A. PJORÕŠKIN, N. RODINA, H. ROŠOVSKAJA

FÜÜSIKA ÕPETAMISEST VIII KLASSIS

METOODILISI JUHENDEID ÕPETAJALE

A. PJORÕŠKIN, N. RODINA, H. ROŠOVSKAJA

FÜÜSIKA
ÕPETAMISEST VIII KLASSIS

METOODILISI JUHENDEID ÕPETAJALE

Tagastage raamat õigeaegselt!
Возвратите книгу вовремя!

41 11. 1154. II 65. 100.000.

A-30865

A. PJORÕŠKIN
N. RODINA
H. ROŠOVSKAJA

FÜÜSIKA ÕPETAMISEST VIII KLASSIS

Metoodilisi juhendeid õpetajale

KIRJASTUS «VALGUS» · TALLINN 1970

Originaali tiitel:

А. В. Перышкин, Н. А. Родина, Х. Д. Рошовская.
ПРЕПОДАВАНИЕ ФИЗИКИ В VII КЛАССЕ ПО НОВОЙ ПРОГРАММЕ.
Пособие для учителей.
Издательство «Просвещение» Москва 1969.

Vene keelest tõlkinud *V. Tuisk*

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

6—5

Sissejuhatus

VII ja VIII klassi uue füüsikaprogrammi üheks põhiideeks on aine ehituse molekulaar-atomistliku teooria senisest varasem ja põhjalikum tutvustamine. Teooria osatähtsuse tõstmine juba füüsika õpetamise esimesel astmel võimaldab lahendada paljusid füüsika õpetamisega seotud ülesandeid: valmistada õpilasi ette laia loodusnähtuste ringi mõistmiseks, arendada neis füüsikalist mõtlemist, kujundada õigesti nende maailmavaadet ja esitada füüsika kursust kaasaja tasemel.

VII klassi programmi koostamisel ja õpiku kirjutamisel oli juhtmõtteks aine ehituse molekulaar-kineetilise teooria osatähtsuse suurendamine. Ettekujutus molekulidest, nende vastastikusest mõjust ja liikumisest antakse päris kursuse alguses. See võimaldab saadud teadmisi kohe rakendada õpitavate küsimuste, näiteks aine tahke, vedela ja gaasilise oleku erinevuste selgitamisel. Seejärel kasutatakse kujutlust molekulidest selliste küsimuste käsitlemisel, nagu tiheduse erinevus erinevatel ainetel ning samal ainel erinevates olekutes, gaasi rõhu olemus, hõõrdumise põhjused.

Hüdro- ja aerostaatikas on toodud andmed molekulide kohta, selleks et selgitada molekulaarrõhku vedelikes ja gaasides (Pascali seadus) ning atmosfäärirõhu sõltuvust kõrgusest.

Juba VII klassi kursuses vaadeldi seost keha temperatuuri ja molekulide liikumise kiiruse vahel, anti kujutlus soojusliikumisest kui suure hulga mikroosakeste korrapäratust liikumisest.

VIII klassis jätkub molekulaarfüüsika õppimine. Teema «Soojusnähtused» õppimisel kasutatakse ja süvendatakse VII klassis saadud teadmisi molekulidest. Asudes selle teema õpetamisele peab õpetaja arvestama, et ka siin on materjali esitus allutatud ülesandele kujundada teadmisi aine ehitusest.

VII ja VIII klassis lähtutakse füüsikaliste nähtuste selgitamisel kord mikrostruktuursest, kord energeetilisest seisukohast.

Soojusnähtuste õppimisel on energeetiline lähenemine tihedalt seotud molekulaarsete kujutlustega. Seetõttu on kursusesse võetud küllaltki keeruline mõiste keha siseenergiast kui keha koostisosakeste energiast. Siseenergia mõiste läbib kogu soojusõpetust. Selle mõistega kohtume aga ka elektriõpetuses.

Mikrostruktuurseid kujutlusi kasutatakse küllalt sageli elektriõpetuses. Kogu õpetus elektrinähtustest ja elektrivoolust põhineb kujutlusel elektronidest. Õpikus on seda eesmärki silmas peetud paragrahvides «Elektrivool metallides» ja «Elektrivool elektrolüütides». Elektroni mõiste on antud päris elektriõpetuse alguses teemas «Aatomi ehitus». Seal antakse ka kujutlus elektroniteooriast ja väikseimast elektrilaengust — elektroni laengust. Sel eesmärgil kirjeldatakse elementaarselt Millikani-Joffe katset. Molekulide ja elektronide olemasolu tõestavate katsete ja vaatluste kirjeldused muudavad selgituse veenvaks.

Molekulaar-kineetilise ja elektroniteooria elementide sissevõtmine koolifüüsika esimesse astmesse ja nende laialdane kasutamine soojus- ja elektrinähtuste selgitamisel võimaldab uuendada kursuse traditsioonilist sisu, tõsta selle teaduslikku taset, lähendada koolifüüsikat kaasaegsele teadusele, luua sisukam ja õpilastele huvipakkuvam füüsika algkursus.

Universaalsetel füüsikalistel õpetustel, sealhulgas molekulaar-kineetilisel ja elektroniteoorial rajanev õpetamise metoodika peab edasisel täiustumisel viima õpilaste poolt omandatava õppematerjali mahu vähendamisele. Tõepoolest, mitmed teaduslikud seisukohad, milliseid senini õpetati kui iseseisvaid printsiipe ja seadusi, järelduvad kõik kui üksikjuhud universaalsetest teooriatest. Nii esitatakse VII klassis terve hüdro- ja aerostaatika osa ainult Pascali seaduse põhjal. Ühendatud anumate seadus, Archimedese seadus, kehade ujumise tingimused kujutavad endast järeldusi sellest seadusest ning kaotavad järelikult oma iseseisva tähenduse.

Teine näide — kõigi energialiikide ühtne mõõtühik SI-süsteemis muutis mittevajalikuks soojuse mehhaanilise ekvivalendi, Joule'i-Lenzi seaduse jms. õppimise.

Molekulaar-kineetilise teooria lihtsast võrrandist saame vanemates klassides järeldustena sõltuvused gaasi oleku põhiliste parameetrite vahel, milliseid harilikult õpiti kui iseseisvaid gaaside seadusi.

Selles osas tehakse programmis ja õpikus alles esimesi samme: puuduvad kogemused, on kuidagi harjumatu ja raske lahti õelda ajalooliselt kujunenud seadustest ja printsiipidest. Kuid see on arvatavasti ainus võimalus kajastada koolifüüsikas teaduse aluseid õpilasi liialt koormamata.

Võib loota, et sel teel õnnestub koolifüüsika programme ja õpikuid vabastada teaduslikult ja pedagoogiliselt seisukohalt teisejärgulisest materjalist, millega seni oldi harjutud.

Füüsika õpetamise teadusliku taseme tõstmisel ning pedagoogiliste nõuetega vastavusse seadmisel kohtume paljude raskustega. Mõningad neist raskustest on tingitud objektiivsetest põhjustest. Teatavasti ei jätku paljudes koolides, eriti maal, vahendeid kõigi vajalike laboratoorsete tööde ja demonstratsioonkatsete korral-

damiseks. Veel pole jõutud välja töötada metoodikat mitmete tähtsate küsimuste õpetamiseks, milliseid senini peeti õpilastele rasketeks, kuid mis praegu on võetud kooli programmi (näiteks uus lähenemine siseenergia ja massi mõistetele).

Uute programmide ja õpikute koostamisel on silmas peetud, et nooremates klassides (III—IV) õpitakse loodusõpetust, kus on eraldi juttu ka füüsikalistest nähtustest ja mõistetest. Kuid see loodusõpetuse kursus on alles sissetoomise järgus ning VII—VIII klassi õpilased peavad õppima füüsikat veel 3—4 aastat ilma eelneva ettevalmistuseta. Nimetatud põhjustel õpilaste teadmistes tekkinud lüngad tuleb füüsika õpetajal likvideerida programmikohase materjali õpetamise käigus.

Peale selle tuleb välja töötada uus, sisule vastav õpetamise metoodika. Vana metoodika, mida tunnevad ja kasutavad õpetajad praegu, ei ole enam kõigis küsimustes kõlblik. Täiesti uut, praktikas kontrollitud füüsika õpetamise metoodikat pole seni veel välja töötatud. Uutes õpikutes ja nende juurde kuuluvates metoodilistes juhendites esitatud materjal nõuab kontrollimist praktikas ja suurt tööd üldhariduslikes koolides. Kahtlemata tehakse sellise kontrolli tulemusena nii programmides kui ka õpikutes korrektiive. Nende paranduste ja täienduste põhjal töötatakse välja veelgi ratsionaalsem metoodika.

Nagu ajalugu näitab, on keskhariduse reform revolutsiooniline protsess. Loomulikult on see seotud kujunenud veendumuste ja harjumuste purustamisega, mis omakorda põhjustab mitmesuguseid uusi raskusi. Kuid viimased on ajutise iseloomuga ja ületatavad, kui neid osatakse näha, mõista ja hinnata õigesti.

Edukaks füüsika õpetamiseks uute programmide ja õpikute järgi on tingimata tarvis tõsta demonstratsioonkatsete ja laboratoorsete tööde kvaliteeti. Nõukogude kooli füüsikaõpetajad on alati pööranud suurt tähelepanu õppevahendite konstrueerimisele, huvitavate ja efektiivsete katsete korraldamisele, koolides töötavatele noorte füüsikute ja meistrite ringidele jne. Uutele programmidele ülemineku perioodil on selline ringide töö äärmiselt vajalik.

Mitmesuguste füüsika õpetamise meetodite hulgas kasutatakse laialdaselt ülesannete lahendamist. Vanas, ennerevolutsiooniaegses koolis füüsika ülesandeid üldiselt ei lahendatud, seda ei tehtud ka ülikoolis. Isegi nõukogude võimu esimestel aastatel pöörati ülesannetele vähe tähelepanu. Vana kool ei osanud hinnata ülesannete osa füüsika õpetamisel. Sellele juhtisid tähelepanu progressiivsed professorid Hvolson, Umov jt. Pärast Suurt Sotsialistlikku Oktoobrirevolutsiooni võeti nõukogude koolis kasutusele uued progressiivsed õpetamismeetodid, sealhulgas ka füüsika ülesannete lahendamine.

Füüsika õpetajad võtsid selle meetodi kiiresti omaks ja hakkasid teda laialdaselt kasutama. Järk-järgult töötati välja ülesannete lahendamise ratsionaalne metoodika. Peagi muutusid üles-

anded nõukogude koolis füüsika õpetamise meetodite ja võtete süsteemi lahutamatuks osaks.

Ülesannete osatähtsus erinevates klassides on erinev. Nooremates klassides, kus füüsika programm on äärmiselt tihe, jääb ülesannete lahendamiseks võrdlemisi vähe aega. Vanemates klassides kulub ülesannetele juba tunduvalt rohkem aega.

Kombineeritud ülesanded on enamikule VII—VIII klassi õpilastele rasked, seepärast ei ole otstarbekas kulutada nende lahendamisele liiga palju aega. Seoses üldise arengu ja matemaatilise ettevalmistuse tõhustumisega õpitakse järk-järgult lahendama ka keerukamaid ülesandeid. Kogemused näitavad, et õpilased, kes algul lahendasid lihtsamaidki ülesandeid suurte raskustega, suudavad mõninga aja möödumisel lahendada vabalt ka keerukamaid ülesandeid. Kui õpetaja näeb, et keerulised kombineeritud ülesanded valmistavad õpilastele raskusi, pole vaja nende juures pikemalt peatuda. Seda tüüpi ülesannete juurde tuleb pöörduda tagasi hiljem, kas vastava teema, veerandi, poolaasta või õppeaasta lõpul.

Tingimata tuleb pöörata tähelepanu suulistele ülesannetele. Need panevad õpilasi nähtuste üle järele mõtlema ja aitavad neil paremini omandada õpitavat materjali. Loomulikult on vaja rohkem kasutada häid küsimusülesandeid, sest nende abil on kõige parem arendada õpilaste mõtlemisvõimet. Samuti tuleb kasutada katselisi ülesandeid.

Olles rääkinud ülesannete tähtsusest füüsika õpetamisel, peatume veel kontrolltööde sisul. Traditsioonide kohaselt sisaldavad füüsika kontrolltööd isegi keskastmes põhiliselt erineva raskusastmega ülesandeid. Küsimusi, mis nõuaksid õpilastelt ulatuslikke kirjalikke vastuseid, tavaliselt ei anta ja see on ka õige. Kui ülesanded on valitud õnnestunult, s. t. on sisukad, õpilastele jõukohased ning ei nõua keerukaid arvutusi, siis selline kontrolltöö on kasulik ja peegeldab teataval määral õpilaste teadmisi.

Peatume lühidalt veel VII ja VIII klassi laboratoorsetel töödel. VIII klassi programmis ettenähtud 14 tööd tuleb läbi viia 14 õppetunniga. Mõned õpetajad suhtuvad laboratoorsetesse töödesse kui täiendavasse materjalisse. Nende arvates on füüsika kursusele VIII klassis nähtud ette 70 tundi, neist läheb laboratoorseteks töödeks 14 tundi, järelikult jääb programmikohase materjali läbivõtmiseks 56 tundi, mis tuleb jaotada üksikute teemade ja tundide vahel. Kahjuks arutlevad nii paljud õpetajad.

Selline suhtumine laboratoorsetesse töödesse pole millegagi põhjendatud ja on täiesti väär. Enamikel juhtudel on laboratoorne töö otseselt seotud õpitava materjaliga.

Laboratoorseid töid tehes tutvuvad õpilased uute nähtuste, suuruste ja seaduspärasustega. Paljud teemad, elektrikursusest näiteks vooluring, voolutugevuse mõõtmine ampermeetriga, pinge mõõtmine voltmeetriga, juhtide järjestikune ühendamine, magne-

tite magnetväli, elektromagnetiline relee ja mõningad teised võetakse täielikult läbi laboratoorsete tööde käigus. Loomulikult on ka laboratoorseid töid, mille eesmärgiks on kontrollida õpitud seaduspärasust või anda õpilastele mõõtmisvilumusi, kuid ka need küsimused kuuluvad programmi.

Laboratoorsele tööle peab eelnema vestlus tunni teemast, mille käigus antakse ka juhendid töö läbiviimiseks. Töö peab sisaldama mitmesuguseid ülesandeid ja küsimusi. Nende ülesannete täitmine ja küsimustele vastamine nõuab õpilastelt teema täpset tundmist.

VIII klassi uue õpiku lõpus toodud laboratoorsete tööde kirjeldused on määratud õpilastele. Õpetajale määratud juhendid on toodud käesolevas metoodilises käsiraamatus.

Uues VIII klassi füüsika õpikus nagu VII klassi õpikuski on kohustusliku materjaliga paralleelselt toodud paragrahvid täiendavaks lugemiseks. Nende õppimine ei ole õpilastele kohustuslik. Täiendavaks lugemiseks määratud materjali võib õpilastele ainult soovitada täpselt nii nagu populaarteaduslikku kirjandusfki. Arusaadavalt tuleb täiendavaid paragrahve soovitada esmajärjekorras hästi edasijõudvatele ning füüsikast eriti huvitatud õpilastele. Täiendavad paragrahvid on õpetajale abiks diferentseeritud õpetamisel.

Selle materjali osas ei tule õpilaste teadmisi hinnata ega pidada eriarvestust mingil teisel kujul.

Füüsikaringi liikmetele võib soovitada ettekandeid mõnede paragrahvide lõpus toodud teemadel. Enamasti tuleb neid ettekandeid kuulata väljaspool õppetunde, kuid mõningail juhtudel on neid kasulik kuulata ka tunnis. Ühe-kahe huvitava ettekande põhjal võib organiseerida ülekoolilise füüsikaõhtu. Väga huvitavad teemad sellisteks õhtuteks on «Reaktiivliikumine», «Elektrilised nähtused atmosfääris», «Elektrivalgustus».

Õppefilmide, diapositiivide, tabelite ja plakatite kasutamine muudab füüsika õpetamise VII—VIII klassis elavamaks ja huvitavamaks.

Tuleb muidugi meeles pidada, et juhtiv osa õppeprotsessis kuulub õpetajale. Õpetamise edukus sõltub eelkõige ikkagi tema teadmistest, oskustest, pedagoogilisest talendist ja tööarmastusest.

Käesolevas raamatus soovitatud füüsika õpetamise metoodikat on kontrollitud NSVL Pedagoogikateaduste Akadeemia Üldise ja Polütehnilise Hariduse Teadusliku Uurimise Instituudi füüsika õpetamise sektori poolt 1966/1968. a. Moskva 204. ja 315. koolis ning Kurski 7. koolis.

SOOJUSNÄHTUSED

I peatükk. SOOJUSÜLEKANNE JA TÖÖ

ÜLDISED MÄRKUSED

Soojusnähtuste tundmaõppimist alustatakse VIII klassis teemaga «Soojusülekanne ja töö». Selle teema õppimisel põimuvad tihedalt kaks käsitluslaadi — energeetiline ja mikrostruktuurne.

VII klassis tutvusid õpilased teema «Töö ja energia» õppimisel mehhaanilise energia ühe liigi teiseks muutumise protsessi kvalitatiivse küljega. Teemas «Soojusülekanne ja töö» puutuvad nad esmakordselt kokku energia jäävuse ja muundumise seadusega. Klassis on selle seaduse kasutuselevõtmise eksperimentaalseks aluseks ainult üks laboratoorne töö: kahe erineva temperatuuriga veekoguse segamine. Aine omandamise edukus sõltub siin suurel määral õnnestunult valitud näidetest ja illustratsioonidest.

Seejärel kasutatakse energia jäävuse seadust aine ühest olekust teise ülemineku vaatlemisel. Edasist rakendamist leiab energia jäävuse seadus elektriosas, mille õppimisel energeetiline suund jälle põimub tihedalt mikrostruktuursega.

Füüsika teooria elementide kasutamine on mõjutanud ka materjali esituslaadi VIII klassi õpikus. Esitamise aluseks on jäänud endiselt eksperiment. Vastavalt teaduse meetoditele, kus eksperimenti ei tehta huupi, vaid kindla eesmärgiga, eelneb mõningates õpiku paragrahvides (kuigi mitte kõigis) demonstratsioonkatse kirjeldusele lühike sissejuhatus.

See ei ole vastuolus õpetamise metoodikas väljakujunenud võttega, mille kohaselt alguses näidatakse katset ja hiljem selgitatakse seda. Ka uues õpikus selgitatakse katseid, tehakse neist kindlad järeldused. Kuid sagedamini kui varem kasutatakse siin katseid teoreetiliste oletuste kinnitamiseks. Selliselt on õpikus käsitletud konvektsiooni (§ 6), kiirgamist (§ 9), aurumist (§ 36), elektrivoolu jne. Seal, kus eelnev selgitamine pole otstarbekas, algab materjali esitus katsetest nagu varemgi. Näiteks katsele langeva pliikuuliga (§ 2) ei eelne arvatavat tulemust; siin ei olegi seda tarvis ette öelda, sest ka õpilastel endil on huvitav mõelda, kuhu «kadus» kuuli mehhaaniline energia pärast tema kukkumist.

Teemas «Soojusülekande liigid» vaadeldakse ja selgitatakse algul soojusjuhtivust ja alles seejärel konvektsiooni. Selline järjestus on valitud kaalutlusel, et soojusjuhtivuse õppimine aitab

paremini mõista nähtusi, mis toimuvad aine sisemuses ja on seotud osakeste liikumisega, kui konvektsiooni mehhanismi õppimine. Konvektsiooni puhul toimub vedelike ja gaaside makroskoopiliste hulkade ümberpaigutumine. Selle nähtuse selgitamine on seotud põhiliselt mehhaanika seadustega.

MOLEKULIDE SOOJUSLIIKUMINE

Enne soojusliikumise mõiste õppimist on kasulik korrata molekulide liikumiskiiruse sõltuvust keha temperatuurist (VII kl. õpik, § 12). See seos tehti kindlaks difusiooni kiiruste võrdlemise põhjal erineva temperatuuriga kehades.

On kasulik uuesti näidata, kuidas kulgeb difusioon erinevatel temperatuuridel (fragment «Difusioon» õppefilmist «Molekulid. Molekulaarne liikumine»). Kui VII klassi õpilased tegid kodus katse vedelike difusiooni jälgimiseks erinevatel temperatuuridel[1], võib seda meelde tuletada ja korrata tehtud järeldusi.

Seejärel näidatakse Browni liikumise mehhaanilise mudeli abil «molekulide» liikumise erinevust madalama ja kõrgema temperatuuri juures (riistast võetakse välja kummikork, sinna jäävad ainult kuulikesed).

Molekulide soojusliikumise mõistet tuleb VIII klassis süvendada. Nüüd õpilased juba tunnevad mehhaanilise liikumise, kiiruse, jõu ja trajektoori mõisteid. Nad on õppinud tundma kehade vastastikust mõju, neil on ettekujutus keha kiiruse muutumise põhjustest. Eelnevat arvestades saame nüüd täielikumalt avada soojusliikumise mehhanismi. Võib näidata, et iga molekuli liikumine on mehhaaniline. See järeldub mehhaanilise liikumise definitsioonist (VII kl. õpik, § 17). Mingi keha molekuli asend muutub pidevalt selle keha teiste molekulide ja ümbritsevate esemete suhtes. Üksiku molekuli liikumise kohta on rakendatavad trajektoori, liikumiskiiruse ja läbitud tee mõisted, kuigi võimatu on jälgida üksiku molekuli liikumist, joonistada tema tegelikku trajektoori või määrata hetkkiirust.

Õpilased on ette valmistatud selleks, et mõista, millist vastastikust mõju avaldavad molekulid üksteisele kokkupõrkamisel ja miks muutuvad nende liikumiskiirused. Need teadmised võimaldavad selgitada, mida mõistetakse molekulide liikumise keskmise kiiruse all. Seda on kõige lihtsam teha gaasi molekulide liikumise näite abil.

Seejärel minnakse üle soojusliikumise mõiste juurde. Tuleb rõhutada, et osakeste liikumise korrapäratus ja nende osakeste arvukus on soojusliikumise iseloomulikuks jooneks. On ilmne, et

---

[1] А. В. Перышкин и др. Преподавание физики в VI классе. М., «Просвещение», 1968, стр. 13.

terve liikuvate molekulide kogumiku jaoks ei saa rakendada ei mehhaanilise liikumise, ei trajektoori ega läbitud tee mõistet. Kiirusel ja tema põhiliste karakteristikute — suuruse ja suuna mõistel ei ole mõtet osakeste hulga jaoks (võime rääkida ainult keskmisest kiirusest, mille omistame igale üksikule molekulile).

Õpilastele tuleb selgitada, miks seda liikumist nimetatakse soojusliikumiseks. Molekulide liikumises peitub soojuse ja soojusnähtuste olemus.

Siin või siis soojusliikumise õppimise alguses võib tuua soojusnähtuste kohta näiteid, mis on õpilastele tuttavad ümbritsevast elust: soojenemine, sulamine, aurustumine. Nende nähtuste soojusliku olemuse võivad esile tuua õpilased ise, sest nad teavad, et keha soojenemine on seotud molekulide liikumiskiiruse muutumisega ning et sulamisel ja aurustumisel muutub molekulide liikumise iseloom (VII kl. õpik, § 15).

KEHADE SISEENERGIA JA SELLE MUUTUMISE VIISID

Käesoleval ajal on füüsika õpetamise metoodikas kindlalt juurdunud (senini vaidluse all olnud) seisukoht, et mõisteid *soojus* ja *siseenergia* ei saa samastada. Täpselt samuti ei saa me keha siseenergiat nimetada tema soojusenergiaks. Teaduslikus ja metoodilises kirjanduses on need seisukohad saanud küllaldase põhjenduse[1].

Definitsiooni järgi on keha siseenergia energia, mis sõltub ainult tema sisemisest olekust. Siseenergia on molekulidevahelise ja molekulisiseste mõjude energia ning molekulide soojusliikumise energia summa.

Õpikus on see määratlus küll lihtsustatud, kuid siiski püütakse õpilastele mõistetavaks teha, et siseenergia sõltub keha temperatuurist ja tema agregaatolekust (s. t. on oleku funktsioon). Selleks näidatakse algusest peale ning edaspidi ka põhjendatakse, et keha siseenergia muutub tema temperatuuri muutumisel, tema üleminekul ühest agregaatolekust teise, tema tükeldamisel väikesteks osadeks.

Siseenergia mõiste ja tema muutumise viiside käsitlemine põhineb õpikus energia jäävuse ja muundumise seadusel (kuigi see on formuleeritud alles teema lõpul) ja molekulaar-kineetilistel kujutlustel. Selline lähenemine vastab kaasaegsetele arusaamadele. Samuti peegeldab ta siseenergia mõiste tekkimise ja kujunemise ajalugu 19. sajandil avastatud energia jäävuse ja muundumise

---

[1] Ю. И. Соколовский. Понятие работы и закон сохранения энергии. М., Изд-во АПН РСФСР, 1962, стр. 276; Л. И. Резников, Э. Е. Эвенчик, В. Ф. Юськович. Методика преподавания физики в средней школе, ч. II, гл. 7.

seaduse ning selleks ajaks väljakujunenud molekulaar-kineetilise teooria põhjal.

VIII klassis vaadeldakse ainult seda siseenergia osa, mis koosneb molekulide soojusliikumise energiast (sellele pööratakse peamine tähelepanu) ja molekulidevahelise mõju energiast.

Pärast VII klassis õpitud mehhaanilise energia mõiste ja liikide kordamist minnakse keha siseenergia mõiste juurde. Õpikus antakse see kahe jäiga keha — pliikuuli ja pliiplaadiga tehtud katse analüüsi põhjal. Katsest tehakse järeldus, et kuuli mehhaaniline energia muutus uueks energialiigiks — siseenergiaks. Katse on efektiivne ja järeldus veenev, kui eelnevalt korrata VII klassis tehtud katset elastsete kehade põrkumise kohta.

Esimese demonstratsiooni ajal (ülesvisatud kummipalli või teraskuuli kukkumine elastsele alusele) tuleb koos õpilastega korrata järgmisi küsimusi: milline energia on kuulil tõusu kõrgeimas punktis, põrkumisel vastu plaati jne. Seejärel tuleb meelde tuletada järeldus mehhaanilise energia muundumiste kohta. Seda järeldust on mõtet korrata ainult konkreetse katse — elastse kuuli kukkumise puhul, sest see katse pole mõeldud energia jäävuse ja muundumise seaduse illustreerimiseks, vaid järgnevalt pliikuuliga tehtava katse paremaks mõistmiseks.

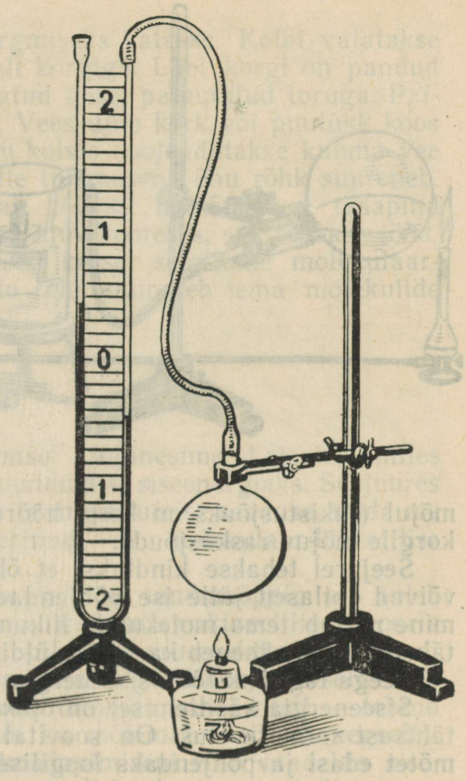
Peale õpikus kirjeldatud katse (pliikuuli kukkumine pliiplaadile) võib pärast siseenergia mõiste andmist tuua ja demonstreerida veel teisi näiteid, kus mehhaaniline energia muundub siseenergiaks. Võib vaadelda näiteks pendli võnkumise sumbumist või laual libiseva keha liikumise aeglustumist ja peatumist. Viimast juhust, laual libiseva keha kineetilise energia muundumist siseenergiaks, saab selgitada vestluse abil, sest õpilased teavad, et hõõrdejõud on seotud nende kehade molekulide vastastikuse mõjuga (VII kl. õpik, § 52).

Pärast katsete demonstreerimist ja selgitamist antakse keha siseenergia mõiste hoolikalt põhjendatud määratlus, tuginedes õpilaste teadmistele molekulide soojusliikumisest.

Keha molekulide kineetilise energia olemasolu on õpilastele üldiselt hästi mõistetav, sest alles äsja vaadeldi soojusliikumist. Molekulide potentsiaalse energia olemasolu aga nõuab põhjalikku selgitamist. Siin tuleb meenutada molekulide vastastikust mõju, molekulide vastastikuse potentsiaalse energia muutumist nendevahelise kauguse muutumisel. Kasulik on võrrelda ülesvisatud keha ja deformeerunud keha potentsiaalset energiat.

Tuleb rõhutada, et kehadel on alati siseenergia, kuna nende molekulid pidevalt liiguvad ja mõjutavad üksteist. Katses plaadile kukkuva pliikuuliga nende kehade siseenergia suurenes, kuid loomulikult oli neil ka enne kokkupõrget teatud hulk siseenergiat.

Pärast siseenergia mõiste andmist ja selgitamist tuleb katsete abil näidata selle olemasolu kehadel. Kuna me andsime energia mõiste kui keha võime teha tööd (VII kl. õpik, § 108), nõuab loo-

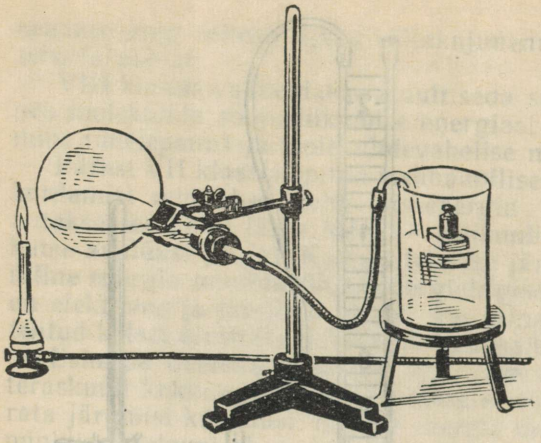


Joon. 1.

gika selle väite tõestamist (näiteks, liikuv keha võib teha tööd — tähendab, tal on energiat). Seetõttu tuleb meie arvates just siin teha katse, mis näitab, et suruõhk võib teha oma siseenergia arvel tööd. Kuigi katse kirjeldus on õpikus antud hiljem kui siseenergia sõltuvus keha temperatuurist, võib katset näidata ka varem (kuid mitte anda koduseks ülesandeks).

Katse korraldamisel on vaja esile tuua katse tuum — õhu siseenergia vähenemine töö sooritamise hetkel. Et õpilaste tähelepanu kõrvalise tegevusega mitte hajutada, tuleb vesi valada nõusse juba varem (nimelt nõuab selle katse metoodika, et nõus oleks vett, sest siis on udu tekkimine märgatavam). Katse ajal tuleb õpilaste tähelepanu keskendada sellele, mis toimub nõus korgi äralendamise momendil. Tuleb saavutada, et udu tekkimine oleks hästi märgatav.

Järeldused katsest tehakse vestluses õpilastega. Kõigepealt tehakse kindlaks, et õhk tegi mehhaanilist tööd. VII klassis õpitust on teada, et alati, kui liikuvale kehale mõjub jõud, tehakse mehhaanilist tööd (VII kl. õpik, § 93). Kork tõusis gaasi rõhumisjõu



Joon. 2.

mõjul (takistusjõuks on korgi hõõrdumisjõud vastu nõu kaela ja korgile mõjuv raskusjõud).

Seejärel tehakse kindlaks, et õhu siseenergia väheneb. Seda võivad õpilased jälle ise põhjendada. Nad teavad, et õhu jahtumine näitab tema molekulide liikumiskiiruse vähenemist, see aga tähendab, et väheneb ka nende üldine kineetiline energia.

Seega tegi õhk tööd siseenergia arvel.

Siseenergia käsitlemisel on õpikus rõhutatud selle energialiigi tähtsust inimese elus. On soovitatav, et õpetaja arendaks seda mõtet edasi ja põhjendaks loogiliselt, miks on vaja õppida siseenergiat, tema suurendamise viise, kasutamist ja arvutusi tema muutumise suuruse määramiseks.

Mehhaanilise energia mõiste selgitamisel võib kohe rääkida ka selle, näiteks voolava vee, tuule jne. energia kasutamisest. Siseenergia praktilise kasutamise võimalused selguvad alles teema «Soojusjõumasinad» käsitlemisel. Et järgneva materjali õppimine ei tunduks õpilastele tarbetuna, on otstarbekas neile jutustada selle materjali õppimise praktilisest eesmärgist. Meenutades näiteid mehhaanilise energia kasutamisest, võib rääkida ka siseenergia, näiteks auru energia kasutamisest. Soovitav on tuua näiteid kütuse energial töötavatest elektrijaamadest (võrrelda seda langeva vee energia kasutamisega). Selliselt saame põhjendada siseenergia õppimise vajadust, kuna tehnika areng sõltub siseenergia täielikumast ärakasutamisest.

Seejärel asutakse õppima keha siseenergia sõltuvust keha temperatuurist.

Keha siseenergia suurenemist keha soojendamisel saab näidata katsete abil. Lihtsa katsega (joon. 1) näidatakse, et soojendatud gaas (õhk) tõstab vedelikusammast manomeetri torus, s. t. teeb tööd.

Joonisel 2 näeme seadet järgmiseks katseks. Kolbi valatakse vett ja suletakse seejärel tihedalt korgiga. Läbi korgi on pandud toru, mis on vooliku abil ühendatud teise, painutatud toruga. Painutatud toru ots asub veenõus. Vees ujub kork või puutükk koos sellele asetatud raskusega. Õhku kolvis soojendatakse kuuma vee või piirituslambi leegi abil, mille tulemusena õhu rõhk suureneb. Kolvist väljasurutud vesi voolab nõusse, mistõttu vee tasapind seal tõuseb, seega kerkib ka vees ujuv koormus, s. t. tehakse tööd. Tugevamad õpilased on suutelised katset selgitama molekulaar-kineetilise teooria põhjal — õhu rõhk suureneb tema molekulide liikumiskiiruse suurenemisel.

SISEENERGIA MUUTUMISE VIISID

Keha siseenergia mõiste andmisel tuginesime katsele, milles nägime mehhaanilise energia muundumist siseenergiaks. Seejuures võtsime aluseks energia jäävuse ja muundumise seaduse, mida me õpilastele pole veel formuleerinud, ja molekulaar-kineetilise teooria.

Keha siseenergia muutumise viiside tundmaõppimisel tuleb kinni pidada termodünaamika ja molekulaar-kineetilise teooria kujutlustest, formuleerides neid õpilastele arusaadavas vormis.

Sel eesmärgil tuleb õpilastele anda selge ettekujutus sellest, et keha siseenergia suurenemine võib toimuda kahel viisil — tehtud töö ja soojusülekande arvel (või ka mõlemal viisil üheaegselt). Kuni aine agregaatolekute tundmaõppimiseni võib vaadelda siseenergia suurenemise ühte tunnust — keha soojenemist (temperatuuri tõusmist). Kõik need arutlused võib üle kanda ka keha siseenergia vähenemisele, kui ta soojusülekandel ise teeb tööd või annab energiat ära.

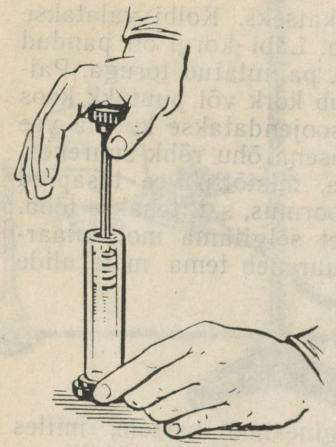
Soojusülekande protsessi selgitamisel tuleb näidata, et sellest võtavad osa vähemalt kaks keha ja et ühe keha siseenergia suurenemine on otseselt seotud teise keha siseenergia vähenemisega.

Seletused, mis põhinevad molekulaar-kineetilisel teoorial, peavad olema võimalikult lihtsad. Töötegemise protsessis muutub keha siseenergia, sest keha hõõrumisel, tagumisel ja painutamisel hakkavad tema aatomid ja molekulid kiiremini liikuma.

Soojusülekande korral võib kahe erineva temperatuuriga keha puutekohas toimuda energia ülekandumine osakeselt osakesele nende kokkupõrgetel. Seetõttu kuumema keha molekulide kineetilise energia summa väheneb, s. t. väheneb tema siseenergia. Jahedama keha siseenergia aga suureneb.

Ka soojusülekande korral tehakse tööd, kuid seda ei tee mitte makroskoopilised kehad, vaid korrapäratult liikuvad mikroosakesed.

Siseenergia muutumist mehhaanilise töö arvel demonstreeri-



Joon. 3.

takse valgevasest torukesse valatud eetri soojendamisega (katse kirjeldus on õpikus).

Selles tunnis on soovitatav teha ka teisi katseid:

1) pliitükikese soojenemine vasaraga tagumisel, plekiriba soojenemine edasi-tagasi painutamisel (nendes katsetes tuleb kasutada elektritermomeetrit, mida on kirjeldatud lk. 27);

2) eetriaurude süttimine nende kokkusurumisel õhksüütajas (joon. 3)[1].

Kasulik on lasta õpilasi tunnis teha väike iseseisev töö. Neile jagatakse terasvardad, millele on tihedalt lükitud korgitükikesed (kui vardaid pole, võib need asendada ka jämeda traadiga). Korgi kiirel edasi-tagasi liigutamisel kuumeneb varras mõne minuti jooksul niivõrd tugevasti, et võib isegi põletada kätt.

Materjali esitamise loogika nõuab, et pärast seda, kui on vaadeldud keha siseenergia suurenemist töö arvel, näidatakse õpilastele, et siseenergia väheneb, kui keha ise teeb tööd. Selleks on õpikus antud katse õhu adiabaatilise paisumise kohta. Katse tulemusena tõukab õhk nõult korgi (joon. 5 õpikus). Seda katset me soovitasime teha siseenergia mõiste andmisel. Nüüd võib seda korrata või lihtsalt meelde tuletada, kuid küsida õpilastelt selle katse sisu võib alles pärast õpiku 4. paragrahvi õppimist, kus on antud katse kirjeldus.

Keha siseenergia muutumise teine viis — soojusülekanne, on õpilastele igapäevasest elust nii tuttav, et seda katseliselt enamasti ei demonstreeritagi. Kuid, arvestades asjaolu, et VII ja VIII klassi õpilased kuulavad tähelepanelikult seletusi ja suhtuvad

[1] А. А. Покровский и др. Демонстрационные опыты по молекулярной физике и теплоте. М., Учпедгиз, 1960, стр. 64.

neisse suurema huviga, kui seletusi saadavad kas või kõige lihtsamad katsed, on otstarbekas näidata ka soojusülekannet. Siin võib jälle kasutada termomeetrit ja pliitükikest, mida kasutasime juba katses, kus plii soojenes löökidest, ainult nüüd tuleb pliitükki soojendada kuumas vees, s. t. soojusülekande teel. Kuni plii soojeneb, võib toimuvat protsessi selgitada (samuti nagu on antud õpikus). Tuleb silmas pidada, et erinevalt katsetest soojusjuhtivuse kohta selgitatakse siin energia ühelt kehalt teisele, mitte aga keha ühelt osalt teisele ülekandumise mehhanismi.

Keha siseenergia muutumisviiside õppimisel on vaja laialdaselt kasutada õpilaste kogemusi elust ja töökojapraktikast. Õpilastelt võib küsida, miks kuumenevad tööriistad ja töödeldavad detailid, kuidas sõltub detaili temperatuuri tõus tehtud töö suurusest (mis omakorda sõltub hõõrdejõust ja rõhumisjõust, töötlemise kestusest jne.). Siin, ja ka edaspidi, energia muundumise käsitlemisel, on otstarbekas vaadelda tööpinkide ja transpordivahendite võllide määrimise osatähtsust, samuti laagrite vajalikkust. Viimaseid kasutatakse ilmselt sel eesmärgil, et võimalikult vähem mehhaanilist energiat muunduks siseenergiaks. Rõhutame, et detailide töötlemisel nende siseenergia suureneb esimesel viisil — mehhaanilise energia arvel, aga pärast töötlemist, kui detailid jahtuvad, väheneb teisel viisil — soojusülekande teel. Seejuures kandub energia detaililt teda ümbritsevatele kehadele.

SOOJUSHULK

Soojusülekande puhul teevad tööd korrapäratult liikuvad mikroosakesed, mitte makroskoopilised kehad. Sisuliselt toimub nii ühel kui ka teisel juhul energia ülekandmine ühelt kehalt teisele, kusjuures saavutatakse sama tulemus — energiat saava keha molekulide kineetilise energia suurenemine.

Siseenergia muutumise kahe võimaluse tõttu on aja jooksul kujunenud tema mõõtmiseks kaks mõõtühikut. Kui siseenergia muutub mehhaanilise energia arvel, võib selle muutumise suurust nimetada töö hulgaks või lihtsalt tööks. Sel juhul võib siseenergia muutumise suuruse võrdsustada tööga, mida mõõdetakse mehhaanikast tuntud seaduste põhjal.

Kui siseenergia muutub soojusülekandel, siis mõõdab seda muutumist suurus, mida nimetatakse soojushulgaks. Iga üksikut soojusülekande puhul osakeselt osakesele üleantavat energiaannust on praktiliselt võimatu hinnata. Seetõttu määratakse soojushulka makroskoopiliste suuruste — aine erisoojuse, keha massi ja tema temperatuuri muutumise põhjal.

Seega, soojushulk on füüsikaline suurus, mis iseloomustab soojusülekande protsessi. Soojushulka mõõdetakse energiaühiku-

tes, arvuliselt on ta võrdne siseenergia selle muutusega, mis toimus ainult soojusülekande teel.

Kui soojusülekandel kehale antavast energiast kulub osa töö tegemiseks, siis keha siseenergia muutumine on soojushulgast väiksem. Kui näiteks kolviga varustatud nõus olev gaas, saanud teatud soojushulga, tõstab kolbi, siis gaasi siseenergia suurenemine on võrdne talle antud soojushulga ja tema poolt kolvi tõstmisel tehtud töö vahega.

Kui üheaegselt soojusülekandega tehakse kehaga ka mehhaanilist tööd, siis keha siseenergia on suurem talle üleantud soojushulgast.

Soojushulga mõiste käsitlemisel on õpikus antud kaks terminit: soojushulk ja soojus, s. t. soojushulga tähistamiseks võime kasutada ka sõna *soojus*. Seda on õpikus tehtud materjali esitamise lihtsustamiseks. Soojushulga mõiste esineb õpikus niivõrd sageli, et ilma sellise lihtsustamiseta oleks meie arvates kannatanud materjali esitamise stiil.

Konkreetsemaid näpunäiteid soojushulga mõiste õpetamiseks anname edaspidi selle mõõtmise selgitamisel.

Õpilased peavad aru saama, et väljendus «keha sai teatud soojushulga» tähendab, et keha siseenergia kasvas teatud väärtuse võrra soojusülekande kaudu, s. t. tööd tegemata.

On vajalik, et õpetaja kasutaks seda väljendit küsimuste selgitamisel ja formuleerimisel. Siiski pole vaja õpilastelt tingimata nõuda, et nad väljendi «keha sai teatud soojushulga» asemel alati ütleksid «keha siseenergia suurenes nii ja nii palju», kuna see on neile raske. Õpilased peavad aru saama, et kui pole soojusülekande protsessi, ei ole ka soojushulka, et kehal, mis annab energiat ära või saab seda juurde, ei ole mingeid «soojushulga varusid», vaid on siseenergia. Väljendi *soojushulk* mõistmise väljaselgitamiseks võib esitada järgmise küsimuse: termoses oli keev vesi, mis hea soojusisolatsiooni tõttu säilitas teatud aja kestel püsiva temperatuuri. Seejärel termos avati. Miks võime alles pärast seda rääkida soojushulgast?

Keha siseenergia muutumise viiside vaatlemisega lõpetame selle tähtsa mõiste õppimise esimese etapi. Õpilased peavad selleks ajaks omandama põhiseisukohad. Õpitud materjali detailset tundmist ja katsete tegemise üksikasju pole neilt tingimata vaja nõuda. Iga paragrahvi lõpus antud kontrollküsimustest võib välja valida põhilised ja nende abil korrata õpitud materjali. Õpilased peavad oskama jutustada soojusliikumise iseärasust ning selgitada, miks seda liikumist nimetatakse soojusliikumiseks. Nad peavad tundma siseenergia mõiste definitsiooni ja oskama selgitada, miks siseenergia muutub keha soojendamisel või jahtumisel; miks on vaja seda nähtust õppida; peavad tundma siseenergia muutmise kahte viisi ja oskama neid selgitada; nad peavad oskama õigesti kasutada väljendit *soojushulk*.

SOOJUSÜLEKANDE LIIGID

On olemas kolm soojusülekande liiki: soojusjuhtivus, konvektsioon ja kiirgamine.

1. Soojusjuhtivus on soojuse ülekandmise protsess keha soojematelt osadelt külmematele, mis viib temperatuuride võrdsustumisele. Soojusjuhtivuse põhitunnuseks on energia ülekandmise molekulaar-atomistlik iseloom, mis pole seotud makroskoopiliste ümberpaigutustega kehas. Gaaside ja vedelike soojusjuhtivuse mehhanism on seotud molekulide korrapäratu soojusliikumisega: keha soojemate osade molekulid, põrkudes oma liikumisteel kokku jahedamate osade molekulidega, annavad neile üle osa oma energiast. Gaaside ja vedelike soojusjuhtivuse mehhanismis etendab teatud osa ka «kiirete» molekulide difusioon keha jahedamasse ossa.

Metallide hea soojusjuhtivus on seletatav sellega, et erinevalt teistest ainetest ei kandu soojus neis edasi molekulide ja aatomite soojusliikumise teel, vaid vabade elektronide soojusliikumisena. See omakorda on seotud elektronide soojusliikumise kiirusega (umbes $10^6 \frac{m}{s}$, kuid aatomite ja molekulide soojusliikumise kiirus on $10^2 - 10^3 \frac{m}{s}$). Dielektrikute soojusjuhtivuse mehhanism erineb metallide omast. Sellise keha kuumema osa kiiresti võnkuvad aatomid (ioonid) kutsuvad oma tugeva mõju tõttu naaberosakestele esile külmemate osade aatomite võnkumise intensiivistumise.

Soojusjuhtivuse mehhanismi selgitamise keerukuse tõttu esitatakse see küsimus õpikus lihtsustatult. Metallide suhtes seda küsimust ei selgitata (kuigi just neid kasutatakse põhiliselt koolikatsetes), konstateeritakse vaid metalliosakeste soojusliikumise kiiruse järkjärgulist kasvamist piki keha.

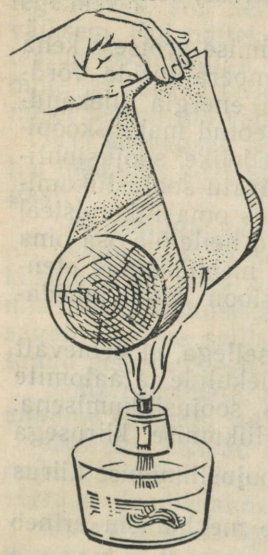
Metoodilises kirjanduses on antud küllaltki täiuslik soojusülekande liikide, sealhulgas ka soojusjuhtivuse õpetamise metoodika. Selle teema kohta on välja töötatud palju huvitavaid demonstratsioone ja koduseid katseid. Siiski pole otstarbekohane tundi üle kuhjata liiga suure hulga katsetega. Osa katseid saab ära kasutada ringi töös.

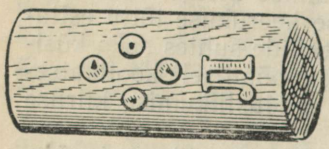
Juhime tähelepanu ühele soojusjuhtivusega seotud huvitavale katsele — puust rulli ümber mähitud paberi ebaühtlasele söestumisele, kui paberi ja puu vahele panna metallesemed (joon. 4)[1].

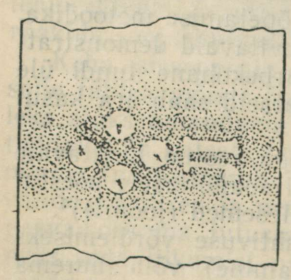
Huvitava katse erinevate ainete soojusjuhtivuse võrdlemiseks (neist ainetest tehtud varraste otste kuumutamine) võib suurema näitlikkuse saavutamiseks teha järgmiselt.

Puuplaati puuritakse nurga all neli ava (joon. 5) ning pistetakse neist läbi vaskvarras *1*, alumiiniumvarras *2*, raudvarras *3*

[1] Е. Н. Горячкин. Методика преподавания физики в семилетней школе, т. II. М., Учпедгиз, 1948, стр. 254.







Joon. 4.

ja klaaspulk *4*. Varraste otste kokkupuutekohast võrdsetele kaugustele (joonisel on need kohad märgitud kriipsukestega) kinnitatakse vahast kuulikesed või ripatsid. Varraste otste kokkupuutekohta soojendame põleti leegis. Plaat, millest vardad läbi panime, on ühtlasi ekraaniks, mis kaitseb vahast ripatseid põleti leegi soojuskiirguse eest.

Katse autor[2] soovitab vahast ripatsite valmistamiseks järgmist viisi. Mingi nõu tasasele põhjale asetada üksteisest umbes võrdsetele kaugustele haavlid ning kinnitada nad vahatükikestega kohale. Seejärel valada haavlid üle umbes 4 mm paksuse vedela vaha kihiga. Pärast täielikku jahtumist lõigata saadud vahaplaat ribakesteks nii, et igas ribas oleks üks haavel. Saadud ribakesi kasutamegi kirjeldatud katses ripatsitena (neid võib rullida ka kuulikesteks).

Metallide soojusjuhtivuse võrdlemiseks võib teha ka teise katse. Lehtmetallist lõigata välja ribad *1* ja puurida neisse avad, kuhu asetatakse tuletikkude väävliotsad (joon. 6). Ribad ühendame poldikesega *2* ning saadud risti riputame statiivi külge. Ribasid tuleb veidi painutada, et risti keskosa (poldi ümbrus), mida kuumutatakse põleti leegis, oleks horisontaalne. Soojusjuhtivust võrreldakse tikkude süttimise kiiruse järgi.

Huvitavad iseseisvad ja demonstratsioonkatsed muudavad soojusülekande liikide õppimise huvitavamaks. Selle teema õppimise teiseks huvitõstvaks iseärasuseks on võimalus kasutada õpilaste igapäevasest elust

---

[2] Г. Шпрокхоф. Эксперимент по курсу элементарной физики, ч. 3. М., «Просвещение», 1965, стр. 186.

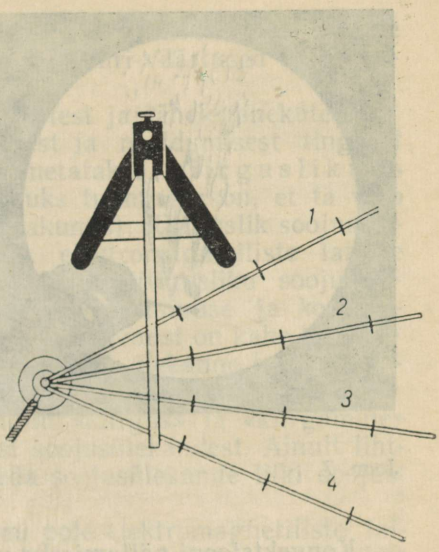
saadud kogemusi soojusülekande liikide vallast. Me saame neid kogemusi mitte ainult kasutada, vaid ka kaasa aidata uute kogemuste saamisele.

2. Konvektsioon on soojusülekanne vedelikes ja gaasides selle keskkonna aineosakeste ümberpaiknemise tagajärjel. Loomuliku konvektsiooni puhul toimub aine liikumine ainult keskkonna erinevate piirkondade temperatuuride erinevuse ja sellest tingitud tiheduste erinevuse tõttu. Sundkonvektsiooni puhul toimub aine liikumine peamiselt väliste tegurite mõjul (pumba, segisti, tuule jne. mõjul).

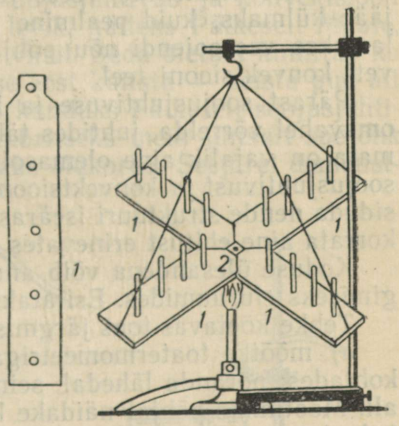
Õpikus on toodud materjali sundkonvektsiooni kohta (lk. 13) esiteks selletõttu, et sellel konvektsiooniliigil on meid ümbritsevas maailmas küllaltki kaalukas osa (merehoovused, õhuvoolud atmosfääris jt. nähtused), kuid ka seetõttu, et loomuliku ja sunnitud konvektsiooni mehhanismide võrdlemine võimaldab õpilastele paremini selgitada selle soojusülekande liigi olemust.

Loomulikku konvektsiooni võib õpilastele selgitada küllaltki täiuslikult, sest neil on olemas selleks kõik vajalikud eelteadmised.

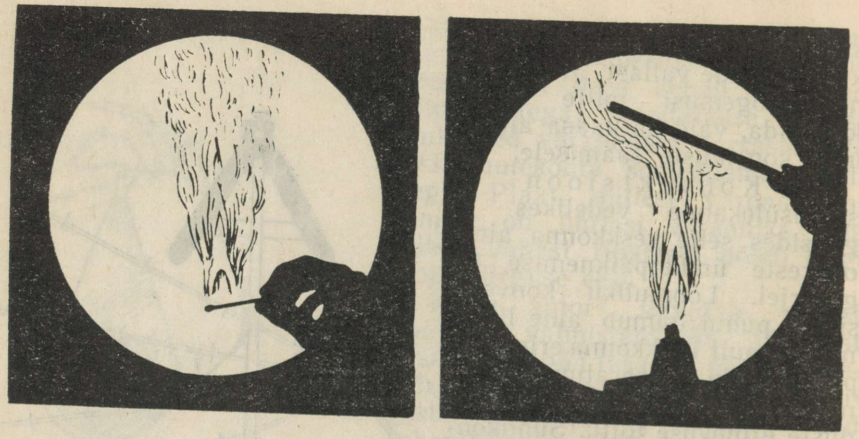
Demonstratsioonkatsetest võib eriti soovitada soojendatud õhuvoolude variprojektsioone (joon. 7). Need katsed võimaldavad vahetult näidata konvektsiooni gaasides, nad on huvitavad, avaldavad õpilastele tugevat muljet ning nende katsete korraldamine on suhteliselt lihtne.



Joon. 5.



Joon. 6.



Joon. 7.

Konvektsiooni näitamiseks vees (joon. 9 õpikus) on soovitatav kasutada nõrka leeki, näiteks väikese küünla leeki.

Vee halva soojusjuhtivuse demonstreerimiseks võib kasutada järgmist katseseadet. Keeduklaasi seina külge põhja lähedale surutakse tükike värvitud vaha (või plastiliini). Vee ülemisse kihti asetatakse elektriline veesoojendi (joon. 8, *a*). Alumine veekiht jääb külmaks, kuid pealmine kiht hakkab ruttu keema. Seejärel lastakse veesoojendi nõu põhja (joon. 8, *b*) ning soojendatakse vett konvektsiooni teel.

Pärast soojusjuhtivuse ja konvektsiooni õppimist võib neid omavahel võrrelda, juhtides tähelepanu nende sarnasusele (tingimata on vajalik aine olemasolu) ja erinevustele. Gaaside halba soojusjuhtivust ja konvektsiooni võimatust tahketes kehades tuleb siduda nende struktuuri iseärasustega. See annab meile võimaluse korrata aine ehitust erinevates agregaatolekutes.

Koduse ülesandena võib anda iseseisva töö konvektsiooni jälgimiseks eluruumides. Esitatakse näiteks selline ülesanne.

Tehke kõetavas toas järgmisi vaatlusi:

a) mõõtke toatermomeetriga õhu temperatuur toa erinevates kohtades: põranda lähedal, seinte ääres ja võimalikult kõrgel lae all. Mõõtmiste põhjal näidake kõige külmemad ja kõige soojemad kohad toas;

b) küünlaleegi kõrvalekaldumise (või seebimullide liikumise) põhjal jälgige õhuvoolude liikumise suunda põranda, lae ja radiaatorite lähedal;

c) avage külmema ruumi uks (koridori, trepikoja või esiku uks) ning, hoides küünalt algul ukse alumise, seejärel ülemise serva juures, jälgige õhu liikumist neis kohtades;

d) tehke toa joonis ja näidake sellel õhu konvektsioonivoolude suund. Näidake joonisel ka õhu temperatuuri väärtused toa erinevates kohtades.

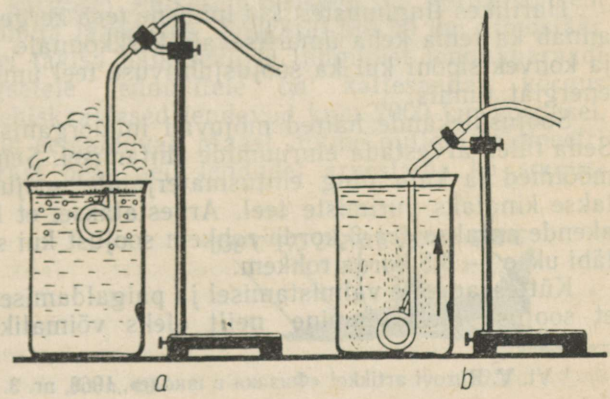
Valmistuge jutustama oma vaatlustest ja tähelepanekutest.

3. Energia kiirgumisest, levimisest ja neeldumisest tingitud kehadevahelist soojusülekannet nimetatakse kiirguslikuks soojusülekandeks. Tema iseloomulikuks tunnuseks on, et ta võib toimuda vahepealse keskkonnata (vaakumis). Kiirguslik soojusülekanne toimub kindla lainepikkusega elektromagnetiliste lainete (infrapunase ja nähtava kiirguse) kaudu. Kiirgusliku soojusülekande teiseks erinevuseks võrreldes soojusjuhtivuse ja konvektsiooniga on see, et mõlemad kehad (kui tegemist on kahe kehaga) kiirgavad ja neelavad kiiri, kuid siseenergia ülekanne toimub kuumemalt kehalt külmemale.

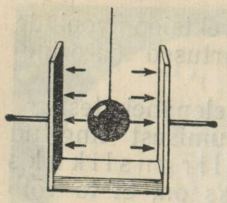
Rangelt võttes kuuluvad terminid «kiirgus» ja «kiirgamine» ainult ühe osa juurde kiirguslikust soojusülekandest. Ainult lihtsuse mõttes nimetatakse õpikus seda soojusülekande liiki soojuskiirguseks.

Kuna soojuskiirguse mehhanismi pole elektromagnetiliste lainete mõiste abil võimalik selgitada, vaadeldakse seda õpikus ainult katsete põhjal. Seda nähtust pole võimalik õpikust täielikult välja jätta, kuna tal on soojusnähtuste hulgas ja õpilast ümbritsevas elus liiga suur tähtsus.

Selle soojusülekande liigi käsitlemist võib alustada teatud loogilise arutlusega: äsja vaadeldud soojusjuhtivus ja konvektsioon lubavad teha järelduse, et soojuse levik, näiteks Päikeselt Maale, toimub mingil vaadelduist erineval viisil. Seda oletust kinnitab ka see, et antud juhul võib end soojuse eest kaitsta — seista puu all või olla ajalehe varjus. Kui soojus kanduks Päikeselt soojusjuhtivuse või konvektsiooni teel, siis ümbritseks meid lihtsalt soe õhk ning mingisugune ekraan ei muudaks olukorda. Seejärel demonst-



Joon. 8.



Joon. 9.

reeritakse kehade soojendamist kiirgamise teel. Peab arvestama, et see soojusülekande liik on õpilastele igapäevasest elust vähem tuttav kui eelmised, seepärast tuleb tema olemasolu tõestavaid eksperimentaalseid ja loogilisi järeldusi teha väga hoolikalt.[1]

Soojuskiirte erinevat neeldumist läikivatel ja tumedatel pindadel saab näidata termoskoobiga. Taolise katseriista võib valmistada ka ise.

Valmistatakse kaks plekkplaati: üks läikiva, teine tahmatud pinnaga (tahmata võib küünlaleegil). Need kinnitatakse vertikaalselt puust alusele, nagu näidatud joonisel 9. Plaatide välimistele külgedele kinnitatakse vaha või plastiliiniga tikud või hernaterad, plaatide vahele mõlemast võrdsele kaugusele asetatakse kuum metallkeha (kuul, kaaluviht, mutter). Jälgitakse, kumb tikk kukub enne maha. Seejärel võib katta tahmatud pinna valge paberiga ning katset korrata.

Õpikus on toodud soojusülekande praktilise kasutamise peamised näited. Õpilastele võib aga jutustada ka soojusülekande tähtsusest, lähtudes inimese elutalitluste seisukohast.

Inimese enesetunne ja töö tootlikkus sõltuvad tema keha soojuslikust olekust ja soojusvahetusest ümbritseva keskkonnaga. Inimese keha saab energiat toidu kaudu. See energia kulub mehaaniliseks tööks, mida inimene teeb, osa energiat aga eraldub kehast soojusülekande teel. Seoses sellega hoiab inimorganism keha keskmise temperatuuri 36,6 °C piires.

Harilikes tingimustes, kui inimene teeb kerget tööd või puhkab, annab ka tema keha ümbritsevale keskkonnale nii soojuskiirguse ja konvektsiooni kui ka soojusjuhtivuse teel umbes 400 000 džauli energiat tunnis.

Soojusülekande häired mõjuvad inimorganismile negatiivselt. Seda tuleb arvestada eluruumide ehitamisel. Seinte paksus, nende mõõtmed ja kuju ning ehitusmaterjalide soojusjuhtivus määratakse kindlaks uurimiste teel. Arvestatakse, et läbi kahekordsete akende antakse ära 3 korda rohkem soojust kui seinte kaudu, ning läbi ukse — 3,5 korda rohkem.

Kütteseadmete valmistamisel ja paigaldamisel peetakse silmas, et soojuse ülekandumine neilt oleks võimalikult täielik. Kõiki

[1] Vt. V. Burovi artikkel «Физика в школе», 1969, nr. 3.

radiaatoreid iseloomustab tavaliselt suur pind ja spetsiaalselt valitud kuju.

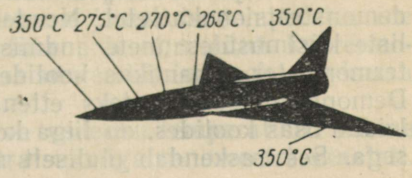
Viimasel ajal on hakatud välja töötama nn. kiirgusküttesüsteeme. Nendes asetatakse seina, põranda või lae betoonikihti kuuma auru või veega soojendatav spiraalne toru. Soe sein või põrand kiirgab soojust ka ruumi.

Toome näite uue tehnikaga seotud soojusülekandest. Seoses lennunduse ja kosmoselendude kiire arenguga on meie päevil senisest suurem tähtsus lennuaparaatide ja ümbritseva keskkonna vahelise soojusvahetuse reguleerimise küsimustel.

Kaasaegsed lennukid lendavad kiirusega 100—2 500 $\frac{km}{h}$ (kuid katselennukid ületavad juba sedagi kiirust). Maa tehiskaaslaste kiirus on umbes 28 000 $\frac{km}{h}$, kosmoserakettidel — üle 40 000 $\frac{km}{h}$. Kui lend toimub atmosfääri alumistes kihtides, kus õhu tihedus on võrdlemisi suur, esineb selliste suurte kiiruste juures lennuaparaadi välispinna ja õhu vahel tugev hõõrdumine. Seejuures tehtud töö arvel suureneb nii lennuki välispinna kui ka õhu siseenergia ning nad mõlemad kuumenevad. Peale selle surutakse õhk lendava keha ees kokku, mis omakorda tingib õhu siseenergia suurenemise ja kuumenemise. Kuum õhk, mille temperatuur ulatub kiirusel 2000 $\frac{km}{h}$ mitme tuhande kraadini, voolab ümber lendava keha ja kuumendab seda veelgi.

Mehhaanilisest tööst tingitud kuumenemine (seda nimetatakse aerodünaamiliseks kuumenemiseks) väheneb lennu kõrguse suurendamisel, õhu tiheduse vähenemisel. Joonisel 10 on näidatud, kuidas kuumenevad kiirlennuki erinevad osad kiirusel 3200 $\frac{km}{h}$ (kõrgus 15 km).

Lennukõrguse suurenemisel kasvab soojuskiirguse osatähtsus, kuna hõrenenud õhk laseb Päikese kiiri hästi läbi. Lennuaparaadi pind saab 40 km kõrgusel Päikeselt peaaegu 3,5 korda rohkem energiat kui Maa pinna läheduses. Kõrgusel üle 50 km atmosfäär praktiliselt üldse ei takisa päikesekiirte tungimist lennuaparaadi pinnale. Kaasaegsetele lennukitele on kättesaadav kõrgus 25—40 km. Maa tehiskaaslased lendavad kuni 2000 km kõrgusel, kuid kosmoseraketid eemalduvad Maast mitme miljoni kilomeetri kaugusele. Seepärast peab neil lendudel arvestama ka soojuskiirgusega.



Joon. 10.

Temperatuuri tõus üle lubatud väärtuse on lennuaparaadile ohtlik. Lennukil võivad näiteks mitmed osad üles sulada. Selle vältimiseks ei valmistata ülikiirete lennukite välispindu enam alumiiniumsulamitest, vaid titaani- või terasesulamitest. Meeskonnakabiini, kütusepaakide ja aparaadiruumi kaitseks tehakse lennuki kattematerjal küllaldase paksusega ja kaetakse halva soojusjuhi kihiga — keraamilise ainega, klaasriidega jne. Kasutatakse ka lennuki sisepinna kattematerjali jahutamist vee või õhuga.

Maa tehiskaaslased ja kosmoselaevad ei kuumene mitte aerodünaamilisel teel, vaid Päikese kiirtest. Maa varjus liikumise ajal laeva kate jahtub. Kui poleks spetsiaalseid kaitsevahendeid, muutuks kesta temperatuur Maa varjus +120 °C kuni −100 °C. Kuid kosmoselaeva kabiinis peab temperatuur püsima enam-vähem ühtlasena (kosmoselaeva «Vostok» lennu ajal oli temperatuur selles 10—22 °C). Kosmose uurimiseks ettenähtud aparatuur nõuab normaalseks töötamiseks samuti kindlat temperatuuri.

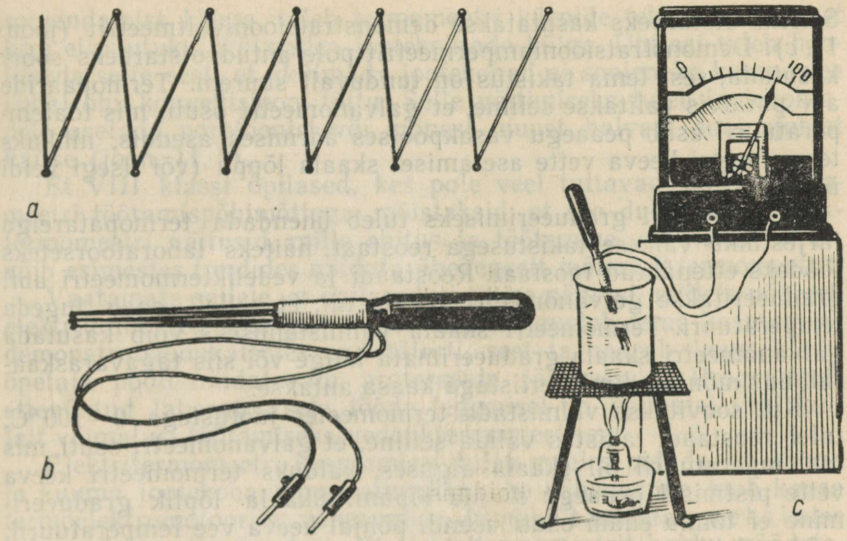
Püsiva temperatuuri hoidmiseks on lennukeis või tehiskaaslastes võetud kasutusele terve rida abinõusid. Tehiskaaslase kest on hermeetiline, selle siseõõs täidetakse gaasiga (näiteks lämmastikuga). Kesta soojendamiseks pannakse see gaas ventilaatorite abil tsirkuleerima ümber soojendusseadmete. Gaas ilma ventilaatoriteta ei tsirkuleeri, sest kaaluta olekus loomulikku konvektsiooni ei toimu.

Et päikesekiired tehiskaaslase kesta liialt ei kuumutaks, kaetakse selle välispind valge värvi või läikiva metallikihiga. Teadlased püüavad luua selliseid kattematerjale, mis temperatuuri muutumisel muudaksid ka oma värvust. Tugeval kuumutamisel selline kattekiht muutub valgeks ja peegeldab kiiri, jahtumisel ta muutub tumedamaks ja neelab rohkem kiiri. Nii püsiks tehiskaaslase temperatuur automaatselt vajalikul kõrgusel.

Väga vastutusrikas on kosmoselaeva Maale laskumine — tema sisenemine atmosfääri tihedatesse kihtidesse. Kõige levinumaks soojuskaitse viisiks maandumisel on kosmoselaeva välispinna katmine materjaliga, mis kuumenemisel sulab.

TEMPERATUURI MÕÕTMINE

«Soojushulga» mõiste kujundamisel, samuti ka sulamis-, aurustumis- ja keemisprotsesside käsitlemisel on suur tähtsus demonstratsioonkatsetel. Nende tegemiseks, samuti heade katseliste küsimusülesannete andmiseks on vajalik demonstratsioonitermomeeter. Enamikus koolides ei ole selliseid termomeetreid. Demonstratsioonkatseteks ettenähtud piiritustermomeetrid, mida leidub osas koolides, on liiga kohmakad ja suure soojusmahtuvusega. See raskendab oluliselt nende kasutamist. Õpetaja katse-



Joon. 11.

laual korraldatavad katsed laboratoorse termomeetriga on aga metoodiliselt madalal tasemel isegi sel juhul, kui õpetaja kutsub klassi aktiviseerimiseks õpilasi järjekorras välja, et nad teataksid valjult termomeetri näite. Sageli on õpilaste tähelepanu suunatud hoopis sellele, keda kutsutakse järgmisena demonstratsioonilaua juurde, mitte aga vaatluste tulemustele. Seepärast, kui kooli füüsikakabinetis puudub tööstuslikult toodetud demonstratsioonitermomeeter, tuleb valmistada ise elektritermomeeter.

Väga lihtsa demonstratsioonitermomeetri, mille võib valmis meisterdada igas koolis, töötasid välja A. Dubov ja J. Rumjantsev. Seni niisugust termomeetrit veel müügil ei ole, kuid iga õpetaja võib selle hõlpsasti valmistada. Termomeeter koosneb 5—7 järjestikku patareiks ühendatud termopaarist (joon. 11, *a*). Termopaaride materjaliks sobib laboratoorseteks töödeks kõlbmatuks muutunud reostaadi traat ja samasuguse või väiksema läbimõõduga pehme, näiteks kastide traatimiseks kasutatav raudtraat. Traadid keevitatakse elektrikaare abil termopaarideks ning termopaarid patareiks. Traadid peavad olema 12—15 cm pikkused. Kui nad lühemad teha, siis väheneb külma ja kuuma jootekoha temperatuuride vahe katse ajal kiiresti, see aga tähendab, et muutub ka termoelektromotoorjõud. Traatide pikkuse suurendamine toob aga kaasa riista takistuse suurenemise.

Elektritermomeetriga mõõdetava vedeliku temperatuuri näeme termomeetriga ühendatud demostratsioonigalvanomeetri skaalalt.

Selleks otstarbeks kasutatakse demonstratsioonivoltmeetrit (joon. 11, *c*). Demonstratsiooniampermeetrit pole antud otstarbeks sobiv kasutada, sest tema takistus on tunduvalt suurem. Termopaaride arv patareis valitakse selline, et galvanomeetri osuti, mis toatemperatuuril asub peaaegu vasakpoolses äärmises asendis, nihkuks termomeetri keeva vette asetamisel skaala lõppu (või isegi veidi üle selle).

Termomeetri gradueerimiseks tuleb ühendada termopatareiga järjestikku väikese takistusega reostaat, näiteks laboratoorseteks töödeks ettenähtud reostaat. Reostaadi ja vedeliktermomeetri abil gradueeritakse galvanomeetri skaala nii, et sellelt saab lugeda temperatuuri. Termomeetri skaala valmistamiseks võib kasutada galvanomeetri skaala gradueerimata külge või siis tagavaraskaalat, mis mõnikord mõõteriistaga kaasa antakse.

Kui soovitakse valmistada termomeeter jaotustega 0—100 °C, tuleb reostaadi takistus valida selline, et galvanomeetri osuti, mis toatemperatuuril oli skaala alguses, kalduks termomeetri keeva vette pistmisel peaaegu skaala lõpuni. Skaala lõplik gradueerimine ei toimu enam osuti asendi põhjal keeva vee temperatuuril, vaid vedeliktermomeetri järgi, sest vaevalt on atmosfääri rõhk töö ajal võrdne 760 mm Hg.

Kui gradueerimine on lõpetatud, tuleb reostaadi asend fikseerida ja edaspidi ei tohi seda enam muuta. Kui õpetaja tahab muuta seadeldise kompaktsemaks, võib reostaadi asendada traaditükiga samast reostaadist, millest valmistati termomeeter, ning monteerida takistustraadi käepidemesse. Et laiendada demonstratsioonitermomeetri kasutamisvõimalusi, võib skaala gradueerida —10 °C kuni +110 °C, sest meid huvitavas temperatuurivahemikus on termoelektromotoorjõu sõltuvus külma ja kuuma jootekoha temperatuuride erinevusest lineaarne.

Enne katse algust tuleb galvanomeetri osuti asetada vedeliktermomeetri järgi nii, et ta näitaks toatemperatuuri.

Kui termopaaride kokkukeevitamine on millegipärast seotud raskustega, võib traatide otsad peale nende hoolikat puhastamist näpitsatega tugevasti kokku keerata. Tulemused on head, kuid tuleb hoolt kanda, et ühenduskohtadel ei tekiks korrosiooni. Selle vältimiseks on tarvis ühenduskohad alati hoolikalt kuivatada ning seismajätmisel torgata need plastiliinitükikestesse või katseklaasi, milles on veidi parafiini (parafiin tuleb muidugi enne sulatada). Raudtraadi asemel võib kasutada ka vasktraati, kuid sel juhul tuleb katsed teha kiiremini, sest vase soojusjuhtivus on suurem.

Vee temperatuuri mõõtmisel tuleb arvestada tema soojusjuhtivust, mistõttu on kasulik katta termopatarei otsad isoleeriva lakiga või liimiga, mis ei pehmene temperatuuril 100 °C. See on eriti vajalik sel juhul, kui termomeeter valmistati keevitusteta ja termopaaride otsad on puhastatud.

Selleks et vältida katse tegemisel «külmade» jootekohtade

soojendamist käega, tuleb termomeetri käepide teha nii suur, et käsi ei puutuks «külmade» jootekohtade külge. Ühtlasi tuleb hoolitseda selle eest, et «külmad» jootekohad ei soojeneks kuuma vee kohal õhu konvektsiooni tõttu. Selle vältimiseks tuleb jootekohtadele asetada poroloonist või mõnest muust halvast soojusjuhist kaitse (joon. 11, *b*).

Et VIII klassi õpilased, kes pole veel tuttavad elektritermomeetri töötamispõhimõttega, mõistaksid, et see dubleerib vedeliktermomeetri näitusid, mille ehitus ja töötamine on neile tuttav, võib esimestes tundides näidata üheaegselt mõlemat termomeetrit.

Vaatamata sellele, et õpilased ei tunne nähtusi, millele põhineb elektritermomeetri ehitus ja töötamine, õigustab tema kasutamine demonstratsioonkatsetes end täiesti, sest ta haarab kogu klassi õpetaja poolt näidatavate protsesside jälgimisele. Programmis ettenähtud laboratoorsete tööde tegemisel on õpilastel veel küllalt võimalusi töötamiseks vedeliktermomeetriga.

Elektritermomeetri kasutamisel tuleb meeles pidada, et külma ja kuuma jootekoha temperatuuride vahe vähenemine toob kaasa termoelektromotoorjõu vähenemise. Järelikult mõjutab see ka katse tulemusi ja sellepärast ei või elektritermomeetrit hoida mõõdetavas vedelikus kuigi kaua.

Elektritermomeeter laiendab tunduvalt demonstratsioonkatsete võimalusi. Seadet võib kasutada õhu adiabaatilise rõhu, naftaliini sulamise ja tahkestumise, hüposulfiidi ülejahtumise demonstreerimisel ning soojushulga, erisoojuse ja aurumissoojuse mõiste selgitamisel. Järgnevalt vaadeldaksegi mõningaid nimetatud katseid.

SOOJUSHULGA ÜHIKUD

Soojusõpetuses on põhimõisteks soojushulga mõiste. Tema sisu on küllaltki keeruline. Et õpilased selle siiski korralikult omandaksid ega segaks ära temperatuuri mõistega, on kasulik enne soojushulga mõõtühikute käsitlemist anda neile mõningaid katselisi küsimusülesandeid. Kasutades elektritermomeetrit, saab seda teha liigse ajakuluta. Nende küsimuste arutlemisel tekib õpilastel kujutlus soojushulgast kui füüsikalisest suurusest, mida saab mõõta.

Õpetajal tuleb siin lähtuda igapäevasest elust pärinevatest kujutlustest. Õpilastele on selge, et 200 g piirituse põletamisel saame suurema hulga soojust kui 20 g piirituse põletamisel; suurema nõutäie vee keemaajamiseks on vaja suurem hulk soojust kui väiksema nõutäie vee kuumutamiseks keemistemperatuurini. Küsimusülesanded võiksid olla näiteks järgmised:

1. Kuidas määrata kindlaks, kumb annab suurema hulga soojust — tükk kuivpiiritust või 10 tuletikku? Kuulanud ära mõningad õpilaste oletused, peatutakse sellisel, milles soovitatakse

kütuste põletamisel eraldunud energia arvel soojendada võrdsed veekogud ja nende temperatuuri põhjal otsustada saadud soojushulga üle.

2. Kui oleme kaalunud kaks võrdse massiga kuivpiirituse tükki ja seega kindlustanud võrdse soojushulga erinevatele veekogustele, küsime: kummas on peale kütuse põletamist kõrgem temperatuur. Vastuse õigsust kontrollitakse termomeetriga. Kui kuivpiiritust ei ole, võib kasutada kahte võrdse võimsusega elektrikeeduplaati või kahte ühesuguse leegiga põletit.

3. Kuidas määrata kindlaks, kui kauaks peab lülitama vooluvõrku elektrikeeduplaadi (või kui kaua peab põlema piirituslamp), et vesi saaks samasuguse hulga soojust, nagu ta sai antud kütusekoguse põletamisel?

Samuti nagu esimeses harjutuses, püüame selle poole, et õpilased teeksid ettepaneku võtta soojendamiseks mõlemas nõus võrdne veekogus. Märkinud pärast esimese veekoguse soojendamist osuti asendi elektritermomeetri skaalal, lülitame sisse keeduplaadi ja ootame, kuni teise veekoguse temperatuur tõuseb sama kõrgele.

Nende ülesannete lahendamisel tuleb järjekindlalt kasutada väljendit *soojushulk*. Peagi mõistavad õpilased tema sisu ja ei aja seda enam segi temperatuuri mõistega.

Pärast soojushulga füüsikalise olemuse selgitamist ning katsete jälgimist tekib õpilastel arusaamine, et soojushulgal võib olla suurem või väiksem väärtus, et ta on füüsikaline suurus, mida saab mõõta. Seoses sellega kerkib aga küsimus mõõtühikutest. VIII klassis on kasulik vaadelda kalorit ja džauli. Kalorit on mugavam kasutada kui kilokalorit, sest laboratoorsete tööde puhul on meil tegemist väikeste massidega ning nende mõõtmine kilogrammides raskendab arutlusi ja arvutusi. Pealegi kasutame me füüsikas ainult CGS- ja SI-süsteemi, kuid kilokalor ei kuulu neist kummassegi. Millist ühikut kasutada ülesannete lahendamisel, otsustame igal üksikul juhul eraldi. Nähtavasti on väikeste masside puhul otstarbekam kasutada kalorit, suurte puhul aga džauli.

Ainult kaloritega ei saa piirduda, sest vanemates klassides hakkavad õpilased kasutama peamiselt SI-süsteemi ning neid tuleb selleks ette valmistada. Kuid ülesannete lahendamine ainult džaulides osutub real juhtudel kohmakaks; arvutuslikud lisaraskused võivad õpilaste eest varjata ülesande füüsikalise sisu. Eriti kehtib see laboratoorsete töödega seotud arvutuste suhtes.

Õpilased peavad hästi tundma ühikutevahelisi seoseid. Ülesannete lahendamisel on vahetevahel kasulik lasta õpilasi džaulides saadud soojushulk väljendada kalorites. Õpilastele võib rääkida ka kilokalorist. See ei kutsu esile täiendavaid raskusi, sest neile on teada eesliite *kilo-* tähendus; tabeleid, milles füüsikalised suurused on antud ühikutes $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$, pole aga vaja anda.

Peale kalori mõiste andmist tuleb arutluse teel lahendada

mõned ülesanded vee soojendamiseks kuluva soojushulga arvutamisele, kasutamata seejuures valemeid. Esialgu öeldakse õpilastele, mitme kraadi võrra vett soojendatakse, pärastpoole antakse vaid alg- ja lõpptemperatuur, et õpilased ise saaksid leida temperatuuride vahe. Massi ja temperatuuride vahe arvväärtused valitakse sellised, et ülesandeid saaks lahendada suuliselt, arutluse teel, kasutamata erisoojuse mõistet. Neid ülesandeid lahendatakse ainult kalori mõiste kinnistamiseks. Olgu näiteks tarvis leida soojushulk, mis on vajalik 200 g vee soojendamiseks temperatuurist 20 °C kuni temperatuurini 25 °C. Arutleme suuliselt: vett tuleb soojendada 5° võrra; 1 g vee soojendamiseks 1° võrra on vaja 1 kalor, 200 g vee soojendamiseks 1° võrra on seega vaja 200 korda rohkem kaloreid, s. t. 200 kalorit. Selle veekoguse soojendamiseks 5° võrra on aga vaja 5 korda suuremat soojushulka, s. o. 1000 kalorit.

Et konkretiseerida kalori mõistet, tuleb teha mõned demonstratsioonharjutused elektritermomeetriga. Võib näiteks määrata soojushulga, mille saab vesi minuti jooksul elektripliidilt, gaasipõletilt, põlevalt tuletikult või puulaastult. Vee mass määratakse mahu järgi mensuuri abil.

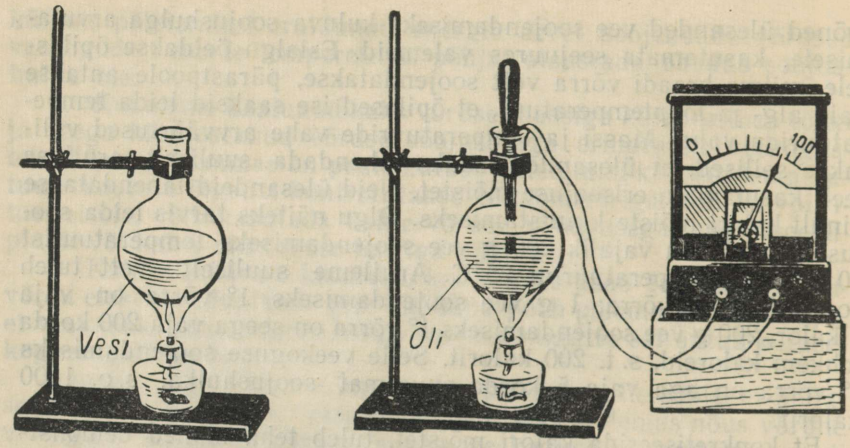
Samuti tuleb konkretiseerida kujutlust džaulist kui soojushulga mõõtühikust. Kuna kalor on 4,2 korda džaulist suurem, võime öelda, et džaul on suhteliselt väike soojushulga ühik. Kui 1 kalor soojendab 1 g vett 1 °C võrra, siis džaul soojendab sama veemassi ainult $\frac{1}{4}$ °C võrra.

Et kinnistada õpilaste kujutlust soojushulgast kui keha siseenergia muutuse mõõdust, võib neile meenutada järgmist: kui 1 g vett soojeneb ühe kraadi võrra, siis tema molekulide kineetiline ja potentsiaalne energia kasvab ligikaudu 4 džauli võrra; 4 džauli on kineetiline energia, mille saab 100 g massiga kaaluviht langemisel 4 m kõrguselt.

Programmis ettenähtud laboratoorne töö, milles võrreldakse soojushulki kuuma ja külma vee segamisel, aitab õpilastel paremini omandada kalori mõistet ning jõuda välja energia jäävuse ja muundumise seaduseni soojuslikes protsessides. Töö võib teha vahetult pärast kalori mõiste andmist, enne aine erisoojuse mõiste juurde asumist, sest nüüd oskavad õpilased peast määrata soojushulka, mida vesi temperatuuri muutumisel saab või ära annab.

AINE ERISOOJUS

Õpiku 13. paragrahvis said õpilased teada, et soojushulk, mis antakse kehale tema soojendamisel, sõltub keha ainest, massist ja temperatuuri muutumise ulatusest. Samuti sai neile selgeks, et võrdse massiga vee- ja malmihulga temperatuuri tõstmiseks ühe



Joon. 12.

ja sama arvu kraadide võrra on vaja erinev hulk soojust: vee jaoks kulub soojust rohkem, malmi jaoks vähem. Toetudes neile teadmistele, võib defineerida aine erisoojuse soojushulgana, mis on vajalik aine massiühiku temperatuuri tõstmiseks ühe kraadi võrra (või soojushulgana, mis eraldub aine massiühiku jahtumisel ühe kraadi võrra).

Pärast definitsiooni andmist ning enne erisoojuste tabeliga tutvumist võib õpilastelt küsida, kummal kahest konkreetsest ainest on suurem erisoojus, s. o. kumma aine ühe massiühiku soojendamiseks 1 °C võrra tuleb anda suurem soojushulk.

Selleks otstarbeks on soovitatav valida kaks vedelikku, näiteks vesi ja õli, sest vedeliku temperatuuri on lihtsam mõõta kui tahke keha oma. Vestluse käigus suunatakse õpilased mõttele, et antud küsimusele vastuse leidmiseks on vaja teha katse. Selgitatakse, et ainet ei pea tingimata võtma 1 g või 1 kg, võib kuumutada lihtsalt võrdseid vee ja õli koguseid. Katse plaani läbiarutamisel on tähtis juhtida õpilaste tähelepanu sellele, kuidas tagada veele ja õlile võrdne soojushulk. Et piirituslambi leek oleks kõigile nähtav, võib tahile riputada veidi keedusoola, mis annab leegile kollase värvuse. Seejärel reguleeritakse õpilaste nähes leegid võrdseteks. Mugav on kasutada kahte laboratoorseteks töödeks ettenähtud keeduplaati. Hea tulemuse saab ka kahe ühesuguse kuivpiirituse tüki põletamisel.

Tunnis tuleb välja kaaluda ka võrdsete massidega vee ja õli kogused, kasutamata seejuures vihte (joon. 12). See keskendab õpilaste tähelepanu faktile, et jutt on nimelt massist, mitte mahust.

Vee ja õli temperatuuri muutumist saab jälgida demonstratsioonitermomeetri järgi.

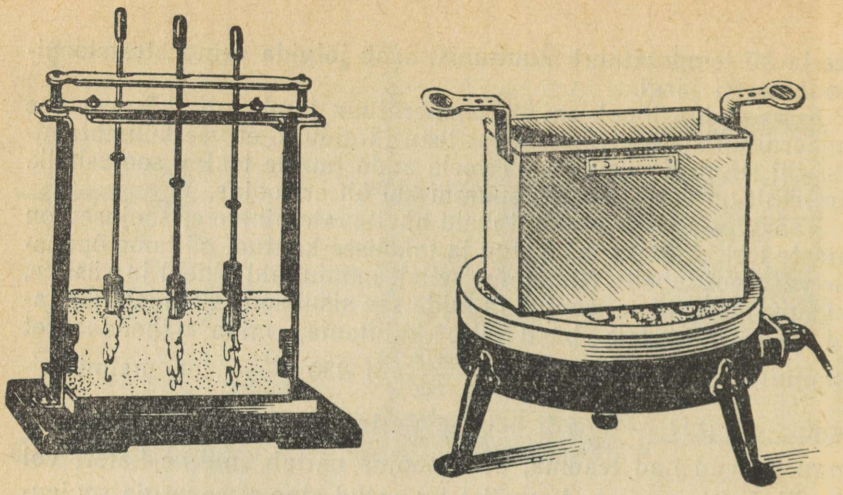
Kuna katse lõpul on õli temperatuur tunduvalt kõrgem vee temperatuurist, siis võib sellest teha järelduse, et vee kuumutamiseks õli temperatuurini tuleb veele anda juurde teatav soojushulk. Järelikult on vee erisoojus suurem kui õli erisoojus.

Rääkides sellest, et kõigi meid huvitavate ainete erisoojused on katsete teel kindlaks määratud ja tabelisse kantud, näitame õpilastele vastavat tabelit. Nimetame sellelt mõningaid aineid ja küsime, kui suur on nende erisoojus ja mida see sisuliselt tähendab. Õpilased peavad endale hästi ette kujutama, mida tähendab, et alumiiniumi erisoojus on $0{,}21 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{deg}}$ või $880 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{deg}}$, et malmi erisoojus on $0{,}11 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{deg}}$ või $460 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{deg}}$ jne. Peale tavalise formuleeringu peavad nad teadma, et erisoojus näitab, mitme kalori või džauli võrra suureneb 1 g või 1 kg antud aine siseenergia soojendamisel 1 °C võrra. Seetõttu võib tabeli vaatlemisel küsida, kumma aine — kas 1 g raua või 1 g plii molekulide energia muutub rohkem aine soojendamisel 1° võrra.

Õpilased peavad oskama vastata küsimusele, kummal kahest ühesuguse massiga kehast on peale võrdse soojushulga saamist kõrgem temperatuur. Ühe näitena on kasulik võtta vesi ja liiv. See võimaldab vastata tervele reale küsimustele: kas päeval on maa või vee temperatuur kõrgem; millises suunas puhub tuul öösel — maalt merele või merelt maale; millises suunas puhub tuul päeval.

Selle teema käsitlemisel tuleb selgitada, et võrdse massiga, kuid erineva erisoojusega ainetest kehad annavad ühe kraadi võrra jahutamisel ära erineva soojushulga. Selleks on kasulik teha katse Tyndalli riistaga (joon. 13), mis on enamikes koolides olemas. Kõigepealt näitame õpilastele kaalu abil (vihte kasutamata), et vaatamata erinevatele ruumaladele on kehadel võrdne mass. Selleks eraldame varrastelt kõik silindrid peale pliisilindri, sest selle keermestatud osa kulub kiiresti. Õpilased teavad juba tabeli põhjal, et terase, valgevase ja alumiiniumi erisoojused on erinevad. Seepärast võime väita, et nendest ainetest kehade asetamisel keeva vette saavad nad erineva soojushulga. Jälgides, kuidas sulab vaha- või parafiinplaadike, millele kehad (jahtumisel ühiselt algtemperatuurilt kuni toatemperatuurini) annavad erineva hulga soojust, võib teha järelduse, et jahtumisel ühe kraadi võrra annab 1 g pliid ära väiksema soojushulga kui 1 g alumiiniumi.

Pärast seda on õpilastele mõistetav ka õpetaja väide, et jahtumisel temperatuurist 100 °C kuni toatemperatuurini annab keha ära sama soojushulga, mis kulus tema soojendamiseks sama kraadide arvu võrra. Need teadmised on õpilastele vajalikud erisoojuse täielikumaks mõistmiseks. Peale selle on nad headeks eelteadmisteks energia jäävuse ja muundumise seaduse õppimisel.



Joon. 13.

Keha soojendamiseks vajaliku soojushulga arvutamisel tuleb kasutada tabelit, muutes ülesande tingimusi järk-järgult keerukamaks. Algul lahendatakse suulisi ülesandeid, milles tuleb leida soojushulk, mis on vajalik teatava massiga keha soojendamiseks ühe kraadi võrra. Hiljem leitakse soojushulk, mis on vajalik temperatuuri tõstmiseks mitme kraadi võrra. Esimestes ülesannetes antakse temperatuuride vahe, hiljem alg- ja lõpptemperatuur. Nende ülesannete lahendamisega peavad õpilased omandama soojushulga arvutamise põhimõtte ning alles siis, kui see on kindlalt omandatud ja lahti mõtestatud, võib selle asendada valemiga.

Arvutusülesannetega ei maksa liialdada. Kõigilt õpilastelt ei tarvitse nõuda, et nad oskaksid soojushulga ja temperatuuri muutumise kaudu määrata soojendatava keha massi ning alg- ja lõpptemperatuuri. Kahtlemata on seda tüüpi ülesanded kasulikud, kuid nad on jõukohased ainult osale õpilastest ja seda peab ka õpetaja arvestama. Seepärast ei või panna mitterahuldavat hinnet juhul, kui õpilane oskab lahendada otseselt soojushulga arvutamiseks antud ülesandeid, kuid jääb hätta temperatuuri ja massi määramisel. Programmis ja õpikus soojusliku tasakaalu võrrandit pole nõutud ning kohustusliku materjalina seda anda pole vaja. Sellele teemale vastavad ülesanded on toodud õpikus ning nende mahtu pole vaja suurendada.

Väga kasulik on lahendada õpilastega küsimusülesandeid. Olgu näiteks kahes klaasis võrdne hulk keeva vett. Kummas klaasis alaneb temperatuur rohkem, kui ühte asetada hõbelusikas, teise aga samasuguse massiga alumiiniumlusikas? Mis on merelise ja

kontinentaalse kliima erinevuste põhjuseks? Kuidas kasutatakse igapäevases elus vee suurt erisoojust?

Selle teema juures õpitavate mõistete konkretiseerimiseks tuleb anda ka eksperimentaalseid ülesandeid. Näiteks võib anda lahendamiseks ülesande järgmiste vahendite abil: 100-grammine kaaluviht, mis asub keevas vees, 100 cm^3 mahuga kolvike, kaks klaasi, milles on võrdne hulk külma vett. Õpilastelt küsime, kummas klaasis on kõrgem temperatuur: kas selles, kuhu valasime kolvitäie keeva vett või selles, kuhu asetasime saja kraadini kuumutatud kaaluvihi?

Eelkõige tuleb kindlaks määrata, mitu grammi vett mahub kolvikesse. Vastama kutsutud õpilane teeb seda mensuuri abil. Seejuures tuleb jälgida, et õpilased ei segaks ära massi ja ruumala ning vastaksid umbes nii: «Kolvikesse mahub 100 cm^3 vett, mille mass on 100 g». Klass peab silmas pidama, et mensuuri ei kallataks kuuma vett. Arutluste teel leitud vastuse õigsust kontrollitakse demonstratsioonitermomeetriga.

Kui õpilased oskavad määrata soojushulka, mille kehad saavad soojendamisel või annavad jahtumisel, tuleb teha programmis ettenähtud laboratoorne töö aine erisoojuse määramiseks. Selle töö tegemise metoodika on toodud lk. 60.

TEEMA «SOOJUSÜLEKANNE JA TÖÖ» NÄIDISJAOTUS TUNDIDE KAUPA (13 tundi)

1. tund. Soojusliikumine. Mehhaanilise energia muundumine siseenergiaks.
2. tund. Siseenergia. Millest sõltub siseenergia? Siseenergia muutmise viisid.
3. tund. Soojusjuhtivus.
4. tund. Konvektsioon.
5. tund. Kiirgamine. Soojusülekande rakendamise näiteid.
6. tund. Soojushulk. Soojushulga ühikud.
7. tund. Vee soojendamiseks vajaliku soojushulga arvutamine. Kalorimeeter. Ettevalmistused laboratoorseks tööks.
8. tund. Laboratoorne töö «Soojushulkade võrdlemine erineva temperatuuriga veekoguste segamisel».
9. tund. Soojushulga arvutamine. Ettevalmistused laboratoorseks tööks.
10. tund. Laboratoorne töö «Tahke keha erisoojuse määramine».
11. tund. Kütuse energia. Kütteväärtus.
12. tund. Energia jäävuse ja muundumise seadus.
13. tund. Kontrolltöö.

II peatükk. AINE AGREGAATOLEKU MUUTUMINE

ÜLDISED MÄRKUSED

Teemal «Aine agregaatoleku muutumine» on õige käsitluse korral suur tähtsus õpilaste silmaringi laiendamisel. Selle teema raames vaadeldakse füüsikalisi nähtusi nii tunnis kui ka kodus, näidatakse, kuidas töödelda vaatlusandmeid, tutvustatakse füüsikaliste protsesside graafilist kujutamist ja tehtud järelduste rakendamist igapäevases elus ja tehnikas esinevate nähtuste selgitamisel.

Programmis ja õpikus on selle teema puhul laialdaselt kasutatud molekulaar-kineetilist teooriat ja siseenergia mõistet. See annab võimaluse mitte ainult kirjeldada agregaatoleku muutuste seaduspärasust, vaid küllalt põhjalikult selgitada ka nende mehhanismi.

Vaatamata sellele, et õpilased on juba varem vaadelnud sulamist, aurustumist ja keemist, saavad nad antud teema õppimisel teada palju huvitavat. Õpilased mõistavad, et paljud teadaolevad nähtused on tegelikult hoopis keerulisemad, kui see neile esialgsel tutvumisel näis.

Käesoleva teema juurde kuuluvad katsed on enamikus korraldatavad eelmiste teemade puhul kasutatud vahenditega. Nende katsetega tuleb õpilastele näidata, et kuigi nad on neid nähtusi korduvalt vaadelnud, pole nad suutnud kõike olulist märgata. Arvatavasti ei ole nad pööranud tähelepanu sellele, kus tekivad keemisel õhu ja auruga täidetud mullikesed, vaevalt nad teavad, et avatud anumas pärast keemise algust vedeliku temperatuuri tõus lakkab ja et aurumisel vedeliku temperatuur langeb. Teema «Aine agregaatoleku muutumine» käsitlemine annab õpetajale võimaluse süvendada õpilaste huvi vaatluste vastu ja õpetada neid leidma üha uusi külgi neile juba tuttavates nähtustes.

Enne sulamis- ja aurustumisprotsesside vaatlemist on õpikus toodud paragrahv pealkirjaga «Aine agregaatolekud». Selles on esitatud üldised andmed molekulide liikumisest tahketes kehades, vedelikes ja gaasides. Eriti tuleb juhtida õpilaste tähelepanu asjaolule, et molekulid asetsevad tahketes kehades korrapäraselt. Et muuta molekulide asetus ruumis korrapäratuks, tuleb teha tööd molekulide vahel mõjuvate tõmbejõudude ületamiseks. Seepärast suurenebki aine üleminekul tahkest olekust vedelasse ja sealt edasi gaasilisse selle aine siseenergia. Sellele seisukohale tugineme ka edaspidi, kui selgitame temperatuuri jäävust kristalliliste kehade sulamisel ja tahkestumisel, samuti sulamis- ja aurustumissoojuse füüsikalise sisu avamisel. Õpilastele tuleb selgitada, et kehaga tehtud töö tulemusena suureneb selle keha siseenergia. Vaatamata sellele, et VII klassis juba selgitati keha tõstmisel tehtava töö ja

keha potentsiaalse energia vahelist seost, tuleb selle küsimuse juurde veel kord tagasi pöörduda.

Et mitte rikkuda materjali esitamise loogikat, on soovitatav tunni alguses või eelmise tunni lõpul, enne teema formuleerimist korrata, millest sõltub keha potentsiaalne energia. Toome näitena üleskeeratava mänguauto ja rõhutame, et vedru üleskeeramisel teeme tööd: me suurendame vedru potentsiaalset energiat. Mida rohkem tööd teeme, seda enam on kehal potentsiaalset energiat. Analoogiline arutlus peab paika ka ülestõstetud keha kohta. Sellest, et agregaatoleku muutumisel ei muutu keha molekulide kineetiline energia, pole vaja samal tunnil rääkida, seda jõuab teha edaspidigi.

Vaatamata sellele, et soojusnähtuste õppimisel uue õpiku järgi on teooria osatähtsus tõusnud, ei ole soovitatav vaatluste ja katsete arvu siiski vähendada, sest need moodustavad koolis füüsika õpetamise aluse.

KRISTALLILISED JA AMORFSED KEHAD

Õpikus on enne paragrahvi «Tahkete kehade sulamine» veel kaks täiendavat paragrahvi. Need on «Kristallilised kehad» ja «Amorfsed kehad». Mõlema paragrahvi juures on märkus «Täiendavaks lugemiseks». Neis paragrahvides toodud materjal pakub õpilastele kindlasti huvi. Tuleb aga silmas pidada, et VIII klassi füüsika programm on väga mahukas ja seetõttu ei või paragrahve, kus räägitakse aine kristallilisest ja amorfsest ehitusest, teha õpilastele kohustuslikeks. Parimal juhul võib neid soovitada kodus iseseisvalt lugeda, mitte aga kulutada aega selle materjali läbiarutamisele klassis.

Teadmised aine kristallilisest ehitusest, mis õpilased said juba VII klassis, on küllaldased programmis ettenähtud kohustusliku materjali omandamiseks.

SULAMINE

Asudes teema «Sulamine» õppimisele, on õpilastele juba eelnevalt igapäevaste tähelepanekute ja nooremates klassides õpitu põhjal teada, et soojendamisel kehad sulavad, jahtumisel aga tahkestuvad. Enamik õpilastest on näinud vaid vee agregaatolekute muutumist, seepärast ei ole naftaliini sulatamise ja tahkestamise vaatlemine klassis kaugeltki liigne. Õpilased vaatavad suure huvi ja isegi imestusega, kuidas piirituslambi leegi kohal muutub katseklaasis asuv naftaliin vedelaks ja läbipaistvaks nagu vesi.

Veel tugevama mulje jätab neile külma vette kallatud sula naftaliini tahkestumine. Sulamise ja tahkestumise teemat ongi

sobiv alustada selle katsega. Öelnud õpilastele, et kristallilised ained sulavad igaüks oma kindlal temperatuuril, tuleks peatuda mõnel õpikus toodud aine sulamistemperatuuril. Ajal, mil õpilased tutvuvad ainete sulamistemperatuuride tabeliga, tuleb neile esitada mõned küsimused. Need võiksid olla näiteks sellised:

1. Millises olekus on elavhõbe temperatuuridel —35 ja —40 °C?
2. Kas saab õhu temperatuuri mõõta elavhõbetermomeetriga, kui õhk on külmem kui —39 °C?
3. Mis juhtub tinatükiga, kui see visata sula plii sisse?
4. Mis juhtub pliitükiga, kui visata see sulamistemperatuuril olevasse vedelasse tinasse?
5. Mis toimub elavhõbedaga, kui seda kallata vedelasse lämmastikku?
6. Kas saab sulatada merevaiku, hoides seda tinalusikal? alumiiniumlusikal?

Taolised küsimused esinevad ka õpikus ja need on vaja hästi läbi mõelda.

Enne laboratoorset tööd tuleb juhtida õpilaste tähelepanu sellele, et kristallilised kehad sulavad ja tahkestuvad ühel ja samal temperatuuril. Seda asjaolu mitte teades võivad õpilased teha vaatluste põhjal ehitatud graafikult ebaõige järelduse, nagu oleks naftaliini tahkestumistemperatuur sulamistemperatuurist mõnevõrra kõrgem (vt. lk. 65). Amorfsete kehade sulamisest on õpikus juttu vaid täiendavaks lugemiseks mõeldud paragrahvis, kuid õpetaja võiks tunnis siiski näidata mõne amorfse aine, näiteks pigi, kampoli, vaigu või kirjalaki sulamist. Seejuures tuleb õpilaste tähelepanu juhtida sellele, et aine pehmeneb kogu ruumala ulatuses ja temperatuuri, mil kogu aine on tervenisti vedelas olekus, on raske kindlaks määrata. Kristalliliste kehade puhul võib sulamistemperatuuril näha üheaegselt nii tahket keha kui ka vedelikku. Sulava kristallilise keha heaks näiteks on vees ujuv jää.

Kallutades veenõu kohal katseklaasi, milles sulab amorfne aine, võime näidata, et madalamal temperatuuril voolab see aine katseklaasist välja aeglasemalt kui kõrgemal temperatuuril. Amorfse aine tahke ja vedela oleku vahel puudub selge piir. Nii on see ka tahkestumisel. Amorfsetel ainetel puudub kindel sulamistemperatuur.

Järgmises tunnis tuleb teha laboratoorne töö naftaliini sulamise ja tahkestumise jälgimiseks ning vastava graafiku ehitamiseks (vt. lk. 63). Nimetatud töö on väga tähtis, sest juba sissejuhatavas tunnis räägiti energia neeldumisest sulamisel ja energia vabanemisest tahkestumisel. Seda kinnitada saab aga ainult graafiku analüüs. Kui mingil põhjusel laboratoorset tööd ei ole võimalik korraldada, tuleb temperatuuri jäävust sulamisel ja tahkestumisel näidata elektrilise demonstratsioonitermomeetriga. Kuna niisugust termomeetrit ei tohi kuumas vedelikus kaua hoida (vt. lk.

28), tuleb kuumutatavat naftaliini võtta võrdlemisi vähe. Alguses nihkub galvanomeetri osuti pidevalt, seejärel peatub mõneks sekundiks ning liigub siis edasi. Veidi paremini on see näha jahtumisel ja tahkestumisel. Selleks tuleb katseklaas sula naftaliiniga kuumast veest välja võtta, termomeeter (kui see on jõudnud kuumeneda) kiiresti külmas vees jahutada ja seejärel sula naftaliini sisse tagasi panna. Kui kasutame väikest naftaliinikogust, võib katset korrata. Siis jõuavad kõik õpilased veenduda, et kristallilise aine sulamisel ja tahkestumisel püsib temperatuur muutumatuna.

Kuna kirjeldatud katse võtab vähe aega, siis võib seda demonstreerida isegi pärast laboratoorset tööd graafiku analüüsimisel. Nii saavad õpilased veel kord veenduda sulamis- ja tahkestumistemperatuuri võrdsuses. Nad mõistavad, et laboratoorses töös ilmnenud sulamis- ja tahkestumistemperatuuri erinevus oli tingitud termomeetri inertsusest.

Õpilased taipavad võrdlemisi kergesti, et sulamisel naftaliin neelab energiat. See energia ei lähe ilmselt naftaliini temperatuuri tõstmiseks, sest sulamisel jääb temperatuur muutumatuks, kuigi piirituslamp, keeduplaat või mõni muu soojusallikas annab veele, järelikult ka naftaliinile energiat üha juurde. Tunduvalt raskem on teha järeldust, et temperatuuri muutumatus tahkestumisel annab tunnistust energia vabanemisest selles protsessis. Selle mõistmiseks peavad õpilased selgesti ette kujutama, et kahe keha kokkupuutumisel soojema keha molekulid kaotavad energiat, jahedama keha omad aga saavad energiat juurde. Seda on vaja õpilastele meenutada enne graafiku analüüsimist. Hoides käes klaasi sula naftaliiniga, juhime tähelepanu asjaolule, et ümbritsevast õhust kõrgema temperatuuriga naftaliin annab õhule pidevalt energiat juurde, kuid naftaliini temperatuur siiski ei lange. Järelikult eraldub tahkestumisel teatud hulk energiat, kusjuures see protsess ei ole seotud temperatuuri muutumisega. Kui kristalliseerumine on lõppenud, jätkub energia andmine õhule, kuid sellega kaasneb nüüd naftaliini temperatuuri langus. Õpilased mõistavad, et keha siseenergia muutumine ilma temperatuuri languseta on seotud keha molekulide potentsiaalse energia muutusega, sest kristalliseerumisel muutub ju molekulide paigutus. Keha jahtumisel esinev siseenergia muutumine on seotud molekulide kineetilise energia vähenemisega, mis omakorda sõltub molekulide keskmisest kiirusest.

Katse näitab, et keha sulamiseks vajalik soojushulk on võrdne keha kristalliseerumisel vabaneva soojushulgaga. Õpilaste tähelepanu tuleb juhtida sellele, et seesugust tulemust oleks võinud energia jäävuse ja muundumise seaduse põhjal juba ette näha.

Pärast seda defineerime aine sulamissoojuse soojushulgana, mis on vajalik 1 g või 1 kg selle aine sulatamiseks sulamistemperatuuril. Teiselt poolt võime öelda, et niisama suur soojushulk vabaneb ka selle aine tahkestumisel. Seejärel tutvustame õpilasi

ainete sulamissoojuste tabeliga. Kuna ainult tabeli lugemine ei anna ettekujutust sellest, kas toodud andmed on suured või väikesed, tuleb esitada õpilastele samaaegselt mõningaid küsimusi, näiteks, kummal juhul on tarvis suuremat soojushulka — kas 1 g nullkraadise vee soojendamiseks toatemperatuurini või 1 g jää sulatamiseks ilma selle temperatuuri tõstmata? Mitu grammi pliid võib sulatada sulamistemperatuuril soojushulgaga, mis on tarvilik 1 g jää sulatamiseks.

Pärast nende küsimuste läbiarutamist peab õpetaja juhtima õpilaste tähelepanu jää suurele sulamissoojusele ja selgitama, millist osa see etendab looduses. Õpilasi võib lasta vastata küsimusele, miks kevadel lume sulamise ajal õhu temperatuur tõuseb aeglaselt, sügisel suurte veekogude külmumisel aga langeb aeglaselt.

Selle teema juurde kuuluvatel arvutusülesannetel erilist metoodilist väärtust pole ja seepärast ei maksa neile palju aega raisata. Lahendada hulgaliselt ülesandeid soojusliku tasakaalu võrrandi koostamisele, sulavate kehade massi ja temperatuuri leidmisele ning nõuda neid oskusi kogu klassilt oleks ebaotstarbekas. Paljudele õpilastele pole need lihtsalt jõukohased ja püüe panna kogu klass lahendama taolisi ülesandeid viib sageli ebasoovitavate tagajärgedeni: põhiline materjal jääb omandamata, seni küllaltki edukalt töötanud õpilased, nähes, et nad ei suuda õpetaja nõudmisi täita, hakkavad kaotama usku oma võimetesse. Siit saabki sageli alguse halb õppeedukus.

Algajal õpetajal tuleb meeles pidada, et liigne innustumine raskemate ülesannete lahendamisest kogu klassiga ei räägi sageli mitte tema kõrgest nõudlikkusest, vaid tema metoodilisest küündimatusest. On ju selge, et taoliste ülesannete lahendamine selle teema õppimiseks määratud vähese aja piires toimuks teiste, õpilase mõtlemist arendavate õppimisvormide — laboratoorsete tööde, küsimus- ja katseliste ülesannete arvel, mõnikord isegi uue materjali selgitamise ja demonstratsioonkatsete arvel. Kokkuvõttes kahjustab see füüsika õpetamise üldist taset. Raskemaid ülesandeid tuleks anda ainult soovijaile. Nende õpilaste edusammud raskemate ülesannete lahendamisel ei tohi mõjutada teiste õpilaste hindeid, kes omandasid täielikult ainult programmis ettenähtud materjali.

Kaheksandas klassis tuleb lugeda kohustuslikuks ainult selliseid ülesandeid, kus tuleb leida antud massiga keha soojendamiseks ja sulatamiseks vajalik soojushulk. Selliseid ülesandeid on vajalik lahendada sulamisprotsessist saadud kujutluste kinnitamiseks ja konkretiseerimiseks. Et õpilaste tegevus ei piirduks mingi soojushulga formaalse leidmisega, on kasulik pärast arvväärtuse saamist esitada neile veel täiendav küsimus, mis aitaks vastust konkretiseerida. Arvutanud näiteks soojushulga, mis on vajalik jää sulatamiseks ja saadud veehulga soojendamiseks toatemperatuu-

rini, võib anda klassile küsimuse: kas selle ülesande täitmiseks piisab energiast, mis vabaneb teatud kindla kütusekoguse põlemisel. Et küsimust mitte liiga keeruliseks muuta, tuleb võtta niisugune kogus kütust, mis võimaldaks vastuse peast arvutada. Kui õpilased pööravad tähelepanu sellele, et mitte kogu kütuse põlemisel vabanenud energia ei lähe jää sulatamiseks, võib neile (sõltuvalt tunnis tekkinud olukorrast) selgitada, kuidas mõjutab vastust soojendi kasutegur või siis, andes kasuteguri väärtuse, arvutada otse numbriline vastus.

Selle asemel, et arvutada lihtsalt tina kuumutamiseks ja sulatamiseks vajalik soojushulk, võib sama küsimuse esitada ka järgmiselt: ühele põletile paigutati 200 g tina, teisele 200 g pliid; kumma aine sulamine lõpeb varem, kui kasutatavad põletid on ühesugused? Teises ülesandes võib võtta tina vähem kui pliid. Sel juhul on juba raske vastust peast öelda.

Et õpilased taipaksid õpitava protsessi olemust, on vaja läbi töötada õpikus toodud küsimus: mis juhtub, kui 0-kraadisesse vette lasta jäätükk, mille temperatuur on samuti 0 °C? Seejuures tuleb õpilasi veidi aidata, lisades, et jää sulamiseks on vaja teatud hulk soojust, mida ta võib saada ainult kõrgema temperatuuriga kehalt. Palju raskem on õpilastel vastata järgmisele küsimusele: mis juhtub, kui katseklaas sula naftaliiniga, mille temperatuur on 80 °C, asetada 80-kraadisesse vette? Sellele küsimusele vastates tuleb arvestada, et kristalliseerumisel peab naftaliin andma soojust ära ümbritsevale keskkonnale. See on aga võimalik ainult siis, kui ümbritseva keskkonna temperatuur on naftaliini omast madalam.

Võib esitada ka niisuguse küsimuse: millal soojeneb vesi enam, kas siis, kui kallata vette 100 g sulatina selle sulamistemperatuuril või visata vette sama temperatuurini kuumutatud 100-grammine tinatükk?

Soovitatav on esitada üks-kaks katselist küsimusülesannet, millele järgneb kohe vastuse kontrollimine elektritermomeetriga. Näiteks, kahes klaasis on võrdsel hulgal vett. Kumb alandab vee temperatuuri rohkem — kas tükk jääd või samasuure massiga veehulk 0 °C juures?

Küsimusülesannete demonstratsioonile ei tohiks kulutada üle mõne minuti. Selleks et 0-kraadist vett ja jääd mitte kaaluda, paigutatakse kummalegi kaalukausile klaas sooja veega. Kaalud peavad jääma tasakaalu. Seejärel võetakse nõust, kus asub 0-kraadine vesi ja jää, tükk jääd ja pannakse see ühel kaalukausil asuvasse klaasi, teise aga pannakse pipeti või toruga 0-kraadist vett seni, kuni kaalud uuesti tasakaalustuvad.

Seoses kehade sulamise ja tahkestumise selgitamisega aine molekulaarse ehituse seisukohalt on õpikus kirjeldatud vedelike ülejahutamist. Seda võib demonstreerida ka tunnis, kasutades hüposulfitit. Katse on huvitav selle poolest, et me võime siin otseselt näidata energia vabanemist kristalliseerumisel. Selle tõestami-

seks, et hüposulfit on tugevalt üle jahutatud, paigutatakse katseklaas vedela hüposulfitiga vette, milles ujuvad jäätükid, ja jahutatakse 0 °C. Elektritermomeetri abil näidatakse, et vee ja hüposulfiti temperatuur on 0° C (eeldame, et hüposulfit on olnud vees juba küllalt kaua). Seega on hüposulfiti temperatuur tema sulamistemperatuurist 48 °C võrra madalam. Et katse hästi õnnestuks, peame hoiduma katseklaasi raputamisest või kallutamisest, sest vastasel juhul võib ta puutuda kokku katseklaasi seintel esinevate kristallikestega. Ülejahutamise demonstreerimisel on soovitatav statiivi külge kinnitatud katseklaasi mitte liigutada, vaid tuua selle alla nõu veega. Et katseklaasis algaks kristalliseerumine, asetame sellesse demonstratsioonitermomeetri, mille külge on kinnitatud plastiliini abil tahke hüposulfiti kristallike. Temperatuur tõuseb järsult kuni 48 °C. Enne termomeetri katseklaasi asetamist võtame katseklaasi veest välja.

Katse on väga efektne, kui projitseerida kogu kristalliseerumisprotsess ekraanile (moonutuste vältimiseks peab veenõu olema paralleelsete seintega). Sel juhul tuleb hüposulfitit jahutada ainult toatemperatuurini, sest muidu toimub kristalliseerumine liiga kiiresti.

Kui katse projitseeritakse, tuleb hüposulfit jahutada kahes katseklaasis — ühte kasutame projitseerimisel, teisega aga demonstreerime temperatuuri tõusu kristalliseerumisel.

Kui jätkub aega, võib jutustada sellest, et looduses esineb vesi ülejahutatult tihti siis, kui puuduvad kristallisatsioonitsentrid. Näitena võib tuua pilvedesse (viimased kujutavad endast ülejahutatud vett) sattunud lennuki jäätumise. Kui ei võeta tarvitusele vastavaid kaitseabinõusid, võib lennuki kaal järsult kasvada. Sama nähtus on aluseks ka jäite (kiilasjää) tekkimisele, mil ülejahutatud vesi vihma näol maapinnale langeb; siin võib nimetada veel juhtmete ja puuokste jäätumist jne.

Jutustades sulamise ja tahkestumise kasutamisest praktikas, võiks näidata, kuidas toimuvad valutööd. Kui õpetajal pole käepärast kergestisulavaid metalle, võib selleks kasutada ka naftaliini. Kõigepealt valmistatakse plastiliinist või mõnest teisest materjalist mudel. Valandi saamiseks täidetakse karp kõigepealt niiske liivaga, mille sisse mudel pressib vastava kujuga süvendi. Seejärel kallatakse saadud süvend sula naftaliini täis.

Programmis ei ole ette nähtud ruumala muutuste vaatlemist mitmesuguste ainete sulamisel ja kristalliseerumisel. Kuid vee paisumist tahkestumisel on vaja õpilastel tunda nii igapäevases elus kui ka mitmesuguste loodusnähtuste mõistmiseks. Seepärast tuleb tundides aega leida ka selle nähtuse tutvustamiseks. Ei tohi lubada, et 8-klassilise kooli lõpetaja ei tea, mis juhtub talvel isoleerimata torujuhtmetega, kui need on vett täis jäänud, miks ei tohi keskküttekatelt pikemat aega kütmata jätta jne.

Vaatamata sellele, et meid huvitab peamiselt ruumala muutus

vee tahkestumisel, tuleb tutvuda ka teiste ainetega. Vastasel juhul võivad õpilased teha vee omaduste põhjal ebaõige järelduse, et kõik kehad tahkestumisel paisuvad. See oleks küllalt tõsine eksitus. Tuleb nimetada, et veega sarnaselt käitub tahkestumisel malm.

Selle nähtuse mehhanismi ja põhjuseid, mille järgi ühed kehad tahkestumisel paisuvad, teised aga kokku tõmbuvad, tunnis ei vaadelda. Kui uudishimulikud õpilased siiski sellise küsimuse esitavad, tuleb nende tähelepanu juhtida sellele, et tegemist on kristalliliste kehadega, mille molekulid asetsevad korrapäraselt. Seejuures võib selgituseks esitada õpilastele järgmise küsimuse: millal võtab ekskursioonile suunduv klass rohkem ruumi — kas siis, kui õpilased on teel läbisegi korrapäratu hulgana või siis, kui nad on ilusasti üles rivistatud. Tõenäoliselt võtab korrapäratu lastesalk rohkem ruumi kui ülesrivistatud klass. Kuid võib esineda ka selline olukord, kus korrapäratu õpilastehulk on rivist kompaktsem. See esineb juhul, kui õpilastevahelised kaugused rivis on liiga suured. Muidugi mõista ei tule nõuda, et õpilased vastamisel sellise arutluse ise läbi teeksid.

Otsest katset vee või mõne kristallilise keha (naftaliin, hüposulfit) ruumala muutuse näitamiseks pole tingimata vaja teha. Vaadeldes, kuidas naftaliinitükk vedelas naftaliinis upub või kuidas jää vee pinnal ujub, võib tulla järeldusele, et jää tihedus on vee tihedusest väiksem. Järelikult tõmbub naftaliin tahkestumisel kokku (tiheneb), vesi aga paisub jäätudes. Eelnevalt toodud analüüs pole põrmugi halvem, kui otsene katse ruumala muutuse vaatlemiseks.

Kahjuks õpitakse teemat «Agregaatolekute muutumine» oktoobris-novembris ja seepärast ei ole võimalik näidata, kui suurte jõududega on tegemist vee külmumisel. Tuleb piirduda vaid nähtuste kirjeldamisega, mis on seotud vee paisumisega jäätumisel. Külmade saabumisel võib selle küsimuse juurde tagasi pöörduda ja näidata õpilastele veega täidetud õõnsa malmkera või tindipoti purunemist vee külmumisel.

Peale näite, kus oli juttu keskküttetorustiku külmumisest, on soovitatav õpilastele rääkida, kuivõrd tähtis on looduses vee paisumine külmumisel. Kuna jää tihedus on vee omast väiksem, siis ujub jää vee pinnal ja ei upu. Tänu sellele ei külmu sügavad veekogud põhjani ja elu säilib neis ka talvel. Vee soojuspaisumise iseärasuse tõttu suurenevad järk-järgult külmade saabumisel kaljupraod ja aegade jooksul muutub kogu maapinna reljeef. Kui õpilased on lugenud, et Kuul on mäed, võrreldes Kuu mõõtmetega, suhteliselt kõrged, võib juhtida nende tähelepanu ka sellele, et Kuul puudub vesi. Vesi on aga üks peamisi süüdlasi mägede purunemises. Need ja teised näited ergutavad õpilasi füüsikaliste nähtuste otsimisele ümbritsevast elust, äratavad ning süvendavad huvi füüsika vastu. Seepärast ei tohi selliseid praktilist laadi vestlusi, mis ilmekalt näitavad vee paisumist külmumisel, alahinnata.

AURUMINE

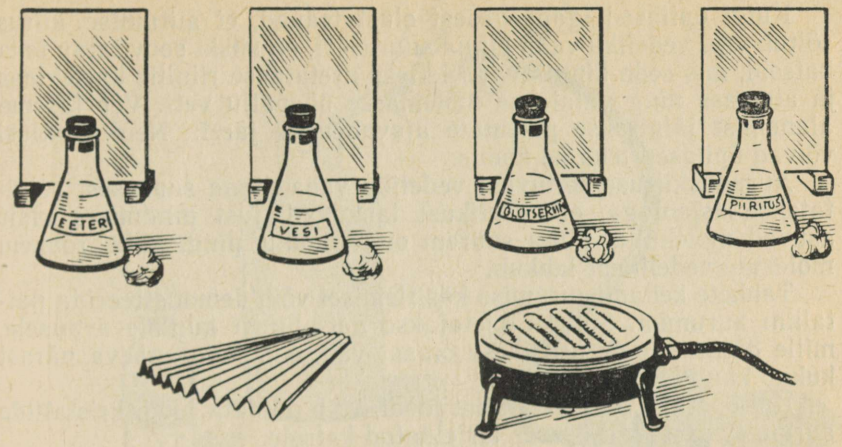
Aurumis- ja kondenseerumisprotsesse on õpikus kirjeldatud aine molekulaar-kineetilise teooria põhjal. Seepärast on kasulik tunni algul meelde tuletada seost temperatuuri ja molekulide liikumise keskmise kiiruse vahel. Tingimata tuleb peatuda keskmise kiiruse mõistel. Õpilased peavad hästi ette kujutama, et mitte kõik molekulid ei liigu ühesuguse kiirusega. Nende teadmiste põhjal on võimalik seletada, miks aurumine toimub aeglaselt ja miks seejuures langeb vedeliku temperatuur. Õpetajal tuleb siin veel kord juhtida õpilaste tähelepanu sellele, et molekulide liikumiskiiruse muutumisel muutub ka nende kineetiline energia.

Vaatamata sellele, et igapäevases elus puutuvad õpilased sageli kokku aurumisega, tuleb neile seda demonstreerida ka klassis. Selliseid katseid saab teha iga kooli füüsikakabinetis, nad on huvitavad ning jäävad õpilastele kergesti meelde. Aurumise käsitlemine katseteta võtab tunnis võrdlemisi vähe aega ja õpilaste tähelepanu hajub ruttu. Aurumisnähtuste õppimine etendab aga õpilaste silmaringi avardamisel tähtsat osa. Seepärast on väga oluline, et antud teema köidaks kogu klassi tähelepanu tunni lõpuni.

Aurumise põhilisi seaduspärasusi võib näidata 3—4 mattklaasi abil, mis on asetatud vertikaalselt plastiliinist alustele (joon. 14). Vatitükiga, mis on niisutatud meid huvitava vedelikuga, kantakse klaasidele vedelikulaigud. Mattklaasi võib osta fototarvete kauplusest või valmistada ise, töödeldes aknaklaasi tükki liivapaberiga. Vedelikulaigud on paremini nähtavad, kui neid tagantpoolt valgustada. Kui füüsikakabinetis puudub spetsiaalne valgustusseade, on parem mattklaase valgustada mitte harilike, vaid piimklaasist elektrilampidega. Nende valgus ei pimesta õpilasi ja ei sega katse jälgimist.

Arutlusest selgub, et aurumine peaks toimuma igasugusel temperatuuril, sest vedelikus leidub alati kiireid molekule, mis suudavad ületada ümbritsevate molekulide külgetõmbe ja lennata vedelikust välja. Ühtlasi võib näidata, et erinevate vedelike aurumiskiirus on erinev. Selleks tuleb iga mattklaasi juurde panna kolb selle vedelikuga, millega klaasi niisutatakse. Sobivateks vedelikeks on vesi, piiritus, eeter (või atsetoon) ja glütseriin (või õli). Kui vedelikke kolbides on väliselt raske üksteisest eristada, võib kolbidele plastiliiniga kinnitada vastavad sildid. Väärarvamuse vältimiseks, nagu kuivaks piirituselaik vee omast kiiremini sellepärast, et ta kanti klaasile varem, tuleb seda teha niisuguses järjekorras: glütseriin (või õli), vesi, piiritus, eeter (või atsetoon). Katse näitab, et eetri aurumiskiirus on väga suur. Eetrilaigu järel kaob piirituselaik, seejärel vee oma. Viimane, s. o. glütseriini- või õlilaik püsib mattklaasil tunni lõpuni.

Eelnevaga seoses tuleb õpilastele selgitada, et ka elavhõbe



Joon. 14.

aurub väga aeglaselt. Seepärast tuleb hoiduda tema mahakallamisest. Põranda pragudesse sattunud elavhõbedatilgad on võrdlemisi mürgiste aurude allikaks veel mitme aasta vältel. Õpilasi tuleb hoiatada, et elavhõbedaga kokkupuutumisel tuleb olla äärmiselt ettevaatlik.

Seejärel võib näidata, et aurumise kiirus sõltub temperatuurist. Selleks tuleb kahele klaasile lasta pipetiga paar ühesuurust vee- või piiritusetilka, kusjuures ühte klaasi soojendatakse eelnevalt küttekeha kohal. Õpilased näevad, et soojendatud klaasilt auruvad tilgad tunduvalt kiiremini kui külmalt klaasilt.

Edasi selgitatakse õpilastele, millest veel sõltub ühe ja sama vedeliku aurumiskiirus. Seda võib demonstreerida vee või piiritusega. Paneme kahele klaasile ühesuurused vedelikulaigud ja lehvitame ühele neist papitükiga tuult. Teise klaasi paigutame tuule eest kõrvale. Katse näitab, et õhu liikumine kiirendab aurumist.

Selle nähtuse selgitamisel tuleb jutustada, et aurumisel satub osa molekule vedelikku tagasi. Kui auruva vedeliku vaba pinna kohal õhk liikuma panna, kannab tuul osa molekule vedeliku kohalt minema, mistõttu vedelikku tagasipöörduvate molekulide arv väheneb ning aurumine kiireneb. Pärast seda võib õpilastele selgitada, miks niiskes õhus, kus on palju vedelikust väljalennanud molekule, toimub aurumine aeglasemalt kui kuivas õhus.

Kui räägitakse tasakaalust auruva vedeliku ja tekkinud auru vahel, näidatakse õpilastele kinnist nõu vedelikuga (selleks sobib ka Franklini keetja või krüofoor) ja öeldakse, et vedeliku nivoo nendes nõudes ei alane isegi mitme aasta jooksul. See jätab õpilastele palju tugevama mulje kui lihtsalt mainimine, et suletud nõus vedeliku hulk ei vähene.

Kuigi õpilased igapäevasest elust teavad, et aurumise kiirus sõltub veel vedeliku vaba pinna suurusest, on siiski soovitatav teha katseid, mis seda kinnitavad. Selleks asetatakse riiulile katseklaas ja alustass ning valatakse mõlemasse ühepalju vett. Vee taseme alanemist jälgitakse pikemate ajavahemike järel. Neid vaatlusi võivad õpilased teha ka kodus.

Aurumiskiiruse sõltuvust vedeliku vaba pinna suurusest selgitatakse asjaoluga, et vedelikust lahkuvad just pindmises kihis asuvad molekulid. Mida suurem on vedeliku pind, seda rohkem molekule vedelikust lahkub.

Tahkete kehade aurumise käsitlemisel võib demonstreerida naftaliini aurumist. Selleks asetatakse naftaliinist kuulike avausele, mille diameeter on kuulikese omast väiksem. Mõne päeva pärast kukub kuulike avausest läbi.

Kui õpetajal on kristallilist joodi, võib näidata joodi kristallide aurumist vastavalt õpikus kirjeldatud katsele.

Selgitades temperatuuri alanemist aurumisel on parem lähtuda aine molekulaar-kineetilistest kujutlustest, mitte aga energeetilistest, sest molekulide kiiret liikumist kujutavad õpilased paremini ette kui nende kineetilist energiat. Eelkõige selgitame, et aurumisel lahkuvad vedelikust just kõige kiiremad molekulid, mistõttu allesjäänud molekulide keskmine kiirus väheneb. Siit läheme edasi ning väidame, et seoses sellega väheneb ka nende molekulide kineetiline energia, järelikult ka temperatuur.

Kui õpilastele pole hästi arusaadav, miks kõige kiiremate molekulide lahkumisel ülejäänute keskmine kiirus väheneb, tuleb appi võtta arvuline näide. Olgu meil tegemist näiteks neljast õpilasest koosneva grupiga, kusjuures õpilaste pikkused on vastavalt 130 cm, 140 cm, 150 cm ja 160 cm. Selle lastegrupi keskmine pikkus on

$$\frac{130\text{ cm}+140\text{ cm}+150\text{ cm}+160\text{ cm}}{4}=145\text{ cm}.$$

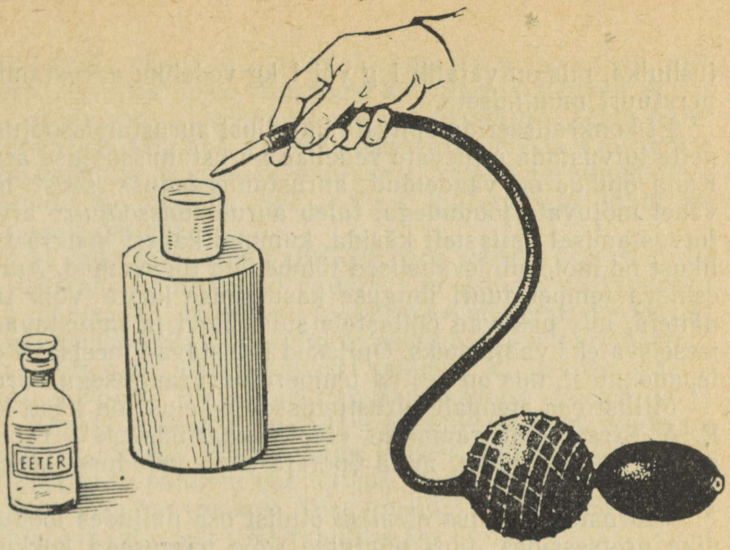
Kui grupist lahkub kõige pikem õpilane, väheneb ülejäänud õpilaste keskmine pikkus ja võrdub

$$\frac{130\text{ cm}+140\text{ cm}+150\text{ cm}}{3}=140\text{ cm}.$$

Näidet kasutatakse vaid juhul, kui selle järele tekib vajadus.

Tuleb pöörata tähelepanu sellele, et õpilased räägiksid ikka molekulide liikumise keskmise kiiruse või keskmise kineetilise energia vähenemisest, mitte aga allesjäänud vedeliku siseenergia vähenemisest. Kui me näiteks täidetud veeklaasist poole veest ära kallame, väheneb allesjäänud vee siseenergia, kuid temperatuur seejuures ei muutu, sest klaasis asuva vee molekulide kineetiline energia ei vähene.

Kiirel aurumisel esinevat temperatuuri langust on kõige liht-



Joon. 15.

sam näidata, kui asetame manomeetriga ühendatud kolvile eetriga niisutatud vatitüki. Kui efekt pole küllaldane, tuleb manomeetrit kallutada. Antud katse juures võib veel kord näidata, millest sõltub aurumise kiirus ja sellega kaasnev temperatuuri alanemine. Selleks tuleb vatitüki kohal papitükiga lehvitada.

Õpikus kirjeldatud katse, kus termomeetri kuulike mähiti eetriga niisutatud vati sisse, on efektne vaid siis, kui on olemas demonstratsioonitermomeeter (vedelik- või elektritermomeeter). Aurumise kiirendamiseks tuleb eetriga niisutatud vati kohal lehvikuga lehvitada. Veelgi ilmekam on järgmine katse, mis veenab õpilasi, et aurumisel on võimalik saada võrdlemisi madalaid temperatuure.

Puust alusele asetatakse väike metallnõu, näiteks piirituslambi kübar või kreemikarbi kaas. Nõusse kallatakse veidi eetrit ja kummipirni abil puhutakse sellele õhku (joon. 15). Et kiirendada katse käiku, surutakse kummivooliku otsa veel pipeti otsik. Paari minuti pärast on nõu aluse külge külmunud. Kui proovime nõu tõsta, tõuseb sellega koos ka alus.

Kui õpilastele on selgeks saanud, et vedeliku temperatuur aurumisel langeb, esitatakse küsimus: miks ei lange temperatuur piiramatult. Miks, näiteks, ei külmu vesi ämbris päeva jooksul põhjani? Õpilased taipavad, et vesi saab pidevalt energiat juurde ümbritsevalt õhult. See toimub põhjusel, et õhu temperatuur on veidi kõrgem auruva vee temperatuurist. Seepärast jääb vee temperatuur, olles veidi madalam õhu omast, peatuma ja ei lange enam. Siit saame juba kergesti, täpselt nagu õpikuski, minna edasi aurustumissoojuse mõiste juurde. Aurustumissoojuse all mõtleme me soo-

jushulka, mis on vajalik 1 g või 1 kg vedeliku aurustamiseks temperatuuri muutmiseta.

Et konkretiseerida õpilaste kujutlust aurustumissoojusest, tuleb neile tutvustada erinevate vedelike aurustumissoojuse arvväärtusi. Kuna õpikus on vaadeldud aurustumissoojuse seost molekulide vahel mõjuvate jõududega, tuleb aurustumissoojuse arvväärtuste tutvustamisel õpilastelt küsida, kummal kahest konkreetsest vedelikust on molekulidevahelised tõmbejõud tugevamad. Aurustumisel esineva temperatuuri languse kasutamise kohta võib tuua palju näiteid, mis pakuvad õpilastele suurt huvi ja innustavad neid ka iseseisvateks vaatlusteks. Õpilased jutustavad meelsasti oma tähelepanekutest, mis on seotud temperatuuri langusega aurustumisel.

Millist osa etendab aurustumissoojus elus, on hästi kirjutanud E. A. Štrauf oma raamatus «Molekulaarfüüsika»[1]. Toome sellest raamatust ühe lõigu, mida õpetaja saab vajaduse korral tunnis kasutada.

«Aurustumissoojus etendab olulist osa paljudes looduse ja tehnika protsessides; tihti puutume selle nähtusega kokku ka igapäevases elus. Kuumale teele puhume selleks, et see auruks ja kiiremini jahtuks. Märgades riietes kannatame külma käes peamiselt sellepärast, et kuivamisel võetakse aurumiseks vajalik soojus meie kehalt. Ülekuumenemise eest kaitseb meie organismi higikiht, mis palavaga ilmub naha pinnale. Nõrga tuule määramiseks kastavad stepielanikud käe vette ja tõstavad seejärel üles: kerge külmatunne niiske käe ühel poolel näitab, kustpoolt puhub nõrk tuuleõhk. Et toiduained säiliksid kauem, kaetakse nad palaval ajal niiske riidega. Polaaraladel määritakse tugeva külmaga nägu rasvaga, mis vähendab aurumist naha pinnalt, s. t. keha kaotab vähem soojust. Tugevasti kuumutatud kehade jahutamiseks kasutatakse harilikult vett kui kõige odavamat vedelikku; pealegi on veel väga suur aurustumissoojus. Vett kasutatakse laialdaselt tulekahjude kustutamisel, kus ta kõigepealt alandab temperatuuri allapoole süttimispunkti, peale selle ei lase veeaur hapnikul tungida tulekahjukoldesse. Võib tuua ka vastupidiseid näiteid. Nii kasutatakse auru kondenseerimisel vabanevat aurustumissoojust tihti soojendamiseks ja kütmiseks.»

Palju õpilaste jaoks sobivaid küsimusi on toodud õpikus. Nendele vastamine tuleb jätta põhiliselt koduseks ülesandeks. Peale õpiku küsimuste peaks õpetajal olema veel täiendavaid küsimusi, mida saaks esitada küsitlemisel. Häid küsimusi leiate küllaldaselt V. Zolotovi, V. Demkovitši ja V. Lukašiku[2] ülesannete kogudest, peale selle ka mitmesugustest metoodilistest väljaannetest.

[1] Е. А. Штрауф. Молекулярная физика. Л.-М., ГИТГЛ, 1949, стр. 265—266.

[2] В. А. Золотов. Вопросы и задачи по физике для восьмилетней школы. М., «Просвещение», 1965; В. П. Демкович. Сборник упражнений по физике для восьмилетней школы. М., «Просвещение», 1967; В. И. Лукашик. Сборник вопросов и задач по физике для восьмилетней школы. М., Учпедгиз. 1966.

Tuleb tingimata nõuda, et õpilased annaksid ammendava vastuse. Näiteks, vastates õpiku esimesele küsimusele, peavad õpilased ütlema, et aurumisel vedeliku temperatuur langeb. Mida kiiremini vedelik aurab, seda enam alaneb temperatuur. Kuna aurumise kiirus sõltub vedeliku vaba pinna suurusest, toimub aurumine alustassilt kiiremini kui klaasist. Sel põhjusel kallataksegi kuum tee vahel alustassile jahtuma.

Et õpetajal oleks tunnis võimalik küsitleda rohkem õpilasi (eriti oluline on see kahe tunni korral nädalas) ja siduda vastamisega kogu klassi tähelepanu, tuleb esitada küsimus mõtlemiseks tervele klassile. Kui enamik õpilasi on valmis vastama, tuleb lasta vastata ühel õpilasel (õpetaja võib teadlikult leppida ka osalise vastusega). Seejärel võivad ülejäänud õpilased vastust täiendada ja täpsustada. Lõpuks võib teha kuuldust kokkuvõtte mõni tugevam õpilane, keda on huvitav jälgida kogu klassil. Kui küsitletav õpilane suudab esitada põhilise osa õpikus toodud materjalist, kuid pole otsekohe võimeline vastama täiendavatele küsimustele, ei tule tema teadmisi hinnata veel mitterahuldavaks.

Kui oleme tutvustanud õpilasi küllaldase hulga näidetega, võib teema kohta esitada küsimusi juba teisel kujul. Selle asemel, et pakkuda õpilastele analüüsimiseks valmis näiteid, võib neile nüüd esitada küsimusi taolisel kujul: kus võib kasutada asjaolu, et mõned vedelikud auruvad kiiresti, mõned aeglaselt? millisel juhul on vedeliku aurumisega kaasnev temperatuuri langemine kasulik ja mis tuleb teha, et aurumine oleks veelgi intensiivsem? Millal on vedeliku aurumisega kaasnev temperatuuri langus kahjulik ja mis tuleb teha, et aurumine toimuks aeglasemalt?

Küsimuste selline esitusviis võimaldab õpilastel aktiivsemalt oma teadmisi kasutada.

Õpilastele võib anda küsimusi ka kodus mõtlemiseks. Vastused neile küsimustele antakse klassis järgmisel tunnil. Sellisel juhul saavad õpilased mõelda nii vastuse sisu kui ka esituslaadi üle, mis on kasulik kõne arendamiseks. Kodus ettevalmistatud näited võivad osutuda väga huvitavateks ja ootamatuiks mitte ainult kaasõpilastele, vaid ka õpetajale. Selline õpitava materjali aktiivne läbitöötamine on õpilastele väga kasulik. Mitte kõik õpilased ei suuda tuua originaalseid näiteid. Kui mõningates vastustes ongi ehk kasutatud õpikus toodud või õpetajalt kuuldud näiteid, ei tule neisse halvakspanevalt suhtuda.

Auru kondenseerumisest ja seejuures vabanevast soojushulgast jutustatakse, vastavalt õpikule, seoses aurustumisega. Põhilised katsed kondenseerumise ja seejuures vabaneva energia demonstreerimiseks viiakse läbi pärast keemise vaatlemist, sest keemisel saadakse selleks küllaldasel hulgal auru. Siinkohal on sobiv viidata katsele õhu adiabaatilise paisumise kohta. Meenutame, et selles katses nägime, kuidas õhk tegi tööd, kaotades seejuures osa oma siseenergiast. Nimetatud katse juurde tagasi tulles võib näi-

data selle teist varianti, mis aitaks selgitada kondensatsioonitsentrite osa udu tekkimisel. Selleks pumbatakse seest niiskesse pudelisse õhku seni, kuni kork lendab pealt ära. Kui õpetaja ise tõmbab pudelilt korgi, võib pumbalöögid enne ära lugeda. Pudeli avamisel tekib selles nõrk udu. Nüüd visatakse pudelisse põlenud, kuid veel suitsev tuletikk ning korratakse katset. Seekord täitub pudel tiheda uduga, sest suitsus sisalduvad tahmaosakesed olid täiendavateks kondensatsioonitsentriteks. See nähtus aitab selgitada, miks mõningates tööstuslinnades esineb väga tihedat udu.

Katset võib korrata, näidates, et pudelisse õhu pumpamisel, s.o. tööd tehes õhu siseenergia suureneb ja udu kaob. Kui võtame pudelilt uuesti korgi ja anname õhule võimaluse paisuda, ilmub pudelisse taas udu.

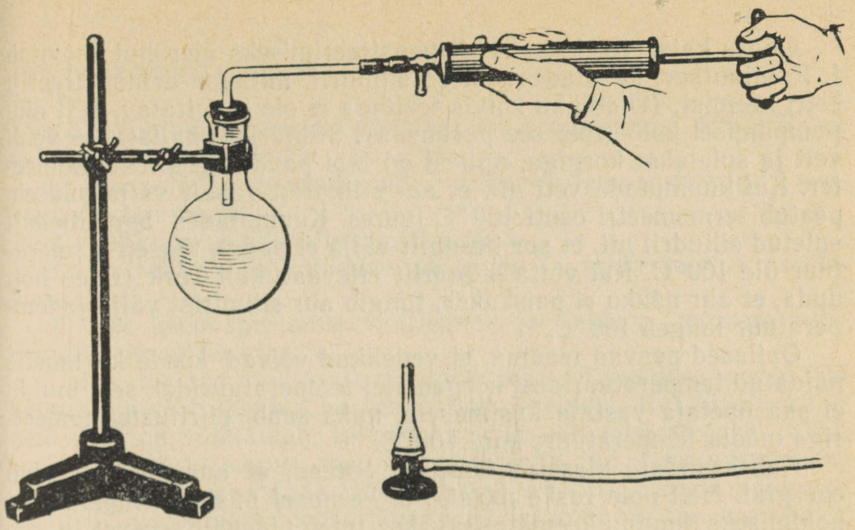
Kui õpilased teavad, et auru kondenseerumisel vabaneb teatud hulk soojust, võib neile selgitada, miks udu tekkimine takistab õhu temperatuuri langemist. Toetudes energia jäävuse ja muundumise seadusele, võib õpilastele rääkida ka energia vabanemisest kondenseerumisel, kuid nähtuse olemust lähemalt vaadelda ei ole tarvis.

KEEMINE

Kuigi kõik õpilased on vee keemist näinud, tuleb seda siiski klassis demonstreerida, sest tavaliselt vaadeldakse keemisprotsessi ülalt ja nähakse ainult seda, mis toimub pinnal. Katses kasutatavat vedelikku on soovitatav enne tundi mõni minut keeta, sest siis väljub suurem osa õhku vedelikust. Selliselt ettevalmistatud vedeliku keetmisel võib näha üksikute suurte õhu- ja aurumullide moodustumist. Need mullid tõusevad pinnale ja lõhkevad seal, paisates oma sisu atmosfääri. Katset jälgivad õpilased mõistavad, et keemisel toimub aurumine mitte üksnes vedeliku pinnalt, vaid ka vedeliku sees. Elektrilise demonstratsioonitermomeetriga näidatakse, et normaalrõhul keeb vesi 100 °C juures.

Järgnevalt võib näidata, et mõni teine vedelik keeb hoopis teistsugusel temperatuuril. Kõige lihtsam on demonstreerida eetri keemist. Eetriga tuleb aga väga ettevaatlikult ümber käia, sest eetriaur võib kergesti süttida. Katseklaas eetriga asetatakse klaasi, milles on kuum vesi. Klaasi käes hoides vaadeldakse eetri tormilist keemist. Eetri valamisel katseklaasi tuleb jälgida, et elektripliit oleks välja lülitatud (piirituslamp kustutatud). Pärast seda katset tuleb klassi tuulutada.

Nüüd, kus on selgunud, et erinevad vedelikud keevad erinevatel temperatuuridel, tuleb õpilasi tutvustada keemistemperatuuride tabeliga. Tabelite vaatlemise ajal on soovitatav esitada õpilastele järgmisi küsimusi. Millega võib end põletada tugevamalt, kas keeva õli või keeva veega? Kas saab jootetinaga parandatud nõus keeta suppi, pruunistada toitu jne.



Joon. 16.

Õpikus ja programmis ei käsitleta keemistemperatuuri sõltuvust välisrõhust, kuid õpilastele peaks seda siiski tutvustama. Selleks võib mõne minuti jooksul demonstreerida vee keemist normaalrõhust madalamal rõhul, kasutades seejuures Šintsi pumpa (joon. 16). Et õpilased veenduksid ka ilma termomeetrita selles, et vee temperatuur katse ajal on madalam kui 100 °C, tuleb võtta normaalrõhul keev veekolb elektripliidilt ja veidi oodata katse alustamisega. Õpilased näevad, et vesi ei saa enam soojendajalt energiat juurde ja hakkab jahtuma. Pumbaga ühendatud kolvis hakkab vesi keema ainult kolvi ülestõmbamisel. Pumba asemel võib selles katses kasutada ka paksuseinalist kummipirni. Pärast seda kui vesi ei saa enam soojendajalt energiat juurde, surutakse kummipirnist õhk välja ja ühendatakse siis kolviga. Lastes pirnil vabalt paisuda, imeb see endasse õhku ning rõhk kolvis väheneb. On näha, kuidas vesi kolvis uuesti keema hakkab.

Õpilastel on huvitav teada saada, et kõrgel mägedes keeb vesi tunduvalt allpool 100 °C: kõige kõrgemal mäetipul — Džomolungmal Himaalajas 8848 m kõrgusel keeb vesi 70 °C juures, Pamiiris asuval Kommunismi mäetipul 7495 m kõrgusel on vee keemistemperatuur 75 °C, Kazbeki tipus 5043 m kõrgusel on see aga 83 °C. Need teadmised on õpilastele vajalikud ka laboratoorse töö ajal, kui nad märkavad, et elavhõbe- või piiritustermomeeter näitab vee keemisel vähem kui 100 °C. Põhjendada seda termomeetri ebatäpsusega ei ole soovitatav.

Ühtlasi võime selgitada, et termomeetrit kasutades võib määrata mäe kõrguse merepinna suhtes.

TRU Raamatukogu

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

Ohutu katse vee keemise demonstreerimiseks ülerõhul soovitab I. Rumjantsev, kasutades selleks silindrit, millega demonstreeriti eetri keemist. (Ülerõhku kolvis tekitada ei ole soovitatav, sest õhu pumpamisel kolbi võib see puruneda). Silindrisse kallatakse veidi vett ja suletakse korgiga, millest on läbi pandud elektritermomeeter. Kui kuumutada vett nii, et aur silindrist vabalt välja pääseb, peatub termomeetri osuti 100 °C juures. Kuumutades aga tihedalt suletud silindrit nii, et aur kusagilt välja ei pääse, tõuseb temperatuur üle 100 °C. Kui võtta silindrilt ettevaatlikult kork (tuleb hoiduda, et aur näkku ei paiskuks), tungib aur silindrist välja ja temperatuur langeb 100 °C.

Õpilased peavad teadma, et vedelikud võivad keeda ka tabelis näidatud temperatuuridest kõrgematel temperatuuridel, sest muidu ei saa õpetaja vastata küsimusele, miks saab piiritustermomeetriga mõõta temperatuure kuni 100 °C.

Kaheksandate klasside õpilased teavad, et aurumiseks kulub energiat. Neil pole raske mõista, et keemisel püsiva temperatuuri hoidmiseks (muidu keemine lakkaks) tuleb pidevalt soojust juurde anda. Raskem on aga õpilastel mõista, et kondenseerumisel vabaneb energiat. Seepärast tuleb neile seda demonstratsioonitermomeetri abil järgmise katsega näidata.

Kaalukaussidel tasakaalustatakse kaks ühesugust teeklaasi, milles on ühepalju vett. Ühte klaasi juhitakse kõrval keevast kolvist aur. Mõne aja pärast eemaldatakse aurutoru ja pannakse teise klaasi pipetiga niipalju keeva vett, et kaalud uuesti tasakaalustuksid. Demonstratsioonitermomeeter näitab, et temperatuur klaasides ei ole võrdne. Järelikult annavad võrdsed kogused auru ja keeva vett veele erineval hulgal soojust. Sellest katsest kvantitatiivseid järeldusi teha ei maksa, sest «aurukuivatita» see katse eriti häid tulemusi ei anna.

Seoses auru kondenseerimisprotsessiga on kasulik õpilastele näidata, et veeaur on värvitu. Valge pilv, mida me tavaliselt keeva teekannu toru juures näeme, koosneb väikestest veetilgakestest, mis tekivad auru kondenseerumisel. Seda saab näidata, kui asetame demonstratsioonitermomeetri otsa esiteks teekannu toru vahetusse lähedusse väljapoole pilve ja hiljem valge pilve sisse. Esimesel juhul algab termomeetril kondenseerumine, millega kaasneb kondensatsioonisoojuse vabanemine. Seetõttu näitab termomeeter järsku temperatuuri tõusu. Teisel juhul, kui termomeetri ots on valges pilves, kondenseerumine puudub ning järsku temperatuuri tõusu ei ilmne.

LABORATOORSED TÖÖD

Teema «Soojusnähtused» õppimisel on programmis ette nähtud neli laboratoorset tööd:

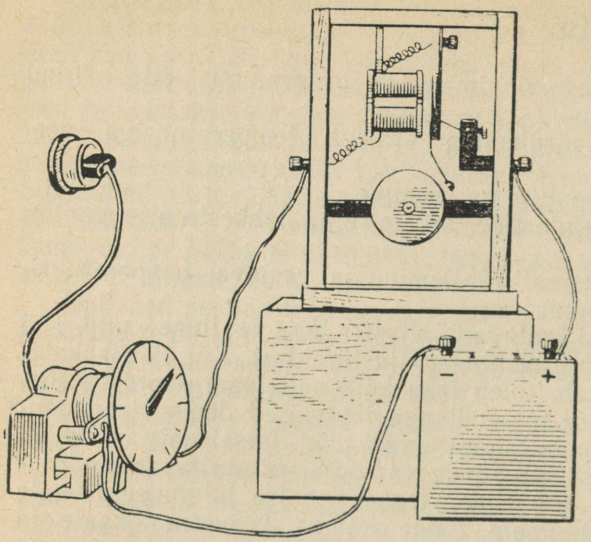
1. Soojushulkade võrdlemine erineva temperatuuriga veekoguste segamisel.
2. Tahke keha erisoojuse määramine.
3. Naftaliini soojendamise, sulamise ja tahkestumise vaatlemine.
4. Vee keemisprotsessi vaatlemine ja vastava temperatuurigraafiku konstrueerimine.

Laboratoorsed tööd äratavad õpilastes huvi vaatluse vastu. Töö käigus õpitakse tegema ka lihtsamaid järeldusi. Kui füüsikakabineti sisustus võimaldab, tuleb teha kõik neli laboratoorset tööd, sest ükskõik missuguse metoodikaga läbiviidud demonstratsioonkatsed ei suuda asendada laboratoorset tööd. Iseseisvalt mõõtmisi, arvutusi ja graafikuid tehes süvenevad õpilased uuritavasse nähtusesse palju paremini kui demonstratsioonkatse jälgimisel. Peale selle õpitakse laboratoorsete tööde käigus kasutama kaale ja mensuure.

Selleks, et teha kõik nimetatud laboratoorsed tööd, peab olema küllaldaselt termomeetreid, mensuure, kaale koos vihtidega ja soojusallikaid. Nimetatud vahendid kuuluvad füüsikakabineti põhiliste vahendite hulka ja katseriistade komplekteerimisel tuleb need muretseda esmajärjekorras. Katseriistu peaks komplekteerima nii, et vähemalt iga kahe õpilase kohta tuleb üks komplekt. Vastasel korral ei saa iga õpilane iseseisvalt tööst osa võtta. Termomeetrite valimisel tuleb meeles pidada, et naftaliini sulamise jälgimisel etendab olulist osa termomeetri soojusmahtuvus. Kui on võimalik valida, tuleb koolile muretseda elavhõbetermomeetreid, mille elavhõbeda mass on suhteliselt väike ja skaala ulatub 100 °C. Ei ole soovitatav osta piiritustermomeetreid, mille soojusmahtuvus on väga suur. Väikese reservuaariga elavhõbetermomeetreil on skaala jaotuskriipsude vahe võrdlemisi väike ja seepärast võib õpilastele välja jagada luubid (läätsed).

Kui elavhõbetermomeetreid saada ei ole, tuleb osta piiritustermomeetrid. Viimastel on hästi nähtav skaala, millelt võime kergesti lugeda näidu poolekraadise täpsusega. Piiritustermomeetreid võib kasutada kõikide tööde juures, välja arvatud naftaliini sulatamise töö esimene pool. Naftaliini jahtumise, tahkestumise ning edasise jahtumise vaatlemisel annab piiritustermomeeter täiesti rahuldavad tulemused.

Kõige sobivamaks soojusallikaks laboratoorse töö juures on piirituslamp. Kui koolis pole piirituslampe, võib kasutada ka kuivpiiritust. Laboratoorsed keeduplaadid võimsusega 200 W eriti hästi kogu klassile ei sobi, sest kõigi nende üheaegne võrkulülitamine võib võrgu üle koormata.



Joon. 17.

Laboratoorsetes töödes, kus jälgitakse naftaliini sulamist ja vee keemist, on tingimata tarvis ajamõõtjaid. Vaevalt õnnestub kõiki õpilasi varustada täpsete kellade või stopperitega. Tavaline metronoom selleks otstarbeks ei sobi, sest metronoomiga määratavad ajavahemikud on liiga lühikesed. Pikemate ajavahemike määramiseks võib valmistada ise sobiva seade. Selleks võib kasutada Warreni mootorit, mis teeb 2 pööret minutis. Mootori ühendame elektrikõlistiga vastavalt joonisele 17. Eelnimetatud seadme puudumisel kasutatakse kogu klassiga ühte stopperit või kella, millel on sekundiosuti. Õpilased annavad järjekorras (iga 5 minuti järel õpilased vahetuvad, sest muidu ei jõua nad oma tööd valmis) stopperi näidu põhjal helisignaali iga 30 sekundi tagant. Ülejäänud õpilased märgivad signaalide järel üles termomeetrite näidud.

Laboratoorne töö peab kestma täpselt nii kaua, kui selleks tegelikult aega kulub. Sageli arvab õpetaja, et töö peab kestma terve akadeemilise tunni. Seesugune väärarvamus näitab, et õpetaja pole tööd lõpuni läbi kaalunud, mille tulemusena ühel juhul võib tekkida aja ülejääk (õpetaja annab aja täiteks enne laboratoorse töö algust veel muid ülesandeid), teisel juhul aga jääb aeg napiks ja õpilased ei jõua tööd lõpetada. Vee keemise vaatlemiseks, näiteks, ei kulu tervet tundi juhul, kui õpetaja aja kokkuhoiu huvides jagab laiali eelnevalt 70—80 °C kuumutatud vee. Teinud järelduse, et lahtises nõus vee temperatuur keemisel ei muutu, jätkab õpetaja tunni teema selgitamist. Laboratoorseks tööks, kus tuleb määrata mingi aine erisoojus, aga ei piisa ühest tunnist, sest siin kulub palju aega ettevalmistustööle.

Õpilaste ettevalmistamine laboratoorseks tööks nõuab tõsist läbimõtlemist. Tihti piirdub õpetaja vaid sellega, et annab õpilastele tabeli, mis neil töö käigus tuleb täita. Sellise tööviisi korral on õpilaste aktiivsus väga väike. Nende tegevus piirdub ainult mõõtmise ja antud valemite järgi arvutamisega. Kuna soojusliku tasakaalu võrrandit programmis ei ole, siis sellest tulenev valem, mille järgi tehakse arvutusi, ei ole õpilastele arusaadav isegi juhul, kui töö kirjelduses on antud valemi tuletuskäik. Õpilased kasutavad valemit formaalselt. Erisoojust tuleb kaheksandas klassis arvutada aritmeetiliselt, tuginedes meid huvitavate füüsikaliste suuruste määramisele.

Selleks, et õpilased teadlikult teeksid kõiki mõõtmisi ja arvutusi, tuleb laboratoorsele tööle eelneval tunnil koos õpilastega koostada töö üksikasjalik plaan. Vaatamata võrdlemisi suurele ajanappusele kaheksanda klassi programmi läbivõtmisel, tuleb püüda laboratoorseid töid siiski tunnis ette valmistada, sest muidu teevad paljud õpilased neid formaalselt. Vestlus, mida õpetaja juhib klassis plaani koostamisel, aitab õpilastel eelnevalt kujundada erisoojuse mõistet.

Mõnikord nõutakse õpetajalt, et ta tööde aruannete põhjal hindaks alati kõiki õpilasi. Vaevalt on see otstarbekas. Eelkõige tehakse laboratoorset tööd ikkagi kollektiivselt, paremal juhul kahekesi. Selle tulemusena on ka tööprotokollid (aruanded) ühtemoodi. Sageli paneb õpetaja töö ajaks kokku istuma nõrga ja tugeva õpilase, et viimane nõrgemat abistaks. Õpetaja ei jõua alati kõiki ükshaaval abistada, sest ta peab tegelema kogu klassiga. Ühesuguste aruannete eest ei tohi aga erinevaid hindeid panna. Pealegi ei peegelda töö aruanne alati veel töö kvaliteeti. Näiteks otsitava suuruse arvuline väärtus võib olla küllalt lähedane tabelis antud väärtusele, kuid õpilane võib-olla ei täitnud korralikult kõiki nõudeid kaalumisel ja temperatuuri määramisel. Sel juhul võib täpne vastus osutuda hoopis kahe jämeda vea kompenseerumise tulemuseks.

Mõnikord soovitab õpetaja õpilastel pärast töö täitmist lahendada üks-kaks ülesannet ja lisada need aruandele, et hiljem välja panna üldine hinne. Niisuguse võttega ei saa nõustuda esiteks seepärast, et õpilased, soovides saada head hinnet, hakkavad laboratoorse töö tegemisel kiirustama ja eesmärk, mis selleks tunniks püstitati, jääb saavutamata. Teiseks ei ole laboratoorse töö tunnis tagatud ülesannete iseseisev lahendamine. Sellise aruande eest pandud hinne ei peegelda õpilase tegelikke teadmisi. Laboratoorse töö eest võib üksikutel juhtudel ka hinde panna, arvestades seejuures nii töö käiku kui ka vastuseid töö käigus esitatud küsimustele. Hinnata aga kõigi õpilaste laboratoorse töö täitmist on praktiliselt võimatu ja selle poole pole mõtet ka püüda. Vastasel korral ei suuda õpetaja abistada töö käigus neid õpilasi, kes seda tõepoolest vajaksid.

Laboratoorse töö eesmärk on teine. Õpilased peavad õppima töö käigus käsitsema mõõteriistu. Laboratoorset tööd võib hinnata ka järgmistes tundides. Näiteks võib vastama kutsutud õpilasel lasta kirjeldada või teha demonstratsioonlaual üksikuid etappe viimasest tööst. Samal ajal kontrollib õpetaja õpilase poolt laboratoorse töö tunnis tehtud märkmeid ja arvestab neid hindamisel. Seejuures ei tohi töö kirjeldust ja märkmeid üle hinnata. Ei ole tarvis, et õpilased loetleksid neis töövahendeid (tööjuhendis on need toodud eelkõige õpetaja jaoks), joonistaksid kaalusid jne. Kirja tuleb panna ainult tarvilik, näiteks keha mass, ühe keha poolt äraantud või juurdesaadud soojushulk jne.

Paljud õpetajad nõuavad, et õpilastel oleks tingimata laboratoorseteks töödeks eraldi vihik. Laboratoorne töö on praktiline ülesanne ja mitte alati ei saa tunni osa, kus õpilased töötavad mõõteriistadega iseseisvalt, lahutada tunni sellest osast, kus nad jälgivad õpetaja või vastaja poolt tehtavat katset. Seepärast ei ole eri vihiku nõue kohustuslik. Iga õpetaja lahendab selle küsimuse oma äranägemise järgi.

Kuidas õpilasi laboratoorseteks töödeks ette valmistada ja kuidas nendega konkreetse töö plaan koostada, seda käsitleme iga töö juures eraldi.

LABORATOORNE TÖÖ «SOOJUSHULKADE VÕRDLEMINE ERINEVA TEMPERATUURIGA VEEKOGUSTE SEGAMISEL»[1]

See on esimeseks tööks kalorimeetriga. Vaatamata töö lihtsusele, tuleb sellele pöörata tõsist tähelepanu. Siin saavad ju õpilased esimesed kogemused soojusõpetusega seotud laboratoorsete tööde tegemiseks. Nad kasutavad esmakordselt iseseisvalt termomeetrit, tutvuvad kalorimeetri ehituse ja kasutamisega. Peale selle aitab see töö kaasa energia jäävuse ja muundumise seaduse mõistmisele seoses soojuslike protsessidega. Soojusliku tasakaalu võrrandi koostamine ja lahendamine ei kuulu VIII klassi programmi, kuid soojusülekande protsessis ühe keha poolt antava ja teise poolt omandatava soojushulga võrdsust tuleb rakendada laboratoorses töös aine erisoojuse määramisel. Vaatamata sellele, et töö tulemus on kergesti ette aimatav, ei tohi sellest tööst loobuda. Pealegi võib seda tööd teha ka elavhõbetermomeetri puudumisel. Piiritustermomeetri kasutamisel saame samuti täiesti rahuldavad tulemused.

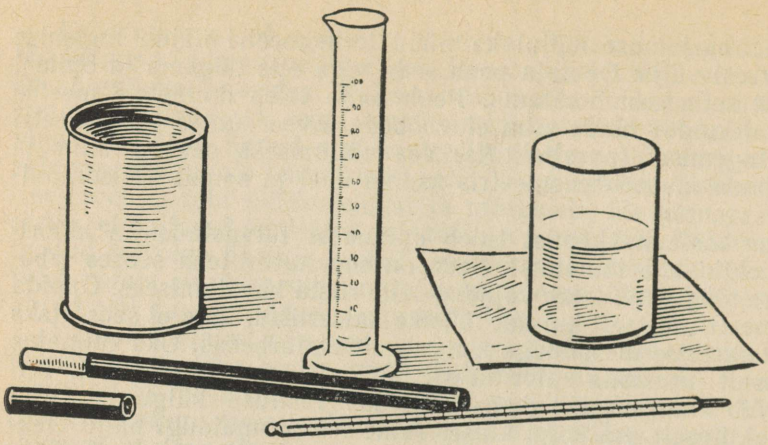
Enne kui asuda töö juurde, tuleb õpetada õpilasi õigesti mõõtma vee temperatuuri laboratooriumis kasutatava elavhõbetermomeetriga. Kuna igapäevases elus on õpilased puutunud kokku vaid meditsiinilise, s. o. maksimaaltermomeetriga, siis võta-

[1] Laboratoorsete tööde kirjeldused ja joonised on võetud raamatust В. А. Буров и др. Фронтальные лабораторные работы по физике. М., Учпедгиз, 1954.

vad nad harjumuse mõjul ka nüüd termomeetri näidu lugemise ajaks veest välja. Õpetaja peab seda viga ette nägema ja õpilasi pidevalt selle eest hoiatama. Peale selle tuleb õpilastele meelde tuletada, kuidas hoida silm elavhõbeda nivoo suhtes termomeetri näidu lugemisel (parallaktilise vea vältimiseks peavad silm ja elavhõbeda nivoo termomeetris asuma ühel ja samal horisontaalsirgel).

Enne tööle hakkamist tuleb õpilastele tutvustada ka kalorimeetri ehitust ja töötamist. Seda on soovitatav teha seoses laboratoorse tööga, mil tekib vajadus selle riista kasutamiseks. Õppida kalorimeetrit lihtsalt kui üht füüsika katseriista, ilma et seostataks seda konkreetse ülesandega, on vaevalt otstarbekas. Üks võimalus on lihtsalt jutustada kalorimeetri põhiliste osade ülesandest. Teiseks võib kalorimeetri «konstrueerida» vestluse käigus, millest võtab aktiivselt osa kogu klass. Teine tee on muidugi palju efektiivsem, sest see arendab õpilaste tehnilist mõtlemisoskust. Seda võtet on kasulik rakendada veel teistegi katseriistade tutvustamisel, seepärast peatume sellel veidi pikemalt.

Kallanud kalorimeetri sisemisse nõusse sooja vett (välimist nõud esialgu ei näidata), esitatakse klassile küsimus: kuidas saaksime vähendada vees sisalduva energia kadu ümbritsevasse keskkonda. Enne kui hakkame arutama õpilaste ettepanekuid, selgitame, milliste protsesside tulemusena see energia ülekanne toimub, millised on soojuse levimise viisid. Vaadeldakse eraldi, kuidas vähendada energia kadu kiirguse, soojusjuhtivuse ja konvektsiooni korral. Et vähendada kiirgumisest tingitud kadusid, värvitakse nõu heledaks. Kuidas vähendada energia kadu, mis läheb üle lauale soojusjuhtivuse teel? Selleks asetatakse kalorimeetri sisemine nõu korgikesele või papist välja lõigatud jalgadele. Lõpuks näidatakse ka tööstuslikult valmistatud sisemise nõu tugesid. Jääb üle vaadelda veel konvektsioonist tingitud kadusid. Tuletatakse veel kord meelde, kuidas kulges konvektsioon. Õpilased ilmselt ütlevad, et sooja nõuga kokkupuutuv õhk võtab nõult energiat, soojeneb ja tõuseb üles. Sooja õhu asemel tuleb uus, külm õhk, mis omakorda soojeneb jne. Järelikult tuleb kuidagi tõkestada õhu liikumist. Kuidas seda teha? Meenutatakse akende kahekordseid raame ning jõutakse järeldusele, et on tarvis veel välimine kest või ümbris. Et kahe nõu seinte vahel puuduks õhu liikumine, peab õhuvahe olema hästi kitsas. Seejärel pannakse kalorimeeter tervikuna kokku ja näidatakse seda õpilastele. Katsed on näidanud, et sellisest õhuvahest piisab. Nüüd võime öelda, et kalorimeetris asuv keha annab ümbritsevale keskkonnale võrdlemisi vähe energiat ja saab seda ka ise väljastpoolt vähe juurde. Kui paigutada kalorimeetrisse kaks erinevate temperatuurideni kuumutatud keha, siis annab kuumem keha külmemale energiat seni, kuni nende temperatuurid võrdsustuvad. Soojushulk, mille kuumem keha ära annab, on võrdne soojushulgaga, mille külmem keha juurde saab.



Joon. 18.

Küsimusele, miks ei võeta arvesse kalorimeetri sisemise nõu soojendamiseks kulunud energiat, vastatakse, et selle soojushulga võib arvesse võtta, kuid mõningatel juhtudel seda ei tehta, sest see soojushulk on väga väike. Pärast sellist selgitust õpilased mõistavad, miks soojusvahetuse protsessi ajal ei tohi kalorimeetri sisemist nõu välimisest välja tõsta. Seda tuleb vestluse lõpetamisel tingimata rõhutada.

Tööstuslikult valmistatud kalorimeetrites asetseb vahetugi tihti selliselt, et sisemine ja välimine nõu on omavahel kokkupuutes. Õpilased mõistavad nüüd, miks seda tuleb igati vältida. Harilikult langevadki need vahetoed enne rivist välja kui kalorimeetrid ise. Sel juhul tuleb need asendada papist valmistatud korkide või tühjade tikutoosidega.

Laboratoorses töös võib vee massi määrata ruumala kaudu mensuuriga või siis kaaludega. Et esimest tööd mitte liiga raskeks muuta, on parem kasutada mensuure. Neid võib kasutada muidugi ainult külma vee ruumala määramiseks. Õpilasi tuleb selles osas eelnevalt hoiatada. Kuuma vett ei ole soovitav mensuuri kallata isegi siis, kui õpetaja arvates mensuur selle välja kannatab. Et tulla toime ilma kaaludeta, tuleb valmistada metallist väike anum mahuga 100—150 cm^3. Õpetaja liigub mööda klassi ja tõstab mõõtanumaga teekannust igasse kalorimeetrisse eelnevalt kuumutatud vett. Kuuma vee koguse teeb teatavaks õpetaja, külma vee ruumala määravad õpilased ise mensuuriga.

Töö läbiviimiseks on nõutavad järgmised vahendid.

Üldised riistad: teekann, mõõtanum, soojendi. Katseriistad iga laua jaoks: nõu (kolb või teeklaas) külma veega, mensuur, termomeeter, kalorimeeter (joon. 18).

Pärast seda kui õpilasele on tutvustatud termomeetri kasutamist ja kalorimeetri ehitust, tuleb koostada töö plaan. Arutletakse, millises järjekorras mõõtmised läbi viia. Õpilased peavad mõistma, et kui nad unustavad vee temperatuuri enne segamist mõõtmata, siis hiljem pole seda enam võimalik teha. Oluline on õpilastele meelde tuletada, et kuuma vee temperatuur tuleb mõõta vahetult enne veehulkade segamist.

Selle töö plaan pole keeruline, kuid tähtis on õpetada õpilasi aktiivselt arutlema töö üksikute etappide järgnevuse üle, sest muidu ei suuda nad keerukamate tööde juures iseseisvalt koostada töö plaani või võtta osa selle koostamisest. Passiivseks jäänud õpilaste tegevus piirdub vaid mõõtmistega ja õpetaja poolt antud tabeli täitmisega.

Plaani koostamisel esitatakse õpilastele küsimus, millised arvutused ja mõõtmised tuleb selleks teha, et saaks võrrelda kuuma vee poolt äraantud ja külma poolt juurdesaadud soojushulki. Kuna see küsimus vajab mõtlemist, võib anda õpilastele mõne minuti aega. Edaspidi (keerukamate tööde korral) võib töö läbiviimise plaani anda koduseks ülesandeks. Pärast plaani läbiarutamist kirjutab õpetaja selle tahvlile.

Et õpilastel ei kujuneks väärarvamust, nagu saaks mensuuriga vahetult mõõta massi, tuleb plaan kirjutada järgmiselt:

külma vee ruumala =
külma vee mass =
külma vee temperatuur =
kuuma vee ruumala =
kuuma vee mass =
kuuma vee temperatuur =
segu temperatuur =
kuum vesi jahtus ..... kraadi võrra
külm vesi soojenes ..... kraadi võrra
kuuma vee poolt antud soojushulk =
külma vee poolt saadud soojushulk =

Plaani võib arutada tunni algul, kuid parem on seda teha koos termomeetri ja kalorimeetri tutvustamisega laboratoorsele tööle eelneval tunnil. Laboratoorse töö lõpetamise ja kokkuvõtete tegemise järel tuleb aga jätkata jooksvat tööd.

Kui töö põhjal selgus, et kuum vesi kaotas rohkem soojust kui külm seda juurde sai, siis on see täiesti seletatav soojushulgaga, mis kulus kalorimeetri sisemise nõu soojendamiseks. Kui ilmneb, et külm vesi sai soojust enam kui seda kaotas kuum vesi, tuleb õpilaste tähelepanu juhtida järgmisele asjaolule. Nimelt termomeetri kasutamisel arvestame me ainult terveid kraade, kuid elavhõbeda nivoo võib asuda ka all- või ülalpool kriipsukest, mis vastab täiskraadile. Et vältida selliseid ebasoovitavaid vastuseid, tuleb õpetada õpilasi saadud vastust ümardama nii, et säiliks vaid kaks esimest tüvenumbrit.

LABORATOORNE TÖÖ «TAHKE KEHA ERISOOJUSE MÄÄRAMINE»

Selle töö tegemiseks on tarvis järgmisi vahendeid.

Töövahendid kogu klassile: teekann või mõni teine nõu kalorimeetriliste kehade soojendamiseks, konks või pintsetid kuumade kehade veest väljavõtmiseks, soojendi.

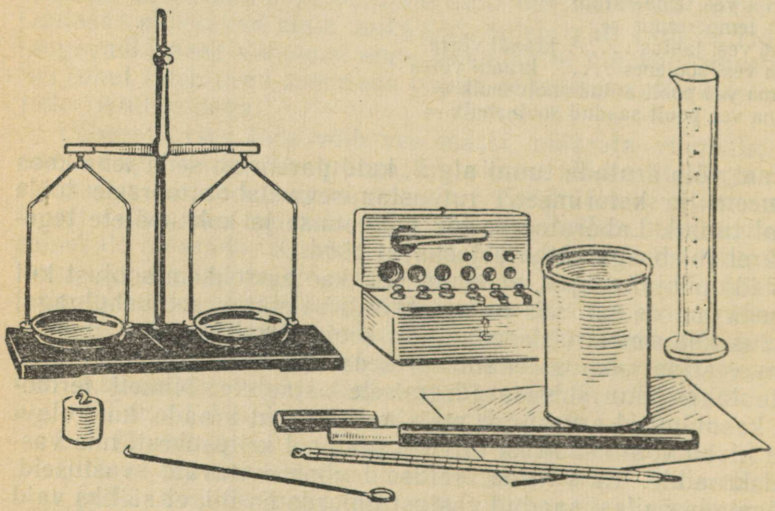
Töövahendid õpilaste laudadele: kaalud, kaaluvihid, termomeeter, mensuur, kalorimeeter, kuivatuspaber veest võetud kehade kuivatamiseks (joon. 19).

Kuna antud töö nõuab küllalt keeruliste arvutuste tegemist, siis töö üksikute etappide meelespidamiseks ja mensuuriga mõõtmise harjutamiseks määratakse kaalumise teel ainult tahke keha mass. Vee mass määratakse ka selles töös mensuuriga (ruumala kaudu).

Kõik kalorimeetrilised kehad kuumutatakse ühises nõus. Et poleks vee temperatuuri mõõtmist, kuumutatakse seda keemiseni, mistõttu vees asuvate kalorimeetriliste kehade temperatuuri võime lugeda võrdseks vee temperatuuriga.

Eelmise laboratoorse töö käigus said õpilased teada, et kalorimeetris toimuva soojusvahetuse korral on kuuma keha poolt antud soojushulk võrdne soojushulgaga, mille saab juurde vesi. Neid teadmisi tuleb rakendada ka kõva keha erisoojuse määramisel.

Keha erisoojuse määramise töö on kasulik selles mõttes, et see kinnistab kaalumise ning mensuuri, termomeetri ja kalorimeetri kasutamise vilumusi. Ühtlasi annab käesolev töö kujutluse, kuidas



Joon. 19.

saadakse andmeid füüsikaliste suuruste tabelitesse. Kui tööks pole eelnevalt sisuliselt ette valmistatud, siis taandub see vaid mõõteriistade kasutamisvilumuste järjekordseks kinnistamiseks.

Vaatamata vähesele ajale, mis on ette nähtud teema «Soojusnähtused» õppimiseks, tuleb selleks tööks koos ettevalmistusega eraldada kaks tundi. See aeg kasutatakse ära vägagi produktiivselt. Et valmistada õpilasi ette selleks tööks, tuleb selle plaan tingimata koostada eelmises tunnis. Plaani koostamisel peab demonstratsioonilaual asuma üks komplekt neid katseriistu, mida järgmises tunnis kasutavad juba õpilased.

Esitades klassile küsimuse, millised katsed ja arvutused on vajalikud, et määrata erisoojust, tuleb ühtlasi teha kõik selleks, et töö eesmärki mõistaksid tingimata kõik õpilased. Nad peavad aru saama, et neil tuleb katseliselt määrata soojushulk, mis on vajalik ühe grammi antud aine temperatuuri tõstmiseks 1 °C võrra. Teisiti võib seda öelda ka nii: tuleb määrata soojushulk, mille eraldab 1 g seda ainet jahtudes 1 °C võrra. Mugavam ongi määrata aine erisoojust mitte aine kuumutamisel, vaid just selle jahtumisel. Meid huvitavast ainest keha jahutatakse kalorimeetris asuvas vees.

Koos õpilastega arutletakse, kuidas kuumutada keha ja kuidas saada teada keha temperatuuri. Jõutakse järeldusele, et kuumutades keha vahetult piirituslambil või keeduplaadil, ei õnnestu meil keha temperatuuri mõõta. Seepärast tulebki uuritava keha temperatuuri tõsta kuumas vees.

Püstitatakse küsimus, kuidas mõõta keha jahtumisel vabaneva soojushulga suurust. Õpilased taipavad kergesti, et vahetult seda soojushulka määrata ei saa, kuid see-eest võime kergesti arvutada soojushulga, mille vesi saab vette asetatud kuumalt kehalt. Me ei tee suurt viga, kui eeldame, et vesi saab kogu keha poolt antava soojushulga endale. Kuna kalorimeetri sisemise nõu mass ja materjali erisoojus on väike, siis jätame nõu soojendamiseks kulunud soojushulga arvestamata. Teades, kui palju soojust kaotas keha massiga m jahtumisel $(t_2 - t_1)$ kraadi võrra, võime arvutada ka iga grammi poolt antava soojushulga jahtumisel 1 °C võrra.

Plaan peab olema kooskõlas mõõtmiste ja arvutuste järjekorraga. Õpetaja kirjutab vestluse käigus plaani tahvlile ja õpilased sealt oma vihikutesse.

Vee ruumala kalorimeetris =
vee mass kalorimeetris =
vee algtemperatuur =
kuumutatud keha temperatuur =
üldine temperatuur pärast keha vettelaskmist =
keha mass =
vee poolt saadud soojushulk =
soojushulk, mille annab keha jahtumisel 1° võrra =
soojushulk, mille annab iga gramm ainet jahtumisel 1° võrra =

See plaan tuleb anda õpilastele koduseks ülesandeks, et nad selle veel kord hästi läbi mõtleksid. Õpilased peavad harjuma sellega, et laboratoorse töö tunniks tuleb ette valmistuda. Laboratoorse töö käigus ja järgmistes tundides tuleb kontrollida õpilaste teadlikkust töö üksikute etappide osas.

Õpilastega tuleb arutleda, kui palju vett kalorimeetritesse kallata. Kuigi me ei kasuta otseselt absoluutse ja suhtelise vee mõistet, tuleb siiski õpilasi suunata mõttele, kuidas vähendada suhtelist viga. Esitame õpilastele küsimuse, kas on ükskõik, kui palju vett me kalorimeetrisse kallame. Samaaegselt juhime nende tähelepanu sellele, et temperatuuri mõõtmisel me võime eksida 0,5° või isegi terve kraadi võrra. Kui vesi on soojenenud vähe, muutub see viga küllalt oluliseks. Seepärast tuleb hoolitseda selle eest, et vee temperatuur tõuseks võimalikult palju. Arutletakse edasi: kas võtta vett vähe või palju? Vett tuleb võtta võimalikult vähe. Kui suur see minimaalne hulk siiski peaks olema? On nõutav, et kalorimeetriline keha asuks kindlasti üleni vees. Selle tingimuse rahuldab harilikult 120—150 cm^3 vett. Kui vett on sellest kogusest vähem, ei tohi me enam jätta arvestamata kalorimeetri sisemise nõu soojendamiseks kulunud soojushulka. Kuid sellest juba ei pruugi õpilastele rääkida.

Enne laboratoorset tööd tuleb õpilasi hoiatada, et nad ei paneks kaalukausile märga keha. See tuleb enne kaalumist kuivatada filter- või kuivatuspaberiga. Kui aega jätkub, oleks soovitatav lahendada kogu klassiga ülesanne, mis sisult mõnevõrra sarnaneks laboratoorse tööga. Õpilased oskavad soojushulki mõõta kalorites ja džaulides. Taolise ülesande lahendamisel SI-süsteemis tulevad arvutused küllalt keerulised ja õpilaste tähelepanu keskendub peamiselt aritmeetilistele tehetele, mitte aga töö sisule. Seepärast on erisoojust parem mõõta ühikuga $\frac{cal}{g \cdot deg}$.

Näide. Määrates laboratoorse töö käigus alumiiniumi erisoojust, laskis õpilane kalorimeetrisse, milles oli 150 grammi 20-kraadist vett, 100-grammise 100 °C-ni kuumutatud alumiiniumitüki. Kalorimeetris oleva segu temperatuuriks jäi 30 °C. Kui suur oli õpilase poolt leitud erisoojuse arvuline väärtus?

Lahendus 1. Kui palju soojust sai vesi soojenedes 20 kraadist 30 kraadini?

$$1 \frac{cal}{g \cdot deg} \cdot 150\,g \cdot 10° = 1500\ cal$$

Selle soojushulga andis veele kuumutatud keha jahtumisel 100 kraadist 30 kraadini, s. o. 70 °C võrra.

2. Kui suure soojushulga andis alumiiniumitükk ära jahtudes ühe kraadi võrra?

$$Q = \frac{1500\,cal}{70°} = 21{,}4 \frac{cal}{deg}$$

3. Kui suure soojushulga andis ära iga gramm alumiiniumi jahtumisel 1° võrra?

$$c = \frac{21{,}4 \frac{\text{cal}}{\text{deg}}}{100\ \text{g}} = 0{,}21\ \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{deg}}$$

Muidugi ei jätku tunnis aega nende küsimuste üksikasjalikuks üleskirjutamiseks. Küsimused ainult formuleeritakse, lahendus aga kirjutatakse lühidalt üles.

Järgmise tunni alguses meenutatakse lühidalt töö käiku, kaalumise reegleid, termomeetri ning kalorimeetri kasutamist. On kasulik meelde tuletada, kus peab asuma kalorimeetri sisemine nõu soojusvahetusprotsessi ajal. Kui õpilased tulevad demonstratsioonilaua juurde kuuma keha järele, tuleb neil kaasa võtta kalorimeeter (kokkupandult) külma veega. Vee mass ja temperatuur olgu muidugi eelnevalt määratud.

Töö lõpetamisel tuleb teha tulemustest kokkuvõte, võrreldes samast materjalist kehade kohta saadud erisoojuse väärtusi omavahel. Need võib kirjutada ka tahvlile, jättes kõrvale need, mis tunduvad erinevad teistest ja on seletatavad mõõtmis- või arvutusvigadega. Õpilastele soovitatakse leida selle aine erisoojuse keskmine väärtus ja võrrelda seda enda leitud erisoojuse väärtusega. Harilikult püüavad õpilased oma tööd hinnata ja võrdlevad saadud väärtusi tabeleis antutega. Neile tuleb selgitada, et mitte alati pole meil tegemist puhtast ainest valmistatud kehadega ja seepärast on taoline tulemuse hindamine muidugi ligikaudne.

LABORATOORNE TÖÖ «NAFTALIINI SOOJENDAMISE, SULAMISE JA TAHKESTUMISE VAATLEMINE»

Seda laboratoorset tööd teevad paljud füüsikaõpetajad võrdlemisi vastumeelselt, sest tihti ei õnnestu vaatlustingimuste ignoreerimise tõttu vaadelda temperatuuri muutumatust sulamisel ja tahkestumisel. Sellisel juhul kaotab töö muidugi mõtte, ta muutub isegi kahjulikuks.

V. Burovi jt. raamatus «Frontaalsed laboratoorsed tööd 8-klassilises koolis»[1] analüüsitakse üksikasjalikult põhjusi, mille tõttu tegelikkuses saadud graafik erineb ideaalsest.

Kui peame kinni allpool kirjeldatud nõuetest, võime saada siiski täiesti rahuldavaid tulemusi, mistõttu ei tohiks sellest tööst loobuda. Töö käigus veenduvad õpilased, et kristallilise keha sulamisel ja tahkestumisel püsib temperatuur muutumatuna. Samuti õpivad nad saadud andmete põhjal konstrueerima graafikut ja seda lahti mõtestama. Pärast iseseisvat graafiku ehitamist muutub

[1] В. А. Буров и др. Фронтальные лабораторные работы по физике в восьмилетней школе. М., «Просвещение», 1969.

õpikus esitatud ideaalne graafik neile vähem abstraktseks. Reaalse ja ideaalse graafiku vastandamisel tekib õpilastel esimene ettekujutus sellest, et reaalsed protsessid erinevad neist ideaalsetest skeemidest, millest arusaadavatel põhjustel alustataksegi füüsika õppimist. Vanemates klassides võib õpetaja toetuda nendele ettekujutustele.

Katse edukaks läbiviimiseks on küllalt oluline osa termomeetri soojusmahtuvusel. Nimelt jääb termomeetri mistahes soojusmahtuvuse korral tema näit maha temperatuuri tõelisest väärtusest: kuumutamisel näitab termomeeter veidi vähem naftaliini tegelikust temperatuurist, tahkestumisel aga veidi rohkem. Erinevus on seda märgatavam, mida suurem on termomeetri soojusmahtuvus. Kasutades suure soojusmahtuvusega termomeetrit, näiteks piiritustermomeetrit, võib graafiku horisontaalne osa sulamisel jääda nii lühikeseks, et õpilased seda ei märkagi.

Juhul, kui õpetajal ei ole kasutada laboratoorset elavhõbetermomeetrit, võib piirduda temperatuuri jälgimisega vedela naftaliini jahtumisel ning vastava graafiku ehitamisega. Kuna graafiku horisontaalteljel võime valida mastaabi kaks kord suurema kui vertikaalteljel, tuleb graafik küllaltki ilmekas. Sellise katsekorralduse juures näitab õpetaja temperatuuri muutumist naftaliini kuumutamisel kogu klassile elektritermomeetriga; töö teise poole aga laseb teha klassil iseseisvalt.

Nende tulemuste saamiseks tuleb võtta nii palju naftaliini, et see kataks kogu termomeetri reservuaari; rohkem ei ole soovitatav võtta. Naftaliini ei kuumutata vahetult piirituslambi leegil, vaid kolvis või klaasis kuumutatava vee vahendusel. Mida rohkem vett võetakse, seda enam läheneb katse tulemuste põhjal esitatud graafik ideaalsele, mis tavaliselt esitatakse sulamise ja tahkestumise õppimisel. Kuna töö peab tunni lõpuks valmis saama, tuleb võtta vett just nii palju, et sulamine ja tahkestumine ei vältaks üle 8—10 minuti. Termomeeter asugu sulatatava naftaliini keskel, kusjuures ta ei tohi puudutada katseklaasi seinu ega põhja. Katseklaas omakorda ei tohi olla kontaktis veenõu põhjaga, mida otseselt kuumutatakse. Et naftaliini temperatuur oleks kõikjal ühesugune, segatakse naftaliini ettevaatlikult termomeetriga. Töö kiirendamiseks tuleb õpilastele jaotada eelnevalt 50—60 °C soojendatud vett ja alustada vaatlusi alates 60 °C. Kuumutamine lõpetatakse, kui naftaliini temperatuur on tõusnud 85—90 °C. Vaatlused võib lõpetada temperatuuri langemisel 70 °C. Termomeetri näit märgitakse üles iga 0,5 minuti järel, vastasel juhul võib temperatuuri muutumatus naftaliini sulamisel jääda märkamatuks (tavaliselt see väga ilmekalt esile ei tulegi). Selleks et lõpetada töö kiiremini, võib pärast kuumutamise lõpetamist katseklaasi naftaliiniga veest välja võtta. Kuna märja katseklaasi jahtumine on liiga intensiivne, tuleb katseklaas filter- või kuivatuspaberiga kiiresti kuivatada.

Ei tule oodata, et õpilased täheldaksid temperatuuri muutuma-

tust sulamise algusest kuni viimase tükikese täieliku sulamiseni. Tõenäoliselt kujuneb pilt umbes järgmiseks: kuni naftaliini temperatuur on veel tunduvalt madalam sulamispunktist, tõuseb see 0,5 minutiga 2 °C; sulamispunkti lähedal muutub temperatuur 0,5 minutiga juba vähem — 1,5; 1; 0,5 °C. Lõpuks võib kahel järjestikusel mõõtmisel olla termomeetri näit ühesugune, pärast seda hakkab aga temperatuur jälle tõusma.

Sulamise graafiku horisontaalne osa kujuneb väga lühikeseks. See ei tohi õpetajat üllatada. Õpilased saavad graafikult siiski jälgida temperatuuri muutumise iseloomu sulamispunkti vahetus läheduses. Naftaliini jahtumisel ja tahkestumisel saadakse veelgi iseloomulikum graafik.

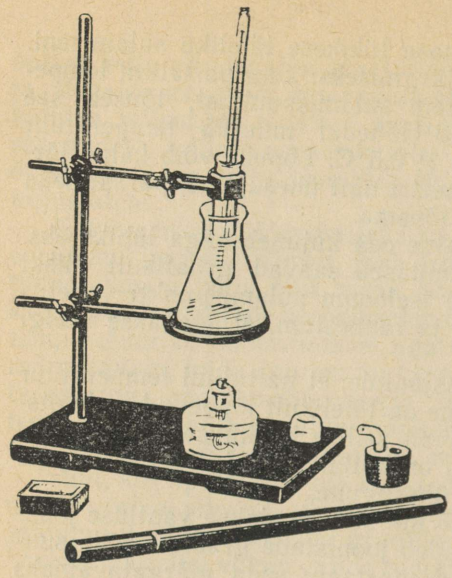
Juhtida õpilaste tähelepanu asjaolule, et naftaliini temperatuur hakkab tõusma enne, kui sulamine on täielikult lõppenud, pole otstarbekas. Kui õpilased ise esitavad sellise küsimuse, tuleb selgitada, et naftaliini soojusjuhtivus on küllalt halb ja seepärast pole naftaliini temperatuur kõikjal ühesugune.

Kui kogu katse kestab 14—15 minutit, saadakse vaatluse jooksul ligi 30 punkti, mille põhjal tuleb joonistada graafik. Mida suurem on horisontaalteljel valitud mastaap, seda märgatavamaks kujuneb graafiku horisontaalne lõik. Kuna õpilased joonistavad graafiku tõenäoliselt vihikulehele, tuleks horisontaalteljel valida üks ruut võrdseks 0,5 minutiga, vertikaalteljel aga vastaks ühele ruudule 1 °C. Graafik tuleb iseloomulikuma kujuga, kui joonistame ta välja üle kahe lehe. Sel juhul vastaks horisontaalteljel 0,5 minutile 2 ruutu.

Tahkestumise graafikul on horisontaalne osa tõenäoliselt 2—2,5 °C ülalpool kui sulamisgraafikul. Et õpilased sellest vale järeldust ei teeks, nagu ei ühtiks kristallilise aine sulamis- ja tahkestumistemperatuur, tuleb neile meenutada, et termomeeter on reaalne füüsikaline keha, mis näitab iseenese temperatuuri. Selleks, et termomeetri temperatuur saaks võrdseks temaga kokkupuutuva keha temperatuuriga, kulub teatud aeg. See aeg on seda pikem, mida suurem on termomeetri soojusmahtuvus (viimane sõltub omakorda termomeetri massist ja tema sees asuva vedeliku erisoojusest). Nimetatud põhjusel ei jõudnudki termomeeter kuumutamisel soojeneda naftaliini temperatuurini, jahtumisel aga ei jõudnud veel selleni jahtuda. Taoline vestlus on vajalik selleks, et õpilased ei arvaks, nagu erineks kristallilise aine sulamistemperatuur tahkestumistemperatuurist. Ühtlasi on kasulik juhtida õpilaste tähelepanu muutustele, mida põhjustavad mõõdetava suuruse arvulises väärtuses mõõteriistad. (Vanemates klassides tuleb seda juba arvestada.)

Töö läbiviimiseks on vajalikud järgmised üldised vahendid: soojendi ja elektriline ajamõõtja, mis annab iga 0,5 minuti järel helisignaali.

Iga õpilase laual peavad olema statiiv muhvi, näpitsa ja rõn-



Joon. 20.

gaga, piirituslamp, kolb, katseklaas naftaliiniga, termomeeter, tikud (joon. 20).

Katseklaasid naftaliiniga tuleb varem tööks valmis seada. Enne nende laialijagamist sulatatakse naftaliinisse termomeetrid. Selleks lastakse katseklaasid korraks suurde keeva vee nõusse. Et termomeetrid nõutud sügavusse vajuks ja sulamise algul kohe katseklaasi põhja ei langeks (see võiks mõjutada tulemust, sest siis näitab termomeeter juba ligikaudu vee temperatuuri), tuleb termomeetri otsa asetada kummirõngast piiraja. Kui rõnga läbimõõt ei ole küllaldane, võib kahe kummirõnga vahele suruda veel papist rõnga.

Et termomeetri ülemine pool (üle 50 °C) katseklaasist välja ulatuks, tuleb valida lühemad katseklaasid. Vastasel juhul sadestub naftaliiniaur termomeetri seintele ja segab vaatlust.

TEEMA «AINE AGREGAATOLEKUTE MUUTUMINE» NÄIDISJAOTUS TUNDIDE KAUPA (9 tundi)

1. tund. Aine agregaatolekud. Kristalliliste kehade sulamine ja tahkestumine.
2. tund. Laboratoorne töö «Naftaliini sulamise vaatlemine».
3. tund. Sulamine ja tahkestumine aine ehituse molekulaarteooria seisukohalt.
4. tund. Sulamis- ja kristalliseerumissoojus.
5. tund. Ülesanded soojushulga leidmisele koos sulamissoojuse arvestamisega.
6. tund. Aurumine ja kondenseerumine. Soojuse neeldumine aurumisel.
7. tund. Keemine. Aurustumis- ja kondenseerumissoojus.
8. tund. Ülesanded soojushulga leidmisele koos aurustumissoojuse arvestamisega.
9. tund. Kokkuvõte antud teema kohta.

III peatükk. SOOJUSMASINAD

ÜLDISED MÄRKUSED

Teema «Soojusmasinad» õppimisel vaadeldakse praktilisi võimalusi, kuidas muuta kütuse põlemisel vabanev energia mehhaaniliseks energiaks.

Õpikus tutvustatakse kõigepealt soojusmasinate üldist töötamispõhimõtet. Selline küsimuse käsitlemine on uudne ja väärib tähelepanu. Õpilased peavad mõistma, et töö tegemiseks tuleb töötavale kehale (selleks on aur või kütuse põlemisel tekkiv gaas) anda energiat, s. t. teda tuleb kuumutada kõrge temperatuurini. Paisumisel teeb töötav keha tööd, tema siseenergia väheneb ja temperatuur langeb. Sellest, et iga masin suudab mehhaaniliseks energiaks muuta ainult osa kütuse põlemisel vabanevast energiast, võib rääkida õpilastele juba sissejuhatavas vestluses. Soojusmasinate kasuteguri arvuliste väärtustega aga tutvustatakse neid hiljem üksikute konkreetsete masinatüüpide vaatlemisel.

Antud teema õppimisel omandatud konkreetsed teadmised laiendavad eelkõige õpilaste polütehnilist silmaringi, ühtlasi on siin sobiv üksikute jõumasinate, nende kasutegurite ja kasutusalade põhjal tutvustada ka energeetika küsimusi.

Selles peatükis vaadeldakse sisepõlemismootorite ja auruturbiinide tööprintsiipe. Üksikasjalikumalt käsitletakse sisepõlemismootoreid, sest neid kasutatakse laialdaselt igapäevases elus. Turbiinide puhul piirdutakse üldise ülevaatega ja kasutusalade nimetamisega.

Õpilased peavad teadma, milliseid mootoreid kasutatakse autodel, autobussidel, traktoritel, mootorratastel, paatidel, jalgratastel, helikopteritel jne. Kuigi nad pole tuttavad elektriga ega tunne elektrigeneraatori töötamispõhimõtet, võib neile siiski rääkida veeja auruturbiinide kasutamisest elektrijaamades. Elektrijaama tutvustamine avardab õpilaste silmaringi soojusmasinate kasutamise seisukohalt. Muidugi mõista tuleb elektri õppimisel seda küsimust käsitleda põhjalikumalt.

SISEPÕLEMISMOOTORID

Kõigepealt tuleb õpetajal õpilastele selgitada, et bensiini kiirel põlemisel väikeses ruumalas tekivad kuumad gaasid, mis avaldavad ümbritsevatele seintele suurt rõhku. Kui põlemine toimub silindris, mis on ühest otsast suletud liikuva kolviga, panevad gaasid kolvi liikuma, kusjuures kolvi liikumine antakse väntmehhanismi vahendusel edasi võllile.

Selle teema jaoks esimese katse valikul tuleb silmas pidada, et sisepõlemismootori mudeli lõiget, mis on olemas igas füüsikakabi-

netis, kasutatakse edaspidi. Ka tabelist üksi ei piisa, sest kõik õpilased ei suuda hästi ette kujutada, et tegemist on ruumilise seadmega. Rääkides, et gaasid võivad panna liikuma kolvi, tuleb õpilastele kõigepealt näidata silindrit, mitte aga selle lõiget. Silindriks võib olla kasvõi suurem mensuur, milles varda otsas liigub papist kolb. Et sellise mudeli juurest minna silindri lõike juurde, peaks kolb olema teatud paksusega. Metallsilindrist ja -kolvist saavad õpilased ettekujutuse, kui neile näidata gaaside elastsuse demonstreerimise riista. Kolvi liikumise edasiandmist võllile saab näidata sisepõlemismootori lõike mudeli põhjal, pöörates tähelepanu vaid silindrile, kolvile ja väntmehhanismile. Kepsu ja väntvõlli ülesannet on õpikus käsitletud võrdlemisi lühidalt ja põhjalikumalt pole selle tundmist vaja nõudagi. Oluline on vaid see, et õpilased mõistaksid, kuidas kolvi edasi-tagasi-liikumine muudetakse auto või mõne muu sõiduki rataste pöörlevaks liikumiseks. Kepsu ja väntvõlli töö demonstreerimiseks tuleb need liikuma panna, surudes käega tingimata kolvile. Sageli tehakse see viga, et pööratakse hoopis hooratast, kuigi räägime liikumise edasiandmisest just kolvilt võllile.

Edasi selgitatakse õpilastele vestluse käigus, et kolbmootori pidevaks töötamiseks on vaja anda silindrisse kütust sellisena, et ta saaks kiiresti põleda, süüdata see ja pärast paisunud gaaside tööd vabastada ruum uuele kütusele.

Kõigepealt tuleb tingimata selgitada, kuidas kütus silindrisse antakse ja miks esimest takti nimetatakse imemistaktiks. Võttes kolviga klaastoru, mida VII klassis kasutasime atmosfäärirõhu demonstreerimiseks, meenutame, miks vesi tõusis kolvi järel. Pärast seda mõistavad õpilased, et küttesegu imetakse silindrisse atmosfäärirõhu mõjul.

Seejärel kerkib küsimus, kuidas küttesegu süüdata. Kui õpilased pole näinud elektrisädeme tekitamist, võib neile demonstreerida elektrofoormasinat või sädeinduktorit. Juhul kui küttesegu täidetud ruumi läbib säde, toimub otsekohe kiire põlemine kogu ruumala ulatuses. Sellist põlemist nimetatakse plahvatuseks. Et saada silindris sädet, viiakse sinna kaks juhet, millede vahele jäetakse väike vahe. Juhtmed ühendatakse vastava elektriseadmega.

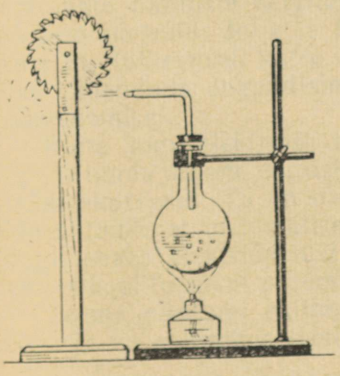
Jaotusmehhanismi tööd ja klappide avanemist ning sulgumist õpikus ei vaadelda, mistõttu õpilased ei pea seda teadma, kuigi mudelil võib nende töötamist näidata, sest automaatseadmetega tutvumine aitab kaasa õpilaste tehnilise mõtlemise arenemisele. Õpilasi tuleb tutvustada ka sisepõlemismootori kasuteguri arvuliste väärtustega ja selle mootoriliigi rakendusaladega. Autode karburaatormootorite kasutegur on umbes 25%, nendest täiuslikumatel traktorimootoritel (diiselmootoritel) on see 28—32%. Õpilasi huvitab arvatavasti ka lennukitele paigutatud turboreaktiivmootorite kasutegur, mis on tavaliselt vaid 15—20%. Nimetatud mootori kasutamine on tingitud peamiselt vajadusest suurte kiiruste järele.

AURUTURBIIN

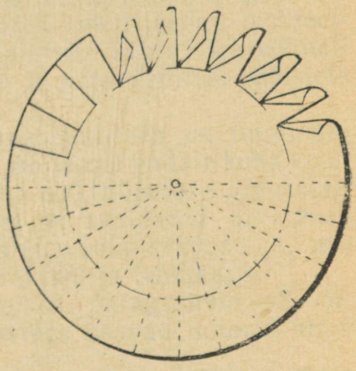
Kui sisepõlemismootori õppimisel selgitatakse õpilastele lühidalt selle ehitust, siis auruturbiini käsitlemisel jutustatakse peamiselt tema kasutusaladest ning piirdutakse vaid töötamispõhimõtte tutvustamisega.

Sisepõlemismootoris kasutatakse kütuse põlemisel tekkivate gaaside potentsiaalset energiat. Püstitame küsimuse, kas mehhaanilise töö saamiseks on võimalik kasutada ka auru või gaasi kineetilist energiat. Teeme kindlaks, et selleks on tarvis tekitada auru juga, s. t. aurule tuleb anda võimalus väljuda nõust, milles ta asub. Aurujoa kineetilise energia ülekandumist pöörlemisteljega kettale võib õpilastele näidata joonisel 21 toodud katseseadme abil Sellise ketta võib hõlpsasti valmistada õhukesest alumiiniumplekist joonise 22 järgi. Seejuures tuleb tingimata jälgida, et telg läbiks ketta raskuskeset. Kuigi füüsikakabinetis on auruturbiini töötav mudel olemas, on seda lihtsat seadet õpilastele kasulik näidata, sest siin ei sega turbiini töötamise jälgimist mingid lisadetailid. Ühtlasi tuleks õpilastele rääkida, et ühe ja sama võimsuse korral võtab turbiin tunduvalt vähem ruumi kui mõni teine masin; turbiini valmistamiseks kulub ka vähem metalli. Pealegi ei ole auru tootmiseks tarvis eriti kvaliteetset kütust. Kõik see määrab auruturbiinide kasutusalad.

Veidi ette rutates võib selle teema lõpus õpilaste tähelepanu juhtida sellele, millist osa etendavad auruturbiinid tänapäeva energeetikas. Neid teadmisi ei anta muidugi mitte selleks, et neid järgmises tunnis kontrollida. Elektrigeneraatori töötava mudeli abil (ilma selle ehitust tutvustamata) võib näidata, et lampide süttimiseks tuleb generaatori võlli pöörata. Kuna elektrigeneraatorid annavad hulgaliselt elektrienergiat, on nende võllide pöörlema-



Joon. 21.



Joon. 22.

panemiseks vaja rakendada võimsaid jõumasinaid, mille pöörete arv minutis on väga suur. Elektrijaamades kasutatakse selleks hüdro- või auruturbiine. Antud küsimuse juurde tullakse tagasi elektrienergia tootmise käsitlemisel.

Kui õpilastel tekib küsimus, kas turbiine kasutatakse ka transpordis, võib neile seletada, et auruturbiine kasutatakse suurtel laevadel, kuid mitte otseselt nende liikumapanemiseks, vaid elektrienergia tootmiseks. Elekter paneb laeva vees liikuma täpselt samuti, nagu kuival maal liiguvad elektri jõul tramm, trollibuss, elektrirong jne.

Et anda õpilastele ettekujutust kaasaegsetest auruturbiinidest, võiks neile näidata epidiaskoobiga vastavaid pilte mõnest raamatust. Õpilastele pakub kindlasti huvi, et tänapäeva kõige võimsamates turbiinides ulatub auru rõhk 240 atmosfäärini ja temperatuur 560 °C. Sellise turbiini pikkus on 40 meetrit (parema ettekujutuse saamiseks võib seda pikkust võrrelda klassi pikkusega), tema võll teeb 3000 $\frac{p}{min}$ ja kasutegur ulatub 39%.

TEEMA «SOOJUSMASINAD» NÄIDISJAOTUS TUNDIDE KAUPA (3 tundi)

1. tund. Gaasi ja auru paisumistöö. Sisepõlemismootor.
2. tund. Sisepõlemismootor (järg) ja selle kasutamine.
3. tund. Auruturbiin. Soojusmasinate kasutegurid.

ELEKTER

IV peatükk. AATOMI EHITUS

ÜLDISED MÄRKUSED

Uue programmi poolt püstitatud ülesanne — tõsta teooria osatähtsust füüsika õpetamise esimesel astmel — kajastub elektriõpetuse esimese teema «Aatomi ehitus» sisus ja struktuuris.

Selleks et seletada kehade elektriseerimist, elektrijuhtide ja isolaatorite olemasolu, elektrivoolu metallides ja elektrolüütides ning tervet rida teisi küsimusi, on vaja teadmisi elektronidest ja aatomi ehitusest. Neid teadmisi omakorda saab aga anda ainult mõningate katseliste faktide najal: kehade elektriseerimine kokkupuutel, kaht liiki laengute olemasolu kindlaksmääramine, nende laengute vastastikune mõju jt. Pealegi tuleb juba teema käsitlemise algul kasutada mitmesuguseid katseriistu (elektroskoopi, elektromeetrit), selleks on aga tingimata vaja selgitada nende ehitust ja töötamise põhimõtet.

Seetõttu on esimeses teemas kehade elektriseerimise küsimused esitatud tihedas seoses mõistetega elektronidest ja aatomi ehitusest. Algul vaadeldakse mõningaid lihtsaid katselisi fakte, milleta oleks võimatu sisse tuua vajalikke mõisteid. Seejärel antakse kujutlus elektronidest ja aatomi ehitusest, pärast seda aga esitatakse teoreetilised andmed, mida kasutatakse juba vaadeldud, aga ka alles õpitavate nähtuste selgitamisel. Õpikus on kirjeldatud põhiliste katsete skeemid: Joffe ja Millikani katsed elektrilaengu diskreetsuse ja Rutherfordi katse α-osakeste hajuvuse kohta. See võimaldab vähendada dogmatismi elektronide ja aatomiehituse mõistete sissetoomisel.

Kuna kogu elektriosa teadlikuks omandamiseks on tingimata tarvis tunda aatomi ehitust, kindlustas see teema endale koha kooli füüsikakursuses. Ta on paigutatud kohe elektriõpetuse algusesse. Meenutame, et metoodilises kirjanduses on avaldatud arvamust, nagu peaks elektriõpetust alustama alalisvoolu seadustega, mis aitaks koolifüüsikat paremini siduda praktika ja tehnikaga.[1]

Teema «Aatomi ehitus» hõlmab õpikus paragrahvid 48—57. Neis ja ka enamikus teistes paragrahvides peavad autorid kinni

[1] Vt. sellest diskussioonist: А. В. Перышкин и др. Методика преподавания физики в восьмилетней школе. М., Изд-во АПН РСФСР, 1963, стр. 220.

järgmisest materjali esitusviisist: algul on antud lühike teoreetiline või loogiline sissejuhatus — püstitatakse probleem, seejärel kirjeldatakse katset ja tehakse sellest järeldus.

ELEKTRILAENG

Elektrilaeng on elektriõpetuse üks põhimõisteid. On teada, et elektrilaeng kui elektromagnetilise välja allikas on seotud mateeriaga. Tuntud on fakt kahte liiki — positiivsete ja negatiivsete laengute olemasolust ja seaduspärasus nende vastastikusest mõjust. Laengu suurus on elektrihulga mõõduks. Elektrilaeng on diskreetne, s. t. eksisteerib minimaalne elementaarlaeng, kusjuures kõikide kehade elektrilaengud on selle elementaarlaengu kordsed. Makroskoopilise keha laeng on võrdne selle keha koostisse kuuluvate osakeste (tavaliselt elektronide ja prootonite) negatiivsete ja positiivsete laengute algebralise summaga. Kehtib elektrihulga jäävuse seadus, mis seisneb selles, et mistahes elektriliselt isoleeritud süsteemi laengute algebraline summa jääb muutumatuks. Teema «Aatomi ehitus» käsitlemisel on vaja kujundada elektrilaengu mõiste ja anda õpilastele sellest kaasaegne kujutlus.

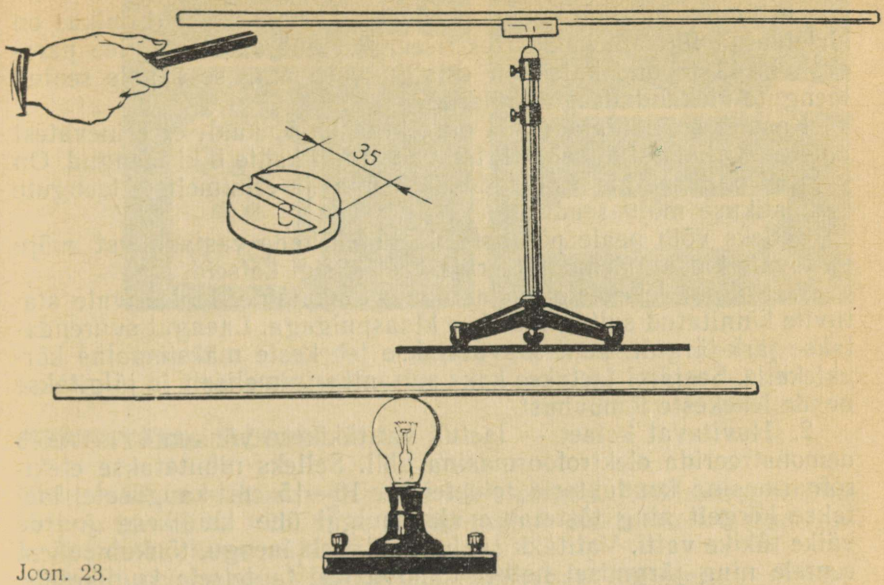
Vastav materjal on toodud õpikus. Seal näidatakse, et elektrilaeng on elektrivälja (elektromagnetilise välja erijuht) allikaks. Näidatakse katseliselt kahte liiki elektrilaengute tekkimist makroskoopilistel kehadel ning seletatakse seda elektroniteooria abil. Õpikus kirjeldatakse Joffe ja Millikani katseid, rõhutatakse elektrilaengute diskreetsust ning näidatakse, et laengud on seotud seisumassi omavate materiaalsete laengukandjate — elektronide ja prootonitega.

Õpikus ei ole elektrihulga jäävuse seadust sõnastatud, kuid seal on materjal, mille põhjal võib teha mõningaid järeldusi elektrihulga jäävuse kohta. Õpiku 42. paragrahvis on detailselt selgitatud kehade elektriseerimist kokkupuutel. Seal rõhutatakse, et kehade laengud on pärast puudet suuruselt võrdsed ja märgilt vastupidised seepärast, et elektriseerimist tingib elektronide üleminek ühelt kehalt teisele.

Elektrilaengu käsitlemise metoodika on välja kujunenud paljude aastate jooksul. Selle teema katsete kohta võib leida arvukalt üksikasjalikke kirjeldusi[1].

Teemat alustatakse lühikese ajaloolise ülevaatusega elektrilaengu avastamisest (Thales Mileetosest) ja selle edasisest uurimisest (Gilbert XVI saj., Richmann ja Lomonossov XVIII saj.).

[1] А. В. Перышкин и др. Методика преподавания физики в восьмилетней школе. М., Изд-во АПН РСФСР, 1963; Н. М. Шахмаев, С. Я. Каменский. Демонстрационные опыты по электричеству. М., Учпедгиз, 1963; В. А. Буров и др. Демонстрационные опыты по электричеству, ч. II, М., «Просвещение», 1967.



Joon. 23.

Jutustust illustreeritakse mõningate kehade elektriseerimisega. Käesoleval ajal on palju materjale, millega vastavad katsed hästi õnnestuvad: pleksiklaas, kapron, plastmassid. Katsetes, kus nimetatakse klaasi, on parem kasutada orgaanilist klaasi (pleksiklaasi). Sobiv on näidata elektrijõudude mõju kergetele kehadele — sultani paberiribadele, väikestele paberitükikestele. Et muuta katse ilmekamaks, võib lõigata paberist välja inimeste kujukesed ning kleepida nende jalgade külge traaditükikesed või panna nööpnõelad. Lähendades nüüd lamavatele «inimestele» laetud keha, tõusevad need laual püsti.

Tuleb katseliselt näidata, et elektrijõud mõjuvad ka suhteliselt rasketele kehadele: veejoale, puuliistule, meeterjoonlauale (joon. 23) või veetoru tükile (pikkus 1—1,5 m ja läbimõõt 20—30 mm). Viimase katse puhul tuleb toru keskkohta puurida auk ja asetada ta siis isoleeriva statiivi teravikule, kus ta saab vabalt pöörelda.

Õpilastele tuleb näidata, et kahe keha kokkupuutel elektriseeruvad mõlemad kehad. Küllaltki lihtne katse, mis seda võimaldab näidata, on kujutatud õpikus (vt. õpiku joon. 40). Pleksiklaasist varrast hõõrutakse vastu tasast kummiplaati, mille mõõtmed on 15×25 cm. Kumm on hea isolaator, laeng temalt käe kaudu maasse ei lähe ning väikesed paberitükikesed tõmbuvad, «liibuvad» kummiplaadi külge.

Kahte liiki elektrilaengute olemasolu demonstreeritakse tavaliselt kahe hülsi abil, mis algul laetakse samanimeliselt, seejärel

aga erinimeliselt. See katse on kasulik ja vajalik, kuid õpikus on kirjeldatud lihtsam katse elektriseeritud pulgakestega. See paragrahvis 43 toodud katse on esialgu veenvam, sest pole seotud laengute ülekandmisega (hülsile).

Kasulik on näidata (seda on tehtud ka õpikus), et erinevatest ainetest valmistatud kehadel tekivad ainult kahte liiki laengud. On vaja, et õpilased hästi omandaksid sama- ja erinimeliste laengute vastastikuse mõju seaduse.

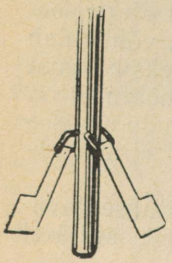
Selleks võib peale põhiliste, laetud kehade vastastikust mõju näitavate katsete demonstreerida veel teisigi katseid.

1. Sultani lehekeste vastastikune tõukumine. Isoleerivale statiivile kinnitatud sultan laetakse klaaspulgaga. Laengut suurendatakse järk-järgult, kuni saavutatakse lehekeste maksimaalne kõrvalekalle. Seejärel laetakse kaks sultanit erinimeliselt ja jälgitakse nende lehekeste tõmbumist.

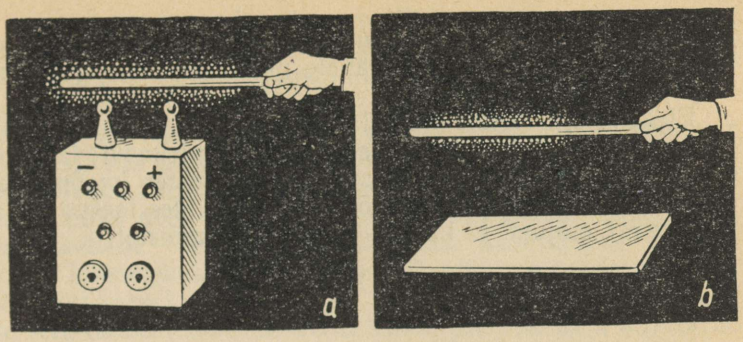
2. Huvitavat katset — laetud vatitükikese võnkumist — võib demonstreerida elektrofoormasina abil. Selleks nihutatakse elektrofoormasina konduktorid teineteisest 10—15 cm kaugusele, laetakse kergelt ning tõstetakse klaaspulgal ühe kuulikese juurde väike tükike vatti. Vatitükk saab kuulikeselt laengu, tõukub sellest eemale ning järgmisel hetkel tõmmatakse ta teisele kuulikesele. Seal laadub ta vastupidiselt ning tõmmatakse uuesti esimesele kuulikesele jne.

3. Isoleeriva statiivi külge kinnitatud metallkera laetakse elektrofoormasina abil. Ülalt puistatakse kerale peeneks lõigatud paberitükikesi. Puutudes kokku keraga ja saades temalt samanimelise laengu, paberitükikesed tõukuvad kerast eemale kõikides suundades (kera alla tuleb laotada suur paberileht).

Enne elektroskoobiga tutvumist demonstreeritakse samanimeliselt laetud kehade tõukumist. Selleks võib algul kasutada kahte hülssi (korrata katset, mida laengute märgi mõiste andmisel juba demonstreeriti), seejärel näidatakse aga kahe õhukese metall-lehe tõukumist. Selles katses on sobiv õhukesi metall-lehti kasutada seepärast, et nendega õnnestuvad katsed paremini kui paberiga. Metall-lehed riputatakse üles selliselt, nagu on näidatud joonisel 24. Seejärel demonstreeritakse elektroskoopi ja selgitatakse selle ehitust. (Kui elektroskoop on valmistatud paberiribakestest, on otstarbekas asendada need metall-lehekestega.)



Joon. 24.



Joon. 25.

ELEKTRIVÄLJA MÕISTE

Elektriväli on elektromagnetilise välja erijuht. Elektromagnetiline väli on niisugune väli, mille kaudu toimub elektriliselt laetud osakeste vastastikune mõju.

Meie arvates on VIII klassis enneaegne defineerida elektrivälja kui mateeria erivormi. Selline määrang nõuaks selgitust ja tõestust, mille vastuvõtmiseks puudub õpilastel küllaldane ettevalmistus.

Kuid samas ei tohi me unustada, et juba füüsika õppimise esimesel astmel tuleb õpilasi ette valmistada ka vanemate klasside programmi kuuluvate mõistete — mateeria ja selle esinemisvormide (aine ja väli) paremaks omandamiseks. Selleks on vaja näidata, et elektriväli eksisteerib. Kuigi inimene oma meeleorganite abil pole võimeline elektrivälja tajuma, võib ta välja olemasolu üle otsustada selle mitmesuguste ilmingute põhjal. Teiste sõnadega, õpilastele näidatakse, et väli eksisteerib objektiivselt, ta on objektiivne reaalsus.

Õpikus on üksikasjalikult vaadeldud elektrivälja avaldumist ning sellel põhineb ka selle mõiste definitsioon — välja mõju laetud kehale.

Huvipakkuv on katse elektroodideta toruga. Toru liikumisel elektriväljas hakkavad torus olevad gaasid helenduma. Selles katses kasutatakse elektrivälja tekitajana kas kõrgepingealaldit või elektriseeritud orgaanilisest klaasist plaati (joon. 25). Võrdluseks tuleb enne näidata, et elektriseerimata plaadi kohal liikudes toru ei hakka helenduma.[1]

Kui tunnis jätkub aega, võib õpilastele näidata, et metallesemed pakuvad kaitset elektrivälja mõju eest. Selleks viiakse hülsi

[1] Н. М. Шахмаев, С. Е. Каменецкий Демонстрационные опыты по электричеству. М., Учпедгиз, 1963, стр. 58.

juurde laetud keha, ja veendunud, et hülss kaldub kõrvale, asetatakse hülsi ja laetud keha vahele metall-leht. Selgub, et elektrivälja mõju hülsile lakkab.

Elektrivälja mõiste kinnistamiseks tuleks õpetajal seda mõistet järgneva materjali selgitamisel sagedamini kasutada. Soovitatav on, et sama mõistet kasutaksid oma vastustes ka õpilased. Kuid samuti on täiesti lubatav, et õpilased, rääkides laetud kehade vastastikusest mõjust, ei kasuta elektrivälja mõistet.

ELEKTRONI MÕISTE

VIII klassi elektriõpetuses on elektroni mõiste kasutuselevõtmine üks tähtsamaid ülesandeid. Sellel mõistel baseerub põhiliste elektrinähtuste selgitamine. Elektroni mõisteta pole võimalik õpetada aatomi ehitust, elektriseerimist, ioonide tekkimist, elektrivoolu. Selle mõiste kasutuselevõtmisega algab teadmiste kujundamine elementaarosakestest. Esimesena neist on hea vaadelda just elektroni kui stabiilset elementaarosakest, mille laeng on võetud negatiivse elektrihulga ühikuks. Seda mõistet kinnistatakse ja laiendatakse edaspidi terve elektriõpetuse ulatuses.

Kuid elektroni mõiste kasutuselevõtmisega tekib mitmeid metoodilisi raskusi. Tema laengu ja massi määramise meetodid on keerulised ja nende selgitamist ei võimalda õpilaste eelteadmised.

Et esitada materjali õpilastele arusaadavalt, on õpikus algul vaadeldud katseid, mille põhjal tehakse järeldus elektrilaengute jagatavuse kohta. Seejärel esitatakse lihtsustatud kujul Joffe ja Millikani katse skeem. Skeemi lihtsustamisel on silmas peetud asjaolu, et õpilastele on tundmatud sellised mõisted nagu pinge, homogeenne väli jt.

Katse on programmi võetud tutvustavalt, õpilaste küsitlemist sellel teemal ei nõuta, vaja on vaid sellest tunnis jutustada. Küsitluse käigus on soovitatav korrata vaid katse tulemusi ja järeldusi, s. t. tilga laengu hüppelise muutumise kindlaksmääramist ja katse sellise tulemuse selgitamist elektroni kui jagamatu laetud osakese olemasoluga.

Katse selgitamisel on kasulik tuua järgmine võrdlus, mis sõnastatakse õpilastele ülesande kujul: «Oletame, et te saite mõned karbikesed, milles on teraskuulikesed. Te ei tea kui palju üheski karbis kuulikesi on ja millised nad on. Kaalude abil te määrasite karbikeste massid 1 g täpsusega ning saite tulemusteks 25, 5, 15, 10 ja 20 g. Kas te võite saadud andmete põhjal teha järelduse kuulikeste masside kohta, jättes karbikeste massid kui tühiselt väikesed arvestamata?» Õpilased teevad järelduse, et kõikide kuulikeste massid on 5 g ning määravad kuulikeste arvu igas karbis.[1] Selline

[1] «Физика», пер. с англ., под ред. А. С. Ахматова. М., «Наука», 1965, стр. 613.

võrdlus on meie arvates huvitav seetõttu, et ta teatud määral peegeldab Joffe ja Millikani katse loogikat. Samuti aitab see mõista selliste füüsikaliste katsete spetsiifikat, mis viiakse läbi nähtamatute objektidega.

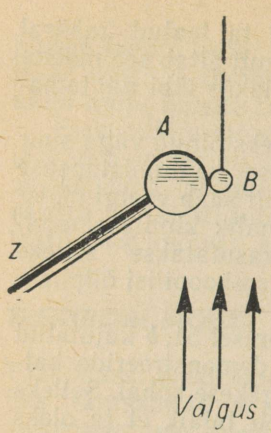
Õpilastele võib selgitada, et kui karpides oleks olnud väga suur hulk kuulikesi, siis oleks olnud võimatu sellise kaalumistäpsuse korral teha oletusi kuulikeste masside kohta. Siit saab veelgi mõistetavamaks, miks pole elektroni laengut võimalik kindlaks määrata suurte kehade laengute põhjal. Ikka kasutatakse selleks metallitolmu kübemekesi (Joffe katse) või mikroskoopilisi õlipiisakesi (Millikani katse).

Katse selgitamisel saab kasutada õpiku joonisel 51, *b* kujutatud skeemi. Selgituse käigus või enne seda võib demonstreerida katset — vatitüki hõljumine laetud plaadi või pulgakese kohal. Selleks tõmmatakse herneterasuurune vatitükk selliselt laiali, et ta oleks võimalikult suure pindalaga. Laadinud plaadi (või pulgakese), tõstetakse vatitükk selle juurde. Pärast seda kui vatt on tõmbunud plaadi külge ja saanud temalt laengu, raputatakse ta plaadi küljest lahti. Lähendades nüüd vatile plaadi altpoolt, näeme, et vatt jääb plaadi kohale hõljuma.

RUTHERFORDI KATSE. AATOMI PLANETAARNE MUDEL

Õpikus on esitatud Rutherfordi katse α-osakeste hajumise kohta. Uue programmi järgi õpetamine VII klassis on näidanud, et katse eesmärki, selle kirjeldust ja järeldusi katsest mõistavad õpilased hästi, see materjal on neile jõukohane. Arusaamist hõlbustab katse eel püstitatud ülesande selgitus. Selgelt formuleeritud katse eesmärk aitab palju kaasa katse ja sellest tehtavate järelduste selgitamisel, kuigi see ehk ei kajasta täpselt aatomi ehituse väljaselgitamise ajalugu.

Õpikus (§ 48) eelneb katsele lühike sissejuhatus, mida tuleb tunnis avardada. Kõigepealt jutustatakse õpilastele sellest, et enne katset püstitatakse ülesanne: selgitada, milline on aatomi ehitus, kas aine jaotub temas ühtlaselt või koosneb ta osakestest, on need osakesed neutraalsed või laetud. Et saada neile küsimustele vastust, tuleb jälgida, kuidas käituvad aatomi sisemuses teised osakesed, mis on suutelised sinna tungima. Katse jaoks võetakse kristallilisest ainest plaadike, milles aatomid (nagu teada) asetsevad korrapäraselt ja üksteisest kaugustel, mis on võrreldavad aatomi enda mõõtmetega. Kui nüüd läbi sellise plaadi lasta kiiresti liikuvaid laetud osakesi, võib nende osakeste liikumise iseloomu põhjal teha mõningaid järeldusi aatomi ehituse kohta. Kui aatomid kujutaksid endast läbinisti ühtlasi moodustisi, millesse osakesed ei ole võimelised tungima, siis hajuks osakeste voog mitmekordsete põrgete tõttu aatomitega. Kui aatomites on elektriväli,



Joon. 26.

siis peaks see avaldama mõju ka laetud osakeste trajektoorile. Sellises katse eesmärgi eelnevas selgituses ei tohi loomulikult sõnastada neid lõplikke tulemusi, mida katse abil loodetakse saada.

Seejärel tuleb rääkida katses kasutatavatest «mürskudest» — α-osakestest. Siin tuleb nimetada lühidalt põhjused, mis võimaldavad neid kasutada antud katses: kiiresti liikuvaid α-osakesi kiirgavate ainete olemasolu, osakeste väikesed mõõtmed (võrreldes aatomitega) ja elektrilaengu olemasolu neil. Klassis võib demonstreerida ka Rutherfordi katse mudelit. Selleks kinnitatakse metallkuulike *A* (elektrostaatika kogust) kaldu asetatud isoleeriva pulgakese *Z* külge (joon. 26) ning ühendatakse leideni purgi sisemise kattega. Leideni purk laetakse elektrofoormasina või kõrgepingealaldi abil. Kuulike *B*, mis on tehtud vatist ning mähitud õhukesse tinapaberisse, riputatakse siidniidi abil lakke või kõrge aluse külge. Kuulike *B* peab asetsema kuulikesega *A* samal kõrgusel ja laengu puudumisel viimast puudutama.

Kuulikese *A* laadimisel saab kuulike *B* temaga samanimelise laengu ning tõukub temast eemale, mistõttu teda hoidev niit kaldub teatud nurga võrra.

Edaspidi täidab kuulike *A* tuuma, kuulike *B* α-osakese ülesannet. Õpetaja viib isoleeriva pulgakese abil «α-osakese» eemale ja laseb ta seejärel lahti. Möödudes «tuumast», kaldub «α-osake» kõrvale. Muutes kaugust kuulikeste vahel, võib näidata mitmesuguseid kõrvalekaldumise juhte. Katse demonstreeritakse variprojektsioonis lakke.[1]

Suurt huvi pakub õpilastele Wilsoni kambris tehtud α-osakeste

[1] К. П. Яковлев. Лекционные демонстрации по физике. М., Физматгиз, 1959.

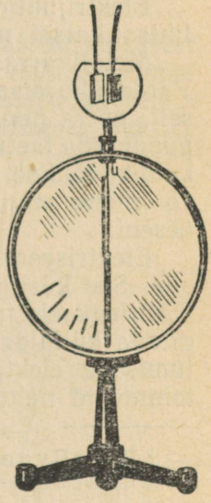
tuumast tõukumise foto vaatlemine. Seda fotot võib näidata Rutherfordi katse (õpiku joon. 169) selgitamisel.

Samuti soovitame kasutada õppefilme. Filmi «Aatomi ehitus» teine fragment võimaldab näidata Rutherfordi katset α-osakeste hajumisest. 1964. a. väljalastud filmis «Aatom ja aatomi tuum» on sellele küsimusele pühendatud kolmas fragment — «Rutherfordi katse».

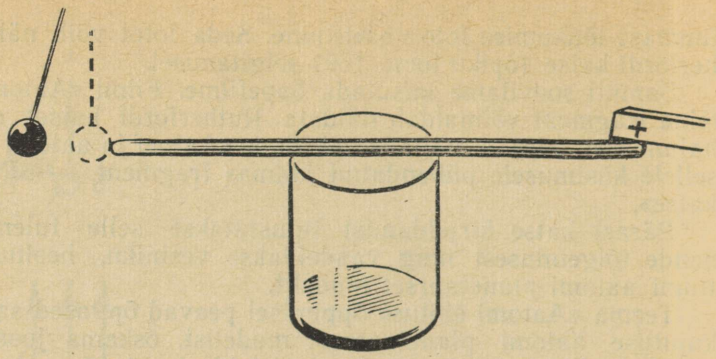
Pärast katse kirjeldamist jutustatakse selle tulemustest ja nende tõlgendusest ning vaadeldakse vesiniku, heeliumi ja liitiumi aatomi planetaarset mudelit.

Teema «Aatomi ehitus» õppimisel peavad õpilased saama ettekujutuse aatomi planetaarsest mudelist, oskama joonistada ja selgitada lihtsamate aatomite mudeleid ning teadma, kuidas tekivad negatiivsed ja positiivsed ioonid. Selle materjali kordamisel on tarvis anda enesekontrolliks vaid järgmised küsimused — nr. 5 (§ 48) ja nr. 1—5 (§ 49). Ei ole vaja hakata detailselt küsima Rutherfordi katse korraldust. Meie arvates on lubatavad vaid sellised põhimõttelised küsimused nagu: Kuidas näidati katses, et aatomi tuuma ja tema elektronide vahelised kaugused on suhteliselt suured? Miks põrkas Rutherfordi katses muist α-osakesi nende teele asetatud metall-lehelt tagasi? Miks oli selliseid osakeste hajumisi vähe?

Saadud teadmisi elektronidest ja aatomi ehitusest kasutatakse kehade elektriseerimise selgitamisel (õpikus § 50). Siin oleks soovitatav korrata mõningaid elektriseerimise katseid või näidata uusi — see tõstab alati õpilaste tähelepanu ja huvi tunnis. Samuti on vaja uuesti näidata, et kokkupuutel elektriseeruvad mõlemad



Joon. 27.



Joon. 28.

kehad, kuid seekord tuleb rõhutada, et nende kehade laengud on märgilt vastupidised ja suuruselt võrdsed. Katseks on tarvis kahte plaadikest (eboniidist ja pleksiklaasist) ning kerakonduktoriga elektromeetrit. Elektriseerinud plaadid teineteise vastu hõõrumise teel, viiakse üks plaadike elektromeetri õõnsa konduktori sisemusse. Veendume, et konduktor on elektriseeritud. Seejärel laeng maandatakse ning korratakse katset teise plaadikesega. Lõpuks viiakse mõlemad laetud plaadikesed laadimata elektromeetri konduktori sisemusse (joon. 27). Elektromeetril laengut ei teki — osuti jääb liikumatuks.[1]

Teadmiste varal aatomi ehitusest ja elektronidest selgitatakse veel laengu jagunemist laadimata ja laetud keha vahel nende kokkupuutumisel. Siin on vaja rõhutada, et nii negatiivse kui ka positiivse laengu ülekandmisel paiknevad ühelt kehalt teisele ainult elektronid.

Elektrijuhtide mõiste tarvituselevõtmisel võib demonstreerida lihtsat katset, mille juures ei ole vaja elektromeetrit.

Metallvarras asetatakse horisontaalselt isoleerivale alusele. Varda ühe otsa juurde riputatakse kerge kuulike või hülss selliselt, et ta puudutaks varrast (joon. 28). Kui varda teist otsa puudutada laetud kehaga, kandub laeng piki varrast kuulikesele ja kuulike tõukub vardast eemale. Asendades metallvarda klaaspulga või mõne muu isolaatoriga, veendume, et laeng ei jõua kuulikeseni.

Elektriseerimist mõju teel ei näe uus programm VIII klassis ette. See küsimus on jäetud välja mitmesugustel kaalutlustel. Käsitlemisele tuleb see alles X klassis, sest siis saab küsimust selgitada küllaldase põhjalikkusega ja siduda ka dielektrikute käitumisega elektriväljas. Selline kõrvutamine võimaldab juhtides toimuvaid nähtusi paremini mõista. Juhtide mõju teel elektrisee-

[1] В. А. Буров и др. Демонстрационный эксперимент по физике, ч. II. М., «Просвещение», 1968, стр. 24.

rimise selgitamine ei ole füüsika õppimise esimesel astmel kerge ülesanne. Pealegi on selle nähtuse tundmine vajalik peamiselt elektrivoolu selgitamiseks, selleks aga piisab teadmistest laetud osakeste ümberpaiknemise kohta elektriväljas, mis antakse õpikus § 51 (Elektrijuhid ja isolaatorid) ning teema «Elektrivool» (§ 52) algul.

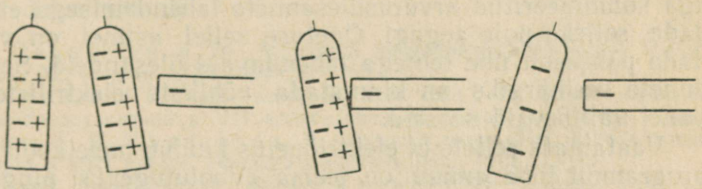
Õpilastele peab selgitama, miks elektriseerimata kehad (paberitükikesed, veejuga jne.) tõmbuvad elektriseeritud kehade külge.

Ei tohi lubada, et õpilastel tekiks vale ettekujutus, nagu mõjuksid elektriseerimata kehadele elektrijõud. See on vastuolus elektrivälja ja elektrijõudude definitsiooniga. On vaja näidata, et elektrijõud mõjuvad ainult elektriseeritud kehadele ning et kõik kehad, mille tõmbumist elektriseeritud pulgakese külge tunnis vaadeldi, kõigepealt elektriseeruvad ja seetõttu mõjuvadki neile elektrijõud.

Mõju teel elektriseerimist selgitame õpilastele mingi konkreetse keha (hülsi, stanniolilehekese, metalltorukese vms.) abil, lähendades sellele elektriseeritud pulga. Seejärel on vaja rõhutada, et see kehaosa, mis laadub mõjuva kehaga erinimeliselt, asetseb alati mõjuvale laengule lähemal kui see osa, mis laadub samanimeliselt (isegi siis, kui elektrivälja viiakse õhuke stanniolileheke). Seetõttu on tõmbejõud tõukejõust suurem ja hülss tõmbub pulga poole. Kui kehad seejuures kokku puutuvad, läheb osa pulga laengust üle hülsile ning kehad tõukuvad teineteisest eemale. Elektroniteooria paremaks mõistmiseks on soovitatav analüüsida selle protsessi kõiki etappe — elektriseerimist mõju teel, kehade tõmbumist, osa elektronide üleminekut ühelt kehalt teisele, tõukumist (joon. 29).

Et illustreerida elektronide ümberpaiknemist elektrivälja asetatud juhis, võib demonstreerida tuntud katset mõju teel laetava elektroskoobiga.

Seega peavad õpilased elektroniteooriast ja aatomi ehitusest saadud teadmiste põhjal oskama selgitada kehade elektriseerimist kokkupuutel, osa elektronide üleminekut laetud kehalt laadimata kehale, juhtide ja isolaatorite olemasolu ning laadimata juhtide tõmbumist laetud kehade poole.



Joon. 29.

TEEMA «AATOMI EHITUS» NÄIDISJAOTUS TUNDIDE KAUPA
(5 tundi)

1. tund. Kehade elektriseerimine kokkupuutel. Kahte liiki laengud. Laetud kehade vastastikune mõju.
2. tund. Elektroskoop. Elektrivälja mõiste.
3. tund. Elektrilaengu diskreetsus. Elektron.
4. tund. Rutherfordi katse skeem. Aatomi planetaarne mudel. Vesiniku, heeliumi ja liitiumi aatomite ehitus.
5. tund. Kehade elektriseerimise selgitamine. Juhid ja isolaatorid.

V peatükk. VOOLUTUGEVUS, PINGE JA TAKISTUS

ÜLDISED MÄRKUSED

Teema «Voolutugevus, pinge ja takistus» on põhiliseks teemaks elektriõpetuses. Selle õppimiseks nähakse programmi 45-st elektrile pühendatud tunnist ette 20 tundi.

Selle teema raames õpitakse mitmeid põhiküsimusi, nagu lihtsamad vooluringid, põhiliste elektrodünaamiliste suuruste (voolutugevus, pinge, takistus) mõiste kujundamine, funktsionaalse sõltuvuse määramine kolme nimetatud suuruse vahel, s. t. Ohmi seaduse tuletamine vooluringi osa kohta.

Siin tutvuvad õpilased elektrimõõteriistadega — amper- ja voltmeetriga — ning nende vooluringi lülitamise viisidega, õpivad tegema lihtsamaid arvutusi Ohmi seaduse põhjal.

Kogu antud teema käsitlemine põhineb eksperimendil — demonstratsioonkatsetel ja laboratoorsetel töödel. Programm näeb ette viis laboratoorset tööd: 1) vooluringi koostamine ja voolutugevuse mõõtmine selle mitmesugustes osades; 2) pinge mõõtmine vooluringi mitmesugustel osadel; 3) juhi takistuse määramine ampermeetri ja voltmeetri abil; 4) juhtide järjestikuse ühenduse uurimine; 5) juhtide paralleelse ühenduse uurimine.

Loetletud tööd peavad kujundama õpilastes küllaltki õigeid ja kindlaid harjumusi lihtsamate vooluringide koostamiseks ja voolu, pinge ning takistuse mõõtmiseks juhtides.

Õpik sisaldab küllaldase hulga näiteid ja harjutusi Ohmi seadusele ning vooluringi osa takistuse arvutamisele juhtide järjestikuse ja paralleelse ühenduse korral. Kuid arvutusülesannete, eriti aga kombineeritud arvutusülesannete lahendamisega ei tohi liialdada, selleks pole aegagi. Õpetuse sellel astmel on vaja lahendada põhiliselt ühe tehtega lahenduvaid ülesandeid. Selliste ülesannete eesmärgiks on kinnistada põhiliste elektriliste suuruste vahel valitsevaid seoseid.

Vaatamata sellele et elektriõpetus kuulub meie kooli keskastme programmi juba ammu, on teema «Voolutugevus, pinge ja takistus» käsitlemise metoodika alles täielikult välja töötamata. Seda

tõendab antud teema kohta käivate metoodiliste tööde suur hulk, mis on avaldatud ajakirjas «Fizika v škole» ja spetsiaalsetes metoodilistes brošüürides.

Vaadete erinevus meid huvitava teema käsitlemise metoodika suhtes ilmneb eelkõige mõistete *voolutugevus, pinge* ja *takistus* käsitlemise järjekorras. Seisukohti selles küsimuses on kolm: 1) voolutugevus, takistus, pinge; 2) pinge, voolutugevus, takistus; 3) voolutugevus, pinge, takistus.

Esimese variandi pooldajad leiavad, et igaüks neist kolmest suurusest — voolutugevus, pinge ja takistus — tuleb sisse tuua teistest sõltumatuna. Ohmi seadus väljendaks siis vooluringi iseloomustavate suuruste vahelist funktsionaalset sõltuvust ning sisaldaks sel juhul ainult üht väidet.

See metoodiline kontseptsioon kajastub A. Pjorõškini, B. Mintšenkovi jt. raamatus «Füüsika VIII klassile» ja A. Pjorõškini toimetatud raamatus «Füüsika õpetamise metoodika kaheksaklassilises koolis»[1].

Seda metoodikat soovitavad oma töödes ka A. Galejev ja J. Mintšenkov[2].

Peab märkima, et nimetatud variandi pooldajad kasutavad juhi takistuse mõiste sissetoomisel ikkagi Ohmi seadust, kuigi sellest ei räägita. Järelikult osutub kolme suuruse sõltumatus näiliseks.

Teise variandi puhul on kolmest vooluringi iseloomustavast suurusest kõige tähtsam ja määravam pinge. Pinget vaadeldakse kui elektrivälja energeetilist karakteristikut. Elektrivoolugi käsitletakse kui elektriliselt laetud osakeste liikumist juhis elektrivälja mõjul.

Selle variandi põhjendus on antud N. Šahmajevi poolt A. Pjorõškini toimetatud raamatus «Füüsika õpetamise metoodika kaheksaklassilises koolis».

Uues VIII klassi õpikus on teema «Voolutugevus, pinge, takistus» esitatud kolmanda variandi põhjal, nagu seda näeb ette uue programmi projekt. Sellele variandile tuginedes on koostatud ka antud teema käsitlemise metoodika[3].

Kolmas variant pole eelmistest sugugi parem, sest ka siin pole voolutugevust, pinget ja takistust võimalik defineerida sõltumata Ohmi seadusest. Kolmanda variandi valik õpikus on tingitud programmi projektist ja autorite isiklikust maitsest. Nii selles kui ka teistes variantides sisaldab Ohmi seadus väidet ja definitsiooni (takistuse definitsiooni).

---

[1] А. В. Перышкин и др. Методика преподавания физики в восьмилетней школе. М., Изд-но АПН РСФСР, 1963.

[2] М. С. Галеев. К изучению электрического тока и его законов на основе электронных представлений в VII классе средней школы. г. Казань, Казанский пед. ин-т; Е. Я. Минченков. К изучению темы «Ток, сопротивление и напряжение» в VIII классе. «Физика в школе» 1962, № 3.

[3] «Методика преподавания физики в восьмилетней школе» под ред. В. П. Орехова и А. В. Усовой. М., «Просвещение», 1965.

ELEKTRIVOOL

Vaevalt leidub meie maal enam sellist paika, kus kooliealised lapsed poleks kuulnud elektrist ja elektrivoolust. Nad teavad väga hästi, et ainult juhtmetes oleva voolu tõttu saab elektrilamp põleda, kui aga vool lakkab, siis lamp kustub. Kuid mida elektrivool endast kujutab, seda õpilased veel ei tea. Neid teadmisi peavad õpilased saama füüsika kursusest.

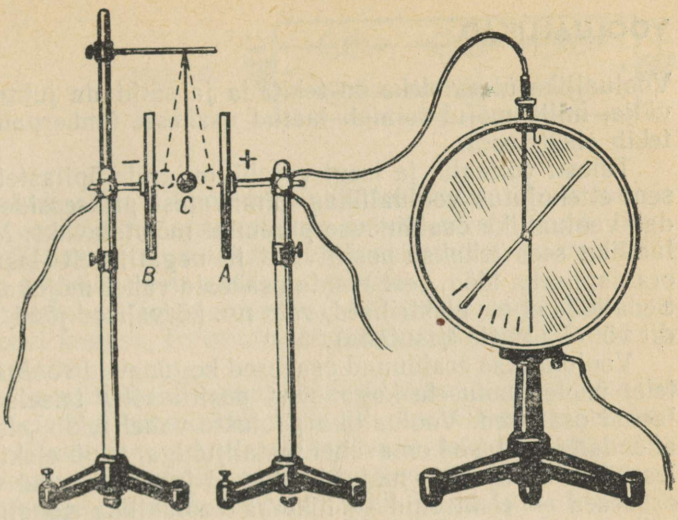
Eelkõige on vaja peatuda mõiste «vool» juures. Sõna «vool» tähendab millegi liikumist või voolamist.

Õpilased kujutavad endale hästi ette vee, gaasi või nafta voolamist torudes. Mis voolab aga juhtmeis siis, kui neis on elektrivool?

Elektrikursuse esimese teema käsitlemisel näidati, et metalljuhtides on vabu, oma aatomiga mitteseotud elektrone. Nende elektronide liikumisega selgitatakse kehade elektriseerimise mitmesuguseid nähtusi. Elektronid on väikseimad negatiivse laenguga aineosakesed. Nagu hiljem näeme, võivad elektrilaenguid omada ka suuremad aineosakesed — aatomid ja molekulid, mis samuti võivad muuta oma asukohta. Üldjuhul on seega juhtides võimalik mitmesuguste laetud osakeste ümberpaiknemine. Seejärel anname elektrivoolu definitsiooni. Elektrivooluks nimetatakse laetud osakeste suunatud liikumist. Suurema konkreetsuse saavutamiseks ongi elektrivoolu definitsioonis elektrilaengute suunatud liikumise asemel öeldud laetud osakeste suunatud liikumine (metalljuhtides — elektronide suunatud liikumine).

Mida on vaja elektrivoolu tekkimiseks juhis ja selle säilitamiseks meile vajaliku aja jooksul? Vastuse sellele küsimusele leiame katsete abil. Joonisel 30 on kujutatud isolaatorite külge kinnitatud kondensaatori plaadid A ja B. Plaadid laetakse isenimeliselt. Õpilased teavad juba, et nende plaatide vahel on elektriväli. Ühe plaadiga ühendatud elektromeeter või elektroskoop kinnitab laengu olemasolu plaadil ja järelikult ka elektrivälja olemasolu plaatide vahel.

Plaatide vahele asetatakse väike siidniidi külge riputatud metallkuulike või stanniooliga kaetud helmeke *C*. Kuulike tõmbub ühe plaadi, näiteks positiivselt laetud plaadi *A* külge. Kokkupuutel plaadiga annab kuulike sellele teatud hulga elektrone, laadub seetõttu ise positiivselt ning tõukub sellest plaadist eemale, nagu tõukuvad üksteisest kõik samanimeliselt laetud kehad. Tõukudes plaadist *A*, tõmbub kuulike vastu plaati *B*, millelt ta saab elektrone juurde ja laadub seetõttu negatiivselt. Tõukudes nüüd plaadilt *B* ja tõmbudes plaadile *A*, annab kuulike viimasele oma negatiivse laengu. Tulemuseks on plaatide absoluutsete laengute vähenemine ja elektrivälja nõrgenemine plaatide vahel. Elektromeetri osuti langeb veidi. Kuulike võngub plaatide vahel ja kannab laengut ühelt plaadilt teisele seni, kuni elektriväli plaatide vahel kaob. Seda



Joon. 30.

laengute kandumist ühelt plaadilt teisele võime vaadelda kui elektrivoolu.

Siin on vaja rõhutada kahte olulist momenti. Esiteks seda, et elektrivoolu, s. t. elektrilaengute liikumise põhjuseks on elektrivälja olemasolu plaatide *A* ja *B* vahel. Teiseks — elektrivoolu tõttu hakkab plaatidevaheline elektriväli nõrgenema ja võib täielikult kaduda, mille tagajärjel laengute liikumine lakkab. Et säilitada kuulikese liikumine plaatide vahel ettenähtud aja vältel, selleks tuleb alal hoida elektrivälja, plaate aeg-ajalt laadida või ühendada need elektrimasina poolustega.

Kogemused näitavad, et vaadeldud elektrivoolu mudel aitab õpilastel luua ettekujutust elektrivoolu mehhanismist.

Katsetulemuste üldistamise teel jõutakse järeldusele, et pideva elektrivoolu saamiseks on vaja säilitada juhis elektriväli. Praktikas kasutatakse elektrivälja tekitamiseks ja säilitamiseks erilisi seadmeid — vooluallikaid.

Nimetus *vooluallikas* ei väljenda päris täpselt voolu saamiseks mõeldud seadmete funktsiooni ja mõned metoodikud soovitavad nimetada neid hoopis voolu generaatoriteks või elektrivälja allikateks. Vaevalt on vaja loobuda kasutatavast terminist, küll peab aga andma talle õige sisu. Paljudel juhtudel kasutatakse füüsikas harjumuse mõjul väljendeid, mis on vasturääkivuses sõnade tegeliku mõttega. Õpikus püüdsid autorid ebaõigeid väljendeid vältida, kuid tõenäoliselt pole see neil alati õnnestunud.

VOOLUALLIKAD

Vooluallika ülesandeks on tekitada ja säilitada juhtmetes elektrivälja, mille mõjul toimub laetud osakeste ümberpaiknemine, s. t. tekib elektrivool.

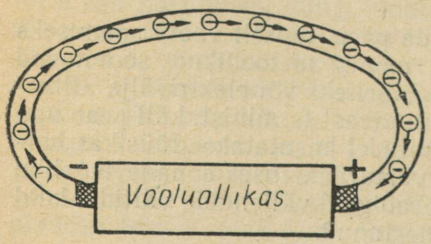
Täiesti võimalik ja isegi vajalik on anda õpilastele kõige üldisem ettekujutus vooluallikas toimuvatest protsessidest. See muudab vooluallika osatähtsuse paremini mõistetavaks. Mistahes vooluallika sees tehakse positiivselt ja negatiivselt laetud osakeste eraldamiseks tööd, sest nende osakeste vahel mõjuvad tõmbejõud. Seda tööd ei tee elektrilised, vaid nn. kõrvalised jõud (seda väljendit võib ka mitte kasutada).

Vooluallikas eraldunud osakesed kogunevad vooluallika poolustele: ühele poolusele kogunevad positiivselt, teisele negatiivselt laetud osakesed. Vooluallika pooluste vahel tekib elektriväli. Kui ühendada poolused omavahel metalljuhiga, tekib elektriväli ka selles juhis. Selle välja mõjul hakkavad juhis leiduvad vabad laetud osakesed — elektronid — liikuma vooluallika negatiivselt pooluselt positiivsele poolusele ja juhis tekib elektrivool.

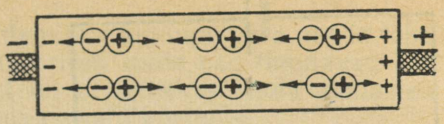
Toodud arutlust illustreerivad joonised 31 ja 32. Vooluallikas toimuva protsessi näitlikuks illustreerimiseks võib kasutada elektrofoormasinat. Elektrilaengute jagunemine ja kogunemine elektrofoormasina poolustele toimub ketaste pöörlemiseks tehtava töö arvel.

Elektrofoormasina pooluste külge lülitatakse niidi abil neoonlamp (MH-5). Mõnikord on vaja niiti niisutada soolalahusega. Masina ketaste pöörlemisel võib märgata neoonlambi pidevat helendumist.

Õpilaste tähelepanu tuleb juhtida sellele, et elektrofoormasinas muundatakse mehhaaniline energia elektrienergiaks. Termoelemendis muundatakse kahe metalljuhtme jootekoha soojendamisel sisenergia elektrienergiaks. Fotoelementides muundatakse elektrienergiaks valgusenergia. Termo- ja fotoelementi VIII klassis spetsiaalselt küll ei õpita, kuid rääkida neist ja näidata neid on vaja. Termo- ja fotoelemendi demonstreerimiseks koostatakse seade, mille joonis on toodud õpikus. Elektrivoolu indikaatorina kasutatakse nendes katsetes galvanomeetrit, millest ligemalt on



Joon. 31.

Joon. 32. 

juttu paragrahvis «Voolu toimed». Voolu tekkimise üle termo- ja fotoelemendi vooluringis otsustatakse galvanomeetri osuti liikumise põhjal. Õpilastele teatatakse, et fotoelemendid on vooluallikaiks ka Maa tehiskaaslaste raadiojaamadele.

Kõige sobivam on fotoelemendina kasutada pooljuhtfotoelementi V. Burovi kogust. Termoelemendi võib valmistada raud- ja konstantaantraadist.

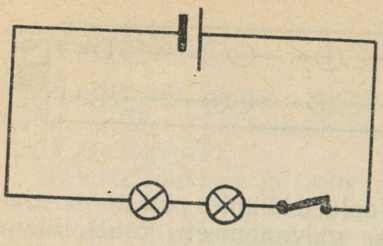
Üksikasjalikumalt, kuid keemiliste reaktsioonide analüüsita, on õpikus kirjeldatud galvaanielementide ja akumulaatorite ehitust. Nende vooluallikate demonstreerimiseks kasutatakse J. Gorjatškini elektrolüüsi kogust galvaanielementi, mis koosneb 10—15-protsendilisse väävelhappe lahusesse asetatud tsink- ja vaskplaadist. Selle elemendi töötamist võib kontrollida elektrilambi või elektrikõlisti abil. Õpilastele selgitatakse, et laetud osakesed jagunevad selles elemendis happe lahuse ja tsingi vastastikusel toimel, kusjuures väävelhappe ja tsingi hulk väheneb. Elemendis endas toimub keemilise energia muundumine elektrienergiaks.

Vastupidavam ja töö juures mugavam on kuiv galvaanielement. Selle ehitust on õpikus kirjeldatud, kuid depolarisaatori (MnO_2) ülesannet ei selgitata. Kuivelemendid võib ühendada patareiks. Sellest tuleb õpilastele rääkida ja katseliselt näidata, kuidas seda tehakse. Seejuures ei ole vaja tungida teooriasse.

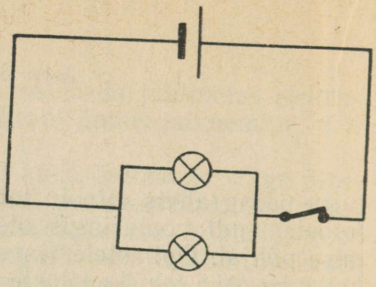
Akumulaatori töö põhimõtet näidatakse J. Gorjatškini elektrolüüsi riista abil. See riist kujutab endast kahte ühesugust pliiplaati, mis on asetatud 10-protsendilisse väävelhappe lahusesse. Ühendanud plaatide klemmidega madalpingelise (1,5 V) lambi, veendume, et lamp ei põle. Tähendab — koostatud akumulaator ei ole veel vooluallikaks. Teda on vaja laadida. Selleks ühendatakse plaatide klemmid 2—3 minutiks läbi reostaadi mingi alalisvooluallikaga, näiteks alaldiga. Vaadeldes elektroode pärast laadimist, näeme, et üks neist on värvunud pruuniks, teine helehalliks. Kui asetada nüüd elektroodid uuesti happe lahusesse ja ühendada lamp plaatide klemmidega, siis hakkab lamp põlema.

Seejärel demonstreeritakse õpilastele happe- ja leelisakumulaatoreid. Kui laboratoorsed tööd voolu kohta viiakse koolis läbi akumulaatoritega, siis tuleb kohe rääkida ka akude kasutamise reeglitest.

Autorite arvates peaksid õpilased pärast tutvumist paragrahviga «Vooluallikad» selgelt ette kujutama, et vooluallikas tekitab juhis elektrivälja, mille mõjul hakkavad juhis liikuma vabad laetud osakesed (metallides elektronid). Vooluallikaid on mitmesugu-



Joon. 33.



Joon. 34.

seid, kuid kõigis neis toimub mingisuguse energialiigi muundumine elektrienergiaks. Galvaanielemendis näiteks muundub elektrienergiaks keemiline energia.

VOOLURING JA SELLE OSAD

Tutvumist vooluringiga alustavad õpilased frontaalse katsega. Nad koostavad vooluringi kuivelementide patareist või akumulaatorist (vooluallikas), madalpingelisest lambist (voolu tarbija), ühendusjuhtmetest ja lülitist (seade vooluringi juhtimiseks). Kui lüliti on avatud, siis vooluring on katkestatud, voolu selles ei ole ning lamp ei põle. Et vooluringi läbiks vool, peab see olema suletud, s. t. koosnema ainult elektrijuhtidest. Klassitahvlile joonistatakse vooluringi skeem, mille õpilased joonistavad oma vihikusse. Mõningate seadmete tingmärgid on antud õpikus joonisel 63, nendega on vaja tutvuda. Ei ole aga tingimata vaja, et õpilased need kõik meelde jätaksid.

Juba siin võib anda ettekujutuse tarbijate ühendamisviisidest Õpilastele näidatakse, et sageli on ühes ja samas vooluringis mitu tarbijat, antud juhul näiteks kaks lampi. Millised võimalused on nende ühendamiseks? Neid võib ahelasse lülitada selliselt, et üks lamp vahetult järgneb teisele (joon. 33). Sellist ühendusviisi nimetatakse järjestikuseks. Kuid neid lampe võib ühendada vooluringi ka teisiti. Selleks on vaja vooluringi teha hargmik, mille kummassegi harusse lülitatakse üks lamp (joon. 34). Sellist ühendusviisi nimetatakse paralleelseks.

Koostanud kaks sellist vooluringi, märkavad õpilased kindlasti, et lambid põlevad neis erinevalt — ühes nõrgalt, teises normaalselt. Siin piirdutakse ainult vaatlusega, öeldes, et selle küsimuse juurde pöördume hiljem tagasi.

Vooluringi skeemide koostamise oskus ja ahela üksikute elementide nimetused saavad õpilastele selgeks järk-järgult. Õpetamise sellel etapil ei maksaks õpilaste teadmisi väga rangelt arvestada,

veelgi vähem neid hinnata. Hindamisele kuulugu vaid nende tähelepanelikkus, täpsus ja distsiplineeritus, mida nad ilmutavad katsete korraldamisel. Tunni lõpul on otstarbekas anda õpilastele enesekontrolliks paragrahvi lõpus olevaid küsimusi.

Ülesanded 1, 2, 5 ja 6 harjutusest 15 lahendatakse klassis, ülejäänud antakse koduseks tööks.

ELEKTRIVOOL METALLIDES

Elektriõpetuse käsitlemisel on õpiku autorid suhteliselt vähe kasutanud analoogiat mehhaanika, hüdrodünaamika jt. osadega. Analoogiat on kasutatud ja kasutatakse laialdaselt paljudes füüsika õpikutes ning soovitatakse reas metoodilistes juhendites. Kõikidel juhtudel on autorid püüdnud eelkõige avada nähtuste sisu, kasutades elektroniteooriat. Ja alles seejärel, kui nähtuse olemus on välja selgitatud, kasutatakse tema konkretiseerimiseks analoogiat.

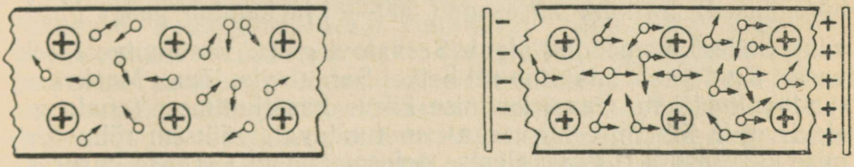
Juba esimeses peatükis selgitatakse elektrilisi nähtusi vabade elektronide ümberpaiknemisega juhtides. Elektrivoolu käsitlevas peatükis pöörduvad autorid veel kord elektroniteooria poole ja kirjeldavad selle alusel elektrivoolu olemust metallides.

Teemas «Soojusnähtused» (§ 19) tutvusid õpilased tahkete kehade kristallilise ehitusega. Seal näidati ka seda, et kõik metallid on kristallilise ehitusega. Toetudes õpitule, tuuakse sisse kristallvõre mõiste. Metalli kristallvõre sõlmedes asuvad positiivselt laetud aatomid, s. t. aatomid, millel on vajaka üks või mitu elektroni. Selliseid aatomeid nimetatakse ioonideks. Ioonidevahelises ruumis asuvad vabad, aatomi tuumaga mitteseotud elektronid.

Õpikus on antud ruumvõre skeem. Vabu elektrone metallis võib võrrelda gaasi molekulidega (joon. 35, *a*), nende kogumit nimetatakse «elektrongaasiks», kuid seda väljendit pole mõtet õpilastele anda.

Et vabade elektronide kogulaeng on võrdne kristallvõre sõlmedes asuvate ioonide kogulaenguga, siis välise elektrivälja puudumisel on juht elektriliselt neutraalne.

Elektronide kaootilise liikumise keskmine kiirus, nagu molekulidelgi, sõltub metalli temperatuurist. Ühesuguse temperatuuri kor-



a *b*

Joon. 35.

ral on see elektronidel tunduvalt kõrgem kui molekulidel, sest elektroni mass on palju kordi väiksem molekuli massist, elektroni ja gaasi molekulide kineetiline energia on aga ühesugune.

Õpilastele võib rääkida, et metallide soojusjuhtivuses ei ole kõige tähtsam osa mitte molekulidel, vaid vabadel elektronidel, mis annavad energiat edasi metallijuhi ühelt osalt teisele.

Elektrivälja asetatud metallijuhis hakkavad vabad elektronid välja jõujoonte sihis ümber paiknema, kuid seejuures säilib ka nende kaootiline liikumine (joon. 35). See olukord nõuab selgitamist. Selle nähtuse õnnestunud mudeliks on kihulaste parve liikumine tuules. Liikudes korrapäraselt üksteise suhtes, liiguvad nad samaaegselt tuule poolt kantuna ühes kindlas suunas.

Kas on vaja peatuda katsetel, mis tõestavad elektrongaasi olemasolu metallides?

Õpikus selliste katsete kirjeldused puuduvad. Kui õpilased tunnevad aga selle küsimuse vastu huvi, võib neile lühidalt esitada Tolmani ja Stewarti katse idee — elektronide inertsiaalne liikumine kiiresti pöörleva traatpooli peatamisel. Selle küsimuse kohta on väga hea mikrofragment — «Inertsvool metallides». Samuti võib kasutada esimest fragmenti filmist «Elektrivool».

Jääb veel üle välja selgitada, millise kiirusega levib elektrivool juhtides. Nagu teada, sõltub elektronide liikumise kiirus juhis elektrivälja tugevusest. Väljatugevuse puhul $1\frac{V}{cm}$ on see kiirus keskmiselt $0{,}5\frac{mm}{s}$, s. t. väga väike.

Elektrivälja levimise kiirus juhis on aga määratu suur, see läheneb valguse kiirusele vaakumis $\left(300\,000\frac{km}{s}\right)$. Üheaegselt elektrivälja levimisega hakkavad kogu juhi pikkuses suunatult liikuma ka vabad elektronid. See olukord nõuab lisaselgitust, milleks kasutatakse mudelit. Õpikus on sellise mudelina vaadeldud kaubarongi liikuma hakkamist.

Teiseks mudeliks võiks olla gaasi liikumine gaasijuhtmetes. Teame, et Moskvat varustab loodusliku gaasiga Saraatovi oblast. Kui gaasijuhtme Saraatov—Moskva Saraatovi-poolses gaasiga täidetud otsas (analoogia juhiga, milles on vabad elektronid) tõstetakse survet (analoogia elektrivälja tekkimisega), siis levib see edasi piki gaasijuhet gaasi elastse deformatsiooni (tihendused ja hõrendused) levimise kiirusega $\left(500\frac{m}{s}\right)$ ja kandub peagi Moskvani. Sellest momendist algab Saraatovi gaasi saabumine Moskvasse. Kuid gaas, mis asub sel hetkel Saraatovis, jõuab Moskvasse tunduvalt hiljem. Gaasi levimise kiirus gaasijuhtmes (analoogia elektronide liikumise kiirusega) on tunduvalt väiksem rõhu levimise kiirusest, s. t. gaasi elastse deformatsiooni levimise kiirusest.

Rääkides elektrivoolu levimise kiirusest juhis, peetakse silmas elektrivälja levimise kiirust temas.

Õpikus on paragrahv «Elektrivool metallides» esitatud tutvustavalt. Õpilased peavad mõistma, et elektrivool metallides kujutab endast vabade elektronide suunatud liikumist. Et kutsuda esile elektronide sellist liikumist, on vaja juhis tekitada elektriväli. Elektriväli tekitatakse aga vooluallikate abil.

ELEKTRIVOOL ELEKTROLÜÜTIDES

Teistsugune on elektrivoolu olemus vedelates juhtides — elektrolüütides: soola, aluse, happe jt. lahustes. Seda väidet on vaja illustreerida katsetega.

Teeklaasi või klaaspurki valatakse destilleeritud vett ning asetatakse sinna kaks puhast süsielektroodi. Koostatud riist ühendatakse järjestikku elektrilambi ja lülitiga ning lülitatakse valgustusvõrku. Lamp ei põle, ahelas puudub vool. Tehakse järeldus: destilleeritud vesi ei juhi elektrit, temas puuduvad vabad laengukandjad. Seejärel lisatakse veele pipetiga mõned tilgad vaskvitrioli. Pärast vaskvitrioli segunemist veega lamp süttib, tähendab — vooluringis tekkis vool. Järelikult on vaskvitrioli lahuses tekkinud vabad laetud osakesed. Mida need osakesed endast kujutavad?

Katset jätkatakse. Süsielektroodid ühendatakse alalisvoolu allika poolustega ja vooluring suletakse. Alalisvoolu allikana võib kasutada kuivelementide või akumulaatorite patareid või alaldit. Mõne aja pärast ilmneb, et vooluallika negatiivse poolusega ühendatud elektroodile (katoodile) on eraldunud vask. Söe mustal pinnal on vask väga hästi märgatav. Selle katse tulemustest järeldub, et elektrivool vaskvitrioli lahuses kujutab endast aine laetud molekulide või aatomite suunatud liikumist. Neid laetud osakesi nimetatakse ioonideks. Positiivsed ioonid on aatomid või molekulid, mis on kaotanud ühe või mitu elektroni. Õpilasele selgitatakse, et ioonid tekivad lahuses lahustunud aine ja lahusti (vee) molekulide vastastikusel toimel.

Ioonide liikumist lahuses võrreldakse vabade elektronide liikumisega metallis.

Nagu vabad elektronid metallides, nii liiguvad ka ioonid elektrolüütides korrapäratult. Kui aga elektroodid ühendatakse vooluallika poolustega, tekib lahuses elektriväli. Väija mõjul hakkavad ioonid liikuma kindlas suunas, säilitades seejuures ka kaootilise liikumise. Positiivsed ioonid suunduvad vooluallika negatiivse poolusega ühendatud elektroodile (katoodile), negatiivsed ioonid — positiivse poolusega ühendatud elektroodile (anoodile). Jõudes vastavatele elektroodidele, annavad ioonid oma laengu neile ja muutuvad ise tavalisteks aatomiteks või molekulideks ning sadestuvad elektroodidele või astuvad keemilistesse reaktsioonidesse. Katses vaskvitrioliga sadestusid vase aatomid katoodile.

Katsete tulemused üldistatakse.

Elektrivool elektrolüütides kujutab endast positiivsete ja negatiivsete ioonide suunatud liikumist.

Kasutades alalisvooluallikat, võib kaks ülalkirjeldatud katset ühendada. Katse esimeses osas tuleb indikaatorina kasutada madalpingelist lampi (1,5 V), mis katse teises osas voolutugevuse suurendamiseks vooluringist välja lülitatakse.

Pärast katse lõppemist puhastatakse vasega kaetud süsielektrood vasest. Selleks ühendatakse ta vooluallika positiivse poolusega, teise süsielektroodi asemel võetakse aga vaskplaat. Vooluring suletakse ja lühikese ajaga vabaneb süsielektrood vasest.

ELEKTRIVOOLU TOIMED

Voolu toimeteks nimetatakse voolu mõjul vooluringis toimuvaid nähtusi. Nende toimete põhjal otsustatakse voolu üle, sest vahetult pole laetud osakeste liikumist juhis võimalik vaadelda.

Mõningate elektrivoolu toimetega on õpilased tuttavad juba igapäevasest elust. Need tuleb selgitada välja esmajärjekorras ja alles seejärel asuda katsete juurde.

Voolu soojuslik toime on õpilastele tuntud, kuid seda tuleb demonstreerida ka klassis. Selleks tõmmatakse demonstratsioonilaual kahe statiivi vahel pingule 0,5 mm läbimõõduga nikeliin- või nikroomtraat (võib kasutada ka keeduplaadi spiraali) ja ühendatakse see jaotuskilbiga. Suurendades pinget, kuumutatakse traati kuni hõõgumiseni. Õpilaste tähelepanu juhitakse sellele, et kuuma traadi pikenemine on näha selle lõtvumisest.

Voolu keemilise toimega tutvusid õpilased juba elektrivoolu vaatlemisel elektrolüütides.

Voolu magnetilist toimet võib näidata pooli ja raudsüdamiku abil. Selleks on sobiv kasutada kooli transformaatori pooli ja südamikku.

Ühendades pooli vooluallikaga (alaldiga, kuivelementide või akumulaatorite patareiga), näidatakse mitmesuguste raudesemete tõmbumist südamiku külge. Veelgi lihtsam on mähkida raudnaela ümber kümmekond keerdu vaskjuhet ja ühendada selle otsad läbi lüliti kuivelementide patarei poolustega. Vooluringi sulgemisel nael magnetiseerub ning tõmbab külge väikesi raudesemeid ja rauapuru.

Samuti tuleb näidata vooluga juhtme ja magneti vastastikust mõju.

Selle katse jaoks valmistatakse väike ristkülikukujuline traatpool ja asetatakse see hobuserauakujulise magneti pooluste vahele. Pooli klemmid ühendatakse alalisvoolu allikaga (akumulaatorite või kuivelementide patareiga, alaldiga). Vooluringi sulgemisel pool pöördub.

Vooluga pooli ja magneti vastastikuse toime näitamiselt min-

nakse edasi mõõteriista — galvanomeetri juurde. Vaadeldakse kooli demonstratsioonigalvanomeetri põhimõttelist ehitust.

Õpilaste tähelepanu tuleb juhtida sellele, et kõikidest voolu toimetest esineb magnetiline toime alati, milline juht ka ei oleks — tahke, vedel või gaasiline.

Paragrahvi «Elektrivoolu toimed» materjali omandamise kontrollimiseks on soovitatav vastata paragrahvi lõpus toodud küsimustele. Iga kohustusliku paragrahvi õppimine tuleb lõpetada küsimustega enesekontrolliks. Ja seda tuleb teha klassis, kodus aga kinnistavad õpilased neid vastuseid iseseisvalt.

ELEKTRIVOOLU SUUND

Kuna elektrivool kujutab endast vabade laetud osakeste suunatud liikumist juhis (metallis — elektronide, elektrolüüdis — ioonide liikumist), siis võib rääkida elektrivoolu suunast. Voolu suunast sõltuvad ka mõned tema toimed, näiteks keemiline toime.

Õpilased teavad, et vask eraldub lahusest vaid sellele elektroodile, mis on ühendatud vooluallika negatiivse poolusega.

Tehakse katse. Vooluringi lülitatakse šunteeritud galvanomeeter ning seejärel vahetatakse ära vooluallika pooluste külge kinnitatud juhtmeotsad. Vask hakkab eralduma teisele elektroodile, mis on nüüd ühendatud vooluallika negatiivse poolusega. Galvanomeetri osuti kaldub seejuures nulljaotusest vastupidises suunas. See katse kinnitab algul tehtud teoreetilist oletust voolu suuna kohta.

Õpilastele esitatakse küsimus: «Milliste laetud osakeste liikumise suunda elektriväljas lugeda elektrivoolu suunaks?»

Kuna sagedamini on tegemist metallist juhtidega, siis on loomulikum võtta voolu suunaks elektronide liikumise suund, s. t. vooluallika negatiivselt pooluselt positiivsele.

Kindlasti tulevad samale järeldusele ka paljud õpilased. Küsimus voolu suunast tekkis aga juba siis, kui voolu olemus mitmesugustes juhtides polnud veel selge. Elektrivoolu all mõisteti tookord positiivsete ja negatiivsete laengute liikumist. Juhuslikult võeti voolu suunaks ahelas positiivsete laengute liikumise suund, s. t. vooluallika positiivselt pooluselt negatiivsele poolusele. Sellega on nii harjutud, et praegugi pole veel tehtud ettepanekut kokkuleppe muutmiseks.

Õpilastele tuleb nimetada, et mitte kõik voolu toimed ei sõltu voolu suunast. Näiteks voolu soojuslik toime ei sõltu voolu suunast.

Seega peavad õpilased teadma, et kokkuleppeliselt loetakse voolu suunaks vooluringis positiivselt laetud osakeste liikumissuunda, s. o. vooluallika positiivselt pooluselt negatiivsele.

VOOLUTUGEVUS JA ELEKTRIHULK

Senini oleme elektrivoolu tutvustamisel piirdunud nähtuste kvalitatiivse kirjeldusega. Nüüd on aeg kasutusele võtta elektrivoolu iseloomustavad suurused. Esimesteks sellisteks suurusteks on elektrihulk ja voolutugevus.

Elektrostaatikas oli juttu elektrilaengu suurusest ja väikseimast võimalikust laengust — elektroni laengust. Kõrvuti terminiga *laengu suurus* tuleb kasutada temaga võrdväärset terminit *elektrihulk*.

Elektrihulga mõiste tuuakse sisse, toetudes vaskvitrioli elektrolüüsi katsele.

Õpilased teavad juba, et vase positiivsed ioonid liiguvad vaskvitrioli lahuses elektrivälja mõjul katoodile, annavad seal ära oma laengu ja sadestuvad siis elektroodile neutraalsete aatomitena. Vasekiht on elektroodil hästi nähtav.

Mida rohkem vase ioone liigub elektroodile (katoodile), seda suurem laeng ilmselt läbib vaskvitrioli lahust ja seda suurem vasehulk sadestub katoodile. Seda väidet kontrollitakse katseliselt. Vooluringi lülitatakse anum vaskvitrioli lahuse ja kahe puhta süsielektroodiga. Vooluallikana võib kasutada nii alaldit kui ka kuivelementide või akumulaatorite patareid. Vooluring suletakse 1—2 minutiks. Mida tugevam on vool, seda lühem peab olema ajavahemik. Selle aja jooksul eraldub elektroodil (katoodil) õhuke, vaevalt märgatav vasekiht, mida näidatakse õpilastele. Seejärel suletakse vooluring pikemaks ajaks ning süsielektroodile koguneb juba märgatav vasekiht. Sel viisil võib koguda elektroodile küllalt paksu vasekihi, mille külge saab kergesti joota juhtme.

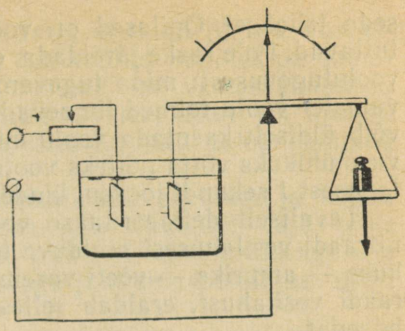
N. Šahmajevi ja S. Kamenetski raamatus «Demonstratsioonkatsed elektriõpetuses»[1] kirjeldatakse katset, mille skeem on kujutatud joonisel 36. Vooluallikana kasutatakse akumulaatorite patareid. Kaalukangile riputatud elektrood ühendatakse vooluallika negatiivse poolusega. Et lühendada demonstratsiooni aega, kasutatakse voolu tugevusega 4—6 A. Katse algul kaalud tasakaalustatakse haavlite või liiva abil. Katoodile eralduva vase tõttu kaalude tasakaal rikutakse. 3—5 minuti pärast vooluring avatakse ja kaalud tasakaalustatakse uuesti. Eraldunud vase mass on võrdne lisatud vihtide massiga.

Toetudes ükskõik millisele ülalkirjeldatud katsele, tullakse järeldusele: elektroodile sadestunud vasehulga põhjal võib otsustada lahust läbinud elektrilaengu suuruse üle. Laengu suurust nimetatakse ka elektrihulgaks.

Minnes üle vooluringi juurde, tuuakse sisse voolutugevuse mõiste: mida suurem elektrihulk läbib juhi ristlõiget 1 sekundi

---

[1] Н. М. Шхмаев, С. Е. Каменецкий. Демонстрационные опыты по электричеству. М., Учпедгиз, 1963.



Joon. 36.

jooksul, mida intensiivsem on voolu mõju, seda tugevam vool läbib vooluringi.

Analoogia — mida rohkem vett läbib veejuhet 1 sekundi jooksul, seda tugevam on vee vool.

Voolutugevuse all mõistetakse 1 sekundi jooksul juhi ristlõiget läbinud elektrihulka:

$$\text{voolutugevus} = \frac{\text{elektrihulk}}{\text{aeg}} .$$

Võetakse kasutusele ka tähistusviis: I — voolutugevus; t — aeg; q — elektrihulk:

$$I = \frac{q}{t} .$$

Väljendi «tugev vool» ja «nõrk vool» tähistavad ainult seda, et esimesel juhul läbib vooluringi ajaühikus suur elektrilaeng, teisel juhul — väike laeng.

Selles paragrahvis seega konkretiseeritakse ja kinnitatakse elektrilaengu mõistet ja võetakse kasutusele sellega samaväärne termin *elektrihulk*, samuti aga defineeritakse uus füüsikaline suurus — voolutugevus.

VOOLUTUGEVUSE JA ELEKTRIHULGA ÜHIKUD

Kahest suurusest — elektrihulk ja voolutugevus — võtsime varem kasutusele elektrihulga, seejärel aga voolutugevuse. Püüdes *SI*-süsteemist kinni pidada juba õpetamise esimesel astmel, toimime elektrihulga ja voolutugevuse ühikute määramisel vastupidiselt: algul võtame kasutusele voolutugevuse ühiku — ampri, seejärel aga elektrihulga ühiku — kuloni.

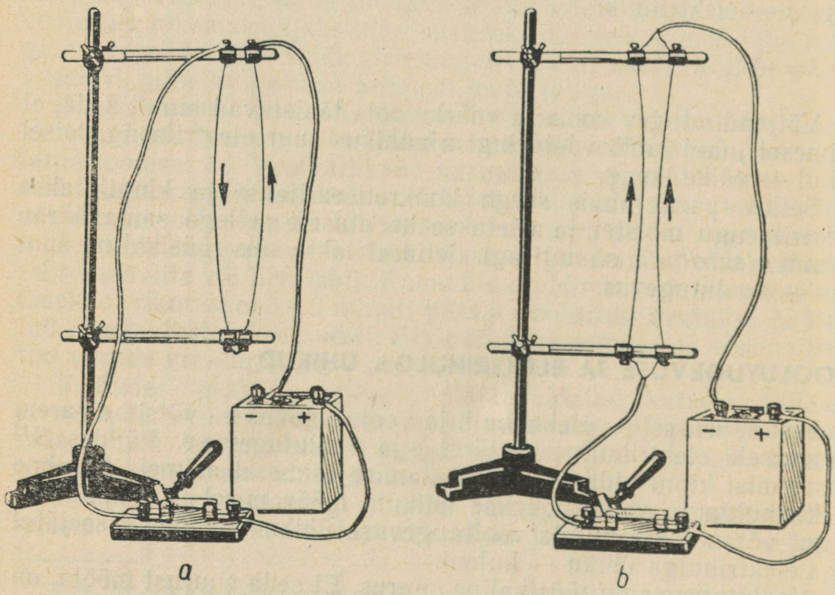
Voolutugevus on füüsikaline suurus. Et seda suurust mõõta, on eelkõige vaja kindlaks määrata voolutugevuse mõõtühik. Kuidas

seda tehakse? Õpilased on voolu mitmesuguste toimetega juba tuttavad. Pole raske järeldada, et nende toimete intensiivsus sõltub voolutugevusest: mida tugevam vool, seda intensiivsemalt (tugevamalt) voolu toimed ilmnevad. Voolutugevuse ühiku määramisel võib üldiselt kasutada voolu mistahes toimet. Nii võib voolutugevuse ühikuks võtta näiteks voolu, mille puhul elektroodil sadestub lahusest 1 sekundi jooksul kindel hulk mingit ainet.

Tavaliselt defineeritakse voolutugevuse ühik sel viisil hõbenitraadi vesilahusest eralduva hõbeda põhjal. Voolutugevuse ühikuks — ampriks — võeti varem selline vool, mis läbides hõbenitraadi vesilahust, eraldab sellest 1 sekundi jooksul 1,11807 mg hõbedat.

Kuid IX rahvusvahelisel mõõtude ja kaalude alasel konverentsil 1948. a. otsustati loobuda ampri defineerimisest voolu keemilise toime põhjal ning kasutada selleks kahe vooluga juhi vastastikust mõju. Õpilastel tekib loomulikult küsimus, miks loobuti ampri vanast definitsioonist. Neile peab ütlema, et vastavalt teaduse arengule suureneb füüsikaliste suuruste mõõtmise täpsus. Ampri defineerimine vooluga juhtide vastastikuse mõju põhjal suurendab elektriliste suuruste mõõtmise täpsust 10 korda.

Vooluga juhtide vastastikuse mõju demonstreerimisel on sobiv kasutada stanniollinte: nad on kerged ja liikuvad.



Joon. 37.

Joonisel 37, *a* ja *b* on kujutatud katse vooluga juhtide vastastikuse mõju demonstreerimiseks: 1) kui voolud juhtides on samasuunalised (tõmbumine) ja 2) kui voolud on vastassuunalised (tõukumine). Vooluallikana võib kasutada leelisakut või aladit. Katse õnnestub ka vahelduvvooluga, kuid sel juhul tuleb kasutada autotrafot või reostaati.

Vooluga juhtmete vahel mõjuvat jõudu võib arvutada ja mõõta.

Õpikus antud ampri definitsiooni pole õpilastel vaja pähe õppida, neil peab olema ettekujutust vaid sellest, et voolutugevuse ühik — amper — defineeritakse vooluga juhtide vastastikuse mõju põhjal.

Kasulik, kuid mitte kohustuslik, on sisse tuua voolutugevuse ühikud, mis on ampri kordsed:

1 mA (milliamper) = 0,001 A;

1 μA (mikroamper) = 0,000001 A.

Seejärel tuletatakse voolutugevuse ühiku — ampri põhjal, nagu seda nõuab SI-süsteem, elektrihulga ühik «kulon»:

1 kulon = 1 amper × 1 sekund,

lühemalt 1 C = 1 A·s.

Õpilastele teadmiseks võib märkida, et elektroni laeng on $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

Pärast antud paragrahvi õppimist peavad õpilased teadma, et voolutugevuse ühikuks on amper, mis defineeritakse kahe vooluga juhi vastastikuse mõju põhjal, et elektrihulga ühikut nimetatakse kuloniks, et 1C = 1A·s.

Elektrihulga ja voolutugevuse ühikute vahelise seose kinnistamiseks on soovitatav harjutuse 16 ülesanded 1 ja 4 lahendada klassis, 2 ja 3 aga kodus.

AMPERMEETER. VOOLUTUGEVUSE MÕÕTMINE

Ühes eelnevatest tundidest vaadeldi galvanomeetrit kui voolu olemasolu näitajat vooluringis. Üldjoontes vaadeldi ka vooluga pooli ja magneti vastastikust mõju, millel põhinebki galvanomeetri töö ja ehitus.

Ampermeeter on samuti galvanomeeter, mis on gradueeritud amprites ja ampri osades ning ehitatud selliselt, et tema lülitamine vooluringi praktiliselt voolutugevust ei muuda.

Õpilastele näidatakse tehnilist, laboratoorset ja demonstratsiooniampermeetrit ning nende lülitamist vooluringi. Selgitatakse, et ampermeeter lülitatakse vooluringi selliselt, et teda läbiks 1 sekundi jooksul sama elektrihulk, mis läbib juhi ristlõiget ahela mis tahes osas. Sellist lülitusviisi nimetatakse järjestikuseks. Sellest oli juba varem juttu vooluringi mõiste juures.

Kindlasti tuleb õpilastele näidata, et ampermeetri ühe klemmi juures on plussmärk, teise juures aga miinusmärk. (Mõnikord jäe-

takse üks märkidest ära.) Klemm, mis on varustatud plussmärgiga, tuleb tingimata ühendada vooluallika positiivsest poolusest tuleva juhtmega.

Õpilastele peab rääkima, et iga ampermeeter on arvestatud mingile maksimaalsele voolutugevusele, mis tavaliselt on märgitud mõõteriista skaalale. Mõõtmistel tuleb alati jälgida, et osuti ei väljuks skaala piirest, sest vastasel korral rikub liiga tugev vool mõõteriista.

Samas tunnis tehakse laboratoorne töö lihtsaima vooluringi koostamiseks ja voolu tugevuse mõõtmiseks selles. Vooluallikana võib kasutada akumulaatorit või kolmest elemendist koosnevat patareid.

Vooluring koostatakse vooluallikast, madalpingel töötavast lambist alusel, laboratoorsest ampermeetrist ja lülitist.

Algul lülitatakse ampermeeter vooluallika positiivse pooluse ja lambi vahele, seejärel lambi ja vooluallika negatiivse pooluse vahele. Kummalgi juhul loevad õpilased ampermeetri näidu ning veenduvad, et need on omavahel võrdsed.

Nüüd võib öelda, et ampermeetri skaala gradueeritakse ampritres ja ampri osades etalonampermeetri näitude põhjal. Etalonampermeetrid aga gradueeritakse erilise riista — amperkaalude põhjal, mis mõõdavad voolude vastastikust mõju.

Vooluringi skeemi joonistavad õpilased vihikusse, nimetavad kõik selle osad ning märgivad juurde ampermeetri näidud.

Ülesanded harjutusest 17 peavad õpilased lahendama kodus ilma eelneva ettevalmistuseta.

Õpikus soovitatakse hästi edasijõudvatel ja füüsikast huvitatud õpilastel koostada ettekandeid ühele paragrahvi «Ampermeeter. Voolutugevuse mõõtmine» lõpus näidatud teemadest.

Õpilaste ettekandeid kuulatakse kas füüsikaringis või tunnis (kui selleks aega on).

PINGE

Pinge kuulub selliste füüsikaliste mõistete hulka, mis on keskastmes (VIII klass) raskesti mõistetav isegi tugevamatele õpilastele.

Metoodilises kirjanduses võib kohata mitmesuguseid võtteid selle mõiste käsitlemiseks. Ühed metoodikud soovitavad pinge mõistet käsitleda analoogia põhjal mehhaaniliste, hüdrodünaamiliste, aerodünaamiliste ja termodünaamiliste protsessidega, teised püüavad kohe avada selles mõistes peituvat füüsikalist sisu, ja lõpuks kolmandad kasutavad mõlemaid võtteid üheaegselt.

Nagu näitavad meie kogemused ja õpetajate arvamused, ei omanda enamik õpilasi, vaatamata mitmesugustele metoodilistele võtetele, pinge mõistet otsekohe, vaid harjuvad sellega aegamööda.

Selle faktiga tuleb muidugi arvestada. Nagu mitmetel teistelgi analoogilistel juhtudel, toimitakse selliselt: algul on pinge lihtsalt uus õpitav mõiste, seejärel tuletatakse tema mõõtühik, kirjeldatakse riista ehitust, millega seda suurust mõõdetakse, kasutatakse teda arvutusülesannetes ning arutlustes. Pikkamööda selgub õpilastele selles mõistev peituv füüsikaline sisu. Küllalt hästi omandatakse pinge mõiste pärast peatüki «Voolu töö ja võimsus» õppimist.

Vastavalt meie metoodilisele kontseptsioonile, tuleb pinge mõiste tarvitusele võtta ning seda peab tegema võimalikult ratsionaalselt.

Loobudes analoogiast pinge käsitlemise esimesel etapil, lähenevad õpiku autorid sellele mõistele energeetilisest küljest. Sellise lähenemisviisi metoodika töötas esimesena välja tuntud nõukogude metoodik D. Sahharov[1], ja veidi muudetud kujul on seda kasutatud Pjorõškini, Falejevi ja Krauklise õpikus[2]. Selle metoodika puhul lähtutakse pinge mõiste käsitlemisel elektrivoolu tööst, mis väljendub juhi soojenemises.

Selle metoodika aluseks on katse. Koostatakse kaks vooluringi. Esimesse on ühendatud madalpingel töötav lamp (alusel) ja ampermeeter ning vooluallikaks on taskulambipatarei või akumulaator. Teises ahelas on vooluallikaks valgustusvõrk (127—220 V), millesse lülitatakse 15- või 25-vatine lamp (vastavalt võrgu pingele), ampermeeter ja reostaat. Voolutugevus reguleeritakse kummaski ahelas ühesuguseks. Õpilaste tähelepanu juhitakse sellele, et vaatamata ühesugusele voolutugevusele kummaski vooluringis annab valgustusvõrku lülitatud lamp rohkem soojust ja valgust kui taskulambipirn. Järelikult teeb elektrivool selles lambis rohkem tööd. Sel viisil õpilased näevad, et elektrivoolu poolt vooluringis tehtud töö ei sõltu ainult voolutugevusest, s. t. elektrihulgast, mis läbib juhti 1 sekundi jooksul.

Seejärel selgitatakse katse tulemusi ja asutakse uue mõiste — pinge käsitlemisele. Seda, et ühesuguse voolutugevuse korral erinevates lampides voolu poolt tehtav töö on erinev, seletatakse pinge erinevusega lampidel.

Valgustusvõrku lülitatud lamp põleb kõrgemal pingel kui taskulambi pirn. Siit järeldub, et pinge on selline füüsikaline suurus, mis iseloomustab elektrivoolu poolt ahelas tehtud tööd. Töö, mida tehakse 1 kuloni elektri läbiminekul vooluringist, on kõrgema pinge korral suurem kui madala pinge korral.

Mis on siis pinge? Pingeks vooluringi mingi lõigu otstel nimetatakse füüsikalist suurust, mis on võrdne tööga, mida tehakse või võiks teha 1 kuloni läbiminekul sellest lõigust. Pinge mõiste konk-

[1] Д. И. Сахаров. Физика. Учебник для педагогических училищ. М., Учпедгиз, 1948.

[2] А. В. Перышкин, Г. И. Фалеев, В. В. Крауклис. Физика, ч. II. Учебник для 7 класса семилетней и средней школы. М., Учпедгиз, 1957.

retiseerimiseks võib kasutada analoogiat. Selleks on kõige sobivam võrrelda elektrivoolu vee voolamisega kõrgemalt nivoolt madalamale. Pinge ahelaosa otstel on analoogiline tööga, mida tehakse 1 kg vee langemisel kõrgemalt nivoolt madalamale.

Samas tunnis peavad õpilased teada saama, et pinge vooluringi erinevatel osadel tekitab vooluallikas. Kui vooluringis puudub pinge, puudub seal ka vool. Avatud vooluringi korral esineb pinge ainult vooluallika pooluste vahel.

See tund on raske anda ja nõuab õpetajalt suurt meisterlikkust. Siin me rohkem veename, kui tõestame. Õpilane peab uskuma õpetajat ja õpikut, et elektriõpetuses on selline tähtis suurus nagu pinge.

PINGEÜHIK

Pärast pinge mõiste käsitlemist on tunduvalt kergem pingeühikut — volti — defineerida džauli ja kuloni kaudu.

Kuna pinge on füüsikaline suurus, siis on tema mõõtmiseks vaja tuletada vastav mõõtühik.

Eelmisel tunnil käsitleti pinget kui suurust, mis on võrdne tööga, mida tehakse vooluringis 1 kuloni suuruse laengu elektri läbimisel. Täiesti loomulik on võtta pinge ühikuks selline pinge, mille puhul vooluringi lõigus tehakse 1 J tööd, kui seda lõiku läbib 1 C elektrit. Seda pingeühikut nimetatakse itaalia teadlase Volta auks voldiks.

Otstarbekas on vaadelda õpikus toodud tabelit praktikas esinevate pingete kohta. Selle tabeli põhjal võib õpilastele esitada selliseid küsimusi, nagu: «Kuidas mõista, et kuivelemendi poolustel on pinge 1,5 V, valgustusvõrgus aga — 220 V?»

Õpilastele peaks nimetama, et erinevalt voolutugevusest ei nimetata pinget nõrgaks ega tugevaks, vaid kõrgeks ja madalaks. Kõrgepinge on eluohtlik. Paragrahvi «Pingeühikud» lõpus on vaadeldud näidet, mis selgitab, miks kõrgepingeline vool on elukardetav.

Õpetaja peab arvestama, et juba 60-voldist pinget loetakse ohtlikuks, kuid eluohtlik võib olla madalamgi pinge. Seepärast peavad õpilased vooluringide koostamisel (eriti valgustusvõrgu puhul) olema äärmiselt ettevaatlikud. Keskastmes ei tohi võrgupinget laboratoorsetes töödes üldse kasutada.

VOLTMEETER. PINGE MÕÕTMINE

Voltmeetriga ja pinge mõõtmisega vooluringi mitmesugustel osadel tutvuvad õpilased laboratoorses töös.

Laboratoorsele tööle eelneb lühike vestlus, milles näidatakse

mitmesuguseid voltmeetreid: demonstratsioonivoltmeetrit, tehnilist ja laboratoorset voltmeetrit ning selgitatakse voltmeetri vooluringi ühendamist pinge mõõtmisel.

Voltmeeter on galvanomeeter, mis on kohandatud pinge mõõtmiseks, kusjuures skaala on gradueeritud voltides ja voldi osades. Voltmeetri gradueerimine toimub tema näitude võrdlemisel täpse voltmeetri näitudega.

Miks ühendatakse voltmeeter vooluringi selle osaga, kus pinget tahetakse mõõta, just paralleelselt, seda siin veel põhjalikult ei selgitata. Samuti pole võimalik õpilaste tähelepanu juhtida voltmeetri ehituse eripärale (siin on silmas peetud eeltakistit voltmeetrile). Õpilastele on vaja rääkida ja näidata, kuidas ühendada voltmeeter vooluringi ning kuidas teda skeemidel kujutada. Nad peavad kindlalt teadma, et kui ampermeeter ühendatakse vooluringi järjestikku, siis voltmeeter ühendatakse paralleelselt vooluringi selle osaga, millel soovitakse pinget mõõta.

Juhtide järjestikust ja paralleelset ühendust õpitakse mõnevõrra hiljem, kuid ühendusviise peavad õpilased teadma juba varem.

Pärast lühikest sissejuhatavat vestlust hakkavad õpilased tegema laboratoorset tööd «Pinge mõõtmine vooluringi mitmesugustel osadel».

Laboratoorseks tööks on vaja vooluallikat (akumulaatorite või kuivelementide patareid), kahte madalpingel töötavat lampi alustel, laboratoorset voltmeetrit, lülitit ja ühendusjuhtmeid.

Lambid ühendatakse vooluringi järjestikku. Sulgenud lüliti, mõõdetakse pinget kummalgi lambil eraldi, kahe lambi kogupinget, pinget ühe elemendi ja kogu patarei klemmidel.

Seejärel mõõdetakse kogu patarei ja üksikute elementide pinge avatud vooluringi korral.

Vihikusse märgitakse katse skeem ja mõõtmistulemused:

pinge esimesel lambil ...
pinge teisel lambil ...
pinge kahel lambil ...
pinge patarei poolustel ...
pinge ühel elemendil ...
elementide arv patareis ...

Koduseks ülesandeks jäägu õpilastele vastata küsimustele:

Mitu korda on pinge kahel lambil suurem kui ühel lambil?

Mitu korda on pinge patarei poolustel suurem pingest ühel elemendil?

Selles tunnis käsitletud materjali võtavad õpilased huviga vastu ja omandavad hästi. Enesekontrolliks soovitatakse vastata § 65 lõpus toodud küsimustele.

VOOLUTUGEVUSE SÕLTUVUS PINGEST

Eelmistel tundidel käsitleti voolutugevust ja pinget ning nende ühikuid. Peale selle õpiti kahes laboratoorses töös mõõtma voolutugevust ja pinget vastavate mõõteriistadega. Harjutusi selle materjali kohta ei tehta. Läbivõetud materjali suulisel käsitlemisel kasutatakse küsimusi enesekontrolliks.

Seejärel asutakse voolutugevuse ja pinge vahelise sõltuvuse vaatlemisele. Eelkõige määratakse katseliselt kindlaks selle sõltuvuse olemasolu.

Parimaks vooluallikaks selle katse puhul on kolmest elemendist koosnev leelisaku, sest tema sisetakistus on suhteliselt väike. Sel juhul pole reostaati vaja. Kui aga vooluallikana kasutatakse alaldit või kuivelementide patareid, tuleb vajaliku pinge saamiseks kasutada reostaati. Õpilaste tähelepanu ei maksa reostaadile juhtida.

Algul koostatakse vooluring ühest akumulaatorist, ampermeetrist, lülitist ja 4—5-oomise takistusega nikeliinspiraalist. Seejärel lülitatakse järjestikku sellesse ahelasse teised akumulaatorid.

Õpikus on detailselt kirjeldatud ühte konkreetset katset. Katse tulemused näitavad, et mida suurem on pinge juhi otstel, seda suurem on voolutugevus vooluringis, s. t. voolutugevus on võrdeline pingega.

Voolutugevuse ja pinge vahelist sõltuvust on vaja kujutada ka graafiliselt, kasutades selleks demonstratsioonkatsel saadud andmeid, mis märgiti tahvlile.

Tundi selle teema kohta on sobiv lõpetada ülesannete lahendamisega harjutusest 18.

JUHTIDE TAKISTUS

Juhi takistuse mõiste kujundamist alustatakse katsega.

Õpikus on kirjeldatud üks sellise katse võimalikest variantidest. Katses kasutatakse 6-voldilist akumulaatorite patareid ja kahte nikeliintraati takistustega 4 ja 8 Ω.

Järgemööda rakendatakse kummalegi juhile 2-, 4- ja 6-voldine pinge. Mõõdetakse voolutugevus ja pinge.

Kui vooluallikana on kasutusel alaldi või kuivelementide patarei, siis reguleeritakse juhi otstele vajalik pinge reostaadi või potentsiomeetri abil.

Demonstratsioonkatse tulemused märgitakse tahvlile. Katse andmetest nähtub, et kummagi juhi puhul on pinge ja voolutugevuse suhe jääv, kuid erinevate juhtide korral on see suhe erinev. Õpikus kirjeldatud katsete puhul on need suhted $4\frac{V}{A}$ ja $8\frac{V}{A}$. Tuginedes katse tulemustele, tuuakse sisse juhi takistuse mõiste.

Mis tahes juhi korral on juhi otstel oleva pinge ja voolutugevuse suhe jääv suurus, s. t. ta ei sõltu pingest ja voolutugevusest.

Kuid erinevate juhtide korral on ta erinev. Järelikult iseloomustab see suurus mingit juhi omadust, millest sõltub voolutugevus. Seda omadust nimetatakse juhi takistuseks.

Tehtud loogilised arutlused ja järeldused ei ole lihtsad ning on õpilastele raskesti mõistetavad, kuid nad on tingimata vajalikud. Nad aitavad kaasa õpilaste mõtlemise arendamisele.

Selleks et leida juhi takistust, tuleb pinge jagada voolutugevusega:

$$\text{takistus} = \frac{\text{pinge}}{\text{voolutugevus}} .$$

Kasutades lühemat tähistusviisi, saame:

$$R = \frac{U}{I} .$$

Tunni lõpul vastavad õpilased enesekontrolli küsimustele.

§ 68 — «Miks juht omab takistust?» — on soovitatav lasta õpilastel kodus iseseisvalt läbi lugeda.

Käsitledes juhi takistuse mõistet, kasutame sisuliselt Ohmi seadust, seda õpilastele nimetamata.

MIKS JUHID OMAVAD TAKISTUST! TAKISTUSE ÜHIKUD

Tunni algul selgitatakse, kuidas õpilased on omandanud juhi takistuse mõiste.

Selleks lastakse neil jutustada katsetest, mille alusel juhi takistuse mõiste kasutusele võeti. Esitatakse küsimus: kuidas määrata juhi takistust, teades pinget juhi otstel ja voolutugevust ahelas? Lastakse kirjutada valem takistuse arvutamiseks. Seejärel viiakse läbi vestlus teemal «Miks juht omab takistust?». See paragrahv oli õpilastele antud kodus iseseisvaks tööks, ilma et paragrahvi sisu oleks klassis eelnevalt selgitatud.

Analoogia takistusega vee ja gaasi liikumisel vee- ja gaasijuhtmetes ei kajasta elektritakistuse olemust ning seepärast ei tasu seda ka kasutada.

Samas tunnis antakse ka takistuse ühik oom. Selleks kasutatakse valemit:

$$R = \frac{U}{I} .$$

On loomulik võtta takistuse ühikuks sellise juhi takistus, mida läbib vool tugevusega 1 amper, kui juhi otstel on pinge 1 volt. Järgnevalt on toodud erinevate suuruste ühikute vaheline seos:

$$\text{takistuse ühik} = \frac{\text{voolutugevuse ühik}}{\text{pinge ühik}} ,$$

pinge ühik = 1 V; voolutugevuse ühik = 1 A; takistuse ühik = $\frac{1\text{V}}{1\text{A}}$ = = 1 Ω.

Sel viisil saadud takistuse ühikut nimetatakse saksa füüsiku Ohmi nime järgi oomiks.

Seega mõõdetakse takistust oomides (Ω); $1\ \Omega = 1\frac{V}{A}$.

Ülesanne. Pinge juhi otstel on 2 V, voolutugevus ahelas 1 A. Määrata juhi takistus oomides.

Ülesanne lahendatakse loogilise arutluse teel, ilma valemit kasutamata.

1 Ω on sellise juhi takistus, milles pinge 1 V tekitab voolu tugevusega 1 A. Ülesande tingimuste kohaselt on voolutugevus 1 A, pinge pole aga mitte 1 V, vaid kaks volti, s. t. 2 korda suurem. Järelikult on ka juhi takistus 2 korda suurem, s. t. 2 oomi.

Üldistame: et leida juhi takistust oomides, peame pinge juhi otstel voltides jagama voolutugevusega amprites.

Paragrahvis 69 vaadeldi kahte juhti *AB* ja *CD*. Esimese takistus oli $4\frac{V}{A} = 4\ \Omega$, teisel $8\frac{V}{A} = 8\ \Omega$.

Praktikas kasutatakse takistuse ühikuid, mis on oomi kordsed. Õpilastele teatatakse need ühikud, kuid pähe pole neid vaja õppida:

1 kΩ (kilo-oom) = 1000 Ω;
1 MΩ (megaoom) = 1 000 000 Ω.

Samas tunnis tuleb harjutusest lahendada paar ülesannet. Üks ülesanne anda kodus lahendada. Kodus peavad õpilased vastama ka selle paragrahvi enesekontrolli küsimustele.

OHMI SEADUS VOOLURINGI OSA KOHTA

Ohmi seaduse avaldise selle kõige levinumal kujul võiks saada valemist $R = \frac{U}{I}$, mis määrab juhi takistuse.

Kuid see võte oleks formaalne ja raskesti mõistetav õpilastele, kes pole veel harjunud füüsika valemitega opereerima. Seepärast on soovitatav Ohmi seaduse käsitlemisel toetuda katsetele, kasutades selle juures varem õpitud materjali.

Eelnevatel tundidel vaadeldi kolme suurust, millega puututakse kokku kõigi vooluringide juures — voolutugevuse, pinge ja takistusega. Näidati, et need suurused on omavahel seotud.

Seost voolutugevuse ja pinge vahel näidati katseliselt. Seega õpilased juba teavad, et voolutugevus ahelas on võrdeline pingega juhi otstel või vooluringi lõigul, sest juht on ju osa vooluringist. Seda on vaja korrata, juhtides tähelepanu asjaolule, et katsetes, mis korraldati uuritava sõltuvuse väljaselgitamiseks, vooluringi antud lõigu takistus ei muutunud, muutus ainult pinge selle lõigu otstel. Siit järgneb, et jääva takistuse korral on voolutugevus juhis võrdeline pingega juhi otstel.

Teades, mida kujutab endast juhi takistus, võivad õpilased juba ette öelda, et voolutugevus sõltub ka juhi takistusest.

Milline on voolutugevuse sõltuvus takistusest? Vastuse sellele küsimusele annab katse.

Koostame ahela, võttes vooluallikaks akumulaatori, ning ühendame vooluringi järgemööda juhid takistustega 1 Ω, 2 Ω ja 4 Ω. Nende juhtide otstele ühendatud voltmeeter näitab ühesugust pinget (akumulaatori sisetakistus on väga väikene). Voolutugevust mõõdetakse ampermeetriga.

Mõõtmistulemused märgitakse tabeli kujul tahvlile ja õpilaste vihikutesse.

Analüüsides mõõtmistulemusi, tullakse järeldusele: jääva pinge korral on voolutugevus juhis pöördvõrdeline juhi takistusega.

Määranud voolutugevuse sõltuvuse pingest ja juhi takistusest, asutakse Ohmi seaduse juurde.

Õpilastele räägitakse, et voolutugevuse sõltuvust pingest ja takistusest nimetatakse selle sõltuvuse avastaja, saksa teadlase Ohmi nime järgi Ohmi seaduseks. Seejärel võib Ohmi seaduse vooluringi osa kohta sõnastada nii, nagu see on antud õpikus.

Ohmi seadusele vastavaks valemi kujuks loetakse ainult järgmist:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Õpikus on toodud Ohmi seaduse kohta kolm näidet, mis tuleksid klassis läbi vaadata.

Kodus peavad õpilased õpiku paragrahvi «Ohmi seadus vooluringi osa kohta» tähelepanelikult läbi lugema ja vastama selle paragrahvi lõpus olevatele enesekontrolli küsimustele.

Kogu järgmine tund tuleb pühendada saadud teadmiste kinnistamisele ja vastavate ülesannete lahendamisele. Harjutuses 20 on antud selle seaduse kohta küllaldane hulk ülesandeid, kuid kõigepealt tuleb lahendada selliseid lihtsaid ülesandeid, milles otsitava saab määrata kahe antud suuruse kaudu. Iseseisva töö puhul tunnis, mida tuleb igati praktiseerida, anda tugevamatele õpilastele sellest harjutusest keerukamaid ülesandeid. Üks, maksimaalselt kaks lihtsamat ülesannet tuleb anda koduseks tööks.

LABORATOORNE TÖÖ «JUHI TAKISTUSE MÄÄRAMINE AMPERMEETRI JA VOLTMEETRI ABIL»

Kui see töö korraldatakse enne, kui on käsitletud reostaati, tuleb tingimata kasutada paarist elemendist koosnevat akumulaatorite patareid.

Koostatakse vooluring vooluallikast ja uuritavast juhist. Voltmeeter ühendatakse uuritava juhi otstega. Uuritavaks juhiks võe-

takse traatpool ($R=2-3\ \Omega$) või nikeliin- (konstantaan-) traat ($d=0{,}5$ mm, $l=1$ m). Algul ühendatakse vooluringi üks element, seejärel kaks, lõpuks aga kolm. Mõõdetakse voolutugevus ja pinge. Mõõtmistulemused kantakse tabelisse.

Nr.	Pinge	Voolutugevus amprites	Takistus oomides
1.			
2.			
3.			

Takistuse keskmine väärtus on....

Kui akumulaatori puudumisel kasutatakse vooluallikana alaldit või kuivelementide patareid (mille sisetakistus on suur), tuleb uuritava juhi otste pinget muuta reostaadiga (joon. 38).

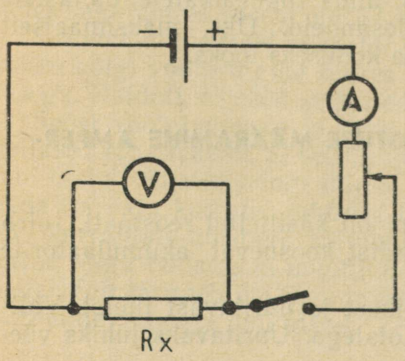
Kuna aga reostaati pole veel tunnis käsitletud, siis sellisel juhul peab laboratoorse töö läbi viima alles pärast reostaadi tundmaõppimist.

Võib-olla ongi otstarbekam teha see töö pärast reostaadi käsitlemist. Sel juhul õpivad õpilased ka reostaati vooluringi lülitama.

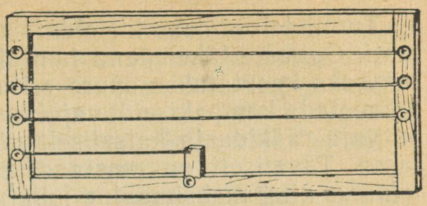
JUHTIDE TAKISTUSE ARVUTAMINE

Õpilastele esitatakse probleem: millest ja kuidas sõltub juhi takistus?

Toetudes teadmistele elektritakistuse olemusest, võivad õpilased otsekohe öelda, et juhi takistus sõltub juhi mõõtmetest ja omadustest. Nad võivad seda aga ka mitte öelda, arvestades küsimuse keerukust. Kuid probleem on õpilaste ette seatud ja seda lahendada peab aitama katse. Õpikus on küllalt üksikasjalikult kirjelda-



Joon. 38.



Joon. 39.

tud katset, mis võimaldab määrata juhi takistuse sõltuvust tema pikkusest, ristlõike pindalast ja materjalist.

Järeldused tehakse mõõtmistulemuste põhjal, mis on märgitud kolme tabelisse. Analüüsides neid või nendega analoogilisi tabeleid, mis on kirjutatud tahvlile, tulevad õpilased ise järeldusele: juhi takistus on võrdeline juhi pikkusega, pöördvõrdeline ristlõike pindalaga ja sõltub juhi materjalist.

Tuuakse sisse eritakistuse mõiste. Eritakistuseks nimetatakse 1 m pikkuse ja 1 mm^2 ristlõikepindalaga antud ainest juhi takistust. Õpilastele peab ütlema, et siin me kaldume kõrvale SI-süsteemist, kus eritakistus on 1 m pikkuse ja 1 m^2 ristlõikepindalaga juhi takistus. Kuid praktikas kasutatakse sagedamini pikki, suhteliselt väikese ristlõikega juhte.

Eritakistuse definitsiooni põhjal tuletatakse valem takistuse arvutamiseks, nagu see on tehtud õpikus: $R = \frac{\varrho l}{S}$.

Tingimata on vaja vaadelda õpikus toodud eritakistuste tabelit, juhtides tähelepanu väga headele elektrijuhtidele, mille eritakistus on väike. Nende hulka kuuluvad eelkõige hõbe ja vask, suhteliselt väikest takistust omab ka alumiinium.

Elektrijuhtmed valmistatakse vasest, harvemini alumiiniumist ja veelgi harvemini terasest.

Õpilaste tähelepanu juhitakse ka suure eritakistusega juhtidele. Need on põhiliselt sulamid; nende kasutamisest räägitakse hiljem.

Juhi takistuse arvutamisele pühendatud tund on õppematerjaliga küllastatud. Raske on kogu materjali ühe tunni jooksul haarata, kui õpilastel on nõrk matemaatikaalane ettevalmistus. Kodus peavad õpilased veel kord läbi lugema õpiku paragrahvi, milles on juttu juhtide takistuse arvutamisest ning mõtlema vastused enesekontrolli küsimustele.

Katseteks on soovitatav kasutada joonisel 39 kujutatud tööstuslikult toodetavat erinevast materjalist ja erineva ristlõikega traatide kogu (traadid on pingutatud puuraamile). Kui tööstuslikult toodetud riist koolis puudub, tuleb see valmistada ise, sest taolist riista on vaja ka vanemates klassides.

Osa järgmisest tunnist tuleb pühendada õpilaste küsitlemisele ja lihtsamate takistuse arvutamise ülesannete lahendamisele. Eelkõige on klassis vaja hästi läbi arutada õpikus toodud näited juhi takistuse, voolutugevuse ja pinge arvutamiseks.

Tunni teises osas kirjeldatakse ja demonstreeritakse liugreostaati. Õpilaste tähelepanu juhitakse sellele, et reostaatide valmistamiseks kasutatakse suure eritakistusega traati. See võimaldab valmistada kompaktseid, vajaliku takistusega reostaate. Õpilastele on vaja rääkida ja katseliselt näidata, milleks reostaate kasutatakse. Tavaliselt on reostaadi sildil näidatud suurim võimalik takistus ning maksimaalne lubatud vool.

Väntreostaadiga, mille abil võib ahela takistust muuta hüppeliselt, võivad õpilased tutvuda esimese ülesande lahendamisel harjutusest 22. See ülesanne tuleb anda õpilastele kodus lahendada.

JUHTIDE JÄRJESTIKUNE ÜHENDAMINE

Õpilased teavad juba, et juhte on võimalik ühendada kahel viisil — järjestikku ja paralleelselt. Nüüd tuleb neil neid ühendusviise mõnevõrra põhjalikumalt tundma õppida. Alustatakse jälle katsega. Koostatakse vooluahel vooluallikast (akumulaatorite või kuivelementide patarei) ja kolmest järjestikku ühendatud madalpingelisest lambist (1,5 V).

Juba varem näidati, et voolutugevus vooluringi kõikides osades on ühesugune. Tähendab, kõiki kolme lampi läbib võrdse tugevusega vool, mistõttu need lambid hõõguvad ühesuguselt. Kui üks lampidest välja lülitada, siis vooluring katkeb ja vool lakkab.

Järjestikku ühendatud vooluringi edasiseks uurimiseks on parem võtta mitte kolm, vaid kaks lampi. Veelgi parem on võtta kaks eraldi juhti eespool kirjeldatud kogust ning vooluallikaks — akumulaator või taskulambipatarei.

Vooluringi lülitatakse ampermeeter ning voltmeeter ühendatakse kordamööda kummagi juhi otstele ja lõigu otstele, mis koosneb neist kahest juhist. See on demonstratsioonkatse, järelikult on vaja kasutada demonstratsiooniampermeetrit ja -voltmeetrit.

Mõõtmistulemused kantakse tabeli kujul tahvlile.

Õpikus on näidatud, et pinge üksikutel vooluringi osadel on võrdeline nende osade takistustega; pinge vooluallika klemmidel on võrdne pingete summaga vooluringi üksikutel osadel; vooluringi kogutakistus on võrdne tema üksikute osade takistuste summaga. Kõiki neid õpikus toodud väiteid on tingimata vaja katseliselt kinnitada. Muide, kaks esimest väidet antakse õpilastele lihtsalt informatsiooniks, ja seda mitte sellepärast, et küsimused rasked oleksid, vaid seepärast, et nende uurimiseks pole aega. Piisab, kui õpilased teavad, et vooluringi kogutakistus on võrdne tema üksikute osade takistuste summaga.

Kahjuks pole ajapuudusel võimalik lahendada küllaldaselt ülesandeid juhtide järjestikuse ühendamise kohta. Kõige rohkem, mis siin teha saab, on hoolikalt vaadelda õpikus toodud lahendustega näiteid ning anda paar-kolm ülesannet kodus lahendada.

Me vaatlesime juhtide järjestikuse ühendamise käsitlemise metoodikat, mis põhineb demonstratsioonkatsetel ja Ohmi seadusele tuginevatel teoreetilistel arvutustel. Koolides, kus on küllaldane materiaalne baas, võib seda küsimust uurida laboratoorse töö põhjal, mis on ette nähtud ka programmis. Meile näib, et selline metoodika on efektiivsem ja ajaliselt ökonoomsem.

Laboratoorse töö täitmisele asutakse pärast lühikest vestlust juhtide ühendusviisidest ja demonstratsioonkatset lampide järjestikuse ühendamise kohta.

Töö võib teha kahes variandis.

Vooluallikana võib kasutada akumulaatorit, alaldit või 4,5-voldist kuivelementide patareid.

Esimeses variandis koostatakse vooluring, kuhu lülitatakse järjestikku kaks madalpingelist lampi ja ampermeeter.

Laboratoorse voltmeetriga mõõdetakse pinge kummagi lambi klemmidel ja vooluringi osal, mis koosneb kahest lambist. Mõõtmistulemused kantakse tabelisse ja tehakse vajalikud arvutused.

Pinge ühel lambil	Pinge teisel lambil	Pinge kahest lambist koosneval ahelaosal	Voolutugevus	Esimese lambi takistus	Teise lambi takistus	Kahest lambist koosneva ahelaosa takistus

Ülesanne töö juurde. Arvutada kahe lambi pingete summa ja võrrelda seda katseliselt saadud pinge suurusega nendel lampidel.

Arvutada iga lambi takistus ja kahe lambi kogutakistus. Võrrelda lampide takistuste summat katses saadud kogutakistusega.

Veenduge, et pinged kummalgi lambil on võrdelised nende takistustega:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Teise variandi puhul kasutatakse lampide asemel kahte nikeliin- või konstantaanjuhti, takistustega 1 Ω ja 2 Ω. Vooluringi lülitatakse reostaat, millega reguleeritakse juhtidele soovitud pinge.

Mõõtetulemuste märkimine ja töötlemine toimub samuti kui esimese variandi puhul.

Teine variant on esimesega võrreldes veidi keerukam.

Pärast laboratoorses töös saadud andmete läbitöötamist antakse õpilastele kodune ülesanne: lugeda õpikust läbi vastav paragrahv ja mõelda vastused enesekontrolli küsimustele.

JUHTIDE PARALLEELNE ÜHENDAMINE

Juhtide paralleelse ühendamisega puutusid õpilased kokku juba voltmeetri kasutamisel.

Antud tunni ülesandeks on detailsem tutvumine selle ühendusviisiga. Võib alustada kohe katsest, lülitades vooluringi paralleelselt kolm lampi (joon. 40); selleks võib kasutada ka valgustusvõrku. Ühe lambi väljalülitamisel jäävad teised lambid põlema (võrrelda lampide järjestikuse ühendamisega).

Voolude ja takistuste arvutamiseks paralleelsel ühendamisel kasutatakse kahest juhist koosnevat skeemi, nagu seda on tehtud õpikus. Vastavalt skeemile tehakse katse kahe erinevat takistust omava juhiga.

Eelkõige tehakse mõõtmise teel kindlaks, et voolutugevus vooluringi hargnemata osas on võrdne voolude summaga hargnenud osades. Selgitamisel võib siin paralleele tõmmata veevoolu hargnemisega.

Õpilaste tähelepanu tuleb juhtida sellele, et paralleelse ühenduse korral on kõikidel harudel ühesugune pinge, voolutugevus igas harus sõltub aga juhi takistusest.

Selle tunni eesmärgiks on näidata õpilastele, et paralleelse ühenduse korral ei liitu mitte takistused, vaid takistuste pöördväärtused:

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

Selle valemi anname õpilastele demonstratsioonkatsest saadud tulemuste põhjal (mõõtmistulemused märgiti tahvlile).

Konkreetsete arvuliste näidete varal on vaja näidata, et kahe paralleelselt ühendatud juhi kogutakistus on alati väiksem kõige väiksema takistusega juhi takistusest.

Näide:

$R_1=2$ $\qquad \frac{1}{R}=\frac{1}{2}+\frac{1}{3}=\frac{3+2}{6}=\frac{5}{6}\ \frac{1}{\Omega}$;

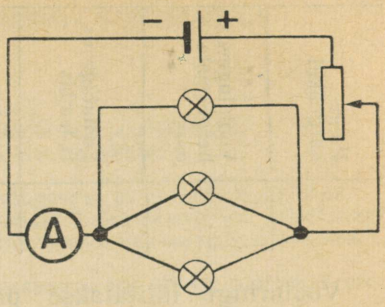
$R_2=3$ $\qquad R=\frac{6}{5}=1{,}2\ \Omega$;

$R=?$ $\qquad 1{,}2\ \Omega<2\ \Omega$.

Kui paralleelselt on ühendatud terve rida ühesuguse takistusega juhte, siis on selle hargmiku kogutakistus ühe juhi takistusest nii mitu korda väiksem, kui mitu juhti on ühendatud paralleelselt.

Näide:

$R_1=100$ $\qquad \frac{1}{R}=\frac{1}{100}+\frac{1}{100}+\frac{1}{100}+\frac{1}{100}=\frac{4}{100}\ \frac{1}{\Omega}$;



Joon. 40.

$n=4$ $\qquad R=\frac{100}{4}=25\ \Omega;$

$R=?$ $\qquad 25\ \Omega<100\ \Omega.$

Lõpetuseks peab ütlema, et enamik tarbijaid ühendatakse vooluvõrku paralleelselt.

Nõukogude Liidus kasutatakse valgustusvõrkudes peamiselt kahesuguse pingega voolu — 127 V ja 220 V, rohkem siiski viimast.

Need andmed on õpilastele väga kasulikud. Las nad teevad kindlaks, millise pingega voolu nad kodus kasutavad.

Juhtide paralleelne ühendus ei ole VIII klassi õpilastele kerge küsimus. Pealegi ei ole õpetaja käsutuses selle küsimuse selgitamiseks küllaldaselt aega. Seepärast on juhtide paralleelse ühendusviisi käsitlemisel vaja põhiline tähelepanu keskendada takistuse arvutamisele.

Klassis käsitletud materjali kinnistamiseks tuleb koduseks tööks anda vastav õpiku paragrahv, analüüsida seal sisalduvaid näiteid ja vastata enesekontrolli küsimustele.

Tunnis, milles tehakse teemast kokkuvõte, on vaja küsitleda õpilasi ning lahendada mõned lihtsamad ülesanded juhtide järjestikuse ja paralleelse ühenduse kohta. Tugevamatele õpilastele tuleks soovitada lahendamiseks ülesandeid harjutustest, mis on toodud vastavate paragrahvide lõpus.

Vaatlesime juhtide paralleelse ühenduse käsitlemise metoodikat, mis põhines demonstratsioonkatsel ja õpetaja poolt tahvlile tehtud arvutustel. Kuid seda küsimust võib käsitleda ka laboratoorse töö põhjal.

Pärast lühikest sissejuhatust, milles antakse selgitusi laboratoorse töö kohta ja näidatakse juhtide paralleelset ühendamist, asuvad õpilased töö juurde.

Kõige lihtsamal juhul koostatakse vooluring, mis on kujutatud joonisel 34. Vooluallikaks võtta akumulaator, vastava pingega alaldi või elementide patarei.

Pinge hargmikul	Voolutugevus hargnemata osas	Voolutugevus 1. lambis	Voolutugevus 2. lambis	Hargmiku kogutakistus	1. lambi takistus	2. lambi takistus

Vooluringi lülitatakse paralleelselt kaks lampi. Voltmeeter ühendatakse hargmiku otstega.

Voolutugevust mõõdetakse ampermeetriga vooluringi hargnemata osas ja kummaski harus.

Mõõtmistulemused kantakse tabelisse ja tehakse vajalikud arvutused.

Ülesanne töö juurde: Kontrollida, kas voolutugevus hargnemata osas on võrdne voolutugevuste summaga hargmikus.

Leida lampide takistuste pöördväärtuste summa $\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$ ning võrrelda seda hargmiku kogutakistuse pöördväärtusega $\left(\frac{1}{R}\right)$.

Kontrollida katseliselt valemit

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

Madalpingeliste lampide asemel võib võtta kaks nikeliin- või konstantaanjuhti takistustega 2 Ω ja 3 Ω.

Vooluringi hargnemata ossa võib voolutugevuse ja pinge reguleerimiseks ühendada reostaadi. See on laboratoorse töö keerulisem variant, mida võib soovitada ainult tugevamatele õpilastele.

Viimasel tunnil tehakse kokkuvõte tööst kogu teema ulatuses. Eraldatakse olulised küsimused ebaolulistest ja seejärel lastakse õpilastel neile suuliselt vastata. Eelkõige on vaja välja selgitada, kuidas õpilased on omandanud teema põhiküsimused; voolutugevuse, pinge ja takistuse mõiste; nende suuruste ühikud ja mõõtmine, voolutugevuse sõltuvus pingest ja takistusest, Ohmi seadus, juhtide ühendamine paralleelselt ja järjestikku.

Selle teema õppematerjal pakub õpilastele huvi ja paljud orienteeruvad selles küllalt hästi, kuid piiratud aeg ei võimalda isegi tugevamatel õpilastel omandada elektrodünaamika aluseid päris kindlalt. Tõenäoliselt ei või me VIII klassi õpilastele sellist ülesannet püstitadagi. Kui selle teema õppimine aga mingil määral arendas õpilaste mõtlemisvõimet ja äratas huvi füüsika vastu ning koos sellega andis neile kasulikke teadmisi ja harjumusi, siis võib lugeda ülesande täidetuks.

TEEMA «VOOLUTUGEVUS, PINGE, TAKISTUS» NÄIDISJAOTUS TUNDIDE KAUPA (19 tundi)

1. tund. Elektrivool. Vooluallikad.
2. tund. Galvaanielemendid ja akumulaatorid.
3. tund. Läbivõetud materjali kordamine. Vooluring ja selle osad.
4. tund. Elektrivool metallides. Elektrivool elektrolüütides.
5. tund. Elektrivoolu toimed. Voolu suund.
6. tund. Voolutugevus ja elektrihulk. Voolutugevuse ja elektrihulga ühikud.
7. tund. Ampermeeter. Voolutugevuse mõõtmine. Laboratoorne töö «Vooluringi koostamine ja voolutugevuse mõõtmine selle mitmesugustes osades».
8. tund. Pinge. Pingeühik.
9. tund. Voltmeeter. Pinge mõõtmine. Laboratoorne töö «Pinge mõõtmine vooluringi mitmesugustel osadel».
10. tund. Voolutugevuse sõltuvus pingest.
11. tund. Juhtide takistus.
12. tund. Miks on juhtidel takistus? Takistuse ühikud.
13. tund. Ohmi seadus vooluahela osa kohta.
14. tund. Laboratoorne töö «Juhi takistuse määramine ampermeetri ja voltmeetri abil».
15. tund. Juhi takistuse arvutamine. Eritakistus. Valem, mille põhjal arvutatakse juhi takistust.
16. tund. Ülesannete lahendamine takistuse arvutamisele. Reostaat.
17. tund. Juhtide järjestikune ühendus. Laboratoorne töö.
18. tund. Juhtide paralleelne ühendus. Laboratoorne töö.
19. tund. Õpilaste küsitlemine.

VI peatükk. VOOLU TÖÖ JA VÕIMSUS

ELEKTRIVOOLU TÖÖ

Õpilaste tutvustamist elektrivoolu tööga võib alustada elektriseadmetes toimuvate energeetiliste muundumiste vaatlemisest.

Õpilased teavad juba (seda on vaja neile meenutada), et mistahes vooluallikas toimub mingi mitteelektrilise energialiigi muundumine elektrienergiaks. Galvaanielemendis näiteks muundub elektrienergiaks keemiline energia. Elektrivooluringis aga muundub elektrienergia mingiks teist liiki energiaks, soojendusriistades näiteks muundub elektrienergia siseenergiaks.

Mehhaanika ja soojuse käsitlemisel näidati õpilastele (ka seda on vaja meenutada), et kõikidel juhtudel, kui toimub ühe energialiigi muundumine teiseks, tehakse tööd.

Tehtud töö, nagu õpilased juba teavad, on ühe energialiigi teiseks muundumise mõõduks.

Elektrivooluringis on elektrienergia muundumise mõõduks voolu poolt tehtud töö.

Meenutame õpilastele, et elektrivool näiteks metallides kujutab endast elektronide suunatud liikumist elektrivälja jõudude mõjul.

Järelikult see, mida me nimetame elektrivoolu tööks vooluringis, on elektrivälja jõudude töö elektronide ümberpaigutamiseks juhis.

Välja energeetiliseks karakteristikuks vooluringis on pinge — nii seda suurust omal ajal iseloomustatigi.

Pinge vooluringi mingi lõigu otstel on võrdne tööga, mida tehakse ühe kuloni läbiminekul sellest lõigust.

Pingelt minnakse üle töö arvutamisele:

$$A = Uq,$$

kus A on töö, U — pinge, q — elektrihulk.

Õigupoolest korratakse siin töö kohta seda, mida räägiti õpilastele pinge mõiste käsitlemisel, ainult mõnevõrra teisel kujul. Algul me käsitlesime pinget töö kaudu, nüüd aga väljendame tööd pinge kaudu. Tekib suletud ring. Seda oleks saanud vältida, kui elektrivoolu tööd oleks käsitletud enne pinge mõiste kasutuselevõtmist. Kuid siis oleksime põrganud kokku teiste, sugugi mitte väiksemate raskustega.

Toetudes asjaolule, et õpilastel on tööst juba mingisugune ettekujutus, kasutasime seda pinge käsitlemisel, mis meid tookord huvitas kõige enam. Elektrivoolu tööd me ei vaadelnud tookord meelega üksikasjalikult. Nüüd, pärast elektrodünaamika põhilise seaduse (Ohmi seaduse) õppimist ja põhiliste elektrodünaamiliste suurustega tutvumist, võime uuesti pöörduda elektrivoolu töö juurde.

Tuletame kõigepealt valemi $A = Uq$, sest selle kaudu me faktiliselt pinge mõiste U ju kasutusele võtsime. Kuid sellelt valemilt, mida me edaspidi tegelikult ei kasutagi, läheme üle valemile

$$A = UIt.$$

Tööühik džaul on õpilastel juba tuntud. Valem $A = UIt$ võimaldab džauli väljendada voldi, ampri ja sekundi kaudu:

tööühik = pingeühik × voolutugevuse ühik × ajaühik;

tööühik = 1 J; pingeühik = 1 V; voolutugevuse ühik = 1 A; ajaühik = 1 s.

1 džaul = 1 volt × 1 amper × 1 sekund ehk

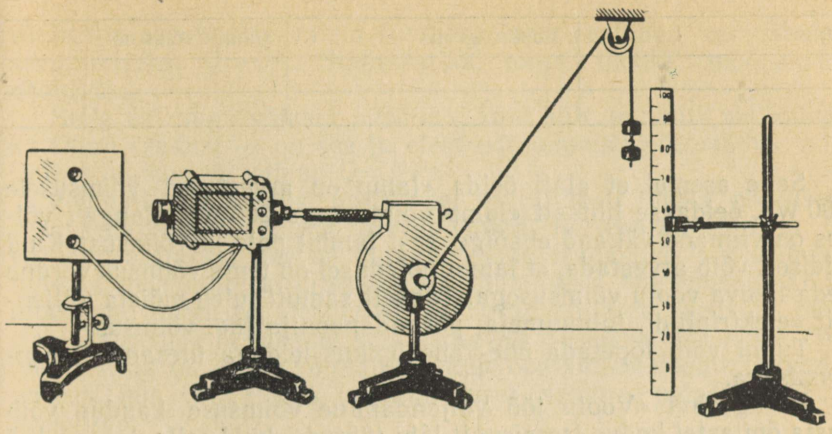
1 J = 1 V·A·s.

Arutlused elektrivoolu töö kohta on õpetamise sellel etapil mõnevõrra üldist, abstraktset või, õigemini, teoreetilist laadi.

Valemit $A = UIt$ on vaja katse abil illustreerida.

Varem nimetatud N. Šahmajevi ja S. Kamenetski raamatus «Demonstratsioonkatsed elektriõpetuses» on kirjeldatud spetsiaalset katseseadet, mis võimaldab illustreerida voolu töö sõltuvust voolutugevusest, pingest ja ajast. Joonisel 41, mis on võetud sellest raamatust, ei ole ampermeetrit ja voltmeetrit näidatud.

Selles tunnis tutvusid õpilased elektrivoolu töö arvutamise valemiga $A = UIt$ ja väljendasid tööühiku džauli neile tuntud ühikute — ampri, voldi ja sekundi kaudu. See on tunni peamine sisu, mille



Joon. 41.

õpilased peavad hästi omandama. Vestlus vooluringis toimuvatest energeetilistest protsessidest viidi läbi õpilaste mõtlemisvõime arendamiseks. Kuna seal puudutatud küsimused on keerulised, siis vaevalt on mõtet õpilasi nendes küsimustes hinnata.

Kodus tuleb õpilastel läbi lugeda õpikust paragrahv «Elektrivoolu töö» ja valmistuda vastama enesekontrolli küsimustele.

ELEKTRIVOOLU VÕIMSUS

Kõigepealt on vaja välja selgitada, kas õpilased mäletavad, kuidas defineeriti võimsust mehhaanikas. Seejärel võib asuda elektrivoolu võimsuse juurde, mis võrdub ühe sekundi jooksul tehtud tööga.

Kuna juttu on elektrivoolu võimsusest, siis peab võimsuse väljendama tuntud elektriliste suuruste kaudu:

$P = UI$.

Selle valemi abil väljendatakse õpilastele juba VII klassi kursusest tuntud võimsuse ühik vatt voldi ja ampri kaudu:

võimsuse ühik = pinge ühik × voolutugevuse ühik; võimsuse ühik = 1 W; pinge ühik = 1 V; voolutugevuse ühik = 1 A; 1 vatt = = 1 volt × 1 amper;

$1\,W = 1\,V \cdot A$.

Eeltoodu on sissejuhatuseks laboratoorsele tööle «Elektrilampi läbiva voolu võimsuse määramine».

Selle laboratoorses töös määravad õpilased madalpingelise lambi võimsuse. Vooluallikaks võib olla akumulaator, alaldi või kuivelementide patarei. Vooluringi lülitatakse lamp, ampermeeter, lüliti; lambi klemmidega ühendatakse voltmeeter. Katse skeem joonistatakse vihikusse. Mõõtmistulemused märgitakse tabelisse:

Pinge	Voolutugevus	Lambi võimsus

Selle asemel et alati öelda «lamp on arvestatud võimsusele 200 W», öeldakse lihtsalt «lamp võimsusega 200 W». Rangelt võttes on viimane väljend ebaõige, sest lambil pole ju võimsust. Kuid üldiselt võib arvestada, et lambi põlemisel on tema võimsus võrdne teda läbiva voolu võimsusega. Täpselt samuti tuleb mõista väljendit «elektripliidi, tolmuimeja, põrandapoonija jne. võimsus».

Tunni võib lõpetada ühe-kahe õpikus leiduva ülesande lahendamisega.

Paragrahvi «Voolu töö väljendamine võimsuse kaudu» võib lasta õpilastel kodus iseseisvalt läbi töötada, kuid selle paragrahvi materjal ei ole neile kohustuslik.

Järgmisel tunnil on kasulik õpilastega vaadelda voolu töö ja võimsuse arvutamise näiteid, mis õpikus on antud eraldi paragrahvina. Nende näidete lahendamisel kasutatakse jälle Ohmi seadust, mis peaks nüüd õpilastele hästi selgeks saama, sest on ju Ohmi seadus selle teema üks põhiküsimusi. Mis puutub ülesannete lahendamisse töö ja võimsuse kohta, siis selleks pole aega. Õpikus leiduvaid ülesandeid võib anda vaid tugevamatele õpilastele.

JUHTIDE SOOJENEMINE ELEKTRIVOOLU MÕJUL

Juhi soojenemine elektrivoolu mõjul on õpilastele igapäevasest elust hästi teada, pealegi vaadeldi elektriõpetuse alguses spetsiaalselt voolu soojuslikku toimet. Seepärast on vaja selle tunni algul rääkida nendest juhis toimuvatest mikroprotsessidest, mille tulemusel juht soojeneb. Seda nähtust on vaja siduda voolu mehhanismiga metallides ja elektrolüütides, mida õpiti juba varem. Metallides elektrivälja mõjul liikuvad vabad elektronid (elektrolüütides ioonid) mõjuvad vastastikku juhi aine aatomite ja molekulidega ning annavad neile osa sellest energiast, mille nad said elektriväljalt. Kuna molekulide keskmine kineetiline energia seejuures suureneb, siis suureneb ka juhi siseenergia, mis väljendub tema soojenemises.

Peab ütlema, et kui metalljuht on liikumatu, siis kogu voolu poolt tehtud töö läheb juhi siseenergia suurendamiseks, mingisuguseid muid energeetilisi protsesse siin ei toimu. Meenutame õpilastele, et siseenergia muutumise mõõduks on soojushulk.

Paragrahvis «Juhtide soojenemine elektrivoolu mõjul» esitatud materjali tuleb seostada molekulaarfüüsikaga, mida õpiti õppeaasta esimesel poolel.

Kuna õpikus on põhiliselt kasutusel SI-süsteem, siis elektri-

voolu töö arvutamise valem sobib ka juhis eralduva soojushulga arvutamiseks: $Q=UIt$. Soojushulka, nagu töödki, mõõdetakse džaulides.

Selle valemiga võikski piirduda, kuid siin on sobiv rakendada ka Ohmi seadust — on see ju elektrodünaamika põhiseadus, mistõttu anname veel valemi $Q=I^2Rt$.

Joule'i-Lenzi seadus, mida veel hiljuti loeti üheks põhiliseks seaduseks elektriõpetuses, osutub nüüd mittevajalikuks, ta on vajunud ajalukku. See on kujukas näide teaduslike kontseptsioonide ja meetodite unifitseerimise tähtsusest õpetamisel. Kõige üldisemad õpetused (teooriad) haaravad endasse üksikuid teooriaid, printsiipe ja seadusi, mis kaotavad iseseisva tähenduse. Tõenäoliselt on see ainus võimalus sellise õpetamismetoodika arendamiseks, mis võimaldaks koolihariduse sammu pidada teaduse arenguga.

Selles tunnis peaks jõudma lahendada veel paar-kolm näidet voolu töö ja soojuse arvutamisele. Ülesandeid selle osa kohta on toodud õpikus.

ELEKTRILISED SOOJENDUSRIISTAD. HÕÕGLAMP. LÜHIS. KAITSMED

Kolm paragrahvi — «Elektrilised soojendusriistad», «Hõõglamp» ja «Lühis. Kaitsmed» — võivad õpilased klassis iseseisvalt läbi töötada, sest nende paragrahvide õppematerjal on kirjeldava iseloomuga. Võimaluse korral tuleb anda õpilastele vaatamiseks mitmesuguseid tunni teemale vastavaid esemeid (hõõglambid, kaitsmed, soojendusriistade elemendid). Tahvlile tuleb riputada tabel «Hõõglamp».

Tunni lõpul tuleb läbi viia vestlus enesekontrolli küsimuste põhjal.

Füüsikaringi liikmetele võib soovitada ettekanneteks teemasid, mis on loetletud õpikus paragrahvi «Hõõglamp» lõpus. Ettekandeid on vaja illustreerida jooniste ja diapositiividega ning Lodõgini, Jablotškovi, Edissoni jt. portreedega.

Elektrivalguse ajalooline areng on sobivaks teemaks kooli füüsikaõhtul.

Viimane tund pühendatakse küsitlustele ja kokkuvõtete tegemisele teema ulatuses.

TEEMA «ELEKTRIVOOLU TÖÖ JA VÕIMSUS» NÄIDISJAOTUS TUNDIDE KAUPA (5 tundi)

1. tund. Elektrivoolu töö.
2. tund. Elektrivoolu võimsus.
3. tund. Elektrivoolu töö väljaandmine võimsuse kaudu.
4. tund. Ülesanded voolu töö ja võimsuse arvutamisele. Juhtide soojenemine elektrivoolu mõjul. Hõõglamp.
5. tund. Elektrilised soojendusriistad. Lühis. Kaitsmed.

VII peatükk. ELEKTROMAGNETILISED NÄHTUSED

ÜLDISED MÄRKUSED

Teemal «Elektromagnetilised nähtused» on suur hariduslik tähtsus. Selle teema õppimisel saavad õpilased teada elektriliste ja magnetiliste nähtuste seosest ning teevad järjekordse sammu energia jäävuse ja muundumise seaduse tundmaõppimiseks, tutvudes elektrienergia muundumisega mehhaaniliseks ja mehhaanilise energia muundumisega elektrienergiaks.

Eriti suur on selle teema tähtsus õpilaste polütehnilise silmaringi laiendamisel. Selles vaadeldakse elektromagnetite ehitust ja kasutamist (elektrikõlisti, telegraaf, telefon, elektromagnetiline relee), elektrimootori töö põhimõtet ning induktsioonivoolu saamist. Toetudes teadmistele, mida õpilased saavad selle teema õppimisel, võib õpetaja suunata neid lihtsamate automaatseadmete valmistamisele. See omab suurt tähtsust õpilaste tehnilise loomingu arendamisel. Et seda teemat õpitakse õppeaasta lõpul, võib tööd jätkata IX klassis, kus materjal ei anna tehniliseks loominguks selliseid avaraid võimalusi.

Programm näeb elektromagnetiliste nähtuste õppimiseks ette üldse 13 tundi. Selleks et põhiküsimused raskusteta läbi võtta, on vaja õppimisele kuuluvat materjali hoolikalt valida.

Voolu magnetvälja õppimisel võib seose voolu suuna ja magnetvälja jõujoonte suuna vahel algul kindlaks määrata magnetnõela abil, seejärel anda aga kruvireegel. Metoodilises mõttes on kruvireegel hinnatav seetõttu, et ta väga kujukalt näitab elektrivoolu ja tema magnetvälja vahelist seost. Voolu suund (vooluring on alati suletud) on seotud jõujoonte suunaga. Teades jõujoonte suunda, võib määrata voolu suuna. Et õpilased kruvireegli hästi omandaksid, peab sellele kulutama palju aega. Vaevalt on see otstarbekas. Täiesti küllaldane on näidata selle reegli rakendamist sirg- ja ringvoolu ning vooluga pooli magnetväljade demonstreerimisel. Ainult sel juhul, kui aega jääb, võiks lahendada kruvireeglile paar-kolm õpikust võetud näidet. Igal juhul ei maksa nõuda, et kõik õpilased suudaksid seda reeglit õigesti ja kiiresti rakendada.

Kui õpilastele antakse kruvireegel, siis selliste nähtuste uurimisel, mis on seotud vooluga juhi liikumisega magnetväljas, tuleb anda ka vasaku käe reegel. Vajadus selle järele tekib iseenesest. Tõepoolest, katset jälgides õpilased näevad, et vooluga juhtme liikumise suund magnetväljas sõltub voolu suunast juhis ja magnetvälja jõujoonte suunast. Loomulikult tekib küsimus: kas ei ole kolme nimetatud suuna vahel mingit seost? Ja jälle, nagu kruvireegli korralgi, peab õpilastele näitama reegli kasutamist juhi liikumise suuna määramisel, kuid ei ole vaja raisata aega sellele, et kõik õpilased reegli kohe omandaksid. Selle reegli illustreerimiseks

on olemas väga hea plakat, mida võib tunnis edukalt kasutada. Õeldu käib ka parema käe reegli kohta, millega õpilased puutuvad kokku induktsioonivoolu käsitlemisel.

Õpikus vaadeldakse mõningaid elektromagnetite praktilise kasutamise näiteid: telegraaf, telefon, elektromagnetiline relee. Õpilased ei saa nimetatud seadmete ehitusest vajalikku ettekujutust, kui neid ei demonstreerita. Nad peavad oskama mudeli põhjal selgitada nende ehitust. Skeemide joonestamist peast ei ole vaja nõuda. Üksikutel juhtudel võib õpetaja seletust asendada õpilase poolt ettevalmistatud ettekanne koos töötavate mudelite demonstreerimisega.

Vaadeldava teema materjali õpitakse ainult kvalitatiivselt, kõik järeldused tehakse katsetest, mida demonstreerib õpetaja või mida õpilased iseseisvalt teevad laboratoorsete ja praktiliste tööde käigus. Seepärast ei tohi demonstratsioone asendada nähtuste suulise kirjeldamisega. Katsed, mida tuleb selle teema juures näidata, ei ole keerulised, kuid need on vaja siiski eelnevalt läbi mõelda ja ette valmistada.

Paljud elektromagnetiliste nähtuste demonstratsioonid on välja töötanud B. Zvorõkin. Kirjeldatud on neid A. Pokrovski toimetatud raamatus «Demonstratsioonkatsed keskkooli VI—VII klassi füüsikas»[1].

Selle teema laboratoorsed tööd ei nõua tervet tundi, neid võib orgaaniliselt siduda hariliku õppetunniga.

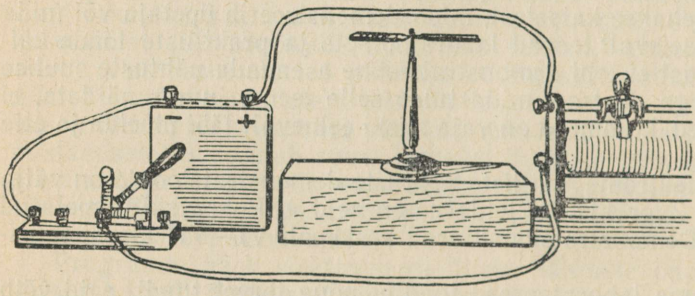
MAGNETVÄLJA MÕISTE. SIRGVOOLU MAGNETVÄLI. MAGNETVÄLJA JÕUJOONED

Selle tunni põhilisteks katseteks on Oerstedi katse ja sirgvoolu magnetvälja demonstreerimine rauapuru abil. Kui kabinetis on võimalik saada 3—4-A alalisvoolu, võib Oerstedi katse korraldada selliselt, nagu näidatud joonisel 42, valides vooluringi horisontaalsesse ossa suure ristlõikega juhtme. Kui õpetajal on kasutada ainult nõrk vool, tuleb valmistada kümnest või enamast peenest traadikeerust mähis ning demonstreerida seda selliselt, nagu näidatud joonisel 43. Et õpilased vaatleksid mähist kui ühte juhti, mähitakse selle ümber isoleerpaela. Kui magnetnõel asetub Maa magnetvälja mõjul klassi suhtes selliselt, et katset on ebamugav jälgida, tuleb magnetnõel (õpilastele märkamatult) kahe magnetpulga abil seada sobivasse asendisse. Et muuta magnetnõela poolused paremini märgatavaks, võib selle otste külge kinnitada vastavat värvi õhukesed paberitükikesed. Enne katse algust tuleb kontrollida, kas magnetnõel on küllaldaselt magnetiseeritud.

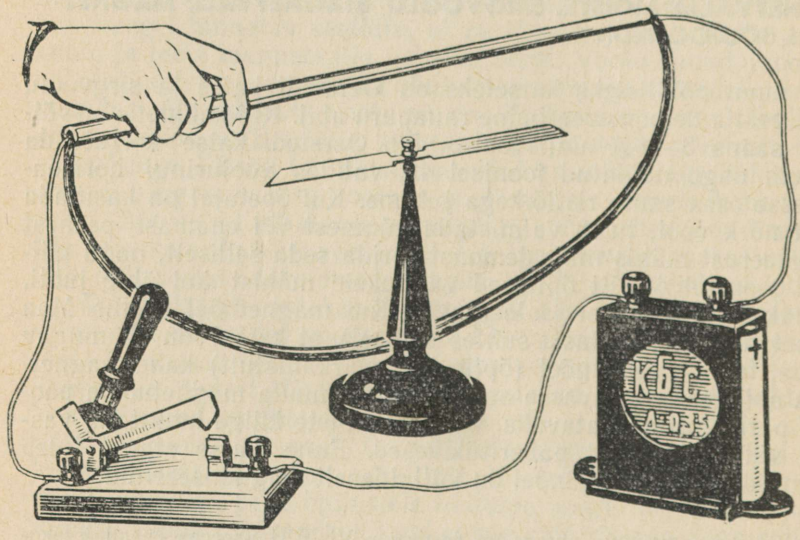
---

[1] «Демонстрационные опыты по физике в VI—VII классах средней школы», под ред. А. А. Покровского. изд. 2. М., Учпедгиз, 1956.

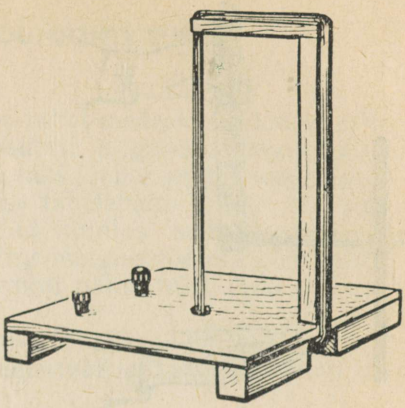
Sirgvoolu magnetvälja demonstreerimiseks võib kasutada traatmähist kahekümnest või enamast keerust (see sõltub vooluallika pingest). Mähis kinnitatakse selliselt, nagu näidatud joonisel 44. Mähise sirgjooneline lõik, millele soovitakse juhtida õpilaste tähelepanu, mähitakse isoleerpaelaga. Sellisel juhul on nähtus hästi jälgitav ka nõrkade voolude puhul. Esimestes katsetes lülitatakse voolu suuna muutmiseks vooluallikaga ühendatud juhtmeotsad lihtsalt ümber. Edaspidi on mugavam kasutada ümberlülitit, mille võib kokku panna kahest ühepooluselisest lülitist, nagu on näidatud joonisel 45. Kui piirduda jõujoonte kuju vaatlemisega ja



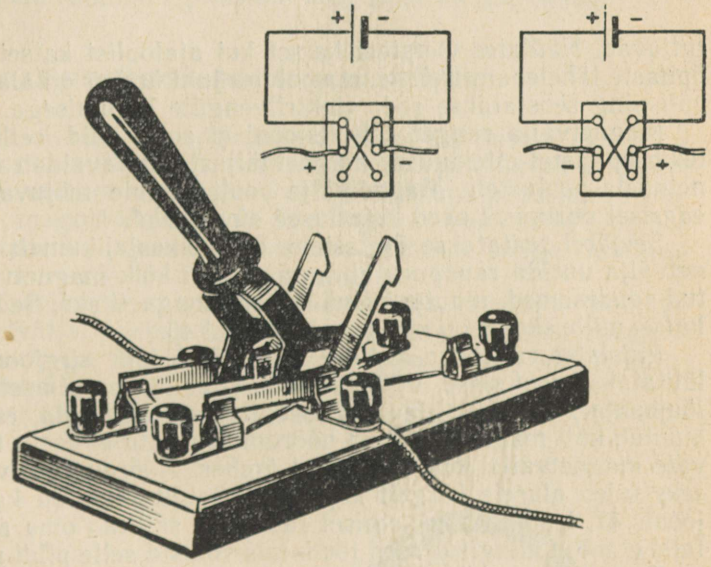
Joon. 42.



Joon. 43.



Joon. 44.

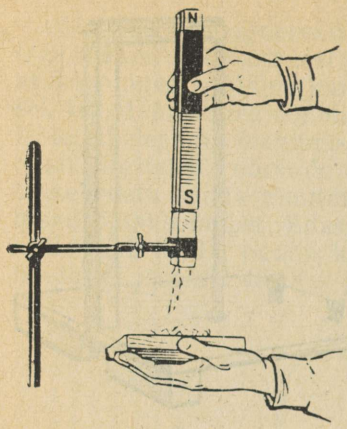


Joon. 45.

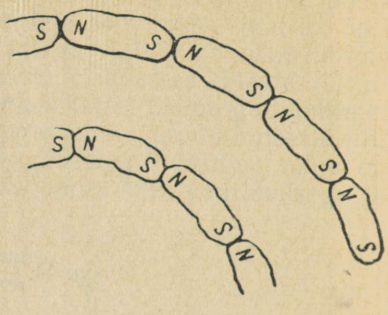
mitte uurida nende suunda, võib hea efekti saavutada ka vahelduvvoolu abil.

Katse juures on tarvis rauapuru puistamiseks aukudega karpi. Kui spetsiaalne karbike puudub, võib kasutada viksikarpi, mille kaande on naela või naaskliga torgatud küllaldane arv väikesi auke.

Esitades materjali voolu magnetvälja kohta, peab arvestama, et õpilased on magnetnõelaga ja voolu magnetilise toimega juba



Joon. 46.



Joon. 47.

tuttavad. Näidates Oerstedi katset kui ajaloolist katset, juhitakse õpilaste tähelepanu sellele, et vooluga juhi ümber on alati magnetväli ning seostatakse seda elektrilaengute liikumisega.

Magnetvälja ranget definitsiooni ei anta, kuid sellest katsest tekib õpilastel ettekujutus magnetväljast, mis avaldab mõju magnetnõela poolustele. Magnetvälja poolt voolule mõjuvate jõudude edasisel uurimisel need kujutlused süvenevad.

Seejärel teatatakse õpilastele, et üksikasjalikumalt võib magnetvälja uurida rauapuru abil, mis, nagu kõik magnetvälja asetatud raudesemed, muutuvad väikesteks magnetiteks. Seda kinnitab katse, mille skeem on kujutatud joonisel 46.

Puistates rauapuru alusele, mida läbib juhi sirgjooneline lõik, lülitatakse vool sisse. Võib juhtuda, et rauapuru ei asetu otsekohe jõujoonte sihis. Sel juhul tuleb õpilastele selgitada, et rauapuru muutub küll magnetiks, kuid hõõrdumise tõttu ei asetu talle mõjuvate magnetvälja jõudude mõjul ümber. Hõõrdumise vähendamiseks tuleb alusele kergelt koputada. Selgituseks on kasulik teha joonis 47. Voolu katkestamisel rauapuru säilitab oma asendi, sest talle ei mõju mingisugused jõud, mis võiksid selle pildi rikkuda.

Katse käigus ei näe õpilased rauapuru paigutust demonstratsioonilaual. Sellegi poolest ei tasu katset projitseerida ekraanile ega demonstreerida peegli abil. Õpetaja võib lihtsalt katseriistaga klassis ringi käia ja õpilastele tekkinud magnetspektrit näidata. Vahetust spektri vaatlemisest saavad õpilased elavama mulje kui mistahes projektsioonist.

Seejärel võetakse kasutusele jõujoonte mõiste. Katse vaatlemisel õpilased nägid, et rauapuru ei asetu ümber juhi mitte korrapäratult, vaid ringikestena. Pärast seda tuleb anda magnetvälja jõujoone definitsioon sellisel kujul nagu õpikuski.

VOOLU JA TEMA MAGNETVÄLJA JÕUJOONTE SUUND. KRUVIREEGEL

Seos voolu suuna ja jõujoonte suuna vahel määratakse katseliselt. Selleks kasutatakse riista, mida kasutati sirgvoolu magnetvälja demonstreerimiseks. Lauale vooluga juhi ümber asetatakse mõned magnetnõelad (3—4 tükki). Juhitakse tähelepanu sellele, et magnetnõelad pöörduvad ja orienteeruvad kindlas suunas. Seejärel muudetakse voolu suunda juhis ning magnetnõelad pöörduvad 180°. Et õpilased võiksid katset paremini näha, tuleb seda korrata mitu korda.

Kuna magnetnõelad asetuvad magnetväljas jõujoonte sihis, järeldub tehtud katsest, et voolu magnetvälja jõujoonte suund on seotud voolu suunaga juhis.

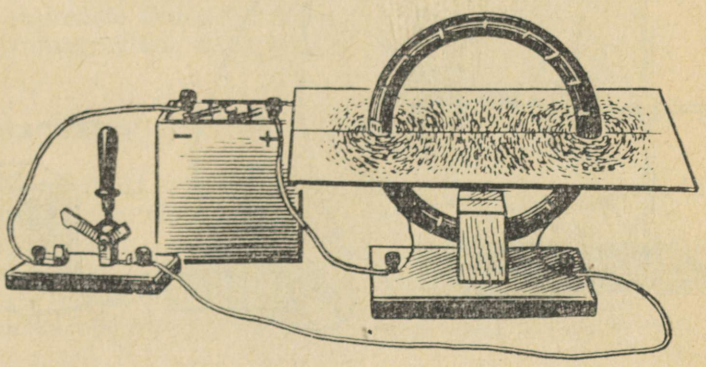
Jõujoonte suuna võib määrata magnetnõelte abil: magnetnõel asetub magnetväljas piki jõujoont, kusjuures nõela põhjapoolus näitab jõujoone suunda. Õpilastele võib anda ka kruvireegli.

RINGVOOLU JA VOOLUGA POOLI MAGNETVÄLI

Selles tunnis oleks vaja ringvoolu demonstreerimiseks vastavat riista, mis on ka müügil (joon. 48), või endavalmistatud solenoidi (joon. 49). Samuti on vaja suure keerdude arvuga pooli koos raudsüdamikuga, magnetnõela alusel ja rauapuru. Demonstratsiooniks võib valmistada ka peenikeste elastsete juhtmete külge riputatud kerge pooli, mis on keritud paberist alusele.

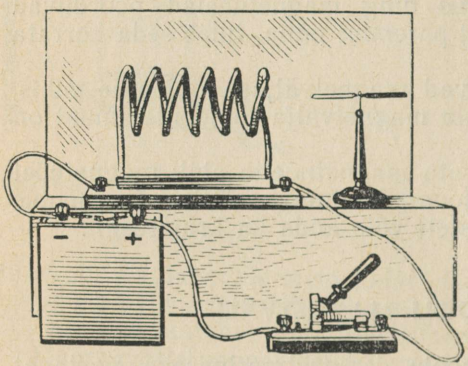
Algul vaadeldakse ringvoolu magnetvälja, seejärel vooluga pooli magnetvälja. Võib piirduda aga ka ainult pooli magnetvälja vaatlemisega. Pooli magnetvälja kujutatakse mitme ringvoolu magnetvälja summana.

Kasutades ringvoolu demonstreerimise riista, mida võib vaa-

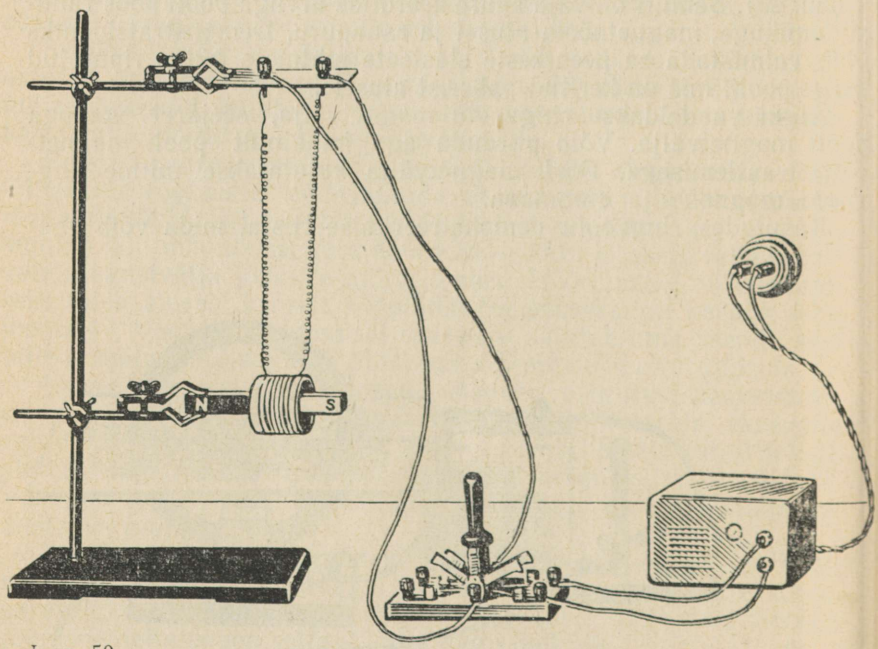


Joon. 48.

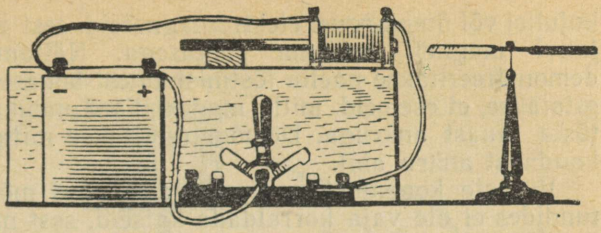
delda kui laia tasapinnalist pooli, veendutakse rauapuru abil magnetvälja olemasolus vooluga pooli ümber ning vaadeldakse tema jõujoonte pilti. Magnetspektrilt on küllaltki hästi näha, et pooli sees võib jõujooni lugeda üksteise suhtes paralleelseteks. Jõujoonte suund, nagu sirgvoolu puhulgi, määratakse kruvireegliga.



Joon. 49.



Joon. 50.



Joon. 51.

Siit tehakse järeldus, et vooluga pool mõjub magnetnõelale nagu magnet, mille polaarsus sõltub voolu suunast. Sõltuvust magneti pooluste ja voolu suuna vahel pole aga vaja meeles pidada. Seda saab magnetnõela abil alati kindlaks teha.

Seejärel näidatakse mõningaid katseid, mis veenavad selles, et vooluga pool on tõepoolest magnet. Kui kabinetis leidub suurte keerdude arvuga pool, siis võib näidata, kuidas see ilma raudsüdamikuta hoiab ülal terve kobara väikesi naelu. Kui õpetaja ei soovi klassile näidata, et naelad tõmbuvad ka pooli sisse, võib ta pooli avause kinni kleepida.

Võib kasutada ka magneti lähedale paigutatud kergesti liikuvat pooli (joon. 50). Voolu sisselülimisel tõmbub see magneti poole ja asetub selle ümber. Voolu suuna muutmisel tõukub pool magnetist, pöördub ning tõmbub uuesti magneti poole, kuid nüüd on pooli otsad vahetatud. Pooli käitumist on lihtsam jälgida, kui värvida pooli üks ots näiteks kollaseks, teine — roheliseks (punane ja sinine värv antud juhul ei sobi).

Samas tunnis on võimalus näidata ka pooli magnetvälja tugevnemist raudsüdamiku mõjul. Seda tehakse selliselt nagu näidatud joonisel 51. Vooluringi lülitatud reostaadi abil valitakse selline vool, mille puhul pool avaldab magnetnõelale vaid nõrka mõju, ning muutmata nõela asendit ja voolu tugevust, asetatakse pooli sisse südamik. Efekt on ilmne. Magneti asemel võib võtta naela ja, asetanud pooli vertikaalselt, näidata, et vooluga pool ilma südamikuta tõmbab naela nõrgalt, südamikuga varustatult see mõju aga suureneb. Õpilastele teatatakse, et seda nähtust kasutatakse elektromagnetites, mida käsitletakse järgmises tunnis.

ELEKTROMAGNETID

Kinnistades teadmisi vooluga pooli magnetväljast ja raudsüdamiku mõjust sellele, tõstetakse üles küsimus selle nähtuse praktilisest rakendamisest. Teatades, et sellist pooli nimetatakse elektromagnetiks, uuritakse, millise kujuga elektromagnet on raud- ja malmesemete tõstmiseks kõige sobivam. Õpilased jõuavad otsusele, et selleks otstarbeks on kõige parem kasutada hobuseraua-

kujulisi või ümmargusi elektromagneteid, sest eset tõmmatakse sel juhul magneti mõlema poolusega. Näitamata veel ankrut, demonstreeritakse naelte tõstmist ühest kohast teise. Seejärel selgitatakse, et esemeid, millel magnetilised omadused puuduvad, saab tõsta rauast ankruga. Demonstreeritakse mitmesuguste detailide kandmist ankru abil.

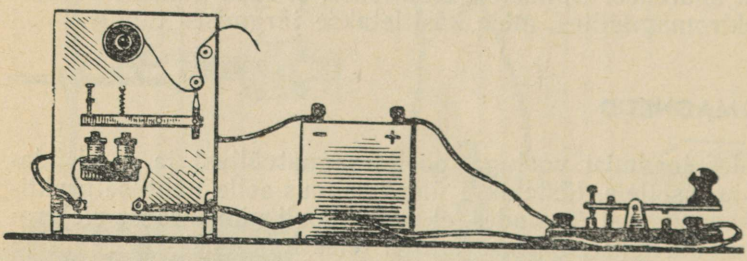
Väheste kogemustega õpetajad leiavad mõnikord, et sellistes tundides ei ole vaja korraldada katseid, sest nad on väga lihtsad ja õpilased võivad õpetaja jutustust mõtteliselt illustreerida. Tuleb silmas pidada, et kaugeltki mitte kõik kaheksanda klassi õpilased ei oma sellist võimet. Lihtsamadki katsed, kui neid õigesti korraldada, mitte ainult ei loo õigeid kujutlusi õpitavatest nähtustest, vaid tõstavad ka huvi füüsika õppimise vastu ja soodustavad tehnilise mõtlemisviisi arengut. Seepärast ei tohi katseid mitte mingil juhul vältida. Algaja õpetaja peab pidevalt õppima esitama kõige lihtsamaid katseid, leidma neist materjali vaatlusteks ja õpetama lapsi neist praktilisi järeldusi tegema, algul kõige lihtsamaidki.

Pärast lühikest tutvumist elektromagnetitega asutakse õpikus kirjeldatud laboratoorse töö juurde.

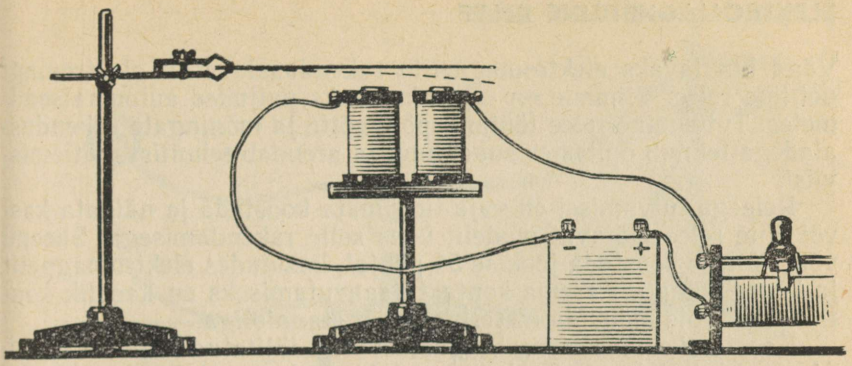
Elektromagnetit kasutatakse näiteks elektrikõlistis. Materjal selle kohta on antud harjutuses ja kõlisti skeemi ei ole vaja pähe õppida. Toodud joonise põhjal lastakse õpilastel selgitada elektrikõlisti töötamist ja lugeda skeemi. Selle harjutuse võib anda ka koduse ülesandena. Vastamise ajal võib õpilane kasutada õpiku skeemi, mis projitseeritakse epidiaskoobi abil ekraanile. Seejuures tuleb näidata ka töötavat elektrikõlistit.

ELEKTRITELEGRAAF JA TELEFON

Elektritelegraafi ehitust võib selgitada töötava mudeli abil. Selleks on küllaldane koostada ühepoolse telegraafiside skeem (joon. 52). Et õpilased mõistaksid, milles seisneb morsesignaalide edasiandmine, riputatakse tahvlile tabel morsetähestikuga ja lastakse



Joon. 52.



Joon. 53.

mõnel õpilasel võtme abil paar-kolm sõna edasi anda. Klass jälgib saadet kuulmise järgi.

Kuigi õpilased pole veel häälenähtusi õppinud, võib neile õpiku eeskujul anda esialgse ettekujutuse telefonist ja mikrofonist. Kõigepealt on vaja näidata, et hääleallikaks on võnkuv keha, mis paneb võnkuma ka ümbritseva õhu. Tunni põhiküsimusest kõrvale kaldumata võib panna siin kruustangide vahele võnkuma metalljoonlaua, vähendades järk-järgult selle võnkuva osa pikkust. Klass jälgib joonlaua võnkesageduse muutumist ja teatud kõrgusega helide tekkimist kuulmisaistingu põhjal.

Hästi on telefoni ja mikrofoni käsitlemise metoodika läbi töötatud N. Šahmajevil[1]. Ta soovitab kõigepealt demonstreerida söepuru takistuse muutumist mehhaanilisel mõjutamisel. Selleks valmistatakse demonstratsioonkapsel. «Süsikapslina kasutatakse õhukest orgaanilisest klaasist valmistatud karpi, mille põhi on metallist. Karpi puistatakse vaseviilmetega segatud jämedat söepuru. Elastne membraan kleebitakse liimi БФ-2 abil kummirõngale, mis omakorda kleebitakse karbi külge». Vooluallikast, galvanomeetrist ja kapslist koostatakse vooluring. Membraanile surumisel söepuru takistus väheneb ja voolutugevus vooluringis kasvab. Asendanud demonstratsioonkapsli telefoniga, korratakse katset. Kapsli puudumisel võib piirduda katse teise osaga.

Telefoni töötamispõhimõtte selgitamiseks soovitab N. Šahmajev katset, mille skeem on esitatud joonisel 53. Muutes vooluringi ühendatud reostaadi takistust, jälgitakse teraslehe painde muutumist. Seejärel võib asuda telefoni ehituse juurde ja joonistada üldise skeemi. Lõpuks on kasulik demonstreerida ringfilmi «Telefoni ja mikrofoni töötamise põhimõte».

---

[1] «Методика преподавания физики в восьмилетней школе», под ред. А. В. Перышкина. М., Изд-во АПН РСФСР, 1963, стр. 286—287.

ELEKTROMAGNETILINE RELEE

Väga huvitavaks elektromagnetite rakendusalaks on elektromagnetiline relee. Viimane on tähtsaks osaks paljudes automaatseadmetes. Tutvumine relee töötamispõhimõtte ja mõningate rakendusaladega tekitab õpilastes suurt huvi ja arendab tehnilist mõtlemisviisi.

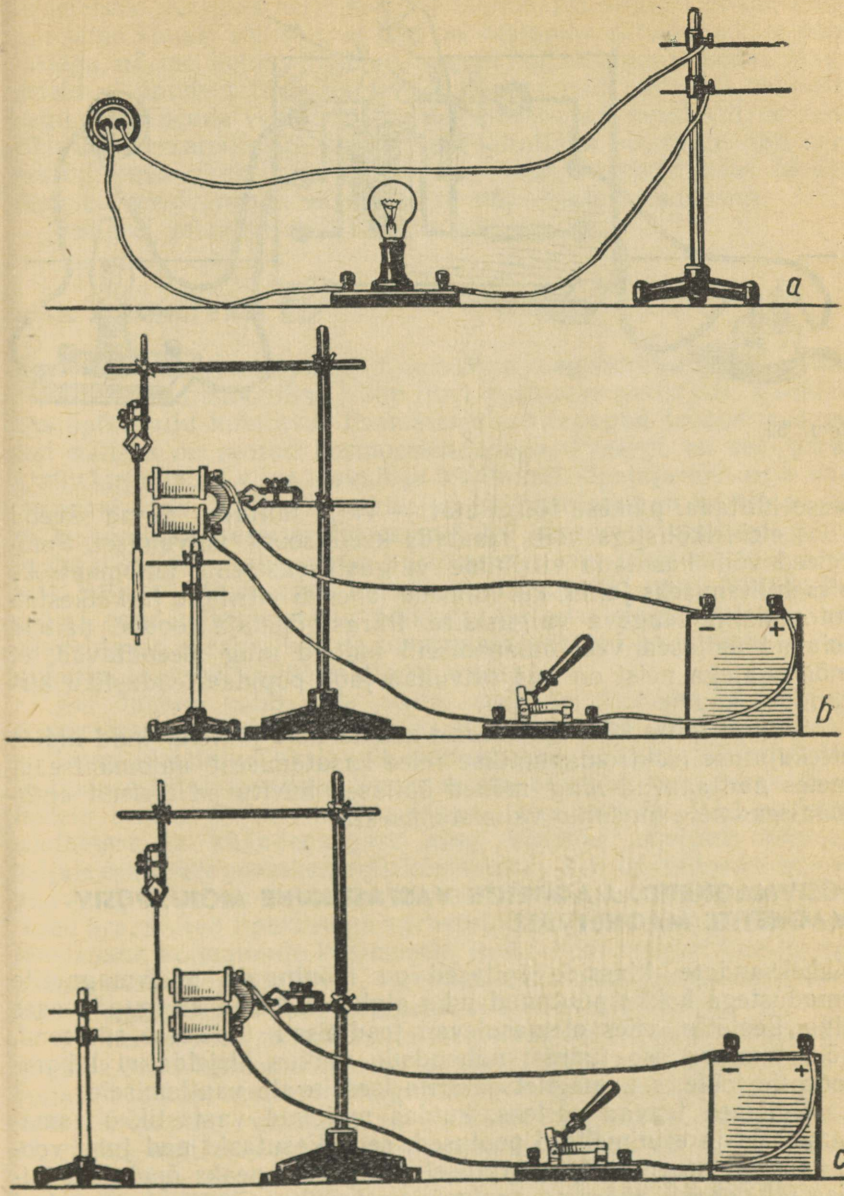
Releega tutvumisel on vaja tingimata koostada ja näidata kas või ühte relee töötavat mudelit koos selle rakendamisega. Skeemi võib näiteks koostada joonise 54 põhjal, kasutades elektromagnetit ja kontaktplaati. Parema kontakti saavutamiseks on kasulik kontaktplaadi ots mähkida metall-lehe või stannioliga.

Koostatakse vooluring valgustusvõrku lülitatud lambist (joon. 54, *a*), selgitatakse, miks lampi ei läbi vool ning juhitakse tähelepanu avatud kontaktidele. (Kontaktideks võib võtta «konstruktori» vardad.) Näidanud õpilastele vooluringi elektromagnetist ja taskulambi patareist (või mõnest teisest nõrka voolu andvast voolualikast), esitatakse küsimus: kuidas võiks selle seadme abil sulgeda lambi vooluringi, olles temast teatud kaugusel? Koostatakse relee skeem (joon. 54, *b*). Lähendame kontaktplaadi avatud kontaktidele (s. t. kontaktidele, mis on avatud siis, kui elektromagneti mähist ei läbi vool) ja elektromagneti vooluringi sulgemisel süttib lamp. Samal viisil demonstreeritakse ka normaalselt suletud kontaktidega relee skeemi (joon. 54, *c*).

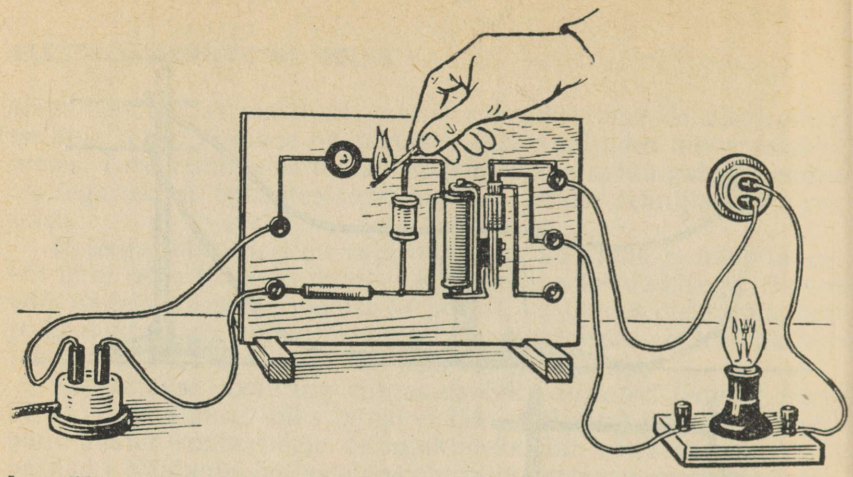
Loomulikult tunnevad õpilased huvi sellise seadme kasutamise vastu. Asjahuvilistel võib lasta valmistada seadme töötava mudeli, mida saab demonstreerida edaspidi. See võib olla näiteks avariivalgustuse sisselülitamise skeem või skeem trollibussi valgustuse sisselülitamiseks kaarjuhtme eemaldumisel liinijuhtmest. Kui sellist seadet füüsikakabinetis pole, võib õpilastes huvi äratamiseks ja elektromagnetilise relee praktilisest kasutamisest mingisuguse ettekujutuse andmiseks näidata (ilma järgneva küsitluseta) paljudes füüsikakabinettides leiduvat fotoreleed (joon. 55). Õpilastele tuleb öelda, et juhtivasse vooluringi on lülitatud fototakisti — seade, mille takistus valguse mõjul väheneb. Kui seda valgustada näiteks tuletiku või küünlaga, siis takistit, ja järelikult ka relee mähist, läbib nõrk vool. Seejärel südamik magnetiseerub ja tõmbab külge ankru, mis avab või suleb juba lambi, elektrimootori või kella vooluringi.

Selliste nähtuste kasutamine, mille mehhanismi õpilased ei tunne, õigustab ennast selle suure huvi tõttu, mis tekib õpilastes mitmesuguste automaatseadmete mudelitega tutvumisel.

Õpilastele võib teha ülesandeks leida näiteid selliste seadmete kasutamise kohta, kus fototakistile langeva valgustuse muutumisega kaasneb mitmesuguste riistade sisse- või väljalülitamine. Kui õpilastel tekib raskusi, võib õpetaja neid esialgu veidi aidata. Näiteks: päikese loojumisel saab tänavavalgustuse automaatselt



Joon. 54.



Joon. 55.

sisse lülitada, päikese tõusu ajal — välja lülitada. Sama skeemi koos elektrikõlistiga võib kasutada keelutsooni valvamisel. Fotoreleed võib kasutada vitriinide valgustussüsteemi automaatseks sisselülitamiseks juhul, kui inimene läheneb vitriinile ja katkestab fototakistile langeva valguskiire. Pärast õpetaja toodud näiteid leiavad õpilased veel omapoolseid näiteid ning meenutavad, et mõningatega neist on nad tutvunud juba populaarteadusliku kirjanduse kaudu.

Sugugi mitte kõik õpilased ei mõista neid näiteid, kuid üldise ettekujutuse elektromagnetilise relee kasutamisest automaatseadmetes nad saavad ning mõned õpilased huvituvad tõsiselt automaatseadmete mudelite valmistamisest.

PÜSIVMAGNETID. MAGNETITE VASTASTIKUNE MÕJU. PÜSIVMAGNETITE MAGNETVÄLI

Kaheksandate klasside õpilased on mõningate püsivmagnetite omadustega kokku puutunud juba algklassides ja ka igapäevases elus. Seetõttu, viies olemasolevad teadmised üldisesse süsteemi, võib tunduva osa tunnist pühendada õpikus kirjeldatud laboratoorsele tööle, s. t. magnetspektrite iseseisvale vaatlemisele.

Õpilased teavad näiteks, kuidas mõjuvad vastastikku samanimelised ja erinimelised poolused, seda kasutasid nad juba vooluga pooli magnetvälja uurimisel. Seepärast peaks õpetaja põhilise tähelepanu pöörama pooluste vastastikuse mõju kui poolusi ümbritsevate magnetväljade vastastikuse mõju selgitamisele. Selleks on vaja näidata kahe teineteisest teatud kaugusel asetseva magneti, näiteks kahe rõngakujulise keraamilise magneti mõju

teineteisele. Kui üks neist asetada läbipaistva silindri põhja, teine aga tema kohale selliselt, et nad on vastamisi samanimeliste poolustega, näeme, kuidas ülemine magnet hõljub alumise kohal. Magneteid ei õnnestu teineteisele lähendada: nad käituvad selliselt, nagu oleks nende vahel elastne deformeerunud keskkond. Samuti võib ühe keraamilistest magnetitest kinnitada plastiliini abil kergesti liikuva vankrikese külge ning teist magnetit käes hoides demonstreerida nende vastastikust mõju teatud kauguselt.

Seejärel korraldatakse laboratoone töö.

MAA MAGNETVÄLI

Erinevalt eelmistest õpikutest, kus Maa magnetvälja kohta esitati põhiliselt traditsioonilist, vähe huvi pakkuvat materjali, sisaldab uus õpik palju huvitavat lisamaterjali. Mõningad toodud andmetest näiteks on seotud kosmoselendudega. Pealegi on see paragrahv kirjeldatud väga elavalt ja huvitavalt. Õpetaja võib selle sisu ise edasi anda, kuid selle materjali käsitlemiseks on ka teine võimalus: õpilaste iseseisev töö raamatuga. Järgnevas vestluses juhib õpetaja õpilaste tähelepanu küsimustele, mis nõuavad lisaselgitust. Selline võte on väga kasulik, sest kaugeltki mitte kõik õpilased ei oska selles vanuses õpikuga töötada, nagu vaja. Kuna vaadeldavas paragrahvis demonstratsioonkatsed puuduvad, on see materjal iseseisvaks tööks kõigiti sobiv.

Kui õpetaja valib selle võtte, võib ta toimida järgmiselt: demonstratsioonilauale asetatakse gloobus, millel on Maa magnetpoolused tähistatud vastavalt sinisest (magnetiline põhjapoolus) ja punasest (magnetiline lõunapoolus) paberist lipukesega. Õpilastele antakse õpikust lugeda see osa, kus on juttu Maa magnetpoolustest ja käändenurgast ning lastakse suuliselt vastata neljale esimesele enesekontrolli küsimusele. Kui lugemine on lõppenud ja õpilased on valmistunud vastamiseks, kuulab õpetaja vastused ära, näitab lipukestega varustatud gloobust ning juhib klassi tähelepanu kolmandale küsimusele (miks Maa magnetiline lõunapoolus asub põhjapoolkeral, õigemini, miks põhjapoolkeral asuvat Maa magnetilist poolust nimetatakse lõunapooluseks).

Õpikus on Maa magnetvälja iseloomustatud ainult käändenurgaga ja seda iseloomustust ei maksa laiendada. Seejärel leiavad õpilased õpikust materjali magnettormide ja magnetiliste anomaaliate kohta ning valmistuvad vastama ülejäänud küsimustele. Järgnevas vestluses selgitatakse, miks laetud osakeste vood kutsuvad esile Maa magnetvälja muutusi, s. t. magnettorme. Lõpuks loevad õpilased läbi paragrahvi ülejäänud osa.

Antud paragrahvi selline käsitlemine võimaldab õpilastel materjali sügavamalt omandada kui õpetaja jutustuse korral, sest vaevalt on õpiku materjalile vaja veel midagi juurde lisada.

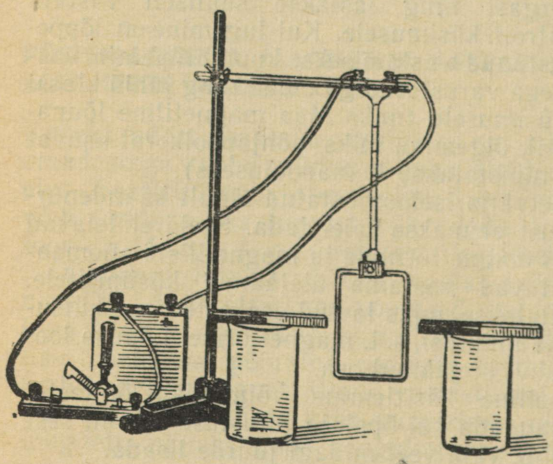
MAGNETVÄLJA MÕJU VOOLUGA JUHILE. VOOLUGA RAAMI PÖÖRLEMINE MAGNETVÄLJAS

Magnetvälja mõju vooluga juhile käsitletakse tavaliselt seepärast, et vasaku käe reegli põhjal selgitada vooluga raami pöörlemise põhjusi magnetväljas, et selgitada elektrimootori töötamispõhimõtet. See ei ole ainus ega lihtsaim võte antud nähtuse selgitamiseks. Vooluga raami magnetvälja ja magneti vastastikust mõju võib vaadelda ka vahetult. Allpool käsitletaksegi seda võtet.

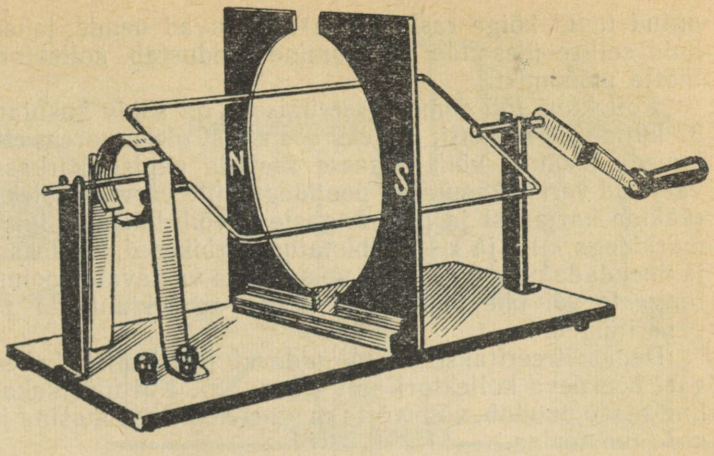
Programmis on ette nähtud küsimus magnetvälja mõjust vooluga juhile. See annab võimaluse laiendada ettekujutust magnetvälja kohta ja otsustada tema üle mitte ainult mõju põhjal magnetnõelale, vaid ka vooluga juhile. Kui õpetaja peab vajalikuks raami pöörlemist selgitada traditsioonilisel meetodil, on vaja sisse tuua ka vasaku käe reegel.

Hobuserauakujulise magneti pooluste vahele riputatakse elastsete juhtmete abil sirge juhtmelõik. Elastseteks juhtmeteks võib võtta peene vasktraadi, nääripuu karra ribad või stanniollindid. Vooluringi tuleb lülitada ka reostaat, sest vaadeldava juhtmelõigu takistus on väike ja vooluallikas võib rikneda.

Vestluse algul selgitatakse välja, mil viisil kaks magnetit teineteisele mõjuvad. Esitatakse küsimus: «Mis juhtub, kui vooluga juht asetada hobuserauakujulise magneti magnetvälja?» Sulgenud vooluringi, selgub, et juht hakkab liikuma. Muutes voolu suunda ja magneti pooluste asendit, jõutakse järeldusele, et juhile mõjuvate jõudude suund sõltub voolu suunast ja magneti pooluste asendist. Selgitatakse, millised energia muundumised selles katses toimuvad. Jõutakse järeldusele, et elektrienergia võib muunduda mehhaaniliseks energiaks. Millistes seadmetes toimub selline



Joon. 56.



Joon. 57.

energia muundumine? Enamik õpilasi teab, et elektrienergia üleminek mehhaaniliseks energiaks toimub elektrimootorites.

Tunni teises osas on vaja joonisel 56 näidatud raami. Selle puudumisel võib valmistada paberist karkassile kerge lameda ristkülikukujulise pooli, mis riputatakse üles peene kumminööri abil. Puuliistude vahele kinnitatud raamipooled värvitakse roheliseks ja kollaseks, et oleks parem jälgida.

Näidatakse pooli ja meenutatakse, et voolu juhtimisel ühes suunas tekib magneti põhjapoolus, teises suunas — lõunapoolus. Pooluste asetus sõltub voolu suunast. Et muuta poolused vastupidisteks, peab muutma voolu suunda. Asetanud pooli magneti pooluste vahele, nagu näidatud joonisel 56, esitatakse enne voolu sisselülitamist küsimus: «Kas pool jääb paigale?» Õpilaste arvamusi kontrollitakse katseliselt: pool pöördub 90° võrra selliselt, et magneti põhjapooluse vastu asetub pooli põhjapoolus. Kui pool on riputatud üles kummi abil, siis tuleb ta pärast voolu katkestamist esialgsesse asendisse tagasi. Arutatakse, mis juhtuks, kui vool oleks vastupidise suunaga, ning näidatakse, kuidas asetub pool sel juhul.

Pool pöördub korra ja jääb siis paigale. Kuidas sundida pooli veel kord pöörduma? Selleks peab muutma voolu suunda. Tõsi, seda peab tegema hetkel, kui ta inertsi tõttu on läbinud tasakaaluasendi, vastasel korral tõukuvad pooli mõlemad poolused ühtviisi magneti poolustest ja pool jääb paigale. Õpetaja peab sellega arvestama, kuid nõrga ettevalmistusega klassilt pole seda küsitlemisel vaja nõuda. Et näidata, mis juhtub voolu suuna muutmisel, pööratakse pooli tasakaaluasendit veidi edasi. Huvi äratamiseks võib lasta õpilastel välja mõelda seadme, mis võimaldaks parajal hetkel automaatselt voolu suunda muuta. Kuna kollektori töö põhimõtte mõistmine valmistab enamikule õpilastest raskusi (see on

antud tunni kõige raskem osa), nurjuvad nende lahenduskatsed, kuid sellise ülesande püstitamine soodustab kollektori töö põhimõtte mõistmist.

Kollektori töö demonstreerimiseks on sobiv kasutada joonisel 57 kujutatud maketti. Selleks et mähist oleks parem ette kujutada lameda poolina, võib temasse asetada papist karkassi, mis on värvitud varem kasutatud poolidega ühte värvi. Et oleks mugavam rääkida harjadest ja poolrõngastest, võib harjade juurde asetada märkidega «+» ja «—» tähistatud karbikesed (näiteks tikutopsid) ja ühendada need tinglikult vooluallika vastavate poolustega, poolrõngaste või ühe poolrõnga külge aga kinnitada plastiliiniga paberitükike.

Demonstreeritakse raami pidevat pöörlemist kahest poolrõngast koosneva kollektori abil (joon. 58). Kui füüsikakabinetis selline seade puudub, võib võtta magnetelektrilise masina ja kasutada seda mootorina.

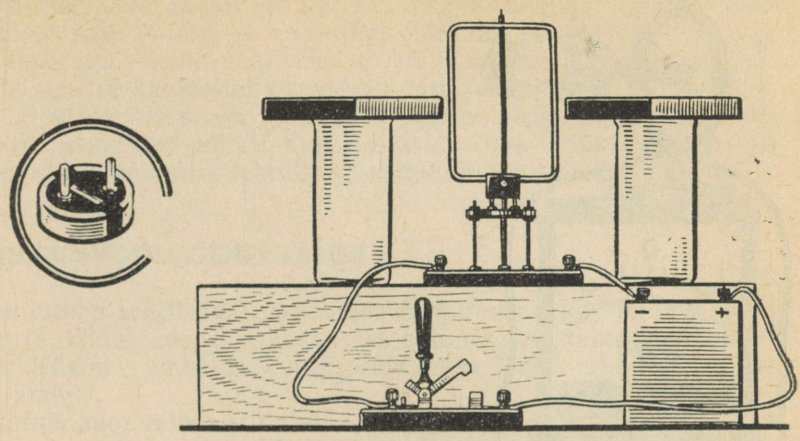
ALALISVOOLUMOOTOR

Tunni eesmärk: tutvustada õpilasi elektrimootoriga. Kasutades ettekujutust magnetväljas pöörlevast vooluga raamist, koostatakse järk-järgult koos õpilastega elektrimootor. On ilmne, et joonise 58 põhjal koostatud seade ei arenda suurt jõudu. Jõudu võib tunduvalt suurendada, kerides mähise raudsüdamikule. Raamatus «Füüsika demonstratsioonkatsed...»[1] on kirjeldatud veenev katse, mis võimaldab näidata raudsüdamiku osatähtsust elektrimootori ankrus. Selleks sobib eelmises tunnis kasutatud seade. «Vooluring suletakse ja, kui raam on saavutanud ühtlase pöörlemiskiiruse, hakatakse magneteid järk-järgult eemaldama, nõrgendades sellega magnetvälja. Raam hakkab pöörlema ikka aeglasemalt ja aeglasemalt ning jääb lõpuks seisma.

Seejärel lülitatakse vool välja ja, muutmata magnetite asendit, paigutatakse raami sisse laboratoorse kalorimeetri välimine anum, mis tavaliselt on valmistatud rauast. Raam tõugatakse pöörlema ja vool lülitatakse sisse. Raami sees asuv raudvõre tugevdab magnetvälja ning raam jätkab pöörlemist seni, kuni mähises on vool.» Õpilastele saab mõistetavaks, et ankru poolt arendatava jõu suurendamiseks on vaja suurendada mähise keerdude arvu.

Edasi vaadeldakse kollektori osa ankru ühtlasel pöörlemisel. Seejärel pööratakse tähelepanu elektromagneti magnetväljale ning demonstreeritakse mõne mootori, näiteks paljudes füüsikakabinettides leiduva universaalse elektrimootori töötamist. Selle mootori võib lülitada järjestikku reostaadiga, et näidata, kuidas reguleeritakse mootori pöörete arvu.

[1] «Демонстрационные опыты по физике в VI—VII классах средней школы», под ред. А. А. Покровского, изд. 2, М., Учпедгиз, 1956.



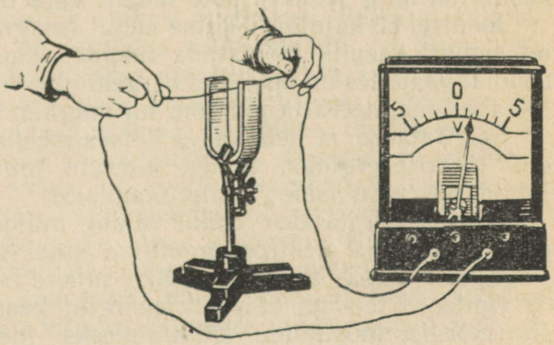
Joon. 58.

Õpilastel tuleb lasta tuua näiteid elektrimootorite kasutamisest igapäevases elus, alates majapidamisriistadest (habemeajamismasinad, tolmuimejad, õmblusmasinad, ventilaatorid) ning lõpetades trammi, trollibussi ja elektrirongiga.

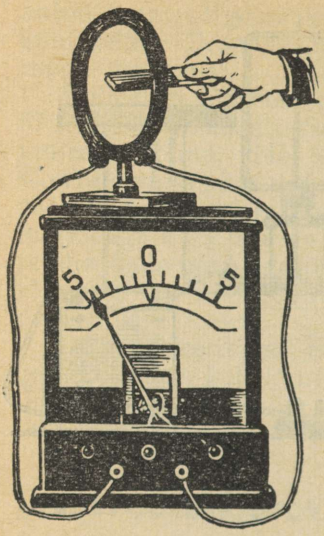
Ülejäänud osa tunnist kulub õpikus kirjeldatud laboratoorsele tööle.

ELEKTROMAGNETILINE INDUKTSIOON

Õpikus on elektromagnetilist induktsiooni käsitletud nähtusena, mis tekib ainult magnetjõujoonte lõikumisel liikuva või paigalseisva juhiga (pooliga). VIII klassis ei ole võimalik magnetvälja kvantitatiivselt iseloomustada. Nähtuse selgitamisel peab õpetaja seda silmas pidama ja kasutama ka vastavaid väljendeid.



Joon. 59.



Joon. 60.

Rääkides Faraday poolt püstitatud ülesandest, näidatakse ka vastavat katset (joon. 59). Kui galvanomeeter ei ole küllalt tundlik, võib sirge juhtme asemele võtta Oerstedi katses kasutusel olnud pooli. Eelkõige tehakse kindlaks, milline on hobuserauakujulise magneti jõujoonte suund. Küsimuse täpsemaks uurimiseks joonistatakse tahvlile magnet ja tema jõujooned. Katsest järelduvad induktsioonivoolu tekkimise tingimused. Need järeldused on antud ka õpikus. Tuleb rõhutada, et induktsioonivool tekib ainult suletud juhis. Muutnud juhi liikumise suunda või vahetanud magneti poolused, juhitakse tähelepanu voolu suuna muutumisele. See on vajalik selleks, et selgitada, miks raami pöörlemisel magnetväljas voolu suund raamis muutub kaks korda ühe täispöörde jooksul. Parema käe reeglit ei ole õpikus selle nähtuse selgitamisel kasutatud ning seetõttu pole reeglit vaja tingimata sõnastada.

Joonisel 60 kujutatud katse puhul (magneti viimine pooli sisse) on samuti kasulik joonistada magnet koos jõujoontega tahvlile. Joonist vaadates on õpilastel kergem ette kujutada, et pooli keerud lõikavad magnetvälja jõujooni nii magneti kui ka pooli liikumisel.

Selgitatakse, et neis kahes katses mehhaaniline energia muundub elektrienergiaks. Sellist energia muundumist kasutatakse laialdaselt induktsioonivoolu saamisks.

Lõpuks selgitatakse õpiku väidet, milles öeldakse, et Faraday poolt avastatud elektromagnetiline induktsioon on «üheks kõige väljapaistvamaks avastuseks XIX sajandil».

Õpilased teavad, et elektrienergiat kasutatakse valgustuseks, transpordis, tööpinkide käivitamiseks jne. Ilma elektrivooluta

poleks mõeldav raadiovastuvõtjate, televiisorite ja paljude teiste seadmete töö. Teame, et enamikul juhtudel on tegemist induktsioonivooluga. Voolu saadakse elektrijaamades ning see antakse sageli suurtel kaugustel asuvatele tarbijatele edasi mööda juhtmeid. Õpetaja võiks veel nimetada, millised elektrijaamad varustavad seda asustatud punkti, kus kool asub. Ilma induktsioonivooluta poleks olnud võimalik tehnika ja raadiotehnika nii kiire areng.

VAHELDUVVOOLUGENERAATOR

Selles tunnis selgitatakse vahelduvvoolugeneraatori töötamispõhimõtet ja näidatakse, et igapäevases elus me kasutamegi vahelduvvoolu. Küsimus vahelduvvoolu alaldamisest ei kuulu VIII klassi programmi.

Kinnistades eelmises tunnis saadud teadmisi, juhitakse õpilaste tähelepanu sellele, et induktsioonivoolu tekkimiseks pidi magnetit või pooli pidevalt liigutama. Pideva voolu saamiseks on tingimata vajalik edasi-tagasi liikumine. Kuid elektrienergia saamine sel viisil on praktiliselt tülikas. Kõik meile tuntud soojusmasinad ja hüdroturbiinid annavad mehhaanilist energiat võlli pöörlemisenergia näol. Induktsioonivoolu tööstuslikuks tootmiseks kasutatakse pöörlevat liikumist.

Sellise turbiini võlli võib ühendada raami või pooliga, mis hakkab koos võlliga pöörlema. Näidates magnetväljas asuvat raami, mis on veel galvanomeetriga ühendamata, küsitakse: kas raami küljed lõikavad pöörlemisel magnetvälja jõujooni? Selgitatakse, et raami vooluringi sulgemisel läbib teda vool, kusjuures raami ühe täispöörde jooksul muutub voolu suund kaks korda. Seda oletust kontrollitakse. Eelnevalt selgitatakse generaatori demonstratsioonimaketi abil, kuidas raamis tekkinud vool juhitakse välisahelasse kahe rõnga ja kahe harja abil. Näidanud magnetelektrilist masinat, mille ehituse põhimõte on samasugune kui demonstratsioonimaketil, ühendatakse harjad kahe rõngaga. Masina mähist aeglaselt pöörates veendutakse galvanomeetri abil, et tekib vool, mille suund ja suurus muutuvad. Seejärel selgitatakse õpilastele, milles on erinevus selle mudeli ja tööstusliku generaatori vahel ning näidatakse epidiaskoobiga selle fotot.

Õpilaste veenmiseks, et kooli vooluvõrgus on vahelduvvool, võiks näidata katseid, mis annaksid võimaluse otsustada voolu iseloomu üle. Katsete valik sõltub kabinetis olevatest vahenditest. Võib näiteks demonstreerida, et voolu läbiminekul vaskvitrioli lahusest vaske ei eraldu, kuigi elektrolüüsivanniga järjestikku ühendatud väikese võimsusega lamp soojeneb. Küsimuse, miks lamp ei vilgu, saab lahendada katse abil. Ühendades taskulambi pirni magnetelektrilise masinaga, näidatakse, et voolu väikese sageduse korral lambike vilgub, sageduse suurenemisel muutub

vilkumine märkamatuks. Kuna võrgus kasutatava vahelduvvoolu sagedus, s. t. täisvõngete arv sekundis, on 50, siis lambi niit ei jõua vahepeal jahtuda ning lamp helendab pidevalt.

Katse, milles juhiti vahelduvvoolu läbi vaskvitrioli lahuse, laiendab teatud määral ka õpilaste polütehnilist silmaringi. Siit võivad nad teha järelduse, et vahelduvvool ei kõlba ka akumulaatorite laadimiseks. Tuleb selgitada, et valgustusvõrgust saame akumulaatoreid laadida ainult sel juhul, kui muudame voolu ühesuunaliseks spetsiaalsete seadmete — alaldite abil.

TEEMA «ELEKTROMAGNETILISED NÄHTUSED» NÄIDISJAOTUS TUNDIDE KAUPA (14 tundi)

1. tund. Magnetvälja mõiste. Sirgvoolu magnetväli. Magnetvälja jõujooned.
2. tund. Voolu ja tema magnetvälja jõujoonte suund.
3. tund. Ringvoolu ja vooluga pooli magnetväli.
4. tund. Elektromagnetid. Laboratoorne töö «Elektromagneti kokkupanemine ja tema töötamisega tutvumine».
5. tund. Telegraaf.
6. tund. Elektromagnetiline relee.
7. tund. Püsivmagnetid. Laboratoorne töö «Magneti omaduste tundmaõppimine ja magnetspektrite saamine».
8. tund. Maa magnetväli.
9. tund. Telefon.
10. tund. Vooluga juhi liikumine magnetväljas. Vooluga raami pöörlemine magnetväljas.
11. tund. Alalisvoolu mootor. Laboratoorne töö «Alalisvoolu mootori kokkupanemine ja katsetamine».
12. tund. Elektromagnetiline induktsioon.
13. tund. Vahelduvvoolugeneraator.
14. tund. Teemast kokkuvõtete tegemine.

SISUKORD

SOOJUSNÄHTUSED

I peatükk. Soojusülekanne ja töö 9

Üldised märkused 9
Molekulide soojusliikumine 10
Kehade siseenergia ja selle muutumise viisid 11
Siseenergia muutumise viisid 15
Soojushulk 17
Soojusülekande liigid 19
Temperatuuri mõõtmine 26
Soojushulga ühikud 29
Aine erisoojus 31
Teema «Soojusülekanne ja töö» näidisjaotus tundide kaupa . . 35

II peatükk. Aine agregaatolekute muutumine 36

Üldised märkused 36
Kristallilised ja amorfsed kehad 37
Sulamine 37
Aurumine 44
Keemine 50
Laboratoorsed tööd 53
Laboratoorne töö «Soojushulkade võrdlemine erineva temperatuuriga veekoguste segamisel» 56
Laboratoorne töö «Tahke keha erisoojuse määramine» 60
Laboratoorne töö «Naftaliini soojendamise, sulamise ja tahkestumise jälgimine» 63
Teema aine «Aine agregaatolekute muutumine» näidisjaotus tundide kaupa 66

III peatükk. Soojusmasinad 67

Üldised märkused 67
Sisepõlemismootorid 67
Auruturbiin 69
Teema «Soojusmasinad» näidisjaotus tundide kaupa 70

ELEKTER

IV peatükk. Aatomi ehitus 71

Üldised märkused 71
Elektrilaeng 72
Elektrivälja mõiste 75
Elektroni mõiste 76
Rutherfordi katse. Aatomi planetaarne mudel 77
Teema «Aatomi ehitus» näidisjaotus tundide kaupa 82

V peatükk. Voolutugevus, pinge ja takistus 82

Üldised märkused 82
Elektrivool 84
Vooluallikad 86
Vooluring ja selle osad 88
Elektrivool metallides 89
Elektrivool elektrolüütides 91
Elektrivoolu toimed 92

Elektrivoolu suund 93
Voolutugevus ja elektrihulk 94
Voolutugevuse ja elektrihulga ühikud 95
Ampermeeter. Voolutugevuse mõõtmine 97
Pinge 98
Pingeühik 100
Voltmeeter. Pinge mõõtmine 100
Voolutugevuse sõltuvus pingest 102
Juhtide takistus 102
Miks juhid omavad takistust? Takistuse ühikud 103
Ohmi seadus vooluahela osa kohta 104
Laboratoorne töö «Juhi takistuse määramine ampermeetri ja voltmeetri abil» 105
Juhtide takistuse arvutamine 106
Juhtide järjestikune ühendamine 108
Juhtide paralleelne ühendamine 110
Teema «Voolutugevus, pinge, takistus» näidisjaotus tundide kaupa 113

VI peatükk. Voolu töö ja võimsus 113

Elektrivoolu töö 113
Elektrivoolu võimsus 115
Juhtide soojenemine elektrivoolu mõjul 116
Elektrilised soojendusriistad. Hõõglamp. Lühis. Kaitsmed . . . 117
Teema «Elektrivoolu töö ja võimsus». Näidisjaotus tundide kaupa 117

VII peatükk. Elektromagnetilised nähtused 118

Üldised märkused 118
Magnetvälja mõiste. Sirgvoolu magnetväli. Magnetvälja jõujooned 119
Voolu ja tema magnetvälja jõujoonte suund. Kruvireegel . . . 123
Ringvoolu ja vooluga pooli magnetväli 123
Elektromagnetid 125
Elektritelegraaf ja telefon 126
Elektromagnetiline relee 128
Püsivmagnetid. Magnetite vastastikune mõju. Püsivmagnetite magnetväli 130
Maa magnetväli 131
Magnetvälja mõju vooluga juhile. Vooluga raami pöörlemine magnetväljas 132
Alalisvoolumootor 134
Elektromagnetiline induktsioon 135
Vahelduvvoolugeneraator 137
Teema «Elektromagnetilised nähtused» näidisjaotus tundide kaupa 138

Александр Васильевич Перышкин. Надежда Александровна Родина. Ханна Давыдовна Рошовская. ПРЕПОДАВАНИЕ ФИЗИКИ В VIII КЛАССЕ. Пособие для учителей. На эстонском языке. Перевел с русского В. Туйск. Издательство «Валгус». Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja E. Randma. Kunstiline toimetaja H. Keigo. Tehniline toimetaja E. Toomsalu. Korrektorid O. Küla ja E. Lepist.

Laduda antud 5. VI 1970. Trükkida antud 4. IX 1970. Formaat 60×90/16. Trükipoognaid 8,75. Arvestuspoognaid 9,43. Trükiarv 1500. Tellimuse nr. 4449. Trükikoda «Kommunist», Tallinn, Pikk t. 2.
Hind 25 kop.

25 kop.

A
30865
5737111

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00573711 1