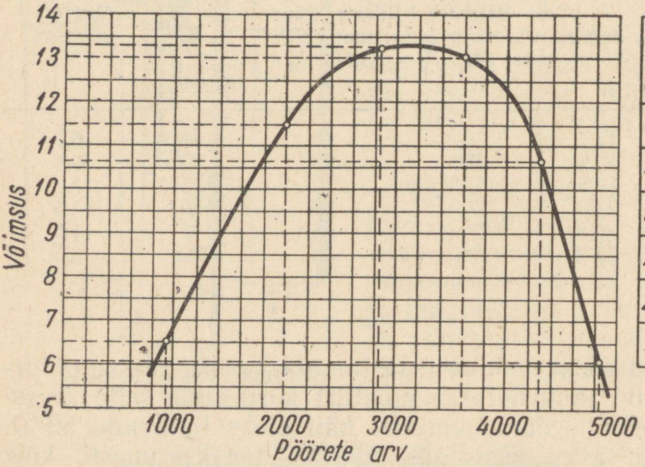
$$N = \frac{2\pi RnF9{,}8}{t} \text{ järgi,}$$

kus R on rihmaratta raadius meetrites;
n — mootori pöörete arv aja t jooksul;
F — pidurdav jõud kG-des;

t — aeg sekundites, mille jooksul mootor tegi n pööret.

9,8 $\frac{džaul}{kGm}$ on ülemineku kordaja, mille abil saame lõpptulemuse mitte $\frac{kGm}{sek}$ -tes, vaid vattides.

Tabeli esimese ja teise veeru andmete järgi arvutatakse mootori pöörete arv minutis $\left(\frac{60n}{t}\right)$ mitmesuguste töörežiimide juures ning ehitatakse millimeetri- või ruudulisel paberil kõver, mis näitab võimsuse sõltuvust pöörete arvust (joon. 22).



Pöörete arv minutis	Võimsus vattides
4840	6
4300	10,6
3630	13
2860	13,3
2000	11,5
960	6,5

Joon. 22. Mootori võimsuse ja pöörete arvu vahelise seose graafik.

Pöörete arv minutis	4840	4300	3630	2860	2000	960
Võimsus vattides	6	10,6	13	13,3	11,5	6,5

Joonisel antud graafikust on näha, et mootor arendab maksimaalset võimsust kindla režiimi juures, s. o. kui ta teeb umbes 3000 pööret minutis.

Tuleb pidada silmas, et selles laboratoorses töös määratakse mootori võimsus rihmarattal. See ei vasta moo-

tori täiele võimsusele, kuna pöörete arvu mõõtja lülitamine mootori teljele pidurdab sellist väikse võimsusega mootorit ja järelikult neelab ka tunduvalt energiat.

Sellepärast pole vajadust saadud võimsust võrrelda selle võimsusega, mis on märgitud mootoril, veel vähem arvutada mõõtmise vigu. Selle tööga on püütud õpilastele tutvustada igapäevases elus levinud elektrimootori tüüpi (õmblusmasina oma), näidata ühte võimalikku võimsuse arvutamise viisi lintpiduri abil (pöörete arvu mõõtja ja stopperiga) ja teha kindlaks praktiliselt tähtis tõsiasi, et mootori suurimat võimsust arendatakse mingi kindla töörežiimi juures.

6. Liikumiste mitmesuguste ülekannete uurimine.

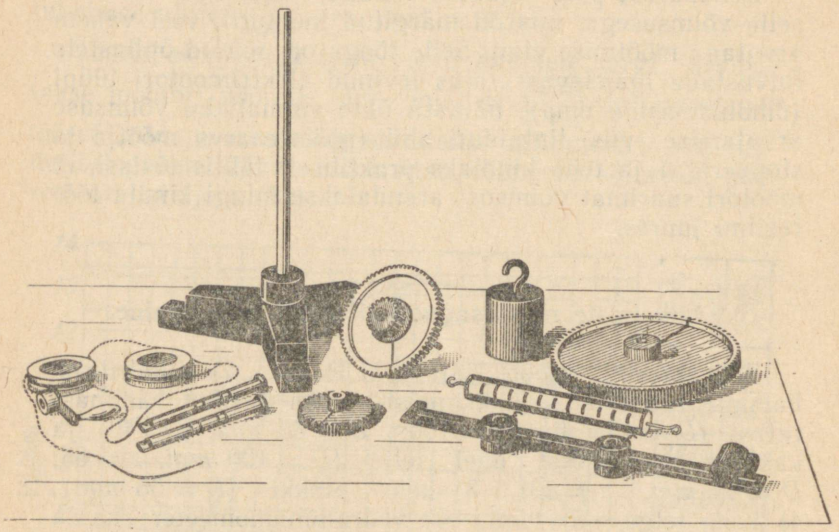
Töövahendid (joon. 23). 1) Raam, 2) silindrilised hammasrattad — 4 tükki, neist: kaks üksikut hammasratast ($D = 153$ *mm*, $z = 100$; $D = 63$ *mm*, $z = 40$) ja kaks hammasratast ühel teljel ($D = 100$ *mm*, $z = 65$; $D = 33$ *mm*, $z = 20$), 3) kaks plokki ($D = 55$ *mm*), 4) kaks telge, 5) vänt, 6) vedrudünamomeeter skaala ulatusega 1,2 *kG*, 7) 1 *kG*-ne viht, 8) laboratoorne statiiv, 9) peenike nöör.

Kogu seade koostatakse kitsal raamil (joon. 24), mis koosneb juhtliistust *1* pikilõikega keskel, raamile kinnitatud muhvist *2* koos surukruviga. Muhv on vajalik raami ülesseadmiseks statiivile. Raamile on paigutatud kolm naga. Üks kolmest nagast (*3*) on liikumatu, kuid kahte ülejäänut saab piki lõiget nihutada ja kinnitada mutriga mis tahes kaugusele teineteisest.

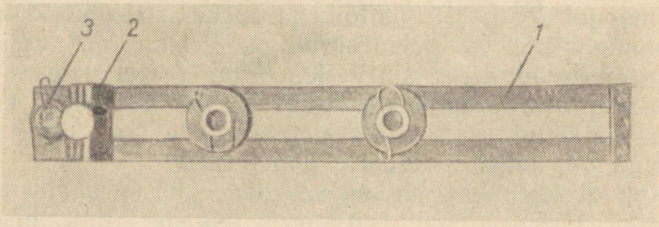
Nagade küljes on lihtsad vedrud — terastraadist painutatud lõksud. Neid on tarvis telgede kinnitamiseks mitmesuguste ülekande liikide koostamisel.

Et koostada raamil ühte või teist mehhanismi (näiteks hammasrataste paari), tuleb esiteks asetada hammasrattad telgedele. Edasi tuleb tõmmata sõrmega lahti nagade küljes olevad elastsed vedrud, pista naga avadesse rataste teljed nii sügavale kui võimalik. Pärast seda tuleb vedrud lahti lasta ja jälgida seejuures, et nad satuksid telgedes olevatesse spetsiaalsetesse soontesse. Ainult nii seisavad teljed kindlalt nagades.

Edasi tuleb ühte naga nihutada raami lõiget mööda ja kinnitada mutri abil niisugusel kaugusel teisest, et hammasrattad oleksid korralikus hambumises.



Joon. 23. Töövahendid töö nr. 6 jaoks



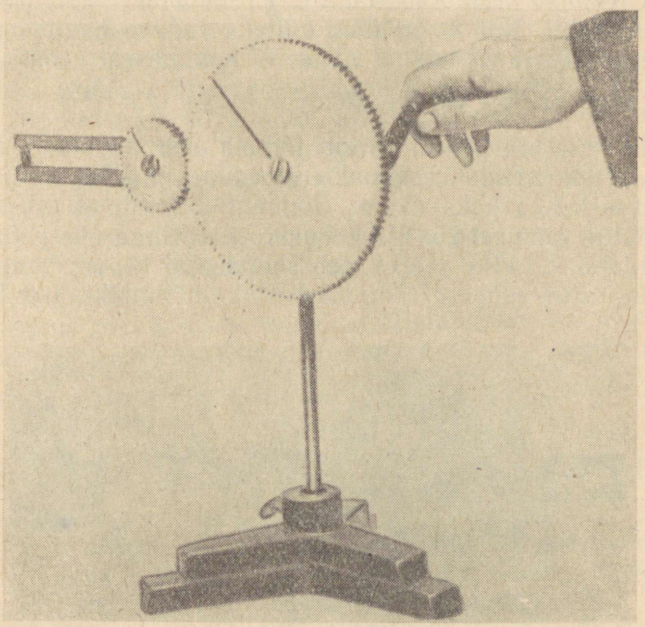
Joon. 24. Raam mitmesuguste ülekannete koostamiseks.

Lõpuks asetatakse ühele teljele vänt ning riist on töökorras. Samal viisil koostatakse ka teised töös kirjeldatud ülekandemehhanismid.

Töö käik. Töö eesmärgiks on hammasrataste pöörlemissuuna määramine mitmesugustes ülekannetes, ülekande

arvu ja mõnede silindrilistest hammasratastest koosnevate mehhanismide kasuteguri määramine.

Peale selle tutvuvad õpilased töö lõpul praktiliselt mitmesuguste ülekande liikidega (rihmülekanne, koonilised hammasrattad, tigumehhanism ja friktsioonmehhanism), koostades neid jooniste järgi.



Joon. 25. Hammasülekanne pöörete arvu suurendamiseks.

1. Koostatakse lihtne mehhanism silindrilisest hammasrattast joonise 25 järgi. Pannakse see vända abil käima ja tehakse kindlaks, et rattad pöörlevad erinevalt, s. o. tehakse kindlaks, et teisel rattal on erinev (suurem) kiirus ja ta pöörleb suunas, mis on vastupidine vända pöörlemisele.

Pärast seda määratakse ülekande arv, mis annab võimaluse otsustada mehhanismi hammasrataste kiiruste üle.

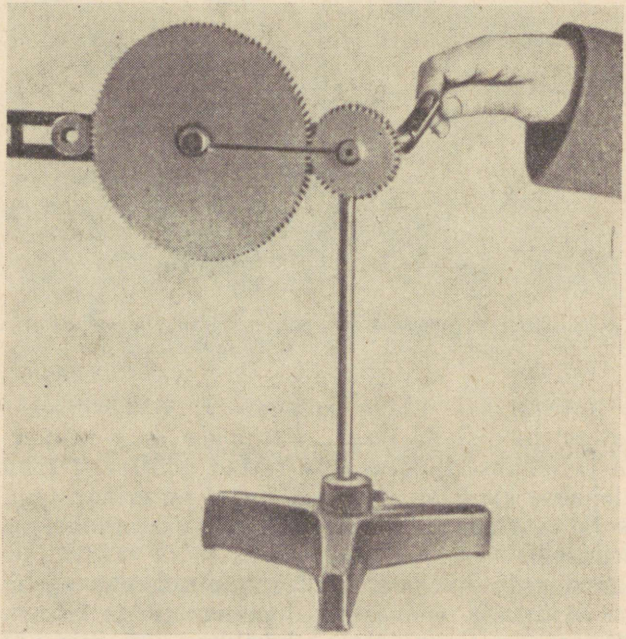
Ülekande arv avaldatakse harilikult ühe hammasratta (vändaga) hammaste arvu ja teise hammasratta (vee-

tava) hammaste arvu suhtega. Seega tuleb ülekande arvu saamiseks leida loendamise teel mõlema hammasratta hammaste arvud ja võtta nende suhe ehk jagatis

$$\left(i = \frac{z_1}{z_2}\right).$$

Ülekande arvu võib määrata ka hammasrataste pöörete arvude abil. Kui n_1 on ühe, näiteks vedava hammasratta pöörete arv ja n_2 teise, veetava hammasratta oma, siis ülekande arv on võrdne nende suhtega $\left(i = \frac{n_2}{n_1}\right)$.

Et määrata pöörete arvu, tõmmatakse mõlemale hammasrattale nende keskpunkte ühendav sirglõik või sobitatakse kokku kaks varem tõmmatud raadiust nii, nagu näidatud joonisel 26. Siis tehakse veorattaga üks pööre ja loendatakse, mitu pööret teeb samal ajal veetav hammasratas. Kui esimesel hammasrattal on näiteks 100 ham-



Joon. 26. Hammasülekanne pöörete arvu vähendamiseks.

mast ja teisel 40, siis esimese ratta ühe pöörde puhul teeb teine 2,5 pööret ja pöörleb järelikult 2,5 korda esimesest kiiremini.

Edasi vahetatakse hammasrataste kohad, nii nagu näidatud joonisel 26, pannakse mehhanism käima ja veendutakse, et veetav ratas liigub 2,5 korda aeglasemalt.

2. Hammasrataste paari kasuteguri määramisel muudetakse natuke seadet. Mõlema hammasratta teljele asetatakse tihedalt ühesuguse diameetriga plokid. Plokkidele kinnitatakse kõva nöör, mähkides seda 2—3 korda ümber nende. Ühele plokile riputatakse viht P, kuid teise nööri külge kinnitatakse konksuga dünamomeeter nii, nagu on näidatud joonisel 27.

Tõmmates nööri dünamomeetriga, pannakse hammasrattad ühtlaselt pöörlema ja seega ka vihti tõusma mingile kõrgusele. Dünamomeeter näitab seejuures jõudu F, mis kulub mehhanismi takistuse ületamiseks ja selle jõu ületamiseks, mis antakse koormuse P poolt väiksemale hammasrattale ja mis on võrdne $\frac{P}{n}$, kus n on ülekande arv.

Seega on kasulik töö võrdne jõu $\frac{P}{n}$ ja mingi teepikkuse s (suure hammasratta liikumine) korrutisega, kuid kulutatud töö on jõu F ja teepikkuse s (väikese hammasratta liikumine) korrutis. Kuid teepikkused (hammasrataste liikumised) nii kasuliku kui kulutatud töö juures on võrdsed, järelikult kasutegur:

$$\eta = \frac{Ps}{nFs}, \quad \text{või} \quad \eta = \frac{P}{n} : F.$$

Meie katses oli vihi raskus 1 kG, ülekande arv 2,5 ja dünamomeetri näit — 500 G.

Seega on hammasrataste paari kasutegur 80%:

$$\eta = \frac{1000}{2{,}5 \cdot 500} = 0{,}8.$$

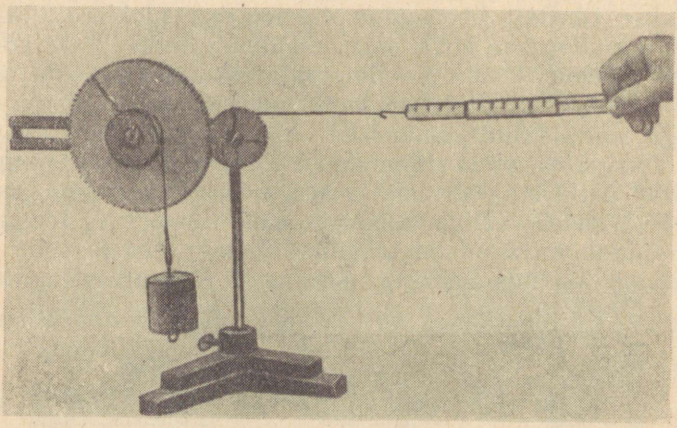
3. Koostatakse seade kolmest hammasrattast, nagu on näidatud joonisel 28 ($z_1 = 100$, $z_2 = 65$, $z_3 = 40$). Äärmistele hammasratastele asetatakse plokid. Peale selle asetatakse väiksele hammasrattale vänt.

Veoratas pannakse pöörlema ja jälgitakse, kuidas liiguvad kaks ülejäänut. Eelnevale seadmele erinevalt pöör-

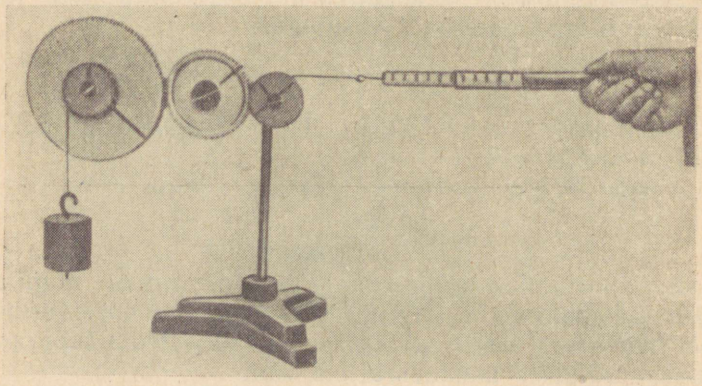
leb nüüd veetav (kolmas) hammasratas veorattaga samas suunas.

Järgnevalt määratakse kogu mehhanismi ülekandearv ($i = \frac{z_1}{z_2}$) järgmisest seosest:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3}$$



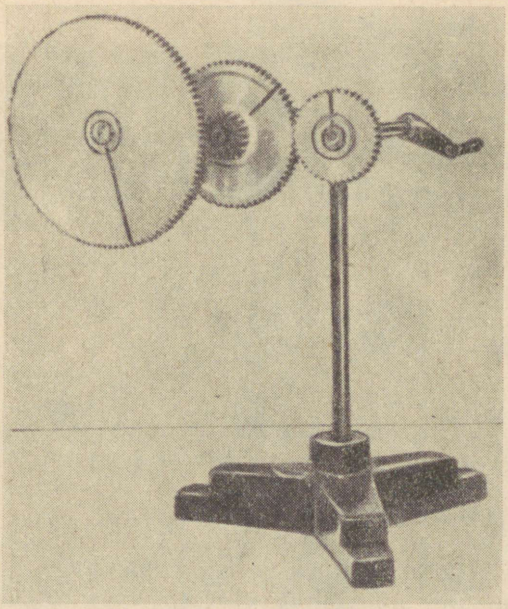
Joon. 27. Seade hammasrataste paari kasuteguri määramiseks.



Joon. 28. Seade kolmest hammasrattast koosneva mehhanismi kasuteguri määramiseks.

Nagu toodud avaldisest on näha, ei muuda keskmine ratas ülekande arvu ja järelikult ei mõjusta ka kolmanda ratta pöörlemise kiirust.

Pärast seda määratakse koostatud mehhanismi kasutegur. Selleks riputatakse kolmandale rattale viht $P = 1$ *kG* (joon. 28). Veetava ratta ploki nöörile aga kin-



Joon. 29. Keerukam hammasülekanne.

nitatakse dünamomeeter ja määratakse selle abil jõud, nagu eelmiseski seadmes kahe hammasrattaga. Meie katses näitas dünamomeeter 650 *G*-st jõudu.

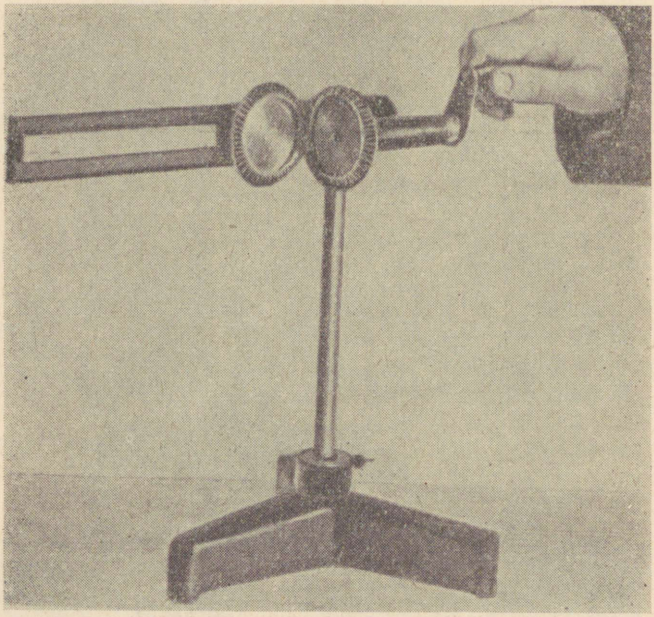
Teades ülekande arvu ($i = 2{,}5$) võib pärast seda arvutada jõudu, mis mõjub veetavale rattale (hõõrdumist arvestamata):

$$F = \frac{p}{i} = \frac{1000}{2{,}5} = 400 \ (G).$$

Lõpuks määratakse kasutegur:

$$\eta = \frac{400}{650} \approx 0{,}62 \quad \text{või} \quad 62\%.$$

Saadud tulemuse võrdlemisel eelmisega on näha, et kolmest rattast koosnevas mehhanismis on kaod märgatavalt suuremad kui kahe ratta puhul. Sellepärast nime-



Joon. 30. Ülekanne kahe koonilise hammasratta abil.

tatakse tehnikas vahepealset hammasratast, mille ülesanne on ainult pöörlemise suunda muuta, «parasiidiks».

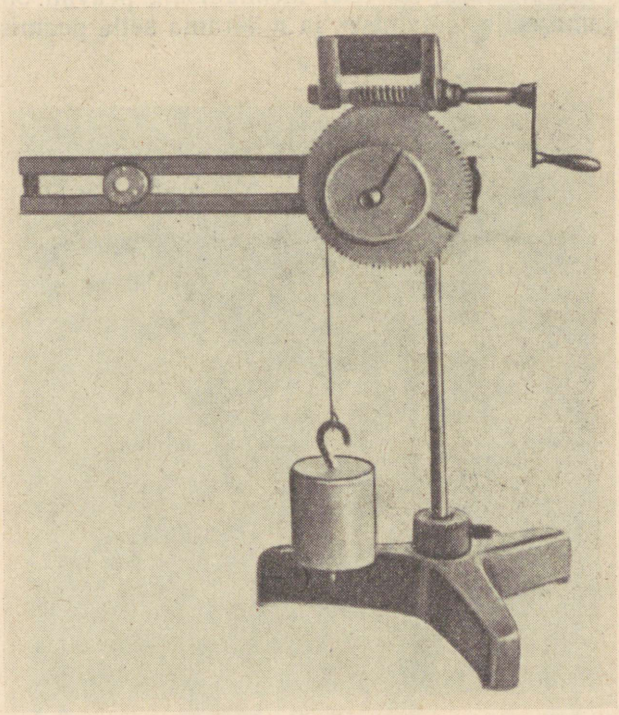
Õpilaste tähelepanu on kasulik juhtida järgmisele seosele:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2,$$

kus η on kolmest hammasrattast koosnev mehhanismi kasutegur, η_1 — esimese ja teise hammasratta vaheline

kasutegur ja η_2 — teise ja kolmanda hammasratta vaheline kasutegur.

Kuna kõik hammasrattad on meie seadmes valmistatud ühesuguse täpsusega ja ühest ning samast materja-



Joon. 31. Tiguülekanne.

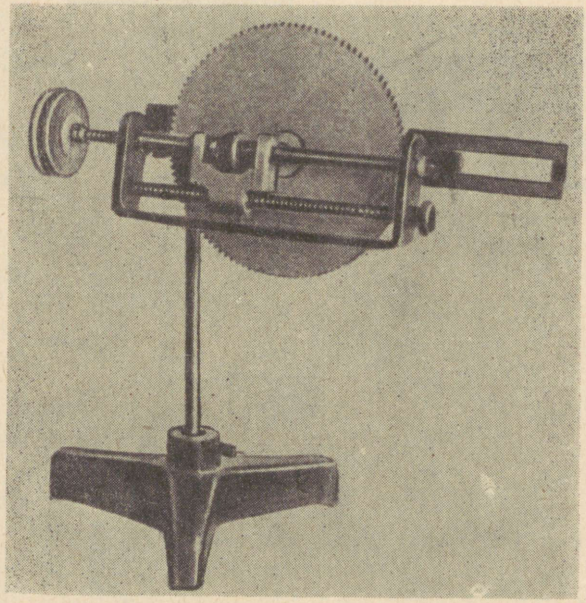
list, siis on kaod mõlema paari juures ühesugused, s. o. vastavalt eelmisele katsele on kasutegur 0,8.

Järelikult $\eta = 0{,}8 \cdot 0{,}8 = 0{,}64$, mis me ligikaudselt katseliselt saimegi.

Praktilisi lisaülesandeid. Kui füüsika kabinetis on mitmesuguste ülekannete demonstreerimise riista detailide täielik komplekt ja kui jääb aega, siis võib lisaülesandena

anda õpilastele koostada teisi ülesandeid ja tutvuda nende töötamisega. Sel juhul võivad juhendajateks olla joonised 29, 30, 31 ja 32 koos vastavate allkirjadega. Joonistelt näevad õpilased kõiki üksikosi ja nende asetust ja allkirjast — mehhanismi nimetust.

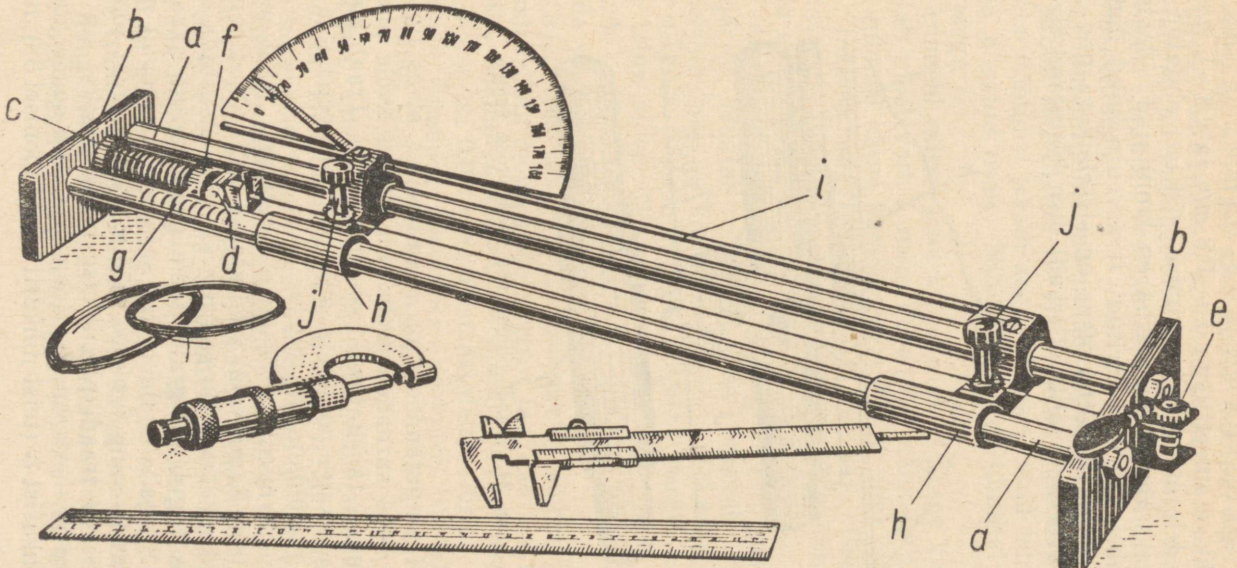
Koostades ühte või teist mehhanismi, peavad õpilased veenduma selle töötamises ja määrama selle peamise otstarbe.



Joon. 32. Friktsioonülekanne.

7. Jõu ja tõmbedeformatsiooni vahelise sõltuvuse uurimine.

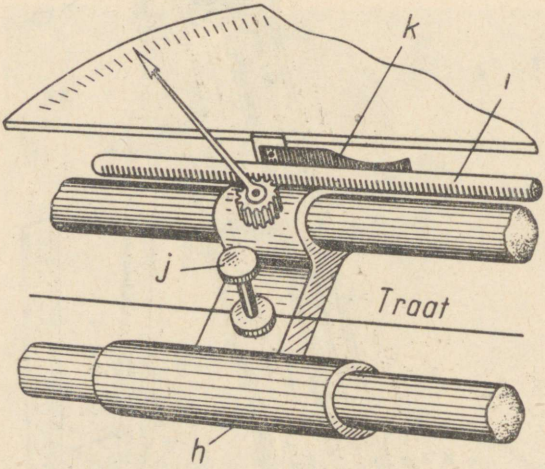
Töövahendid (joon. 33). 1) Tõmbedeformatsiooni uurimise riist, 2) mikromeeterkruvi täpsusega 0,01 *mm*, 3) nihkkaliiber täpsusega 0,1 *mm*, 4) millimeetrijaotistega joonlaud pikkusega 300—500 *mm*, 5) traadi tükid, pikkusega 600—700 *mm*: kaks raud- või terastraadi tükki



Joon. 33. Töövahendid töö nr. 7 jaoks.

diameetritega 0,2—0,3 *mm* ja 0,3—0,5 *mm* ning kaks vasktraadi tükki diameetritega 0,5—0,8 *mm* ja 0,8—1 *mm*.

Tõmbedeformatsiooni uurimise riist on ehitatud järgmiselt. Kaks rauast juhtvarba on kinnitatud alustele *b*. Nende vahele on monteeritud terasvedru kujul dünamomeeter *c*. Dünamomeetri otsas on sisselõikega naga, milles on äravõetav poolike *d* traadi otsa kinnitamiseks.



Joon. 34. Traadi pikenemise määramise seade.

Traadi pingutamiseks on raami teises otsas tigumehhanism *e*, mis sarnaneb keelpillide juures keele pingutamiseks sageli tarvitatavale mehhanismile. Traat kinnitatakse ühe otsaga poolikese abil dünamomeetrile ja teise otsaga tigumehhanismi teljele.

Tigumehhanismi pööramisel keritakse traat mehhanismi teljele. Samal ajal venitatakse välja dünamomeetri vedru. Rakendatava jõu suuruse üle võib otsustada osuti *f* järgi, mis liigub kilogrammidele gradueeritud skaalal *g* (20 *kG*). Seega võimaldab riist sujuvalt ja pidevalt muuta pinget traadis ning igakord mõõta rakendatavat jõudu.

Venitatava traadi pikenemise määramiseks on riist varustatud erilise seadega (joon. 34). See seade koosneb kahest nihkurist *h* (teist nihkurit vaata joonisel 33), mõõte-

varvast *i*, mille üks ots on hambuline, hammasrattast telje ja osutiga ja skaalast pikenemise mõõtmiseks.

Kogemused näitavad, et ka kõige hoolikam traadi otste kinnitamine dünamomeetrile ja tigumehhanismi teljele ei garanteeri traadi venitamisel traadi lahtikerimise eest kinnituskohtades.

See lahtikerimine moonutab sagedasti katse tulemusi, sellepärast kirjeldatud riistas ei tehta uurimisi ja ei korraldata mõõtmisi traadi kogu ulatuses, vaid ainult nihkuritega piiratud osas. Nihkurite külge kinnitatakse traat kruvidega *j*.

Tigumehhanismi pool asuva nihkuri külge kinnitatakse kindlalt mõõtevarb *i*, nagu seda võib näha joonisel 33, ja teise nihkuri külge hammasratas telje ning osutiga, mis võib liikuda skaalat mööda (joon. 34). Seejuures on mõõtevarda hambuline ots hambumises hammasrattaga, varda surub vastu hammasratast lehtvedru *k*.

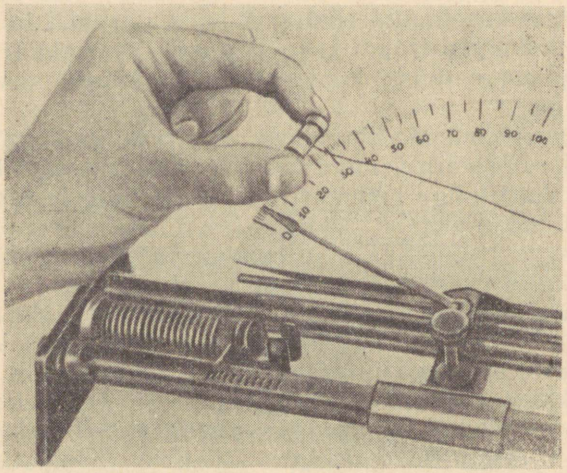
Venimise protsessis muutub kogu traadi pikkus, mille tagajärjel muutub ka nihkurite omavaheline kaugus. Mõõtevarb, mis on kinnitatud ühele nihkurile, ei muuda oma pikkust (temale ei mõju venitav jõud), sellepärast peab teine nihkur liikuma varva suhtes. Selle tagajärjel hakkab osutiga hammasratas liikuma hambulist otsa mööda ja osuti hakkab liikuma skaalal.

Kirjeldatud seade ja dünamomeeter võimaldavad üheaegselt mõõta mõjuva jõu suurust ja traadi vastavat pikenemist. Seejuures võimaldab küllalt suur täpsus (skaala iga jaotus on 0,03 *mm*) üksikasjaliselt uurida metallide elastseid omadusi, kasutades seejuures suhteliselt lühikesi traadi tükke (200—400 *mm*).

Riista ettevalmistus. Ettevalmistus seisab uuritava traaditüki kinnitamises dünamomeetrile ja tigumehhanismile ning osuti seadmises skaala nullile ajaks, mil traat on katse alguses veel koormamata.

Kõigepealt kinnitatakse traat tigumehhanismi külge. See tehakse samuti, nagu kinnitatakse keelpilli keel vastava mehhanismi külge. Selleks pistetakse traadi ots telje auku ja pööratakse telge 3—4 pöörde võrra. Siis tõmmatakse traat läbi riista aluse ava. Järgnevalt võetakse poolike dünamomeetri nagast ja keritakse selle peale traadi teine ots, nagu on näidatud joonisel 35. Kerimist toime-

tatakse seni, kuni traadi pikkus saab ligikaudu võrdseks kaugusega dünamomeetri nagani. Pärast seda asetatakse poolike kohale ja et traat ei jääks looka, pingutatakse teda natuke. Selleks pööratakse tigumehhanismi, jälgides seejuures dünamomeetri skaalat, et koormus ei ületaks 1—2 *kG*.



Joon. 35. Traadi kinnitamine poolikesele.

Pärast traadi kinnitamist keeratakse lahti nihkurite kruvid ja asetatakse nad vastavalt ülesandele 200—400 *mm* kaugusele teineteisest. Siis asetatakse nende alla sirgeks tõmmatud traat ja keeratakse kruvide abil nihkurite külge kinni.

Lõpuks seatakse osuti skaala nullpunkti. Selleks lastakse traat algul vabamaks, keerates tigumehhanismi seni, kuni dünamomeetri osuti asetub nullile. Järgnevalt eemaldatakse sõrme abil varb hammasrattalt, millele teda surub lame vedru, seatakse riista osuti skaala nullile ja vabastatakse varb. Sellega lõpeb riista ettevalmistus.

Töö käik. Töö eesmärgiks on raua või terase ja vase elastsete omaduste uurimine ja ühe nimetatud metalli elastsusmooduli määramine.

Algul kinnitatakse riistale terastraat (raudtraat), mille diameetrit enne mõõdetakse kahest või kolmest kohast mikromeetriga. Kui mikromeetri näidud erinevad üksteisest, siis märgitakse üles kõige väiksem näit ning arvutatakse selle järgi ristlõige *S*. Siis mõõdetakse millimeetrijaotistega joonlaua abil uuritav traadi intervall *L*, s. o. nihkurite kruvide vaheline intervall. Seejuures tuleb mõõta kruvide tsentrite vaheline kaugus.

Pärast mõõtmistulemuste üleskirjutamist ja ristlõike pindala arvutamist asutakse traadi venitamisele. Tigumehhanismi kruvi pööramisega suurendatakse järk-järgult venitavat jõudu (1 *kG*, 2 *kG*, 3 *kG* jne.) ja jälgitakse igakordset pikenemist. Jõudes 5 *kG*-ni hakatakse tigumehhanismi kruvi pöörama vastupidises suunas, s. o. hakatakse jõudu vähendama, jälgides seejuures, kuidas traat lüheneb.

Veendudes traadi elastsuses, korratakse katset ja kantakse vaatlusandmed järgmisesse tabelisse, kus on näitena toodud ühe katse konkreetsed andmed raudtraadi kohta, mille pikkus oli 300 *mm* ja diameeter 0,35 *mm*.

Dünamomeetri näidud *F kG*	Pikenemise skaala näidud *l*		Kahele teineteisele järgnevale jõule vastavate pikenemiste vahe Δl *mm*
	Jaotuste arv	*mm*	
1	6	0,18	0,15
2	11	0,33	0,18
3	17	0,51	0,15
4	22	0,66	0,15
5	27	0,81	0,15
4	23	0,69	0,18
3	17	0,51	0,18
2	11	0,33	0,15
1	6	0,18	0,18

Vaadeldes tabeli viimase veeru suurusi ja võttes arvesse, et pikenemiste mõõtmise täpsus on 0,03 *mm*, veenduvad õpilased jõu *F* ja pikenemise *l* võrdelisuses. Järelikult toimus raudtraadi tõmbedeformatsioon elastsuse piirides, kus kehtib õpilastele tuntud Hooke'i seadus.

Peale selle võimaldavad mõõtmise tulemused määrata traadi aine elastsusmoodulit. Õpilased teavad, et venitatava keha pikenemine on võrdeline pingega. Seda võrde-

lisust kirjutatakse üles võrduse kujul elastsusmooduliks nimetatava teguri E abil, mis iseloomustab aine elastseid omadusi:

$$\Delta l = \frac{FL}{ES},$$

millest

$$E = \frac{FL}{\Delta lS},$$

kus F on jõud, s. o. tõmbetugevus kilogrammides,
L — traadi pikkust *mm*-tes,
l — traadi pikenemine *mm*-tes, ja
S — ristlõike pindala mm^2-tes.

Kuna kõik vajalikud andmed on katse käigus õpilaste poolt mõõdetud, siis raua elastsusmoodul

$$E = \frac{1 \cdot 300}{0{,}16 \cdot 0{,}096}\ 19\,300\ \left(\frac{kG}{mm^2}\right),$$

kus 0,16 on traadi keskmine pikenemise suurus jõu 1 *kG* korral, mis leiti tabeli andmetele vastavalt järgmiselt:

$$\Delta l = \frac{0{,}15 \cdot 5 + 0{,}18 \cdot 4}{9} = 0{,}16\ (mm).$$

Elastsusmoodul, nagu märgiti eespool, on suurus, mis iseloomustab antud aine elastsust; ta ei sõltu katsekeha suurusest. Et õpilased selles veenduksid, asetatakse riista eelmisest suurema ristlõikega raudtraat (terastraat), kuid ligikaudu samast materjalist, ja korratakse eelmist katset, tehes lühiduse pärast ainult kolm mõõtmist.

Uuesti saadud elastsusmooduli suurus on lähedane eelpool saadud suurusele. Teises katses, kus näiteks raudtraadi diameeter oli 0,5 *mm* ja kruvide vahe 300 *mm* ning jõud 5 *kG*, 10 *kG* [1] ja 15 *kG*, saadi pikenemisel: 12; 25 ja 36 skaala jaotust, s.o. 0,36; 0,75 ja 1,08 *mm*. Keskmine pikenemine oli jõu 5 *kG* puhul

$$\frac{0{,}36 + 0{,}75 + 1{,}08}{1+2+3} = 0{,}365\ (mm),$$

[1] Peetakse silmas seda, et need koormused tekitavad elastseid deformatsioone.

järelikult elastsusmoodul

$$E = \frac{5kG \cdot 300mm}{0{,}365mm \cdot 0{,}196mm^2} \approx 21\,000 \ \frac{kG}{mm^2}.$$

Edasine ülesanne seisneb tõmbedeformatsiooni uurimises juhul, kui jõud läheb elastsuse piiridest välja. Selleks paigutatakse riista raudtraadi (terastraadi) asemel vasktraat, mille diameeter on 0,5—0,8 *mm*.

Venitades järk-järgult vasktraati, veendutakse alguses, et sel on suhteliselt väike elastsus: juba väiksed koormused tekitavad jääkdeformatsioone. Selleks rakendatakse traadile näiteks jõud 1 *kG* ja märgitakse skaalalt pikenemine; edasi kõrvaldatakse selle jõu mõju ja vaadatakse, kas osuti tuleb tagasi nullile.

Korrates seda liiki vaatlusi jõudude 2 *kG*, 3 *kG*, 4 *kG* jne. puhul märgatakse, et mingist jõust alates osuti enam nullile tagasi ei tule. See tähendab seda, et traat venis välja, s. o. jõud tekitas deformatsiooni, mis läks elastsuse piirist üle.

Pärast seda seatakse uuesti osuti skaala nullile ja venitatakse vasktraati kuni katkemiseni, kirjutades seejuures igakord tabelisse jõud ja neile vastavad pikenemised nii, nagu tehti seda eelmises katses.

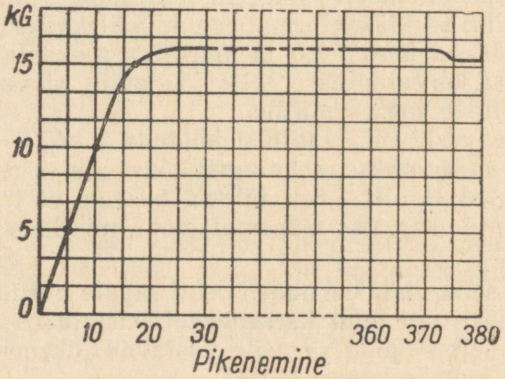
Vasele on iseloomulik tema sitkus. Sellepärast jääb venitamise jooksul dünamomeetri osuti üsna varsti mingile kindlale jaotisele ja tigumehhanismi kruvi edasisel pööramisel enam peaaegu ei liigu paigast, samal ajal kui pikenemisskaala osuti näitab pikenemist. Osuti võib kalduda isegi skaala lõpuni. Siis eemaldatakse lehtvedru, mis surub mõõtevarba, seatakse osuti uuesti nullile ja jätkatakse traadi venitamist. Seejuures liidetakse pikenemisskaala uued näidud skaala väärtusele.

Vase suure sitkuse tõttu tuleb pikenemisskaala osutit ümber asetada kaks ja mõnikord isegi kolm korda. See tähendab seda, et mõnes katses vasktraat pikeneb kuni 16 *mm*. Kogu skaala vastab ainult 5,4 *mm*-lisele traadi pikenemisele.

On vaja juhtida tähelepanu sellele, et veidi enne traadi katkemist, vaatamata tigumehhanismi pööramisele, hakkab koormus vähenema (dünamomeetri osuti liigub nulli poole). See näitabki seda, et varsti toimub katkemine.

Pärast katseandmete saamist ja tabelisse kandmist tehakse graafik, nagu see on toodud näitena joonisel 36.

Praktilisi märkusi. 1. Vaatamata traadi pikenemist näitava mehhanismi suhteliselt lihtsale ehitusele, ei saa õpilased igakord kohe aru, miks skaala üks jaotis vastab 0,03 *mm*-le. Sellepärast on kasulik riistaga tutvumisel lähemalt vaadelda mõõtevarva hambulise osa liikumise edasiandmist osutiga ühenduses olevale hammasrattale ja katseliselt kindlaks määrata skaala jaotise väärtus.



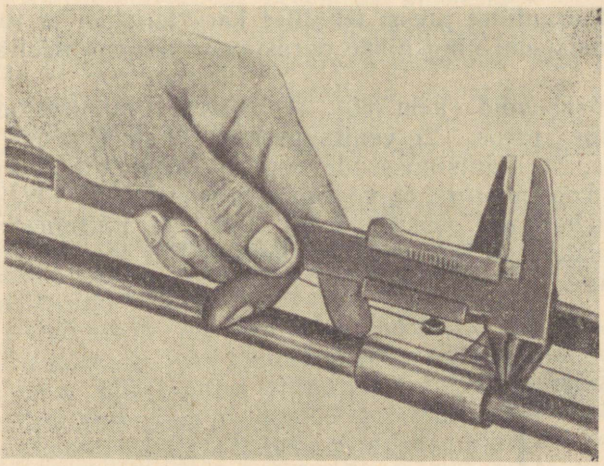
Joon. 36. Vasktraadi venimise graafik.
(D=1,3 *mm*, l=350 *mm*).

Tuleb juhtida tähelepanu sellele, et ühele juhtvarvale on tigumehhanismi lähedal tõmmatud kaks teineteisest kindlal kaugusel olevat kriipsu. Seejuures vastab nihkuri liikumine kriipsude vahemikus osuti liikumise täispöördele skaala kogu ulatuses.

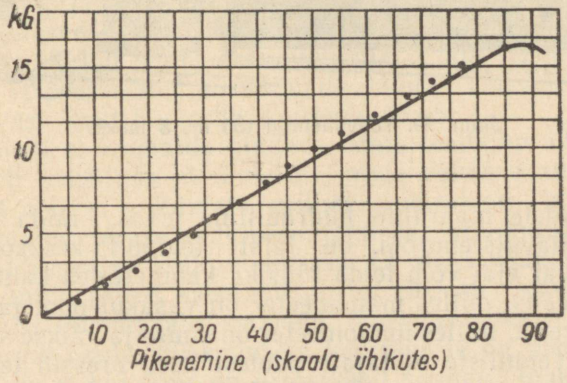
Skaala ühe jaotise väärtuse kontrollimiseks viivad õpilased käega nihkuri esimesele kriipsule. Pärast seda seavad osuti nullile, nagu seda on kirjeldatud eespool, ja nihutavad ettevaatlikult nihkuri teise kriipsuni. Seejuures pannakse tähele osuti liikumist skaala lõpuni.

Järgnevalt mõõdetakse nihkkaliibriga kriipsude vahe, nagu näidatud joonisel 37. See osutub võrdseks 5,4 *mm*-ga. Edasi jagatakse see pikkus skaala jaotiste arvuga (5,4 *mm* : 180=0,03 *mm*) ja saadakse skaala jaotise väärtus (1 jaotis = 0,03 *mm*).

2. Vasktraadi venitamise juures on pikenemine väga suur. Sellepärast on otstarbekohane asetada nihkurid sellisteks juhtudeks 200—250 *mm* kaugusele teineteisest ja graafiku joonistamisel võtta pikenemise teljel väike mastaap.



Joon. 37. Kahe kriipsu vahelise kauguse mõõtmine nihkkaliibriga.

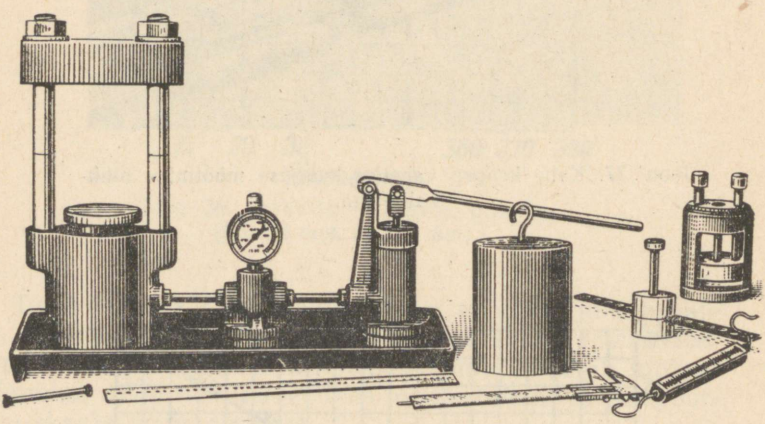


Joon. 38. Terastraadi venimise graafik.

Kui aeg lubab, siis on soovitav katset venitamise ja katkemise peale korrata. Katse uued andmed annavad teistsuguse iseloomuga graafiku; joonisel 38 on toodud näiteks terastraadi venimise graafik.

8. Hüdraulilise pressi tehnilise karakteristika ja tõmbedeformatsiooni ning nihke purustavate pingete määramine.

Töövahendid (joon. 39). 1) Tööks ettevalmistatud hüdrauliline press, 2) venitamisseade katsekehade tagavaraga, 3) stantsimisseade koos metallplaadiga, 4) viht 10 *kG* koos nööriga, 5) vedrudünamomeeter 3—5 *kG* jaoks, 6) nihkkaliiber, täpsusega 0,1 *mm*, 7) millimeetrijoonlaud pikkusega 500 *mm*, 8) skemaatiline joonis — pressi läbilõige.



Joon. 39. Töövahendid töö nr. 8 jaoks.

Koolidele määratud hüdrauliline press, mida laseb välja Glavutštehprom, on laialt levinud keskkoolides. Käesoleval ajal võib leida füüsika kabinettides kahte liiki presse: vana, milles manomeeter on vasakul pool ja tänapäeva pressi, milles manomeeter on suure ja väikse silindri vahel. Tehniliste näitajate poolest need pressid teineteisest ei erine ja nad on ühteviisi kõlblikud antud töö jaoks.

Töö käik. Laboratoorne töö hüdraulilise pressiga koosneb kahest osast. Ühes osas uuritakse pressi ehitust ja töötamist ning määratakse riista põhilised tehnilised andmed. Teises osas määratakse raua purustav pinge tõmbedeformatsiooni ja nihke puhul.

1. *Pressi ehituse ja töötamise uurimine.* Vaadeldes läbilõike joonist (joon. 40) ja hüdraulilist pressi ennast, uurivad õpilased kõigepealt pressi töötamist. Nad peavad välja selgitama riista iga detaili ja osa otstarbe: väikse kolvi käepideme (kangi), ventiilide, kaitseventiili, manomeetri, kolviga koos oleva suure silindri, kraanide, manseti jt. ülesande.

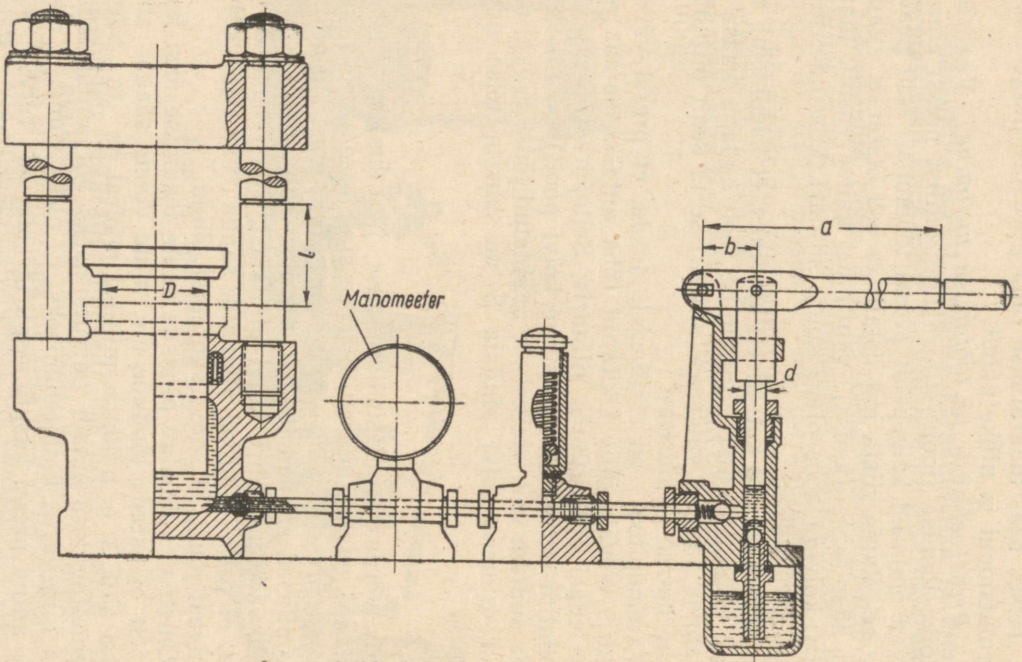
Õpilased teevad katseliselt kindlaks, et käepideme abil väikse kolvi üles-alla liigutamine toob endaga kaasa õli voolamise paagist väiksesse silindrisse ja sealt õlijuhtme kaudu suurde silindrisse.

Varemõpitust on õpilastel teada, et pressi väikses silindris olevale õlile tekitatud rõhk antakse samas suuruses edasi õlile suures silindris. Sellepärast pressi abil arendatud survejõud F_1 (suure kolvi poolt) on nii mitu korda suurem väiksele kolvile avaldatud jõust F_2, kui mitu korda esimese kolvi pindala S_1 on suurem teise omast S_2, s. o.

$$F_1 : F_2 = S_1 : S_2.$$

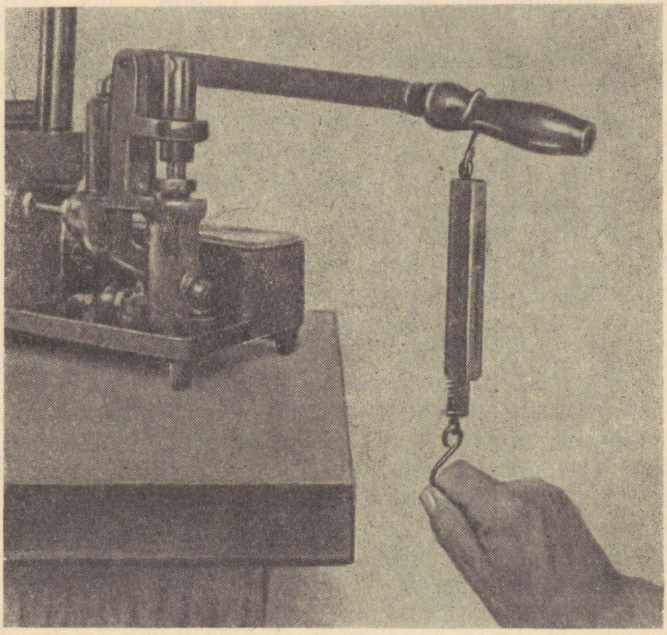
See võrdus on Pascali seaduse järeldus ja väljendab printsiipi, mis on hüdraulilise pressi ehituse aluseks. Hüdraulilise pressiga võib saada suurt võitu jõus. Nii näiteks, kui õpilased saavad teada, et väikse kolvi pindala on 50 korda väiksem suure kolvi pindalast, siis tähendab see seda, et pressi abil on võimalik saada väiksele kolvile mõjuvast jõust 50 korda suuremat jõudu.

Ometi ei võimalda pindade suhte teadmine üksi konkreetselt otsustada jõudude üle, mida võime saada antud pressi abil, s. o. näidata, millisel määral on ta näiteks rakendatav terasplaadi painutamiseks või antud läbilõikega terasvarva katkirebimiseks. Et oleks võimalik otsustada antud pressi kasutamispiiride üle, on tarvis teada järgmisi täiendavaid andmeid (karakteristikat). Esiteks on tarvis teada, missugusele koormusele on press arvestatud, s. o. kui suur on pressi abil saadav maksimaalne jõud. Teiseks on tarvis selgitada, millisel viisil antud



Joon. 40. Hüdraulilise pressi läbilõige (skeem).

pressi juures antakse edasi suurele kolvile rõhku tekitav väline jõud. Kolmandaks tuleb teada, kui suured peavad olema välised rakendatavad jõud, et pressiga saada antud suurusega rõhke. Neljandaks on tähtis teada pressi mõõteid, et kindlaks teha, kas pressimiseks määratud detail mahub pressi vahele. Lõpuks on mõningatel juhtudel, kus hõõrde tõttu esineb tunduv jõu kadu, kasulik selgitada selle suurust.



Joon. 41. Hõõrdejõudude mõõtmine hüdraulilise pressi väikse silindri juures.

Seega on pressi tehnilise karakteristika koostamiseks kõigepealt vaja mõõta väikse ja suure silindri läbimõõdud ja nende põhjal arvutada kolbide pindalad. Edasi on tarvis määrata maksimaalne rõhk. Pressi maksimaalne lubatav rõhk määratakse alati tehases ja märgitakse manomeetril punase kriipsuga, see on tarvis skaalalt ainult ära lugeda. Samale rõhule on seatud ka pressi kaitseventiil.

Pressi ehituse ja töötamise uurimise protsessis selgita-

takse järgnevalt seda, et välist jõudu ei rakendata otseselt väiksele kolvile, vaid käepidemele, mis töötab kui teist liiki (ühepoolne) kang. Selleks et teada, missugune jõud mõjub väiksele kolvile, on tarvis peale välise jõu suuruse teada kangi õlgade suhet. Väiksele kolvile mõjuv jõud on nii mitu korda suurem käepidemele mõjuvast välisest jõust, kui mitu korda on käepideme kogu pikkus suurem tema lühemast õlast.

Kuid ka sellest veel ei piisa. Katse näitab, et väikse kolvi hõõrdejõu ületamiseks kulub tunduv osa välisest jõust ja sellepärast on vaja see jõu osa kindlaks määrata.

Seda tehakse järgmiselt. Käepideme nõgusale kohale asetatakse vedrudünamomeetri konks (joon. 41). Käepide tõstetakse üles, avatakse suurt silindrit ja õlinõu ühendav kraan ning tõmmatakse dünamomeeter teist konksu pidi ühtlaselt alla. Sel momendil, kui käepide on horisontaalses asendis, märgitakse dünamomeetri näit. Korratakse mõõtmist kaks-kolm korda ja võetakse saadud suuruste aritmeetiline keskmine. Katse näitab, et väikse kolvi hõõrdejõu ületamiseks vajalik jõud on 1,5—2 *kG*.

Suurustest, mis iseloomustavad pressi mõõtmeid, on tähtis peale silindrite diameetrite teada veel suurema silindri tõusu maksimaalne kõrgus. Seda suurust on tarvis määrata sellepärast, et teada, milliste mõõtudega keha on võimalik asetada suurele kolvile pressimiseks. Nagu selgub jooniselt 40, võib suuremat kolvi tõsta ainult kõrgusele *l*, püstkanduritele tehtud märkideni. Edasine kolvi tõus viiks ta silindris asetseva nahast manseti piirest välja, sellega aga kaoks hermeetilisus ja õli hakkaks silindrist välja voolama.

Seega on pressi põhiliste tehniliste andmete määramine seotud tema osade otseste mõõtmistega nihkkaliibriga ja joonlauaga kohtades, mis on näidatud joonisel ning jõu mõõtmisega vedrudünamomeetriga ja sellele järgneva arvutusega. Selle töö järjekord on antud eelpool toodud tabelis, mis peale täitmist ongi hüdraulilise pressi tehniliste andmete tabeliks.

Eespool osutati sellele, et hüdraulilise pressi ehituse printsiip avaldub võrduses $F_1 : F_2 = S_1 : S_2$. Seda võrdust võib kirjutada järgmisel kujul

$$F_1 : S_1 = F_2 : S_2,$$

Tabel hüdraulilise pressi tehnilise karakteristika koostamiseks.

Nr.	Määratava suuruse nimetus	Suuruste arvulised väärtused	Märkused
1.	Suure kolvi diameeter D		Mõõdetakse nihkkaliibriga
2.	Suure kolvi pindala S		Arvutatakse $\left(S_1 = \frac{\pi D^2}{4}\right)$
3.	Väikse kolvi diameeter d		Mõõdetakse nihkkaliibriga
4.	Väikse kolvi pindala S_2		Arvutatakse $\left(S_2 = \frac{\pi d^2}{4}\right)$
5.	Kolbide pindalade suhe $S_1 : S_2$		Arvutatakse
6.	Maksimaalne lubatud rõhk	$150\ \frac{kG}{cm^2}$	Loetakse manomeetrilt (punane kriips skaalal)
7.	Pressi abil arendatud maksimaalne rõhumine		Arvutatakse ($F_{maks.} = 150\, S_1$)
8.	Käepideme õlgade suhe $a : b$		a mõõdetakse joonlauaga ja b nihkkaliibriga; suhe $a : b$ arvutatakse
9.	Jõud käepidemel f, mis on vajalik väikse kolvi hõõrde ületamiseks		Mõõdetakse dünamomeetriga
10.	Maksimaalne jõud käepidemel		Arvutatakse
11.	Suure kolvi maksimaalne tõusukõrgus		Mõõdetakse nihkkaliibriga

kus parem ja vasak pool kujutavad endast vastavaid rõhkusid suures ja väikses silindris. Hüdraulilise pressi töötamise printsiibi praktiline kontrollimine seisab seega manomeetri abil määratud rõhu ja välise jõu poolt väikses silindris olevale õlile avaldatud rõhu võrdsuse kindlakstegemises.

Seda tehakse järgmiselt. Asetatakse suurele kolvile mingi kõva keha, näiteks katsekehade venitamisseade. Käepideme abil pumbatakse suurde silindrisse õli seni, kuni seade on surutud ülemise plaadi ja kolvi vahele nii,

et manomeetri osuti vaevalt märgatavalt on kohalt liikunud.

Pärast eelnimetatut asetatakse nööri otsas rippuv viht ülestõstetud käepideme nõgusale kohale. Käepide hakkab aeglaselt allapoole liikuma ja kui ta on jõudnud horisontaalsesse asendisse (joon. 42), siis märgitakse ära manomeetri näit. Katset korratakse 3—4 korda ja võetakse saadud suuruste aritmeetiline keskmine.

Mõõtmise tulemusena leiavad õpilased, et käepidemele riputatud vihi raskus F tekitab rõhumist p suure silindri õlile. Jääb üle arvutada, millise rõhumise p_1 tekitab see viht väikse silindri õlile ja võrrelda p ja p_1.

Tuleb arvestada seda, et mitte kogu väline jõud ei tekita rõhku väikses silindris; osa sellest tasakaalustub hõõrdejõuga f, mille suund on ülespoole. Sellepärast liigutab faktiliselt käepidet jõud, mis on võrdne vahega $F - f$, kuid väiksele kolvile kandub edasi suurem jõud, s. o. jõud $(F - f) \cdot \frac{a}{b}$, kus $\frac{a}{b}$ on kangi õlgade suhe. See jõud kandub edasi kogu väiksele kolvile, nii et rõhk väikses silindris kujuneb järgmiseks:

$$p_1 = \frac{(F-f)\frac{a}{b}}{S_2}.$$

Võrduse paremal pool olevad suurused on, peale vihi raskuse, õpilaste poolt varem määratud ja on märgitud tehniliste andmete tabelis. Sellepärast on p_1 määramine seotud ainult mõningate lihtsate arvutustega.

Ühes eelpool kirjeldatud viisil tehtud katses saadi järgmised andmed:

Vihi raskus . . . . . $F = 10\ kG$

Hõõret ületava jõu suurus käepidemel . . . . . $f = 1{,}6\ kG$

Käepideme õlgade suhe . . . . $\frac{a}{b} = 7$

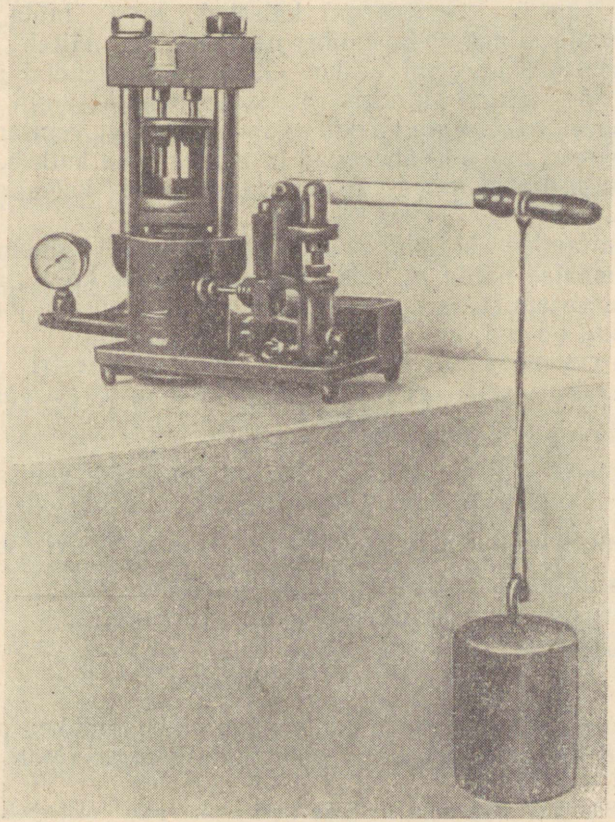
Väikse kolvi pindala . . . . . $S_2 = 1{,}13\ cm^2$

Rõhk väikses silindris . . . . $p_1 = \frac{8{,}4 \cdot 7}{1{,}13} = 52\ \left(\frac{kG}{cm^2}\right)$

Manomeetri näidud . . . . . $p = 60\ \frac{kG}{cm^2}$

Katsed näitavad, et töötamisel mitmesuguste vihtidega on erinevus p ja p_1 vahel 5 kuni 15 $\frac{kG}{cm^2}$, s. o. kuni 10%. See on seletatav õppeotstarbeks kasutatava hüdraulilise pressi manomeetri suhteliselt väikse täpsusega (ühe jaotuse väärtus 10 $\frac{kG}{cm^2}$). Sellistes tingimustes ei ole olulist tähtsust tehniliste andmete tabeli suuruste mõõtmisvigadel ega ka suure kolvi manseti hõõrdel.

2. *Purustavate pingete määramine.* Purustavat pinget tõmbedeformatsiooni juures määratakse järgmiselt. Mõõ-



Joon. 42. Manomeetri näitude kontrollimine.

detakse nihkkaliibriga venitatava silindrikujulise katsekeha diameeter mitmes kohast kogu pikkuse ulatuses ja võetakse väikseim väärtus. Siis asetatakse katsekeha venitamisseadisesse, mille ehitus selgub jooniselt 43. Seade koos katsekehaga asetatakse pressi suurele kolvile. Käepideme kiire liigutamisega pumbatakse õli silindrisse ja tõstetakse suur kolb üles, kuni venitamisseade jääb kolvi ja ülemise plaadi vahele kinni. Edasi hakatakse käepidet liigutama aeglasemalt, et oleks võimalik üksikasjaliselt vaadelda venitatava katsekeha muutumist ja üheaegselt jälgida manomeetri näitusid.

Õpilased peavad tähele panema seda, kuidas alguses (käepideme iga liigutusega) katsekeha venib, mida võib näha palja silmaga, ja kuidas manomeeter näitab ikka suuremat ja suuremat rõhku. Teatud momendist peale lakkab aga pressi silindris rõhu suurenemine, kuigi varb jätkab venimist. Varsti tekib «kael». Edasisel venitamisel manomeetri näidud vähenevad ja lõpuks keha katkeb. Niisugust pilti võib näha rauast valmistatud katsekehade juures.

Venitamise käigus märgivad õpilased manomeetri maksimaalse näidu p_2, mis võimaldab suure kolvi rõhumise arvutamist (seda võib nimetada venitavaks jõuks). See jõud on p_2S, kus S on suure kolvi pindala.

Varem mõõdetud venitatava varva diameetri järgi arvutatakse selle ristlõike pindala σ ja järgnevalt ka purustav pinge, mis on $\frac{p_2 S}{\sigma}$

Selle töö juures saadi järgmised suurused: venitatava varva diameeter 6 *mm*; selle ristlõike pindala[1] 28 mm^2; manomeetri suurim näit 40 $\frac{kG}{cm^2}$; suurema kolvi varem arvutatud pindala 2640 mm^2.

Purustav pinge osutus järelikult võrdseks

$$\frac{2640 \cdot 0{,}4}{28} \approx 38 \left(\frac{kG}{mm^2}\right).$$

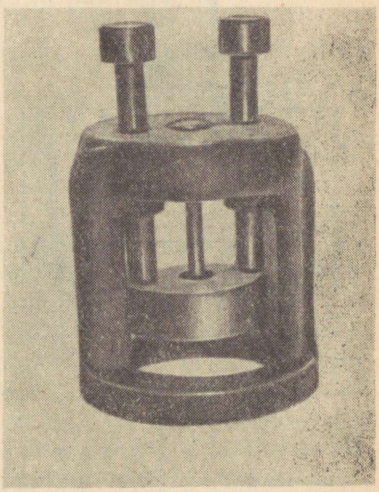
Enne raua purustava pinge määramist nihke puhul peavad õpilased tutvuma stantsimisseadega (joon. 44).

[1] Suurema täpsusega ristlõike määramine pole otstarbekohane, kuna lõppresultaadile avaldab mõju peaasjalikult manomeetri näidu lugemise lubatav viga.

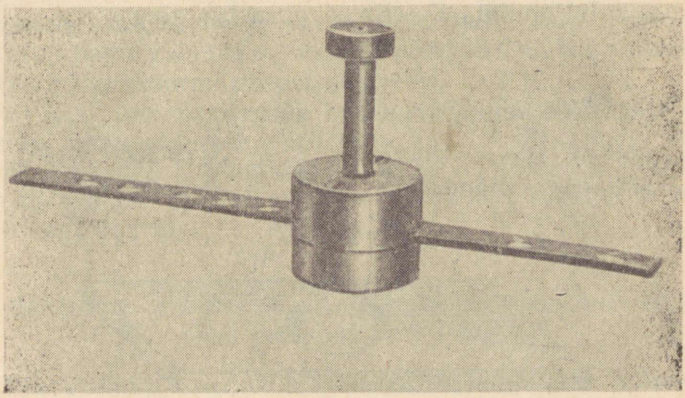
See seade kujutab endast silindrikujulist stantsi, mida läbib ava plaadi asetamiseks. Tuleb juhtida tähelepanu selle seade läbilõikele (joon. 45). Joonisest selgub, et puanson tuleb asetada väiksema diameetriga ava poolsest küljest, s. o. juhtiva plaadi poolsest küljest.

Siis mõõdetakse ära nihkkaliibriga puansoni diameeter ja raudplaadi paksus, millesse tahetakse auku suruda. Seade koos temas oleva plaadiga asetatakse pressile nagu eelmiselgi juhul ja käepideme kiire liigutamisega tõstetakse seade pressi ülemise plaadini. Edasi liigutatakse käepidet aeglaselt, jälgides seejuures manomeetri näitusid.

Erinevalt tõmbedeformatsioonist piisab antud juhul käepideme kahest-kolmest liigutamisest augu



Joon. 43. Venitamisseade.

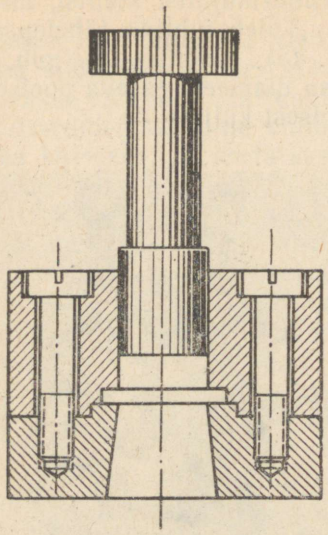


Joon. 44. Stantsimisseade.

läbisurumiseks. Sellepärast tuleb tähelepanelikult jälgida protsessi, et ära märkida manomeetri maksimaalset näitu.

Plaadi läbisurumise momendiga kaasneb tume löök ja manomeetri näidu järsk langus. Pärast seda on tarvis jätkata kolvi tõstmist seni, kui puanson on ketta seadest välja tõuganud.

Lõpetanud läbisurumise, võetakse plaat välja, mõõdetakse nihkkaliibriga ava diameeter ja veendutakse, et see vastab puansoni diameetrile.



Joon. 45. Stantsimisseadme läbilõige.

Metallplaadi ava surumine toimub teatavasti nihkedeformatsiooni tulemusena. Seejuures toimub nihe rõnga pinnal, mille pikkus määratakse puansoni diameetriga ja kõrgus — plaadi paksusega (joon. 46).

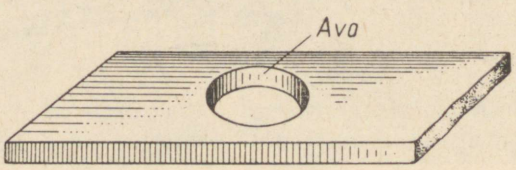
Kui läbisurumise protsessis on manomeetri maksimaalne näit p_3, puansoni diameeter d, plaadi paksus a ja suure kolvi pindala S_1, siis on purustav pinge

$$\frac{p_3 S_1}{\pi d_1 a_1}.$$

Ühes töös saadi järgmised andmed:

Suure kolvi pindala . . . . $S_1 = 2640\ mm^2$

Puansoni diameeter . . . . . $d_1 = 12\ mm$



Joon. 46. Metallplaati surutud ava.

Plaadi paksus . . . . . $a_1 = 2\ mm$

Manomeetri näit . . . . . $p_3 = 95\ \frac{kG}{cm^2}$

Purustav pinge oli järelikult

$$\frac{0{,}95 \cdot 2640}{3{,}14 \cdot 12 \cdot 2} \approx 33\ \left(\frac{kG}{mm^2}\right).$$

Raua purustavate pingete jaoks saadud arvulised väärtused tõmbe- ja nihkedeformatsiooni puhul ($38\ \frac{kG}{mm^2}$ ja $33\ \frac{kG}{mm^2}$) on õpikutes ja teatmikes toodud väärtustele küllalt lähedased.

Praktilisi märkusi. 1. Hüdraulilise pressiga töötamisel võivad õpilased hoida käepidet mitmesugustest kohtadest. Arvutustes aga on vaja täpselt määrata käepideme kui teist liiki kangi õlgade suhe. Sellepärast on tarvis 50 *mm* kaugusel käepideme otsast teha 1—1,5 *mm* sügavusega soon või keerata tihedalt kaks traadist rõngast nii, et soon kujuneks kahe rõnga vahel. See soon määrab jõu rakendamise koha, kui käepidemele pannakse nööriga viht, et võrrelda arvutamise teel saadud suurusi manomeetri näitudega.

2. Õpilased, kes on töö ajal tegevuses pressi käepideme juures, ei saa samal ajal jälgida manomeetrit ja suruseadmeid. Sellepärast on tarvis töö ajal venitada katki vähemalt kaks varba ja suruda vähemalt kaks auku, et õpilased kohti vahetades saaksid vaadelda nii manomeetri näitusid kui deformatsiooni protsessi.

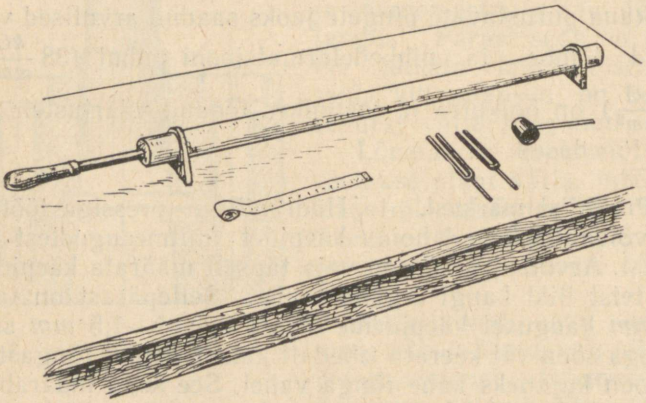
3. Aja puudusel võib vähendada laboratoorse töö mahtu. Seejuures võib alles jätta kas ainult esimese osa tööst, s. o. pressi tundmaõppimise ja tehnilise karakteristika määramise või töö esimese osa ja ühe esitatud deformatsiooni vaatluse.

9. Häälelaine pikkuse ja hääle levimiskiiruse määramine õhus resonantsimeetodil.

Töövahendid (joon. 47). 1) Resonantstoru kolviga, 2) kaks erineva sagedusega heliharki (sagedused 400 kuni 600 *Hz*), 3) kummivasar helihargi löömiseks, 4) milli-

meetrijaotistega mõõdulint, 5) toatermomeeter (ühine riist kogu klassile).

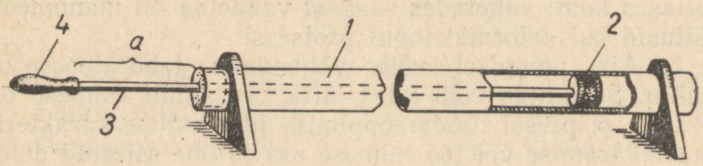
Resonantstoru (joon. 48, *1*) on õhukeste seintega metallist või papist toru, mille üks ots on lahtine; selle diameeter on 40—50 *mm* ja pikkus 900 *mm*. Toru sisse on asetatud kolb *2*, mis on varda *3* otsas. Nagu nähtub joonisest, on varda otsas käepide.



Joon. 47. Töövahendid töö nr. 9 jaoks.

Kolvil on pehmed riidest seibid, mille tõttu ta liigub torus sujuvalt ja toru suhtes tihedalt.

Varda pikkus on võetud nii, et kolb jõuab täpselt toru lahtise otsani, kui käepide puudutab toru teist otsa. Tõm-



Joon. 48. Resonantstoru ehitus.

mates varda välja ja mõõtes käepideme kaugust toru otsani, võime niiviisi määrata õhusamba pikkust toru lahtise otsa juures.

Töö käik. Hääle levimiskiiruse määramine resonantstoru abil põhineb võrdusel

$$v = \lambda\nu,$$

kus v on hääle kiirus,
λ — lainepikkus ja
ν — hääleallika sagedus.

Hääleallikatena kasutatakse siin teatud sagedusega heliharke. Töö eksperimentaalne külg seisab järelikult helihargi heli lainepikkuse määramises.

Kummivasaraga helisema löödud helihark, mille sagedus on ν, viiakse toru lahtise otsa juurde. Kolbi nihutades saavutatakse esimene maksimaalse tugevusega helisemine ja mõõdetakse käepideme kaugus a_1 toru otsast (joon. 48). Jätkates varva nihutamist, leitakse teine kolvi asend, mille puhul on helihargi helisemine kõige tugevam. Mõõdetakse uuesti kaugus a_2 käepidemest toru otsani (a_3 võib saada ainult helihargiga, mille sagedus on 600 *Hz* lähedane).

Kontrollides mitu korda a_1 ja a_2 väärtusi, võetakse saadud arvude aritmeetiline keskmine ja arvutatakse siis lainepikkus.

Helihargi lained, sattudes torru, teatavasti peegelduvad kolvi juures ja torus tekivad seisvad lained. Helihargi heli tugevneb nende kolvi asendite korral, kus õhusamba pikkus on võrdne seisvate pool-lainete paaritu arvuga. Neil juhtudel tekib toru lahtise otsa juures pais, mis osutubki hääle kõvendajaks.

Seega on eelpool kirjeldatud katses a_1 seisva laine pool pikkust ja a_2 — seisva laine poolteist pikkust; kuid vahe $a_2 - a_1$ on võrdne seisva laine pikkusega.

Kuid hääle levimiskiiruse määramisel tuleb teada mitte seisva, vaid liikuva laine pikkust, mis on teatavasti võrdne seisva laine kahekordse pikkusega ja on arvutatav valemist

$$\lambda = 2(a_2 - a_1) \quad \text{või valemist} \quad \lambda = a_1 + a_2.$$

Suurema täpsuse huvides võetakse nende suuruste poolsumma, s. o.

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

Määrates niiviisi liikuva laine pikkust, arvutatakse hääle levimiskiirus õhus toatemperatuuril valemi

$$v_t = \lambda\nu$$

põhjal, kus ν on helihargile märgitud võnkesagedus.

Järgnevalt määratakse hääle levimiskiirus 0° juures tuntud valemi

$$v_0 = \frac{v_t}{\sqrt{1+\alpha t}} \text{ põhjal, kus } \alpha = \frac{1}{273}.$$

Seda tööd tuleb läbi teha vähemalt kahe helihargiga, selleks, et veenduda kõigepealt saadud kiiruse väärtuse sõltumatuses helihargi võnkesagedusest ja teiseks, et saada rohkem väärtusi v_t-le, millede aritmeetiline keskmine on ligemal tõelisele hääle levimiskiirusele õhus antud temperatuuril.

Toome kirjeldatud viisil saadud hääle levimiskiiruste (õhus) tabeli, mis on saadud kahe helihargiga $\nu_1 = 435\ Hz$ ja $\nu_2 = 517\ Hz$, kui õhu temperatuur oli 22°.

Katse nr.	a_1 cm	a_2 cm	λ cm	$v \frac{m}{sek}$	Märkusi
1	19,0	58,5	72,25	340	
2	18,5	59,0	79,25	344	
3	19,0	58,5	78,25	340	Helihark $\nu_1 = 435\ Hz$
4	19,0	58,5	78,25	340	
5	18,5	58,5	78,50	341	
6	16,0	49,0	65,50	339	
7	15,5	49,5	66,50	344	
8	16,0	49,5	66,25	342	Helihark $\nu_2 = 517\ Hz$
9	15,5	49,5	66,50	344	
10	16,0	49,0	65,50	336	
	Keskmine			341	

Vaatleme relatiivse vea ülemmäära hääle levimiskiiruse määramisel.

Pikkuste a_1 ja a_2 määramine toimub täpsusega 0,5 *cm*, kuid $\lambda = a_1 + a_2$ täpsusega 1 *cm*.

Katsel esimese helihargiga on relatiivse vea ülemmäär seega

$$\frac{\Delta\lambda_1}{\lambda_1} = \frac{1}{79} \text{ ehk } 1{,}26\%.$$

Katsel teise helihargiga

$$\frac{\Delta\lambda_2}{\lambda_2} = \frac{1}{66} \text{ ehk } 1{,}51\%.$$

See annab keskmiselt: $1{,}38\% \approx 1{,}4\%$.

Siit saame absoluutse vea ülemmäära $341 \cdot 0{,}014 \approx$ $\approx 5 \left(\frac{m}{sek}\right)$, järelikult lõppresultaat on järgmine:

$$v_t = 341 \frac{m}{sek} \pm 5 \frac{m}{sek}, \text{ kuid } v_0 = 329 \frac{m}{sek} \pm 5 \frac{m}{sek}.$$

Seda tööd võib korraldada ka teisiti — määrata hääle-allika, s. o. helihargi võnkesagedus.

Selleks määratakse algul uuritava helihargi lainepikkus nii nagu näidatud eelpool ja järgnevalt helihargi võnkesagedus valemi

$$\nu = \frac{v_t}{\lambda}$$

põhjal, kus v_t on hääle levimiskiirus, mida eelnevalt leitakse tabeli andmete põhjal, kust saadakse hääle levimiskiirus 0° juures ja klassi õhu teadaoleva temperatuuri kaudu.

Klassi õhu temperatuuri (22°) juures oleks hääle levimiskiirus näiteks järgmine:

$$v_t = 330 \sqrt{1 + \frac{1}{273} \cdot 22} \approx 343{,}2 \left(\frac{m}{sek}\right).$$

Kuid helihargi keskmine lainepikkus, nagu nähtub eelmisest tabelist, on 78,5 *cm* ja 66 *cm*.

Järelikult esimese helihargi võnkesagedus

$$\nu_1 = \frac{343{,}2}{0{,}785} \approx 437 \ (Hz)$$

ja teise

$$\nu_2 = \frac{343{,}2}{0{,}66} \approx 520 \ (Hz).$$

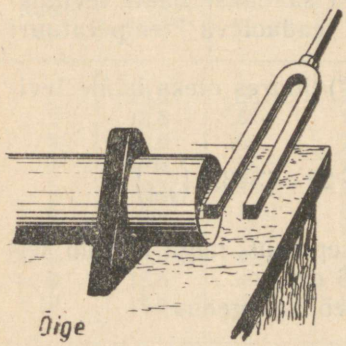
Faktiliselt on siin toodud katsetes kasutatud helihar-kide võnkesagedused 435 ja 517 *Hz*. Nagu võrdlemisest selgub, on saadud võnkesagedused küllaltki lähedal tõe-listele. Relatiivse vea ülemmäär ka sellel katsel, nagu

eelmiselgi, ei ületa 1,4%; kuna võnkesageduse määramise viis ja mõõtmise võtted on samad.

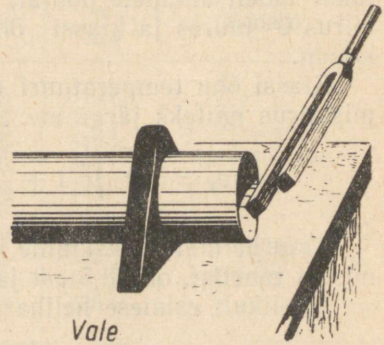
Praktilisi märkusi. 1. Kui heliharki aeglaselt pöörata helihargi enda telje ümber antud võnkesagedusele seatud resonantstoru lahtise otsa juures, siis on interferentsi tõttu selgesti kuulda hääle kõvenemist ja siis nõrgenemist peaaegu kuni kadumiseni. Seda nähtust ei tohi õpilased ära segada õhusamba resonantsi nähtusega. Sellepärast on tarvis helihark viia toru juurde nii, et helihargi telg oleks risti toru teljega ja et mõlemad helihargi harud oleksid toru teljel (joon. 49 ja 50).

2. Tööd tuleb lasta tingimata teha kahel õpilasel. Üks neist paneb helihargi helisema ja kuulab resonantsi tekkimist, teine aga liigutab aeglaselt kolbi. Hääle tugevuse jälgija annab seltsimehele märku, millal kolbi enam pole tarvis liigutada. Pärast seda mõõdavad õpilased koos õhusamba pikkuse.

Siis vahetavad õpilased kohad ja kordavad katset. Niiviisi saab küllaldase täpsusega mõõta hääle lainepikkust.



Joon. 49. Heliseva helihargi õige asend resonantstoru ees.



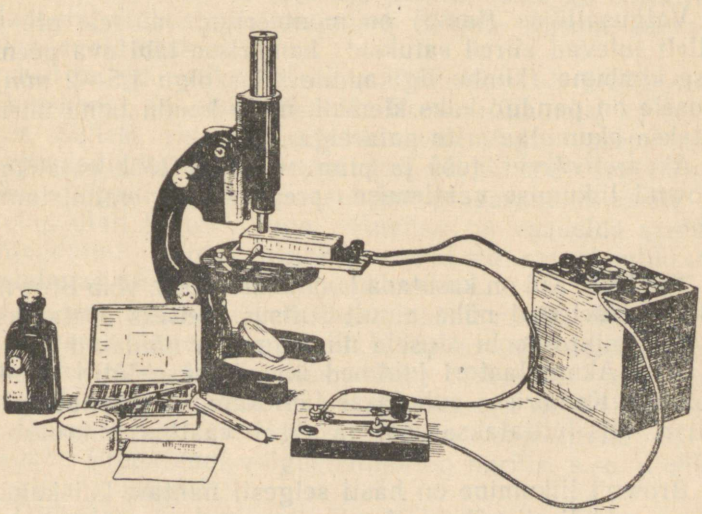
Joon. 50. Heliseva helihargi ebaõige asend resonantstoru ees.

Selle töö sooritamisel on tarvis riist asetada nii, et peaaegu täielikult väljatõmmatud varb ei ulatuks üle laua pinna, sest vastasel korral võivad õpilased kergesti varva taha kinni jääda ja riista põrandale paisata.

10. Brown'i liikumise vaatlus.

Töövahendid (joon. 51). 1) Mikroskoop, 2) kamber Brown'i liikumise vaatlemiseks suitsus, 3) akumulaatorite patarei, 4) akvarellvärvid, tušš, 2—3 cm^3 piima katseklaasis, 5) katteklaasid ja preparaadi klaasid (à 4 tükki), 6) ühendusjuhtmed (3 tükki), 7) laboratoorne lüliti vooluringi katkestamiseks, 8) väike kristallisaator veega.

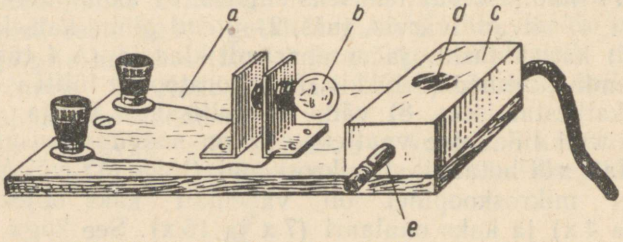
Brown'i liikumise vaatlemiseks on soovitav kasutada üliõpilas- või botaanilist mikroskoopi (tüüp MY või MA). Nendel mikroskoopidel on vähemalt kaks objektiivi (8 x ja 4 x) ja kaks okulaari (7 x ja 15 x). See kogu võimaldab teha kõik selles töös kirjeldatud vaatlused. Siiski saab põhilisi nähtusi vaadelda ka hariliku koolimikro-



Joon. 51. Töövahendid töö nr. 10 jaoks.

skoobiga (tüüp МИУ-1), millel on üks okulaar (10 x) ja kaks objektiivi (8 x ja 20 x).

Lihtsaim kamber Brown'i liikumise vaatlemiseks suitsus (joon. 52) koosneb alusest *a*, valgusallikast *b* (elektrilamp 3,5 *V*, 0,28 *A*) ja kambrist *c*, milles vaadeldakse suitsu. Kambri suurus on 30 *mm* × 20 *mm* × 6 *mm* ja tal on kaanel ning küljel (suuremal) avad (kummaski üks). Avad on kaetud hariliku klaasiga. Ülemine ava on ümmargune, tema diameeter on 10 *mm*, külgava aga pilukujuline, pilu laius on 1,5 *mm*. Kahes teises vastastahus on niplid *e*, avadega 2—3 *mm*, mille kaudu suits kambrisse ja sealt välja läheb.



Joon. 52. Lihtsaim kamber Brown'i liikumise vaatlemiseks suitsus.

Valgusallikas (lamp) on monteeritud alusele nii, et sellelt tulevad kiired satuksid kambrisse läbi ava peenikese kimbuna (kimbu ligikaudne laius olgu 1,5—2 *mm*). Alusele on pandud kaks klemmi, mille kaudu lamp ühendatakse akumulaatorite patareiga.

Akvarellvärvid, tušš ja piim on selles töös vajalikud Brown'i liikumise vaatlemise preparaatide valmistamiseks.

Töö käik. Kui on kasutada koolimikroskoop, võib Brown'i liikumist selgesti näha ainult suitsus. Selleks asetatakse kamber mikroskoobi alusele nii, nagu on näidatud joonisel 51. Akumulaatori juhtmed ühendatakse lüliti kaudu lambiga. Kambrisse puhutakse läbi kummitoru paberossisuitsu, siis lülitatakse vool ja algab vaatlus mikroskoobiga.

Brown'i liikumine on hästi selgesti nähtav, kui kambris on suhteliselt vähe suitsu.

Puhuda korraga kambrisse sobiv hulk suitsu on siiski raske. Sellepärast toimitakse järgmiselt. Pärast kambri täitmist suitsuga jäetakse niplite avad lahti ja vaadatakse mikroskoopi. Suits hakkab järk-järgult väljuma, ava suletakse ja katkestatakse seega väljavool niipea, kui Brown'i liikumine saab mikroskoobis hästi nähtavaks.

Kui kasutatakse mikroskoopi 10-kordse suurendusega okulaariga ja 8-kordse suurendusega objektiiviga, s. o. kui saadakse 80-kordne suurendus, siis fookustamisel tuleb objektiiv asetada kambri ülemisest klaasist 3 kuni 0,5 *mm* kaugusele. Mikroskoobi 200-kordse suurenduse puhul võib objektiivi kaugus ülemisest klaasist olla 1 kuni 0,5 *mm*. Neid kaugusi tuleb arvestada, et vältida fookustamisel tarbetut ajakulu.

Brown'i liikumine suitsus kujutab endast külgvalgustusest põhjustatud heledate osakeste liikumist tumedal foonil. Kõik need osakesed liiguvad korrapäratult. Mõnikord on võimalik ka osakeste üldine, s. o. kogu suitsu massi liikumine mingis kindlas suunas. Sellel liikumisel pole aga midagi ühist vaadeldava nähtusega, see on tavaliselt tingitud õhutõmbest kambris ning lakkab pärast niplite sulgemist.

Kuna katse ajal kambris olev suits vajub järk-järgult kambri põhja, siis on vaja aja jooksul lasta ka objektiivi allapoole, fookustades seejuures põhjale ligemal olevaid helendavaid osakesi.

Kui on võimalik kasutada üliõpilas- või bioloogilist mikroskoopi, siis võib vaadelda Brown'i liikumist ka vedelikes. Selleks valmistatakse eelnevalt mitu preparaati. Preparaadid kujutavad endast tuši või akvarellvärvi nõrga lahuse tilgakesi, mis on asetatud preparaadi klaasile ja kaetud ülalt katteklaasiga. Huvitav on vaadelda samuti lahjendatud piima tilgakest: väiksed rasvakuulikesed asendavad siin värvi heljuvaid osakesi.

Brown'i liikumine vedelikes on hästi nähtav 600-kordse ja suurema suurenduse puhul. Üliõpilas- või bioloogilistes mikroskoopides kasutatakse selleks 15-kordse suurendusega okulaari ja 40-kordse suurendusega objektiivi. Siis on fookustamisel katteklaasi kaugus objektiivist 0,3—0,5 *mm*. Preparaadi valgustamine on harilik, s. o. nõguspeegli abil altpoolt.

Üliõpilas- ja bioloogiline mikroskoop on varustatud

täpseks fookustamiseks mikromeetrilise kruviga. Sellepärast lastakse peale preparaadi asetamist mikroskoobi alusele objektiiv kremaljeerkruviga alla umbes 0,5 *mm* kaugusele katteklaasist; seda on kerge teha, kui jälgida objektiivi alumist äärt küljelt. Siis vaadatakse mikroskoobi sisse ja fookustatakse kujutis mikromeetrilise kruvi abil.

Nagu eelmiselgi juhul, on siin võimalik kogu vedeliku hulga üldine liikumine vaateväljal. Tavaliselt on selle põhjuseks preparaadi ebaühtlane soojenemine. Niisugusel juhul on tarvis seni oodata, kuni see liikumine lakkab ja pärast seda vaadelda üksikute vees lahustatud värviosakeste või lahjendatud piima rasvakuulikeste liikumist.

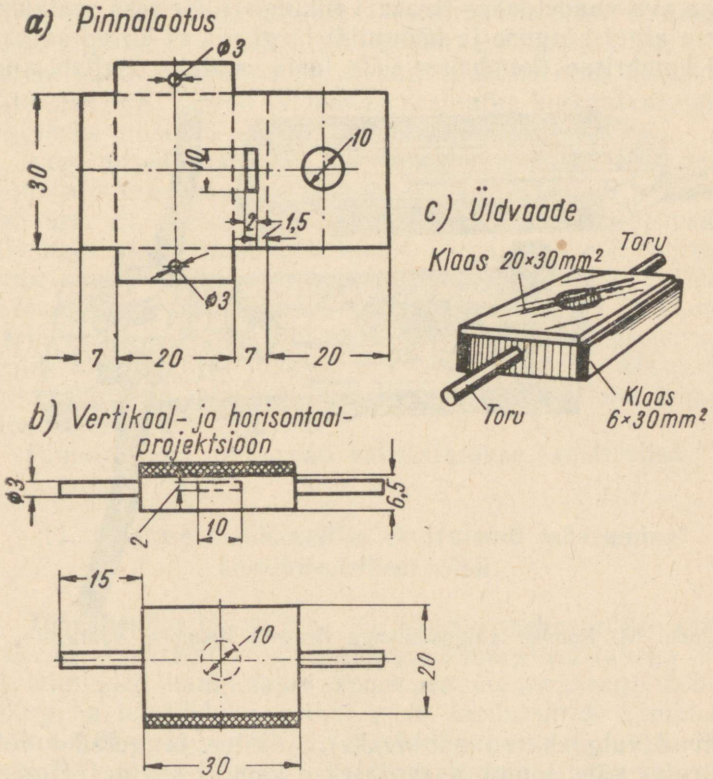
Praktilisi märkusi. 1. Lihtsat kambrit Brown'i liikumise vaatlemiseks suitsus võib ilma erilise raskuseta valmistada õpetaja või õpilased füüsika ringis.

Valgest plekist, valgevaskplekist, vaskplekist, õhukesest papist või mingist teisest materjalist lõigatakse kääridega joonisel 53-a näidatud kujund. Vastavalt joonisel näidatud mõõtudele puuritakse, lüüakse või torgatakse vajalikud avad. Siis keeratakse ääred ettevaatlikult ära ja kui kamber valmistatakse metallist, siis joodetakse ka korralikult kinni, kui aga papist, siis kleebitakse kinni hariliku kontoriliimiga. Pärast seda valmistatakse kaks torukest pikkusega 25 *mm*, sisemise diameetriga 2—2,5 *mm* ja välimise diameetriga 3—3,5 *mm*.

Torukese valmistamisel metallist keeratakse plekk 3 *mm* diameetriga naela või traaditüki ümber ja joodetakse vahed kinni. Paberist torukesed valmistatakse peaaegu samal viisil, kuigi paberit on tarvis traadile keerata mitu korda ja muidugi liimiga määrida. Pärast seda, kui liim on kuivanud, võetakse toruke traadilt või naelalt, otsad lõigatakse siledaks terava noaga ja nii ta ongi tööks valmis. Paberist torukese seina paksus peab olema vähemalt 1 *mm*. Niiviisi valmistatud torukesed joodetakse või liimitakse väiksemate külgtahkude avadesse ja nad hakkavad täitma niplite ülesannet.

Järgnevalt tuleb katta klaasiga kaks ülejäänud ava kaanes ja kambri külgtahus. Selleks lõigatakse kaks tükki klaasi (parem on fotoplaadi klaas paksusega 1 *mm*) kaane mõõtude järgi, s. o. 20 *mm* × 30 *mm* ja külgtahu

mõõtude järgi, s. o. 30 *mm* × 6 *mm*. Klaasi ääred lihvitakse smirgelpaberil, et kõrvaldada lõikavaid ääri. Siis määritakse klaas eelnevalt pehmendatud plastiliiniga (metallkambri jaoks) või kontoriliimiga (pappkambri

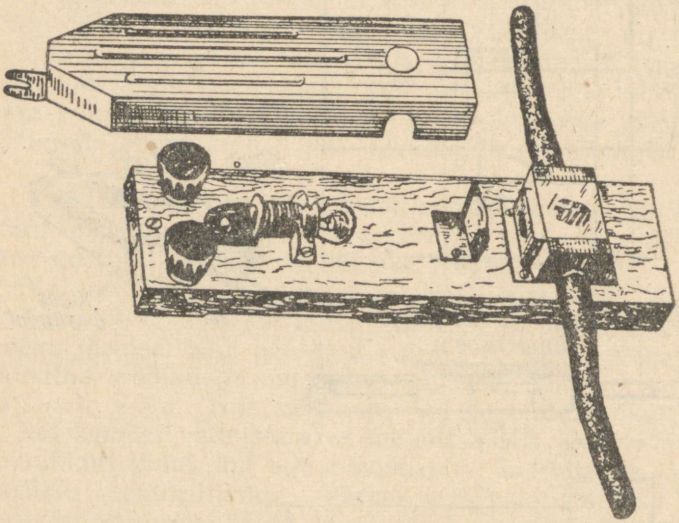


Joon. 53. Joonis kambri valmistamiseks.

jaoks), välja arvatud need kohad, mis katavad avasid ja asetatakse kohale. Ühele niplile pannakse kummitoru pikkusega 200—250 *mm*, mille ots, nagu teise torukese otski, suletakse koonilise puukorgiga. Sellega lõpetatakse kambri valmistamine, mille joonis ja üldvaade on antud joonisel 53.

Tuleb silmas pidada, et nii metallkamber kui pappkamber tuleb seestpoolt musta värviga üle värvida. Selleks võib kasutada tušši, õli-, piiritus- või teisi musti lakkisid.

Lambi ja kambri asetus alusel, kuid samuti ka nende monteerimine alusele selgub jooniselt 52. Lambist tulnud kiired peavad minema kambrisse esiteks paralleelselt alusega ja teiseks lõikuma ülemise ava tsentris (läbi ülemise ava vaadeldakse Brown'i liikumist). Selleks seatakse lamp algul kõrguse ja hõõgniidi järgi nii, et kiired satuksid kambrisse (kambrisse võib lasta natuke suitsu, siis



Joon. 54. Kamber valgusallikaga Brown'i liikumise vaatlemiseks suitsus.

saavad valguskiired nähtavaks). Tõstes, langetades või pöörates vähe lampi, saavutatakse kambri selline valgustamine, mille puhul mikroskoobis on selgesti näha suitsu välgatlevad osakesed.

Lamp tuleb ülalt kinni katta nii, et temalt tulev valgus ei langeks objektiivile.

Käesoleval ajal laseb Glavutštehprom välja kambreid, millel valgustaja on varustatud läätsega. Sellise kambri katseeksemplar on näha joonisel 54. Siin lähevad läätsest koondatud valguskiired kambrisse teravama ja heledama kimbuna, mille tõttu Brown'i liikumine on paremini nähtav.

2. Preparaadid Brown'i liikumise vaatlemiseks vedelikes valmistatakse järgmiselt.

Preparaadi klaasile kantakse siberi kärbi karvadest pintslikesega 2—3 tilka vett. Siis puudutatakse sama pintsliga mõni kord värvi pinda ja uuesti viiakse pintslike preparaadiklaasil asuvatesse tilkadesse. Saadakse lahja värvi või tuši lahus. Sellest värvitud vedelikust võetakse väike tilgake (diameeter 1,5—2 *mm*) ja kantakse teisele, varem puhtaks pühitud preparaadi klaasile ning kaetakse katteklaasiga. Tilgad laienevad seejuures korrapäratuteks ringideks umbes 8—12 *mm*-se diameetriga.

Kogemused näitavad, et sellist preparaati võib vaadelda mikroskoobis 25—30 min. jooksul; edaspidi tilk kuivab ära. Et aeglustada aurumist ja säilitada preparaati pikemaks ajaks, tuleb katteklaasi ääred 2—3 *mm* laiuselt ümberringi määrida mingi mittekuivava õliga, näiteks kastoorõliga. Siis kujuneb katteklaasi all tilga ja klaasi äärte vahele õliraam laiusega kuni 4 *mm* ning preparaat säilib 20—30 tunni jooksul. Õli asemel võib kasutada mitmesuguseid lakkisid, kuid ka sel juhul vedelik ikkagi mõne aja pärast aurustub.

Piimatilgaga preparaati valmistatakse samal viisil.

11. Soojuse mehhaanilise ekvivalendi määramine kalorimeetrilisel viisil.

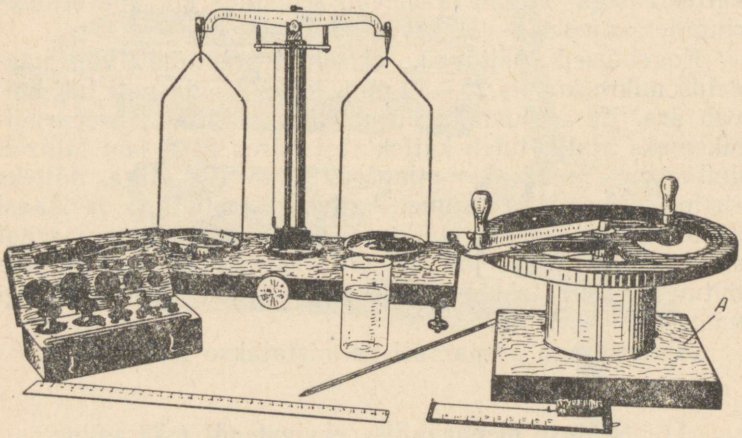
Töövahendid (joon. 55). 1) Soojuse mehhaanilise ekvivalendi määramise riist (joonisel märgitud tähega *A*), 2) tehnilised kangkaalud koormuse ülemmääraga 200—500 *g* ja tundlikkusega 0,01 *g*, 3) kaaluvihtide komplekt (vihid 0,01-st kuni 100 *g*), 4) termomeeter 0° kuni 30° (või 50°) jaotustega 0,1°, 5) laboratoorne dünamomeeter, koormuse ülemmääraga 400 *G* ja jaotuste väärtusega 10 *G*, 6) millimeetrijaotustega joonlaud, pikkusega 30—50 *cm*, 7) 100 *g* petrooleumi keemilises klaasis.

Riist (joon. 56) koosneb soojust isoleerivast puualusest *a*, keerukama ehitusega kalorimeetrist *b*, ühendusseibist *c*, kaitsevõrust koos kuullaagriga *10*, vetruva käepidemega hoorattast *d*. Puualuse alumine osa *1* on ruudukujuline, selle keskele on kinnitatud silinder *2* kalorimeetri pesaga *3*. Kalorimeeter koosneb välisest messingnõust 4, mille välisele küljele on joodetud kaks naga ja messingplekist paksusega 1—1,5 *mm* valmistatud õõnes-

silindrist *5*. Silindri pinnale on tehtud malekorras II-kujulised sisselõiked *6*.

Lõikest tekkinud vetruvad keeled on veidi väljapoole painutatud. Silindri ülemisse äärde on tehtud sisselõiked ja silindri sisse on keeratud neli käpakest 7.

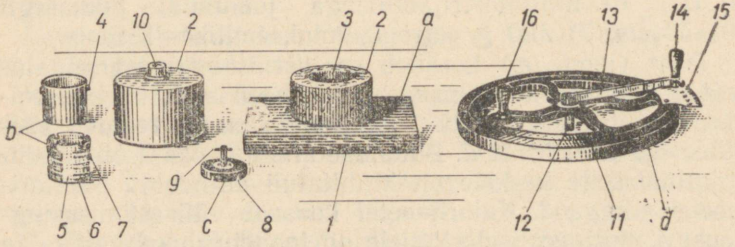
Silinder *5* asetatakse nõusse *4*, mille juures kalorimeetri seinte ja keeltega silindri vahele tekib rõngakuju-



Joon. 55. Töövahendid töö nr. 11 jaoks.

line ruum laiusega 2—2,5 *mm*. Silindri vetruvad keeled suruvad tihedalt nõu seina vastu.

Ühendusseib koosneb soojust isoleerivast kettast *8*, mille tsentrisse on kinnitatud tihvtiga metallvarb *9*. Seibil on allpool neli õnarust, kuhu lähevad silindri *5* käpakesed *7* siis, kui seib asetatakse silindrisse. Käpakesed lähe-



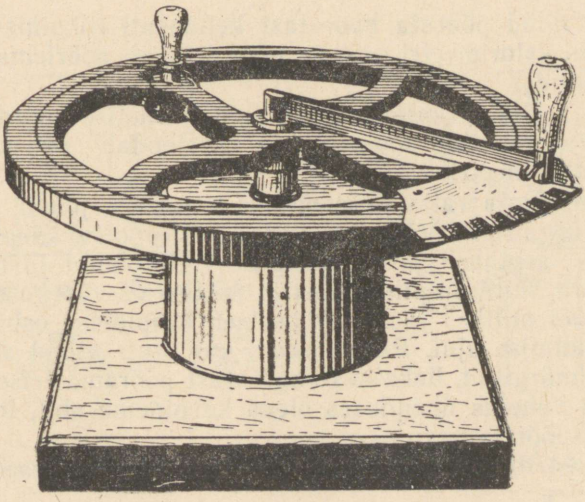
Joon. 56. Soojuse mehhaanilise ekvivalendi määramise riist lahtivõetult.

vad õnarustesse ja ühendavad sellega seibi silindriga. Seibi diameeter on võrdne keeltega silindri sisemise diameetriga.

Puualuse silindrile *2* asetatakse silindriline kate, millele on kinnitatud vaskkuullaager *10*. Silindrilise katte alumisele äärele on tehtud Г-kujulised sisselõiked, millesse käivad vastavad tihvtid ja ühendavad katte alusega.

Hooratas koosneb rattast *11*, mis on asetatud teljele *12*. Telje alumises osas on silindriline süvend külglõigetega, mille abil ühendatakse ühendusseib *c*. Telje ülemisele otsale on kinnitatud vetruv plaat *13*, mis on varustatud käepidemega *14*. Käepideme all on hooratta põiale kinnitatud värviline skaala *15*, mis koosneb 4—5 korduvast piirkonnast. Igal piirkonnal on viis erineva värvusega 3 *mm* laiusega riba, mis vahelduvad kindlas järjekorras ja kus on arvestatud naaberribade värvuste teravat kontrasti. Skaala iga piirkonna otsal on järjekorranumber. Vetruva plaadi see ots, millele on kinnitatud käepide, täidab osuti ülesannet ja seisab värvilise skaala peal. Käepideme all on dünamomeetriga ühendamiseks konks.

Peale käepideme, mis on vetruva plaadi küljes, on veel üks käepide, mis on vahetult ühendatud hoorattaga.



Joon. 57. Soojuse mehhaanilise ekvivalendi määramise riist kokkupandult.

Skaala, vetruv plaat käepidemega ja konksuga ning teine käepide on hästi näha joonisel 57, kus riist on kujutatud kokkupandud kujul.

Töö käik. Kaalutakse ära kalorimeetri nõu koos temasse asetatud silindriga (ilma ühendusseibita). Kalorimeetrisse kallatakse petrooleumi sisemise silindri käpakestest 5—6 *cm* võrra allapoole jääva nivooni. Kaalutakse kalorimeeter koos petrooleumiga ja leitakse arvutamise teel petrooleumi kaal.

Kalorimeeter asetatakse aluse pessa nii, et kalorimeetri nõu välisseina ülemises osas asetsevad nagad läheksid aluse pesa vastavatesse õnarustesse. Pärast kalorimeetri kohaleasetamist mõõdetakse ära petrooleumi temperatuur täpsusega kümnendik kraadi.

Siis pannakse riist kokku. Kalorimeetri silindrisse asetatakse ühendusseib varvaga ülespoole. Jälgitakse seda, et silindri käpakesed satuksid seibi õnarustesse. Kalorimeeter kaetakse kattega ja peetakse silmas seda, et aluse tihvtid satuksid Г-kujulistesse väljalõigetesse. Katte kuullaagrisse pannakse ülevalt hooratta telg ja seda pöörates ühendatakse hooratas ühendusseibi varvaga.

Kui nüüd pöörata hooratast kellaosuti liikumise suunas, siis kalorimeetri seisvas nõus hakkab pöörlema keeltega silinder [1].

Töö keelte ja kalorimeetri seina vahelise hõõrde ületamiseks muundub soojuseks ja soojendab petrooleumi ning kalorimeetrit.

Et määrata ratta pööramiseks vajalikku jõudu, toimitakse järgmiselt. Võetakse vedru küljes olev käepide ja tehakse aeglaselt ja ühtlaselt 2—4 täispööret ja märgitakse ära, millises piirkonnas ja millise värvusega skaala ribal (või millisel jaotusel) asetseb käepideme osuti ühtlase liikumise ajal. Pärast seda, kui osuti asend skaalal on ära märgitud, hakatakse hooratast pöörama teise, hoorattaga vahetus ühenduses oleva käepideme abil, loendades täispöörete arvu.

Pärast 100 või 200 pööret (kaasaarvatud esimesed 2—4

[1] Hooratast vastupidises suunas pöörata ei tohi, kuna siis hakkavad keeled kalorimeetri nõu seinu kraapima.

pööret) lõpetatakse pööramine. Võimalikult kiiresti võetakse hooratas, kate ja ühendusseib ära ning määratakse termomeetri abil petrooleumi temperatuur täpsusega kuni kümnendik kraadi.

Seejärel pannakse riist uuesti kokku, kuid ilma ühendusseibita. Vetruva plaadi käepideme konksu külge pannakse dünamomeeter ja hoides hooratast, tõmmatakse puutuja suunas dünamomeetriga plaati kuni selle ots on läinud skaala selle osani, kus ta oli esimese 2—4 pöörde ajal. Dünamomeetri näit loetakse ära täpsusega 10 *G*.

Mõõdetakse ära õla pikkus (hooratta tsentrist kuni käepideme teljeni, painutatud plaadi puhul — kuni töötamise asendini) täpsusega 1 *mm*.

Järgnevalt määratakse hooratta telje hõõrdejõud kuullaagris, s. o. jõud, mis ei võtnud osa kalorimeetri soojendamisest. Kuna hooratas ei ole ühenduses kalorimeetri silindriga, siis selle pöörlema panemiseks on tarvis ületada ainult telje hõõrdejõudu kuullaagri vastu.

Seda jõudu määratakse dünamomeetriga, pannes selle sama vetruva plaadi konksu külge ja pöörates hooratast aeglaselt ja ühtlaselt. Seejuures peab dünamomeetrit kogu aeg suunama puutujat mööda.

Kõik mõõtmistulemused kantakse järgmisesse tabelisse.

Kalorimeetri mass	Messingi erisoojus	Petrooleumi mass	Petrooleumi erisoojus	Temperatuur enne katset	Temperatuur pärast katset	Käepidemele rakend. jõu suurus	Hõõrdumisjõud kuullaagris	Õla pikkus	Pöörete arv
93,65 *g*	0,093 $\frac{cal}{g.\ kraad}$	70,20 *g*	0,51 $\frac{cal}{g.\ kraad}$	21,3°	24,6°	350 *G*	40 *G*	15,0 *cm*	200

Soojuse mehhaaniline ekvivalent määratakse valemi

$$I = \frac{A}{Q}$$

järgi, kus A — soojuseks täielikult muundunud töö, mis avaldub valemiga

$$A = \frac{2\pi rn(F-f)}{1000 \cdot 10} \quad kGm.$$

Töö arvel saadud soojushulk Q avaldub valemiga

$$Q = \frac{(mc+m_1c_1)\cdot(t_2^0-t_1^0)}{1000} \quad kcal.$$

Asendades saame:

$$A = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 15 \cdot 200 \cdot (380-40)G}{1000 \cdot 10} \approx 64 \ (kGm),$$

$$Q = \frac{(93{,}65 \cdot 0{,}093+70{,}20 \cdot 0{,}51)(24°{,}6-21°{,}3)}{1000} \approx 0{,}147 \ (kcal).$$

Järelikult soojuse mehhaaniline ekvivalent:

$$I = \frac{A}{Q} = \frac{64 \ kGm}{0{,}147 \ kcal} \approx 437 \ \frac{kGm}{kcal}.$$

Võimalike vigade analüüs. Soojuse mehhaaniline ekvivalent arvutatakse teatavasti valemi

$$I = \frac{A}{Q}$$

põhjal. Seega sõltub tulemuse relatiivse vea ülemmäär vigadest, mis on tehtud töö ja soojushulga määramisel.

Tööhulk arvutatakse valemi

$$A = 2\pi rn(F-f)$$

põhjal, kus n on pöörete arv, antud katses samuti jääv arv nagu π, r — pöörlemisteljest kuni käepideme teljeni võetud õla pikkus. See on 150 *mm* ja mõõdetakse täpsusega 1 *mm*. Viga on järelikult üsna väike ja ei ületa 0,7%.

Jääb üle juhtida tähelepanu jõududele F ja f. Nende suuruste mõõtmise täpsus sõltub suuresti kogemustest.

Kui sisemise silindri keeled hästi liiguvad kalorimeetri seinu mööda, petrooleum on puhas, ja kalorimeetris pole

mingeid sadestusi, siis hõõre kujuneb niivõrd jäävaks, et hooratta enam-vähem ühtlasel pöörlemisel näitab vetruva käepideme osuti väga kindlalt oma asendit skaalal, nii et seda on kerge ära märkida. Kuid ka sel juhul on jõu määramise viga tunduv, kuna dünamomeetri koormuse ülemmäär on 460 *G* täpsusega 10 *G*. Peale selle on raske vähese oskuse ja vilumuse puhul täpselt kindlaks teha osuti asukohta töötamise ajal. Nagu kogemused näitavad, on jõu *F* määramisel absoluutse vea ülemmäär ± 15 *G*.

Jõu *f* (mis harilikult on küllaltki jääv) määramisel sõltub viga dünamomeetri täpsusest ja on ligikaudu ± 5 *G*.

Siit jõudu, mis ületab kalorimeetrisisest hõõret $(F - f)$, mõõdetakse absoluutse vea ülemmääraga ± 20 *G*.

Antud riistas on see järgmise suurusega

$$(350 - 50) \pm 20,$$

kus 350 *G* on jõu *F* minimaalne väärtus ja 50 *G* — jõu *f* maksimaalne väärtus ja relatiivse vea ülemmäär on ligikaudu 7% ($\frac{20}{300} \approx 0{,}07$).

Kui võtta pöörlemise õla pikkuse määramise viga võrdseks 1%, siis töö *A* määramise relatiivse vea ülemmääraks võib lugeda 8%.

Soojushulka arvutatakse valemi

$$Q = (mc + m_1c_1) \cdot (t°_2 - t°_1)$$

järgi. Kangkaaludel on kalorimeetri massi *m* ja petrooleumi massi m_1 määramisel võimalikud vead tühised. Erisoojusi võib samuti võtta küllaldase täpsusega. Seega võib esimese teguri vigadega mitte arvestada.

Peamise veaga on tegemist temperatuuri juurdekasvu määramisel. Kui petrooleumi mass on 70 *g*, käepidemele rakendatav jõud 350—400 *G*, siis 100 pöörde puhul tõuseb kalorimeetri temperatuur 1,5—2° võrra ja 200 pöörde puhul — 3—4° võrra. Täpsuse 0,1° juures, mille annab termomeeter, on temperatuuride vahe määramisel relatiivse vea ülemmäär ligikaudu 7% ($\frac{0{,}1}{1{,}5} \approx 0{,}07$).

Seega $I = \frac{A}{Q}$ määramisel relatiivse vea ülemmäär

$8\% + 7\% = 15\%$ ja I arvuline väärtus võib kõikuda $427 \pm 64 \frac{kGm}{kcal}$ piires, s. o. 492-st kuni 363 $\frac{kGm}{kcal}$ -ni. Faktiliselt annab riist I väärtuse kõikuvana 540 ja 420 $\frac{kGm}{kcal}$ piires. Selline kaldumine arvutatud suurustest suuremate poole räägib sellest, et on tegemist mingi soojushulga kadumisega ümbritsevate esemete soojendamise tõttu (aluse ja seibi soojendamine).

Praktilisi märkusi. Toodud arutlusest nähtub, et viga on seda väiksem, mida täpsemalt on määratud tööd tegev jõud, mida täpsemalt on määratud temperatuuri muutus ja mida vähem soojust läheb kalorimeetrist ümbritsevatele kehadele.

Et õigemini määrata käepidemele rakendatud jõudu, tuleb võimalikult ühtlasemalt pöörata hooratast esimeste pöörete jooksul, hoolikalt jälgida osuti näitu skaalal, mitte võtta arvesse võimalikke lühiajalisi hüppeid, mille põhjuseks kalorimeetri nõu pinna mõned konarused, vaid märkida seda asendit, mis osuti võtab pöörlemise tee suuremal osal.

Temperatuuri muutuse määramisel on soovitav tekitada suurem temperatuuride vahe, sest siis on relatiivne viga väiksem. Temperatuuride suuremat vahet võib saada selle riistaga ainult pöörete suurema arvu puhul, mis aga võtab rohkem aega ja on järelikult seotud ka suurema soojushulga kaoga ümbritsevate kehade soojendamiseks.

Kogemused näitavad, et tulemus on parim siis, kui hooratas teeb 100—200 pööret.

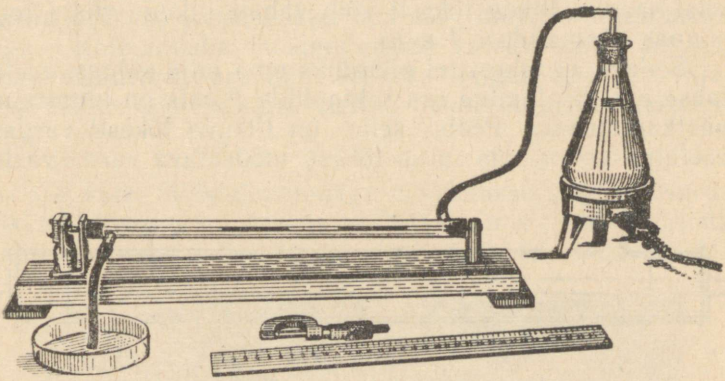
Soojuse kao vähendamiseks tuleb petrooleum võtta jahutatuna alla toatemperatuuri $\frac{t_2 - t}{2}$ võrra, kus $t_2 - t_1$ on katse ajal ettenähtud temperatuuri muutumine.

12. Tahke keha joonpaisumiskoefitsiendi määramine.

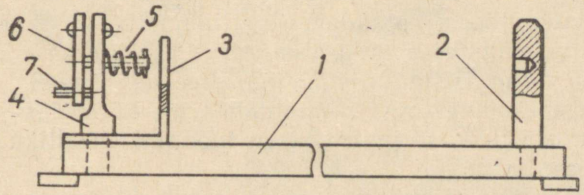
Töövahendid (joon. 58). 1) Joonpaisumise koefitsiendi määramise riist, 2) elektripliit või mingi teine soojendusriist, 3) kooniline või mingi teise kujuga 250 cm^3 mahuga kolb, korgiga, klaas- ja kummitoruga auru juhtimiseks,

4) kristallisaator, 5) millimeetrijaotistega joonlaud, pikkusega 50 *cm*, 6) liikuva kruvipeaga mikromeeter, täpsusega 0,01 *mm*, 7) toatermomeeter (ühine kogu klassile).

Tahke keha joonpaisumiskoefitsiendi määramise riist on antud läbilõikes joonisel 59. Riist koosneb puualusest *1* pikkusega 500 *mm*, laiusega 80 *mm* ja paksusega 20 *mm*,



Joon. 58. Töövahendid töö nr. 12 jaoks.



Joon. 59. Tahke keha joonpaisumiskoefitsiendi määramise riist.

millele on asetatud püstkandur *2*, mõõdetava varda toeks olev kronstein *3* ja püstkandur *4* liikuva tõkestiga. Püstkanduritesse on paigutatud klaasmuhvi sees metallvarras (joon. 60).

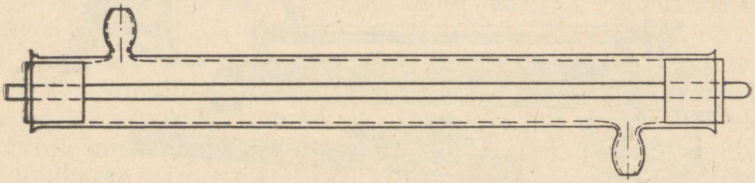
Tähtsateks osadeks selle riista juures on liikumatu ja liikuv tõkesti, mis kindlustavad heade tulemuste saamist soojendamisel tekkinud pikenemise mõõtmisel.

Liikumatu tõkesti on ehitatud järgmiselt. Püstkanduris 2 (joon. 59) on väike süvend, kuhu asetatakse mõõdetava varda ots. Ava diameeter on natuke suurem varda

diameetrist, sellepärast mahub varras vabalt süvendisse ja toetub otsaga selle põhja vastu.

Liikuv tõkesti on ehitatud teisiti. Püstkandurisse *4* on puuritud ava. Sellesse avasse asetatakse väike varras *5*, mille üks ots on siledaks poleeritud (sellele toetub mõõdetav varras), kuid teisele otsale on kinnitatud plaat *6*. Niiviisi saadud liikuv tõkesti võib vabalt liikuda riista telje suunas püstkanduri *4* avas.

Selleks, et tõkesti ei pöörduks oma telje suhtes, asetatakse plaadi alumine osa juhtpoldile *7*, mis on kinnitatud püstkandurisse. Peale selle on liikuva tõkesti vardale asetatud vedru, mis surub tõkesti mõõdetava varda vastu.



Joon. 60. Varras klaasmuhvis.

Liikuva tõkesti plaadi *6* ja liikumatu püstkanduri *4* ülemistesse otstesse on pressitud teraskuulikesed nii, et nad asetuvad riista teljega paralleelsel sirgel. Nende kuulikeste olemasolu võimaldab teha küllaldase täpsusega varda pikkuse juurdekasvu mõõtmisi hariliku mikromeetriga.

Riista juurde kuulub kolm varrast: terasest, alumiiniumist ja valgevasest, igaüks pikkusega 400 *mm* ja diameetriga 5 *mm*. Need vardad, nagu näidatud joonisel 60, on asetatud kummikorkide abil klaastorudesse (pikkus 375 *mm*, diameeter 20 *mm*), selleks et neid auruga oleks võimalik soojendada.

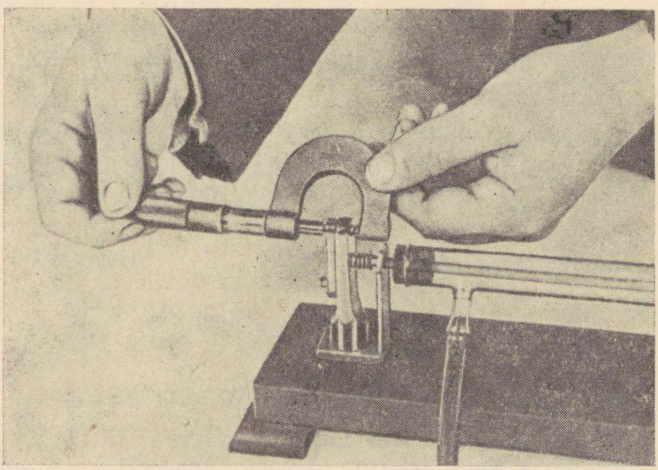
Muhvi otste läheduses on ühes tasapinnas, kuid erinevates suundades torukesed. Varda otsad ulatuvad mõne millimeetri võrra kummikorkidest välja. See võimaldab katsetamisel varrast kergesti riista tõkestite vahele asetada.

Selles katses toimub varda pikkuse juurdekasvu mõõtmine liikuva kruvipeaga varustatud mikromeetriga. Liikuva kruvipea abil tekib mõõtmisel kuulikestele ühtlane

surve, millega on kõrvaldatud võimalikud individuaalsed vead.

Kirjeldatud tahke keha joonpaisumiskoefitsiendi riistal on teiste taoliste riistadega võrreldes järgmised eelised. Kõigepealt kasutatakse siin metalltorude asemel vastavast metalliist vardaid. Teiseks mõõdetakse uuritava varda pikkuse juurdekasvu otseselt hariliku mikromeetriga. Kolmandaks soojendatakse varrast torus keemistemperatuuriga auru abil, seetõttu langeb aga ära vajadus mõõta soojendatud varda temperatuuri termomeetriga.

Töö käik. Mõõdujoonlauaga mõõdetakse uuritava varda pikkus täpsusega 1 *mm* ja asetatakse siis varras riista kandurite vahele. Selleks on tarvis asetada varda üks ots



Joon. 61. Varda pikenemise mõõtmine mikromeetriga.

liikumatu tõkesti avasse ja seejärel teine ots kronsteinile. Pärast varda kohaleasetamist lähendatakse temale liikuv tõkesti ja mõõdetakse esimest korda mikromeetriga liikuva tõkesti ja kanduri vaheline kaugus. Mikromeeter asetatakse kuulikeste suhtes nii, et liikuva kruvipea keeramisel mikromeetri tihvtid puudutaksid kuulikesi (joon. 61).

Siis kallatakse kolbi umbes 150 cm^3 vett, asetatakse kolb soojendajale ja ühendatakse ta kummitoru abil riista klaasmuhviga.

Muhvi teise toru otsa asetatakse väike kummitoru, mille teine ots viiakse kristallisaatorisse, kuhu võib voolata kondenseerunud vesi (joon. 58). Lülitakse sisse soojendaja ja mõne minuti pärast, vee keema hakkamise momendil, sooritatakse teine liikuva tõkesti ja kanduri vahelise kauguse mõõtmine. Kahe mõõtmise tulemuste vahe näitab soojenemisel tekkinud varda pikenemist.

Varda algtemperatuur on võrdne ümbritseva õhu temperatuuriga ja määratakse toatermomeetriga, kuid soojendatud varda temperatuur võetakse 100°, kuna täpsemate määramiste järele baromeetri ja vee keemistemperatuuride tabelite põhjal pole vajadust.

Saadud tulemused kantakse tabelisse.

Nr.	Materjali nimetus	L	a_1	a_2	l	t_1°	t_2°	$t_2^\circ - t_1^\circ$	α
1.	Alumiinium	400	19,17	19,9	0,73	19	100	81	0,0000231
2.	Teras	400	16,23	16,55	0,32	21	100	79	0,0000103
3.	Valgevask	400	16,92	17,47	0,55	21	100	79	0,0000174

α väärtus arvutatakse valemi

$$\alpha = \frac{l}{L(t_2^\circ - t_1^\circ)}$$ põhjal,

kus α on joonpaisumise koefitsient,

L — varda algpikkus millimeetrites,

t_1° — varda temperatuur Celsiuse kraadides enne soojendamist,

t_2° — varda temperatuur Celsiuse kraadides pärast soojendamist,

l — varda pikkuse juurdekasv soojenemisest millimeetrites.

Vigade arvutus. α väärtuse relatiivse vea ülemmäär koosneb mikromeetriga mõõdetavate a_1 ja a_2 vigadest (a_1 ja a_2 kaudu on määratud l), joonlauaga mõõdetud

varda pikkuse L veast ja veast, mis tekib varda algtemperatuuri mõõtmisel toatermomeetriga.

Mikromeetri abil võib teha mõõtmisi täpsusega 0,01 *mm*, joonlauaga täpsusega 1 *mm* ja termomeetriga parimal juhul kuni 0,5°.

Teades, kui suured on üksikute mõõtmiste tõenäosed absoluutsed vead, leitakse tulemuse relatiivse vea ülemmäär:

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta(100-t°)}{100-t°},$$

mis alumiiniumi jaoks annab:

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{0{,}02}{0{,}73} + \frac{1}{400} + \frac{0{,}5}{81} = 0{,}035 \quad \text{või} \quad 3{,}5\%.$$

Absoluutse vea ülemmäär on järelikult

$$0{,}0000231 \cdot 0{,}035 = 0{,}0000008 \left(\frac{1}{kraad}\right),$$

ja lõppresultaati kirjutatakse järgmiselt:

$$\alpha = 0{,}0000231 \frac{1}{kraad} \pm 0{,}0000008 \frac{1}{kraad}.$$

Terase jaoks:

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{0{,}02}{0{,}32} + \frac{1}{400} + \frac{0{,}5}{79} = 0{,}07 = 7\%.$$

$$\alpha = 0{,}0000103 \frac{1}{kraad} \pm 0{,}0000007 \frac{1}{kraad}.$$

Samal viisil arvutatakse mõõtmise viga ka valgevase jaoks, kusjuures lõppresultaat on järgmine:

$$\alpha = 0{,}0000174 \frac{1}{kraad} \pm 0{,}0000008 \frac{1}{kraad}.$$

Nagu nähtub eelpooltoodud arvutustest, saadakse viga peamiselt varda pikkuse juurdekasvu mõõtmisest mikromeetriga. Alumiiniumvarda juures moodustab see 76% kogu veast ja terasvarda juures koguni 89%.

Seega, mida täpsemalt on tehtud varda pikkuse juurde-

kasvu mõõtmine, seda täpsem on tulemus. Riista konstrueerimisel osutati peamine tähelepanu sellele, et kõrvaldada vahepealseid ülekandemehhanisme, mis esinevad varemkonstrueeritud riistades varda pikkuse juurdekasvu määramiseks ja võtta tarvitusele selleks otstarbeks mikromeeter 0,01 *mm* jaotistega.

Praktilisi märkusi. Uuritava varda kohaleseadmisel peab jätma vaheruumi soojendava muhvi korgi ja liikumatu tõkesti kanduri vahele ning samuti korgi ja kronsteini vahele. See on vajalik selleks, et vardad oleksid kindlalt surutud vastu tõkesteid.

Riista hoidmisel tuleb jälgida, et teraskuulikesed ei roostetaks. Neid on otstarbekohane kergelt vaseliiniga määrida.

13. Õhurõhu termilise koefitsiendi määramine.

Töövahendid (joon. 62). 1) Õhurõhu termilise koefitsiendi määramise riist, 2) keemiline termomeeter —10°-st kuni +110°-ni jaotustega kraadideks, 3) piirituslamp või gaasipõleti, 4) küvett töötamiseks elavhõbedaga, 5) kooli tüüpi elavhõbebaromeeter, 6) kuuma veega teekann (kaks viimast riista on kogu klassile ühised).

Õhurõhu termilise koefitsiendi määramise riist (joon. 62) koosneb järgmistest osadest: alusest statiiviga *a*, skaalast *b*, klaasballoonist II-kujulise toru ja kraaniga *c*, painutatud klaastorust lehtriga *d*, kummitorust *e*, rõngast *f*, millele asetatakse veenõu, ja alumiinium- või klaasnõust *g*, mille maht on 500 cm^3.

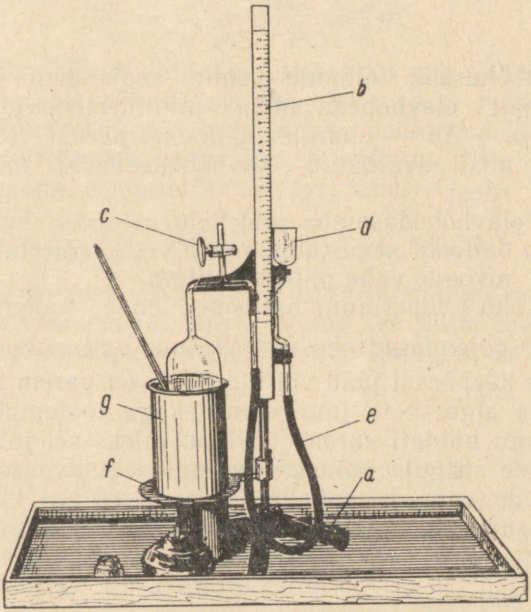
Balloon II-kujulise toruga on kindlalt kinnitatud skaalale, kuid painutatud lehtriga toru võib vabalt skaalal liikuda ja teda võib kruvi abil mis tahes skaala kohale kinnitada (kruvi pole joonisel näha, see asetseb skaala taga).

Töö algul lastakse lehtriga toru alla, nagu on näidatud joonisel. Avatakse kraan ja täidetakse riist elavhõbedaga nii, et tema nivoo ühtiks skaala nulljaotusega. Siis määritakse kraan kergelt vaseliiniga ning kontrollitakse kummitoru ja klaastoru ühenduste korrasolekut. Seega on riist tööks valmis seatud.

Et elavhõbedaga täidetud toru ei soojeneks piiritus-

lambi leegist, on rõngale kinnitatud poolsilindrikujuline metallvari.

Kirjeldatud katseriist ei vaja pärast elavhõbedaga täitmist mingit täiendavat seadmist, ta on alati töövalmis ja võimaldab saada usaldusväärseid tulemusi.



Joon. 62. Töövahendid töö nr. 13 jaoks.

Töö käik. Avatakse kraan ja lehtri tõstmise või langetamisega seatakse elavhõbeda nivoo mõlemas torus nullile. Mõõdetakse baromeetriga välisrõhk p_1 ja termomeetriga õhu algtemperatuur t_1.

Siis suletakse kraan ja asetatakse veenõu riista juurde nii, et oleks võimalik ballooni üleni pista vette.

Nõusse kallatakse teekannust kuuma vett. Rõngast koos veenõuga tõstetakse ülespoole seni, kuni balloon on sukeldunud kuuma vette. Samal ajal tõstetakse ka lehtrit, hoides seega elavhõbeda kraanipoolse nivoo nullil. Asetatakse piirituslamp veenõu alla ja lastakse veel keeda 2—3 minutit. Loetakse skaalalt nivoode vahe p. Pärast seda

lastakse rõngas nõuga alla ja kiiresti pärast seda ka lehter selleks, et ballooni jahtudes ja seal oleva rõhu langedes elavhõbe ei satuks ballooni.

Mõõtmistulemused kantakse tabelisse (vt. allpool). Õhurõhu termiline koefitsient arvutatakse valemiga [1]

$$\alpha = \frac{\Delta p}{p_1 t_2^\circ - p_2 t_1^\circ},$$

kus p_1 on õhurõhk balloonis enne soojendamist (baromeetri näit elavhõbedasamba millimeetrites);

$p_2 = p_1 + \Delta p$ — õhurõhk balloonis pärast soojendamist, avaldatud elavhõbedasamba millimeetrites;

Δp — elavhõbedasamba rõhk lehtripoolses harus, kui balloon on pistetud keeva vette, või elavhõbeda nivoode vahe millimeetrites;

t_1° — õhu temperatuur balloonis enne soojendamist;

t_2° — soojendatud õhu temperatuur balloonis.

Kui on käepärast jääd või lund, siis on parem ballooni õhku võtta alguses 0° juures, mitte aga toatemperatuuri juures, nagu näidati varem. Balloon tuleks sel juhul asetada katse algul mõneks minutiks sulavasse jäässe (lumme), avades eelnevalt kraani.

Katse tulemused lumega on alljärgnevas tabelis kantud esimesse ritta.

Nelja katse tulemused.

Katse nr.	p_1	p_2	$p_2 - p_1$	t_1°	t_2°	α
1	750	1012	262	0	100	0,00350
2	765	976	211	18	100	0,00358
3	765	218	983	16	100	0,00353
4	734	932	198	17	100	0,00344
				Keskmine 0,00352		

Vigade arvutus. Relatiivse vea ülemmäära hindamisel vaatleme α kui $t_1^\circ = 0°$ ja $t_2^\circ = 100°$, s. o.

[1] See valem saadakse kahest valemist $p_1 = p_0(1 + \alpha t^\circ_1)$ ja $p_2 = p_0(1 + \alpha t_2)$ p_0 (õhurõhk balloonis 0° juures) elimineerimise teel.

$$\alpha = \frac{p_2 - p_1}{p_1 t_2^\circ}$$

Sel juhul avaldub relatiivse vea ülemmäär järgmiselt:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta p}{p_2 - p_1} + \frac{\Delta p_1}{p_1} + \frac{t_2^\circ}{t_2}.$$

Vea suurus sõltub nähtavasti veast Δp, mis on tekkinud riista skaalal elavhõbeda nivoode vahe $p_2 - p_1$ (täpsus 1 *mm*) mõõtmisel, koolibaromeetriga mõõtmisel (täpsus 5 *mm*) ja termomeetriga mõõtmisel (täpsus 1°).

Seega saame esimesel katsel (vt. tabel):

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{1}{262} + \frac{5}{750} + \frac{1}{100} \approx 0{,}021 \quad \text{või} \quad 2{,}1\%.$$

Nendest arvudest nähtub, et esimene liidetav on teistest märksa väiksem ja selle võiksime ära jätta. Siis relatiivse vea ülemmäära avaldis kujuneb lihtsamaks:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta p_1}{p_1} + \frac{t_2^\circ}{t_2^\circ}.$$

See annab kõikide eespooltoodud katsete relatiivse vea ülemmääraks ligikaudu 1,7%, millega võibki piirduda.

Ometi näitavad toodud katsete rangemad arvutused, et relatiivse vea ülemmäär on 2,5% lähedal.

Seoses sellega tuleb õhurõhu termilise koefitsiendi α väärtus kõikide mõõtmiste tulemusena kirjutada järgmiselt:

$$\alpha = 0{,}00352 \frac{1}{kraad} \pm 0{,}00009 \frac{1}{kraad}.$$

Praktilisi märkusi. Praktika näitab, et õpilaste vilumatuse tõttu võib juhtuda elavhõbeda riistast väljakallamist. Tuleb vältida elavhõbeda sattumist laboratooriumi laudadele ja põrandale. Sellepärast tuleb õhurõhu termilise koefitsiendi määramise katse teha tingimata elavhõbedaga töötamiseks ettenähtud küvetis (joon. 62).

Pärast praktikumi lõppu tuleb elavhõbe riistast välja valada. Selleks võetakse riist ühe käega alusest ja teise käega skaalast ning valatakse elavhõbe välja lehtri kaudu anumasse. Seejuures tuleb sõrmega koputada klaas- ja kummitorusid, et tuleksid välja ka väikesed, seinte külge jäänud tilgad.

Selleks, et statiiv, skaala muhv ja rõngad ei roostetaks ning ei takistaks edaspidi lehtriga toru ja veenõu nihutamist, tuleb kõik riista liikuvad osad algul puhtaks pühkida ja siis katta õhukese vaseliini kihiga.

Ainult pärast seda võib asetada riista kauemaks ajaks kappi.

14. Õhu relatiivse niiskuse määramine hügromeetriga ja psühhromeetriga.

Töövahendid. 1) Kooli tüüpi hügromeeter, 2) psühhromeeter, 3) keemiline termomeeter —10° kuni +110°-ni jaotistega kraadideks, 4) juushügromeeter, 5) etüüleeter.

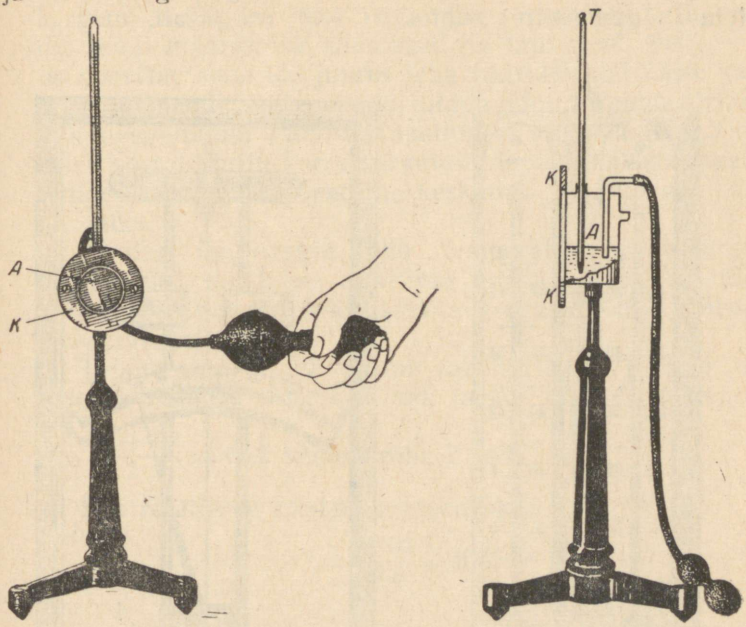
Kooli tüüpi hügromeeter (joon. 63) kujutab endast väikest, õhukeste seintega silindrikujulist anumat *A*, mille esisein on poleeritud ja ümbritsetud eraldiseisva poleeritud rõngaga *K*. Hügromeeter on kinnitatud metallist kolmjalaga statiivi puuvardale.

Anuma ülemises osas (joon. 63) on kaks toru: üks (lühike) termomeetri *T* jaoks, mille kuulike (nupp) peab olema katse ajal riista sees ja teine (pikem) õhu puhumiseks läbi anumasse kallatud eetri. Teine toru on kõveraks painutatud ja lõpeb nipliga, mille otsa asetatakse kummitoruga kummipuhur. Anuma tagumises seinas on ava õhu ja eetri aurude väljalaskmiseks.

Psühhromeeter (joon. 64) koosneb puualusele asetatud kahest ühesugusest termomeetrist. Termomeetrite vahele on paigutatud vee jaoks kõver klaastoru, mille otsas on väike lehter. Lehter on ühe termomeetri all. Selle termomeetri kuulike on mähitud marlisse, mille ots ulatub lehtris olevasse vette ja on seega niiske. Termomeetrite skaalade jaotused on 0,5 kraadi tagant.

Et tagada nn. märja termomeetri pidevat niisutamist, suletakse lehtri ava ja kallatakse toru vett täis. Siis suletakse toru ülalt kummikorgiga ja avatakse lehter. Vesi valgub järk-järgult torust lehtrisse ja marli kaudu termomeetrile.

Juushügromeeter (joon. 65) on selle töö juures vajalik selleks, et pärast õhuniiskuse määramist psühhromeetri ja kooli hügromeetri abil saaks tulemusi võrrelda juus-



Joon. 63. Kooli tüüpi hügromeeter.

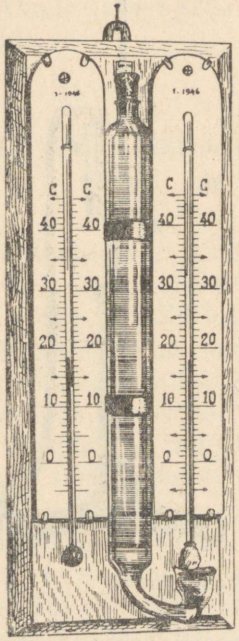
hügromeetri näiduga. Juushügromeetri näidud peavad järelikult vastama tegelikkusele. Siit tekib vajadus juushügromeetrit kontrollida psühhromeetri abil.

Kontrollimiseks määratakse relatiivne niiskus kõigepealt psühhromeetriga. Pöörates ettevaatlikult juushügromeetri reguleeritavat kruvi (joon. 65, *a*), seatakse pärast relatiivse niiskuse kindlakstegemist juushügromeetri osuti skaala sellele numbrile, mis vastab psühhromeetriga leitud relatiivsele niiskusele.

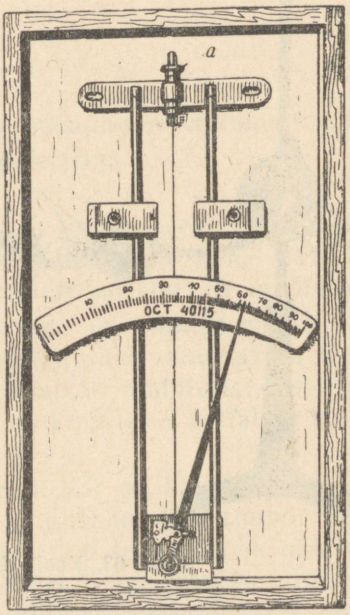
Töö käik. 1. Puhastatakse kooli tüüpi hügromeetri anuma poleeritud sein ja rõngas riidelapiga või seemisnahaga täieliku läikimiseni. Siis kallatakse anumasse eetrit niipalju, et sinna asetatud termomeetri kuulike oleks üleni eetris ja et õhu läbipuhumisel eeter ei pritsiks anumast

välja. Painutatud toru nipli otsa asetatakse kummipuhur ja teise torru termomeeter.

Riist asetatakse lauale nii, et ta peegelpind oleks vaatleja (nägemiskiire) suhtes 30°—40° nurga all.



Joon. 64. Psühhrometer.



Joon. 65. Juushügromeeter.

Selles asendis tabatakse paremini kaste ilmumise momenti. Kaste ilmumisel paistab anuma peegelpind rõngaga võrreldes matina.

Katse algul mõõdetakse ümbritseva õhu temperatuur ja kirjutatakse see üles. Siis puhutakse kummipuhuri abil õhku läbi eetri ja jälgitakse samal ajal tähelepanelikult anuma poleeritud seina ning võrreldakse seda rõnga pinnaga. Kaste ilmumise momendil tehakse kindlaks eetris oleva termomeetri näit, lõpetatakse puhumine ja jälgitakse kaste kadumist. Kaste täieliku kadumise momendil tehakse jällegi kindlaks eetris oleva termomeetri näit.

Kirjeldatud viisil määratud temperatuuride aritmeetiline keskmine annabki kastepunkti.

Kogemused näitavad, et kaste kadumise momenti on kergem määrata, kui tekkimise momenti. Kadumise momendi määramise tulemused on täpsemad. Sellepärast on soovitav selle töö juures teha vaatlusi just kaste kadumise momendi suhtes ja kirjutada üles termomeetri näidud peegelpinna täieliku taastumise momendil.. Katset tuleb korrata mitu korda, arvutada lõpuks katsetel saadud temperatuuride aritmeetiline keskmine ja võtta see kastepunktiks.

Teades ümbritseva õhu temperatuuri ja määranud kastepunkti, saadakse relatiivse niiskuse suurus tabeli abil, milles on antud küllastava veeauru rõhud sõltuvalt temperatuurist.

Temperatuurile 20° vastab tabeli (lk. 137) järgi küllastava veeauru rõhk 17,5 *mm* ja keskmisele kastepunktile $\frac{5,2+7,2}{2} = 6°,2$ vastab rõhk 7 *mm*.

Siit relatiivne niiskus protsentides:

$$f = \frac{7 \cdot 100}{17,5} = 40\%.$$

Katse tulemused.

Ümbritseva õhu temperatuur	Temperatuur kaste tekkimisel	Temperatuur kaste kadumisel
20°	5° 4° 5° 6° 5°	7° 6° 7° 8° 8°
Keskmine	5°,2	7°,2

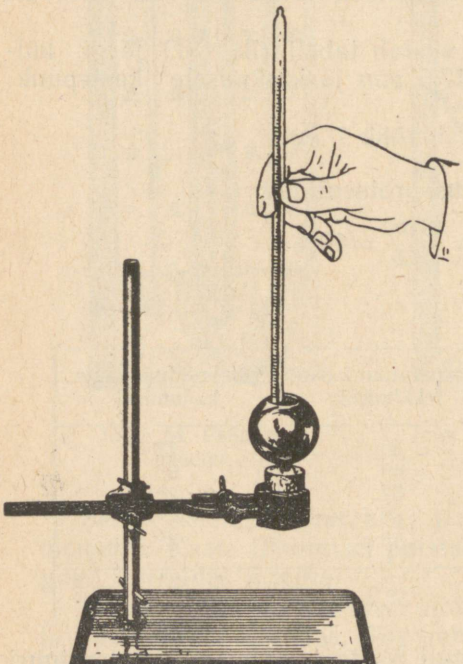
Kui katset teha ainult kaste kadumise temperatuuri järgi, siis on tulemus 43%.

2. Niiskuse määramisel psühhromeetrilise meetodi abil kasutatakse valmis riista — psühhromeetrit (joon. 64). Seinale riputatakse see võimalikult sellisesse kohta, kus on õhu liikumist (tõmbetuult).

Tuleb silmas pidada seda, et vesi niisutaks termomeetri kuulikese kogu ümbritsevat marlit. Pärast seda mõõdetakse temperatuur nii kuiva kui märja termomeetri järgi. Mõlema termomeetri näidud kirjutatakse üles. Arvutatakse kuiva ja märja termomeetriga saadud temperatuuride vahe ning psühhromeetrilise tabeli (lk. 137) abil määratakse õhu relatiivne niiskus.

Olgu kuiva termomeetri näit 22° ja märjal 16° (näide). Näitude vahe on sel juhul 6°. Relatiivne niiskus (protsentides) leitakse nende andmete korral psühhromeetrilise tabeli abil, rea, mille alguses on 22° ja veeru, mille peal seisab 6° lõikepunktis, s. o. kohas, kus relatiivseks niiskuseks on märgitud 54%.

Mõõtes ühesugustes tingimustes õhu relatiivset niiskust hügromeetriga ja psühhromeetriga, võrreldakse saadud tulemusi ja veendutakse, et nad on üsna lähedal teineteisele. Siis võetakse juushügromeeter, tutvutakse selle ehitusega ja kontrollitakse eelmisi tulemusi selle riistaga.



Joon. 66. Lihtne hügromeeter.

Praktilisi märkusi. Sel juhul, kui füüsika kabinetis ei ole eetrit kooli tüüpi hügromeetri jaoks, võib niiskuse määramiseks kasutada kerakujulist konduktorit — õõnsat peegelpinnaga kerakujulist anumat[1] (joon. 66).

Kasutada võib ka keemilisest anumast

[1] Selliseid kerakujulisi konduktoreid toodab Glavutštehprom elektrostaatika katsete jaoks.

valmistatud lihtsat hügromeetrit, mida on kirjeldatud B. N. Bakašinski raamatus «Организация лабораторных работ по физике в средней школе». (Учпедгиз 1949).

Enne tööd on vaja kerakujuline anum kinnitada statiivi külge. Selleks võetakse auguga kork, asetatakse sinna anuma väljaulatuv osa ja surutakse siis kork koos anumaga statiivi näpitsasse (joon. 66).

Anumasse kallatakse umbes 30 cm^3 vett ja puistatakse sinna teelusikatäis salmiaaki, või pannakse veidi lund. Segades vett termomeetriga, toimub salmiaagi intensiivne

Küllastuva veeauru rõhk (elavhõbedasamba mm-tes) sõltuvalt temperatuurist.

$t°$	$h°$	$t°$	h	$t°$	h
0	4,6	10	9,2	20	17,5
1	4,9	11	9,8	21	18,7
2	5,3	12	10,5	22	19,8
3	5,7	13	11,2	23	21,1
4	6,1	14	12,0	24	22,4
5	6,5	15	12,8	25	23,8
6	7.0	16	13,6	26	25,2
7	7,5	17	14,5	27	26,7
8	8,0	18	15,5	28	28,4
9	8,6	19	16,5	29	30,1

Õhu relatiivse niiskuse psühhromeetriline tabel.

Kuiva termomeetri näidud kraadides	Kuiva ja niiske termomeetri näitude vahe										
	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	4	
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34	26	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	50	45	40	34
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

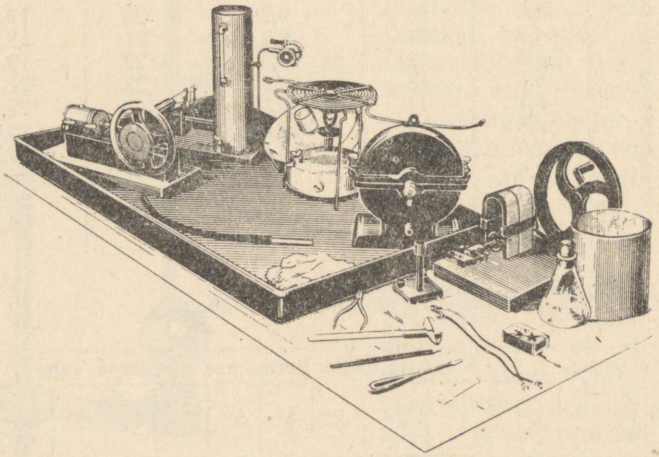
lahustumine või lume sulamine ja järelikult ka temperatuuri järkjärguline langemine.

Anuma läikiv pind kattub mingi temperatuuri juures õhukese kastekihiga. See temperatuur ongi kastepunktiks.

Mõõtes eelnevalt ümbritseva õhu temperatuuri ja teades kastepunkti, määratakse tabeli abil relatiivne niiskus.

15. Aurukatla, aurumasina ja auruturbiini ehituse ja töötamise tundmaõppimine.

Töövahendid (joon. 67). 1) Otsevoolu aurukatel, 2) töötav aurumasin, 3) töötav auruturbiin, 4) magnetoelektriline masin lõputa nööriga, 5) elektrilamp (3,5 *V* 0,2 *A*)



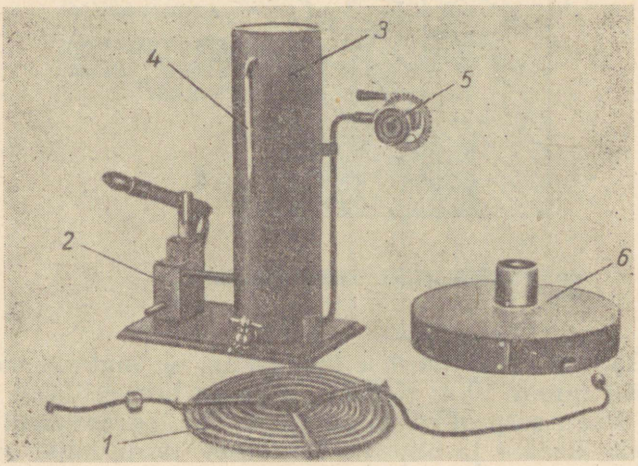
Joon. 67. Töövahendid töö nr. 15 jaoks.

alusel (frontaalsete laboratoorsete tööde komplektist), 6) priimus, 7) suur lame vann-küvett, 8) veeanum 2 *l*, 9) nihkkaliiber, 10) lapiktangid, 11) kruvikeeraja, 12 kummitoru klaasist otsikuga, 13) ühendusjuhtmed otsikutega (2 tükki), 14) lapp, 15) piiritus, tikud, tükk paberit, pliiats.

Riistade kirjeldus. Otsevoolu aurukatel[1] (joonis 68) koosneb aurutekitajast *1* ja seadmest, mis toidab aurutekitajat veega. Sellesse seadmesse kuulub: veepump *2*, hermeetiline balloon *3* veemõõdu klaasiga *4* ja pihustaja *5*.

Aurutekitaja on valmistatud valtsitud valgevasktorust pikkusega 5 *m*, diameetriga 5—6 *mm*, seinte paksusega ligikaudu 1 *mm*. Väljaarvatud otsad, on toru keeratud lamedaks spiraaliks ja kinnitatud kolme metallribaga. Toru otstesse on joodetud koonilised flantsid ja asetatud mutrid aurutekitaja ühendamiseks ballooni pihustiga, aurumasinaga või turbiiniga. Aurutekitaja asetatakse kuumutamiseks priimusele ja kaetakse kinni soojust isoleeriva kattega *6*, millel on üleval ava põlemissaaduste väljalaskmiseks.

Veepumbal on kaks silindrit (*a* ja *b*, vt. joon. 69). Vasakpoolses, alt suletud silindris asetseb kolb *1*, nahast mansetiga *2*. Kolvi ülemine osa on šarniirselt ühendatud pumba käepidemega *3*.

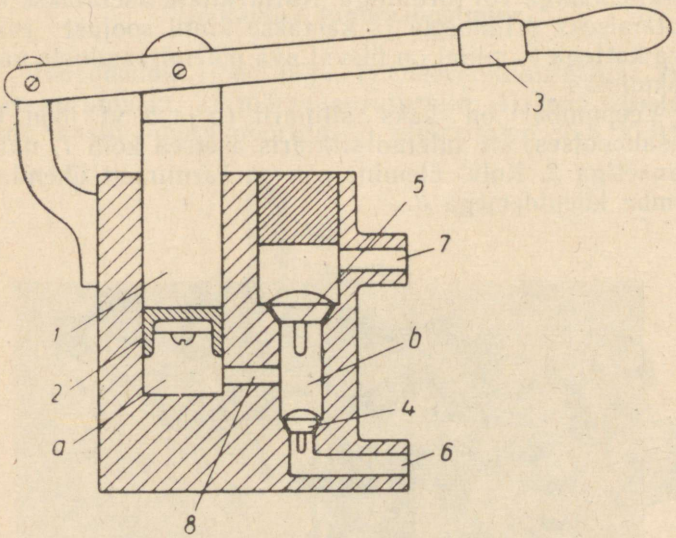


Joon. 68. Otsevoolu aurukatla osad.

[1] Riista autor — pedagoogiliste teaduste kandidaat A. I. Glasõrin.

Parempoolses silindris on klapid *4* ja *5*, mis on asetatud teineteise alla, kusjuures mõlemad klapid avanevad ülespoole. Alumise klapi all on toru *6* sisselaske vooliku jaoks ja ülemise klapi peal toru *7*, mis ühendab pumpa ballooniga. Klappide vahel on silindreid ühendav kanal *8*.

Pumba töötamisel pannakse sisselaskevoolik (kummitoru) veeanumasse. Kolvi tõusmisel avaneb alumine klapp ja vesi imetakse kolvi alla. Kolvi allalaskmisel sulgub alumine klapp, kuid ülemine avaneb ja vesi läheb ballooni.



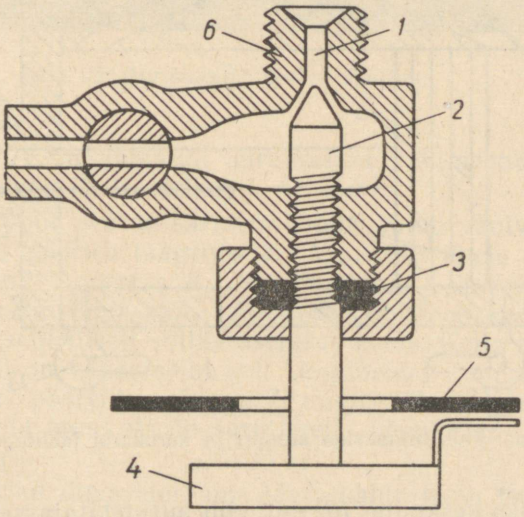
Joon. 69. Veepumba läbilõige.

Balloon on silindrilise kujuga, tal on tugevad metallseinad (proov 10 *at* rõhuga) ja ta on hermeetiliselt suletud. Nagu eespool näidatud (joon. 68), on balloonil veemõõdu klaas *4* ja altpoolt ülestõusev toru, mille ots on painutatud kõrvale. Selle toru otsa on kinnitatud pihusti *5* ja kraan.

Pihustil, mille läbilõige on antud joonisel 70, on nõelaga *2* suletav väljalaskeava *1*. Nõelale on lõigatud keermetis ja ta on varustatud hermeetilisust kindlustava tihendkarbiga *3* ja kruvipeaga *4*. Osuti, mille järgi otsus-

tatakse kui palju on ava lahti, on kinnitatud kruvipea külge ja liigub mööda ringskaalat *5*. Pihusti torul *6* on väline keermetis, millele keeratakse aurutekitaja ühte otsa ning pihustit hermeetiliselt ühendav mutter.

Katel töötab järgmiselt. Pumbaga pumbatakse vesi ballooni, mille ülemises osas tekib suruõhust «kork». Rõhk vee peal tõstetakse 4,5—5 atmosfäärini. Rõhu suurust saab lugeda veemõõdu klaasilt, millel on vastavad märgid. Rõhu all olev vesi läheb balloonist pihusti kaudu priimusel kuumendatud spiraali, kus ta muutub auruks, mida järgnevalt ülekuumendatakse. Ülekuumendatud aur antakse 3—4 atmosfääri all masinasse, kus ta teeb tööd. Vee andmist aurutekitajasse reguleeritakse pihusti nõela pea pööramisega.

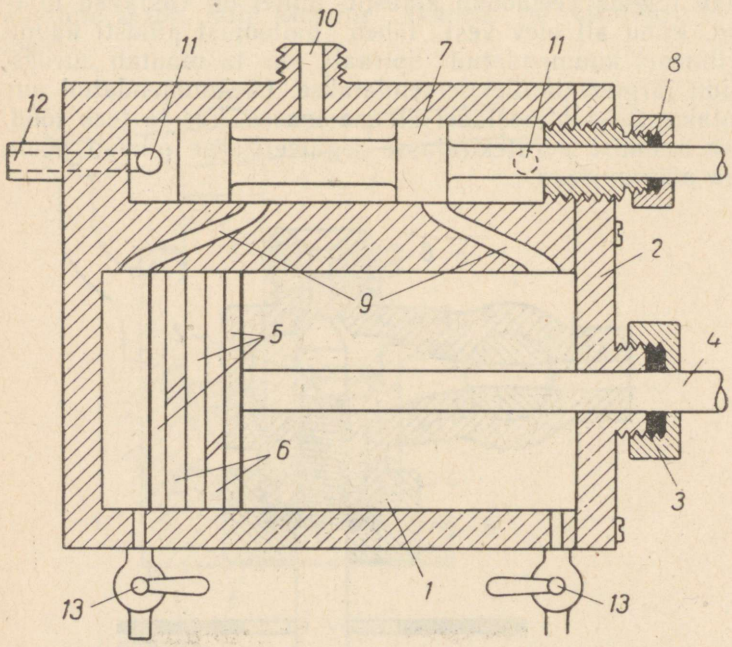


Joon. 70. Pihusti läbilõige.

Aurumasinal, mille läbilõige on antud joonisel 71, on silinder *1*, silindri kaas *2* ja tihendikarp *3* varva *4* jaoks. Varva ühes otsas on kolb *5*, teine ots on aga šarniirselt ühendatud kepsu väikse peaga. Kolvi silindrilisele pinnale on lõigatud kaks kanalit, millesse on paigutatud kolvirõngad.

Silindriga paralleelselt asetseb silindriline jaotussiiber 7 kahe kolviga, mis on asetatud ühele vardale. Varras väljub tihendkarbi kaudu ja on šarniirselt ühenduses ekstsentriku vardaga.

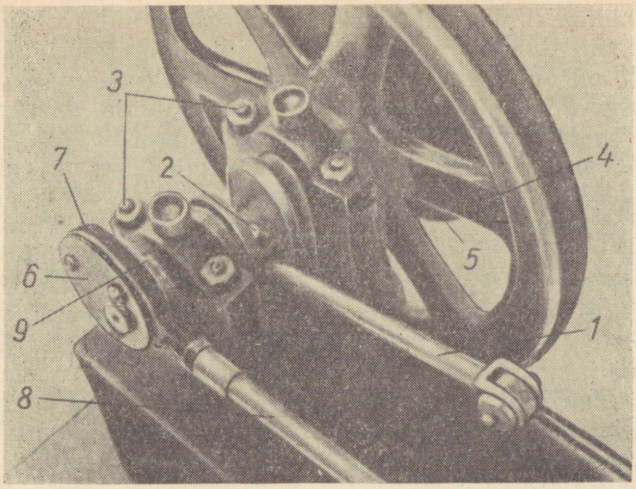
Aurumasina silinder ja siibrikarp on omavahel kahe kanali *9* abil ühendatud. Nende abil toimub auru jaotamine silindris. Siibrikarbist väljub peale selle veel kolm



Joon. 71. Aurumasina silindri ja aurukarbi läbilõige.

kanalit: üks keskmine *10*, mis viib aurutekitajasse ja kaks äärmist *11*, mis ühendavad siibrikarbi välisõhuga kanali *12* kaudu. Silindrit ühendab välisõhuga kaks, kraanidega 13 varustatud kanalit. Need on silindri läbipuhumiseks auruga, mille kaudu vabanetakse masina käivitamisel auru kondenseerumisest tekkinud veest.

Et silinder masina töötamise ajal ei jahtuks ja auru kondenseerumine oleks väike, on silindri väline pind kaetud soojust isoleeriva kihiga, mille peale on tõmmatud lehtmetallist kate.



Joon. 72. Aurumasina väntmehhanism.

Joonisel 72 on näidatud aurumasina väntmehhanismi ja aurujaotamist ekstsentrikuga.

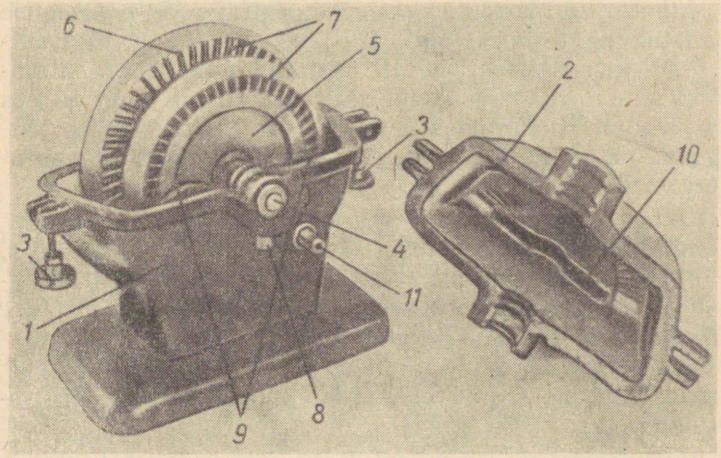
Kepsu *1* suur pea on šarniirselt ühendatud väntvõlli *2* kaelaga, mis pöörleb laagrites *3*. Väntvõlli ühele otsale on kinnitatud hooratas *4*, rihmarattaga *5* pöörlemise edasiandmiseks rihma abil. Võlli teisel otsal on ekstsentrik *6* — ekstsentriliselt võllile asetatud ketas. Ketta silindrilisel pinnal on välise seibi abil kujunenud renn, milles võib vabalt pöörelda rõngas *7*, mis on ühenduses vardaga *8*. Varda teine ots on šarniirselt ühendatud aurusiibri vardaga.

Ekstsentriku diameeter, mis läbib kahte tema tsentrit, on nihutatud vända põlve telje suhtes mingi nurga alla, millega saavutatakse auru õige jaotus. Nimetatud nihkumist võib seada ühele või teisele poole. Selleks keeratakse lahti kruvi *9*, pööratakse väntvõlli, hoides seejuures ekstsentrikut paigal ja kinnitatakse kruvi uuesti võlli teise avasse. Selline ehitus võimaldab muuta masina pöörlemise suunda.

Auruturbiini töötav mudel (joon. 73) koosneb kerest *1*, mille ülemine osa *2* on kergesti eemaldatav ja on kinni-

tatav alusele mahapööratavate poltidega, mille otsas on tiibmutrid *3*. Kere kuullaagritesse on paigutatud võll *4*, millele on omakorda asetatud kaks ratast: väiksema diameetriga *5* ja suurema diameetriga *6*. Rataste ümbermõõtudel on labidad *7*, mis on pööratud nõgususstega ühele poole. Esimese ratta labidad on lühemad teise ratta omadest. Mõlema ratta labidate välised otsad on seotud koonilise rõngaga. Kettad on kinnitatud ühisele võllile ja võivad vabalt pöörelda. Keeranud lahti kruvid *8* võib võlli koos rataste ja kuullaagritega kerest välja võtta. Kere alumisele osale on kinnitatud kaks teravnurga all lõigatud toru — düüsi *9* kooniliselt laieneva kanaliga. Düüside väljumisavad on vastassuunalised ja asetsevad piki ketaste horisontaalset diameetrit. Düüside lõiked peaaegu puudutavad kettaid ja on asetatud nii, et düüsidest väljalendavad aurujoad satuksid labidate nõgusate osade äärtele puutujate sihis.

Võllile kinnitatud rataste vahele on paigutatud liikumatu ratas *10* labidatega, mis on liikuvate labidate suhtes painutatud vastaspoolele. Liikumatu ratas on mudelil lõigatud piki diameetrit pooleks. Pooled on kinnitatud turbiini kere vastavatele pooltele. Liikumatul rattal on labidad ainult düüside vastas. Mõlemad düüsid on ühen-



Joon. 73. Auruturbiin.

datud ühise kanaliga, mis lõpeb auru sisselasketoruga *11*. Äratöötanud auru (heite auru) välja laskmiseks on turbiini kere vastaspoolel toru, mida pole joonisel näha.

Auruturbiin töötab järgmiselt. Aur antakse katlast rõhu all düüsidesse. Düüsidest juhitakse aurujoad ketta labidatele, kus nad annavad ära poole oma kineetilisest energiast ja sunnivad võlli pöörlema teatud kiirusega.

Läbides esimese ketta ja seejuures pisut paisudes satub aur liikumata ratta labidate vahele. Siin taastub aurujoa esialgne suund ja ta satub teise (suurema) ratta labidate vahele, seal lõplikult paisudes annab ta ära võllile teise poole oma kineetilisest energiast ning on seega peaaegu täielikult kaotanud oma kiiruse. Äratöötanud aur läheb rahulikult turbiini kerre ja sealt väljalasketoru kaudu välja.

Mudelil on kaks surveastet ja kaks kiiruse astet. Kahte surveastet iseloomustab auru paisumine kahes järgus, mida on näha ruumide suurusest esimese ja teise ratta labidate vahel. Kahte kiiruseastet iseloomustab auru kiiruse kaotamine esimeses ja teises rattas.

Kaks kiiruseastet vähendavad turbiini võlli pöörete arvu kaks korda. Surveastmed lubavad kasutada kõrgrõhu auru. Tänapäeva turbiinidel on mitukümmend surve- ja kiiruseastet.

Töö käik. Töö tehakse kahes osas. Esimeses osas õpitakse tundma otsevoolu aurukatla, aurumasina ja auruturbiini ehitust. Teises osas koostatakse seadeldis, saadakse katlast auru ja käivitatakse mudelid.

1. Tundmaõppimist alatakse aurutekitajast, edasi selgitatakse välimuse, kirjelduse ja jooniste järgi veepumba, ballooni ja pihusti ehitust ja töötamise printsiipi (joon. 68—70).

Seejärel lastakse pumba voolik veenõusse ja pumbatakse vett ballooni kuni veemõõdu klaasil märgitud kriipsuni. Boyle-Mariotte'i seaduse põhjal määratakse ligikaudselt rõhk, mille all on vesi balloonis.

Siis keeratakse nõela ja saadakse pihusti väljalaskeavast paiskuv peenike veejuga. Pärast proovi keeratakse nõel uuesti kinni.

Aurumasinaga tutvutakse riista enda, eelpooltoodud kirjelduse ja jooniste 71 ning 72 järgi.

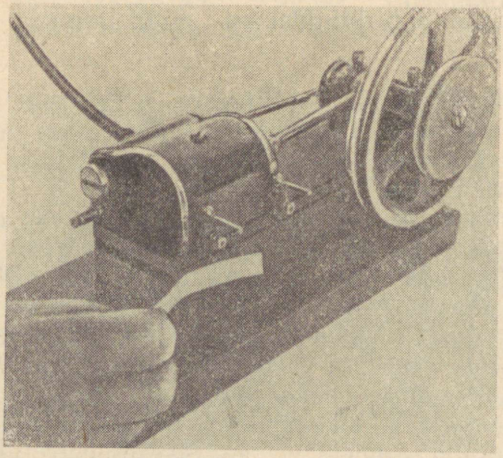
Väntvõlli kanali ja ekstsentriku vastastikuse asendi järgi võib näha, missuguses suunas hakkab masin töötamise ajal pöörlema. Selleks viiakse väntvõll ühte «surnud punkti». Siis pööratakse vähe hooratast ja jälgitakse kolvi ja aurusiibri vastastikust liikumist. Masin hakkab liikuma selles suunas, milles on tarvis pöörata hooratast, et aurusiiber liiguks kolvile vastu.

Et saada kujutlust auru jaotamisest antud mudelis, leitakse katseliselt auru sisselaske ja katkestamise momendid ning samuti äratöötanud auru väljalaske alguse ja lõpu momendid.

Seda tehakse kaudsel teel, kuna vahetult pole võimalik aurujaotamist mudelis vaadelda.

Auru sisselasketoru otsa pannakse tükk kummitoru klaasotsikuga. Otsik puhastatakse piiritusega, pannakse suhu ja puhutakse ning samal ajal pööratakse aeglaselt hooratast [1].

Eelnevalt avatakse silindri kraanid (käepidemed suunatakse piki kraane). Selle kraani ava juurde, mille juurest hakkab liikuma kolb, lähendatakse kitsa pabeririba ots (joon. 74).

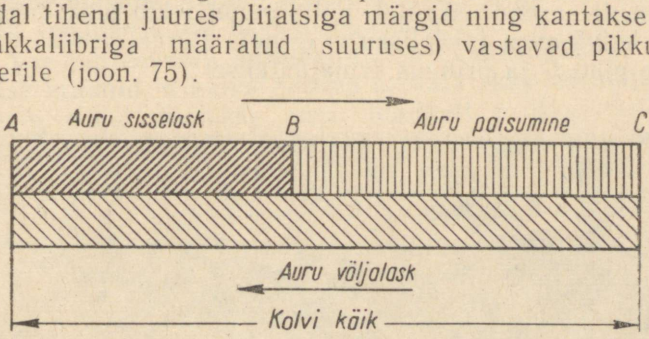


Joon. 74. Pabeririba kõrvalekaldumine õhu puhumisel läbi aurumasina silindri.

[1] Hooratast tuleb liigutada varem kindlaksmääratud suunas.

Auru sisselaskmisega võrdse aja jooksul läheb õhk vabalt läbi silindri ja kraani ning kallutab kraani ette pandud pabeririba kõrvale. Muul ajal õhk läbi silindri ei pääse ja pabeririba kraani ees kõrvale ei kaldu.

Auru sisselaskmise algus- ja lõpumomentidel, kuid samuti ka kolvikäigu «surnud punktides», tehakse kolvi vardal tihendi juures pliiatsiga märgid ning kantakse siis (nihkkaliibriga määratud suuruses) vastavad pikkused paberile (joon. 75).



Joon. 75.

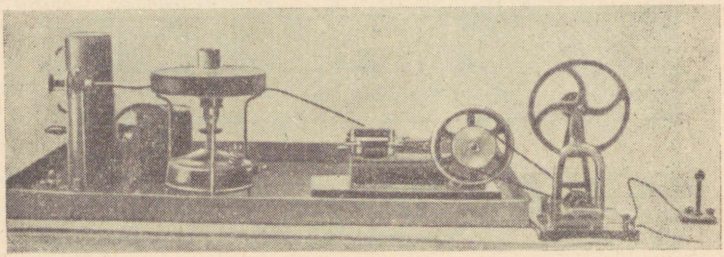
Edasi kinnitatakse klaasotsikuga kummitoru auru väljalasketorule. Nüüd määratakse samal viisil äratöötanud auru väljalaske algus ja lõpp. Paber kaldub kõrvale siis, kui kolb läheneb surnudpunktist uuritavale kraanile. Teise surnudpunkti läheduses auru väljalask katkeb, see tehakse kindlaks pabeririba järgi. Leitud momendid märgitakse jälle vardale ja kantakse siis paberile (joon. 75).

Saadud joonisest on näha, et punktist *A* kuni punktini *B* liikus kolb auru jääva rõhu all, kuna tema elastsus ei muutunud (toimus auru sisselaskmine). Punktist *B* alates mõjus kolvile järjest vähenev jõud, kuna auru töö toimus tema paisumise ja järelikult ka elastsuse järkjärgulise vähenemise arvel.

Kolvi tagasiliikumisel punktist *C* kuni punktini *A* toimub äratöötanud auru väljalaskmine. Kui auru väljalaskmine toimub õhku, siis selleks kulub osa masina hooratta kineetilisest energiast. Kui aga aur lastakse kondensaatorisse, siis saadakse täiendavalt teatud hulk kasulikku tööd.

Edasi tutvutakse auruturbiiniga. Sel eesmärgil võetakse turbiini mudel lahti ja vaadeldakse üksikosi vastavalt eespooltoodud kirjeldusele ja joonisele 73.

2. Asetatakse riistad lamedale küvetile (joon. 76), jättes esialgu aurutekitaja aurumasinaga ühendamata. Süüdatakse priimus, asetatakse sellele aurutekitaja ja pannakse kate peale. 1,5—2 min. pärast keeratakse pihusti nõel vähe lahti. Jälgitakse auru väljapaiskumist spiraali vabast otsast. Nõela asendit reguleerides märgitakse ära see osuti asend skaalal, mille puhul tekib maksimaalne hulk kuiva auru (veepiisku ei esine). Pärast seda suletakse pihusti ja priimus eemaldatakse.



Joon. 76. Aurumasina kasutamine dünamomasina jõuallikana.

Aurutekitaja vaba ots jahutatakse märja lapiga ja ühendatakse siis aurumasina siibrikarbi sisselasketoruga. Silindri kraan avatakse, väntvõll viiakse surnudpunktist veidi välja. Süüdatud priimus paigutatakse uuesti aurutekitaja alla ja kaetakse kattega.

1,5—2 min. möödudes, kui spiraal on uuesti kuumenenud, avatakse pihusti, pöörates osuti varem märgitud kohale skaalal. Masin hakkab töötama kiirust järjest suurendades. Kontrollitakse varem tehtud järelduse õigsust pöörlemise suuna kohta.

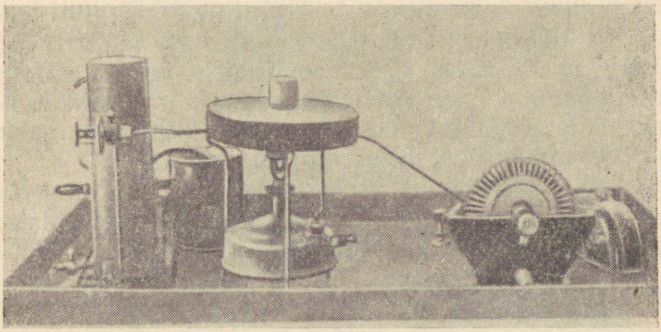
Kui masina silinder soojeneb ja kraanidest enam vett ei pritsi, siis suletakse kraanid. Edasi vähendatakse vee andmist ja jälgitakse pöörlemiskiiruse vähenemist.

Katkestanud vee andmise, pannakse masin seisma. Kruvikeerajaga keeratakse lahti kruvi *9* (joon. 72) ja asetatakse see eespoolkirjeldatud viisil uude kohta. Avatakse pihusti ja lastakse masin uuesti käima, mis nüüd hakkab pöörlema vastupidises suunas.

Töötava aurumasina kõrvale asetatakse magnetoelekt-

riline masin, millega ühendatakse alusel olev elektrilambike. Vähendades masina käiku, pannakse ta hooratta kaudu seisma ja ühendatakse aurumasina rihmaratas rihma abil dünamomasina rattaga. Edasi suurendatakse vee juurdevoolu, mille tulemusena masina kiirus suureneb ning ta rihmaratas paneb seejuures pöörlema ka dünamomasina. Lambi sisselülitamisel aeglustub masina käik, lambikese niit hakkab aga hõõguma.

Vee juurdevoolu aurutekitajasse vähendatakse. Avatakse kraanid ja kuiva auruga kuivatatakse seismajäänud masin. Nüüd suletakse vesi lõplikult, priimus eemaldatakse; märja lapiga jahutatakse ühendused ning eraldatakse masin aurutekitajast.



Joon. 77. Seade auruturbiini käivitamiseks.

Turbiini käivitamisel ühendatakse see aurutekitajaga (joon. 77). Võetakse turbiinilt kate ja kontrollitakse, kas kuullaagrid on alusele kinnitatud ja kas rattad liiguvad kergelt. Siis asetatakse süüdatud priimus aurutekitaja alla ja kaetakse kattega. 1,5—2-minutilise kuumenemise järele avatakse pihusti nõel kuni skaalal varem ära märgitud kriipsuni. Jälgitakse turbiini rataste pöörlemissuunda ja võrreldakse seda varem määratuga. Pöörlemiskiirus kasvab kiiresti ja rataste labidate poolt aurujoa lõikamisest tekkinud heli kõrgeneb järjest. Heli saavutab väga suure kõrguse, mille järgi otsustataksegi turbiini suure pöörete arvu üle. Turbiini kere kaetakse kattega ja

kinnitatakse kruvidega. Vaadeldakse turbiini tööd ja äratöötanud auru vaba väljumist väljalasketorust.

Edasi vähendatakse vee andmist. Kuiva ülekuumendatud auruga kuivatatakse turbiini rattad. Siis katkestatakse vee andmine, priimus eemaldatakse ja kustutatakse. Ühendusmutrid jahutatakse märja lapiga, aurutekitaja eraldatakse turbiinist ja katlast. Turbiini kerest eemaldatakse vesi. Alumise kraani kaudu lastakse ka balloonist vesi välja.

Praktilisi märkusi. 1. Selles töös ei tehta mingeid mõõtmisi ega arvutamisi. Ometi on ta sisu täis töömahukat eksperimentaalset materjali. Kui õpilased ei jõua korraga (kaks tundi) kõike seda, mis on kirjelduses näidatud, ära teha, siis võib piirduda aurukatla, aurumasina või, äärmisel juhul aurukatla ja turbiini tundmaõppimisega.

2. Aurutekitajat võib soojendada ka elektripliidiga (600 *W*), asetades see vastavale alusele, kuid auru annab katel sel juhul vähem kui priimusega; aurumasin ei pane pöörlema lambiga koormatud magnetoelektrilist masinat, samuti ei saa turbiin kuigi suurt pöörete arvu.

3. Kui soojendajaks on priimus, siis aurumasinaga käivitatavat magnetoelektrilist masinat võib koormata ka kahe paralleelselt ühendatud elektrilambikesega (3,5 *V*; 0,28 *A*).

4. Pärast katsetamist tuleb aurukatelt, aurumasinat ja turbiini hoida hästi kuivatatutena ja lahtiste kraanidega. Masina hõõrduvaid osi tuleb vahetevahel määrida masinaõliga.

16. Sisepõlemismootori ehituse tundmaõppimine.

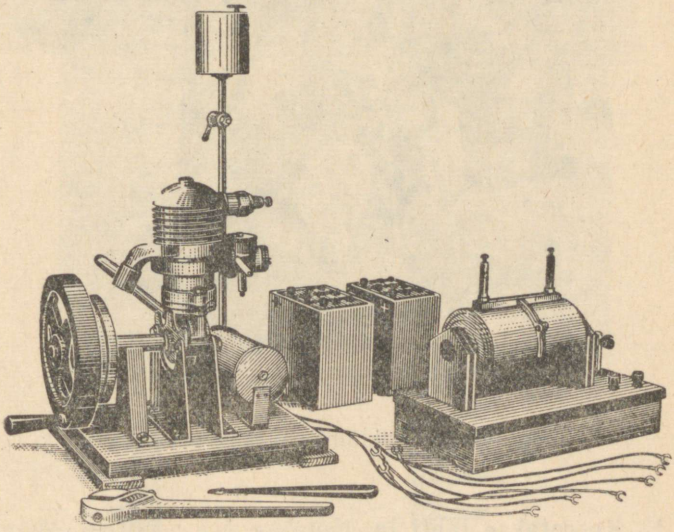
Töövahendid (joon. 78). 1) Lahtivõetav kahetaktiline sisepõlemismootor, 2) akumulaatorite patarei 3-*HKH*-10 (2 tükki), 3) sädeinduktor *HB*-50, 4) tellitav (nn. inglise) mutrivõti, 5) kruvikeeraja, 6) ühendusjuhtmed otsikutega (4 tükki).

Riista kirjeldus. Kahetaktiline sisepõlemismootor (joon. 79), mis on kohandatud kiireks lahtivõtmiseks ja kokkupanemiseks, koosneb järgmistest põhilistest osadest, millega võib tutvuda riista lahti võtmata. Malmsilinder *1*,

mille alumise osa ümber on rõngastoru *2*, on ühendatud karburaatoriga *3*. Silindri töötav osa (tööruum) on seinte õhuga jahutamiseks kaetud väljastpoolt ribistikuga *4*. Külgseina ülemisse ossa on keeratud süüteküünal *5*, kuid silindri ülemise katte (silindripea) keskele — kruvikeermetisega kork *6*, mis suleb ava silindri õõnde.

Rõngastorust kõrgemal on ühendatud toru *7* ots toruga *8*, mille kaudu äratöötanud gaasid (põlemisjäägid) juhitakse summutisse *9*.

Silinder on kinnitatud karterile *10*, mis omakorda on kinnitatud puualusele *11* kronsteinidega *12*. Karter sulgub hermeetiliselt külgkaanega *13* ning kinnitatakse klambriga *14* ja kruvidega *15*. Karteri külgseina teisel pool asub kuullaager-toru *16*, milles pöörleb väntvõll. Samas asub

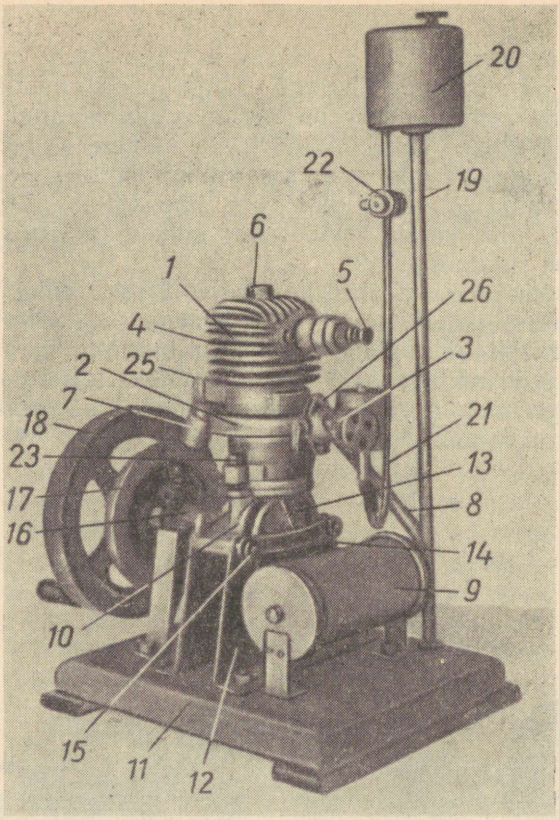


Joon. 78. Töövahendid töö nr. 16 jaoks.

süüte reguleerija *17*. Võlli otsas on hooratas *18* käepidemega mootori käivitamiseks.

Kandurile *19* on kinnitatud paak *20*, kust vedelkütus toitetoru *21* kaudu tuleb karburaatorisse *3*. Toru sulgub kraaniga *22*.

Üksikasjalisemaks tutvumiseks võetakse mootor lahti järgmises korras:



Joon. 79. Kahetaktiline sisepõlemismootor.

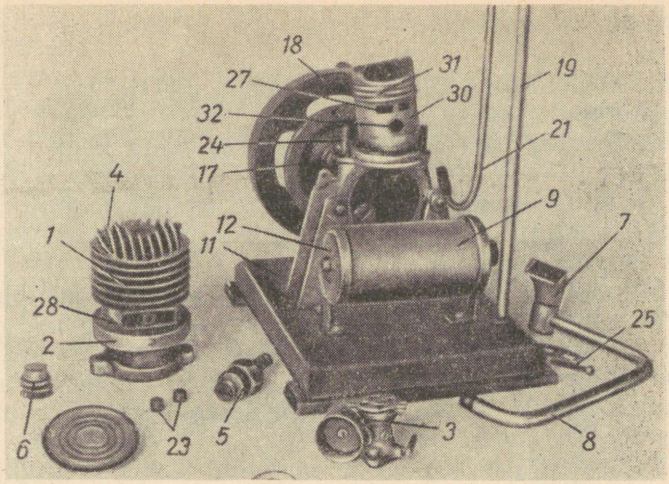
1. Keeratakse lahti ja võetakse ära mutrid *23* poltidelt *24* (joon. 79 ja 80), millega silinder on kinnitatud karteri külge.

2. Keeratakse lahti väljalasketoru silindriga ühendav polt *25*.

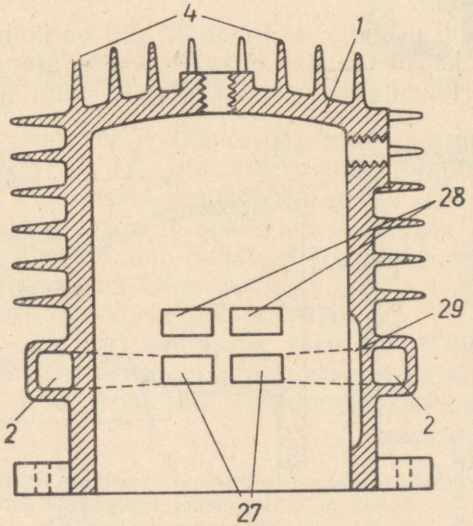
3. Keeratakse lahti karburaatorit silindriga ühendavad kruvid *26*.

4. Keeratakse lahti mutter *15*, vabastatakse klamber *14* ja võetakse ära karteri kaas.

5. Ettevaatlikult eemaldatakse karteri kaane *13* papp-



Joon. 80. Sisepõlemismootor lahtivõetult.



Joon. 81. Silindri läbilõige.

tihendid väljalasketoru *7* juures ja karburaatori *3* flantsi juures.

6. Tõstetakse silinder vertikaalselt üles ja eraldatakse ettevaatlikult karterist.

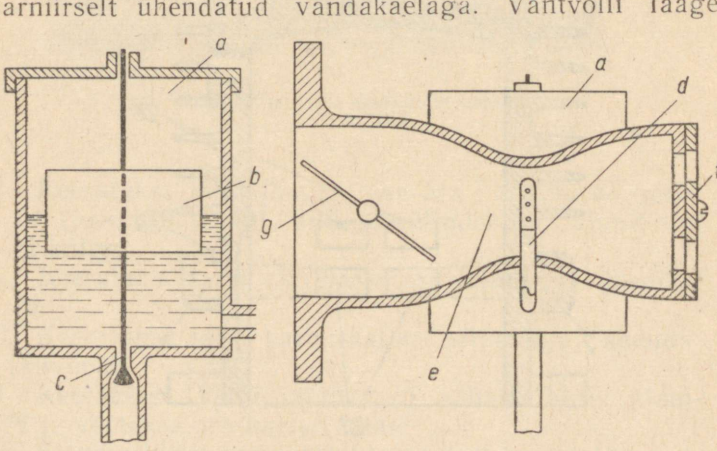
7. Keeratakse eraldatud silindrist välja küünal *5* ja kork *6*.

Niisugusel kujul (joon. 80) võib lugeda mootorit küllaldaselt lahtivõetuks selleks, et üksikasjalisemalt ta ehitust tundma õppida.

Silindri *1* õõnes on näha sisselaskeaknad *27*, mis ühendavad rõngastoru *2* silindriga (joon. 81). Kõrgemale on asetatud väljalaskeaknad *28*, mis on ühenduses väljalasketoruga *7*. Peale selle on silindri seinas madal kanal *29*, mille kaudu gaasisegu satub karterist silindri ülemisse töötavasse ossa.

Kolb *30* (joon. 80) on kummutatud teeklaasi kujuline. Kolvi silindrilisel pinnal on kolm ristkülikukujulise ristlõikega kanalit. Kanalitesse on paigutatud lahtilõigatud vetruvad rõngad *31* (kolvirõngad), millede ülesandeks on tiheduse saavutamine kolvi ja silindri seina vahel. Rõngaste lõiked (lukud) ei ole kohastikku, see soodustab gaasikindlust. Allpool rõngaid on kolvi seina sisse lõigatud kaks akent.

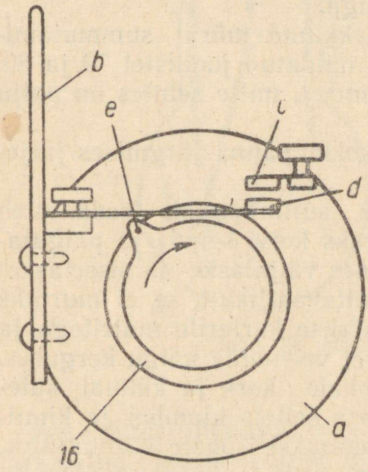
Läbi kolvi asetatud «sõrme» *32* abil on kolb šarniirselt ühendatud kepsu ülemise peaga. Kepsu alumine pea on šarniirselt ühendatud vändakaelaga. Väntvõlli laager-



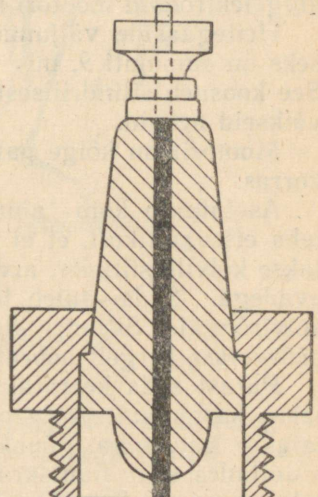
Joon. 82. Karburaatori läbilõige, vasakul ujukiruumi läbilõige.

toru *16* on tehtud pikk, et kindlustada karteri ööne hermeetilisust.

Karburaator (joon. 82) koosneb ujukiruumist *a*, ujukist *b* koos ujukinõelaga, mis suleb toitetoru ava *c*, pihustist *d*, millel on väiksed kalibreeritud avad, segukoonusest *e*, õhu juurdevoolu reguleerivast võrest *f* ja seguklapist *g*, mille abil doseeritakse küttesegu.



Joon. 83. Süüte reguleerija ehituse ja töötamise skeem.



Joon. 84. Süüteküünla läbilõige.

Süüte reguleerija (katkesti), mille skeem on näidatud eraldi joonisel *83*, ülesandeks on reguleerida süütemomenti. Ta koosneb isoleerivast seibist *a*, mis on tihedalt asetatud laagri toru *16* peale, kus seibi võib pöörata suure hõõrdega kangi *b* abil. Seibil on kontaktid *c* ja *d*. Üks nendest on liikumatu, teine on asetatud elastsele ribale, mis on isoleeritud esimesest kontaktist.

Harilikult on kontaktid lahutatud, kuid väntvõlli nukk *e* tõstab elastset riba ja kontaktid teatud ajaks ühendatakse. Igal kontaktil on juhtmete ühendamiseks oma klemm.[1]

[1] Mõnedes tänapäeva mootorites toimub süüde magneetoga (magnetoelektriline kõrgepinge masin), mis on ühendatud mootori võlliga. Süüte reguleerija asetseb magneetos, sellepärast pole vaja spetsiaalset süüteregulaatorit (katkestit).

Küünal koosneb kahest kontaktist (elektroodist), mis on teineteisest eraldatud portselanisolaatoriga ja kahe õhuvahega, kus hüppab säde (joon. 84). Keskelektrood lõpeb üleval klemmiga (kinnitusmutriga). Külgelektroodid on ühendatud keermetisega varustatud küünla metallist allosaga.

Küünla keeramisega silindrisse ühendatakse küünla külgelektroodid mootori massiga.

Heitegaaside väljumisel tekkinud müra summutamiseks on summuti *9*, mis on näidatud joonistel 79 ja 80. See koosneb silindrilisest anumast, mille seintes on palju väikseid avasid.

Mootorit on kõige parem kokku panna järgmises järjekorras.

Asetatakse kolb alumisse surnudpunkti (seda tuleb teha ettevaatlikult, et ei rikutaks kolvi seinu) ja paigutatakse kolvile silinder, arvestades väljalaske- ja sisselaskeavadega. Seda tuleb teha ettevaatlikult, et ei murtaks kolvirõngaid. Silinder kinnitatakse karterile mutritega ja pööratakse kergelt hooratast, et veenduda käigu kerguses.

Pärast seda keeratakse kohale kork ja küünal, suletakse karter kattega, asetatakse sellele klamber ja kinnitatakse kruvidega. Lõpuks asetatakse kohale karburaator, kinnitades selle flantskruvidega silindri külge ja ühendatakse toru ots kummivooliku abil toitetoruga.

Väljalasketoru *8* esialgu kohale ei seata.

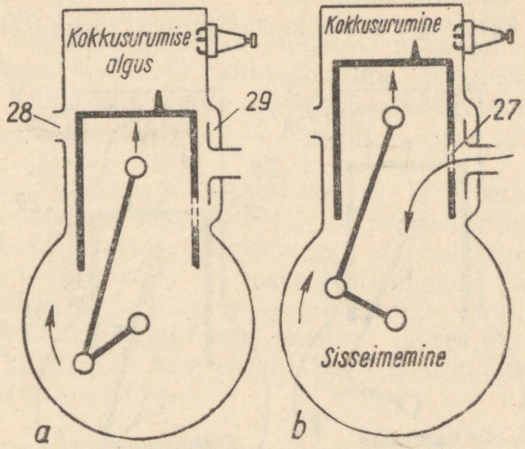
Kokkupanemisel peetakse silmas seda, et kõikides ühenduskohtades oleksid õhukesed papist õlitatud tihendid. Nende kohaleasetamist ei tohi unustada. Tihendite kohaleasetamisel peab olema ettevaatlik, et neid katki ei rebitaks.

Kolvi tõusmisel (esimene takt) tekib karteris hõrendus, mille tagajärjel imetakse karburaatorist karterisse küttesegu, mis läbib kolvi seinas oleva sisselaskeava *27* (joon. 85-*a* ja 85-*b*).

Langemisel katkestab kolb (teine takt) karburaatori ja karteri vahelise ühenduse (joon. 86-*a*).

Kolvi edasisel langemisel surutakse küttesegu karteris vähesel määral kokku, kuni kolvi ülemine osa avab ava (joon. 86-*b*), mille kaudu karterisse kokkusurutud küttesegu läheb silindrisse ja tõrjub sealt välja eelmisest töökäigust tekkinud põlemisjäägid. Need väljuvad väljalaskeava kaudu, mis silinder on avanud natuke varem.

Värske küttesegu segunemist äratöötanud gaasiga takistab kolvi peal olev nukk (deflektor), mis juhib värske



Joon. 85. Mootori esimene takt.

segu silindri ülemisse ossa. Joonisel 86-*b* on küttesegu tee näidatud pika ühekordse noolega ja äratöötanud gaaside tee kahekordse noolega.

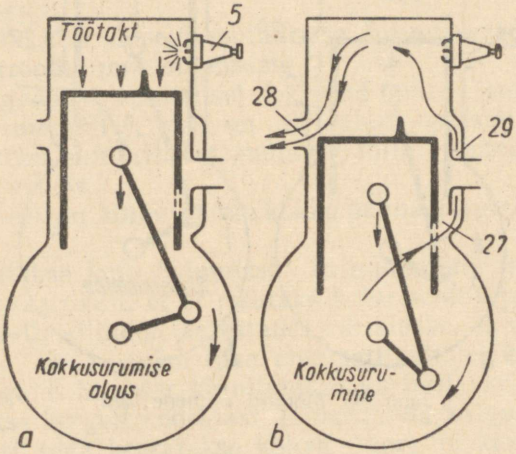
Kolvi tõusmisel sulgub algul ava *29* ja pärast seda kohe ka väljalaskeava *28*, millele järgnevalt toimub silindris gaasisegu kokkusurumine (joon. 85-*a*). Ülemise surnudpunkti läheduses tekib küünlas *5* elektrisäde, mis süütab gaasisegu.

Kolb tõugatakse plahvatusega alla (joon. 86-*a* ja 86-*b*). Alla laskudes avab kolb algul väljalaskeava *28* ja äratöötanud gaasid lendavad osaliselt summuti kaudu välisõhku. Väljalaskeava järel avatakse ka ava *29* ja toimub juba eespool kirjeldatud äratöötanud gaaside jäänuste väljatõrjumine värske segu poolt.

Seega koosneb mootori töö kahest taktist, kusjuures kasutatakse ära nii silindri kui karteri ruum. Esimene takt — silinder läheb üles. Karteris toimub sisseimemine ja silindris värske segu kokkusurumine (komprimeerimine). Teine takt — kolb läheb alla. Karteris toimub küttesegu eelnev kokkusurumine, silindris aga töökäik.

Teise takti lõpul ja esimese takti algul toimub silindrist äraföötanud gaasi väljalaskmine ja karterist uue küttesegu andmine silindrisse.

Põlev küttesegu tekib karburaatoris järgmiselt.



Joon. 86. Mootori teine takt.

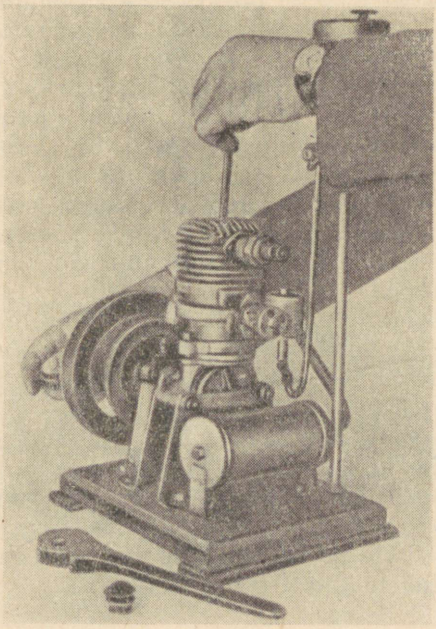
Paagist *20* (joon. 79) satub bensiin karburaatori ujukiruumi *a* läbi reguleeriva ava *c* (joon. 82). Kui bensiin on tõusnud teatud kõrgusele, siis koos bensiiniga tõusev ujuk sulgeb nõelaga ava *c* ja katkestab bensiini edasise juurdevoolu. Bensiini tarvitamisel ujuk langeb, ava avaneb ja bensiini tuleb juurde. Niiviisi hoitakse ujukiruumis bensiini nivoo automaatselt muutumatul tasemel.

Ujukiruumist satub bensiin pihustisse *d*, kus ta võtab väikeste augukeste taseme, kuid ei voola neist välja. Pihusti asetseb segukoonuse *e* kitsamas osas. Kui toimub imemine, siis õhk, läbides võret *f* ja segukoonust, saab kitsamas kohas suurema kiiruse ning põhjustab seega pihusti ümber alarõhu, selle tulemusena bensiini tase pihustis tõuseb, bensiin hakkab peenikeste jugadena voolama segukoonusesse ning kistakse õhuvooluga kaasa. Õhuvoolus bensiin aurustub ja õhk koos bensiini auruga satub lõpuks silindrisse.

Kuna plahvatus ja kütuse täielik põlemine toimub ainult õhu ja bensiini auru teatud kvantitatiivse vahekorra juures, siis vajaliku suhte saamiseks on vaja reguleerida nii bensiini kui õhu juurdevoolu.

Bensiini juurdevoolu antud mudelis piiravad pihusti rangelt kalibreeritud avad, kuid õhujuga reguleeritakse võre *f* abil. Küttesegu voolu mootorisse reguleeritakse seguklapiga *g*.

Töö käik. Töö koosneb kahest osast: 1) kahetaktilise sisepõlemismootori ehituse ja töötamise printsiibi tundmaõppimine laboratoorsetes tingimustes eespoolkirjeldatud lahtivõetava mudeli abil, 2) sisepõlemismootori käivitamise, seiskamise ja reguleerimise vaatlemine auto, mootorratta, traktori või mingi teise masina juures garaažis, MTJ-s jne., kuhu saab teha ekskursiooni ja organiseerida mootori töötamise vaatlusi.



Joon. 87. Mootori surnudpunktide kindlakstegemine.

1. Esialgu õpitakse sisepõlemismootorit tundma välimuse, kirjelduse ja jooniste järgi, tutvudes seejuures mootori põhiliste üksikosadega. Siis võetakse mootor lahti nii, nagu oli näidatud eespool ja õpitakse lähemalt tundma selliste üksikosade, nagu silindri, kolvi, karteri, väntmehhanismi, paagi, karburaatori, summuti, küünla ja süüteregulaatori ehitust.

Pärast seda pannakse mootor vastavalt eespool antud näpunäidetele kokku. Siis keeratakse kork välja ja silindri õõnde lastakse ülemise ava kaudu vertikaalselt pikk pliiats (või mingi varras) (joon. 87). Hooratast aeglaselt liigutades jälgitakse pliiatsi (või varda) järgi kolvi liikumist ja leitakse ülemine ning alumine surnudpunkt. Hoorattal märgitakse kriidiga need asendid ära, neid on edaspidises töös tarvis teada.

Tutvutakse süüteprintsiibiga. Magneeto asemel kasutatakse sädeinduktorit, akumulaatoreid ja süüteregulaatorit. Ühendatakse järjestikku 6—8 *V* akumulaatorite patarei, induktori primaarmähis ja süüteregulaator (katkesti). Sekundaarmähise üks ots ühendatakse juhtme abil küünlaga, mis on oma pesast välja keeratud ja silindri kaanele asetatud nii, et küünla mutter puudutaks, kuid klemm ei puudutaks silindrit (joon. 88). Sekundaarmähise teine ots ühendatakse juhtme abil mootori kerega.

Ühendatakse induktori primaarmähise kommutaator ja pööratakse hooratast. Pannakse tähele sädeme hüppamist küünla elektroodide vahel süütereguleerija kontaktide ühinemise momendil.[1]

Pööratakse süütereguleerijat ümber torulaagri ja seatakse ta nii, et säde tekiks kolvi ülemise surnudpunkti läbimise momendil. Surnudpunktist läbiminek tehakse kindlaks hoorattale kriidiga varem tehtud märgi abil.

Selgitatakse vajadust mootori käivitamisel süütemomendi väikese hilinemise järele ülemisest surnudpunktist läbimise momendi suhtes, et plahvatus ei paiskaks kolvi vastupidises suunas, kuid samuti ka varasema süüte vajadust suure pöörete arvu juures, kuna küttesegu täielik ärapõlemine võtab teatud aega.

---

[1] Tuleb eelnevalt reguleerida induktori katkestit, et ta töötaks primaarmähise sulgumisel.

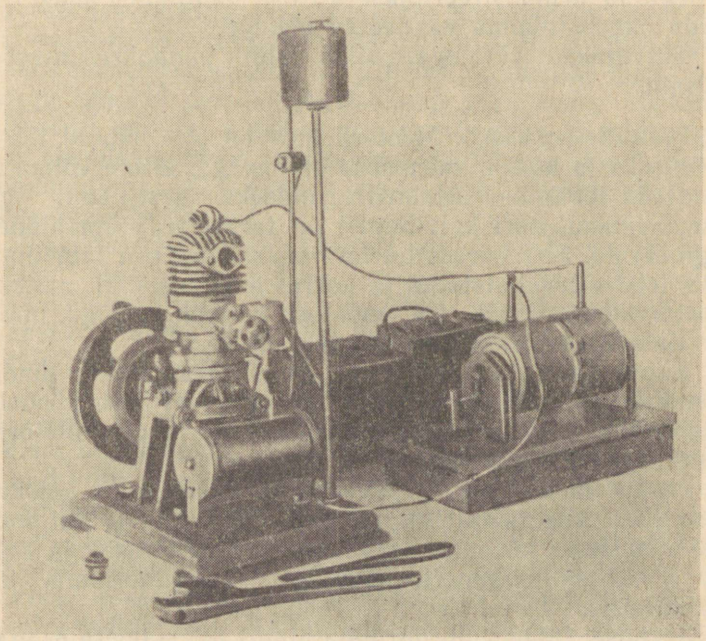
Küünal ja kork keeratakse oma kohale. Pöörates hooratast, tuntakse kokkusurvet silindris. Asetatakse käsi võrele ja jälgitakse õhu imemist läbi võre karburaatorisse. Hooratta märkide abil tehakse kindlaks kolvi liikumise suund imemise ajal.

Pannakse tähele, kuidas kolvi ülemine osa avab väljalaskeava alumise surnudpunkti läheduses, kui silindrist väljuvad heitegaasid. Asetatakse väljalasketoru oma kohale ja kinnitatakse kruvidega.

Selgitatakse mootori töötamise printsiipi vastavalt kirjeldusele ja joonistele 85 ja 86.

2. Töö teine osa — mootori käivitamise ja töötamise vaatlemine — teostatakse, nagu eespool märgiti, ekskursiooni korras ja teise töötava mootori juures.

Esialgu vaadeldakse mootorit väliselt ja märgitakse ära juba tuttavad osad. Tehakse kindlaks selle mootori



Joon. 88. Süüte reguleerimine.

ehituse erinevus varem laboratooriumis tundmaõpitud mootori omast.

Kui mootor on neljataktiline, siis meenutatakse selle töötamise printsiipi. Vaadeldakse klappide osi ja juhitakse tähelepanu mootori silindrite arvule. Kui mootoril on vesijahutus, siis tuleb pöörata tähelepanu ka radiaatorile ja veesärgile.

Siis leitakse kütuse paak, bensiinijuhe karburaatorile, magneeto, küünlad. Tutvutakse kütuse, õhu ja küttesegu andmisega ning süüte reguleerimisega. Vaadeldakse õlitussüsteemi.

Pärast tutvumist mootori käsitsemisega lastakse ta käima. Tutvutakse starteriga, kui see on olemas. Kütuse ja õhu juurdevoolu reguleerimisega näidatakse mootori normaalset ja ebanormaalset töötamist. Gaasisegu ja süüte reguleerimisega muudetakse pöörete arvu.

Kui mootor on ühendatud käigukastiga, siis tutvutakse sellega ja demonstreeritakse kiiruse muutumist masinas, mida paneb liikuma vaadeldav mootor.

Tutvutakse võtetega, mille abil pannakse mootor seisma.

Praktilisi märkusi. Mootorit, mis on ette nähtud lahtivõtmiseks ja kokkupanemiseks õpilastega, ei ole võimalik kasutada töötamise demonstreerimiseks, sest enne iga sisepõlemismootori käivitamist on tarvis teda korralikult reguleerida. Sellepärast on tarvis töö teise osa läbiviimiseks teist ettevalmistatud ja korrastatud masinat, näiteks mootorratast, autot või mootorit koos dünamoga, mida kasutatakse mõnes koolis valgustamiseks.

Kui sellist võimalust ei ole, siis korraldatakse tundidest vabal ajal kogu klassiga või, mis veel parem, poole klassiga (10—15 õpilast) ekskursioon garaaži, tuletõrje depoosse või traktorijaama.

Ekskursiooni mootori käivitamise, töötamise ja seiskamise vaatlemiseks tuleb korraldada pärast seda, kui soojusjõumasinate küsimust on käsitletud teoreetiliselt ja vastavalt eespooltoodud kirjeldustele laboratooriumis ka praktiliselt.

Äärmisel juhul võib piirduda ainult töö esimese osaga, millega õpitakse tundma mootori ehitust ja üksikute osade ülesandeid.

17. Metallide takistuse temperatuuriteguri määramine.

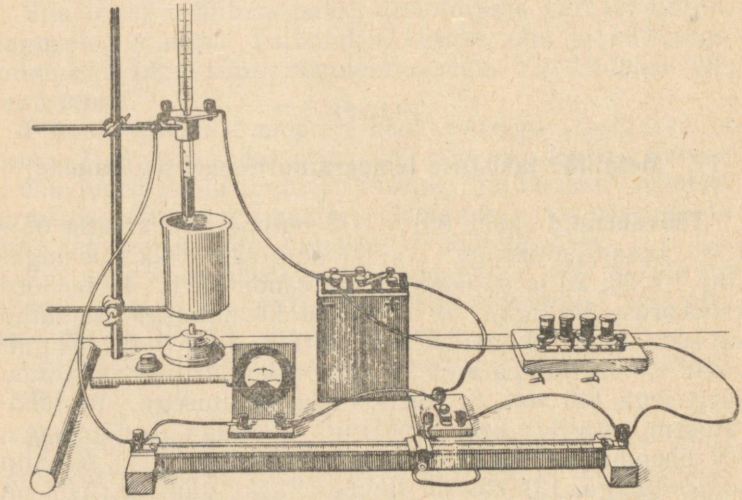
Töövahendid (joon. 89). 1) Tehniline termomeeter 0°—100° kraadijaotustega, 2) takistuskast (takistusmagasin) 10; 20; 20 ja 50 oomi, 3) galvanomeeter, 4) reohord kahekordse lülitiga, 5) traatpool klemmidega, asetatud katseklaasi, 6) akumulaatorite patarei 3-*HKH*-10 või galvaani elementide patarei 3—5 *V*, 7) silindriline metallnõu kõrgusega 110 *mm*, 8) piirituslamp piiritusega, 9) laboratoorne statiiv kahe muhviga, rõngaga ja näpitsaga, 10) ühendusjuhtmed otsikutega (9 tükki), 11) teekann soojendajaga, 12) kastrul lumega (kaks viimast riista on kogu klassile ühised).

Takistuse temperatuuriteguri määramiseks kasutatakse papist alusele *b* mähitud traatpooli *a* (joon. 90), mille otsad lõpevad klemmidega *e*. Pool on asetatud katseklaasi *d*, millega koos saab teda asetada lumme ja selle järele kuuma vette.

Pooli aluseks (karkassiks) on papptoru, mis on kokku kleebitud 15 *cm* laiusega paberiribast. Toru väline diameeter on 12 *cm* ja sisemine — 10 *cm*. Toru sisse peab vabalt minema tehnilise termomeetri ots. Papptorule mähitakse tihedalt isoleeritud vasktraat läbimõõduga 0,15 *mm* nii, et pooli saaks vabalt asetada harilikku katseklaasi. Papptoru ülemine osa pannakse läbi korgi *e*, millesse on puuritud toru telje suunas auk. Korgile asetatakse vineerplaat *f* klemmidega, kusjuures kõik kolm osa kleebitakse omavahel kokku tisleri või mingi teise kindla liimiga. Pärast seda ühendatakse traadi otsad klemmidega ja pool koos korgiga asetatakse tihedalt katseklaasi. Riista pare-

maks soojenemiseks on papptoru ülemisse ossa tehtud korgipuuriga mitu auku *g*. Torusse asetatud elavhõbetermomeetri ots peab ulatuma pooli keskpaika.[1]

Töö käik. Katseklaas koos seesoleva pooliga asetatakse statiivi näpitsasse, nagu on näha joonisel 89 ja lastakse



Joon. 89. Töövahendid töö nr. 17 jaoks.

algul sama statiivi rõngal asetsevasse lumenõusse. Torusse asetatakse termomeeter ja asutakse koostama seadet pooli takistuse mõõtmiseks Wheatstone'i silla skeemi järgi (joon. 91).

See skeem erineb vähe sellest skeemist, mida õpilased harilikult õpivad tundma. Temas on äravahetatud galvanomeetri ja vooluallika asukohad. Siin on kaks paralleelset haru suuruselt lähedasti takistustega, mille tõttu reohordi juhe ei ole ülekoormatud. Peale selle on liugkontakti ja reohordi juhtme vaheline ühendus kõrge pinge all ja seega usaldusväärsem. On täiesti ilmne, et selles töös võib kasutada ka harilikku skeemi.

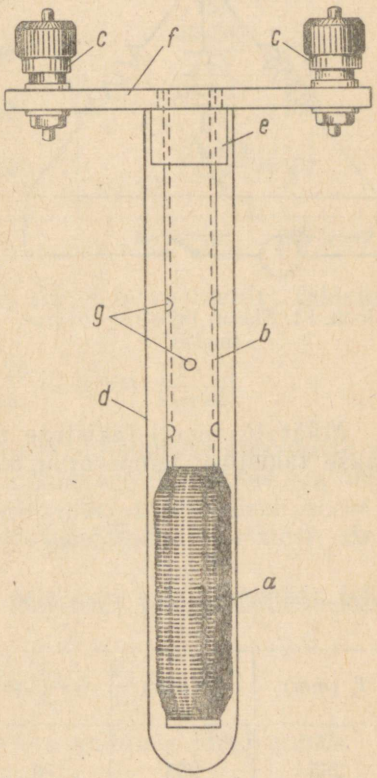
Kahekordse lüliti kasutamise eesmärgiks on kõrval-

[1] Selliseid riistu laseb välja Glavutštehprom.

dada poolis tekkiva omainduktsiooni segavat mõju. Sellise lüliti töötamine põhjeneb kahe kontakti lülitamise ja väljalülitamise mitteüheaegsusel. Üks nendest lülitab sisse vooluallika ahela, teine aga väikse hilinemisega — galvanomeetri ahela. Väljalülitamisel katkestatakse algul galvanomeetri ahel ja siis vooluallika ahel. Et õigesti kasutada kahekordset lülitit, tuleb enne ühendamist pöörata tähelepanu sellele, missugune kontaktidest nupu vajutamisel enne sulgub ja lülitatakse see vooluallika ahelasse.

Seadme valmimise momendiks on lumes oleva pooli temperatuur püsima jäänud ja termomeeter näitab 0°. Selle temperatuuri juures määrataksegi pooli takistus.

Võetakse takistuskastil 40 oomi; siis asetades liugkontakt reohordi keskele, vajutatakse momendiks lülitile ja vaadatakse mis toimub galvanomeetri osutiga. Liugkontakti liigutades leitakse selline asend, mille juures galvanomeetri osuti ahela sulgemise ajaks jääb paigale. Takistus määratakse võrdest:



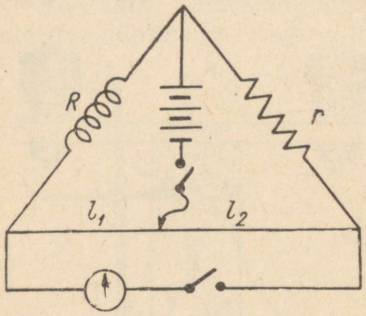
Joon. 90. Metallide takistuse temperatuuriteguri määramise riist.

$$\frac{R}{r}=\frac{l_1}{l_2},\quad \text{s. o.}\quad R=\frac{rl_1}{l_2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (I)$$

Takistuse määramiseks mõõdetakse l_1 ja l_2 mitu korda, korrates katset takistuskasti takistuste mitmesuguste väärtustega, kusjuures takistuskasti takistused võetakse või-

malikult lähemal mõõdetavale takistusele, et saada täpsemaid tulemusi.

Mõõdetud l_1 ja l_2, kuid samuti ka takistuse suurus r kantakse tabelisse; nendega esialgu ei arvutata, vaid hakatakse muutma seadet: lumi asendatakse kuuma veega, mis on varem ettevalmistatud teekannus. Metallnõu alla asetatakse põlev piirituslamp.



Joon. 91. Skeem takistuse määramiseks.

Aega, mis on vajalik pooli soojendamiseks, kasutatakse varem saadud mõõtmistulemuste läbitöötamiseks.

Kui pooli temperatuur enam ei tõuse, korratakse kõiki mõõtmisi uuesti nagu kirjeldati eespool ja andmed kantakse teise tabelisse.

Määrates pooli takistuse uue temperatuuri puhul, leitakse takistuse temperatuurikordaja järgmisest valemist:

$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (II)$$

Mõõtmistulemuste tabel, kui $t = 0°$.

l_1 (*mm*)	l_2 (*mm*)	r (Ω)	$R_0 = \frac{rl_1}{l_2}$ (Ω)
265	235	70	$\frac{70 \cdot 265}{235} \approx 79$
284	216	60	$\frac{60 \cdot 284}{216} \approx 79$
333	167	40	$\frac{40 \cdot 333}{167} \approx 80$
306	194	50	$\frac{50 \cdot 306}{194} \approx 79$
			Keskmine 79 oomi

Mõõtmistulemuste tabel, kui $t = 86{,}5°$.

l_1 (*mm*)	l_2 (*mm*)	r (Ω)	$Rt = \frac{rl_1}{l_2}$ (Ω)
343	157	50	$\frac{50 \cdot 343}{157} \approx 109$
367	133	40	$\frac{40 \cdot 367}{133} \approx 110$
322	178	60	$\frac{60 \cdot 322}{178} \approx 108$
303	197	70	$\frac{70 \cdot 303}{197} \approx 107$
			Keskmine 109 oomi

Nendes tabelites toodud arvudele vastavalt takistuse temperatuurikordaja

$$\alpha = \frac{109 - 79}{79 \cdot 86{,}5} \approx 0{,}0044 \left(\frac{1}{\text{kraad}}\right).$$

Vigade arvutus. Et leida saadud suuruse absoluutse vea ülemmäära, loeme pikkuse mõõtmisel absoluutse vea ülemmääraks $\Delta l = 1$ *mm*, temperatuuri määramisel $\Delta t° = 1°$, takistuskasti takistuse kõrvalekaldumist tõelisest $\Delta r = 0{,}5\ \Omega$.

Vastavalt valemile (I) relatiivse vea ülemmäär takistuse määramisel

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2},$$

mis esimese tabeli esimese rea andmete järgi annab:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{0{,}5}{70} + \frac{1}{265} + \frac{1}{235} \approx 0{,}015.$$

Niisama suur on relatiivse vea ülemmäär ka teise tabeli neljanda rea arvude põhjal.

Siit saame takistuste määramisel absoluutsete vigade ülemmääradeks nende kahe katse põhjal:

$$\Delta R_0 = 79 \cdot 0{,}015 = 1{,}2\ (\Omega);$$

$$\Delta R = 107 \cdot 0{,}015 = 1{,}6\ (\Omega).$$

Kuid takistuse temperatuurikordaja määramisel avaldub relatiivse vea ülemmäär vastavalt valemile (II) järgmiselt:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta R_t + \Delta R_0}{R_t - R_0} + \frac{\Delta R_0}{R_0} + \frac{\Delta t^\circ}{t^\circ},$$

mis arvudega asendamisel annab:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{1{,}6 + 1{,}2}{107 - 79} + \frac{1{,}2}{79} + \frac{2}{86{,}5} \approx 0{,}14$$

Lõppresultaadi absoluutse vea ülemmäär on:

$$\Delta\alpha = 0{,}0014 \cdot 0{,}14 \approx 0{,}0006 \left(\frac{1}{kraad}\right).$$

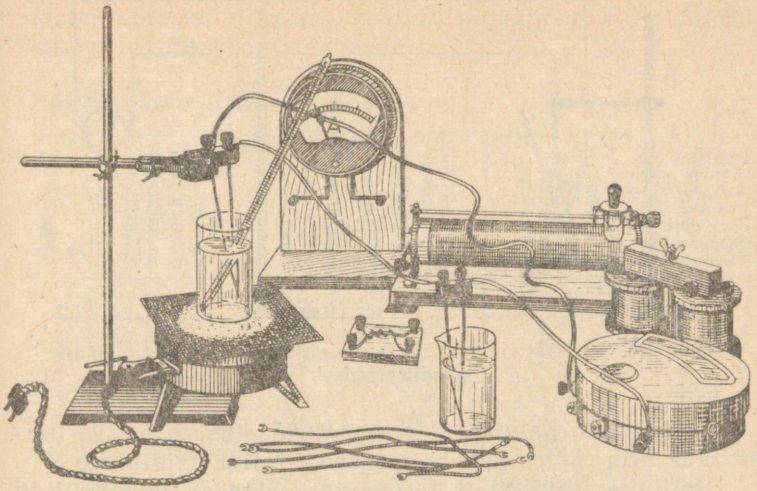
Järelikult

$$\alpha = 0{,}0044 \frac{1}{kraad} \pm 0{,}0006 \frac{1}{kraad}.$$

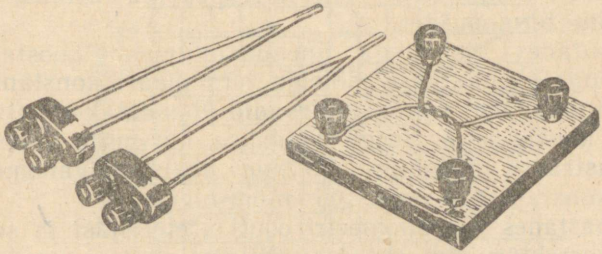
18. Termopaari ja termoristi gradueerimine.

Töövahendid (joon. 92). 1) Termopaarid (termoelemendid) (2 tükki), 2) termorist, 3) galvanomeeter skaalaga, millel on 100 jaotist, tundlikkusega 10^{-4} *V* iga jaotise kohta, 4) ampermeeter *ЭН* skaalaga kuni 5 *A* jaotatud pärast 1 *A* 0,2 *A* tagant, 5) lahtivõetav koolitransformaator, mis madaldab 220 *V*-st kuni 12 *V*-ni, 6) reostaat 12—15 oomile ja voolutugevusele 3—4 *A* liugkontaktiga, 7) keemiline termomeeter —10° kuni +100° kraadijaotistega, 8) laboratoorne statiiv muhviga ja näpitsaga, 9) keemilised klaasid mahuga 250 cm^3 (2 tükki), 10) elektripliit nöörjuhtmega ja kahvelpistikuga või mingi teine soojendaja, 11) traatvõrk asbestiga, 12) ühendusjuhtmed otsikutega (8 tükki).

Tööks on tarvis kahte termopaari ja ühte termoristi. Üsna sobivateks osutuvad termopaarid, mis on valmistatud raud- ja konstantaantraadist diameetriga umbes 2 mm ja asetatud igaüks isoleerivast ainest kahe klemmiga liistu nii, nagu selgub jooniselt 93.



Joon. 92. Töövahendid töö nr. 18 jaoks.

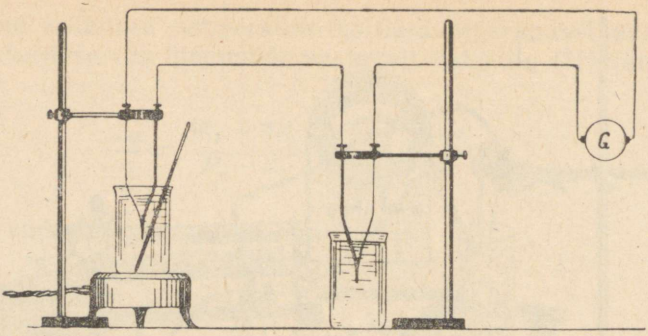


Joon. 93. Kaks termopaari ja termorist.

Termorist valmistatakse samuti raud- ja konstantaantraadist, kuid diameetriga umbes 3 *mm*. Traatide kokkukeeramise koht sulatatakse kokku. Rist monteeritakse vineerist alusele, millel on neli klemmi.

Töö käik. Tööd alatakse termopaari gradueerimisest (kalibreerimisest), milleks koostatakse joonisel 94 skemaatiliselt kujutatud seade.

Keemilistesse klaasidesse kallatakse toatemperatuuriga vett. Üks klaas asetatakse elektripliidile nii, et vahele jääb traatvõrk asbestiga. Teine klaas asetatakse lauale, kaugemale elektripliidist.



Joon. 94. Riistade ühenduse ja paigutuse skeem termopaari gradueerimisel.

Klaasidesse pannakse termopaarid, kusjuures üks termopaar (või mõlemad) asetatakse statiivi näpitsasse.

Statiivile kinnitatud termopaar lastakse elektripliidil asetsevasse klaasi nii, et termopaari jootekoht ei puudutaks klaasi põhja. Koos selle termopaariga lastakse vette keemiline termomeeter.

Kasutades otsikutega ühendusjuhtmeid, koostatakse vooluring; ühendatakse mõlema termopaari konstantaantraadid omavahel, kuid raudtraadid ühendatakse galvanomeetri klemmidega. Seega saadakse, kui mitte arvestada ühendustraate, järgmine kinnine ahel; galvanomeeter, raud, konstantaan, raud, galvanomeeter.

Vabastades galvanomeetri osuti areteerijast ja seades osuti korrektori abil skaala nullile, alatakse gradueerimisega.

Mõõdetakse termomeetriga vee algtemperatuur. Siis lülitatakse vool elektripliidis ja segades vett klaasis jälgitakse temperatuuri järk-järgulist tõusu.

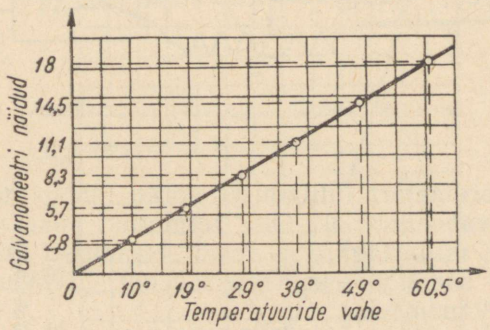
Vee soojendamisel soojeneb ka ühe termopaari jootekoht, ahelas kujuneb ja säilub potentsiaalide vahe, mida saab kindlaks teha galvanomeetriga. Võib juhtuda, et galvanomeetri osuti ei hakka liikuma skaalat mööda, vaid vastassuunas, siis tuleb juhtmed, mis toovad voolu galvanomeetrisse ümber lülitada, s. o. nende kohad tuleb omavahel ära vahetada.

Vee soojenemisel klaasis märgitakse temperatuuri iga 10—20° tagant ja samaaegselt ka galvanomeetri näitu. Peale selle kontrollitakse mitu korda vee temperatuuri esi-

meses klaasis, mis katse jooksul ei soojene. Kõik vaatluse andmed kantakse tabelisse.

Mõõtmistulemuste tabel.

Mõõtmise nr.	Esimese termopaari jootekoha temperatuur	Teise termopaari jootekoha temperatuur	Jootekohtade temperatuuride vahe	Galvanomeetri näidud	Galvanomeetri näidu suurenemine jootekohtade temperatuuride vahe suurenemisel ühe kraadi võrra
1	18,0	18	0	0	—
2	18,0	28	10,0	2,8	0,28
3	18,0	37	19,0	5,7	0,30
4	18,0	47	29,0	8,3	0,29
5	18,0	56	38,0	11,1	0,30
6	18,0	67	49,0	14,5	0,30
7	18,5	79	60,5	18,0	0,30
				Keskmine	0,30



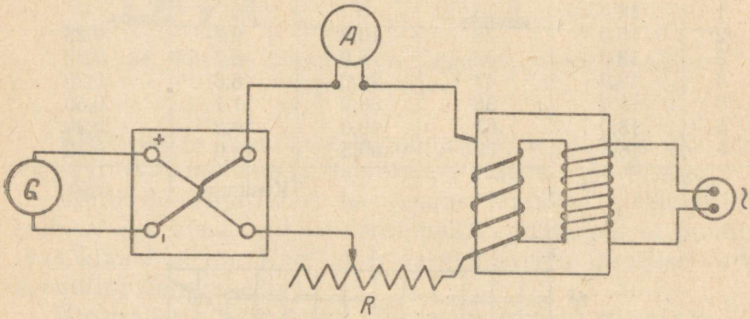
Joon. 95. Termopaaride jootekohtade temperatuuride vahest sõltuva termovoolu pinge graafik.

Saadud katsetulemuste järgi veendutakse, et galvanomeetri näidud (s. o. termoelektrilise voolu pinge) on võrdelised termopaaride temperatuuride vahega. Tehakse graafik termovoolu pinge sõltuvuse kohta jootekohtade temperatuuride vahest (joon. 95).

Peale termopaari gradueerimist minnakse üle termoristi tundmaõppimisele. See kujutab endast riista, mille abil saab rakendada termopaari vahelduvvoolu tugevuse mõõtmiseks galvanomeetri abil.

Koostatakse vooluring vastavalt joonisele (joon. 96). Termoristi ühe paari klemmid ühendatakse juhtmete abil transformaatori sekundaarmähise (12 *V*) klemmidega. Samasse vooluringi lülitatakse termoristiga järjestikku vahelduvvoolu ampermeeter (A) ja liugkontaktiga reostaat (*R*).

Termoristi teise paari klemmid ühendatakse galvanomeetriga (*G*). Transformaatori primaarmähis (220 *V*) ühendatakse valgustusvõrguga.



Joon. 96. Termoristiga vooluringi skeem.

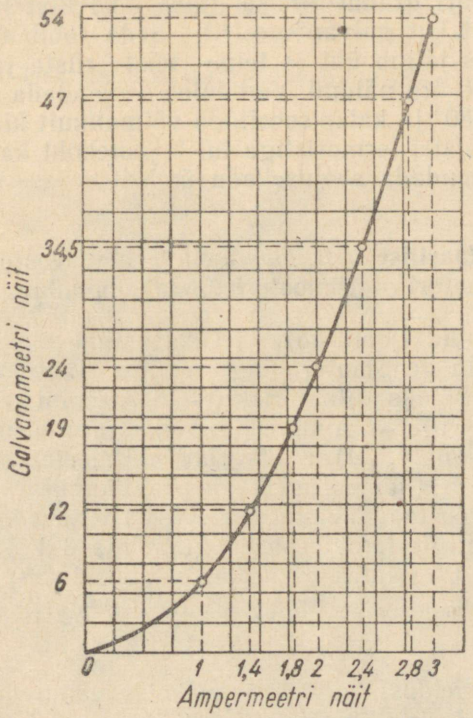
Transformaatori lülitamisel võrku läbib madaldatud pingega vahelduvvool ühe termoristi paari, soojendab jootekohta, mille tagajärjel tekib termoristi teises paaris (millel on sama jootekoht) termovool. Tekkinud pinget näitab galvanomeeter.

Reostaadi liugkontakti nihutamisega suurendatakse järk-järgult 0,2—0,4 ampri võrra termoristi jootekohta soojendavat vahelduvvoolu ja igakord kirjutatakse tabelisse ampermeetri ja vastavad galvanomeetri näidud.

Termovoolu pinge kasvab võrdeliselt termopaari jootekoha temperatuuri tõusuga. Katses termoristiga sõltub ilmselt jootekoha temperatuur soojushulgast, mida eraldab soojendav vool ajaühikus. See soojushulk on omakorda vastavalt Joule-Lenz'i seadusele võrdeline voolutugevuse ruuduga. Järelikult galvanomeetri poolt näidatud termovoolu pinge peab olema selles katses võrdeline ampermeetri poolt näidatud vahelduvvoolu (mis soojendab termoristi jootekohta) tugevuse ruuduga.

Mõõtmistulemuste tabel.

Nr.	Ampermeetri näidud	Galvanomeetri näidud
1	1,0	6,0
2	1,4	12,0
3	1,8	19,0
4	2,0	24,0
5	2,4	34,5
6	2,8	47,0
7	3,0	54,0



Joon. 97. Termovoolu pinge ja termoristi jootekohta soojendava voolu tugevuse vahelise sõltuvuse graafik.

Tabelis toodud arvud veenavad kergesti selles. Kui ampermeetri näidud (teine veerg) tõsta ruutu, siis nende ruutude suhted on väga lähedased vastavatele galvanomeetri näitude suhetele (kolmas veerg), s. o.

$$1 : 1{,}96 : 3{,}24 : 4 : 5{,}76 : 7{,}84 : 9 \approx$$
$$\approx 6 : 12 : 19 : 24 : 34{,}5 : 47 : 54.$$

Tabeli andmetel võib ehitada graafiku termoristi termovoolu pinge sõltuvuse kohta termoristi jootekohta soojendava voolu tugevusest (joon. 97).

Praktilisi märkusi. Selle töö jaoks tuleb võtta pinge suhtes tundlik galvanomeeter, s. o. suhteliselt väikese takistusega.

Termopaari gradueerimisel tuleb ühel ajal jälgida nii termomeetrit kui galvanomeetrit. Seda sobib teha kahel õpilasel, üks jälgib üht ja teine teist riista ja signaali peale märgib ära näidud. Vett tuleb soojendada mitte kõrgemale kui 80° ja katse sooritada võimalikult kiiresti [1].

Katsetamistel termoristiga tuleb jootekoht katta asbestiga, et vähendada soojusekadu ümbritsevasse ruumi.

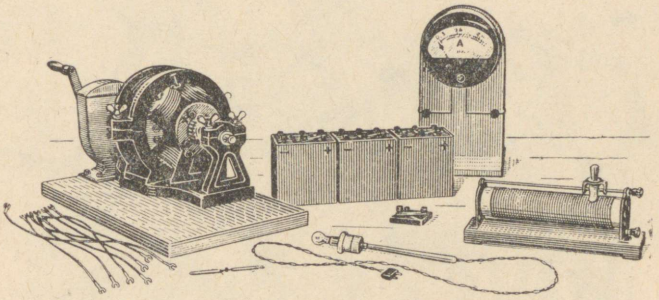
19. Ühefaasilise vahelduvvoolu ja alalisvoolu generaatori ning mootori tundmaõppimine.

Töövahendid (joon. 98). 1) Ühefaasiline vahelduvvoolu ja alalisvoolu generaator ning mootor (lahtivõetav, töötav mudel), 2) akumulaatorid 10—15 *V* (kolm —neli patareid 3-*HKH*-10), 3) alalisvoolu ampermeeter mõõdupiirkonnaga 1 amper, 4) alalisvoolu voltmeeter mõõdupiirkonnaga 25 *V* (ühine riist kogu praktikumile), 5) liugkontaktiga reostaat takistusega 30—40 Ω ja voolutugevusele 3 amprit, 6) lambipesa hõõglambiga 6 *V* 18 *W* koos nöörjuhtmega, 7) lüliti ahela katkestamiseks, 8) demonstratsiooni magnetnõel (ilma aluseta), 9) ühendusjuhtmed (5 tükki).

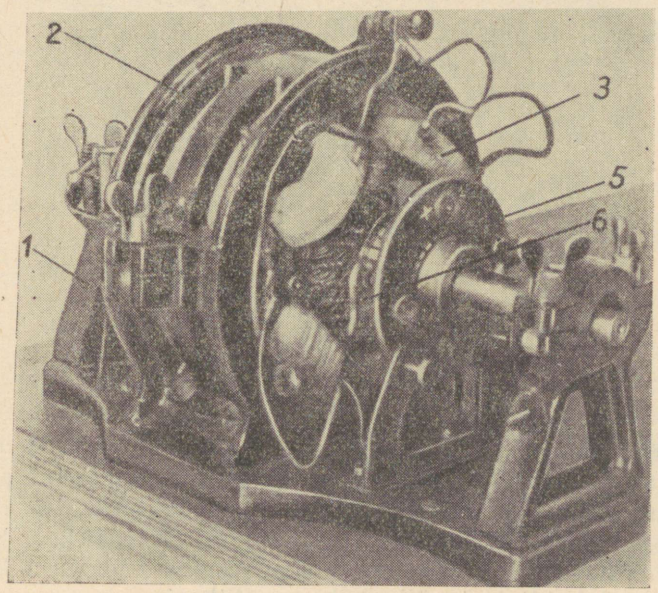
Riista kirjeldus. Alalis- ja vahelduvvoolu generaatori ja elektrimootori lahtivõetav ning töötav mudel (joon. 99-*a*

[1] Termopaari ülemised konktaktid peavad katseajal omama toatemperatuuri, sellepärast ei tule termopaari kaua hoida kuumas vees.

ja 99-*b*) koosneb järgmistest põhilistest osadest: kere *1*, staator *2* nelja ergutusmähisega *3*, rootor-ankur *4* ja reduktor, mis paneb ankru kiiresti pöörlema; reduktorit on hästi näha joonistel 98 ja 100.



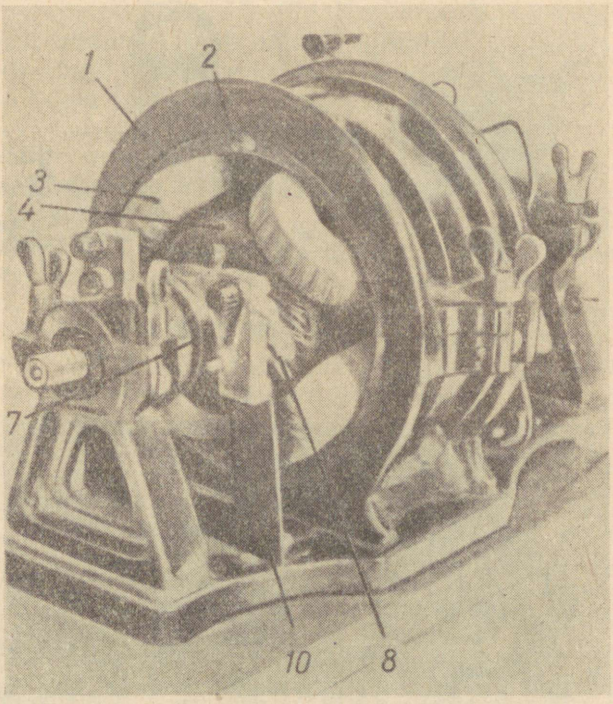
Joon. 98. Töövahendid töö nr. 19 jaoks.



Joon. 99-*a*. Vaade mootor-generaatorile kollektori poolt.

Rootor-ankrul on ühel pool (joon. 99-*a*) kollektor *5*, milleni ulatuvad seibil *6* olevad harjad. Rootoril on teisel-pool kontaktrõngad *7*, mille vastu suruvad harjad *8*.

Kogu seade koos reduktoriga on monteeritud ühisele lauale nagu näidatud joonisel 98.



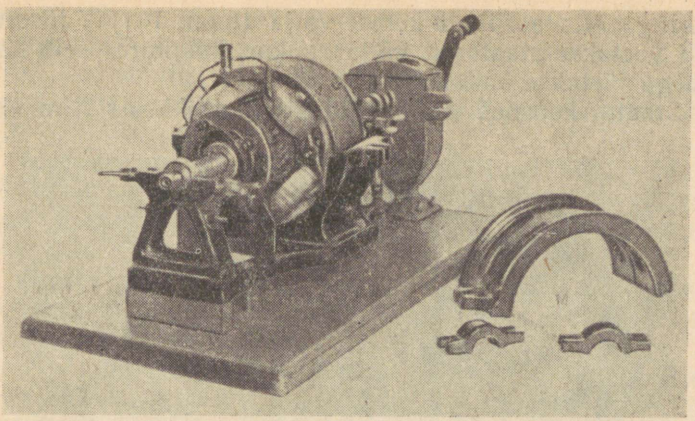
Joon. 99-*b*. Vaade mootor-generaatorile rõngaste poolt.

Riista saab kergesti lahti võtta järgmiselt.

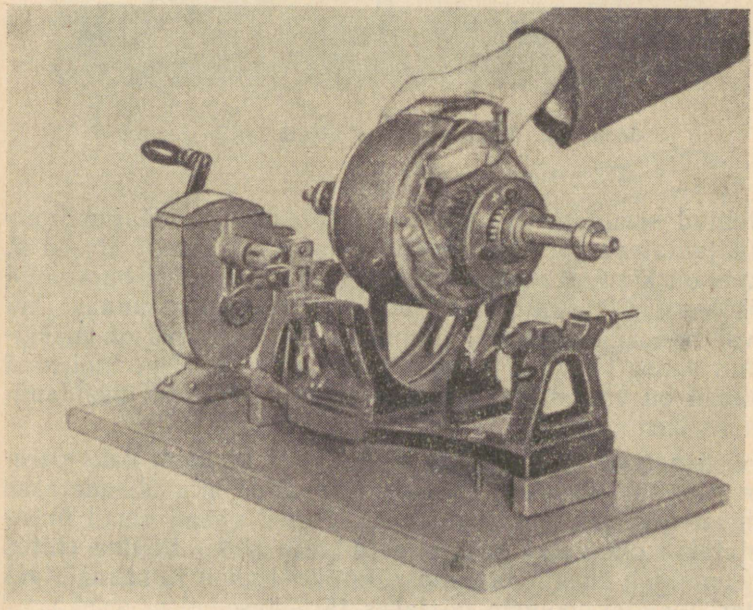
a) Avatakse tiibmutrid ja kõrvaldatakse poldid, siis võetakse ära katted mõlemalt laagrilt ja kere ülemine pool (joon. 100). Edasi eraldatakse ankur reduktorist.

b) Vabastatakse kruvid, mis hoiavad alt seibi koos kollektori harjadega. Võetakse ankru rõngaste poolsest küljest harjahoidjatest välja kaks grafiitharja.

c) Võetakse kinni magnetist ja tõstetakse staator koos



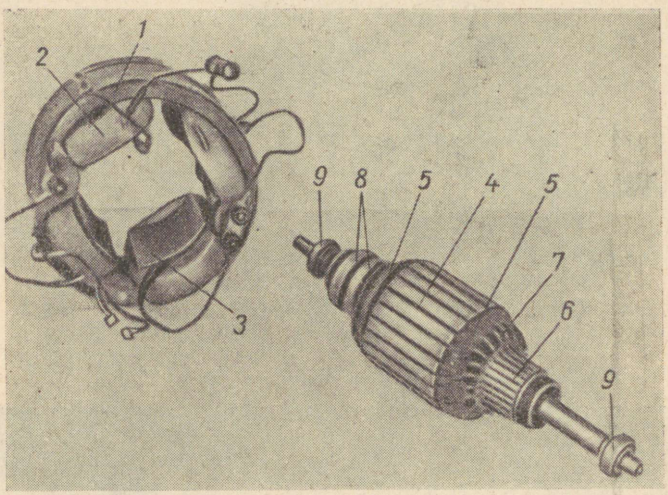
Joon. 100. Mootor-generaator eraldatud kere ülemise osaga.



Joon. 101. Staator koos ankruga võetakse välja mootor-generaatori kerest.

ankruga ettevaatlikult kerest välja (joon. 101). Järgnevalt võetakse staatorist välja ankur, kusjuures seib harjadega jäetakse kollektorile.

Staator koosneb «magnetjuhist» (nn. ikkest) *1*, mis on



Joon. 102. Mootor-generaatori staator ja rootor.

tehtud raudplekist stantsitud plaatidest. «Magnetjuhi» väljaulatuvatele osadele on asetatud ergutusmähised *2*, mis on kinnitatud raudkingadega *3*. Iga mähis on kaetud isoleeritud vaskjuhtmest kellaosuti liikumise suunas (kui vaadata ankru poolt), kusjuures juhtme algus on märgitud sinise värviga ja lõpp punasega. Mähise mõlemad otsad on varustatud konksudega, mis sobivad ühendamiseks klemmidega.

Staatoril on kollektori poolel kolm klemmi: kaks paremal ja üks vasakul. Nende klemmide alla ühendatakse igast mähisest üks juhtme ots. Teised vabad otsad ühendatakse omavahel eriliste poldikeste abil. Selline ehitus võimaldab ühendada mähiseid mitmel viisil ja saada staatori magnetipooluste mistahes järjestus.

Rootor-ankrul (joon. 102) on südamik *4*, mis koosneb joonisel 103 toodud kujuga raudlehtedest. Südamiku pik-

kus on võrdne staatori (magnetjuhi) laiusega, kuid diameeter on 2—3 *mm* võrra väiksem staatori sisemisest diameetrist. Niiviisi jääb pärast riista kokkupanemist staatori kingade ja südamiku vahele 1—1,5 *mm* laiune õhupilu.

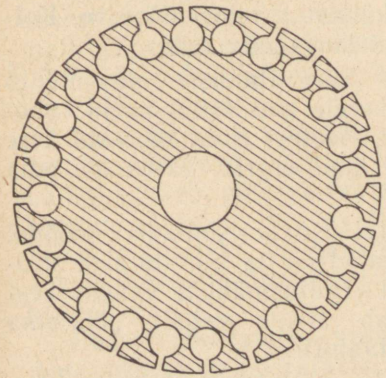
Ankrule on tehtud südamiku moodustaja sihis 24 uuret, mis on üksteisest võrdsetel kaugustel (joon. 102). Uuretesse asetatud isoleeritud vaskjuhe moodustab ankru *5* mähise.

Rootori ühel poolel on kollektor *6*, mis koosneb 24-st üksteisest dielektrikuga isoleeritud vasksektorist. Igale kollektorile on joodetud ankrumähise *7* vastav silmus.

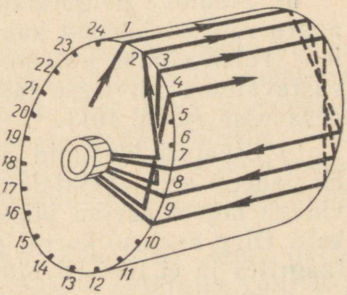
Rootori teisel poolel on kaks kontaktrõngast *8*, millest saab vahelduvvoolu. Rõngad on teineteisest isoleeritud. Rõngastele on joodetud ankrumähise vastavad otsad.

Võll on paigutatud kuullaagritele *9*.

Südamiku mähkimine on toimunud järgmiselt. Jättes väikse otsa vabaks, mähitakse 10 keerdu juhet kellaosuti liikumise suunas südamiku esimesse ja seitsmendasse uurdesse. Pärast seda jäetakse kollektori poolele silmus



Joon. 103. Rootori raudketas.



Joon. 104. Rootori mähkimise skeem.

nii, et seda saab kinnitada kollektori lähema sektori külge. Edasi mähitakse veel 10 keerdu samas suunas, kuid nüüd juba teise ja kaheksandasse uurdesse. Sellele järgnevalt toimub mähkimine 3. ja 9. uurdesse jne. 7. ja 13. uurdesse 10 keeru mähkimisel saab 7. uurdesse juba 20 keerdu.

Mähkimine loetakse lõpetatuks, kui viimased 10 keerdu on paigutatud 24. ja 6. uurdesse. Siis on igas uurdes 20 keerdu ja kollektori poolel on 24 silmust.

Rõngaste poole jäetakse ka silmuseid, üks iga 60 keeru kohta; kokku jäetakse neli silmust üksteise suhtes 90° alla.

Ankru mähkimise viis on skemaatiliselt kujutatud joonisel 104.

Isolaatorist valmistatud seibile on asetatud neli grafiitharja, mida suruvad kollektorile vedrud. Harjad on ühenduses nelja klemmiga (joon. 99-*a*). Harjadega seib kinnitatakse kahe kruviga kahvlile, mis on omakorda kinnitatud kere alusele. Selline ehitus võimaldab asetada harjasid ergutusmähiste suhtes mistahes asendisse.

Rõngastelt vahelduvvoolu võtmiseks on kahvlile *10* asetatud kaks grafiitharja; kahvel on kinnitatud aluse teisele otsale (joon. 99-*b*).

Masina kokkumonteerimine üksikutest osadest toimub järgmiselt:

a) Asetatakse ankur selle võlli otsaga, kus asetsevad rõngad, klemmide poolsest küljest staatori õõnesse. Kollektorile peab olema asetatud harjadega seib.

b) Staator paigutatakse kere alumisse ossa nii, et ankru rõngad jääksid kahe kerele kinnitatud harja poolele. Tuleb silmas pidada, et staatori ribid läheksid kere vastavatesse uuretesse ja, et kuullaagrid satuksid oma pesadesse (joon. 101).

c) Staatori klemmid asetatakse horisontaali mööda. Harjadega seib asetatakse kahvlisse ja kinnitatakse kruvidega nii, et harjad jääksid ergutusmähiste vahede keskele. Õige asetuse korral peab ankur vabalt pöörlema laagrites ja ei tohi riivata staatorit.

d) Kerele ja kuullaagritele asetatakse katted ning poldid ja kinnitatakse tiibmutritega. Kontrollitakse ankru pöörlemise kergust ja ühendatakse ankru telg reduktoriga.

Töö käik. Töö algab masina üldise tutvumisega välimuse järgi. Õpilased, kasutades kirjeldust ja jooniseid, leiavad üles põhilised osad nagu kogu kere, staator, rootor-ankur, kollektor jne. Pärast seda võetakse masin lahti ettenähtud järjekorras ja tutvutakse üksikasjaliselt iga

üksiku osaga. Siis pannakse masin uuesti kokku nii nagu oli kirjeldatud eespool ja kontrollitakse ankru pöörlemise kergust ning sujuvust.

Edasi minnakse üle dünamo ja ühefaasilise vahelduvvoolu generaatori tundmaõppimisele.

1. Ühendatakse staatori klemmide vahel asetsevad ergutusmähiste paarid järjestikku ja mõlemad mähiste grupid omavahel paralleelselt. Seejuures peetakse silmas seda, et poolused mähiste juures vahelduksid.

Mähistesse lastakse akumulaatoritest 3 amprine vool (1,5 amprit igasse harusse). Ahelasse lülitatakse selleks otstarbeks ampermeeter ja liugkontaktiga reostaat; akumulaatori ja reostaadi juhtmed ühendatakse staatori klemmidega (kaks kõrvuti seisvat klemmi ühendatakse omavahel plaadiga). Kontrollitakse mähiste pooluseid magnetnõelaga, asetades üht poolustest uuritava mähise kingade ja ankru vahele.

Ühendatakse omavahel vastasklemmid seibil ja iga harjadepaari juhtmed viiakse elektrilampide 6 *V*, 18 *W* pesade juurde.

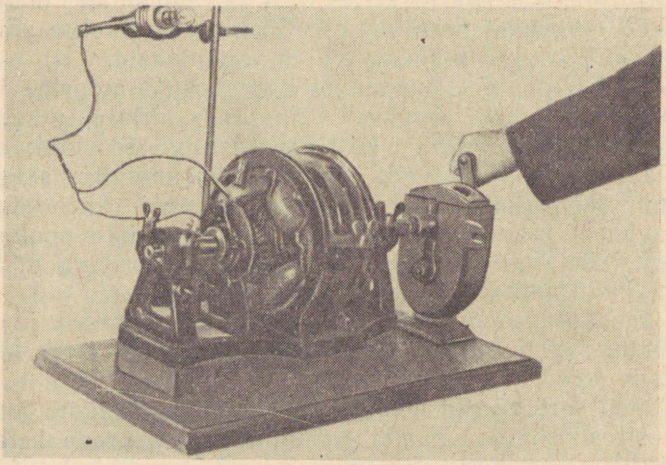
Reduktori käepideme kaudu pannakse dünamo ankur kiiresti pöörlema. Lambi hõõgniit hakkab seda heledamalt hõõguma, mida suurem on pöörete arv. Tehakse kindlaks pöörlemise ligikaudne kiirus, mis on vajalik normaalseks hõõgumiseks.

Nüüd jäetakse pöörlemiskiirus endiseks, kuid vähendatakse reostaadi abil voolutugevust staatori mähistes. Lamp hakkab põlema nõrgemalt. Et saada normaalset hõõgumist, tuleb tunduvalt suurendada pöörete arvu. Tehakse kindlaks, et dünamo elektromotoorne jõud sõltub ankru pöörlemiskiirusest ja voolutugevusest ergutusmähistes.

Edasi vabastatakse kruvid, mis hoiavad kinni harjadega seibi ning pööratakse viimast järk-järgult võlli telje ümber. Tehakse kindlaks, et ankru ühesuguse pöörlemiskiiruse juures on lambi hõõgniidi heledus kõige suurem siis, kui harjad asetsevad ergutusmähiste vahel. Harjade sellest asendist mistahes suunas kõrvale nihutamine toob endaga kaasa hõõgniidi heleduse vähenemise. Kui aga harjad asetsevad mähiste vastas, siis dünamo ei anna üldse voolu. Õpilastel tuleks kontrollida seda nähtust ampermeetri või voltmeetri abil ja anda sellele seletus.

Samuti tuleb lasta kindlaks teha voltmeetri abil harjade poolused.

2. Lülitatakse ankru mähis paralleelselt ergutusmähistega nii, et voolu suund nendes ühtiks suunaga, milles läks vool akumulaatoritest eelmises katses. Juhtmed lam-



Joon. 105. Omaergutusega dünamo.

pidest ühendatakse nii: üks juhe vabale harjadepaarile, teine staatori mähiste vabale otsale.

Akumulaatorid vabastatakse klemmidest, kuid poolustest tulevate juhtmetega ühendatakse ajutiselt ühe ergutusmähise otsad nii, et vool läheks seal samas suunas, kus eelmiseski katses.

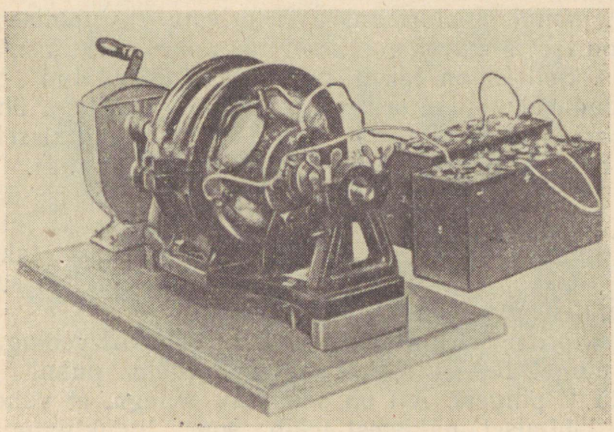
Dünamo ankru pööramisega pannakse lambi hõõgniit helenduma. Pööramist mitte katkestades lülitatakse akumulaatorid täielikult välja. Lamp jätkab põlemist. Nüüd töötab dünamo omaergutusega (joon. 105).[1]

3. Rõngaste juures olevatesse harjahoidjatesse pannakse kaks grafiitplaati. Nende harjade klemmid ühenda-

[1] Selles riistas tuleb staatori ühes ergutusmähises ajutiseks tekitada akumulaatorite vooluga magnetvälja, kuna magnetjuht on valmistatud transformaatorirauast ja ei hoia peaaegu sugugi jääkmagnetismi. Tehnilistes dünamomasinates tehakse staator jääkmagnetismiga rauast ja seal piisab jääkmagnetismist omaergutamiseks.

takse lambi juhtmete otstega. Staatori mähistesse, mis pole ühenduses ankruga, lülitatakse akumulaatorite vool. Reduktori abil pannakse ankur pöörlema. Lambi hõõgniidi paneb helendama välise ergutusega dünamo ühefaasiline vahelduvvool.

Lülitatakse ahelasse ampermeeter või ühendatakse alalisvoolu voltmeeter ja veendutakse näitude puudumises,



Joon. 106. Peavoolumootor.

kuigi lambi hõõgniit täielikult helendab. See tõendab seda, et saadud vool on vahelduvvool.

Pärast seda asutakse alalis- ja ühefaasilise vahelduvvoolu mootorite töötamise tundmaõppimisele.

1. Ühendatakse mootori staatori ergutusmähised samal viisil nagu dünamoski. Kollektori harjade vastasklemmid ühendatakse samuti omavahel. Üks harjadepaar ühendatakse juhtme abil staatori klemmiga, teine paar aga akumulaatorite patarei (15 *V*) ühe poolusega. Patarei teine poolus ühendatakse läbi lüliti staatori vaba klemmiga. Seega on ankru mähis ühendatud järjestikku ergutusmähistega. Sellise ühendusega elektrimootorit nimetatakse peavoolumootoriks (joon. 106).

Vabastatakse ankru telg reduktorist ja lülitatakse vool sisse, mootori ankur hakkab kiiresti pöörlema. Lülitatakse vool välja — mootori ankur jääb seisma. Ühendatakse

mootor reduktoriga. Lülitatakse vool sisse. Mootor paneb liikuma reduktori. Pidurdatakse mootorit reduktori käepidemest ja tuntakse, et on tarvis suurt pingutust mootori seiskamiseks.

Muutes voolu suunda ahelas akumulaatorite pooluste ümbervahetamisega pannakse tähele, et peavoolu ankur ei muuda oma pöörlemise suunda. Selle nähtuse peavad õpilased iseseisvalt seletama.

Et panna mootori ankrut pöörlema vastupidises suunas, on tarvis muuta voolu suunda ankrus ergutusmähiste suhtes. Selleks on tarvis mähistega ühendatud harjad ühendada akumulaatoritega ja akumulaatoritega ühendatud harjad ühendada mähistega. Pärast voolu sisselülitamist hakkab ankur pöörlema vastupidises suunas.

2. Akumulaatorite asemel lülitatakse ahelasse ühefaasiline vahelduvvool pingega 127 *V*. Peale selle lülitakse ringi liugkontaktiga reostaat. Reostaadi väikse takistuse korral hakkab mootor töötama pööreldes samas suunas, mis alalisvoolugi puhul.

Mootori pöörlema panemiseks vahelduvvooluga oli vaja pinget 100—120 *V*, kuna alalisvoolu puhul piisas 12—15 *V* pingest. Asi on seletatav sellega, et vahelduvvoolu läbimisel mähistest tekib suur induktiivne lisatakistus.

20. Transformaatori kasuteguri määramine.

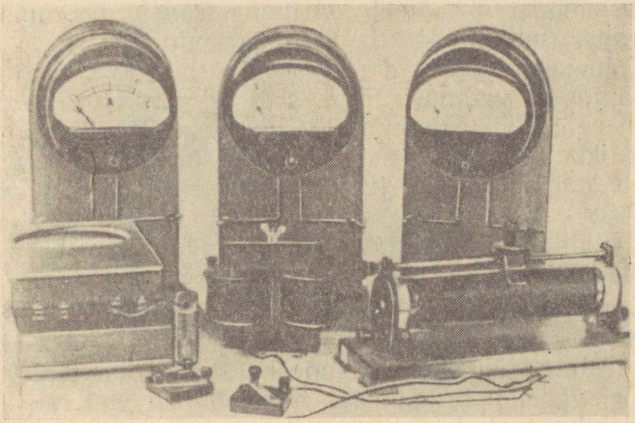
Töövahendid (joon. 107). 1) Koolitransformaator lahtivõetav, 2) ampermeeter *ЭН* mõõdupiirkonnaga 1 amper, 3) ampermeeter *ЭН* mõõdupiirkonnaga 5 amprit, 4) voltmeeter *ЭН* mõõdupiirkonnaga 150 või 250 *V*, 5) oommeeter kuni 20 oomi (ühine riist kõikidele õpilastele, kes teevad seda tööd), 6) liugkontaktiga reostaat 30—40 oomi ja 3 amprit, 7) ühendusjuhtmed (10 tükki), 8) laboratoorsed lülitid vooluringi sulgemiseks (2 tükki).

Kooli lahtivõetav transformaator on üldtuntud riist südamikuga, mis koosneb kahest Г-kujulisest osast ja mida kinnitatakse mutriga varustatud varva abil.

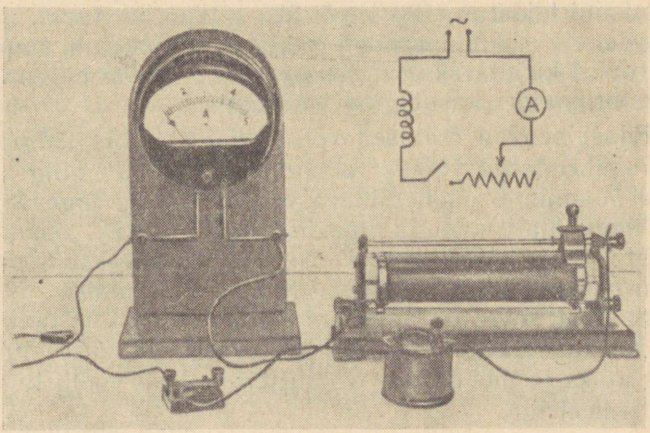
Koolides võib näha kahte liiki transformaatoreid. Varem väljalastud komplektides on mainitud südamik ja kolm pooli: pingele 220 *V*, 120 *V* ja 12 *V*.

Käesoleval ajal toodetavates transformaatorites on ainult kaks pooli. Primaarpool koosneb kahest järjestikusest sektsioonist, tal on kolm otsa ja teda saab kasutada nii 120 *V* kui 220 *V* puhul; sekundaarpoolil on üks sektsioon ja sellelt saab mõlemal juhul 12 *V*.

Mõlemad transformaatorid kõlbavad antud töö jaoks,



Joon. 107. Töövahendid töö nr. 20 jaoks.



Joon. 108. Transformaatori pooli lülitamine vooluvõrku.

siin toodud kirjeldus on koostatud aga uue liigi kohaselt. Transformaatori suurema stabiilsuse huvides asetatakse ta südamikule altpoolt raudosad nii, nagu on näha joonistel 107 ja 109.

Töö käik. Töö koosneb kahest osast: a) raudsüdamiku ja vaskmähise ülesannete uurimine transformeerimisel ja b) transformaatori kasuteguri määramine.

Kõigepealt tutvuvad õpilased lahtivõetava koolitransformaatoriga välimuse järgi. Nad selgitavad välja poolidel olevate tähistuste mõtte. Primaarpoolil, millel on kaks järjestikku ühendatud sektsiooni, on kirjutatud klemmide vahele 220 *V* ja 0,2 *A*, 120 *V* ja 0,5 *A*; sekundaarpoolil — 12 *V* ja 4 *A*. Primaarpool on mähitud suhteliselt peenemast juhtmest. Sekundaarpoolil on keerde vähem, kuid mähise traat on suurema läbimõõduga.

Edasi keeravad õpilased mutri lahti ja lahutavad transformaatori osadeks. Tehakse kindlaks, et südamik on koostatud üksikutest raudosadest. See on tehtud selleks, et vähendada kadusid, mida põhjustavad rauas tekkivad fukoovoolud.

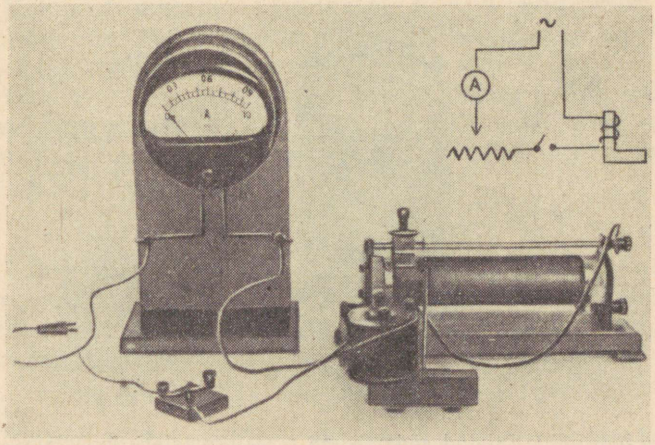
Pärast tutvumist lahtivõetava transformaatori ehitusega mõõdetakse voltmeetri abil võrgu pinget. Pärast seda mõõdetakse oommeetri abil primaarpooli vastava sektsiooni takistus (120 *V* või 220 *V* oma, vastavalt võrgu pingele) ja sekundaarpooli takistus. Mõõdetud suuruste väärtused kirjutatakse vihikusse, sest neid on hiljem vaja transformaatori kasuteguri määramisel.

Edasi peavad õpilased veenduma, et läbi valgustusvõrku ühendatud väikse omainduktsiooniga ning ilma raudsüdamikuta pooli mineva vahelduvvoolu tugevus sõltub nagu alalisvoolugi tugevus, ainult pooli oomilisest takistusest ja võrgu pingest. Selleks koostatakse ahel primaarpoolist, ampermeetrist mõõdupiirkonnaga 5 *A* ja reostaadist, nagu on näidatud joonisel 108. Reostaat lülitatakse täielikult vooluringi, vooluring suletakse lühikeseks ajaks ja mõõdetakse vooluringis oleva voolu tugevus ampermeetriga.

Kui reostaadi takistus on 30 oomi, pooli takistus 10 oomi ja võrgu pinge 120 *V*, siis ampermeetri näit on

võrdne pinge- ning pooli ja reostaadi takistuste summa suhtega, s. o. 3 amprit.[1]

Sellist voolutugevust kannatab primaarpool hästi kui lülitatakse vool sisse lühemaks ajaks (3—5 *sek*). On ilmne, et primaarpooli vahetul valgustusvõrku lülitamisel,



Joon. 109. Poole südamikuga transformaatori pooli lülitamine elektrivõrku.

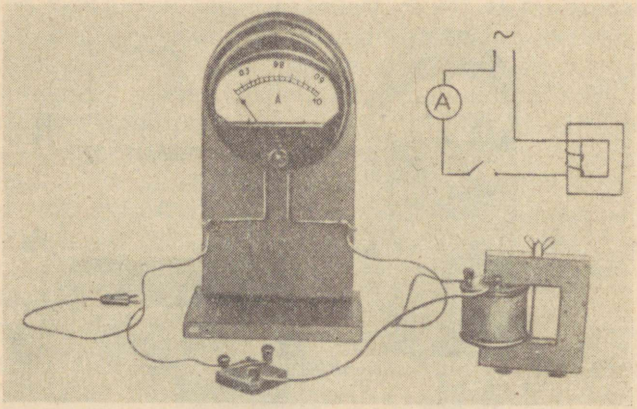
(s. o. ilma reostaadita) on voolutugevus märksa suurem lubatust ja pool võib läbi põleda. Kui näiteks pooli takistus on 10 oomi, võrgu pinge aga 120 *V*, siis voolutugevus on umbes 12 amprit, lubatud voolutugevus vastavalt märkidele on aga 0,5 amprit.

Edasi lülitatakse vool sisse ja asetatakse poolisse pool raudsüdamikku nagu on näidatud joonisel 109. Ampermeetri osuti on päris skaala alguses ja näitab ligikaudu 1 *A*. Voolutugevuse täpsemaks mõõtmiseks ahelas asendatakse ampermeeter sellise mõõduriistaga, mille mõõdupiirkond on amper. Teine mõõtmine näitab, et pooli asetatud raudsüdamik suurendab tunduvalt pooli takistust. 3-ampriline voolutugevus (ilma raudsüdamikuta) väheneb 0,7—0,8 amprini, kui asetada pooli pool transformaatori raudsüdamikust.

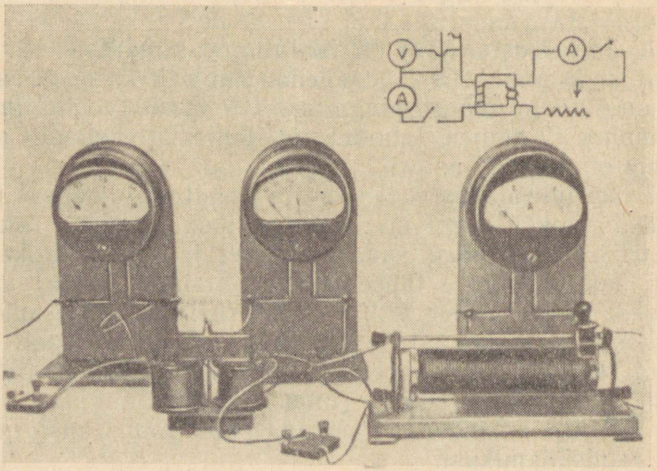
[1] Peetakse silmas, et ilma rauata pooli omainduktsioon on väike ja selletõttu arvutamistes seda kusagil arvesse ei võeta.

Kui võtta terve südamik, nagu näidatud joonisel 110, siis pooli takistus vahelduvvoolule kasvab veel suuremaks, pooli oomiline takistus seejuures muidugi ei muutu.

Nüüd võib reostaadi täielikult välja lülitada, sest voolutugevus ei ületa 0,3—0,4 amprit.



Joon. 110. Suletud südamikuga transformaatori pooli lülitamine elektrivõrku.



Joon. 111. Transformaatori kasuteguri uurimise seade.

Joonisel 110 antud skeemi tundmaõppimisel on vaja juhtida tähelepanu sellele, et sellises vooluringis kulub elektrienergia pooli oomilise ja induktiivtakistuse ületamiseks. Induktiivtakistust on tunduvalt suurendanud raudsüdamik.

Kui pooli oomiline takistus on R, siis pooli poolt igas sekundis tarvitatud elektrienergia hulk on ilmselt $I \cdot U$, kus I on voolutugevus ja U on ahela pinge.

Üks osa sellest energiast, mis on võrdne I^2R, kulutatakse pooli soojendamiseks, kuna teine osa W_r läheb südamiku paljukordseks ümbermagnetiseerimiseks, s. o. rauaskadudeks. Need kaod

$$W_r = IU - I^2R.$$

Lahtivõetava koolitransformaatori primaarpooli takistuse mõõtmisel, mis oli lülitatud joonise 110 skeemi järgi, saadi näiteks järgmised andmed: $R = 13\ \Omega$, $I = 0{,}28\ A$ ja $U = 115\ V$. Siit

$$W_r = 0{,}28 \cdot 115 - 0{,}28^2 \cdot 13 = 31{,}2\ (W)^1.$$

Sellise lülituse juures nimetatakse voolu koormamata transformaatori (tühijooksu) vooluks, s. o. lahtise sekundaarpooliga vooluks.

Viimases võib kergesti veenduda, kui eelmises katses (joon. 110) asetada omale kohale lahtine sekundaarpool. Ampermeetri näidud ei muutu.

Sellega lõpeb töö esimene osa.

Töö teine osa on seotud transformaatori kasuteguri määramisega lubatava koormuse maksimumi juures, mis on vastavas kooskõlas sekundaarpoolil olevale tähistusele (4 amprilisele voolule).

Koostatakse joonisel 111 näidatud seade. Lülitatakse see võrku ja reostaadi liugkonktakti nihutamisega saadakse sekundaarpoolis 4 ampriline vool. Samal ajal jälgitakse ampermeetri ja voltmeetri näitusid transformaatori primaarpoolis. Kirjutatakse üles saadud andmed, näiteks:

võrgu pinge . . . . . $U = 115\ V$
voolutugevus primaarahelas . . . $I = 0{,}77\ A$
voolutugevus sekundaarahelas . . . $i = 4\ A$.

[1] Need kaod muutuvad vähe sekundaarpooli koormuse muutudes; seepärast võib neid suurema veata lugeda konstantseteks.

Varem olid mõõdetud ja arvutatud järgmised suurused:

primaarpooli takistus . . . . . $R = 13\ \Omega$
sekundaarpooli takistus . . . . . $r = 0{,}3\ \Omega$
võimsuse kadu rauas . . . . . $W_r = 31{,}2\ W$.

Transformaatori poolt kasutatud võimsus on IU; kaod transformaatoris on:

$$W_r + I^2R + i^2r,$$

kus I^2R ja i^2r on primaarpooli ja sekundaarpooli soojuskaod.

Seega on transformaatori kasulik võimsus:

$$IU - (W_r + I^2R + i^2r)$$

ja

$$\text{kasutegur } \eta = \frac{IU - W_r - I^2R - i^2r}{IU},$$

või

$$\eta = \frac{115 \cdot 0{,}77 - 31{,}2 - 0{,}77^2 \cdot 13 - 4^2 \cdot 0{,}3}{0{,}77 \cdot 115} = 55{,}2\%.$$

Järelikult sekundaarpooli 4 A suuruse koormuse puhul on lahtivõetava, 120 V pingel töötava koolitransformaatori kasutegur 55,2% [1].

Kui õpilastel on kasutada rohkem aega, siis võib määrata transformaatori kasutegurit sekundaarpooli mitmesuguste koormuste puhul. Töö jätkamine ei vaja siin enam mingeid uusi seadmeid. Kasutatakse juba koostatud vooluringi (joon. 111) tuleb vaid üles kirjutada ampermeetri näidud primaar- ja sekundaarpoolis, kui reostaadi abil muudetakse voolutugevust.

Samas töös, millest olid võetud arvulised andmed eelmise näite jaoks, saadi järgmised andmed:

$$U = 115\ V,\quad R = 13\ \Omega,\quad r = 0{,}3\ \Omega.$$

i	I
1	0,37
2	0,48
3	0,63
4	0,77
5[1]	0,9

[1] Töös kasutati ampermeetrit mõõdupiirkonnaga 5 A. Suurema mõõdupiirkonnaga ampermeetri puhul võib veenduda, et otsese ühenduse korral kõigub sekundaarpoolis voolutugevus sõltuvalt võrgu pingest, 7—8 ampri piires.

Arvutamise tulemused osutusid järgmisteks:

$$\eta_1 = \frac{115 \cdot 0{,}37 - 31{,}2 - 0{,}37^2 \cdot 13 - 1^2 \cdot 0{,}3}{115 \cdot 0{,}37} = 19{,}4\%$$

$$\eta_2 = \frac{115 \cdot 0{,}48 - 31{,}2 - 0{,}48^2 \cdot 13 - 2^2 \cdot 0{,}3}{0{,}48 \cdot 115} = 35{,}8\%$$

$$\eta_3 = \frac{115 \cdot 0{,}63 - 31{,}2 - 0{,}63^2 \cdot 13 - 3^2 \cdot 0{,}3}{0{,}63 \cdot 115} = 46{,}3\%$$

$$\eta_4 = \frac{115 \cdot 0{,}77 - 31{,}2 - 0{,}77^2 \cdot 13 - 4^2 \cdot 0{,}3}{0{,}77 \cdot 115} = 55{,}2\%$$

$$\eta_5 = \frac{115 \cdot 0{,}9 - 31{,}2 - 0{,}9^2 \cdot 13 - 5^2 \cdot 0{,}3}{0{,}9 \cdot 115} = 52{,}3\%$$

Saadud arvulistest väärtustest nähtub, et transformaatori kasutegur muutub sõltuvalt koormusest: alguses kasvab kuni teatud väärtuseni, siis aga hakkas langema.

Transformaatori kasuteguril on suurim väärtus koormuse puhul, millele ta on ette nähtud.

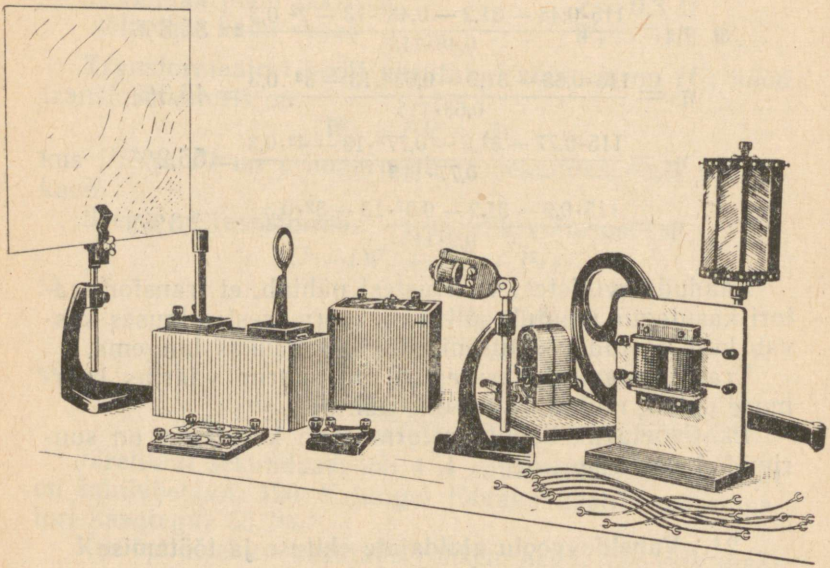
Lahtivõetava koolitransformaatori kasutegur on suurim 4 *A* voolu korral.

21. Vahelduvvoolu alaldajate ehituse ja töötamise tundmaõppimine.

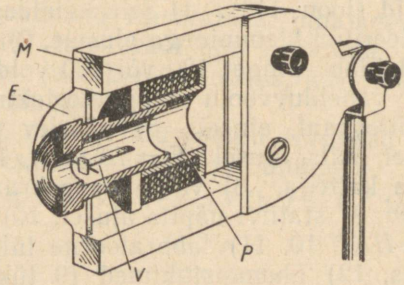
Töövahendid (joon. 112). 1) Seleenalaldaja neljast elemendist, monteeritud klemmidega alusele, 2) transformaator, mis madaldab pinget 120 või 220 voldist 4 voldini, 3) alalis- ja vahelduvvoolu magnetoelektriline masin, 4) kooli ostsillograaf, alusel, 5) pöörlev peegelprisma, 6) kaksikkumer lääts, alusel ($F = 70$ *mm*), 7) taskulambi pirn, alusel ja kattega, 8) valge pappekraan suurusega 20 *cm* $\times$ 30 *cm*, 9) statiivi näpits alusel, 10) akumulaatorite patarei 3-*HKH*-10, 11) laboratoorne lüliti vooluringi katkestamiseks, 12) ühendusjuhtmed (9 tükki), 13) leht tihedat paberit suurusega 10 *cm* $\times$ 15 *cm*, 14) risttahukakujuline alus läätsele ja lambile.

Käesoleva töö põhiliseks ülesandeks on lihtsaima ostsillograafi abil vaadelda vahelduvvoolu ahelas mitmesuguste alaldajate alaldamistegevust ja vahetult tutvuda nende ehitusega. Peale selle saavad õpilased töö sooritamise jooksul suhteliselt keerukate optiliste süsteemide

käsitsemiskogemusi ja tutvuvad laialt levinud ostsillograafilise meetodiga perioodiliste nähtuste tundmaõppimiseks.



Joon. 112. Töövahendid töö nr. 21 jaoks.



Joon. 113. Kooli ostsillograafi läbilõige.

Kooli ostsillograaf (joon. 113) koosneb hobuserauakujulisest terasmagnetist *M*, mille pooluste vahele on asetatud pool *P*. Läbi eboniitkaanes *E* oleva ümmarguse ava on pooli asetatud eboniitkapsli (kaitsetoru) sees vibraator *V*. Vibraator ise kujutab endast raudplaati, mille otsa

külge kinnitatud väike peegel. See plaat on kinnitatud teljele, mida hoiavad otstest peenikesed elastsed kummitükid.

Kui ostsillograafi poolis voolu ei ole, siis vibraatori raudplaat asetseb pooli telje sihis. Kui aga pooli läbib vool, siis pooli magnetväli magnetiseerib plaadi ja permanentmagnetivälja mõjul pöördub see niipalju, kui lubab kummi elastsus. Voolu suuna kiire muutumine poolis põhjustab plaadi võnkumise sama sagedusega. Koos plaadiga võngub ka peegel, mis peegeldab temale juhitud kiirtekimpu. Peeglilt peegeldunud kiirtekimp suundub edasi pöörlevale peegelprismale ja sellelt peegeldudes kirjutab ekraanile voolu võnkumise kõvera.

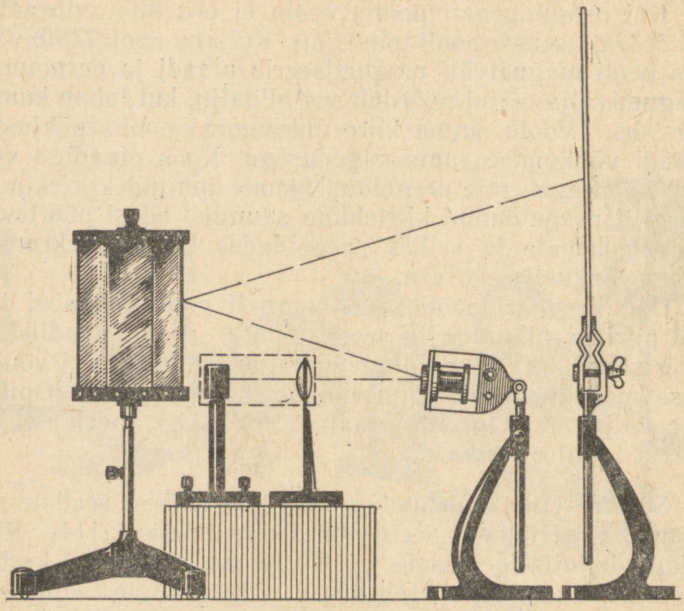
Ostsillograafi pooli saab magneti pooluste vahel teatud piirides nihutada ja seega muuta riista tundlikkust ning saada antud voolutugevuse juures vibraatori võnkumise maksimaalset või minimaalset amplituudi. Õpilastele väljaantava ostsillograafi tundlikkus peab olema varem reguleeritud.

Seadme ettevalmistamine. Ostsillograafilise seadme ratsionaalseim riistade asetus on antud joonisel 114. Risttahuka-kujulisele alusele või 8—10 *cm* kõrgusega karbile asetatakse teineteise lähedusse ühesugusele kõrgusele alustel asetsevad lamp ja lääts. Lamp paigutatakse sellisesse asendisse, et tema hõõgniidist kõige väiksem osa oleks pööratud läätse poole ning asetatakse siis lambile kate piluga samuti läätse poole. Siis asetatakse ostsillograaf nii, et selle peegel asetseks läätse optilisel peatelje ja et läätse läbinud kiirtekimp peeglit heledasti valgustaks.

Pärast seda kaetakse lamp ja lääts (nad on selles seadmes valgustajad) silindrikujuliselt kokkukeeratud ühise läbipaistmatu paberilehega. Edasi seatakse peegelprisma lambile võimalikult lähemale ja ostsillograafi taha paigutatakse statiivi näpitsasse kinnitatud valge ekraan (joon. 114). Lamp ühendatakse akumulaatorite patareiga ja lülitatakse vool sisse.

Peegelprisma üks tahk asetatakse läätse optilise peatelje suhtes perpendikulaarselt ja pööratakse ostsillograafi pead veidi ülespoole. Siis ostsillograafi peeglist peegeldunud kiirtekimp, minnes üle läätse, langeb peegel-

prisma tahule ja sellelt peegeldudes satub ligikaudu ekraani keskele, nagu seda on näidatud punktiirjoonega joonisel 114.



Joon. 114. Seade ostsillogrammi vaatlemiseks.

Kui hele täpp on ekraani äärel või kaob peegelprisma pööramisel, siis tuleb õige asendi saamiseks ostsillograafi veidi pöörata ja nihutada. Kõik selle seadme ülejäänud riistad peavad jääma sellesse asendisse, millest oli jutt eespool.

Kirjeldatud tingimustes kujutab hele täpp ekraanil endast lambi hõõgniidi suurendatud tõelist kujutist. Ta ei saa olla täiesti terav, vaid projekteerub ekraanile laialivalgununa, heleda täpina. Kõige paremaks ja õigemaks tuleb lugeda riistade asendeid siis, kui see täpp on kõige väiksem ja heledam.

Kui seade on koostatud küllalt korralikult, siis peegelprisma pööramisel tekib heleda täpi asemel hele riba, mis on selgesti nähtav p i m e n d a t u d ruumis.

Enne kui asuda katsete ja vaatluste juurde, tuleb ekraanile joonestada pliiatsiga heleda täpi liikumise trajektoor, mis hiljem on abstsissteljeks.

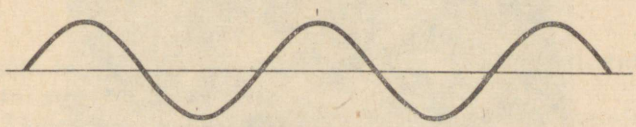
Töö käik.

1. *Valgustusvõrgu vahelduvvoolu kõvera saamine.* Selle katse jaoks kõlbab iga transformaator, mis madaldab võrgu pinget kuni 4 voldini. Siin võib kasutada elektrikõlisti transformaatorit või lahtivõetavat koolitransformaatorit.

Transformaatori primaarpooli otsad ühendatakse valgustusvõrguga ja sekundaarpooli (madala pingega mähise) otsad vahetult ostsillograafi klemmidega. Kui nüüd lülitada lamp, siis ei teki ekraanil heledat täppi, nagu varem, vaid vertikaalne hele riba. See osutab sellele, et ostsillograafi peegel ja sellega koos ka hele täpp võnguvad vertikaaltasapinnas [1]. Peegelprisma pöörlemisel tekib ekraanil kõverjoon, mis annab kujutluse valgustusvõrgu voolu iseloomust. Kõver on korrapärase sinusoidi kujuline (joon. 115).

2. *Poolperioodi alaldamine.* Valgustusvõrgu vahelduvvoolu võib alaldada spetsiaalsete riistade — alaldajate — abil, millel on omadus lasta voolu läbi ainult ühes suunas. Kõige sobivam ja kõige rohkem levinud on seleenalaldaja. Selle alaldaja elemendiks on raudseib, millel on ühel poolel seleenikiht. Sellele kihile on asetatud elektrit juhtiv metallkiht, millele surutakse vetruv valgevasest kontaktseib. Niisugune element juhib voolu, kui valgevaskseib on ühendatud vooluallika positiivse poolusega ja ei juhi peaaegu üldse vastupidises suunas.

Selles ja järgmistes katsetes kasutatakse neljast paneelile kinnitatud, Graetz'i skeemi järgi omavahel ühendatud



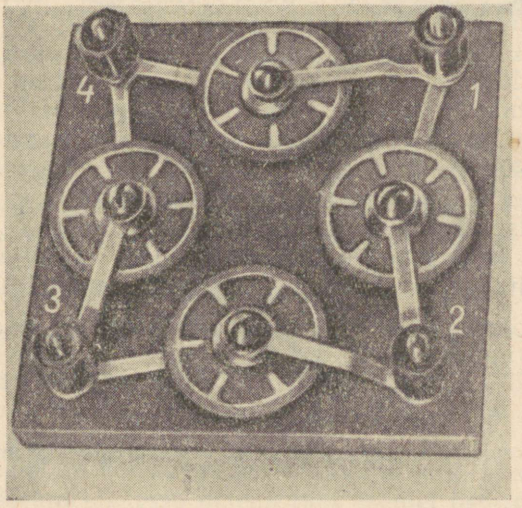
Joon. 115. Sinusoidaalse vahelduvvoolu ostsillogramm.

[1] Riba ekraanile võib tekkida ka kaldu, siis on tarvis pöörata pesas ostsillograafi kapslit, kuni on saavutatud vertikaalne asend.

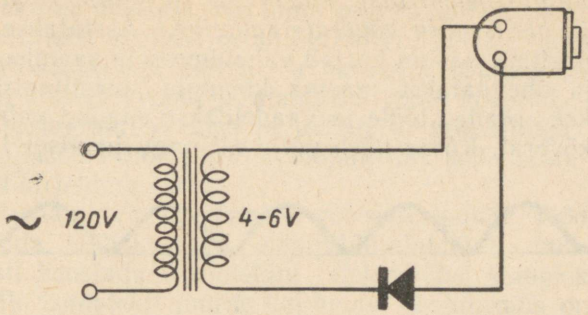
ja klemmidega varustatud elemendist koosnevat seleen-alaldajat.

Numbritega *1* ja *3* märgitud klemmid on vahelduvvoolu ühendamiseks. Klemmidest *2* ja *4* saadakse alaldatud voolu. Katse tegemisel ühendatakse alaldaja klemmide *2* ja *4* abil järjestikku ostsillograafiga ja transformaatori madalapingelise mähisega (joon. 117). Seega on niisugusel juhul alaldajas ühendatud kaks paralleelset gruppi, milledest igaüks koosneb kahest elemendist ja laseb voolu läbi ainult ühes suunas. Kui ostsillograaf tööle panna, võib ekraanil näha joonisel 118 kujutatud kõverat.

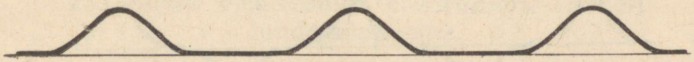
3. *Täisperioodi alaldamine.* Kui joonisel 119 kujutatud skeemi järgi jälgida esimese poolperioodi jooksul voolu suunda (täisnooled) ja siis teise poolperioodi jooksul (punktiirnooled), siis on kerge näha, et klemmide *2* ja *4* vahelises juhtmes voolu suund ei muutu. Nimetatud lõigus osutub vool pulseerivaks, kuid suunalt alaliseks, kuna samal ajal ahela teistes osades on vool vahelduva suunaga. Erinevalt eelmisest seadmest annab alaldaja elementide selline ühendamine võimaluse kasutada vahelduvvoolu tema mõlema poolperioodi jooksul, sellepärast



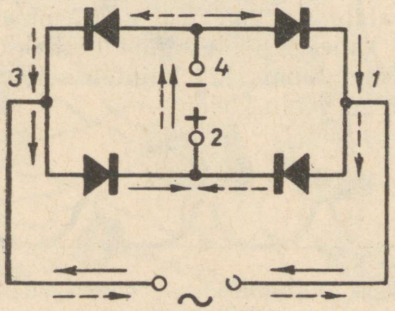
Joon. 116. Neljast elemendist koosnev seleen-alaldaja.



Joon. 117. Ostsillograafi ja alaldaja elektrivõrku ühendamise skeem.



Joon. 118. Pulseeriva voolu ostsillogramm poolperioodi alaldamise puhul.

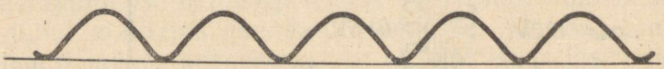


Joon. 119. Täisperioodalaldaja skeem.

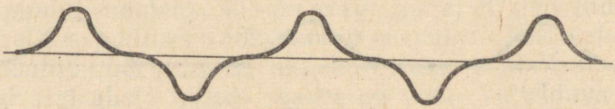
nimetatakse sellist alaldamist täisperioodi alaldamiseks, riista aga täisperioodalaldajaks.

Täisperioodalaldaja kõvera vaatlemiseks ühendatakse transformaatori madalpingelise mähise klemmid alaldaja klemmidega *3* ja *4*, klemmide *1* ja *2* külge ühendatakse aga ostsillograaf. Ekraanil saadakse joonisel 120 kujutatud kõverjoon.

4. *Magnetoelektrilise masinaga toodetava vahelduvvoolu ja alalisvoolu kõverate saamine.* Asetatakse magnetoelektrilise masina harjad vahelduvvoolu saamise asendisse ja ühendatakse masina klemmid ostsillograafiga. Pannakse seade tööle ja vaadeldakse saadud vahelduvvoolu kõverat. Kõver näeb välja nii nagu joonisel 121.

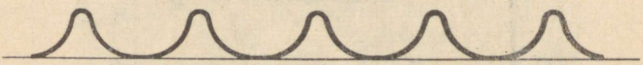


Joon. 120. Pulseeriva voolu ostsillogramm täisperioodi alaldamise korral.



Joon. 121. Kooli magnetoelektrilise masina vahelduvvoolu ostsillogramm.

Kollektori alaldava tegevuse vaatlemiseks asetatakse masina harjad kahele poolrõngale (kollektorile) ja pannakse seade tööle. Joonis 122 kujutab sel juhul ekraanile tekkivat alaldatud voolu kõverat.



Joon. 122. Kooli magnetoelektrilise masina pulseeriva voolu ostsillogramm.

Võrreldes paarikaupa joonistel 115 ja 121 ning 120 ja 122 kujutatud kõveraid, võib märgata, et nad erinevad teineteisest. Joonistel 121 ja 122 on näha, et kooli dünamomasinalt saadud voolu muutumisel puudub sujuvus. Selgub, et kooli dünamomasin pole kaugeltki valgustusvõrku toitva generaatori koopiaks.

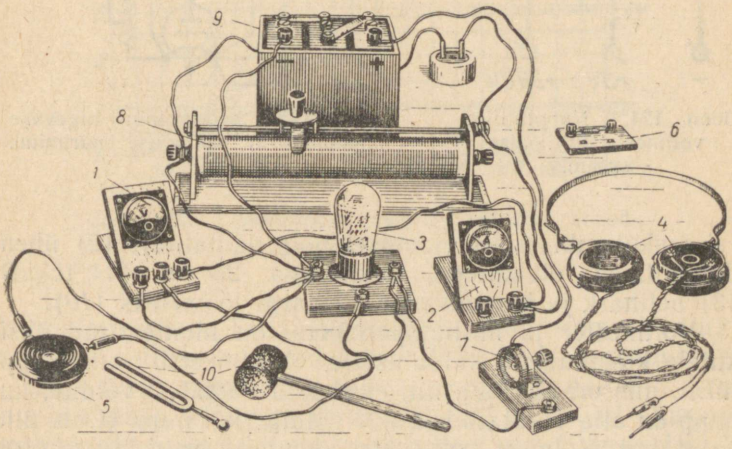
Praktilisi märkusi. Töö lõpul peavad õpilased joonistama skemaatiliselt seadme ostsillograafiga, neljast elemendist täisperioodalaldaja skeemi ja ekraanilt ostsillograafi abil saadud vahelduvvoolu ja alaldatud voolu kõverad.

Ostsillograafi ehituse ja töötamise printsiibiga tutvuvad õpilased esimest korda tööjuhendis selle riista kohta toodud kirjelduse järgi.

Seleenalaldaja puudumisel või soovi puhul tööd veidi laiendada, võib kasutada elektrolüütalaldajat, mida võib kergesti koostada Gorjatškini elektrolüüsi komplekti abil.

Selle komplekti juurde kuuluvas tööjuhendis on antud vajalikud juhised sellise alaldaja koostamiseks ja kasutamiseks.

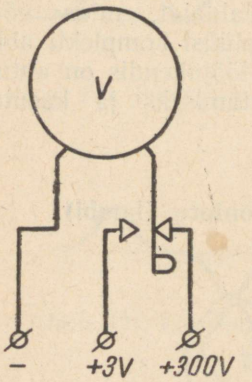
22. Kolme elektroodiga elektrontoru (lambi) tundmaõppimine.



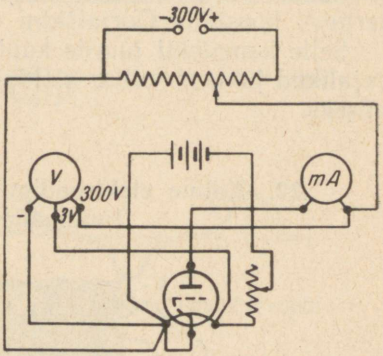
Joon. 123. Töövahendid töö nr. 22 jaoks.

Töövahendid (joon. 123). 1) Voltmeeter *M*-63 mõõdupiirkonnaga 3 *V* ja 300 *V* (*1*), 2) milliampermeeter *M*-61 mõõdupiirkonnaga 15 *mA* (*2*), 3) kolme elektroodiga elektrontoru (triood) УБ-107 nelja klemmiga alusel (*3*), 4) piesoelektrilised peatelefonid (*4*), 5) elektromagneti-

line telefonikapsel kahe telefonipesaga (*5*), 6) takistus 20 000 Ω alusel, kahe klemmiga ja kahe telefonipesaga (*6*), 7) küttereostaat 25 Ω, monteeritud kahe klemmiga alusele (*7*), 8) potentsiomeeter 10 000—15 000 Ω liugkontaktiga (*8*), 9) kenotron täisperioodalaldaja lambiga BO-188 või 5Ц4С, mis annab alaldatud pinge kuni 300 *V* (joonisel pole näidatud), 10) akumulaatorite patarei 3-*НКН*-10 (*9*), 11) neljast kuivelemendist koosnev pata-



Joon. 124. Nupplülitiga voltmeetri lülitamise skeem.



Joon. 125. Anoodvoolu tugevuse anoodpingest sõltuvuse uurimine.

rei taskulambi jaoks (joonisel pole näidatud), 12) ühendusjuhtmed otsikutega, pikkusega 25 *cm* (14 tükki), 13) helihark ja kummivasar helihargi löömiseks (*10*).

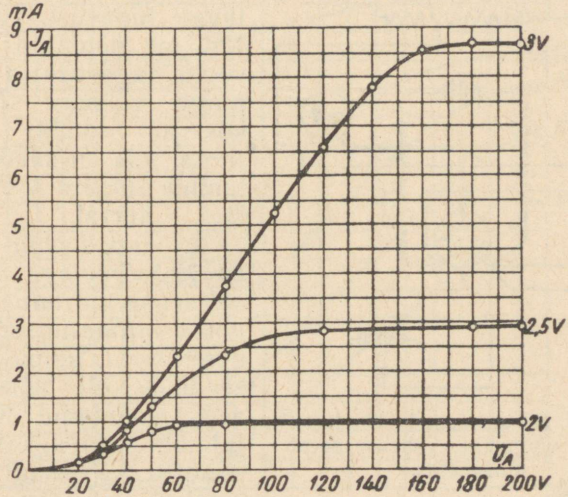
Voltmeeter ja milliampermeeter on monteeritud üksikutele klemmidega kaldalustele. Voltmeetril on nupplüliti, mis on ehitatud nii, et skaala vastab 3 voldile, kui nupp on alla vajutatud ja 300 voldile, kui nupp ei ole alla vajutatud. Kolmest voltmeetri klemmist on esimene üldiseks miinuseks, teine koos esimesega on kuni 3 voldilise pinge mõõtmiseks ja kolmas koos esimesega — kuni 300 voldilise pinge mõõtmiseks (joon. 124).

Potentsiomeeter on mähitud isoleerivale silindrile 0,1 *mm* diameetriga mangaanjuhtmest. Silindri pikkus on 250 *mm* ja diameeter 30 *mm*.

Kenotronalaldaja (joon. 3) on ühiseks riistaks laboratooriumis; ta teenindab üheaegselt mitut töökohta.

Töö käik.

1. *Anoodvoolu tugevuse ja anoodpinge vahelise sõltuvuse uurimine kütteniidi mitmesuguste pingete korral.* Uurimise läbiviimiseks ühendatakse riistad joonisel 125 näidatud skeemi järgi. Küttereostaadi abil antakse lambi kütteniidile pinge 3 *V* (seejuures on vaja vajutada alla



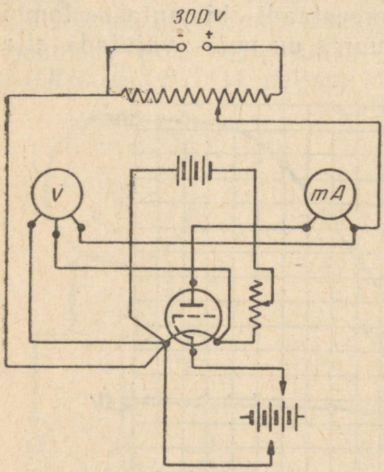
Joon. 126. Anoodvoolu tugevuse sõltuvus anoodpingest.

voltmeetri nupp). Edasi nihutatakse potentsiomeetri liugkontakti, sellega suurendatakse järk-järgult anoodpinget ja jälgitakse voltmeetri ja milliampermeetri näitusid. Seejuures ilmneb, et pinge suurendamisega anoodil kasvab anoodvoolu tugevus, kuid saavutanud anoodpinge 160 *V* juures tugevuse 8,5 *mA*, jääb edaspidi konstantseks, vaatamata sellele, et anoodpinget suurendatakse. Selle katsega tehakse kindlaks küllastusvoolu olemasolu.

Saanud katsest anoodpinge ja anoodvoolu tugevuse maksimaalsed väärtused, võetakse ruudulisel paberil koordinaatvõrk karakteristiku joonestamiseks. Mastaap valitakse nii, et maksimaalsele voolutugevusele vastav ordinaadi pikkus (meie näites 8,6 *mA*) võimalikult vähe eri-

neks maksimaalsele anoodpingele vastavast abstsissi pikkusest (meie näites 200 *V*).

Et saada andmeid graafiku joonestamiseks korratakse katset, mõõtes alguses pinget iga 10 *V* tagant (kuni 60 *V*), siis 60 *V* tagant, pannes iga mõõdetava pinge juures tähele anoodvoolu vastavat tugevust. Joonisel 126 on näidatud anoodvoolu tugevuse ja anoodpinge vahelise sõltuvuse kõverad lambi УБ-107 jaoks, mis on saadud kütteniidi pingete 3 *V*, 2,5 *V* ja 2 *V* korral.



Joon. 127. Skeem anoodvoolu tugevuse ja võrepinge vahelise seose uurimiseks.

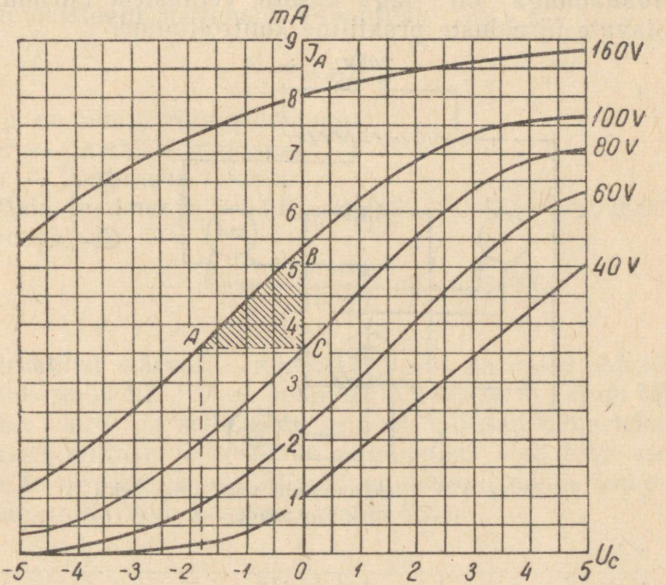
2. *Anoodvoolu tugevuse ja võrepinge vahelise sõltuvuse uurimine anoodvoolu mitmesuguste pingete korral.* Esimese katse seadmes oli võre kogu aeg ühendatud lühikese juhtme abil katoodiga, seetõttu ka tema potentsiaal oli katoodiga võrdne.

Käesolevas uurimises on tarvis muuta võre potentsiaali, sellepärast võetakse seadme koostamisel lühikese juhtme asemel, mis ühendas võret katoodiga, kaks juhet otsikutega ja pistikutega. Peale selle tuleb seadmele täiendavalt lisada neljast järjestikku ühendatud galvaani elemendist koosnev patarei (patarei võib olla mistahes mahtuvusega) (joon. 127). See annab võimaluse saada võrel katoodi suhtes nii positiivset kui negatiivset potentsiaali: 1,5; 3; 4,5 ja 6 *V*.

Samuti nagu esimeses katses, antakse ka siin algul lambi niidile pinge 3 *V*, kasutades selleks küttereostaati ja voltmeetrit. Siis mõõdetakse võrepotentsiaalid eespool näidatud piirides ja mõõdetakse nendele võrepotentsiaalidele vastavad anoodvoolu tugevused mitmesuguste anoodpingete, näiteks 40; 60; 80; 100 ja 160 *V* puhul. Katsest saadud andmetel joonistatakse kõver, mis näitab

anoodvoolu tugevuse sõltuvust võrepotentsiaalist (joon. 128).

Saadud karakteristikute uurimisel selgub, et anoodvoolu tugevuse muutumine suuruse $BC = 1{,}65$ *mA* võrra (joon. 128), võib olla tingitud kahest põhjusest: anood-



Joon. 128. Anoodvoolu tugevuse sõltuvus võrepingest anoodvoolu mitmesugustel pingetel.

pinge muutumisest $100 - 80 = 20$ *V* võrra või võrepotentsiaali muutumisest $AC = 1{,}75$ *V* võrra. Nende andmete põhjal võib arvutada lambi võimendusteguri:

$$\mu = \frac{\Delta U_A}{\Delta U_g} = \frac{20}{1{,}75} = 11{,}5.$$

See tähtis parameeter on võre toime efektiivsuse väljendajaks ja selle tutvustamine õpilastele on tingimata vajalik.

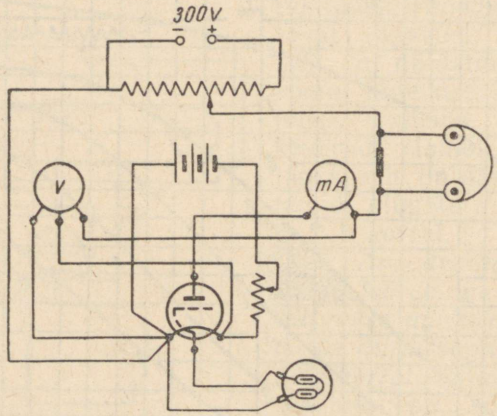
Karakteristiku kolmnurk *ABC* annab võimaluse arvutada soovi korral ka teised lambi parameetrid:

$$R = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A} = \frac{20 \cdot 10^3}{1{,}65} \approx 12\,000\ (\Omega),$$

karakteristiku järskus

$$S = \frac{\Delta I_A}{\Delta U_g} = \frac{1{,}65}{1{,}75} = 0{,}95 \left(\frac{mA}{V}\right).$$

3. *Lambi võimendamisefekti vaatlus.* Töö lõpetamisel raadiolambiga on väga kasulik eelmistest uurimustest tehtavate järelduste praktiline kontrollimine.



Joon. 129. Elektronlambi võimendusefekti uurimise seade.

Lampi kasutatakse võnkumiste võimendajana hääle juures. Hääle allikaks on väike helihark. Mikrofoni asemel kasutatakse telefoni elektromagnetilist kapslit, millest võetakse välja membraan; vahetult kapsliga ühendatakse peatelefoni nöörjuhe ja lähendatakse elektromagneti poolustele helisev helihark. Telefonis on kuulda heli, kuna helihargi terasharud võnkudes pooluste magnetväljas muudavad magnetvoogu poolides ja sellega tekitavad nendes induktsiooni elektromotoorset jõudu ning heli sagedusega elektromotoorne jõud paneb helisema telefoni membraani.

Siis ühendatakse telefoni kapsel lambi katoodiga ja võrega, peatelefon aga reostaadi kaudu anoodahelasse, nagu on näidatud joonisel 129. Kui nüüd uuesti viia helisev helihark elektromagneti pooluste juurde, siis on telefonis kuulda heli, kuid palju tugevamat kui eelmises katses.

Toetudes eelmise uurimise tulemustele, peavad õpilased oskama seda võimendusefekti seletada.

Õpetajal tuleb pidada silmas, et tähelepandud heli võimendamine ei sõltu üksi varem arvutatud lambi võimendusteguri suurusest, vaid ka takistusest. Kaskaadi võimendustegur väljendub valemiga

$$K = \mu \frac{r}{R+r},$$

kus μ on lambi võimendustegur,

R — lambi sisetakistus,

r — koormuse takistus.

Meie seadmes $\mu = 11{,}5$; $R = 12\,000\ \Omega$; $r = 20\,000\ \Omega$.

Seega

$$K = \frac{11{,}5 \cdot 20000}{32000} r = 20\,000\ \Omega.$$

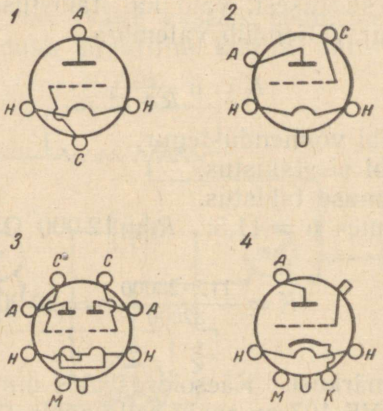
Praktilisi märkusi. Käesolevas töös uurimise objektiks võetud triood УБ-107 on sobiv selle poolest, et tal on läbipaistev kest ja selle tõttu saavad õpilased näha trioodi kogu siseehitust. Selle lambi puudumisel võib teda asendada teiste lampidega. Allpool on toodud nende lampide loetelu, mida võib kasutada selles töös.

Lambi tähistus	Lambi tüüp	Sokli nr.	Küttepinge *v*	Küttevoolu tugevus *mA*	Anoodpinge *v*	Anoodvoolu tugevus *mA*
УБ-107	Otsese küttega triood	1	4	80	160	8,00
УБ-110	Otsese küttega triood	1	4	80	160	3,25
УБ-140	Otsese küttega triood	2	2	120	120	3,50
СО-243	Otsese küttega kaksiktriood	3	2	240	120	6,40
6Ф5М	Kaudse küttega triood	4	63	300	250	1,00

Joonisel 130 on esitatud kasutatavate lampide soklite skeeme, kui soklile vaadata alt.

Loetletud lampidest kahte esimest enam ei valmistata.

Neid võib koolides vahel leiduda ja neid võib sel juhul ära kasutada. Täiesti sobivaks osutub lamp УБ-240; ülejäänud kaks on vähem sobivad. Lamp СО-243 on kaksiktriood, selle töö juures kasutatakse ainult ühte nendest. Nende



Joon. 130. Raadiolampide soklite skeemid.

lampide kestad on kaetud metallkihiga, mida on kasulik ära kraapida, et lambi siseehitus saaks nähtavaks. Lambil 6Ф5М on kaudse küttega katood küttepingega 6,3 *V*, sellepärast tuleb voltmeeter *M*-63 asendada mingi teise sobiva voltmeetriga.

Piesoelektrilist peatelefoni võib asendada elektromagnetilisega. Sel juhul pole vaja koormuse takistust ja alusele jääb ainult kaks klemmi ning kaks pesa elektromagnetilise telefoni lülitamiseks.

Kui puudub kenotronalaldaja või kui puudub koolis vahelduvvool, siis võib anda igale töökohale kaks anoodpatareid, mis on ühendatud järjestikku ja nendega ühendada potentsiomeeter.

Akumulaatorite patareid 3-*HKH*-10 võib asendada kahest või kolmest kuivelemendist koosneva patareiga.

23. Lihtsamate raadiovastuvõtjate koostamine.

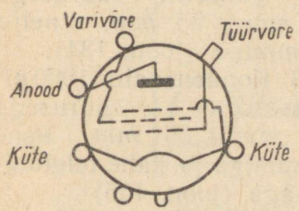
Töövahendid. 1) Osade komplekt raadiovastuvõtja koostamiseks, 2) akumulaatorite patarei 2-*HKH*-10 või

3-*HKH*-10, 3) anoodpatarei, 4) antenn, 5) maandamisvahendid.

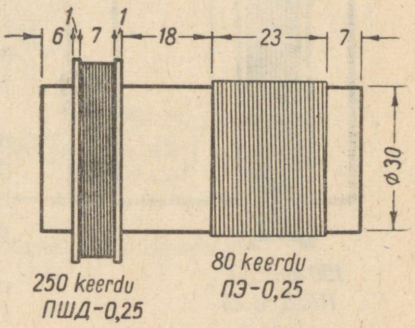
Raadiovastuvõtjate koostamiseks ettenähtud osade komplekt sisaldab järgmised osad (mis on hästi nähtavad joonisel 137 ja joonistel 139; 141 ja 144).

1. Muutuva mahtuvusega (500 *pF*) kahekordsed kondensaatorid, mis on kinnitatud alusele 90 *mm* × 100 *mm*, kolme klemmiga.

2. Kaks kaheksa avaga lambipesa, monteeritud ruudu-



Joon. 131. Lampide 2K2M ja 2Ж2M sokeldus (vaade soklile alt).



Joon. 132. Kontuurpool.

kujulistele paneelidele (65 *mm* × 65 *mm*), nelja klemmiga. Klemmidega on ühendatud lambipesad lampide 2K2M või 2Ж2M soklitele vastavalt (joon. 131).

Lambipesale on klemmide juurde tehtud tähistused: *A* — anood, *E* — varivõre, *K* — küte.

3. Kaks kontuurpooli ruudukujulistel paneelidel (65 *mm* × 65 *mm*), nelja klemmiga. Iga pool koosneb kahest eri mähisest — kesklaine (200—500 *m* laine jaoks) ja pikalaine (750—2000 *m* laine jaoks) mähisest, mis on mähitud ühisele silindrilisele pappkarkassile.

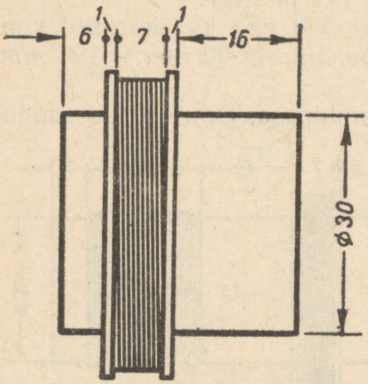
Kesklaine mähis mähitakse tihedalt, keerd keeru kõrvale ja ühes kihis, pikalaine pool mähitakse aga pealistikku (kahjuliku mahtuvuse vähendamiseks). Kontuurpool kõikide vajalike mõõdetega ja andmetega on toodud joonisel 132.

4. Tagasiside pool ristkülikukujulisel paneelil (65 *mm* × 32 *mm*), kahe klemmiga. Pool on mähitud silindrilisele karkassile nii nagu on näidatud joonisel 133.

5. Mistahes süsteemi detektor paneelil (65 *mm* ×

× 32 *mm*); paneel peab olema kahe pesaga detektori jaoks ja kahe klemmiga ahelasse lülitamiseks.

6. Küttereostaat takistusega umbes 25 Ω, paneelil suurusega 65 *mm* × 65 *mm*, kahe klemmiga.



Joon. 133. Tagasiside pool.

7. Kaks takistust, üks umbes 500 000 Ω ja teine 200 000 Ω kondensaator 1000—2000 *pF*, monteeritud paneelile suurusega 65 *mm* × 65 *mm*, nelja klemmiga (joon. 134).

8. Kondensaator 1000 *pF* paneelil suurusega 32 *mm* × 65 *mm*, kahe klemmiga ja kahe telefonipesaga (joon. 135)[1].

9. «Gridlik», mis koosneb paralleelselt ühendatud takistusest 1—2 megaoomi ja kondensaatorist umbes 200 *pF* paneelil suurusega 16 *mm* × 65 *mm*, kahe klemmiga (joon. 136).

10. Kondensaator 1000 *pF* paneelil suurusega 16 *mm* × 65 *mm*, kahe klemmiga.

11. Lamp 2К2М või 2Ж2М (2 tükki).

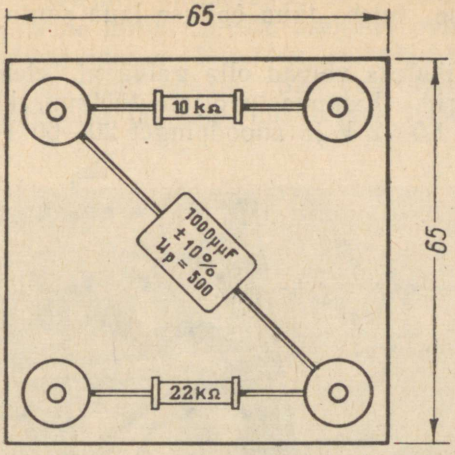
12. Piesoelektrilised või elektromagnetilised peatelefonid (üks või kaks paari).

13. Komplekt ühendusjuhtmeid: 5 juhet à 40 *cm* klemmialuste otsikutega vooluallika ja maandusklemmi ühendamiseks ning 17 juhet à 20 *cm* muude ühenduste jaoks. Kaks nendest peavad olema näpitskruviga ühes otsas lambi kestal asetseva mütsikesega ühendamiseks.

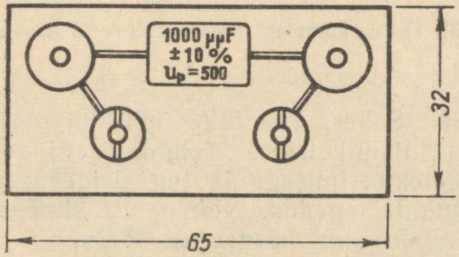
Paneelid, milledele on monteeritud osad, on valitud nii, et kogu komplekt mahuks kompaktselt vineerkasti sisemise suurusega 270 *mm* × 250 *mm* × 90 *mm* (joon. 137).

Õpilase töökoht peab olema varustatud antenniga (toaantenn, kui raadiojaam on lähedal) ja maandusega,

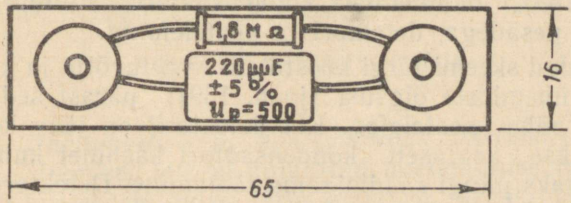
[1] Kui kasutatakse piesoelektrilist telefoni, siis on tarvis kondensaator asendada takistusega 20 000 Ω.



Joon. 134. Takistuste plokk kondensaatoriga.



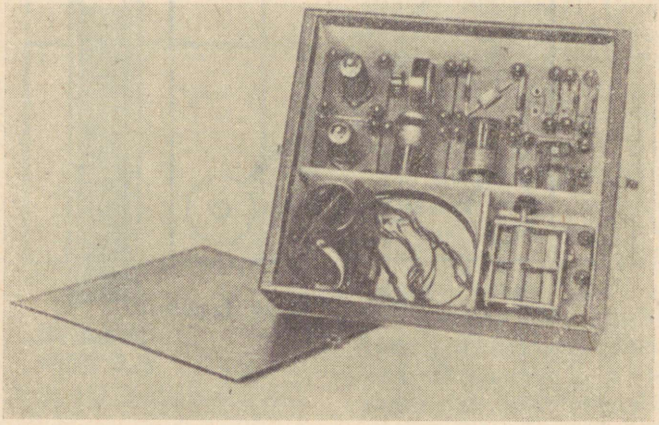
Joon. 135. Telefoni blokeeriv kondensaator.



Joon. 136. Gridlik.

millest juhe tuleb tuua õpilase laua serva all olevale klemmile.

Vooluallikateks võivad olla galvaani elemendid või akumulaatorid. Lampvastuvõtjate töötamiseks vajatakse küttepinget 1,5—2 *V* ja anoodpinget 20—60 *V*.



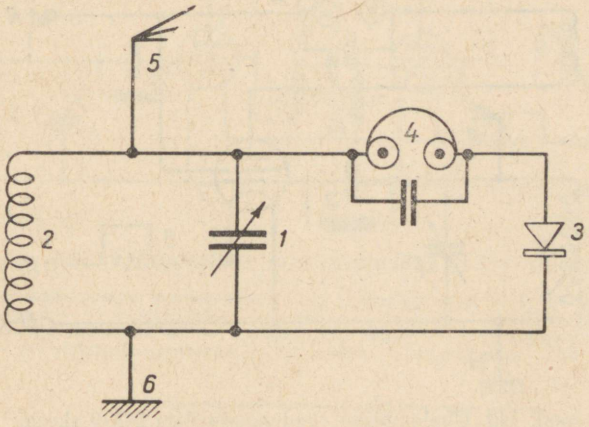
Joon. 137. Osade komplekt raadiovastuvõtja koostamiseks.

Töö käik. Selles töös tuleb õpilastel koostada valmis detailidest printsipiaalsete skeemide järgi detektorvastuvõtja, võredetekteerimisega ja tagasisidega ühelambiline vastuvõtja, madalsageduse võimendusastmega kahelambiline vastuvõtja ning kõrgsageduse võimendusastmega kahelambiline vastuvõtja. Koostatud riistadega võtta ühendus lähema raadiojaamaga.

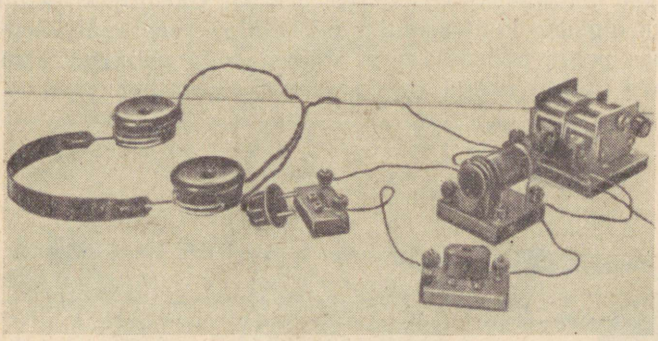
1. *Detektorvastuvõtja koostamine.* Detektorvastuvõtja koostamiseks saavad õpilased printsipiaalse skeemi (joon. 138), muudetava kondensaatori, kontuurpoolid, paneeli pesadega, detektori ja peatelefonid.

Saadud skeemi järgi koostatakse vastuvõtja ja kontrollitakse ühenduste õigsust (joon. 139); pärast seda pannakse pähe peatelefon. Kui detektoril on jääv kontakt, pööratakse aeglaselt kondensaatori käepidet kuni saab kuuldavaks mingi raadiojaama töötamine. Detektori kasutamisel, mis nõuab tundliku punkti otsimist, asetatakse

vedru teravik kristalli mitmesugustele kohtadele kondensaatori käepideme mitmesuguste asendite puhul ja kui saab kuuldavaks jaama töötamine, seatakse see kondensaatori abil täpsemalt kohale. Siis vahetatakse pooli ja seatakse vastuvõtja jaamale, mis töötab teisel lainealal.



Joon. 138. Detektorvastuvõtja skeem:
muudetava mahtuvusega kondensaator — *1*; võnkeringi pool — *2*; detektor — *3*; telefon — *4*; antenn — *5*; maandus — *6*.

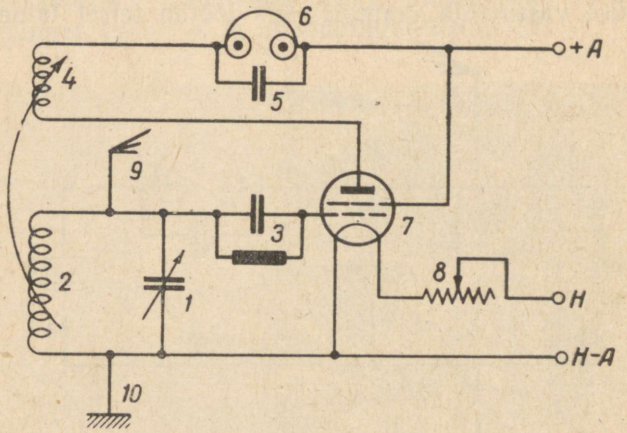


Joon. 139. Detektorvastuvõtja.

2. *Ühelambilise ja kahelambilise vastuvõtja koostamine.* Joonisel 140 on kujutatud ühelambilise regeneraatori 0-*V*-0 skeem, mille järgi õpilased koostavad vastu-

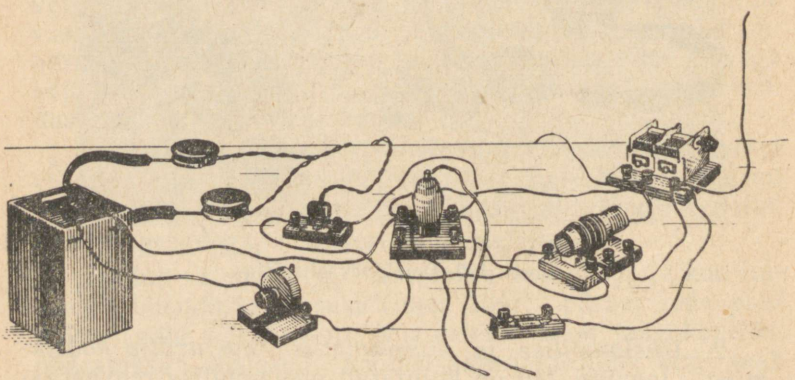
võtja. Joonisel 141 on vastuvõtja kujutatud koostatud kujul.

Asudes koostamisele seatakse küttereostaadi liugkontakt maksimaalsele takistusele ja tagasiside pool ase-

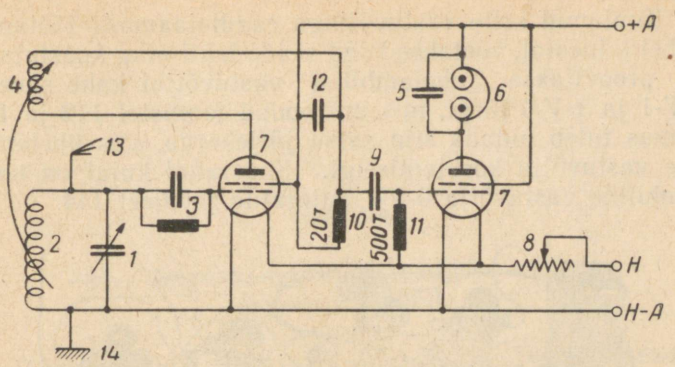


Joon. 140. Ühelambilise raadiovastuvõtja 0-*V*-0 skeem:
muudetava mahtuvusega kondensaator — *1*; võnkeringi pool — *2*; gridlik — *3*; tagasisidepool — *4*; kondensaator — *5*; telefon — *6*; lamp — *7*; küttereostaat — *8*; antenn — *9*; maandus — *10*.

tatakse kontuurpoolist eemale. Pärast koostamist ja ühenduste õigsuse kontrollimist pööratakse reostaadi käepidet umbes poole pöörde võrra. Pärast seda pööratakse muudetava mahtuvusega kondensaatori käepidet seni kuni

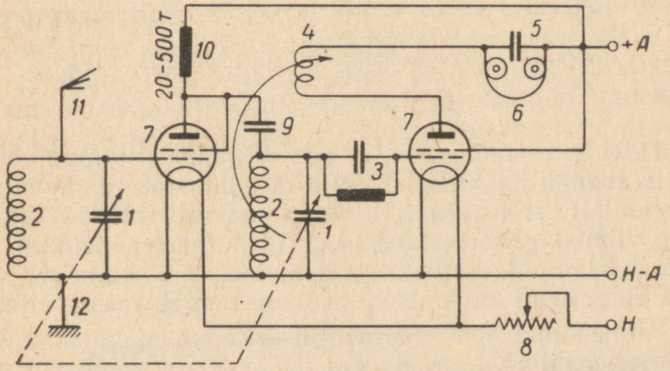


Joon. 141. Ühelambiline raadiovastuvõtja 0-*V*-0.



Joon. 142. Kahelambilise raadiovastuvõtja 0-*V*-1 skeem:

muudetava mahtuvusega kondensaator — *1*; võnkeringi pool — *2*; gridlik — *3*; tagasiside pool — *4*; kondensaator — *5*; telefon — *6*; lamp — *7*; küttereostaat — *8*; kondensaator 1000—2000 *nF* — *9*; takistus — 20000 Ω — *10*; takistus 0,5 MΩ — *11*; sidestuskondensaator — *12*; antenn — *13*; maandus — *14*.

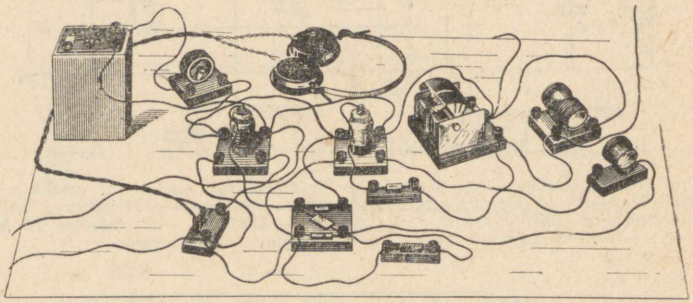


Joon. 143. Kahelambilise raadiovastuvõtja 1-*V*-0 skeem:

muudetava mahtuvusega kondensaatorite plokk — *1*; võnkeringi pool — *2*; gridlik — *3*; tagasiside pool — *4*; kondensaator — *5*; telefon — *6*; lamp — *7*; küttereostaat — *8*; sidestuskondensaator 1000 *pF* — *9*; takistus 20000—500000 Ω — *10*; antenn — *11*; maandus — *12*.

saab kuuldavaks mõni töötav raadiojaam. Edasi lähendatakse tagasiside pool kontuurpoolile. Kui selle juures tekib genereerimine (vile ja hääle moonutamine), siis tähendab see seda, et tagasiside pool on lülitatud õigesti. Kui genereerimist ei teki, siis tulevad juhtmed tagasiside pooli klemmidel ära vahetada.

Kuulanud selle vastuvõtjaga raadiojaamade töötamist kahel lainealal, võetakse kogu seade lahti ning koostatakse ja proovitakse kahelambilist vastuvõtjat kahe skeemi: 0-*V*-1 ja 1-*V*-0 järgi, mis on toodud joonistel 142 ja 143; silmas tuleb pidada siin sama järjekorda, mis ühelambilise vastuvõtja koostamiselgi. Koostatud kujul on kahelambiline vastuvõtja 0-*V*-1 kujutatud joonisel 144.



Joon. 144. Kahelambiline raadiovastuvõtja 0-*V*-1.

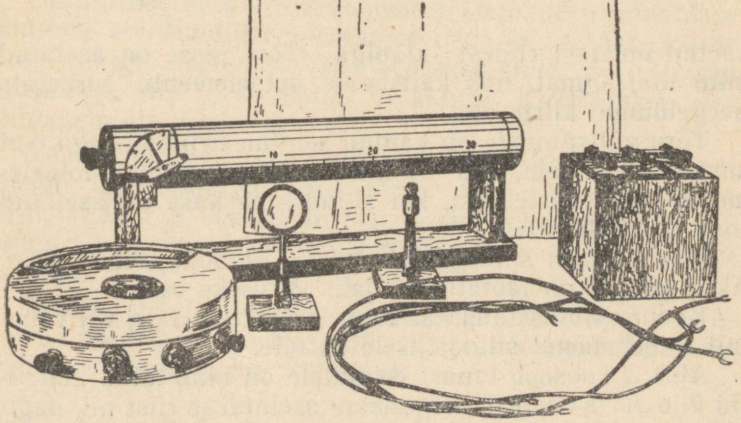
Tuleb arvestada seda, et genereerimiseni viidud vastuvõtja saadab ise kiirgust välja ja põhjustab raadiohäireid (segamisi), sellepärast tuleb võimalikult vältida tagasiside viimist genereerimiseni. Tuleb tähelepanelikult jälgida, et lampide küttepinge ei ületaks 2 *V*, kuna see võib viia emissiooni kadumisele ja lamp langeb reast välja.

Siin toodud neli vastuvõtja skeemi on lihtsaimateks raadioskeemideks. Seejuures on nad aga kõige keerukamad kõikidest elektrilistest skeemidest, millega keskkooli õpilaste rõhuval enamusel tuleb keskkooli kursuses tegemist teha. Sellepärast tuleb lugeda täiesti ratsionaalseks printsipiaalsete raadioskeemide kasutamine vastuvõtja koostamisel valmis detailidest, seda enam, et kirjeldatud töö ei ole määratud ainult raadioharrastajaile, vaid kogu klassile; seda ei korraldata mitte ringi töö korras, vaid ta kuulub kohustuslikku praktikumi. Eeldatakse, et juba enne praktikumi, teema «Elektromagnetilised võnkumised ja lained» käsitlemisel, tutvuksid õpilased raadiosaate ja vastuvõtu füüsikaliste alustega.

24. Valgustustugevuse seaduste uurimine fotoelemendi abil.

Töövahendid (joon. 145). Valgustustugevuse seaduste uurimise riist koos üksiku elektrilambi (3,5 *V*; 0,28 *A*) ja koondava läätsega alustel ($F = 15$ *cm*, diameeter 3,5 *cm*), 2) galvanomeeter, skaalaga, millel on 100 jaotust, tundlikkusega $n \times 10^{-6} A$ (Leningradi füüsika instituudi tüüp «φ»), 3) akumulaatorite patarei 3-*HKH*-10, 4) tükk pappi suurusega 25 *cm* × 30 *cm*, valge pinnaga, 5) ühendusjuhtmed otsikutega (4 tükki).

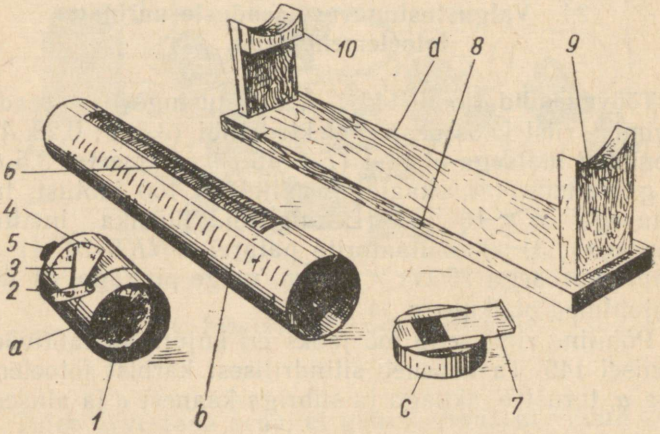
Põhiline riist selle töö jaoks on kujutatud lahtivõetult joonisel 146. Ta koosneb silindrilisest karbist fotoelemendiga *a*, torust *b*, aknaga ja siibriga kaanest *c* ja alusest *d*.



Joon. 145. Töövahendid töö nr. 24 jaoks.

Silindrilises karbis *a* on seleen- või väävlishõbe-fotoelement *1*, mis võib pöörelda telje *2* ümber. Pöörlemistelg ühtib fotoelemendi aktiivse pinna diameetriga. Telje otsas on käepide-osuti *3*, mis liigub nurgamõõtjat *4* mööda ja näitab fotoelemendi tasapinna kallet toru ristlõike tasapinna suhtes. Fotoelemendi klemmid on ühendatud painduvate ja isoleeritud juhtmete abil karbile kinnitatud välisklemmidega *5*.

Mõlemast otsast lahtisel torul *b* on pikipilu *6*. Pilu on



Joon. 146. Valgustustugevuse seaduste uurimise riista osad.

kaetud mustast riidest klapiga. Toru sisse on asetatud mitu diafragmat, mis kaitsevad fotoelementi tarbetute peegeldunud kiirte eest.

Toru välispinnale on kantud sentimeetrijaotustega 0-st kuni 30-ni skaala, kus skaala nullkriips ühtub fotoelemendi pöörlemisteljega, kui silindriline karp on asetatud toru vasakule otsale.

Kaanel *c* on siibriga *7* suletav ruudukujuline aken. Akna kõrgus on jaotatud neljaks võrdseks osaks.

Kaant võib asetada kas toru paremale otsale, või vahetult fotoelemendi silindrilisele karbile.

Alus *d* koosneb lauast *8*, millele on kinnitatud kandurid *9* ja *10*. Kandurite nõgudesse asetatakse riist nii, nagu seda on näidatud joonisel 145.

Üks nõgu on teisest laiem, sellele võib paigutada silindrilise karbi *a* koos kaanega *e*, s. o. ilma toruta *b*.

Toru, kaane, karbi jne., sisemised pinnad on kaetud musta mattvärviga.

Alusega elektrilamp paigutatakse pilu kaudu toru sisemusse niimoodi, et lambi hõõgniit asuks silindri teljel. Lampi võib nihutada piki pilu torule märgitud skaala ulatuses.

Kui katse juures on tarvis paralleelsete valguskiirte kimpu, siis viiakse läbi pilu toru sisemusse 150 *mm* fookuse kaugusega lääts. Lääts paigutatakse torusse nii, et läätse optiline peatelg langeks ühte toru teljega, ning et lääts asuks skaala kümnenda jaotuse kohal.

Töö käik.

1. *Fotovoolu tugevuse ja valgustustugevuse vahelise seose uurimine.* Fotoelement karbis *a* paigutatakse nii, et nurgamõõtja osuti asuks nulljaotusel (fotoelement on risti toru teljega). Karbi külge kinnitatakse siibriga kaas. Nii koostatud seade paigutatakse alusele nii, nagu on näidatud joonisel 147.

Kitsa nõoga kanduri vastu asetatakse peegeldav pappekraan, mis peab olema ühtlaselt valgustatud (ilma varjudeta) ja pööratud oma valge ning valgustatud pinnaga siibriga kaane poole.

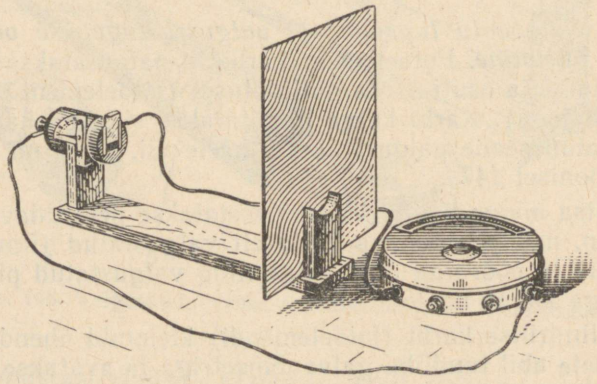
Silindrilise karbi (fotoelemendi) klemmid ühendatakse juhtmete abil tundliku galvanomeetriga ja avatakse kaane aken esialgu täielikult. Siis avatakse siiber nii, et oleks avatud $^3/_4$, siis $^1/_2$ ja lõpuks $^1/_4$ aknast. Kirjutatakse üles galvanomeetri igakordne näit.

Tabelis toodud arvud on saadud töötamisel Leningradi füüsika instituudi galvanomeetriga «φ», mille tundlikkus oli $0{,}22 \cdot 10^{-6}$ *A*. Katset korrati (vaata tabelis I, II ja III veergu) peegeldava ekraani mitmesuguste valgustustugevustega.

Saadud tulemustest on selgesti näha, et fotovoolu tugevus on võrdeline fotoelemendile langeva valgusvooga. Nii saame esimese seadme katsetest:

$$13{,}5 : 6{,}5 \approx 1 : \frac{1}{2};\quad 10 : 3{,}5 \approx 3 : 1;\quad 13{,}4 : 10 \approx 1 : \frac{3}{4} \text{ jne.}$$

Mõõtmise nr.	Akna avatud osa	Galvanomeetri näidud		
		I	II	III
1	1	13,5	17,0	21,0
2	$\frac{3}{4}$	10,0	12,5	15,5
3	$\frac{1}{2}$	6,5	8,5	11,0
4	$\frac{1}{4}$	3,5	4,0	5,0



Joon. 147. Valgustustugevuse ja valgusvoo vahelise sõltuvuse uurimine.

2. *Valgustustugevuse sõltuvus valgusallika kaugusest.* Koostatakse seade, vastavalt joonisele 148. Selleks kaetakse algul toru vasakult karbiga, milles on fotoelement, ja paremalt kaanega, millel on siibriga aken; torule, karbile ja kaanele tehtud märgid seatakse kohastikku.

Asetatakse fotoelement riista teljega risti (osuti on nurgamõõtja skaala nullil). Siis asetatakse läbi pilu riista sisse alusel olev elektrilamp, ühendatakse see vooluallikaga ning antakse talle normaalne heledus.

Nihutades lampi piki toru ja vältides parallaksi vigu,

seatakse algul lamp 10. jaotuskriipsu kohale, siis 20. jaotuskriipsu ja lõpuks 30. jaotuskriipsu kohale.

Lambi iga asendi korral kirjutatakse tabelisse galvanomeetri näidud ja nendele näitudele vastavad lambi asendid riista skaala järgi.

Mõõtmistulemuste tabel.

Nr.	Lambi kaugus fotoelemendist *cm*	Galvanomeetri näidud
1	10	68,5
2	20	17,3
3	30	8,0
4	24	12,0
5	17	23,5

Saadud tabeli viimase veeru andmetest arvutatakse mitmesuguste juhtude jaoks fotoelemendi valgustustugevuste suhted

$$\frac{68,5}{17,3} = 3,96;\ \frac{68,5}{8} = 8,56;\ \frac{17,3}{8} = 2,16;\ \frac{68,5}{12} = 5,7 \text{ jne.}$$

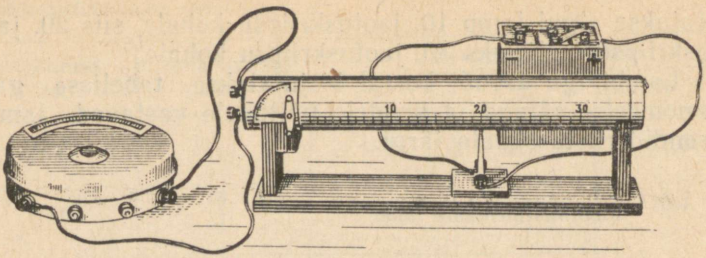
ja tehakse kindlaks, et need suhted on tõepoolest väga lähedased lambi ja fotoelemendi omavaheliste kauguste ruutude pöördsuhetele.

$$\frac{400}{100} = 4;\ \frac{900}{100} = 9;\ \frac{900}{400} = 2,25;\ \frac{576}{100} = 5,76 \text{ jne.}$$

3. *Ekraani valgustustugevuse sõltuvus kiirte kaldenurgast.* Riist koostatakse samuti kui eelmiseski katses. Täiendavalt asetatakse torru 10. jaotuskriipsu kohale alusel lääts. Riista asetatud lamp paigutatakse 150 *mm* kaugusele läätsast, s. o. selle peafookusesse. Nii langeb fotoelemendile paralleelsete kiirte kimp.

Nurgamõõtja osuti seatakse skaala nullkriipsule, süüdatakse lamp ja vaadeldakse galvanomeetri algnäitu. Siis pööratakse osuti abil järk-järgult fotoelementi, seades seda toru ristlõike suhtes mitmesuguste nurkade alla.

Kaldenurgad ja vastavad galvanomeetri näidud kantakse tabelisse.



Joon. 148. Valgustustugevuse ja valgusallika kauguse vahelise sõltuvuse uurimine.

Mõõtmistulemuste tabel.

Jrk. nr.	Nurgamõõtja näidud	Galvanomeetri näidud	Antud nurga koosinus	Galvanomeetri näidud, arvutatud valemi $E = E_0 \cos \alpha$ põhjal
1	0°	35,5	1,00	35,5
2	30°	30,6	0,87	30,9
3	45°	25,7	0,71	25,2
4	60°	17,2	0,50	17,7

Toodud andmetega tõestatakse küllaldase täpsusega «koosinuse seaduse» kehtivus, kui võetakse arvesse, et galvanomeetri näitude juures võib täiesti usaldusväärseteks lugeda ainult skaala jaotuste arvude täisosi.

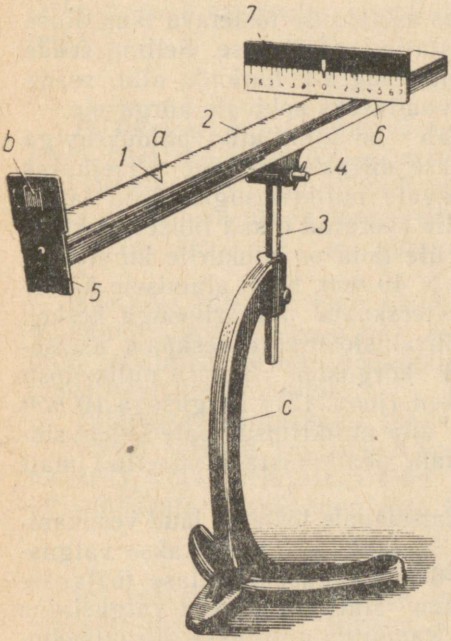
Praktilisi märkusi. Ükski kirjeldatud katse ei vaja pimendamist. Kõik kirjeldatud katsed tehakse klassiruumi täieliku valguse juures.

Ainult päikesepaistelisel päeval tuleb hoiduda päikesekiirte vahetust langemisest alusele, kuna aluselt peegeldunud valgus võis läbida riidest klapi ja tungida läbi pilu torusse ning segada õigete tulemuste saamist.

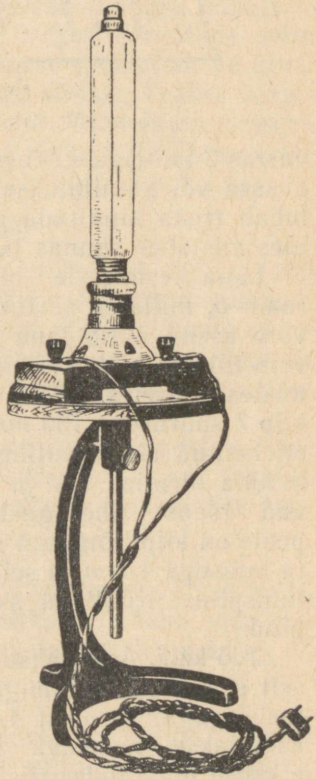
25. Valguslaine pikkuse määramine difraktsioonivõrega.

Töövahendid. 1) Riist valguslaine pikkuse määramiseks (*a*) (joon. 149); 2) kaks difraktsioonivõret (50 ja 100 joont ühel millimeetril, valmistatud fotograafilisel vii-

sil) (*b*); 3) laboratoorse, tõstetava laua statiiv (*c*); 4) elektrilamp sirge hõõgniidiga (sofitt), alusele kinnitatud pesaga ja nöörjuhe koos kahvelpistikuga (joon. 150); 5) laboratoorne tõstetav laud (kaks viimast riista on kõikidele seda tööd tegevatele õpilasgruppidele ühised).



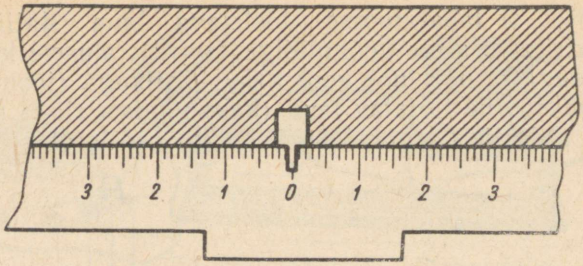
Joon. 149. Valguslaine pikkuse määramise riist.



Joon. 150. Sirge hõõgniidiga lamp tõstetaval laual.

Difraktsioonivõre abil valguslaine pikkuse määramise riista aluseks on puulaud *1* pikkusega umbes 520 *mm* ja ristkülikukujulise ristlõikega 20 *mm* × 40 *mm*. Laua peal on skaala *2* sentimeeter- ja millimeeterjaotustega.

Laua alumise pinna keskele on šarniiri abil kinnitatud



Joon. 151. Kilp skaalaga ja sihtimispiluga.

varras *3* mutriga *4*. Varras asetatakse tõstetava laua aluse avasse või kinnitatakse statiivi näpitsasse. Selline seade lubab riista kinnitada mitmesuguste nurkade alla, seada üles mistahes suunas ja vaatluseks sobivale kõrgusele.

Laua esimesele otsale on kinnitatud puidukruviga raam *5*, millesse asetatakse difraktsioonivõre. Seejuures võre asend ühtib laua skaala nullkriipsuga. Piki lauda võib liikuda nihkur *6*, mille keeratud otsad libisevad külgmistes uuretes. Põiki üle laua on nihkurile kinnitatud kilp *7* suurusega 150 *mm* × 40 *mm*. Kilbi alumisele äärele on kantud täpne millimeeterskaala nullkriipsuga keskel. Skaala ülemine äär ja difraktsioonivõre keskpaik asetsevad lauast ühesugustel kõrgustel. Skaala nullkriipsu peale on kilpi lõigatud aken (joon. 151) kõrgusega 10 *mm* ja laiusega 4 *mm* ja selle alla nullkriipsu peale kitsas sihtimispilu. Kilbil on skaala peal mustaks värvitud matt pind.

Töö käik. Asetatakse katselauale tõstetav laud vertikaalselt seisva sofittlambiga. Lambipesa ühendatakse valgustusvõrguga. Lambist 4—6 *m* kaugusele õpilase töölauale asetatakse tõstetava laua statiivile seatud valguslaine pikkuse määramise riist. Raami paigutatakse difraktsioonvõre; riista aluslauale pannakse nihkur skaalaga teatud kaugusele difraktsioonivõrest, nagu on näidatud joonisel 149.

Vaadatakse läbi difraktsioonivõre ja suunatakse riist lambile nii, et läbi kilbi sihtimise pilu oleks näha lambi hõõgniit. Siis tekivad kilbi akna mõlemale poolele mustale foonile (otse skaala kohal) difraktsioonispektrid. Kui spektrite asetus on skaala suhtes kaldu, siis pööratakse raami koos võrega kruvi abil niipalju, et kalle kaob.

Sellises töötamiseks valmisseatud olekus kinnitatakse riist šarniiri mutriga kohale.

Läbi võre vaadeldava kilbi skaala järgi määratakse pilust paremal ja vasakul asetsevate esimest ja teist järku spektrite punaste ja violetsete kiirte piirid. Aluslaua jaotuste järgi määratakse difraktsioonivõre kaugus skaalast.

Nende andmete põhjal saab kergesti arvutada selle nurga tangensit, mille all vaadeldakse spektri antud kiirt. Samuti saab arvutada ka selle nurga siinust. Teades nurga siinust ($\sin \alpha$), võrekonstanti a ja vaadeldava spektri järku n, saab arvutada valguslaine pikkust järgmise valemiga:

$$\lambda = \frac{a}{n} \sin \alpha.$$

Töötamisel difraktsioonivõrega, millel on 50 või 100 joont ühel millimeetril, on vaadeldavad nurgad väiksed; nad harilikult ei ületa 4°. Sellepärast võime siinuste väärtuste asemel kasutada tangensite leitud väärtusi, ilma, et seejuures teeksime märgatavaid vigu lõppresultaatides.

Asetades nihkurit koos skaalaga mitmesugustele, võimalikult suurtele kaugustele difraktsioonivõrest, tehakse mitu mõõtmist, nende mõõtmiste alusel määratakse tangensi väärtuse keskmine.

Tulemused kantakse tabelisse 1.

Võttes teise difraktsioonivõre (100 jaotist ühel millimeetril), võib harjutuseks tööd jätkata ja teha seda teisiti. Määrata difraktsioonivõre konstant valemiga:

$$a = \frac{\lambda n}{\sin \alpha}.$$

Sel eesmärgil määratakse spektri nähtavate piiride jaoks siinuse asemel tangens. Kui antud töö on jatkuks, siis võetakse valguslaine pikkus eelmise töö tulemustest. Laine pikkus võetakse teatmikust, kui see töö antakse iseseisvalt tegemiseks ning arvutatakse antud difraktsioonivõre konstant [1].

Tulemused kantakse tabelisse 2.

[1] Täieliku päevavalguse juures on spektri nähtavad piirid mõningal määral ahendatud. Peale selle sõltuvad need piirid töötaja silma individuaalsest tundlikkusest. Sellepärast on difraktsioonivõre konstandi määramisel spektri äärmiste kiirte lainepikkused parem võtta mitte teatmikust, vaid need, mis selle riistaga eksperimentaalselt kui äärmised määrati.

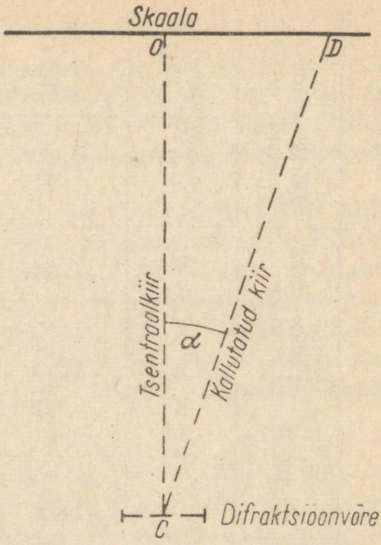
Tabel 1

Järjekorra nr.	Spektri järk	Spektri nähtavad piirid skaala järgi *mm*-tes						Difraktsioonivõre kaugus skaalast *mm*-tes	tan *a*		Võre konstant *μμ*-tes	Valguslaine pikkus *μμ*-tes	
		vasak		parem		keskmine							
		p	*v*	*p*	*v*	*p*	*v*		*p*	*v*		*p*	*v*
1	1	18	10	19	11	18,5	10,5	500	0,0370	0,0210	2000	740	420
2	1	16	9	17	10	16,5	9,5	450	0,0366	0,0211	2000	732	422
3	1	14	8	15	9	14,5	8,5	400	0,0363	0,022	2000	726	424
4	2	37	21	37	21	37,0	21,0	500	0,0740	0,0420	2000	740	420
5	2	33	19	33	19	33,0	19,0	450	0,0733	0,0422	2000	733	422
6	2	29	17	29	17	29,0	17,0	400	0,0722	0,0422	2000	722	422
											Keskmine	732	421

Vigade analüüs. Valguslaine pikkuse määramisel kasutatakse valemit

$$\lambda = \frac{a}{n} \sin \alpha,$$

kus n (spektri järk) on jääv suurus, a (difraktsioonvõre konstant) võib samuti lugeda täiesti kindlaksmääratud arvuks. Lainepikkuse määramisel sõltub viga järelikult ainult $\sin \alpha$ määramise täpsusest.



Joon. 152.

Tsentraalkiire ja difraktsioonvõre poolt kallutatud kiire vaheline nurk α (joon. 152) leitakse selle nurga tangensi järgi. Tangens aga leitakse suhte $OD : OC$ järgi. Järelikult on relatiivse vea ülemmäär tangensi määramisel (ja ka λ määramisel) lugeja ja nimetaja relatiivsete vigade ülemmäärade summa ja sõltub nimetatud pikkuste mõõtmise täpsusest.

Antud riistal mõõdetakse nimetatud suurused täpsusega 0,5 *mm* (millimeeterskaala). Seega on skaalast 500 *mm* kaugusel oleva difraktsioonivõre korral esimest järku spektri punaste kiirte jaoks (vt. tabeli *1* esimest rida) nurga tangensi määramise relatiivse vea ülemmäär:

$$\frac{0{,}5}{18{,}5} + \frac{0{,}5}{500} \approx 0{,}03 = 3\%$$ ja tulemuse absoluutse vea ülemmäär $740 \cdot 0{,}3 \approx 22$ ($\mu\mu$). Järelikult lõppresultaat sel juhul on $740\mu\mu \pm 22\mu\mu$.

Kui kaugus on 400 *mm*, siis samade kiirte (kolmas rida tabelis *1*) jaoks suhtelise vea ülemmäär on suurem:

$$\frac{0{,}5}{14{,}5} + \frac{0{,}5}{400} \approx 0{,}036 = 3{,}6\%$$ ja violetsete kiirte jaoks kaugusel 500 *mm* (esimene rida tabelis *1*) on viga veel suurem:

$$\frac{0{,}5}{10{,}5} + \frac{0{,}5}{500} \approx 0{,}049 = 4{,}9\%.$$

Tabel 2

Järjekorra nr.	Spektri järk	Skaala nähtavad piirid *mm*-tes						Difraktsioonvõre kaugused skaalast *mm*-tes	tan α		Laine pikkus $\mu\mu$-tes		Difraktsioonvõre konstant $\mu\mu$-tes	
		vasak		parem		keskmised väärtused								
		p	*v*	*p*	*v*	*p*	*v*		*p*	*v*	*p*	*v*	punaste järgi	violetsete järgi
1	1	37	20	39	22	38,0	21,0	500	0,0760	0,0420	744	420	9789	10047
2	1	34	18	35	19	34,5	18,5	450	0,0767	0,0411	744	422	9700	10269
3	1	30	16	32	18	31,0	17,0	400	0,0775	0,0412	744	422	9600	10243

Keskmine 9925

Pole raske näha, et relatiivse vea ülemmäär tan $\alpha = \frac{OD}{OC}$ määramisel on väiksem kui skaala on töö juures asetatud võimalikult kaugemale difraktsioonvõrest (vt. esimene näide). Skaala millimeeterjaotused on aga hästi eraldatavad ainult kuni 500 *mm* kauguse juures, mis määrabki riista üldise pikkuse.

Toodud arutlused näitavad, et töö sooritamisel tuleb erilist tähelepanu pöörata uuritava kiire asendi määramisele skaalal. Sel eesmärgil nihutatakse skaalat aluslauda mööda seni, kuni uuritav kiir on projekteerunud võimalikult täpsemalt mingile skaala kriipsule, milleni siis tehaksegi arvutusi alates skaala nullist. Difraktsioonvõre kauguse määramisel skaalast võib täiesti piirduda täpsusega 1 *mm*.

Praktilisi märkusi. See töö toimub klassiruumi täie valgustuse juures. Spetsiaalset sofitt-tüüpi lambi võib asendada hariliku elektrilambiga, millel on väike hõõgniidi pärjake ühes tasapinnas. Selline lamp tuleb asetada horisontaalselt, et hõõgniit oleks tööd tegevatele õpilastele näha vertikaalse sirge kujul.

Veel parem on kasutada läbipaistvat gaasita lampi, millel on hõõgniit murtud joone kujuline. Selline lamp asetatakse vertikaalselt ja läbipaistmatu ekraaniga kaetakse kogu hõõgniit väljaarvatud üks vertikaalne osa, mida siis õpilased vaatlevadki läbi difraktsioonvõre.

Aja puudusel võib piirduda ainult töö esimese osa, s. o. valguslaine pikkuse määramisega ja teisest osast läbi viia ainult erineva konstandiga võre spektri kvalitatiivne vaatlus.

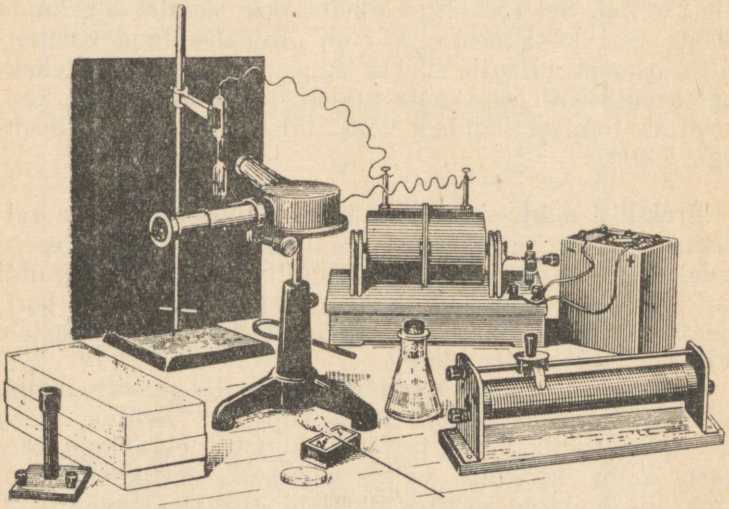
26. Spektrite vaatlus ja võrdlus.

Töövahendid (joon. 153). 1) Spektroskoop (kahe toruga, mikromeetrilise kruviga ja skaalaga); 2) spektraaltorukesed (3 tükki): heeliumiga, elavhõbeda aurudega ja vesinikuga; 3) laboratoorne statiiv kahe muhviga, näpitsaga ja rõngaga; 4) kõrgepinge induktor *HB*-50; 5) akumulaatorite patarei 3-*HKH*-10; 6) elektrilamp (3,5 *V*; 0,28 *A*) alusel ja kattega (laboratoorsete tööde

komplektist); 7) reostaat 50—70 Ω (liugkontaktiga); 8) pappekraan, must, suurusega 25 *cm* × 30 *cm*; 9) ühendujuhtmed otsikutega (3 tükki); 10) peenikesed, elastsed juhid spektraaltorukeste ühendamiseks (2 tükki); 11) traat vatitükiga; 12) kolb piiritusega; 13) keedusool (kloornaatrium); 14) tulitikud.

Kahe toruga spektroskoobil on järgmine ehitus (joon. 154).

Massiivne kolmjalg *1* kannab ümmargust tõstetavat



Joon. 153. Töövahendid töö nr. 26 jaoks.

lauda *2*, mida saab ühele või teisele kõrgusele asetada pidurdamiskruviga *3*. Laua keskele on kinnitatud flintklaasist prisma *4*, mis töö ajal on kaetud kõrvaliste kiirte eest pappkaanega.

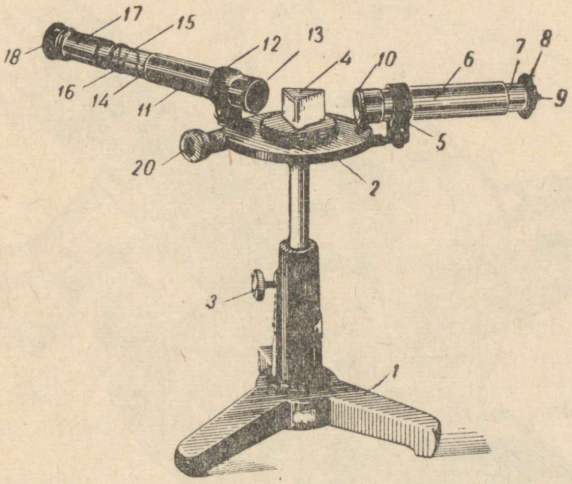
Vahetult laua külge on radiaalselt ja horisontaalses tasapinnas asetatud kaks optilist toru: kollimaator ja pikksilm.

Rõnga *5* abil on kollimaatori põhiline osa *6* kinnitatud laua külge. Liikumatusse ossa on paigutatud teine toru osa *7*, mida saab liikumatu toru sees nihutada.

Liikuva osa otsas on pilu *8*, mis on moodustatud kahe plaadiga: ühe kinnise ja teise väikse kruvisammuga

kruvi *9* abil liigutatava plaadiga. Liikuv plaat võimaldab kollimaatori pilu laiuse täpset reguleerimist. Et pilu asetseks alati vertikaalselt, on toru liikumatus osas tehtud pikilõige, milles võib libiseda toru liikuva osa külge kinnitatud fikseeriv kruvi.

Liikumatu osa prisma poole pöördud otsas on koondav kaksikkumer lääts *10*, mille peafookus on pilu läheduses, kui kollimaator on täielikult välja tõmmatud.



Joon. 154. Kahe toruga spektroskoop.

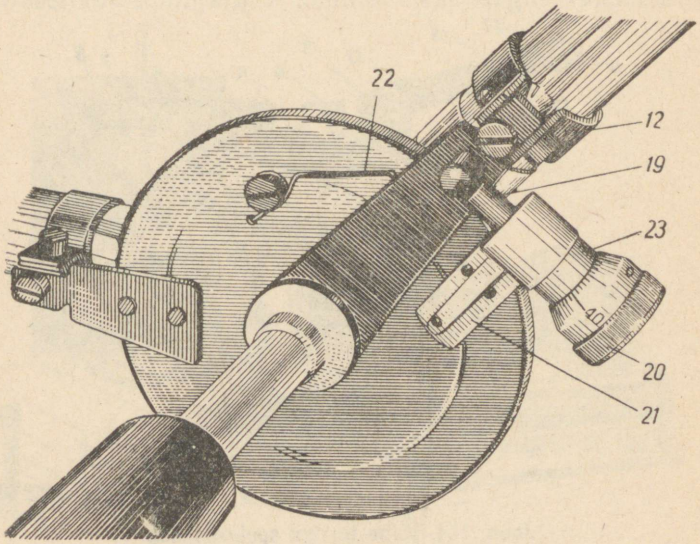
Teisel pool prismat on pikksilm, mis koosneb kolmest üksteisesse käivast osast. Väline osa *11* on liikumatult kinnitatud rõngale *12*, mis on seotud laua teljega šarniirselt. Selline ühendus võimaldab pikksilmal liikuda horisontaalses tasapinnas. Pikksilm jääb liikumisel laua telje suhtes alati radiaalseks. Pikksilma toru liikuvad osad võivad liikuda pikksilma telje sihis, kuid ei saa pöörelda. Seda saavutatakse pikilõigetega ja fikseerivate kruvidega.

Pikksilma välimise osa otsas on koondav nõguskumer objektiivi lääts *13*. Keskmine liikuv toruosa *14* koosneb kahest toruliikmest, mille vahele (sisse) on paigutatud teine koondav objektiivi lääts *15*. Läätse *15* ette (okulaari poolt) on kinnitatud vertikaalse niidiga diafragma *16*.

Äärmises liikuvas toruosas *17* on kahest läätsest koosnev okulaar *18*.

Pikksilma väikene nurkliikumine horisontaalses tasapinnas, mis on vajalik niidikujutise seadmisel ühte või teise spektri ossa, saavutatakse mikromeetrilise seadme abil.

Mikromeetrilisel kruvil (joon. 155) *19*, kruvisammuga 1 *mm* on 50 võrdseks osaks jaotatud pea *20*. Kruvi keera-



Joon. 155. Spektroskoobi mikromeetriline kruvi.

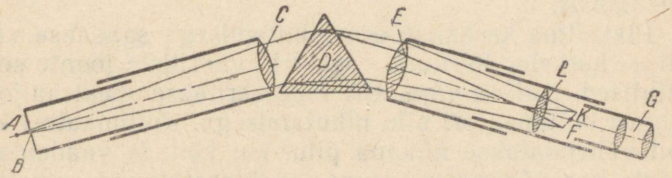
takse kronsteinis *21* olevasse keermetisse. Vedru *22* on ühe otsaga kinnitatud lauale, kuid teise otsaga surub rõnga *12* šarniiri õlale ja surub seda mikromeetrilise kruvi külge. Mikromeetrilise kruvi täispöörete arvu lugemiseks on skaala *23*.

Joonisest 156 on näha kiirte käik spektroskoobis. Kollimaatori pilu *B* läheduses asetsevast valgusallikast *A* tulevad kiired läbivad läätse *C* fookuses asetseva pilu ja pärast läätse *C* läbimist langevad paralleelse kimbuna prisma *D* tahule.

Prismas kalduvad kiired prisma aluse poole ja lagunevad värvilisteks kiirteks. Prismast väljumisel kalduvad

kiired veelkord aluse poole ja jagunedes paljudeks kimpudeks (iga kimp koosneb ühesuguste lainepikkustega paralleelsetest kiirtest) suunduvad objektiivile.

Läbides pikksilma liitobjektiivi kaks läätse *E* ja *L*, annab ühevärviliste kiirte iga kimp kollimaatori pilu tõelise värvilise kujutise. Nende kujutiste reast kujunebki spekter, mille punane pool on pööratud prisma tipu poole ja violetne aluse poole.



Joon. 156. Kiirte käik spektroskoobis.

Kuna erinevate värvustega kiirte murdumisnäitajad on erinevad, siis ka värvilised pilukujutused asetuvad teisest objektiivi läätsest erinevatele kaugustele. Sellepärast spektri (ja niidi) tõelise kujutise vaatlemisel läbi okulaari *G* kui luubi, võib saada selge kujutise ainult suhteliselt väikse spektri osa kohta. Spektri teiste osade vaatlemiseks tuleb natuke liigutada pikksilma keskmist osa.

Töö käik.

1. *Spektroskoobi ülesseadmine ja gradueerimine.* Spektroskoobi kollimaatori pilu avatakse ligikaudu *1* millimeetri laiuselt. Pilluga toru tõmmatakse viimase võimaluseni välja ja juhitakse aknale (parem taevale). Pikksilma okulaari nihutamisega saavutatakse vertikaalse niidi selge kujutis ja edaspidi okulaari toru enam ei liigutata. Liigutatakse pikksilma keskmist osa (objektiivi teise läätsega) ja saadakse pideva spektri selge ülemine ja alumine piir. Mikromeetrilise kruviga pööratakse pikksilma nii, et pidev spekter oleks vaateväljas. Vaadeldakse pidevat spektrit ja märgitakse ära värvide asetuse järjekord. Järkjärgult kollimaatori pilu vähendades saavutatakse Fraunhoferi joonte ilmumine.

Pärast seda minnakse üle spektroskoobi gradueerimisele heeliumi spektri joonte järgi.

Spektraaltoru heeliumiga kinnitatakse statiivi näpitsasse nii, et selle kitsam osa oleks vertikaalne ja spektroskoobi kollimaatori kõrgusel. Koostatakse vooluring akumulaatorite patareist ja induktorist. Induktoriga ühendatakse spektraaltoru (joon. 153). Induktori lüliti pööramisega lülitatakse vool ahelasse. Kollimaatori pilu viiakse spektraaltoru kitsamale kohale üsna lähedale. Spektroskoop seatakse nii, et spekter oleks nähtav võimalikult heledamalt.

Pikksilma keskmise osa nihutamisega saadakse vaatevälja keskele heeliumi spektri värviliste joonte selged kujutised. Kui on vaja, siis reguleeritakse spektraaljoonte selgust kollimaatori pilu nihutamisega. Kollimaatori kruvi abil vähendatakse niikaua pilu, kui kõikide vaadeldavate joonte hea nähtavuse juures spektraaljooned muutuvad võimalikult kitsasteks.

Siis liigutatakse mikromeetrilise kruvi abil pikksilma ja tehakse kindlaks mikromeetri näidud niidi langemisel põhilistele spektraaljoontele.

Määramist tehakse alates spektri punasest otsast kuni violetseni. Ühte või teist spektri joont tuleb niidi alla viia alati ühes suunas (vasakult paremale), et vältida vigu, mis võivad tekkida mikromeetrilise kruvi loksumise arvel [1].

Heeliumi spektraaljooned.

Jrk. nr.	Joone värvus	Mikromeetri näidud				Lainepikkus teatmiku järgi μμ-tes
		1. mõõtmine	2. mõõtmine	3. mõõtmine	keskmine väärtus	
1	Punane	5,12	5,17	5,13	5,14	728
2	Punane	5,01	5,03	5,02	5,02	706
3	Punane	4,81	4,83	4,82	4,82	668
4	Kollane	4,16	4,19	4,19	4,18	588
5	Roheline	3,12	3,15	3,15	3,14	492
6	Helesinine	2,88	2,92	2,90	2,90	471
7	Sinine	2,45	2,49	2,50	2,48	447
8	Violetne	1,88	1,92	1,90	1,90	412
9	Violetne	1,58	1,61	1,61	1,60	402

[1] Mikromeetrilise kruvi pööramisel vastupidises suunas ei hakka toru kohe liikuma, vaid mõninga hilinemisega, sest kruvi ja mutri keermete vahel on paratamatult teatud vahed (pilud).

Näitude määramisel tuleb pidada silmas, et mikromeetri pea kahetorulise spektroskoobi juures on jaotatud 50 osaks ja, et kruvi samm on 1 *mm*. Mõõtmistulemuste väljendamiseks millimeetri sajandikes tuleb mikromeetri pea näidud kahekordistada.

Liikumisel spektri punaselt otsalt violetsele hakkab mõningal määral halvenema spektraaljoonte selgus; seda on tarvis taastada pikksilma keskmise osa vähese nihutamisega.

Vaatluste tulemused kantakse tabelisse, nagu näidatud allpool.

Mitmetest mikromeetriga tehtud mõõtmistest saadud keskmiste väärtuste ja teatmikust võetud vastavate lainepikkuste järgi joonestatakse kõver, mis näitab antud spektroskoobi mikromeetri näitude ja valguslainete pikkuste vahelist sõltuvust (joon. 157), s. o. gradueeritakse spektroskoopi [1].

Sellel eesmärgil ehitatakse millimeetripaberil suurusega 25 *cm* × 25 *cm* koordinaatteljestik. Abstsissteljele kantakse mikromeetri näidud (mastaap: 0,02 *mm* mikromeetrilt vastab 1 *mm*-le abstsissteljel; koordinaatide alguseks võetakse mikromeetrilise kruvi minimaalne näit täismillimeetrites; meie näites on see 1,00). Ordinaatteljele kantakse lainepikkused millimikronites (mastaap: 2 μμ ühele millimeetrile; koordinaatide alguseks võetakse 400 μμ). Üheksa punkti järgi, mis saadakse koordinaatide lõikumisest, ehitatakse sujuv kõverjoon.

2. *Elavhõbeda ja naatriumi aurude spektraaljoonte lainepikkuste määramine.* Eelmises seadmes asendatakse heeliumiga täidetud toru elavhõbeda aurudega täidetud toruga ja eespool kirjeldatud võtetega määratakse kindlaks uue joonspektri põhilistele joontele vastavad mikromeetri näidud.

Kirjutanud üles mõõtmiste tulemused ja leidnud nende tulemuste keskmised, kantakse nad heeliumi jaoks varem tehtud graafikule. Mikromeetri näidud kantakse abstsissteljele (joon. 157) ja vaadeldavate joonte vastavad lainepikkused määratakse ordinaattelje järgi. Neid laine-

[1] Joonisel 157 antud kõveral on peale punktide, mis vastavad heeliumi joontele, kantud elavhõbeda ja naatriumi aurudele vastavad punktid, mida on vaja edaspidi.

pikkusi kõrvutatakse füüsikaliste suuruste teatmikust saadud andmetega ja leitakse, et nad on ligilähedased üksteisele.

Mõõtmiste tulemused kantakse järgmisesse tabelisse.

Elavhõbeda aurude spektraaljooned.

Jrk. nr.	Joonte värvus	Mikromeetri näidud				Kõvera järgi leitud laine pikkus $\mu\mu$-tes	Laine pikkus teatmiku järgi $\mu\mu$-tes
		1. mõõtmine	2. mõõtmine	3. mõõtmine	keskmine väärtus		
1	Oranž	4,35	4,32	4,35	4,34	608	612
2	Kollane	4,12	4,08	4,10	4,10	579	578
3	Kollakasroheline	3,71	3,76	3,75	3,74	544	546
4	Roheline	3,06	3,10	3,08	3,08	487	492
5	Violetne	1,57	1,58	1,59	1,58	402	405

Järgnevalt vaadeldakse naatriumi aurude spektrit. Selleks niisutatakse traadile kinnitatud vatti piiritusega, kinnitatakse see statiivi näpitsasse kollimaatori pilu kõrgusele, süüdatakse ja pannakse tähele nõrka pidevat spektrit. Puistates piiritusega imbutatud vatile keedusoola, pannakse spektris tähele naatriumi aurude heleda kollase joone tekkimist. Määratakse selle jaoks spektroskoobi mikromeetri näit (meie katses 4,20 *mm*). Kantakse saadud näit. graafikule (joon. 157) ja määratakse naatriumi aurude lainepikkus (590 $\mu\mu$). See suurus osutub samuti lähedaseks tabeli omaga (589 $\mu\mu$).

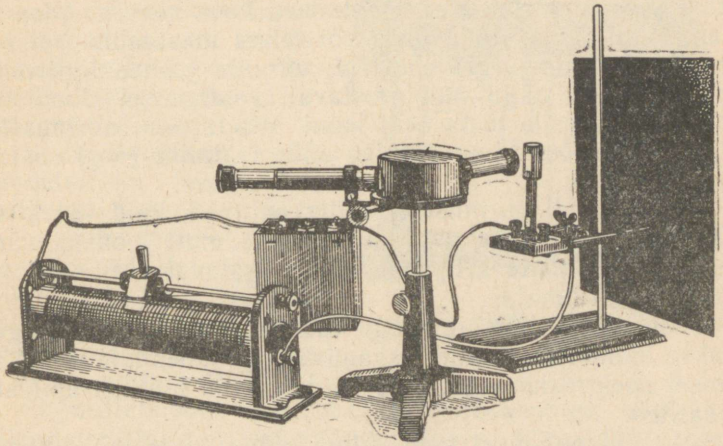
3. *Pideva spektri vaatlemine helendava keha temperatuuri muutmisel.* Statiivi näpitsasse asetatakse madalapingelise lambi alus nii, et lambi hõõgniit oleks spektroskoobi kollimaatori pilu kõrgusel. Lambile asetatakse vari, mille aken kaetakse õlitatud paberiga. Seadme taha paigutatakse must ekraan (joon. 158).

Algul pannakse lambi hõõgniit nõrgalt helendama ja vaadeldakse saadud pidevat spektrit. Lamp saab voolu akumulaatorite patareist. Vooluringi tuleb lülitada liugkontaktiga reostaat.

Reostaadi takistuse suurendamisega vähendatakse järk-järgult lambi hõõgniidi helendust kuni lambi täieliku

kustumiseni. Kogu aeg vaadeldakse spektroskoobis spektri heleduse vähenemist ja alates violetsest koostevärvuste järkjärgulist kadumist.

Vaatluste tulemused kirjutatakse lühidalt vihikusse.



Joon. 158. Seade spektri vaatlemiseks elektrilambi hõõgniidi mitmesugustel temperatuuridel.

Praktilisi märkusi. 1. Spektroskoop peab olema täiesti korras. Sellepärast on tarvis juba alguses kõrvaldada pikksilma osades võimalikud «loksumised», eriti see, mis toimub horisontaalses tasapinnas. Toru osad peavad liikuma kergelt, kuid külladase tihedusega.

Nimetatud puudusi võib kõrvaldada toru libisemise kohtadesse õhukesest kalevist või flanellist tihendite paigutamisega. Pikksilma välimise osa pikilõige tuleb asetada alla. Mikromeetriline kruvi peab töötama sujuvalt ja vedru peab pikksilma alati tihedalt suruma mikromeetrilisele kruvile.

Spektroskoobi hoidmisel tuleb pikksilma ja kollimaatori toru otsa asetada riidest katted, prisma aga tuleb katta pappkattega.

2. Eespool kirjeldatud torude abil vaadeldavad joonspektrid ei sõltu ainult torudesse suletud põhilistest gaasidest, vaid ka paratamatutest lisanditest, gaaside hõrendusastmest, toru töötamise režiimist, s. o. tingimustest,

mis pole jäävad, vaid ajajooksul muutuvad. Selle laboratoorse töö eduka sooritamise huvides peab õpetaja tegema järgmist ettevalmistustööd.

Teha füüsika kabinetis leiduvate spektraaltorudega kõik eespool kirjeldatud mõõtmised koos kõvera joonestamisega. Joonistada ühes või teises mastaabis (mikromeetri näitude järgi) spektrid; värvida jooned ligikaudu niisugusteks, nagu nad paistavad vaatlemisel. Joonistamisel tuleb esile tõsta neid jooni, mis tulevad uurimisele. Iga sellise joone juurde tuleb anda teatmiku järgi vastav lainepikkus.

Juhuslikud, uurimisele mittekuuluvad, kuid spektroskoobiga vaadeldavad jooned tuleb samuti joonisel ära näidata lühemate kriipsude abil, vastavat lainepikkust juurde märkimata.

Niisugused lihtsad, käega vabalt tehtud joonised jagatakse õpilastele andmete saamiseks ja juhendajaks töötamisel spektroskoobiga. Nad kergendavad märksa õpilaste vaatlusi.

3. Aja puudusel võib selle laboratoorse töö mahtu vähendada, jättes välja pideva spektri vaatlused helendava keha temperatuuri muutumisel. Sel puhul tuleb töövahenditest välja jätta aluse ja kattega 3,5 *V* lamp, liugkontaktiga reostaat ja üks ühendusjuhe otsikutega.

27. Stsintillatsiooni vaatlus.

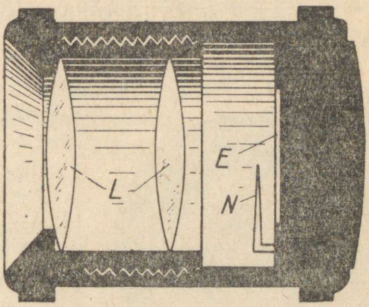
Töövahendid. 1) Mikroskoop МИУ-1 tüüpi, 2) spintariskoop, 3) jääva toimega helendav aine (2—3 tera).

Stsintillatsiooniks nimetatakse sähvatusi (välgatusi), mis tekivad väävlistsinkekraanil α-osakeste toimel.

Stsintillatsiooni vaatlemiseks kasutatakse harilikult spetsiaalset riista, mida nimetatakse spintariskoobiks. Selleks sobib täiesti Glavutštehpromi poolt väljalastav spintariskoop. Spintariskoobi ehitus on antud joonisel 159, kus riist on toodud läbilõikes.

Spintariskoop kujutab endast plastmassist 35 *mm* pikkusega ja 30 *mm* diameetriga toru. Toru sisse on paigutatud õhukene väävlistsingiga kaetud pappekraan *E*. Ekraani ette, 2—2,5 *mm* kaugusele on paigutatud nõel *N*, mille otsa on paigutatud väga väike, silmaga mitteeral-

datav kogus broomraadiumi (või mingi teise radioaktiivse aine). Toru teises otsas on ühises kestas kahekordne luup L, mida saab keermetise abil nihutada torus ligikaudu kahe kolmandiku pikkuse võrra. See võimaldab seada ekraani vaatlemisel luup fookusesse normaalse, kaugnägeva ja lühinägeva silma jaoks.



Joon. 159. Spintariskoobi läbilõige.

Stsintillatsiooni võib vaadelda ka mikroskoobi abil, kui kasutada jääva toimega helendavat ainet. Selleks kõlbab mistahes mikroskoop, mis võimaldab saada suurendust 50—80 korda (rohkem pole vaja), näiteks МИУ-1 tüüpi.

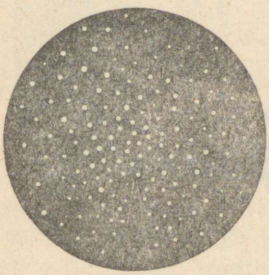
Stsintillatsiooni vaatlemiseks mikroskoobiga võetakse helendava aine terakesi vanade, käigust kõrvaldatud riistade skaaladelt, näiteks Andrianovi kompassilt, kelladelt jts. Jääva toimega helendavaks aineks on tavaliselt väävlistsink mingi radioaktiivse soola lisandiga. Töötamiseks piisab aine hulgast, mis katab ühte skaala kriipsu või osuti otsa.

Töö käik. Töö algul tutvuvad õpilased üksikasjaliselt kirjelduste ja jooniste järgi spintariskoobi ehituse ja käsitsemisvõtetega. Seejuures ei tule sugugi soovitavaks pidada riista väljavõtmist pappkarbist enne tööd täie valguse juures. Samuti ei tule lahti keerata riista alumist osa, millel asetseb väävlistsinkekraan ja nõel. Päevavalguse või mingi teise küllalt tugeva valgusallika valgus «valgustab siis ekraani üle», s. o. mõjutab tundlikku ekraani nii, et pärast seda pole sellel enam näha α-osakeste sähvatusi. Et valgustuse mõju kaoks ja ekraan lakkaks luminestseerimast, selleks tuleb riist asetada karpi ja küllalt kaua oodata (25—30 *min.*).

Tööstuse poolt valmistatud spintariskoopides on ekraan, radioaktiivse ainega nõel ja luup paigutatud nii, et stsintillatsiooni, arvestamata fookustamist, võib vaadelda igal ajal ilma igasuguste eriliste seadmisteta. Siiski

võib meie silm täheldada seda nähtust alles pärast seda, kui ta on mõningal määral kohanenud (adaptsioon) pimedusega. Sellepärast toimub töö hästi pimendatud ruumis, kus õpilased peavad olema juba umbes 10 minutit enne katse algust.

Pärast adaptsiooni asetatakse spintariskoop silmale vasaku käega, paremaga keeratakse okulaari ühele või teisele poole. Niiviisi seatakse kujutis silma järgi teravaks ja saadakse joonisel 160 näidatud pilt. All on näha nõela ots ja selle taga ekraani pime väli, mis on külvatud täis valgete, sähvatusi kujutavate punktidega. Nõela läheduses on neid tihedamalt, kuid kaugemal hõredamalt.



Joon. 160. Spintariskoobis vaadeldav pilt.

See joonis (160) ei kujuta täielikult vaadeldavat nähtust. Ta on nagu momentülesvõte. Tegelikult sähvatused kogu aeg ja kaunis kiiresti tekivad, kaovad ja jälle tekivad ekraani teistes kohtades. Seega muutuvad sähvatuste asukohad igal momendil.

Spintariskoobis on nõel asetatud tavaliselt kindlalt. Teda pöörata või täiesti ekraanist eemaldada ja näidata, et ekraani valgustamine on tingitud radioaktiivsest ainest pole kahjuks võimalik. Sellepärast piirdub käesolev töö ainult kirjeldatud pildi vaatlemisega.

Kui puudub spintariskoop, siis vaadeldakse jääva toimega helendava aine stsintillatsiooni mikroskoobi abil.

Selleks asetatakse üks või kaks tera helendavat ainet mikroskoobi preparaadi klaasile ja vaadates mikroskoopi, seatakse selgele kujutisele. Siis pimendatakse ruum. Hea pimendamise juures võib 10—15 *min.* pärast näha vaatevälja mitmesugustes punktides sähvatusi (välgatusi).

Ei tule vaatlusi katkestada, kui kohe ei lähe korda näha sähvatusi. Asi seisab selles, et stsintillatsiooni vaatlustingimused on helendavas aines halvemad kui spintariskoobis. Esiteks helendab pimeduses jääva toimega aine, sellepärast on mikroskoobis alguses näha ainult hästi

valgustatud pind; teiseks on sähvatuste arv palju väiksem kui spintariskoobis.

Silma hea adaptsiooni juures on need sähvatused siiski selgesti nähtavad suhteliselt valge vaatevälja mitmesugustes punktides.

Praktilisi märkusi. Stsintillatsiooni vaatlemisel jääva toimega helendavas aines bioloogilise või üliõpilasmikroskoobiga on mugavam asetada mikroskoop aluse suhtes kaldu, et saaks teha vaatlusi istudes (kooli mikroskoop seda ei võimalda). Kuid kalduseisvas mikroskoobis on ka eseme lauake kaldu, mille tõttu terakesed veerevad eseme laualt maha. Selle vältimiseks on vaja preparaadi klaasi keskpaik kergelt määrida mingi liimiga ja pärast seda asetada sinna helendava aine osakesed. Sellist preparaati võib pöörata ja ettevaatliku käsitamise juures ei muuda ta oma omadusi ning on kaua tarvitamiskõlbulik.

28. Mikroskoobi ja teleskoobi mudelite koostamine.

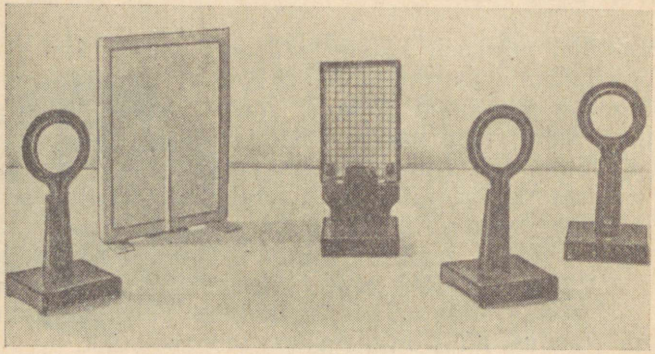
Töövahendid (joon. 161). 1) Lääts, kaksikkumer, suure fookusekaugusega, alusel ($F = 130—150$ *mm*), 2) lääts, kaksikkumer, väikse fookusekaugusega, alusel ($F = 65—75$ *mm*), 3) lääts, kaksiknõgus, alusel ($F = -90$ *mm*), 4) klaasplaat, millimeetervõrguga ja alusega, 5) ekraanike, vertikaalne, ümberpaigutatav, suurusega ligikaudu 12 *cm* × 16 *cm*.

Mikroskoobi ja teleskoobi mudelite koostamine kujuneb tõelise kujutise saamiseks, esimesel juhul ligidalolevast ja teisel juhul kaugelolevast esemest ning selle kujutise ebakujutise vaatlemiseks läbi suure optilise tugevusega läätse.

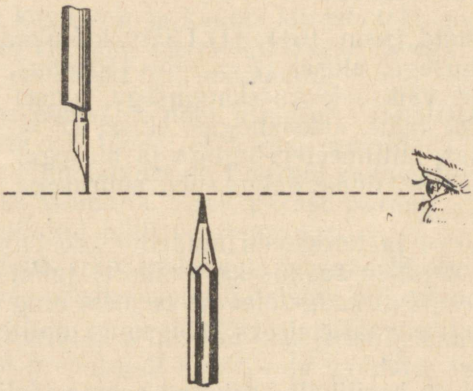
Õpilased on harilikult harjunud saama tõelist kujutist ainult ekraanil ja helendavatelt esemetelt (küünla leek, elektrilambi hõõgniit jts.). Mittehelendava, pimendamata klassis ainult päevavalgusest valgustatud eseme tõelise kujutise asukoha saamine ja leidmine, nagu seda nõutakse käesolevas töös, kujuneb sagedasti õpilastele lahendamatuks ülesandeks.

Sellepärast on vaja eelnevalt õpetada õpilasi määrama tõelise kujutise asukohta parallaksi meetodil. Selle mee-

todi olemus seisab järgmises. Ühe silmaga kahe, silmast erinevatel kaugustel asetseva eseme vaatlemisel toimub, kui silma asendit veidi muuta, nende esemete nihkumine (parallaks) teineteise suhtes. Selgitame seda näitega.



Joon. 161. Töövahendid töö nr. 28 jaoks.



Joon. 162. Sule, pliiatsi ja silma asetus ühel sirgjoonel.

Joonisel 162 on kujutatud sulega sulepea, pliiatsi ja vaatleja silma asetus. Vaatleja võib algul asetada silma niisugusesse kohta, et sulg paistaks talle täpselt pliiatsi teraviku kohal (joon. 163). Kui nüüd silma viia paremale, siis näeb vaatleja, et sulg ja pliiats on teineteise suhtes

nihkunud (joon. 164), kusjuures kaugemal asetsev ese (sulg) liigub samale poole, kuhu silmgi.

Joonisel 163 kujutatud pilt ei anna kujutlust sellest, kumb ese on silmale ligemal, kuid tuleb ainult silma liigutada ja küsimus laheneb kiiresti: kui nihkumist teineteise suhtes ei teki, siis on ese-



Joon. 163. Pliiats ja sulg ühtivad.



Joon. 164. Pliiats ja sulg on nihkunud parallaksi tõttu.

med ühesugustel kaugustel; kui aga esemed nihkuvad, siis on kaugemal see ese, mis nihkub teise suhtes samale poole, kuhu silmgi.

Töö käik. Et rakendada parallaksi meetodit kujutise koha leidmiseks, asetatakse õpilase lauale suure fookusekaugusega lääts nii, et selle optilisel peateljel oleks mingi hästi valgustatud kauge ese, näiteks istuvate õpilaste silmade kõrgusele riputatud õppetabel. On teada, et tabeli kujutis niisugusel juhul saadakse tõeline, ümberpööratud ja vähendatud; ta asetseb läätse peafookuse läheduses. Et kujutist näha, tuleb silm asetada läätse optilisele peateljele. Tabeli (või selle osa) kujutist on näha ainult läätse foonil.

Kujutise oletatavale kohale asetatakse läbipaistev millimeetervõrk ja liigutades silma, nagu oli näidatud eelpool, pannakse tähele võrgu ja kujutise parallaksi. Kui parallaksi ei ole, s. o. kui võrk ja kujutis silma liikumisel teineteise suhtes ei liigu, siis järelikult võrk ja kujutis ühtivad ja kujutise kohta võib lugeda leituks. Kui aga tekib parallaks, siis liigutatakse võrku niikaua, kui võrk ja kujutis ühtivad (parallaksi ei teki).

1. *Kepleri pikksilm.* Eelmises katses koostatud seadmele lisatakse väikse fookusekaugusega lääts alusel. Vaadates võrku läbi teise läätse, kui luubi, nihutatakse läätse niikaua, kui võrk ja sellega ühes ka tabeli kujutis saavad hästi nähtavaks. Siis eemaldatakse võrk ja leitakse katseliselt silma jaoks sobivaim asend, mille puhul vaateväli on maksimaalse suurusega.

Kui vaadata kahe silmaga korraga, ühega läbi läätse ja teisega läätse kõrvalt, siis saab võrrelda tabeli suurust kujutise suurusega ning ligikaudselt määrata saadud suurendus.

2. *Galilei pikksilm.* Galilei pikksilm erineb paljudest teistest optilistest riistadest sellega, et temal pole vaadeldava eseme vahepealset tõelist kujutist, kuna objektiivist tulevate koonduvate kiirte kimbud kohtuvad enne lõikumist okulaariks olevat hajutavat läätse. Seega annab Galilei pikksilm kohe päripidise ebakujutise, missugune asjaolu teeb ta Kepleri pikksilmast märksa lühemaks.

Galilei pikksilma mudeli koostamiseks tuleb võtta kätte kokkupandult hajutav ja suure fookusekaugusega koondav lääts. Asetatakse hajutav lääts vastu silma ning eemaldatakse järk-järgult koondavat läätse mööda optilist telge seni, kui eemaolev ese, millele on suunatud läätsede süsteemi optiline telg, saab selgesti nähtavaks.

Laboratoorsete tööde töövahendite komplektist võetud läätsede ja nende abil, mis on näidatud käesoleva töö alguses, saadakse ligikaudu 1,5 kordne suurendus. Selles pole raske veenduda, kui vaadata teise silmaga vahetult eset ja võrrelda seda teise silmaga nähtava kujutise suurusega.

3. *Mikroskoop.* Mikroskoobi mudeli objektiiviks on väikse fookusekaugusega lääts ja okulaariks — suure fookusekaugusega lääts. Vaatlusobjektiks on kõige parem

võtta tükk tekstiga ajalehepaberit, mis on riputatud väiksele kantavale ekraanile.

Ekraan koos ajalehe tükiga paigutatakse klassi akende suhtes nii, et tekst oleks hästi valgustatud. Väikse fookusekaugusega läätse abil saadakse teksti suurendatud, tõeline kujutis. See kujutis otsitakse üles võrgu abil parallaktilise meetodiga ja vaadeldakse seda siis läbi okulaari kui luubi. Mida ligemal on tekst objektiivi peafookusele, seda suurema suurenduse saame. Ühes sellega lähevad aga märgatavamaks ka moonutused, sellepärast ei tule taotleda liiga suurt suurendust.

Iga töö lõpuks peavad õpilased iseseisvalt joonistama kiirtekäigu skeemi igas nende poolt koostatud optilises instrumendis. Nendes skeemides peab olema näidatud esemete ja kujutiste asetus, kuid samuti ka praktiliselt saadud suurendus.

29. Prismapikksilma koostamine ja selle suurenduse määramine.

Töövahendid (joon. 165). 1) Riist prismapikksilma koostamiseks koos pappkattega, 2) tõstetav laboratoorne laud, 3) demonstratsioonimeeter detsimeetrijaotustega, 4) laboratoorne statiiv koos muhvi ja näpitsaga (kaks viimast riista on ühised kõikidele töötavatele gruppidele).

Riist prismapikksilma koostamiseks (joon. 166) koosneb liuglevate vetruvate plaatidega varustatud paneelist *1*, optilisest komplektist binokli ühe toru jaoks ja omatehtud pappkattest [1]. Komplekti kuulub: objektiiv *2*, horisontaalne prisma *3*, vertikaalne prisma *4* ja liitokulaar *5*.

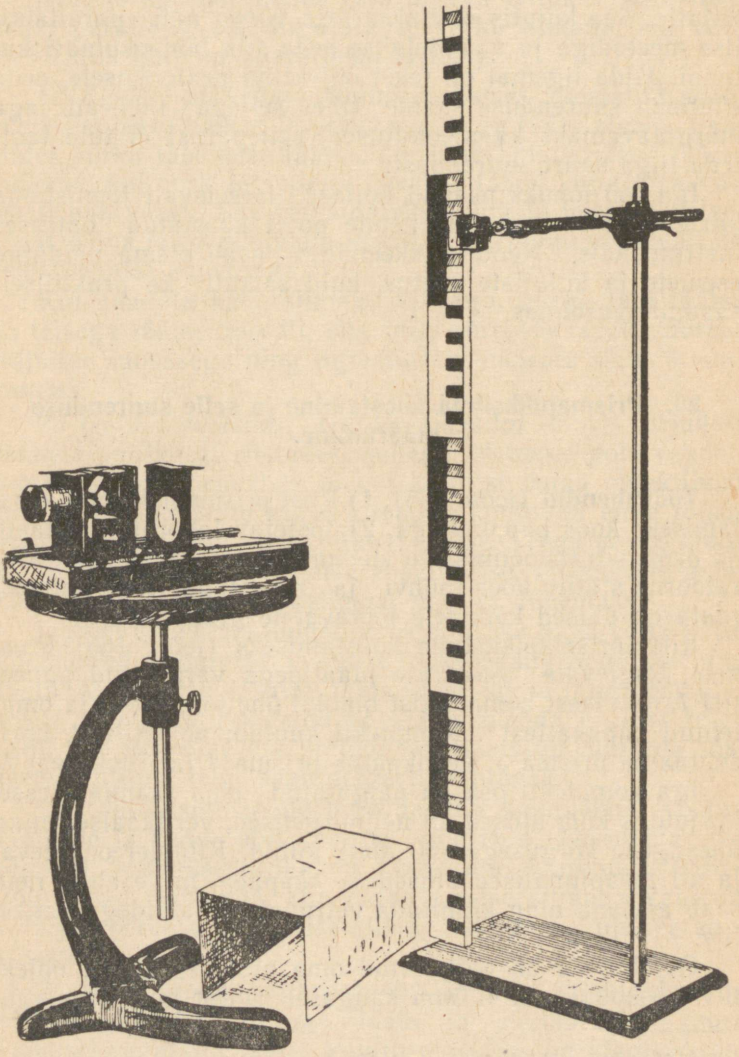
Iga komplekti osa on paigutatud oma raamialusesse, kusjuures kõik alused on nelinurgelised, vertikaalsed ning ühesuguse kõrgusega (60 *mm*) kilbid. Kilpidel on üleval ja all tasapinnalised alused — «käpad», mille abil neid saab asetada ning kinnitada vetruvate plaatidega paneelile.

Objektiiv *2* on paigutatud oma alusesse nii, et objektiivi keskpunkt on 40 *mm* kaugusel ühest ja 20 *mm* kau-

[1] Kate on näidatud joonisel 165.

gusel teisest alusest. Samasugustel kaugustel alustest on kinnitatud ka okulaar *5* ja prisma *3*.

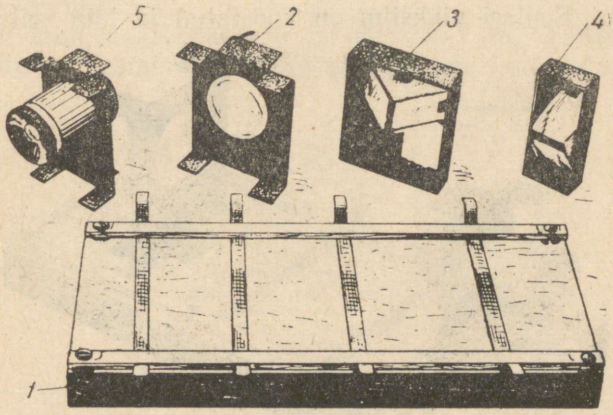
Okulaar *5* koosneb kahest läätsest; nad on asetatud ühte torru, mis võib liikuda aluse juhttorus.



Joon. 165. Töövahendid töö nr. 29 jaoks.

Prisma *3* on kinnitatud oma alusele horisontaalselt, prisma *4* aga vertikaalselt. Teine prisma on ühe tahuga tihedalt vastu raami, kusjuures selle prisma keskpaik on mõlemast alusest ühesugusel kaugusel, s. o. kaugusel 30 *mm*.

Riistaga töötamisel asetatakse optilised osad paneele-



Joon. 166. Seadmed prismapikksilma koostamiseks.

lile *1*, mis on ristkülikukujuline laud, suurusega 85 *mm* × × 200 *mm*. Paneeli pikemaid külgi pidi on kinnitatud kaks metall-liistu, mis seisavad laua tasapinnast 3 *mm* kaugusel. Laua suhtes põigiti on paigutatud neli vetruvat plaati (metallriba), mis saavad liuelda liistude ja laua vahelises pilus.

Optiliste osade kinnitamiseks paneelile vajutatakse vetruvate plaatide kõveraks painutatud otsadele, mille tagajärjel need veidi eemalduvad paneeli tasapinnast. Kohale paigutatava osa käpad asetatakse plaatide alla ja lastakse kõveraks painutatud ots vabaks.

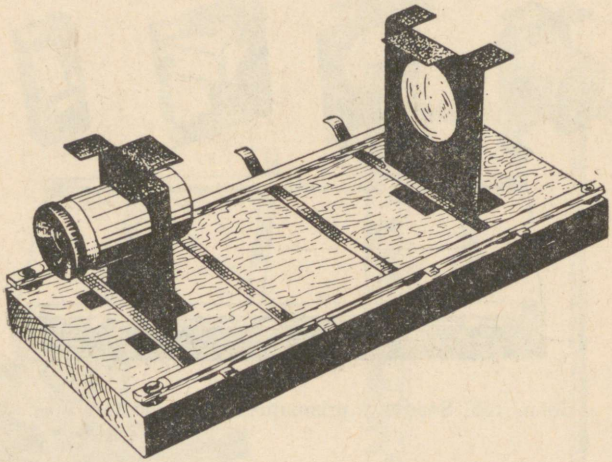
Niisugune kinnitamine võimaldab liigutada riista optilisi osi mööda paneeli mistahes suunas.

Pärast osade vastavat paigutust paneelile võib riista võtta kätte ja viia silma juurde kui harilikku binoklit, kuid ainult ühe silma jaoks.

Töö käik. Tõstetavale lauale asetatakse paneel 1, suunates ta mingile toas olevale esemele. Järgnevalt asetatakse paneelile objektiiv ja okulaar; nende optilised peateljed peavad olema ühel sirgel.

Objektiiv ja okulaar paigutatakse paneelile niisugusele kaugusele teineteisest, et tekiks Kepleri pikksilm (joon. 167).

Kui Kepleri pikksilm on koostatud ja läbi selle oku-



Joon. 167. Objektiivi ja okulaari paigutus Kepleri pikksilma mudeli koostamisel.

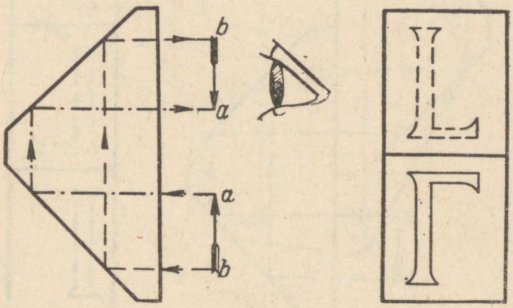
laari on hästi näha vaadeldava eseme ümberpöördud kujutis, siis võetakse see riist kätte ja vaadeldakse mitmesuguseid esemeid, püüdes saada okulaari nihutamisega (fookustamisega) selget kujutist. Pööratakse tähelepanu sellele, kuhu poole on tarvis nihutada okulaari lähedaste ja kaugete esemete vaatlemisel.

Määratakse Kepleri pikksilma suurendus. Selleks seatakse vertikaalselt üles demonstratsioonimeeter (ühine kõikidele töökohtadele) ja vaadeldakse selle skaalat ühe silmaga läbi pikksilma ja teise silmaga vahetult läbi õhu. Riista juhitakse nii, et mõlema silmaga nähtud skaalad langeksid teineteise peale. Määratakse mitu vahetult nähtud jaotust vastab läbi pikksilma nähtud ühele jaotusele,

või teiste sõnadega, määratakse mitu korda on läbi pikksilma nähtud jaotus pikem vahetult nähtud jaotusest. Saadud arv näitab pikksilma suurendust.

Kujutatakse skemaatiliselt objektiivi ja okulaari paigutust Kepleri pikksilmas, mõõdetakse ja kirjutatakse üles pikksilma pikkus ja selle suurendus; märgitakse ära Kepleri pikksilma peamise puudusena seda, et kujutis on ümberpööratud.

Riist lahutatakse osadeks ja minnakse üle prismade vaatlemisele eesmärgiga selgitada nende rakendamist



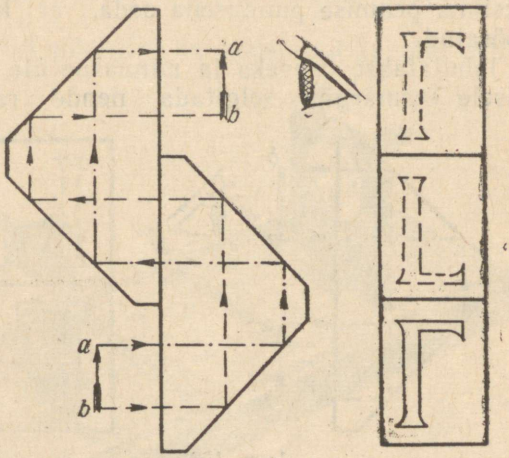
Joon. 168.

binoklis päripidise kujutise saamiseks ja pikksilma pikkuse vähendamiseks. Võetakse alusel vertikaalselt asetsev prisma *4*. Aluse alumise poole ette asetatakse mingi väike ebasümmeetriline osa, näiteks täht, mis on kirjutatud kitsale paberiribale ja vaadeldakse tähe kujutist aluse ülemiselt poolelt (joon. 168). Veendutakse selles, et kujutis tekib horisontaali (põiki prisma alusele) suhtes päripidine ja vertikaali (piki prisma alust) suhtes ümberpööratud. Joonestatakse eseme kahest äärmisest punktist tulevate kiirte käik, nagu näidatud joonisel 168.

Pöörates järk-järgult prismat kuni horisontaalse asendini ja vaadeldes kogu aeg eseme kujutist, võib märgata, et prisma annab alati eseme kujutise, mis on päripidine prisma laiuse suhtes ja ümberpööratud pikkuse suhtes.

Pärast eelpooltoodud vaatlusi võetakse kasutusele kaks prismat. Asetatakse nad teineteisele aluseid pidi nii, et ühe prisma pool kataks teise prisma poolt, nagu näidatud joonisel 169. Vaadates ülemise prisma vabale poolele

nähakse selle eseme kujutist, millest tulnud kiired langevad alumise prisma vabale poolele. Pööratakse tähelepanu sellele, et nüüd saadud kujutis on päripidine nii horisontaali kui vertikaali suhtes: kujutise pööramine teises prismas teeb esimese prisma kujutise päripidiseks (joon. 169).



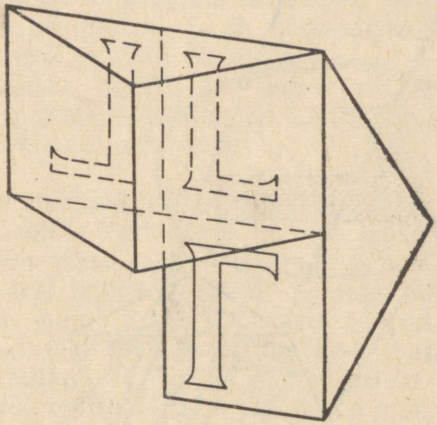
Joon. 169.

Joonestatakse kiirte käik selle juhu jaoks.

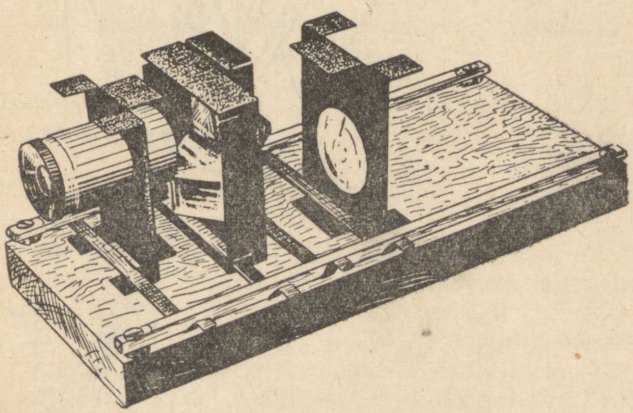
Pööratakse ühte prismat (näiteks ülemist) teise suhtes 90° võrra nii nagu näidatud joonisel 170 ja jätkatakse mingi eseme vaatlemist läbi prisma. Pannakse tähele, et prisma pööramisel pöördub ka kujutis: prisma pööramisel 90° võrra pöördub kujutis 180° võrra ja saab ümberpööratuks nii vertikaalses kui horisontaalses sihis. Järelikult pööravad kaks teineteise suhtes täisnurga all seisvat prismat kujutise kahekordselt: üks kord üles ja teine kord kõrvale, mille tulemusena saadaksegi ümberpööratud kujutis. Joonistatakse prismade asetus ja eseme kujutis (joon. 170). Niiviisi saavad õpilased üsna selge kujutluse sellest, kuidas kahe prisma abil saadakse ümberpööratud kujutis.

Pärast seda koostatakse prismapikksilm, asetades paneelile optilised osad nii, nagu on näidatud joonisel 171. Peetakse silmas seda, et objektiivi optiline peatelg läbiks

horisontaalse prisma aluse lahtise osa keskpunkti ja okulaari optiline peatelg — vertikaalse prisma aluse lahtise osa keskpunkti. Peetakse silmas ka seda, et teineteisele asetatavate prismade aluste osade keskpunktid ühtiksid.

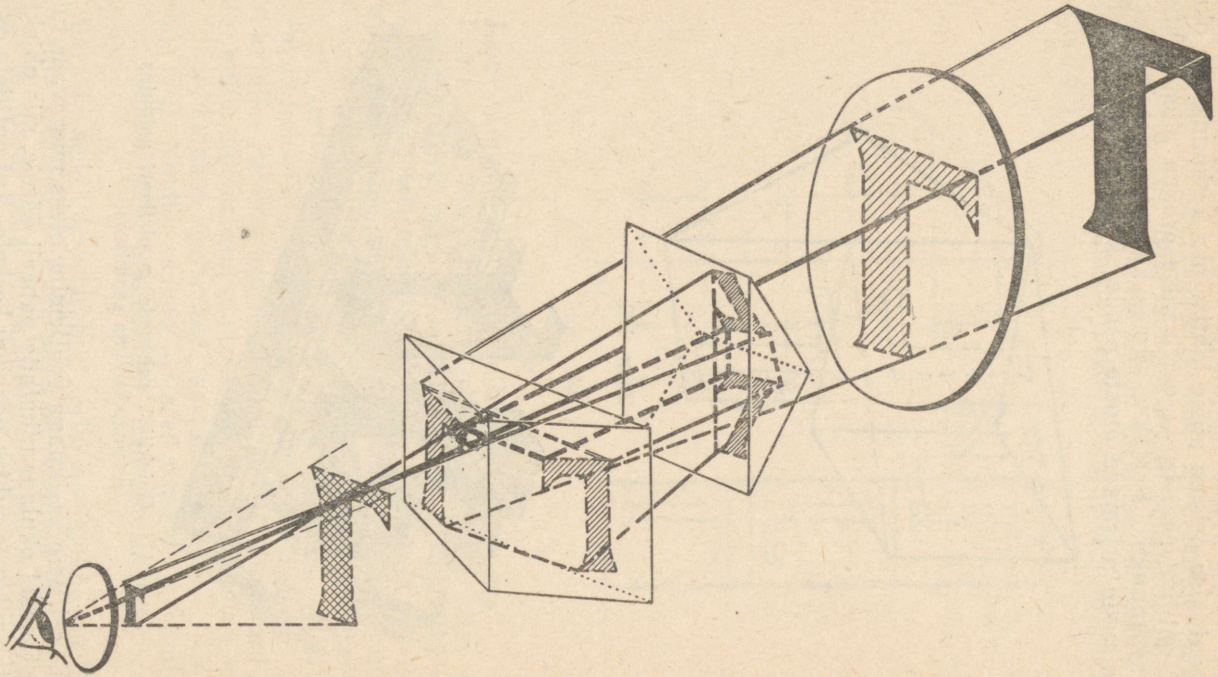


Joon. 170.



Joon. 171. Objektiivi, prismade ja okulaari paigutus prismapikksilma saamiseks.

Et sellise pikksilmaga vaatlemine oleks mugavam, tuleb koostamisel okulaar nihutada paneeli äärele, siis objektiiv asetub pikkuse suhtes peaaegu keskele. Kui optiliste osade



Joon. 172. Kujutise saamise skeem prismapikksilmas.

koostamine on täielikult lõpetatud ja pikksilmas on hästi näha vaadeldavad esemed, siis kaetakse riist pappkattega ja juhitakse ta vertikaalselt ülesseatud demonstratsioonimeetrile. Määratakse tuntud meetodiga suurendus ja veendutakse, et see on jäänud samaks, mis andis Kepleri pikksilm. Pööratakse tähelepanu sellele, et prismapikksilmas on kujutis päripidine ja et prismapikksilm on Kepleri pikksilmast märgatavalt lühem.

Joonestatakse optiliste osade ja kujutise asetus (joon. 172) prismapikksilmas ja kirjutatakse üles prismapikksilma pikkus ja suurendus.

Praktilisi märkusi. Riista optilisi osi on kõige parem hoida spetsiaalses karbis, kus iga osa jaoks on oma pesa. Enne tööd on tarvis optilised osad pehme, pestud puuvillasest riidest lapiga hoolikalt puhtaks pühkida. Suurema mustuse puhul tuleks eelnevalt hõõruda piiritusega. Tuleb järjekindlalt kasvatada õpilastes harjumusi käsitseda ettevaatlikult ja õigesti optilisi riistu ja nende osi. Ei tohi lubada optilise klaasi poleeritud pinna kätega puudutamist. Läätse ja prismasid tuleb töö ajal kätte võtta ainult nende raamidest või alustest.

30. Fotografeerimine. Negatiivi ja positiivi saamine.

Töövahendid (joon. 173). 1) Fotoaparaat 9 *cm* × 12 *cm*, kahe kassetiga, mattklaasiga ja trossiga, 2) fotoaparaadi statiiv, 3) fotolaboratooriumi latern, punase filtriga või spetsiaalse punase lambiga, 4) küvett suurusega 9 *cm* × × 12 *cm* (ilmuti jaoks), 5) küvett, suurusega 13 *cm* × × 18 *cm* (kinnisti ja pesemise jaoks, kokku (2 tükki), 6) plaadihoidjad (2 tükki), 7) negatiivide kuivatusraam suurusega 9 *cm* × 12 *cm*, 9) mensuur 250 cm^3, 10) mensuur 50 cm^3, 11) elektriföön või ventilaator negatiivide kuivatamiseks (ühine riist kõikidele õpilastele), 12) säritus- ehk säriaegade (valgustusaegade) tabel, 13) ilmuti tarvitamise skeem, 14) fotoplaadid 9 *cm* × 12 *cm*, 15) fotopaber 9 *cm* × 12 *cm*, 16) kolm kontsentreeritud ilmutilahust, 17) kinnisti, 18) denatureeritud piiritus 0,25 *l*, 19) tükk pappi või vineeri, suurusega 15 *cm* × 20 *cm*, 20) käterätik käte pühkimiseks, 21) tükk musta riiet.

Selle töö jaoks on vajalik pime tuba vastava arvu töökohtadega või üksikud kabiinid minimaalse suurusega 120 *cm* × 50 *cm* × 150 *cm*. Sel eesmärgil saab hästi kasutada seinakappe ja nišše. Sellises kabiinis on lauake kronsteinidel, tool ja riiulid tarbeasjade jaoks. Pimikus



Joon. 173. Töövahendid töö nr. 30 jaoks.

võivad tööd teha kaks õpilast, kusjuures üks nendest istub laua taga ja sooritab vajalikke operatsioone, kuna teine seisab tooli selja taga ja vaatleb (joon. 174). On selge, et mugavam paigutamine nõuab pimiku suurendamist.

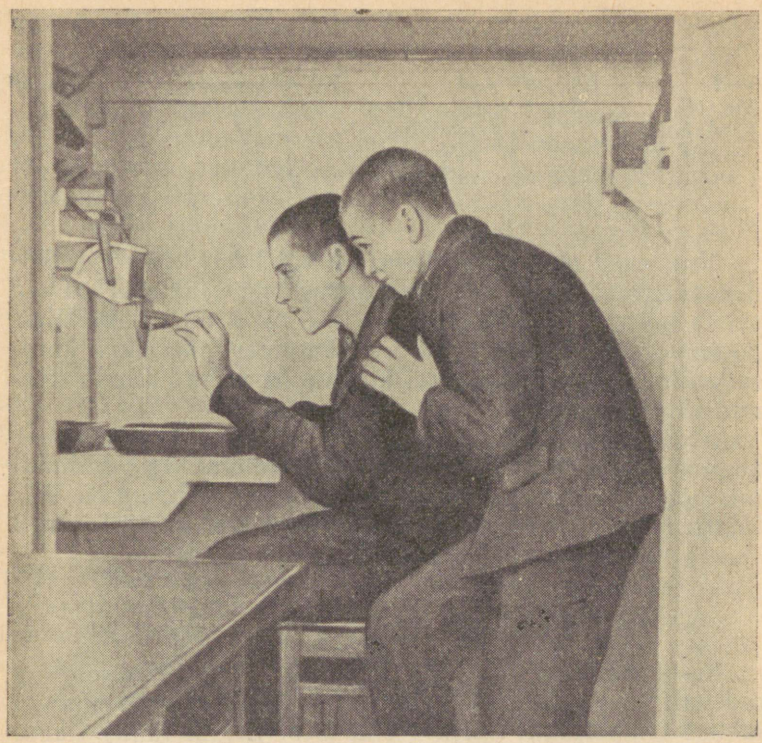
Pimiku ehitamisel on tarvis teha ka ventilatsioon. Selleks on tarvis pimiku seina või ukse sisse teha alla ja üles kaks ava ning katta nad nii, et valgus sisse ei pääseks, kuid õhk pääseks sisse küllalt vabalt. Uksel peab olema seespool riiv või haak.

Pimikus peavad olema küvetid, plaatide hoidjad, negatiivide kuivatusraam, fotoplaadid, fotopaber ja pudelid lahustega. Nimetatud esemete hoidmiseks peab pimikus olema kaks kitsast riiulit.

Sobivaimaks fotoaparaadiks selle töö jaoks on «Fotokor», kuid kõlbavad ka teised plaataparaadid, mille plaadi suurus on 9 *cm* × 12 *cm* või 6 *cm* × 9 *cm* [1].

Täiesti võimalik on ka lihtsa omatehtud fotoaparaadi kasutamine. Valmistada võib seda vineerist või papist ja objektiiviks võib võtta lihtsa läätse; diafragma on muutumatu ja katiku asemel on kübarsulgur. Aparaadi juurde peab kuuluma kaks kassetti, et iga õpilane saaks iseseisvalt üks kord pildistada.

[1] Viimasel juhul on muidugi vastavalt väiksemad ka küvett, kopeerraamid ja negatiivide kuivatamise alused.



Joon. 174. Pimik kahele õpilasele.

Fotoplaatidest kõlbavad kõik sordid, väljaarvatud isopankromaatiline, mis vajab töötamisel täielikku pimendamist. Plaatide tundlikkus ärgu olgu suurem kui 600 H & D järgi (16/10 DIN), sest mida suurem on plaatide tundlikkus, seda rohkem annavad ennast tunda valgustuse (särituse) vead.

Töö ajal ei tule anda õpilaste kätte tervet karpi plaate või paberit, sest ettevaatamatuse tõttu võivad õpilased nad «ära valgustada». Karbis peab olema harilikus pakendis ainult kaks tööks vajalikku plaati ja kolm-neli lehte paberit.

Plaatide ja paberi ilmutamiseks tuleb valmistada universaalset metool-hüdrohinoon ilmuti kolm isesugust lahust:

I		II		III	
Vett	500 *cm*³	Vett	500 *cm*³	Vett	500 *cm*³
Metooli	7 *g*	Hüdrokinooni	9 *g*	Potast	75 *g*
Kristallilist naatrium-sulfitit	70 *g*	Kristallilist naatrium-sulfitit	50 *g*		

Vesi peab olema destilleeritud või hästi keedetud. Sellise veega valmistatud kontsentreeritud lahused võivad seista korralikult suletud pudelites võrdlemisi kaua. Eespoolnäidatud kolmest lahusest võib enne ilmutamist koostada õige ruttu töötamiseks kõlbulikku lahust allpool toodud skeemi järgi.

Kinnistamiseks tuleb kasutada hapukinnistit, mis peaaegu kohe paneb ilmutamise seisma, ennetab täppide ilmumise ja kiirendab kinnistamist, mis antud juhul on eriti tähtis. Hapukinnisti valmistatakse järgmise retsepti järgi:

vett	500 *cm*³
hüposulfitit	125 *g*
kristallilist naatriumsulfitit[1] .	25 *g*
väävelhapet (10%-line) . .	25 *cm*³

Sulfit lahustatakse 125 *cm*³ vees, siis klaaspulgaga pidevalt segades lisatakse lahusele veidi väävelhapet; lahuse temperatuur seejuures tõuseb. Eraldi lahustatakse 375 *cm*³ vees hüposulfit. Pärast jahtumist kallatakse esimene lahus teisele. Niiviisi valmistatud kinnisti on töövalmis ja säilib kinnises pudelis. Ettevaatlik tuleb olla väävelhappe lisamisega. Teha seda ainult ülalkirjeldatud viisil.

Töö käik.

1. *Pildistamine.* Pildistamise objekti võivad õpilased ise valida, tuleb aga siiski silmas pidada seda, et tööaeg on piiratud. Sellepärast on parem varem kindlaks määrata objekt, mida üks või teine grupp peab pildistama.

Kui õpetaja on pildistamisobjekti varem välja valinud, siis on kasulik eelnevalt teha sellest proovipilt ja praktiliselt kontrollida valgustamise aega, et oleks võimalik

[1] Kristallilist sulfitit võib asendada veevaba sulfiti poole kogusega.

õigeaegselt parandada õpilaste vigu. Peale selle tuleb pidada silmas, et ükski tabel ei saa anda päris täpset valgustusaega (säriaega).

Asudes pildi tegemisele, paigutavad õpilased kohale statiivi ja kinnitavad selle külge fotoaparaadi sõltuvalt fotografeeritava objekti asendist, kas horisontaalselt või vertikaalselt. Avatakse objektiiv ja seades diafragma suurimale avale, suunatakse aparaat fotografeeritavale objektile. Saadakse sellest kujutis mattklaasile.

Mattklaas on varustatud kokkupandava sirmiga, mis kergendab vaatlust, kuid sellest sagedasti ei piisa.

Sellepärast on fookustamisel soovitav katta end musta riidetükiga ja saavutada kremaljeerkruvi pea keeramisega kujutise olulisemate osade suurimat teravust. Eemalseisvad esemed on seejuures mitteteravad. Kui on kavatsus ka neid teravamalt saada, siis on tarvis diafragma ava vähendada, mille juures kujutis küll tumeneb, kuid teravuse sügavus suureneb. Selle operatsiooni tulemusena peavad õpilased aru saama diafragma ülesandest fotoaparaadis. Diafragma ava tehakse suuremaks või vähemaks vastavalt soovitud teravusele. Peale selle mõjub diafragma ava suurus säriaja pikkusele, sellepärast määrab sageli diafragma ava suuruse («diafragmeerimise») fotografeeritava eseme valgustuse tingimused.

Lõpetanud fookustamise ja seadnud valmis vastava diafragma ava, kaetakse objektiiv ja asutakse aja määramisele.

Säriaja määravad õpilased iseseisvalt vastavate (eksponeerimis-) tabelite abil, mida võib saada fototarvete kauplusest või mõnest fotograafia käsiraamatust. Tabelid ja tööjuhendid tuleb õpilastele välja jagada eelmisel päeval.

Allpool on toodud lühendatud tabelid säriaja määramiseks päevavalgusel toas.

Säriaja määramisel leitakse tabelite I—VI järgi antud ülesvõtte tingimustele vastavad arvud, need arvud liidetakse ja tabelist VII leitakse saadud summale vastav säriaeg sekundites.

Pärast seda seatakse fotoaparaadi katiku kang jaotusele, mis vastab valitud säriajale ja võetakse välja mattklaas. Mattklaasi asemele asetatakse laetud kassett ja tõmmatakse välja kasseti kaas (siiber). Kaant ei tule välja

Tabelid säriaja määramiseks.

I. Pildistatav objekt.

Toas akna juures	0
1 *m* aknast	2
2 *m* aknast	5
3 *m* aknast	8
Reproduktsioon akna juures	4
Hoone sisemus, valge	12
Hoone sisemus, hämar	18

II. Geograafiline laius.

41—45° p. l.	0
46—50° p. l.	1
51—55° p. l.	2
56—60° p. l.	3
61—65° p. l.	4

III. Kuu ja kellaaeg.

Kellaaeg enne lõunat		—	12	11	10	9	8	7	6
Jaanuar	Detsember	3	4	5	7	—	—	—	—
Veebruar	November	2	3	4	5	7	—	—	—
Märts	Oktoober	1	1	2	3	5	7	—	—
Aprill	September	0	1	1	2	3	5	8	—
Mai	August	0	0	1	1	2	3	6	8
Juuni	Juuli	0	0	0	1	1	2	5	7
Kellaaeg pärast lõunat		1	2	3	4	5	6	7	8

IV. Taevas.

Päike		Pilves			Tihedad pilved
Pilvitu	Valged pilved	kergelt	keskmiselt	tugevasti	
1	0	2	3	4	6

V. Plaadi tundlikkus.

GOST	16	22	32	45	65
H&D	300	400	600	800	1200
DIN	13/10	14/10	16/10	17/10	19/10
—	4	3	2	1	0

VI. Diafragma.

3,5	4,5	6,3	9	12,5	18	25	36
0	2	4	6	8	10	12	17

VII. Säriaeg.

Summa	1	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	17
Sekundid	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{150}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{60}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$

Summa	19	21	22	23	24	25	26	27	28	29	50
Sekundid	1	2	3	4	6	8	12	15	22	30	45

tõmmata täielikult (kaanel peab varem olema tehtud vastav märk).

Fotografeerimisel siseruumis on tõenäosem valgustuse aeg mitu sekundit, sellepärast peavad õpilased aegsasti õppima hindama aega sekundites («lugema sekundeid»). Avades trossiga katik, öeldakse «null» ja loendatakse «üks», «kaks», «kolm» ... jne. Kui on jõutud vajaliku sekundite arvuni, lastakse katiku nupp lahti.

Pärast seda lükatakse kasseti kaas korralikult kinni ja pärast kasseti vahetamist pildistatakse teist korda.

2. *Negatiivi saamine.* Universaalset ilmutit kolmes lahuses, mille retsept on toodud eespool, kasutatakse harilikult järgmise skeemi[1] järgi:

Kolmest lahusest ilmuti koostamise skeem.

Negatiivi iseloomustus	I lahus	II lahus	III lahus	vesi	10 %-lise broomkaaliumi lahuse tilkade arv	Märkused
	*cm*³					
Alasäritus	20	3	20	150	—	soojendada
Normaalne säritus: Pehmete negatiivide saamiseks	30	8	15	150	25	
Normaalne säritus: Kontrastsete negatiivide saamiseks	15	15	15	150	15	
Normaalne säritus: Ülikontrastsete negatiivide saamiseks	—	60	30	90	45	
Ülesäritus	45	90	45	—	30	jahutada
Suur ülesäritus	—	180	30	—	20	

Fotopaberi ja diapositiivide plaatide jaoks on soovitav võtta veidi rohkem vett.

Koostatakse töötamiseks lahus selle skeemi kolmanda rea andmete järgi. 200 *cm*³ lahust on küllaldane töötamiseks küvetiga 9 *cm* × 12 *cm*. Broomkaaliumi võib ka mitte lisada, see ei mõjuta eriti märgatavalt negatiivi omadust.[2]

Ilmutit tuleb kasutada ja hoida nii, et temasse ei satuks kinnistit.

Kahte küvetti suurusega 13 *cm* × 18 *cm*, valatakse kinnisti ja pesemisvesi.

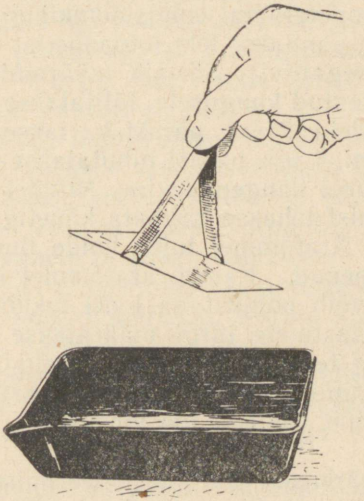
Kui kõik ettevalmistused on tehtud, siis suletakse pimik, veendutakse välise valguse täielikus puudumises ja süüdatakse latern.

Võetakse plaadihoidja abil kassetist välja eksponeeritud plaat (joon. 175) ja lastakse ta ilmutisse nii, et emul-

[1] Ilmuti koostamise skeem ja kinnisti varulahuste retsept tuleb anda õpilastele koos tööjuhendiga eelmisel päeval. Õpilastel on kasulik tutvuda selle skeemiga ja kirjutada see oma vihikusse.

[2] Mõni tilk broomkaaliumi 10-protsendilist lahust lisatakse selleks, et ära hoida loori tekkimist negatiivile.

sioon jääks ülespoole. Tuleb jälgida seda, et emulsiooni pinnale ei jääks õhumulle. Varjates küvetti laterna otsese valguse eest papitükiga, kõigutatakse veidi küvetti ja vahetevahel vaadatakse papitüki alla, kuidas toimub ilmumine. Ilmutamine kestab umbes 4 minutit. Normaalse särituse korral peab selle ajaga ilmuma kujutis mitte ainult emulsioonile, vaid kujutise jäljed saavad nähtavaks tumedate täppide kujul ka plaadi teisel küljel. Pärast seda plaat loputatakse vees ja asetatakse kinnistisse.



Joon. 175. Fotoplaadi asetamine ilmutisse.

Samal viisil ilmutatakse ka teine negatiiv ja peale veega loputamist asetatakse kinnistisse esimese plaadi kõrvale. Küveti kõigutamine kiirendab kinnistamise protsessi. Kui kinnistamise ajal võtta negatiiv välja ja vaadata tagakülge, siis võib märgata, et negatiivi ääred muutuvad läbipaistvateks, ja valkjas täpp järk-järgult tumeneb ning lõpuks kaob. Klaasipoolsest küljest vaadeldava valge kihi täielik kadumine on kinnistamise lõppemise tunnuseks.

Kinnistatud negatiivid laotakse küvetti ja pestakse 10 minutit kas jooksvas vees, või vahetades vett küvetis mitu korda.

Kuivamise kiirendamiseks valatakse negatiividele pä-

rast vee väljavalamist piiritust. Viie minuti pärast võetakse negatiivid piiritusest välja, vabastatakse hoidjaist, asetatakse kuivatusraamile ja kuivatatakse ventilaatori õhujoaga. Ventilaatori puudumisel võib negatiivi kuivatada papitüki lehvitamisega.

3. *Positiivse äratõmbe (fotokoopia) saamine.* Eespool antud skeemi järgi valmistatud ilmuti lahusele lisatakse 50 cm^3 vett ja asutakse kontaktkopeerimisele broomhõbepaberil. Fotopaber võib olla mistahes sorti.

Suletakse pimik ja lülitatakse punane valgus. Negatiiv paigutatakse kopeerraami emulsioonikihiga kaane suunas. Negatiivi peale pannakse leht fotopaberist (valgustundliku kihiga vastu negatiivi). Säriaja määramiseks asetatakse raam lambist teatud kaugusele, lülitatakse valgus ja loendatakse sekundeid. 2 *sek.* pärast kaetakse osa negatiivist papitükiga kinni, 4 *sek.* pärast nihutatakse papitükki edasi, 6 *sek.* pärast veel kaugemale jne. Niiviisi saadud proovitõmbe ilmutamist tehakse katmata küvetiga ja seda jälgitakse vahetult. Äratõmmet tuleb hoida ilmutis kuni ilmutamine on lõppenud. Kauem äratõmmet ilmutis hoida ei tohi, sest see võib põhjustada loori tekkimist. Äratõmbel saadud heledusastmete järgi määratakse sobivaim valgustusaeg ning tehakse selle ajaga negatiivist kaks äratõmmet. Ilmutamisele järgneb, nagu harilikult, kinnistamine ja pesemine. Sellega töö lõpebki.

Praktilisi märkusi. Töö fotografeerimise alal on arvestatud 95 minutile (kaks tundi 5 minutilise vaheajaga). Kogemused näitavad, et hea organiseerimise juures jagunevad ajad järgmiselt:

1. Fotografeerimine (kaks pilti) . . . . 18 min., nendest:
   a) kahe kasseti laadimine . . . . . 5 min.
   b) säriaja määramine ja pildistamine . . 13 min.
2. Kahe negatiivi valmistamine . . . . . 55 min. nendest:
   a) ettevalmistus ilmutamiseks . . . . 3 min.
   b) ilmutamine ja kinnistamine . . . . 24 min.
   c) negatiivide pesemine . . . . . 10 min.
   d) piiritusega niisutamine . . . . . 5 min.
   e) kuivatamine ventilaatoriga . . . . 13 min.

3. Kahe positiivse äratõmbe (positiivi) valmistamine ja lühiajaline pesemine . . . 22 min.

Kokku . . . . 95 min.

On väga tõenäoline, et osa õpilasi ei jõua määratud ajaga kogu tööd ära teha. Nii võib jääda positiiv tegemata. Selles pole suurt häda, kui negatiivprotsess on täielikult lõpetatud. Positiivi valmistamist võib lugeda mittekohustuslikuks ja teha seda klassivälise töö korras.

Kui rakendada kontaktkopeerimist märjalt negatiivilt, võib saavutada suurt aja kokkuhoidu. Sel juhul langevad välja niisutamine piiritusega ja kuivatamine, mis võtab vähemalt 18 minutit aega. Peale selle langeb välja vajadus piirituse ja ventilaatori järele.

Märjalt negatiivilt kopeerimisel toimitakse järgmiselt. Pestud negatiivilt lastakse vesi ära voolata ja asetatakse ta pärast seda kopeerraami. Negatiivile pannakse ettevaatlikult varem vees märjaks tehtud fotopaber nii, et paberi ja plaadi vahele ei jääks õhumulle. Kopeerraami vedrusid tuleb veidi nõrgendada (painutamisega) nii et raami kaas oleks kergelt surutud. Pärast seda valgustatakse raami nagu harilikult, positiivne äratõmme ilmutatakse, kinnistatakse, pestakse ja kuivatatakse.

See viis nõuab julget, osavat ja ettevaatlikku plaadi märja želatiinkihi käsitsemist, mis väga kergesti võib rikneda.

Õpilased tahavad harilikult omavalmistatud pildid kaasa võtta. Seda ei tule neile keelata, küll aga tuleb sel juhul nõuda pildi täiendavat pesemist.

Oma vihikutesse kirjutavad õpilased lühidalt töö käigu konkreetsete andmetega säriajast, lambi kaugusest kopeerraamist kopeerimise ajal, kinnistamise ajast, retseptidest jne., s. o. kõigest, mis võib neil hiljem kasulik olla iseseisval fotografeerimisel.

LÕPPSÕNA.

Kõikide praktikumi tööde iseseisev tegemine keskkooli vanemate klasside õpilaste poolt (kus iga töö, nagu nähtub kirjeldustest on lihtsa uurimise iseloomuga) on õpitud materjali suurepäraseks kordamise ja tõsise süvenemise viisiks. Tööde normaalne jaotus aga aasta vältel (praktikumi korraldamine pärast ühe või teise kursuse osa lõppemist) seob vajalikul määral praktilised tööd kogu kursuse õppimisega.

Tööde metoodiliselt õige korraldamise juures, kus õpilased järk-järgult tutvuvad praktikumi sisuga tundide ajal ja praktikumile eelneval päeval valmistuvad ette spetsiaalsete tööjuhendite järgi ning siis sooritavad kogu praktilise osa (seadme koostamine, katse tegemine, vaatlus, saadud tulemuste läbitöötamine jne. õpetaja vähestel näpunäidetel), õpivad kooli lõpetajad järk-järgult üle minema täielikule iseseisvale tööle.

Peale selle tugevdab, arendab ja avardab edukas praktikumi lõpetamine märgatavalt õpilaste oskuste ja vilumuste ringi, mis nad on saanud teistes tööliikides. Piisab ütlemisest, et tööde normaalse korraldamise juures õpilased puutuvad kokku ja õpivad rakendama rida riistu, mis on levinud laboratoorses praktikas, igapäevases elus ja mitmesugustel tootmisaladel. See kõik kahtlemata lähendab neid tulevasele praktilisele tööle.

Siia kuuluvad sellised mõõduriistad nagu nihkkaliiber, mikromeeter, tehnilised kaalud, lihtne nurgamõõtja, metronoom, stopper, pöörete lugeja, dünamomeeter, termomeeter (täpsus kuni 0°,1), psühhromeeter, elavhõbebaromeeter, galvanomeeter, milliampermeeter, voltmeeter, oommeeter ja teised sagedasti kasutatavad riistad, näiteks

helihark, detektor, raadiolamp, telefonitorud, elektrimootor, fotoelement, difraktsioonivõre, fotoaparaat, pikksilm, prismapikksilm, mikroskoop jt.

Õpilased tutvuvad praktikumis ka mõnede, nendele uute õppevahenditega, nagu kinemaatika ja dünaamika seaduste uurimise riista, ballistilise püstoli, joonpaisumise koefitsiendi määramise riista, kalorimeetriga soojuse mehhaanilise ekvivalendi määramiseks jt. Kõik need õppevahendid on oma konstruktsioonilt kas täiesti uued või märgatavalt täiustatud, et täiel määral täita praktikumi veel üht ülesannet — tutvustada õpilasi mõningate lihtsamate uurimismeetoditega ja füüsikaliste suuruste ning seaduspärasuste kindlakstegemisega.

Praktikumis õpivad õpilased õigesti hindama ja üldistama oma vaatluste tulemused. Nad arvutavad mõõtmisvigade ülemmäärad ja teevad iseseisvalt õigeid järeldusi ühe või teise mõõduriista ning mõõtmise meetodi rakendamise piiride kohta.

Üldharidusliku keskkooli ülesanne ei ole mingi kitsa tehnilise eriala omandamine. Siiski valmistatakse õpilasi ette selleks, et nad lühikese ajaga omandaksid elukutse tehnikaga küllastatud mistahes tootmisalal, kuid samuti saaksid usaldusväärse ja kindla baasi oskuste ning vilumuste edasiarendamiseks ja süvendamiseks kõrgemas koolis.

Nagu kogemused näitavad, viib praktikum keskkooli vanemates klassides õiges seoses frontaalsete laboratoorsete töödega füüsikaalaste teadmiste kvaliteedi tõusule ja teadmiste rikastamisele õigete praktiliste oskuste ning vilumustega. Kõik see kõneleb vajadusest järk-järgult sisse viia just sellise süsteemiga füüsika laboratoorsed tööd igas keskkoolis.

KIRJANDUS

А. Н. Зильберман и др. Лабораторные работы по физике, Учпедгиз, 1938, стр. 324.

Е. Н. Горячкин, С. И. Иванов, А. А. Покровский. Методика и техника школьного физического эксперимента. Учпедгиз, 1940, стр. 319.

Н. П. Рязанов. Организация практикума по физике в средней школе, изд. Гос. Н. И. ин-та школ НКП РСФСР, 1941, стр. 43.

В. А. Фетисов. Физический практикум, изд. Московского городского ин-та усоверш. учителей 1946, стр. 84.

П. А. Знаменский. Лабораторные занятия по физике в средней школе, ч. I и II, Учпедгиз, 1948 и 1949, стр. 308—364.

В. Н. Бакушинский, Организация лабораторных работ по физике в средней школе, Учпедгиз, 1949, стр. 180.

А. А. Покровский и Б. С. Зворыкин. Фронтальные лабораторные занятия по физике в средней школе, Учпедгиз, изд. 4, 1954, стр. 187.

А. И. Бачинский, В. В. Путилов, Н. П. Суворов. Справочник по физике, Учпедгиз, 1951, стр. 380.

Брошюры, изданные Главучтехпромом МП РСФСР (1948—1955).

SISUKORD

Eessõna 3
Sissejuhatus 5
I peatükk. **Praktikumi varustus** 11
II peatükk. **Praktikumi ettevalmistus ja tööde läbiviimise metoodika** 24
III peatükk. **Laboratoorsete tööde kirjeldused** 45

Mehhaanika ja akustika.

1. Pikkuse mõõtmine ja kaalumine 45
2. Kinemaatika ja dünaamika seaduste uurimine 49
3. Vaba langemise kiirenduse määramine 55
4. Horisontaalselt, vertikaalselt ja kaldu horisondiga visatud kehade liikumine 62
5. Elektrimootori võimsuse määramine lintpiduri abil . . . 68
6. Liikumiste mitmesuguste ülekannete uurimine 73
7. Jõu ja tõmbedeformatsiooni vahelise sõltuvuse uurimine . 82
8. Hüdraulilise pressi tehnilise karakteristika ja tõmbedeformatsiooni ning nihke purustavate pingete määramine . . 92
9. Häälelaine pikkuse ja hääle levimiskiiruse määramine õhus resonantsmeetodil 103

Soojus.

10. Brown'i liikumise vaatlus 109
11. Soojuse mehhaanilise ekvivalendi määramine kalorimeetrilisel viisil 115
12. Tahke keha joonpaisumiskoefitsiendi määramine . . . 122
13. Õhurõhu termilise koefitsiendi määramine 128
14. Õhu relatiivse niiskuse määramine hügromeetriga ja psühhromeetriga 132
15. Aurukatla, aurumasina ja auruturbiini ehituse ja töötamise tundmaõppimine 138
16. Sisepõlemismootori ehituse tundmaõppimine 150

Elekter.

17. Metallide takistuse temperatuuriteguri määramine . . . 163
18. Termopaari ja termoristi gradueerimine 168
19. Ühefaasilise vahelduvvoolu ja alalisvoolu generaatori ning mootori tundmaõppimine 174
20. Transformaatori kasuteguri määramine 184
21. Vahelduvvoolu alaldajate ehituse ja töötamise tundmaõppimine 191
22. Kolme elektroodiga elektrontoru tundmaõppimine . . . 199
23. Lihtsamate raadiovastuvõtjate koostamine 206

Optika.

24. Valgustustugevuse seaduste uurimine fotoelemendi abil . 215
25. Valguslaine pikkuse määramine difraktsioonvõrega . . . 220
26. Spektrite vaatlus ja võrdlus 227
27. Stsintsillatsiooni vaatlus 236
28. Mikroskoobi ja teleskoobi mudelite koostamine 239
29. Prismapikksilma koostamine ja selle suurenduse määramine 243
30. Fotografeerimine. Negatiivi ja positiivi saamine . . . 251
Lõppsõna 262

А. А. Покровский, А. И. Глазырин, А. Г. Дубов,
Б. С. Зворыкин, С. А. Шурхин

ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

в старших классах средней школы.
Пособие для учителя.

На эстонском языке

Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярнуское шоссе, 10

*

Toimetaja R. Siirak

Tehniline toimetaja H. Kohu

Korrektorid L. Golberg ja E. Kask

Ladumisele antud 31. VII 1958. Trükkimisele antud 24. X 1958. Paber 54×84, 1/16. Trükipoognaid 16,75 + 1 kleebis. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 13,83. Arvutuspoognaid 12,98. Trükiarv 1000. Tellimise nr. 3065. Trükikoda «Tartu Kommunist», Tartu, Ülikooli 17/19.

Hind rbl. 5.50

6—5

Rbl. 5.50

A-22328

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00396650 6