

EESTI NSV VABARIIKLIK ÕPETAJATE TÄIENDUSINSTITUUT

**Õpetajate ja
kasvatajate**

**töö-
koge-
müsi**

**füüsika
õpetamisest**

Tallinn, 1961

A-24352

EESTI NSV VABARIIKLIK ÕPETAJATE TAIENDUSINSTITUUT

ÕPETAJATE JA KASVATAJATE
TÖÖKOGEMUSI FÜÜSIKA
ÕPETAMISEST

TALLINN 1961

Gorki oblasti Katovo Keskkooli õpetaja A. Ivanov tutvustab lugejat oma tööga füüsika demonstratsioonkatsete alal. Artikli autor taotleb, et õpilased tajuksid demonstreeritavaid nähtusi sügavalt, teeksid katsetest iseseisvalt järeldusi ja töötaksid tunnis aktiivselt kaasa. Sel eesmärgil pühendab sm. Ivanov suurt tähelepanu katsete sisu ja metoodika valikule. Tunni ettevalmistamisel on autorile abiks katsete kartoteek, mis oleks vajalik igas koolis. Õpetaja Ivanovi tööst väärib veel esiletõstmist laialdane sissejuhatavate katsete rakendamine. Need katsed suunavad õpilaste tähelepanu tundmaõpitavatele nähtustele, äratavad huvi ja loovad soodsa pinna edasiseks tööks.

Üheks tähtsaks mõõtmiskultuuri koostiselemendiks on mõõtmistäpsuse küsimus ning oskus arvutada ja hinnata mõõtmisvigu. Selle oskuse peavad õpilased omandama füüsika laboratoorsete tööde käigus. Olgugi et uus füüsika programm näeb ette mõõtmisvigade hindamise ja arvutamise keskkooli vanemates klassides, leidub selle kohta vähe metoodilist kirjandust. Seda lünka aitab suurel määral täita Moskva 212. Keskkooli õpetaja S. Kamenetski artikkel, kus vaadeldakse mitmesuguseid vigade arvutamise meetodeid ja nende rakendamist erinevates klassides.

Toimetajad

Kogemusi füüsika tundide efektiivsuse tõstmisest koolis

K. BELSKI,

Tatari ANSV Opetajate Täiendusinstituudi füüsika kabineti juhataja.

Haridussüsteemi ümberkorraldamine nõuab õpetajatelt koolitöö tõsisest parandamisest ja esmajärjekorras pedagoogilise protsessi põhjalikku täiustamist. Õppetunni kvaliteedi parandamiseta ja selle efektiivsust tõstmata ei saa edukalt lahendada kooli ees seisvaid ülesandeid. Õppetunni efektiivsuse tõstmise probleem haarab kogu õpetajaskonda, nende hulgas ka füüsika õpetajaid.

Mida tähendab läbi viia efektiivne tund füüsikas?

See tähendab tund nii läbi viia, et seda maksimaalselt kasutatakse õpilaste kasvatamiseks kommunismi vaimus, et õpilased mõistaksid, õpiksid ja kinnistaksid uut materjali juba tunnis, koduseks tööks jääks aga kordamine ja õpitud materjali kohta vastavate harjutuste tegemine.

Õpetajal tuleb tund nii organiseerida, et õpilased õpiksid tunnis saadud teadmisi praktiliselt elus ja tootmises kasutama ja et nad võiksid iseseisvalt vastavat kirjandust kasutades süvendada ja laiendada oma teadmisi.

Kas õpetajal on vaja taotleda, et igas tunnis esineks kinnistamine ja küsimus õpitu praktilisest rakendamisest? Siin tuleb iga kord lähendada tunni teemast ja antud tunnis õpitava küsimuse ulatusest.

Kui materjali maht on suur ja seda ei saa jaotada osadeks, et mitte lõhkuda teema terviklikkust ja ülesehitust, siis kandub kinnistamine ja teadmiste praktilise rakendamise küsimus järgmisse tundi. Seega võib tundide süsteemis esineda ka selliseid, kus jääb kehtima ainult osa efektiivsele füüsika tunnile esitatud nõuetest. Ent igas tunnis, sõltumata teemast ja küsimuse ulatusest, kehtivad nõuded, et kõik õpilased mõistaksid tunnis õpitut ja et kasvatustöö toimuks aktiivselt.

Sellest tuleneb, et õpetajal on vaja tund väga hoolikalt planeerida, arvestades õppematerjali raskust, õpilaste võimeid ja kabineti varustust. Õpetaja peab kindlaks tegema, mida ta selgitab ise, millist meetodit ta selleks kasutab, mida ja kuipalju ta annab iseseisvaks

läbitöötamiseks, kuidas ta viib läbi õpitu kinnistamise ja praktilise rakendamise, mida annab koduseks tööks.

Õpetajatel tuleb hoiduda juurdunud šabloonist tunni ülesehituses (kõik tunnid toimusid ühe plaani järgi: tunni rakendamine, küsitlemine, uue materjali selgitamine, kinnistamine ja kodused ülesanded, kusjuures igale osale oli antud alati peaaegu üks ja sama aeg). Iga füüsika kursuse teema on erineva iseloomuga ja õpetaja peab hoolitsema, et see õpilastele oleks arusaadav ja kergesti omandatav.

Näiteks, kui 7. klassis alustame teema «Algteadmisi elektrist» õppimist, siis saadame jutustust katsetega. Kui aga läheme samas klassis üle voolu soojusliku, magnetilise ja keemilise toime tundmaõppimisele, siis toimub tund frontaalsete katsete vormis, mida teevad õpilased meie juhendamisel, ja meie ainult üldistame tulemusi.

Muidugi peame üht või teist meetodit kasutades alati arvestama klassi õpilaste vanust ja arengutaset.

10. klassis võime julgesti rea teemade esitamiseks kasutada 45-minutilist kooliloengut, kuid 6. ja 7. klassis loengut kasutada ei kõlba. Kui 8.—11. klassides võime eraldada terve tunni ülesannete iseseisvaks lahendamiseks, siis 6. ja 7. klassis on ülesannete lahendamine kogu tunni jooksul ilmselt vastuvõtmatu.

On vajalik otsustavalt vabaneda halvast õppetunni läbiviimise praktikast, mis seisneb selles, et tunnis toimub peamiselt õpilaste küsitlemine, uue materjali esitamisel aga õpetaja kiirustab ja teeb seda lühidalt. Mõistagi jääb siis kogu õppematerjali omandamine ilma õpetaja vastava juhendamiseta peamiselt koduseks ülesandeks.

Ei ole mõeldav, et kõik tunnid toimuvad ühe plaani järgi. Õppetund peab olema loominguine.

Toon näiteks Kaasani 27. keskkooli õpetaja I. Šneideri tunni, mis viidi läbi 10. klassis teemal «Šunt ampermeetris ja eeltakistus voltmeetris».

Iga õpilase laual seisis galvanomeeter. Õpetaja laskis määrata mõõteriistade andmed nende passi järgi.

Teinud küsitledes kindlaks, et õpilased õigesti mõistavad andmeid, mis on toodud passis, pöördus õpetaja klassi poole järgmise küsimusega:

«Mis juhtub mõõteriistaga, kui läbi tema pooli juhtida suurema tugevusega vool või rakendada sellele kõrgemat pinget, kui passis on näidatud?»

Veendunud, et õpilased mõistavad, miks pooli ei tohi läbida tugevam vool, kui passis märgitud, esitas õpetaja suulise ülesande:

«Mõõteriistadel on näidatud nende takistus ja ühtedel maksimaalne voolutugevus, teistel aga maksimaalne pinge. Määrata esimeste mõõteriistade maksimaalne pinge ja teistel maksimaalne lubatud voolutugevus.»

Saanud õiged vastused, andis õpetaja uue ülesande:

«Määrake, milline vool peab läbima mõõteriista, kui ta osuti kaldub kõrvale ühe jaotise võrra.»

Kui õpilased vastasid õigesti, selgitas õpetaja, et voolutugevust või vastavat pinget, mille juures mõõteriista osuti kaldub kõrvale ühe jaotise võrra, nimetatakse mõõteriista skaalajaotise väärtuseks.

Peale selle said õpilased järgmise ülesande:

«Teie ees on tundlikud mõõteriistad, mis reageerivad voolule — galvanomeetrid. Kas võib nendega mõõta suuremat voolutugevust või pinget, kui nende skaalal on näidatud?»

Esitanud probleemi, ütles õpetaja, et see küsimus on tänase tunni teemaks, ja jätkas:

«Vaatame, kuidas galvanomeetrit võib muuta ampermeetriks ja voltmeetriks.»

Demonstratsiooni galvanomeetrit näidates küsis õpetaja:

«Kas ja kuidas saaks korraldada nii, et läbi galvanomeetri mähise, mis on lülitatud vooluahelasse, ei läheks kogu ahelat läbiv vool, vaid ainult osa sellest?»

Saanud vastuse, et selleks on vaja galvanomeetriga paralleelselt lülitada teatava takistusega juht, kutsus õpetaja vastaja tahvli juurde ja palus teda joonistada sellise ühenduse skeemi.

Kui skeem oli valmis, selgitas õpetaja, et galvanomeetri pooliga paralleelselt ühendatud juhti nimetatakse šundiks, aga mõõteriista tervikuna — ampermeetriks, ja näitas tööstuslikult toodetud šundiga ampermeetrit. Seejärel andis ta järgmise ülesande iseseisvaks lahendamiseks:

«Teades, et galvanomeetri pooli takistus on R , voolutugevus poolis I_g ja voolutugevus ahela hargnemata osas I , väljendada šundi takistus r galvanomeetri takistuse kaudu.»

Ülesanne lahendati tahvilil. Samas tunnis õpiti tundma voltmeetri ehitust ja mõõtepiirkonna suurendamist vastava eeltakistuse ühendamise abil. Koduseks tööks andis õpetaja Pjorõškini füüsikaõpiku järgi § 49 (õpilased pidid teada saada, miks voltmeeter ainult siis mõõdab pinget ahela osas, kui tema takistus on väga suur ahela osa takistusega võrreldes) ja ülesande nr. 880 Znamenski ülesannetekogust.

Näeme, et õpetaja loobus õppetunni läbiviimisel trafaretist, äratas õpilastes huvi, kordas uue teema omandamiseks vajalikku materjali, küsitles uue teema tundmaõppimisel, rakendas aktiivsele tööle kõik

õpilased, sidus õpitava materjali eluga, saavutas materjali täieliku omandamise ega koormanud õpilasi üle koduste ülesannetega.

Kõik 45 minutit olid kasutatud õppimiseks ja 7 küsitletud õpilast said hinded.

Otsustav tähtsus õppetunni efektiivsuse saavutamisel on õpilaste aktiivsusel.

Sageli mõistetakse õpilaste aktiivsuse all ainult niisugust tööd tunnis, nagu ülesannete lahendamine, laboratoorsete ja praktiliste tööde tegemine, osavõtt ekskursioonist, töö raamatuga jt. Õpilane võib aga väga aktiivselt tunnist osa võtta ka õpetaja seletust ja teiste õpilaste küsitlemist kuulates. Ainult töö liik veel ei määra kõigi õpilaste aktiivsuse astet, pigem määrab selle töö organiseerimine. Laboratoorsete ja praktiliste tööde ajal võib sageli näha, et 4—5 õpilasest koosnevas lülis, kes töötab ühe vahendite komplektiga, üks õpilane mõõdab, teine kirjutab üles tulemusi, aga ülejäänud tegelevad kõrvaliste asjadega. Ka siis, kui õpetaja kutsub õpilase tahvli juurde ülesannet lahendama ning jälgib tema tööd, kopeerivad pooled õpilased klassis mõnikord mehhaaniliselt tahvlile kirjutatut. Oletagem, et õpetaja andis iseseisva tööna ülesandeid lahendada. Osa õpilasi lahendabki iseseisvalt, aga teised püüavad kaasõpilastelt ära kirjutada.

Nagu näeme, ei ole neil juhtudel kaugeltki kõik õpilased aktiivsed. Õpilaste aktiivse osavõtu all tunnis mõistame sellist olukorda, kui õpilane, tehes laboratoorset või praktilist tööd, lahendades ülesannet, uurides teksti, kuulates õpetajat või kaasõpilast, vaadeldes katset või skeemi, kogu oma mõtte ja tegevuse suunab sellele, mille juures ta õpetaja juhendamisel töötab. Õpilaste aktiivsuse arendamiseks mistahes töövormi puhul on vajalik praktiseerida õpilaste iseseisvat tööd, anda jõukohaseid ülesandeid, mida õpilased suudavad ise lahendada.

Uue vastuvõtmine ja omandamine on alati hõlpsam, kui õpetaja seletus ühendatakse õpilaste iseseisva tööga. Selgitame seda näidetega.

Tatari ANSV Tšelninski rajooni Šukralinski seitsmeaastase kooli õpetaja Davletšina kasutas erikaalu käsitlemisel 6. klassis frontaalseid katseid.

Iga kolme õpilase laual olid kaalud, mensuur, mõõdujoonlaud, klaas veega, niiti ning kolm korrapärase ja ebakorrapärase kujuga keha.

Õpetaja andis õpilastele ülesande:

«Kasutades olemasolevaid vahendeid määrata katsekehade kaal ja ruumala. Arvutada, kuipalju kaalub 1 cm³ iga keha ainet ja mõelda, millise järelduse võib teha katsekehade 1 cm³ kaalu kohta.»

Katsete põhjal selgitasid õpilased oma suulistest vastustes, et 1 cm^3 raua kaal on suurem kui alumiiniumil, alumiiniumil suurem kui puul jne.

Siis küsis õpetaja: «Aga kui võtta mitte kolm erinevat ainet vaid rohkem, — millise järelduse võiksime teha?» Peale mõningaid katseid formuleerisid õpilased järelduse, et erinevate ainete 1 cm^3 kaalud on erinevad. Õpetaja kinnitas järelduse õigsust ja andis sõnastuse: «Aine 1 cm^3 kaalu grammides nimetatakse selle aine erikaaluks.» Seda definitsiooni palus õpetaja korrata kahel õpilasel. Seejärel tegi ta korralduse raamatud avada ning leida § 22 erikaalude tabelist vase, elavhõbeda ja petrooleumi erikaalud. Olles veendunud, et kõik õpilased erikaalud leidsid, laskis õpetaja selgitada, mida tähendab, et vase erikaal on 8,9.

Saanud õige vastuse, andis ta ülesande:

«Kasutades erikaalu tabelit määrata, mitu korda 1 l elavhõbedat kaalub rohkem kui 1 l vett?»

Saanud vastuse — 13,6 korda —, palus õpetaja selgitada, mispärast nimelt 13,6 korda.

Õpilased andsid vastuse ka sellele küsimusele.

Frontaalne eksperimentaalne töö huvitas õpilasi, andis tingimused praktiliste oskuste kujundamiseks kaalude, mensuuri ja käsiraamatu kasutamisel ja pani õpilased järelduste tegemisel mõtlema. Osava küsimuste asetamisega hoidis õpetaja õpilaste tähelepanu sellel, mida tunnis arutati, s. o. saavutas kõigi õpilaste aktiivse osavõtu tööst, samuti ka vajaliku efektiivsuse: õpilased said aru ja omandasid õpitava materjali tunnis.

Kaaluvihtide tundmaõpetamisel Kaasani 85. kooli 6. klassis saavutas õpetaja A. Bodrova õpilaste suure aktiivsuse hea näitlikkusega ja läbimõeldud küsimuste süsteemiga. Õpilased omandasid õpitava küsimuse vahetult tunnis.

Kuidas ta selle saavutas?

Eelkõige püstitati eesmärk.

«Täna te peate tundma õppima kaaluvihte,» ütles õpetaja. «Korrapidaja, asetage vihid igale lauale. Lapsed, vaadeldge tähelepanelikult kaaluvihte ja neile kirjutatud numbreid ning öelge, millepoolest nad erinevad üksteisest?»

Oodanud veidr'aega ja saanud õiged vastused, pöördus õpetaja uuesti klassi poole:

«Mispärast puuduvad vihid 80 g, 40 g, 3 g?»

Kui õpilased andsid õiged vastused, selgitas õpetaja, miks vihte võib võtta ainult pintsetiga, näitas, kuidas seda teha, ja andis ülesande:

«Igaühel teist, lapsed, on vaja pintsette kasutades õppida vihte kastist välja võtma ja neid tagasi asetama. Järjekorras võtke välja vihid 100 g, 50 g, 2 g ja 1 g.»

Nähes, et mõnedel õpilastel kukkusid vihid pintsettide vahelt, selgitas õpetaja uuesti kogu klassile, kuidas tuleb pintsetiga vihte võtta, et nad ei kukuks.

Kui õpilased olid sooritanud esimese ülesande, andis A. Bodrova neile teise:

«Igal õpilasel on tarvis vihtidega võtta kaal 138 g ja kirjutada, millistest vihtidest see kaal koosneb.»

Kui õpilased olid ülesandega valmis, andis õpetaja korralduse valida kaal 189 g ja hiljem veel keerulisema — valida kaal 3,8 g.

Märganud, et sellega on õpilastel raskusi, selgitas õpetaja, et 0,1 g on 100 mg ja 0,8 g on 800 mg. Nüüd tulid õpilased ülesandega toime.

Siis pöördus õpetaja klassi poole uue küsimusega:

«Mispärast grammist väiksemad vihid on tehtud metallplaadist ja omavad erinevat kuju?»

Ka selle ülesandega tuldi iseseisvalt toime.

Õpilased olid kogu aja tegevuses, töö oli lastele huvitav ja jõukohane ja selle tulemusena õppisid nad iseseisva praktilise tööna klas-sis kasutama kaaluvihte. Õpetaja ei pidanud vajalikuks koduseid ülesandeid anda.

Selleks et õpilaste aktiivsust saavutada, on vaja nende huvi ära-tada, anda neile jõukohane ja selge eesmärk ja näidata õpitava mater-jali elulisust.

Nii algas Selenodolski keskkooli õpetaja V. Issajevi füüsika tund 7. klassis.

«Nimetage elektrivoolu-allikaid, milliseid õppisime, ja öelge, mil-lise energia arvel saame neist elektrienergiat.»

Pärast õpilaste õigeid vastuseid selgitas õpetaja, et elementidest suuri elektrienergia hulki ei ole võimalik saada ja esitas õpilastele uue küsimuse:

«Kas ei saa elektrivoolu kuidagi teisiti, lihtsamalt ja kasuliku-malt?»

Täna hakkame õppima nähtust, mida kasutatakse elektriyaamades suurte energiahulkade saamiseks,» jätkas õpetaja ja nimetas tunni teema — «induktsioonvoolu saamine».

Õpetaja esitas teema vestlusmeetodil rea katsete alusel. Näidates katseid, nõudis õpetaja õpilastelt järelduste tegemist. Õpilased olid väga aktiivsed, tähelepanelikud ja taibukad. Kõigist katsetest olid nad õigesti aru saanud ja tegid õigeid järeldusi. See kõneles õppematerjali täielikust omandamisest tunnis.

Tatari ANSV teenelise õpetaja P. Rebrovski (Apastovski keskkoolist) tund läätsedest algas nii:

«Lapsed, kes teist on näinud läätsi ja teab, kus neid kasutatakse?» Saanud vastuse, et läätsi kasutatakse prillides, fotoaparaatides ja «suurendusklaasides», palus õpetaja võtta ühel õpilasel oma prillid ja võrrelda nende klaase kaksikkumera läätsega, siis küsis:

«Mille poolest nad erinevad?»

Õpilane leidis, et prilliklaasid erinevad läätsest oma kuju poolest ja näitas seda.

«Läätsi kasutatakse tehnikas laialdaselt. Kuid kõik nad ei ole ühesugused,» jätkas õpetaja. «Kuidas läätсед on ehitatud, mille poolest nad üksteisest erinevad ja mis neid iseloomustab, seda me õpime tänases tunnis.» Nüüd nimetas õpetaja tunni teema.

Uue materjali selgitas õpetaja vestluse abil, mida saatsid katsed. Õpetaja demonstreeris katseid ja esitas küsimusi. Õpilased vaatasid ja tegid oma vastustes õigeid järeldusi ning kokkuvõtteid.

Õpetaja küsitles, andis õpiku järgi iseseisvalt õppida «Läätse optiline tugevus» ja lahendada kaks ülesannet harjutusest nr. 20.

Kontrollinud ülesande selle lahendamise protsessis, selgitas õpetaja, et õpilased omandasid õpitava teema juba tunnis.

Õpilaste aktiivsuse tõstmisel ja õpitava küsimuse sügavamal mõistmisel omab suurt tähtsust katse. Selleks et tund toimuks efektiivselt, s. o. et õpilased omandaksid kõik selle, mida õpetaja tahtis selgitada, et demonstratsioon tekitaks huvi ja mõjuks mõtlemist arendavalt, on vaja katse korraldada kõrgel pedagoogilisel tasemel.

Katse peab olema nähtav kõigis oma vajalikes üksikasjades ja katse tulemused peavad vastama püstitatud eesmärgile.

Alalisvoolu mootori ehituse printsiibi demonstreerimiseks 7. klassis valmistas Selenodolski 4. keskkooli õpetaja V. Issajev metallraami mõõdetega 80×60 cm, kollektori diameetriga 20 cm. Harjadena kasutas õpetaja 30-sentimeetrilisi joonlaudu ja harjahoidjatena statiive. Magnetpoolused olid märgitud kartongile tähtedega N ja S. Mudel oli kogu klassile nähtav.

Mudeliga tutvunud, leidsid õpilased kiiresti peamised osad töötavates elektrimootorites, mis asetsesid õpilaste laudadel, ja orienteerusid hästi elektrimootori ehituses.

Katse korraldamisest peavad õpilased ise aktiivselt osa võtma. Õpilasi on vaja katseks ette valmistada, et nad teaksid, milleks seda korraldatakse ja võiksid õpetaja kaasabil iseseisvalt järeldusi teha, tulemusi seletada ning mõnikord ka öelda, kuidas katset teostada selles või teises olukorras. Selgitan näidetega.

Mõned õpetajad, selgitades gaaside kaalu, näitavad õpilastele, et gaasidel — järelkult ka õhul — on kaal ja siis korraldavad tuntud katse õhu kaalumiseks, jättes õpilased passiivseks. Hästi toimib õpetaja, kellel laual on kaalud, pump ja klaaskolb ning kes pöördub õpilaste poole, et nad ise mõtleksid, kuidas on võimalik näidata õhu kaalu ja leida, kuipalju kaalub 1 cm³ õhku. Sel viisil ergutatakse õpilaste huvi, mõtlemist ja püüdu leidlikkusele. Niisugune tund aktiveerib õpilasi.

Ka siis, kui õpilane ei suutnud ise seda ülesannet lahendada, jäävad talle teiste vastused paremini meelde, sest ta mõtletegevus oli antud momendil pingeline.

Katsed ise peavad olema eredalt meelde jäävad. Toome näiteks katse rõhu edasiandumisest vedelikes ja gaasides.

Ühed õpetajad rahulduvad sellega, et näitavad katset «Pascali kuuliga» ja teevad ise järelduse. Teised võtavad kaks kummipuhurit, üks diameetriga 3—5 cm ja teine diameetriga 10 cm. Suuremasse puhurisse põletatakse kuumutatud nõelaga 5—6 ava, mille diameeter on 1 mm. Kummipuhurid ühendatakse klaastoruga ja tehakse katse nagu «Pascali kuuliga». Voolava vee joad saadakse tugevamad ja on kõikidele õpilastele nähtavad. Õpilased teevad ilma erilise raskuseta sellest katsest ise järelduse. Analoogilisi katseid saab teha, kui täita kummipuhur suitsuga.

Pärast seda, kui seaduspärasus rõhu edasiandumise kohta vedelikes ja gaasides on kindlaks tehtud, antakse õpilastele ülesanne: määrata kaale ja vihte kasutades, milline rõhk on õhul, mida õpilane puhub läbi toru, mille ristlõike pindala on 1 cm².

Määratud, et see võrdub näiteks 50 g, tehakse uus katse.

Lauale asetatakse kummipadi, mille ühe külje pindala on 1000—1500 cm². Padi kaetakse vineeriga ja palutakse ühel väiksema kaaluga õpilasel seista vineeril ning puhuda padjasse õhku läbi sama-suure ristlõikega toru kui varem. Õpilane, kes võis anda õhujoa rõhuga 50 g, tõstab ise ennast, ületades kaalu 40 kG. Klass on eelil, õpilased on täielikult tunnist haaratud ja selgitavad õpetaja abiga kiiresti ja õigesti katse tulemuse. Järgnevalt demonstreerib õpetaja võimsa hüdraulise pressi mudelit ja fotot. Selgitanud, et kummipadi eelmises katses kujutas omapärast pressi, jutustab ta hüdraulise pressi kasutamisest tehnikas. Katsed olid huvitavad ja meelde jäävad. Õpilastele jäi meelde ka seadus rõhu edasiandumisest vedelikes ja gaasides ning selle kasutamine tehnikas. Õpilastes tekib soov valmistada ise selline press.

Ülesannete lahendamisel on tähtis koht füüsika õppimisel ja selle seaduste kasutamisel elus, tehnikas ja tootmises. Õpetaja on kohus-

tatud kindlustama tunni efektiivsuse ka ülesannete lahendamisel klas-
sis. Vead ülesannete lahendamise juures on tavaliselt selles, et õpetaja
ei harjuta õpilasi iseseisvalt ülesandeid lahendama, või vastupidi, ei
selgita ülesannet, vaid jätab kõik õpilase enda hooleks. Samuti ei
lahendata küllaldaselt ülesandeid, mis on võetud elust ja tootmisest.

Ülesannete lahendamist on vaja oskuslikult ja kannatlikult selgi-
tada, haarates lahenduse plaani aktiivsele arutelule kõiki õpilasi. Roh-
kem tuleb anda võimalusi iseseisvaks lahendamiseks ja isegi üles-
annete koostamiseks, muutes ülesandeid pidevalt keerulisemaks. Ei
tule anda ainult treening-ülesandeid, vaid ka ülesandeid praktikast.
Kõik see äratab lastes huvi, kindlustab aktiivsuse ülesannete lahenda-
misel ja kahtlematult tõstab füüsika tunni efektiivsust.

Hästi õpetab ülesandeid lahendama õpetaja A. Bodrova.

Ülesannete lahendamist erikaalu kohta 6. klassis algas ta küsi-
musega:

«Mida tähendab väljendus: alumiiniumi erikaal on 2,5?»

Saanud õige vastuse, küsis ta:

«Kus võib leida andmeid mitmesuguste ainete erikaalude kohta?»

Õpilased avasid raamatud ja näitasid erikaalude tabelit. Siis andis
õpetaja ülesande:

«Määrake 20 cm³-se ruumalaga rauatüki kaal.»

Kui ülesanne oli lahendatud, andis õpetaja teise:

«Eile asetate teie klass vanametalli kogumisel vankrile suure raud-
tala, mille kaal on veel jäänud määramata. Kuidas määrata raudtala
kaalu?»

Õpilased tulid õigele lahendusele. Kõik tahtsid minna määrama
raudtala mõõteid, kuid õpetaja saatis selle õpilase, kes võttis osa raud-
tala veost. Arvutused näitasid, et tala kaal oli 84 kg.

Väga tähtis on saavutada efektiivsust ka laboratoorseses töödes.
Vea teeme siin sageli sellega, et anname komplekti vahendeid liiga
suurele grupile (4—5 õpilast). Peale selle teevad õpetajad liiga palju
ära õpilaste eest: annavad töö nimetuse, loetlevad vajaliku varustuse
ja näitavad töö täitmise korra.

Laboratoorsed tööd peavad olema loominguks. Õpilased peavad
aktiivselt osa võtma töö käigu arutlemisest ja valima seejuures vaja-
liku varustuse.

Õpilaste oskuste ja vilumuste arenedes tuleb leida võimalus (õpi-
kut, käsiraamatut ja teisi vahendeid kasutades) viia laboratoorseid ja
praktilisi töid läbi täiesti iseseisvalt. Ainult niisugused laboratoorsed
tööd kindlustavad sotsialistliku majanduse töötajate ettevalmistuse
koolis, võimaldades täiustada tootmist ja tõsta töö tootlikkust.

Hästi oli organiseerinud laboratoorse töö «Vedeliku pindpinevuse
määramine» 9. klassis Almetevski kooli õpetaja N. Golubev.

Tunnis, mis eelnes laboratoorsele tööle, ütles ta õpilastele:

«Järgmises tunnis teete laboratoorse töö «Vee pindpinevuse teguri määramine tilga meetodil,» ja palus üles kirjutada töö teema.

Seejärel küsis õpetaja, mida nimetatakse pindpinevuseks, millistes ühikutes seda mõõdetakse ja millest ta sõltub. Ta näitas tilga eraldumist ja kujutas tilga eraldumise skeemi tahvlil.

Vestluse kaudu selgus õpilastele töö kord ja see, millist varustust vajatakse. Õpilased leidsid, et mida rohkem tilku võtta ja mida täpsemalt mõõta vett tilkkuva toru otsa diameeter, seda täpsem saab lõpptulemus. Seejärel joonestati tahvlile ja õpilaste vihikuisse tabel mõõtmistulemuste ülesmärkimiseks.

Järgmises tunnis asusid õpilased iseseisvale tööle, kusjuures iga kahe õpilase laual oli komplekt vahendeid. Õpetaja kontrollis, kuidas õpilased töötavad, kuidas nad küsimust mõistavad ja töösse suhtuvad. Õpetaja pani töö järgi hinded ja aitas ületada töös esinevaid raskusi.

Tähtis koht tunnis on ka õpilaste vilumuste, oskuste ja teadmiste arvestamisel.

Paljudel juhtudel kulutavad õpetajad siin palju aega ja arvestavad eelkõige teoreetilisi teadmisi, jättes tähele panemata oskused ja vilumused. Samuti soodustab küsitlemine tahvli juures ülejäänud õpilaste passiivsust.

Esineb veel juhtumeid, kus füüsika õpetaja paneb ühesuguse hinde praktikumist, laboratoorsest tööst või ekskursioonist osavõtnud grupele, arvestamata erinevate õpilaste tööd.

See ei tingi ainult õpilaste passiivsust, vaid raskendab ka veerandi hinde väljapanemist. Ilmuvad ju sellise süsteemi järgi veerandi jooksul äärmiselt kontrastsed hinded: laboratoorse töö ja ekskursiooni eest «5» või «4», aga suulise vastuse eest sageli «2».

Veel on õpetajaid, kes ei arvesta õpilaste vastuseid kohalt uue materjali läbivõtmise ajal ega arenda sellega õpilastes soovi aktiivselt õppeprotsessist osa võtta, samuti ei stimuleeri nii õpilaste valmisolekut tunniks ega kinnista teadmisi, oskusi ja vilumusi.

Füüsika õpetajate hulgas ei ole haruldased ka niisugused juhtumid, kus õpilane, saanud ükskord puuduliku hinde, kaotab õpetaja usalduse, nii et õpetaja teda edaspidi isegi eeskujulike vastuste puhul «viiega» ei hinda.

Neil juhtudel kaob õpilastel soov vastamiseks ja materjali paremaks omandamiseks ning nad jäävad passiivseks.

Õpilaste teadmiste, oskuste ja vilumuste arvestamine peab toimuma süstemaatilisel. Ei tohi arvestust teha nii, et õpilane, keda kord on küsitud, ei vasta teistkordselt enne, kui kõik õpilased on vastanud. See lülitab õpilased tööst välja, vähendab nende aktiivsust tunnis ega soodusta teadmiste kinnistumist.

Ainult õiglane, süstemaatiline, täiesti objektiivne teadmiste, oskuste ja vilumuste arvestamine soodustab kõigi õpilaste aktiivsust tunnis, stimuleerib neid täitma koduseid ülesandeid, tõstab tunni efektiivsust ja aitab kaasa vääriliste sotsialistliku ühiskonna liikmete kasvatamisele.

Et esile kutsuda kõigi õpilaste huvi ja tähelepanu, on vaja arvestust mitmekesistada. Kui ükskord küsiti valemit, siis teinekord on vaja anda ülesanne või küsimus, kus nõutakse selle valemi rakendamist. Kui ükskord küsiti skeemi, siis teinekord tuleb skeemi järgi lasta seadmed ühendada jne.

Õpilaste tegevust ja teadmisi on vaja hinnata kogu tunni jooksul: kordamisel, uue materjali esitamisel, iseseisva töö täitmisel ja kinnistamisel.

Õpetaja Bodrova algas mehhaaniliste ühikute selgitamist 8. klassis küsimusega: «Milliseid ühikuid kasutatakse mehhaanika mitmesuguste suuruste mõõtmiseks? Mõelge, nimetage ja kirjutage nende nimetused tahvlile.»

Oodanud natuke, hakkas õpetaja tahvli juurde kutsuma neid õpilasi, kes käe üles tõstsid, aga ka neid, kes kätt ei tõstnud.

Andnud mõnele väljakutsutud õpilasele veel lisaküsimusi, pani õpetaja hinde, aga nende õpilaste vastuste kohta, kellele ta hinnet ei pannud, tegi märkuse oma vihikusse.

Jõu- ja massiühikute selgitamisel küsis ta Newtoni teist seadust ja valemit ning hindas õpilase vastust.

Andnud iseseisvalt tuletada jõuühiku CGS-süsteemis ja massiühiku tehnilises süsteemis, hindas ta veel kolme õpilast.

Iseseisvaks tööks andis õpetaja õpilastele läbi töötada õpikus lk. 102 toodud kilogrammi ja düüni vahelise seose tuletuskäigu.

Otsustanud kontrollida, kuidas õpilased iseseisvalt aru said kilogrammi ja düüni vahelisest seosest, kutsus õpetaja ühe õpilase tahvli juurde. Õpilane tuletas kiiresti seose ja sai hinde.

Arvestus võib toimuda mitte ainult suuliselt, vaid ka kirjalikult. Kirjalik töö peab nõudma õpilaselt konkreetset tegevust. See võib kesta 10—40 minutit, sõltuvalt klassist ja teemast.

Et füüsika tunnid oleksid efektiivsed, peab õpetaja kahtlematult palju töötama oma teoreetiliste, praktiliste ja meetoodiliste teadmiste tõstmisel, vajalike andmete ja illustratsioonide kogumisel ning kabineti sisustamisel. Ilma hästi sisustatud kabinetita jääb füüsika õpetamine koolis pealiskaudseks ega saavuta eesmärki.

Kabineti varustamisele on vaja õpilasi kaasa tõmmata.

Füüsika õpetamiseks nõuetekohaste tingimuste loomisega valmistab õpetaja rõõmu õpilastele ja endale; igapäev võib ta siis edusammudest heameelt tunda.

Mõningaid võtteid õpilaste iseseisvuse ja aktiivsuse arendamisel füüsika tundides

I. SNEIDER,

Kaasani 27. Keskkooli õpetaja.

NLKP XXI kongressil ja seaduses «Kooli ja elu sidemete tugevdamisest» püstitatud ülesannete edukas lahendamine sõltub palju teaduste aluste õpetamise kvaliteedist.

Põhimõtteks, mis määrab õpetamise sisu, organisatsiooni ja meetodid, peab jääma tihe side eluga, tootmisega ning kommunistliku ülesehitustöö praktikaga.

Kooli ja elu seose printsiip nõuab järjekindlat programmimaterjali esitamist, vajalike katsete, praktiliste näidete, õppevahendite, mudelite, skeemide, diapositiivide, kinofilmide kasutamist ning õpilaste aktiivsuse suurendamist. Õpilaste tunnetusprotsessi aktiveerimine peab seisnema huvi ja tähelepanu arenemises ning oskuses teha sel alusel üldistusi. Füüsika aktiivne õpetamine nõuab iseseisvate laboratoorsete tööde läbiviimist, arvutusülesannete lahendamist, oskust kasutada mõõteriistu, tabeleid, graafikuid, käsiraamatuid jne.

Allpool toodud õpilaste aktiveerimise võtted muudavad noorte mõtlemistegevuse iseloomu, teevad selle loomungulisemaks ja sellepärast ka meetodid, mida nende võtete juures kasutatakse, vastavad rohkem kaasaegse etapi õpetamise eesmärkidele.

Kirjeldame mõningaid neist võtetest.

Töö väljajagatud materjaliga.

Seda võtet võib kasutada kõikides õppeprotsessi staadiumides alates uue materjali ettevalmistamisest kuni tunni kinnistamiseni. Tunnis teemal «Keha temperatuuri mõõtmine» (7. kl.) teeb õpetaja ettepaneku vaadelda termomeetrit. Vestluses annab ta ettekujutuse mõõteriistast, millega antud tund on seotud. See paneb aluse süvenenud vaatlemisele ja õpetaja sõnad on vahendiks uue materjali aktiivse vastuvõtu ette-

valmistamiseks. Uus aine kinnistatakse väljajagatud materjali kasutamise teel (harjutused skaala jaotise väärtuse määramiseks, temperatuuri määramine jne.).

Tunnis teemal «Kapillaarsus» (9. kl.) annab õpetaja ülesande vaadelda nähtust, mis tekib toru asetamisel vedelikuga anumasse, teha kindlaks, kas vaadeldud nähtus sõltub toru diameetrist ja selgitada välja selle põhjus. Raskus katse seletamisel põhjustab õpilaste huvi tunnis. Ka siin kasutatakse õpilastele jaotatud materjali kui vahendit nende ettevalmistamisel aktiivseks vastuvõtuks. Frontaalne vaatlemine lubab õpetajal tunni läbi viia vestluse vormis ega kindlusta mitte ainult õpilaste suurt aktiivsust uue materjali tajumisel ja selle paremal kinnistamisel, vaid on ka vahendiks laboratoorse töö ettevalmistamisel. Vaatlus võimaldab mõista petrooleumi tõusu tahis, tinti kuivatuspaberil, maa-kündmise vajadust jne. Samuti võivad õpilased leida järelduse, millest sõltub vedeliku tõus kapillaartorus, kuidas seda nähtust nõrgendada või tugevdada, ning nähtuse tajumine muutub teadlikumaks.

Teema «Kondensaatorid» esitamisel jagatakse välja mitmet liiki kondensaatorid, millega luuakse tingimused uue materjali omandamiseks. Kinnistamisel aga tuleb nende detailidega lahendada rida praktilisi ülesandeid (määrata laeng kondensaatori nominaalmahtuvusel, üleminek ühelt mahtuvuse ühikult teisele jne.). Kasulik on rakendada väljajagatud materjali ka siis, kui see rajaneb tehnikas kasutatavate füüsikaliste objektide meelelisele tunnetamisele (isoleermaterjalid, elektronlambi sisu, raadiotakisti, pooljuhid, mõõteriistad jne.), kuna see soodustab õpilaste iseseisvuse arendamist. Näiteks kasutatakse 7. klassis ampermeetrit ja voltmeetrit algul kui väljajagatud materjali nende igakülgeks tutvustamiseks. Õpilased õpivad määrama mõõteriista mõõtepiirkonda ja jaotise väärtust, õpivad mõõteriista lülitama ahelasse ja lugema selle näitu. Laboratoorseks tööks «Juhi takistuse mõõtmine ampermeetri ja voltmeetri abil» on nad ette valmistatud, ning nüüd on võimalik selle iseseisev teostamine.

Väljajagatud materjal määrab ka uue aine esitamise meetodid.

Selles võib veenduda näiteks teema «Ampermeetri šunteerimine. Eeltakisti arvutamine voltmeetrile» juures. Õpilased tulid selle juurde teadmistega, millest piisab teema iseseisvaks läbitöötamiseks. Jutustus antud teema puhul aheldaks õpilaste tegevust ega vastaks tunni didaktilisele eesmärgile — arendada aktiivsust ja iseseisvust. Efekttiivsemaks meetodiks osutub siin heuristiline vestlus. Tunni eesmärgiks on tutvustada õpilasi järjestikuse ja paralleelse ühenduse seaduste kasutamisega mõõteriistades. See mõte saadab õpetajat kogu tunni vältel.

Vaatleme seda tundi.

I. Õpilaste ettevalmistamiseks selgitatakse neile tundmaõpitavat probleemi.

Õpetaja näitab, et mõõtmistehnikas kasutatakse voolutugevuse ja pinge mõõtmiseks ühte ja sama tundlikku mõõteriista — galvanomeetrit. Suuremate voolutugevuste ja pinge mõõtmiseks lülitatakse galvanomeetriga paralleelselt või järjestikku takistid.

II. Uue omandamine.

1) Loogiline ülesanne: Millest sõltub voolutugevus ühes juhtmes, mis on teisega ühendatud paralleelselt, kui takistus ja voolutugevus teises harus on teada?

Vastus: Voolutugevus harus sõltub teise haru takistuse suurusest.

2) Töö väljajagatud materjaliga.

Õpetaja juhendamisel määravad õpilased mõõteriista sisetakistuse, skaala mõõtepiirkonna ja jaotise väärtuse.

3) Selgitamine: Õpetaja selgitab, et galvanomeetrit vaadeldakse sel juhul kui takistit ja teda läbinud voolu tugevus määratakse osuti kõrvalekaldumise järgi.

4) Loogilised ülesanded:

a) Kuidas ühendada ahelasse galvanomeeter, et see läbi ei põleks?

b) Milline peab olema selleks galvanomeetriga paralleelselt ühendatud juhi takistus?

5) Definitsioon: Takistit, mis lülitakse paralleelselt galvanomeetriga, nimetatakse šundiks.

6) Loogiline ülesanne: Määrake paralleelselt ühendatud juhtide kohta kehtivate seaduste järgi seos galvanomeetrit ja šunti läbivate voolutugevuste vahel. Jne.

Niisugune töö väljajagatud materjalidega tunnis kutsub esile õpilaste suure aktiivsuse ja õpetab füüsika seadusi tehnikas kasutama.

Demonstratsioonkatsete ühendamine õpilaste frontaalsete katsete või vaatlustega.

Demonstratsioonkatsetel on see oluline puudus, et neid tajutakse ainult üksikute meeleanalüüsidega ja järelikult nõrgeneb esimese signaalsüsteemi osatähtsus tunnetamistegevuses. Frontaalsete katsete ja vaatlustega kõrvaldatakse see puudus ja sellega üheaegselt suurendatakse õpilaste iseseisvust materjali omandamisel.

Nii näitas frontaalne termoelektrilise voolu tekkimise jälgimine ja elementide ühendamine patareiks, et esialgne nähtuse tajumine oli väga tugev, kergendas üldistamist ja oli sageli materjaliks iseseisvatele järeldustele.

Õpilased omandasid praktiliselt elementide järjestikuse ja paralleelse ühendamise patareiks, leidsid patarei EMJ sõltuvuse elementide arvust, elemendi elektromotoorsest jõust ja sisetakistusest. Kõrvutades Ohmi seaduse kogu vooluahela kohta katse andmetega, määrasid nad kergesti voolutugevuse elementidest koostatud patarei ahelas.

Frontaalsed katsed võivad ja peavad saama vahendiks uute teadmiste omandamisel.

Laboratoorne töö kui vahend uue materjali omandamisel.

Laboratoorsed tööd on vahendiks, millega õpilased, eriti vanemates klassides, omandavad eksperimentaalse uurimise meetodi.

Vanemate klasside õpilased omavad vilumusi rea õppevahendite käsitlemisel ja mõningaid kogemusi katsete korraldamisel. Seepärast on neile täiesti jõukohane laboratoorsete tööde tegemine uurimisplaani järgi. Jätta hindamata õpilaste kogemused — tähendab pidurdada nende tunnetuslikke jõude.

Õpilaste mõtlemine laboratoorsel tööl uurimisplaani järgi on keerulise iseloomuga, kuid siiski õpilastele jõukohane analüütilis-süntheetiline tegevus, mis tugineb isiklikel kogemustel ja vaatlustel.

Näiteks vaatleme tunni skeemi teemal «Paralleelselt ühendatud juhtide omadused» (10. kl.):

1. Õpetaja ülesandel ühendavad õpilased juhte paralleelselt.
2. Õpilastele antakse ülesanne: kinnitada katse andmetega juhtide järjestikuse ühendamise seadust. See kutsub õpilastes esile keskendatud mõtlemise.
3. Vestluses esitab õpetaja juhtide paralleelse ühenduse seaduse.
4. Õpilased analüüsivad õpetaja poolt antud ülesannet teoreetiliselt.
5. Tehakse katse, üldistatakse õpilastega tulemused ja võrreldakse neid teoreetiliste järeldustega.
6. Loogiliste ja arvutusülesannete lahendamine praktiliste andmetega.

Selline laboratoorne töö tutvustab õpilasi eksperimentaalse uurimisega eesmärgil kontrollida teoreetilisi järeldusi.

Õpilaste edasise iseseisvuse ja loominguaktiivsuse suurenemisega tekib oskus looduspähtsusi ja praktikat analüüsida, tekitades pähtsusi laboratoorsel teel ja teha neist teoreetilisi üldistusi ja järeldusi. Õpilaste mõtlemine omandab seejuures keerulisema vormi.

Niisugused laboratoorsed tööd tutvustavad õpilastele teadusliku uurimise meetodit: eksperimentaalselt esilekutsutud pähtsuste vaatlemiselt ja uurimiselt tulemuste teoreetilisele üldistamisele ja sealt praktikasse.

Näiteks toome laboratoorse töö, mis korraldati õpilastega 10. klassis teemal «Vooluringi arvutamine».

1. Õpetaja demonstatsioonkatsete ja elust võetud näidete alusel saavad õpilased aru pinge muutumise põhjustest elektrienergia tarbija klemmidel paralleelselt võrku lülitatud tarbijate arvu muutumisel.

2. Õpetaja oma selgitustega suunab õpilaste tähelepanu katse juures esinevale nähtusele. (Õpilased koostavad vooluringe erinevast arvust paralleelselt lülitatud juhtidest, mis on suure takistusega.)

3. Õpetaja mobiliseerib õpilaste teadmised ja praktilised kogemused nähtuste põhjuste ning järelduste väljaselgitamisele.

4. Katse andmete alusel suunatakse õpilaste mõtlemine eksperimentaalsete järelduste sünteesile ja nende teoreetilisele põhjendamisele.

5. Üldistustele tuginedes suunab õpetaja õpilaste mõtted esiletoodud seaduspärasuse rakendamisele konkreetsete praktiliste ülesannete lahendamisel.

Õpilaste aktiveerimine füüsika ja teiste distsipliinide seose alusel.

Õpetamine koolis on nii üles ehitatud, et ühe õppeaine õpetaja võiks tugineda teadmistel, mida õpilased saavad lähedastes distsipliinides (matemaatika, keemia, masinaõpetus jt.). Nii on õpetajal võimalik tunnis saavutada loominguist aktiivsust ja sellega koos kujundada õpilastes vajaduse koolis omandatud teadmiste süstematiseerimiseks. Tuleb kinnitada tuntud mõtet, et koolis ei ole peamisi ja teisejärgulisi õppeaineid.

Õpilaste loominguine tegevus füüsika tunnis tõuseb märgatavalt, kui nad toetuvad elektrotehnika tunnis saadud kogemustele ja vilumustele. Samuti tingivad füüsika tundides saadud teadmised aktiivsuse ja iseseisvuse elektrotehnika tundides. Õpilased, kes enam-vähem vabalt mõistavad eksperimentaalse uurimise olemust, kasutavad seda ilma erilise instruktaazita praktilistel töödel elektrotehnikas («Transformeerimise koefitsiendi määramine», «Generaatori tühikäigu karakteristik», «Elektrimootori võimsuse ja kasuteguri määramine»). See soodustab õpilaste teadmiste edasist süstematiseerimist. Toome veel mõned näited õppeainete vastastikusest mõjust kui õpilaste tunnetuslike jõudude aktiveerimise vahendist.

Teemaga «Elektrilaengu jaotumine juhil ja kehade elektriseerimise seletamine elektronteooria alusel» avab õpetaja elektronteooria olemuse, kasutades õpilaste teadmisi ainete aatomite ehitusest, mida nad on omandanud keemia tundides, aga seejärel palub seletada kehade elektriseerimist elektronteooria alusel.

Enne tunde teemal «Vool elektrolüütides ja gaasides», «Faraday seadused ja ühevalentse aine iooni laengu määramine» annab õpetaja

koduseks ülesandeks korrata keemia mõisted: elektrolüütiline dissot-
siatsioon, aine grammaatom ja valentsus. Kui õpetaja ülesande and-
misel selgitab selle eesmärgi, siis loob ta antud tunnis tingimused
heuristiliseks vestluseks, mis on heaks meetodiks uue materjali oman-
damise protsessi aktiveerimisel. Õppetund on aga sel juhul teadmiste
kinnistamise ja süstematiseerimise vahendiks nii füüsikas kui ka
keemias.

Kodused vaatlused ja katsed kui vahend õpilaste aktiveerimisel ja nende vaatlusoskuse arendamisel.

Paljudel juhtudel sõltub füüsika tunni edu sellest, kuivõrd õpilastel on vajadus ühe või teise nähtuse selgitamiseks. Seda vajadust võib esile kutsuda koduste katse- ja vaatlusülesannete andmisega. See stimuleerib õpilaste tähelepanu, loomingulist tegevust ja aktiivsust ning huvi tunni vastu. Niisugused tunnid viiakse läbi heuristilise vestluse meetodil. Enne teema «Kehade soojuspaisumine» käsitlemist (7. kl.) anti õpilastele ülesandeks vaadelda tahkeid, vedelaid ja gaasilisi kehasid temperatuuri muutumisel. Olles tutvunud rea lihtsate katsetega, mida õpetaja tunnis esitas, võisid õpilased nüüd kergesti oma vaatlusi seletada, võrrelda kehade soojuspaisumist ja teha sellest vastavaid järeldusi. Samuti osati nüüd nimetatud nähtusi selgitada molekulaarkineetilise teooria alusel ja näidata vajadust neid tehnikas arvestada.

Analoogilist võtet võib kasutada teemade «Aurumine», «Keemine» ja «Algteadmisi elektrist» jne. läbitöötamisel. Vanemates klassides võiks anda keerulisemaid ülesandeid: praktiliselt määrata vee murdumisnäitaja, määrata veega täidetud silindrilise anuma kui läätse peafookuskaugus, määrata harja, vasara, vabalt võetud kujuga kartongitüki raskuskese (8. kl.), määrata keha vabalangemise kiirendus maja rõdult (9. kl.) jne.

Füüsikalisi seaduspärasusi väljendavad kvantitatiivse iseloomuga katsed.

Vanemate klasside õpilastel on piisavalt matemaatika-alaseid teadmisi, et määrata funktsionaalset sõltuvust suuruste vahel. Nende teadmiste rakendamine võimaldab mitmesuguste protsesside tundmaõppimisel õpilaste mõtlemist aktiveerida ja nende teadmisi matemaatikas täiendada. Selleks korraldame katseid, kus on võimalik protsesse kvantitatiivselt määrata.

Näiteks võib olla magnetväljas olevale vooluga juhile mõjuvate jõudude sõltuvuse tuletamine voolutugevusest ja juhi pikkusest, seadise abil, millest on kirjutatud Dimitrievi, Tšerbakovi ja Jevropini raamatus «Уроки физики» (joon. 139, lk. 206).

Kui näidatud seadises anda magnetipooluste otstele T-kuju (välja suurema homogeensuse saamiseks), värvida juhe, et õpilased võiksid näha selle osa pikkuse muutumist, mis asetseb magnetväljas, ning ahelasse lülitada ampermeeter, siis omandavad õpilased täielikult magnetvälja tugevuse mõiste ja tuletavad kergesti iseseisvalt magnetvälja tugevuse valemi. Tõepoolest, voolutugevuse või juhtme pikkuse muutumisel näiteks kaks korda, muutub vastastikune mõjujõud samalpalju kordi. Seejuures mõjuva jõu ja vooluga juhtme (milles vool ei muutu) pikkuse suhe iseloomustab antud kohta magnetväljas. Katse on kergesti mõistetav. Katse andmete järgi määravad õpilased kergesti üldise sõltuvuse juhtme pikkuse, voolutugevuse ja magnetväljas mõjuva jõu vahel. Üks raskematest mõistetest 10. klassis muutub arusaadavamaks.

Kui tehti kontrolltöö teemal «Voolu magnetväli ja elektromagnetiline induktsioon», siis ilmnis, et magnetvälja tugevuse mõiste oli hästi omandatud.

Samuti osutub õpilastele raskeks teema «Raud magnetväljas. Magnetiline induktsioon. Magnetvoog.» Kasutades selgitamisel lihtsat oma-valmistatud seadet, mis koosneb tundlikkudest kaaludest ja silindrist, millele keritakse teatud arv õpilastele hästi nähtavaid juhtmekeerde, võib taotleda, et õpilased määraksid iseseisvalt magnetvälja tugevuse sõltuvuse amperkeerdu arvust ja raudsüdamiku olemasolust solenoidis. Selle katse alusel omandatakse kergemini ka magnetilise induktsiooni ja magnetvoo mõiste.

Eriti tähtis on niisuguste katsete korraldamine 6.—7. klassis, kus teadmiste omandamine toimub kaemuse abil.

Nii näiteks ei ole Ohmi seadus arusaadav ilma katseteta, mis määravad voolutugevuse sõltuvuse pingest muutumatu takistuse puhul ja voolutugevuse sõltuvuse takistusest muutumatu pinge korral.

Kirjeldame lühidalt tundi teemal «Juhtide järjestikune ühendamine», kus kasutatakse taolisi õpilaste aktiveerimise võtteid.

Peamiseks õppematerjali esitamise meetodiks on heuristiline vestlus laboratoorse töö alusel. Õpilased teostavad praktiliselt juhtide järjestikust ühendamist. Vestluse ja demonstatsioonkatsete (127-voldise lambi lülitamine reostaadiga 220-voldilise pingega võrku ja lampide ühendamine suure eritakistusega juhtidega ning nende asendamine vaskjuhtmetega) abil selgitab õpetaja järjestikuse ühenduse üldisi omadusi, et neid kasutada vooluringi arvutamisel. Peale tunni eesmärgi püstitamist tuletab õpetaja meelde, et erinevates vooluringi osades voolutugevus on sama väärtusega. Seejärel selgitab ta järjestikuse ühenduse omaduste katselise uurimise meetodikat.

1. Määrata pinged järjestikku ühendatud vooluringi osade otstel ja võrrelda neid kogu vooluringi välisosa otstevahelise pingega. (Tulemusi arutletakse ja üldine järeldus valemi kujul kirjutatakse tahvlile.)

2. Määrata sõltuvus takistuse ja pinge vahel igas ahelaosas.

3. Teha kindlaks, millega võrdub järjestikku ühendatud juhtide kogutakistus.

Õpilased valmistatakse vastamiseks ette sellega, et igale lauale antakse välja juht, mis lülitatakse vooluahelasse järjestikku ühendatud juhtide asemel. Juht on valitud selliselt, et ta tekitab vooluahelas sama pinge ja voolutugevuse nagu varem järjestikku ühendatud juhid. Sellest järeldatakse, et uue juhi takistus (vastavalt Ohmi seadusele) on võrdne varem järjestikku ühendatud juhtide kogutakistusega. Kui järjestikku ühendatud juhtide kõik omadused olid praktiliselt määratud, palub õpetaja neid teoreetiliselt põhjendada.

Materjal kinnistatakse järgmiste harjutustega:

1. Arvutada ahela kogutakistus:

a) 2 oomi ja 8 oomi, b) 2 oomi, 8 oomi ja 15 oomi. Anda reegel mistahes arvu järjestikku ühendatud juhtide kogutakistuse arvutamiseks.

2. Vastata suuliselt, milline on pinge laengus järjestikku ühendatud juhtides takistusega 1 oom, 2 oomi ja 3 oomi, kui pinge ahelas on 12 volti.

3. Katseline ülesanne. Näärikuuse valgustuse valmistamiseks kasutatavate lampide voolutugevus ja takistus on antud. Leida väikseim lampide arv, et neid järjestikku ühendatult võiks lülitada võrku. Selleks, et arvutuse õigsuses veenduda, lülitatakse näärikuusk valgustusvõrku ja loendatakse lampide arv.

Koduseks ülesandeks antakse teoreetilise materjali asemel loogiline ülesanne: «Kuidas, teades voolutugevust, tarbija klemmide pinget ja võrgupinget, määrata tarbijaga järjestikku ühendatud takistus, mis tagaks tarbija normaalse töö?» Kinnistamiseks antakse kaks ülesannet (Znamenski ülesannete kogu, nr. 872, 873).

Kontrolltöö, mis viidi läbi ilma eelneva kordamiseta 29. tunnil käsitletud õppematerjali ulatuses, näitas alalisvoolu seaduste osas õpilaste kindlaid teadmisi. (Kirjalik töö toimus pileтите järgi, millest igaüks koosnes ühest arvutusülesandest ja ühest kirjeldavast ülesandest.)

Me vaatlesime ainult osa neist võtetest, mis arendavad õpilaste iseseisvust ja loominguulist aktiivsust füüsika õppimisel. Need võtted põhinevad õpilaste meelelisel tajul, eelnevatel kogemustel ja praktilistel oskustel.

Isegi lühike ülevaade neist näitab, kuipalju võimalusi on füüsika õpetajal õppeprotsessi aktiveerimiseks.

Õpilaste aktiviseerimine füüsikas uue materjali esitamise protsessis

A. SAFIN,

Kaasani 80. Keskkooli füüsikaõpetaja.

M. GALEJEV,

Kaasani Riikliku Pedagoogilise Instituudi vanemõpetaja.

Meie kogemused füüsika õpetamisel 10. klassis näitavad, et õpilastele teeb raskusi teema «Elektromagnetilised võnkumised ja lained» omandamine. Seepärast kõitiski nimetatud teema meie tähelepanu tunni efektiivsuse tõstmise seisukohalt.

Selle teema õppimisele eelnes suur ettevalmistustöö: teema materjali jaotamine üksikutele tundidele, katseseadmete ettevalmistamine, illustreeriva materjali valmistamine ja tunni tööplaanide koostamine. Uue materjali sügav ja kindel omandamine on võimalik ainult õpilaste eneste aktiivsel osavõtul. Seepärast püüame aktiviseerida õpilaste mõtestatud tegevust ja taotleme seda, et nad uut materjali jälgides teeksid ise vastavaid järeldusi. Kõigepealt püüame võita õpilaste tähelepanu, äratada nende huvi tunni teema vastu ning selgitada õpitava materjali praktilist väärtust. Näiteks kõneldi esimeses tunnis raadio tähtsusest meie elus ja teatati õpilastele, et antud teema õppimisel nad saavad teada, kuidas toimub raadiosignaali saatmine ja vastuvõtt.

Õpilastele juba tuntud faktidele toetudes tuletasime meelde, et inimene tekitab rääkimisel õhu võnkumise, mis kujutab endast mehaanilist võnkumist ja levib lainetena. Midagi sarnast toimub ka raadiosaates. Raadiosaatja seadmetes tekivad elektrilised võnkumised, mis antenni jõudes põhjustavad ümbritsevas ruumis elektromagnetilisi laineid. Täna tunni teemaks on küsimus sellest, millised on elektromagnetilised lained. Niisugune teema esiletõstmine probleemi kujul paneb õpilasi huvi tundma ja uue materjali esitamisel on nad väga tähelepanelikud.

Kaheksandas tunnis tuleb vaatlusele moduleerimise protsess. Kuna eelnevates tundides õpiti ja demonstreeriti raadiosignaali saatmist,

siis esitasime antud tunnis probleemi kõne ülekandmisest raadio teel, s. o. moduleerimisest.

Esmajärjekorras püüdsime säilitada õpilaste huvi õpitava materjali vastu demonstratsioonkatsetega, millistega kaasnes õpetaja seletus.

Arvestades katsete suurt tähtsust, püüdsime me demonstreerida kõiki põhimisi nähtusi, millele toetub selle teema läbitöötamine. Katsete loetelu oli järgmine: kondensaatori tühjenemise võnkuv iseloom, mida demonstreerisime kahe galvanomeetri abil; aeglased kustumatud elektrilised võnkumised, kolme-elektroodiga lamp võimendajana, trioodi karakteristika, elektriline resonants, moduleeritud võnkumiste ostsillogrammi saamine katood-ostsillograafi ekraanil, avatud ja suletud võnkering, raadiosignaalide saatmine, muusika saatmine ja vastuvõtt Zvorõkini seadme abil, detekteeritud võnkumiste ostsillogrammi saamine, raadiolainete peegeldumine. Eriti suur tähtsus demonstratsioonkatsetel on niisuguse abstraktse mõiste omandamisel nagu elektromagnetiline väli ja selle levimine. Näitasime, et ultralühilaine suletud võnkering kiirgab nõrgalt ja lamp, mis on lülitatud häälestatud vastuvõtu võnkeringi, põleb ainult generaatori võnkeringi läheduses. Vastuvõtu võnkeringi eemaldamisel 2—3 m kaugusele lamp ei hõõgu. Antenni lülitamisega generaatorile ja vastuvõtjale me saavutasime lambi märgatava hõõgumise 2—3 m kaugusel generaatorist, millega tõestasime sellise energia tekkimist vastuvõtu võnkeringis, millest piisab lambi niidi hõõgumiseks. Järelikult, elektromagnetiline väli levib ruumis, eksisteerivad elektromagnetilised lained.

Suletud ja avatud võnkeringi mõiste kinnistamiseks me kasutame analoogiat mehhaaniliste võnkumistega: helihark ilma kastita kõlab halvasti — kiirgab nõrgalt, aga helihark resonantskastil kõlab hästi — kiirgab tugevasti.

Trioodi kasutamine võimendajana ilma vastava katseta ei ole õpilastele arusaadav. Seepärast demonstreerisime trioodi omaduste uurimisel lambi karakteristike saamist. Selle tulemusena said väljendused «lamp avatud» ja «lamp suletud» õpilastele arusaadavaks. Õpilased mõistsid hästi lambi võimendavaid ja detekteerivaid omadusi.

Mõtlemise aktiveerimise eeltingimuseks on äratada huvi, mobiliseerida õpilaste tähelepanu ning hoida seda mitmesuguste näitlikkuse vormidega, mis on ühenduses õpetaja sõnaga. Tunni läbiviimine üksikasjaliku vestlusega, mida saavad demonstratsioonid, annab võimaluse õpilasi kaasa tõmmata esitatud probleemide lahendamisele. Seejuures kasutatud heuristilised võtted sunnivad õpilasi vastuseid otsima õpetaja loogiliselt läbimõeldud küsimustele, sunnivad tegema üldistusi ja järeldusi.

Sagedane küsimustega õpilaste poole pöördumine suunab nende tähelepanu sellele või teisele uuritava nähtuse küljele. Nõue täiendada ja täpsustada oma seltsimeeste vastuseid, tõmbab kõiki õpilasi kaasa aktiivsesse töösse. Seepärast fikseerisimegi tunni plaanis põhimised küsimused kindlas järjekorras. Õigete järelduste kordamine rea õpilaste poolt aitab kaasa materjali kinnistumisele. Sel viisil õpitakse uus materjal selgeks peamiselt klassis ja vähendatakse koduseid ülesandeid.

Kuidas eespool mainitu praktiliselt teostati?

1. Võnkeringi uurimisel kasutasime rull-plakatit üheksa joonisega, mis kujutasid võnkeprotsessi järjestikuseid faase iga $\frac{1}{8}$ perioodi järgi. Sellega kõrvuti oli joonistatud matemaatiline pendel vastavas faasis. Joonisel olid elektrivälja jõujooned kujutatud punase ja magnetvälja jõujooned sinise tušiga. Võnkeringis toimuvate protsesside vaatlemine algas esimese joonise abil, kus kondensaator oli laetud ja võnkering lahti lülitatud. Seejuures suunati õpilaste tähelepanu sellele, et kondensaatori plaatide vahel on elektriväli.

Rull-plakati pööramisega selgitasime koos õpilastega protsessi, mis toimub võnkeringis, järgmiste küsimuste abil.

Mis toimub peale võnkeringi sulgemist lülitiga?

Millises suunas hakkavad ümber paiknema elektronid?

Milline väli moodustub vooluga juhi ümber?

Mida te näete teisel joonisel?

Kuidas muutub elektriväli? magnetväli?

Avanud kolmanda joonise, jätkasime protsessi uurimist.

Mida te näete kolmandal joonisel?

Millise suurusega on magnetväli? elektriväli?

Mis tekib magnetvälja kadumisel?

Millised laengud kogunevad kondensaatori ülemisele plaadile?

Milline on praegu laeng alumisel kondensaatori plaadil?

Ühine arutelu lõppes viiendal joonisel, mis vastas poolele perioodile. Edasi arutlesid õpilased ilma õpetaja abita. Peale ühe perioodi jooksul toimunud protsessi vaatlemist pöörati õpilaste tähelepanu energia muundumisele.

Millised energia muundumised toimuvad elektrilistel võnkumistel?

Mida kujutavad endast elektrilised võnkumised?

Millised tingimused on vajalikud elektriliste võnkumiste tekkimiseks?

Millistel momentidel elektrivälja energia saavutab suurima väärtuse?

Peale seda andsime elektromagnetiliste võnkumiste definitsiooni, nõudsime selle kordamist 4—5 õpilaselt ja palusime definitsiooni kirju-

tada vihikuisse. Õpilased, eriti vanemates klassides, peavad tegema vihikusse lühikesi märkmeid.

Elektriliste võnkumiste tundmaõppimisel võnkeringis kandsid õpilased joonised oma vihikusse. Jooniste ja üleskirjutuste kiirendamiseks me näitame alati joonise mastaabi ja asendi vihikus ning jätame joonise tegemiseks teatud aja.

2. Kustumatute elektromagnetiliste võnkumiste tundmaõppimisel näitame sissejuhatavas vestluses, et käesoleval ajal kasutatakse raadio-tehnikas suure sagedusega kustumatuid elektromagnetilisi võnkumisi. Kondensaatori tühjenemisel, nagu teame, tekivad võnkeringis kustuvad võnkumised. Matemaatiline pendel annab samuti kustuva võnkumise. Pöördume õpilaste poole:

Mis põhjusel pendli võnkumine on -kustuv?

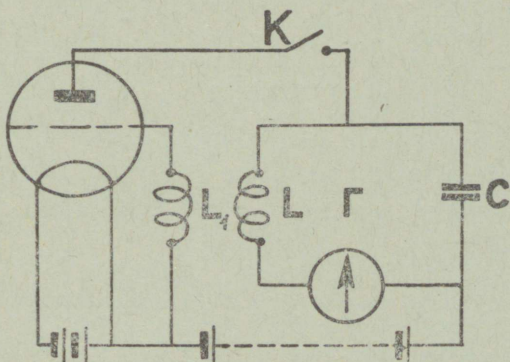
Tooge näide kustumatust pendli võnkumisest.

Mispärast seinakella pendli võnkumine kaua aega jääb kustumatuks?

Millistel tingimustel saadakse kustumatuid võnkumisi?

Õpilased vastavad, et kellades on eriline seade, mis vajalikul momendil pendlit tõukab, lisades sellele igakord vajaliku koguse energiat.

Selgitame, et võnkeringis peab olema ka mingi lisaseade, mis vajalikul momendil automaatselt täiendaks kondensaatori energiat. Selliseks lisaseadmeks osutub kolme elektroodiga lamp ja sellega ühenduses olev patareid. Joonistame lihtsama lampgeneraatori skeemi (joon. 1), kuid esialgu ilma sidestuspoolita L_1 (õpilased joonistavad skeemi oma vihikusse) ja jätkame vestlust.



Joon. 1

Mis saab, kui lülitiga K sulgeda anoodi ahel?
 Kas võivad elektronid esimesel momendil läbida pooli L?
 Mis toimub esimesel momendil peale anoodahela sulgemist?
 Mis toimub peale kondensaatori laadimist?
 Millised võnkumised tekivad võnkeringis?
 Kuidas muuta need võnkumised kustumatuks?

Kas võib mehhaanilise vahendiga vajalikul momendil sulgeda ja avada anoodahelat?

Kokkuvõttes selgitame, et automaatset anoodahela avamist ja sulgemist toimetab kolme elektroodiga lambi võre, mis on seotud võnkeringiga pooli L_1 abil. Anname lampgeneraatori täieliku skeemi. Vestlust jätkates selgitame võre tähtsust kustumatute võnkumiste saamisel. Vestluse lõpul küsime:

Millise vooluallika energia arvel täiendatakse võnkeringi energiat?

Peale lampgeneraatori töötamise põhimõtte selgitamist läheme üle aeglase kustumatute võnkumiste demonstreerimisele.

Koostame lampgeneraatori järgmistest osadest: 1) induktiivpool L, mis koosneb kahest raudsüdamikuga varustatud 8000 keeruga mähisest, 2) kondensaatori patarei kuni 58 mikrofaradit, 3) triood, 4) demonstratsioongalvanomeeter, 5) küttepatarei 4 volti, 6) anoodpatarei 50—60 volti.

Peale anood- ja kütteahelate sulgemist hakkab generaator töötama: galvanomeetri osuti võngub perioodiga 1 sek. Juhime õpilaste tähelepanu galvanomeetri osuti võnkumise sagedusele mahtuvuse ja induktiivsuse muutmisel.

Suurused kanname järgmisse tabelisse:

L	C	T	f
200 henrit	50 μF	1 sek.	1 Hz
200 henrit	32 μF	0,5 sek.	2 Hz
90 henrit	32 μF	0,35 sek.	3 Hz

Nii leiame, et T on otseses sõltuvuses L-ist ja C-st. Anname valemi

$$T = 2\pi \sqrt{LC}, \text{ kõrnutame selle pendli valemiga } T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Õpilaste kaasatõmbamine nähtuse uurimisele aktiveerib nende mõtlemist. Õpetaja sagedased küsimused erinevatele õpilastele sunnivad neid olema tähelepanelikud kogu tunni vältel. Samuti aitab detailne ja igakülgne nähtuse uurimine kaasa materjali sügavale mõistmisele.

Tunni läbiviimisel sõltuvalt materjalist ja tunni iseloomust võib see või teine tunnielement puududa (näiteks ei olnud mõnes tunnis küsitlemist).

Peamist tähelepanu osutasime uue materjali esitamisele ja selle kinnistamisele. Me lähtusime sellest printsiibist, et kõik peab olema õpilastele arusaadav ja võimaluse korral kinnistatud juba tunnis.

Uue materjali esitamisel hoiduti loogilistest lünkadest arutluses.

Uue materjali kergemaks mõistmiseks seoti varem läbivõetud materjal uuega, see aitas kaasa uue selgitamisele ja läbivõetud materjali kinnistamisele.

Mehhaaniliste võnkumiste kordamine 9. klassi kursusest andis nüüd õpilastele laiemat mõistet.

Paljud teema küsimused olid esitatud sügavamalt, kui nad olid antud õpikus, ning nendega kaasnes katsete demonstreerimine. Mõnede küsimuste esitamisel kaldusime õpikust kõrvale. Nähtuste esitamisel ja demonstreerimisel kasutasime nii omavalmistatud kui ka tööstuslikult toodetud lampgeneraatorit.

Tavaliselt kahetunnises õppetunnis kulus uue materjali esitamiseks 50—55 minutit, kinnistamisele 12—17 minutit, küsitlemisele ja kordamisele 12—18 minutit. 45-minutilise tunni puhul küsitlemine ei kestnud üle 7—8 minuti.

Sõltuvalt materjali mahust ja iseloomust toimus kinnistamine osade kaupa või tunni lõpul ning sellest tööst võttis osa enamuse õpilasi.

Kordamine toimus sageli frontaalse küsitluse korras, millega haaratakse vähemalt pool klassi. Siia on arvatud ka õpilased, kes kutsutakse tahvli juurde joonist tegema, valemit teisendama ja selgitama mingit küsimust õppevahendi või tabeli järgi.

Frontaalse küsitluse eelis seisneb selles, et tööga haaratakse rohkesti õpilasi. See aga virgutab iga õpilast aktiivselt meelde tuletama ja kordama õpitut materjali. Igas tunnis saavad meil keskmiselt 5 õpilast hinded. Teema «Elektromagnetilised võnkumised ja lained» läbivõtmise perioodil sai iga õpilane 2—3 hinnet. Oli märgata mõningat õppedukuse tõusu võrreldes möödunud aastaga. Õpilaste sõnade järgi olid need tunnid väga huvitavad. Mõned õpilased huvitusid nii sügavalt raadiotehnikast, et hakkasid koostama lampvastuvõtjat, teised aga väljendasid soovi saada raadiotehnikuteks.

Demonstratsioonikatsed füüsika tundides

A. IVANOV,

Gorki oblasti Katovo Keskkooli õpetaja.

I. Demonstratsioonkatsete planeerimine.

Katsed on koolis füüsika õpetamise aluseks. Õpilaste teadmiste püsivus ja sügavus ning oskus siduda teadmisi praktikaga sõltub väga suurel määral sellest, kuidas õpetaja kasutab demonstratsioonkatseid.

Selleks et demonstratsioonkatsetele oleksid orgaaniliselt seotud teoreetilise materjaliga, tuleb katsete meetodikat ja tehnikat vaadelda seoses kogu tunni organiseerimise ja meetodikaga. Seega on katsete planeerimine ja ettevalmistamine tunni planeerimise ja ettevalmistamise koostisosaks.

Töötan tundideks ettevalmistamisel üldjoontes järgmiselt.

Poolaastaks koostatud kalenderplaani ja programmi järgi teen kindlaks antud tunnile planeeritud õppematerjali sisu ja ulatuse ning mõtlen läbi uue materjali käsitlemise järjekorra ja meetodi.

Tunniks valmistumisel on abiks kasutuselolev õpik, P. A. Znamenski, E. N. Gorjatškini ja I. I. Sokolovi füüsika meetodika käsiraamatud, viimastel aastatel G. S. Landsbergi toimetusel ilmunud füüsika õpikud, N. P. Tretjakovi õpik ja samuti füüsika õpetajatele määratud metoodilised käsiraamatud.

Selleks et järgnevatel aastatel oleks kergem valida käsitluse meetodit ja leida materjali, teen kalenderplaani lahtri, kuhu märgin andmed tunni ettevalmistamisel kasutatud kirjanduse kohta.

Näiteks 8. klassi esimese tunni «Sissejuhatus» kohta on tehtud järgmine märkus: «Kasutada G. S. Landsbergi raamatu I köidet, lk. 15». Newtoni III seadust (reaktiivliikumist) käsitleva tunni kohta on kirjutatud: «Kasulikku materjali leidub S. M. Iljašenko brošüüris — «Häälest kiiremini»».

Seejärel mõtlen läbi esitatava materjali ja katsete vahelise seose ning püüan katsed valida nii, et nad loogilises järgnevuses avaksid tunnis tundmaõpitavate füüsikaliste seaduste sisu. Selleks teen kindlaks põhilised seaduspärasused, mis õpilased õppeprotsessis peavad

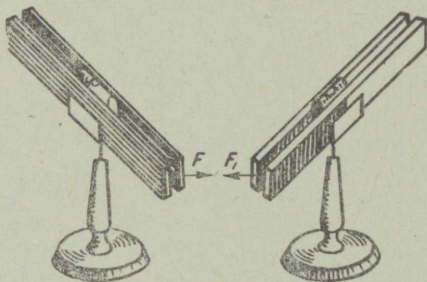
omandama, ja esitan endale küsimuse: milliste katsete abil saab õpilasi viia selleni, et nad katsetest iseseisvalt tuletaksid need seaduspärasused, või, milliste katsete abil võib kinnitada õpetaja poolt esitatud seaduspärasusi.

Eespoolõeldu selgitamiseks vaatleme näidet tunni-tööplaani koostamisest 8. klassis teemal «Newtoni III seadus» (tunnis ainult tutvutakse selle seadusega).

Põhilised seaduspärasused, mida selles tunnis tundma õpitakse, on järgmised:

- 1) looduses puuduvad materiaaletest kehast eraldatud jõud;
- 2) alati tekib samaaegselt kehade mõju teineteisele, s. o. kehade vastastikune mõju;
- 3) teineteist mõjutavatele kehadele on rakendatud vastassuunalised jõud;
- 4) need jõud on oma suuruselt võrdsed.

Esimene seaduspärasus tuletatakse praktikast võetud näidete abil, kusjuures esimesed näited toob õpetaja. Kui aga õpilastele saab näidete mõtte selgeks, siis hakkavad nad neid ise tooma.



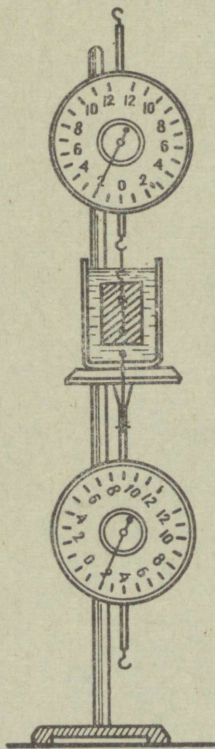
Joon. 1. Raua ja magneti vastastikune mõju.

Teist ja kolmandat seaduspärasust õpitakse tundma 2–3 katse põhjal. Vaatleme nendest ühe sisu lähemalt (katse magneti ja rauaga). Teravikuga varustatud alustele pannakse magnet ja rauatükk, mis koosneb pehmeks põletatud raudvarrastest (joonis 1). Magnet ja rauatüki massid on ligikaudu võrdsed. Pärast seda, kui magnet ja rauatükk on asetatud teineteise suhtes mingi väikese nurga alla, hakkavad nende lähedasemad otsad liikuma teineteise poole. Magnet ja raud mõjutavad teineteist; nendele mõlemale on rakendatud jõud, mis on vastassuunalised.

Vaatleme neljandat seaduspärasust. Esitame küsimuse: kas vastastikuse mõju jõudude suuruse vahel on mingi sõltuvus?

Vastuse sellele küsimusele annavad järgmised katsed:

1. Katse vee ja temasse sukeldunud keha vastastikuse mõju kohta (joonis 2). Kinnitame demonstratsioon-dünamomeetri varda külge lauakese ja asetame sellele klaasanuma veega. Dünamomeetri liikuva skaala pöörame nii, et osuti asub skaala nullpunktis. Teise dünamomeetri otsa riputame mingi keha ja seame selle osuti samuti nullile. Keha sukeldumisel vette mõlema dünamomeetri näidud muutuvad: dünamomeetrid registreerivad võrdseid ja vastassuunalisi jõude. Juhin õpilaste tähelepanu järgmisele tõsiasi: ükskõik kui suur osa kehast on sukeldunud vette — dünamomeetri näidud on alati võrdsed. Teeme järelduse, et vesi mõjutab keha samasuure jõuga kui keha vett.



Joon 2. Katse, mis demonstreerib vee ja temasse sukeldunud keha vastastikust mõju.

2. Katse nõoriga. Seome statiivile kinnitatud dünamomeetri külge nõõri ja tõmbame nõõri vabast otsast. Dünamomeeter näitab, kui suure jõuga käsi tõmbab nõõri. Esitame nüüd küsimuse: kui suure jõuga mõjub nõõr käele? Sellele küsimusele vastuse leidmiseks võtame kätte

teise dünamomeetri ja seome nõõri vaba otsa, millest me varem tõmbasime, selle dünamomeetri konksu külge. Teine dünamomeeter näitab, kui suure jõuga mõjutab nõõr kätt. Nõõri pingulitõmbamisel näitavad mõlemad dünamomeetrid võrdseid jõude.

Läbitõõtatud katsete ja näidete põhjal sõnastatakse mehhaanika III seadus. Omandatud teadmiste kinnistamiseks analüüsitakse näiteid kehade langemisest maapinnale, sõitmisest ja käimisest möõda maapinda, kehade toetumisest alusele, püstitõõsmisest ja kükitamisest jne. Selliseid küsimusi on vajalik analüüsida Newtoni III seaduse univertsalsuse selgitamiseks.

Mõnikord võib katsete korraldamisest liigselt vaimustusse sattudes kahjustada tunni sisu. See oht ähvardab eelkõige neid õpetajaid, kes katseid armastavad. Sellised kalduvused olid ka minul. Nüüd aga valin tunniks ainult neid katseid, mis annavad parimaid tulemusi. Katsete valikul etendab tähtsat osa füüsika katsete kartoteek, mida ma pean alates 1946. aastast. Sellest räägime lähemalt hiljem.

Erineva sisuga tundides on katsete arv erinev. Kasutan katseid mitmesugusteks eesmärkideks: seaduspärasuste tuletamiseks, esitatu illustreerimiseks jne. Kõige tüüpilisemad on tunnid, milledes katsed on järelduste tuletamise ja seaduspärasuste kindlakstegemise aluseks. Kui see on võimalik, valin sissejuhatava katse, mille abil tutvustan õpilasi tundmaõpitava küsimusega ja esitan nendele probleemi. Nii näitan 7. klassis takistuse seaduste tundmaõppimisel kõigepealt, et iga uue juhtme lüümine vooluringi kutsub esile voolutugevuse suurenemise, iga juhtme väljalüümine aga — voolutugevuse vähenemise. Selle katse põhjal võtan kasutusele takistuse mõiste, vaadeldes seda voolutugevuse vähenemist põhjustava juhtme omadusena, ja esitan õpilastele tundmaõpitava probleemi: uurida selle omaduse sõltuvust juhtme pikkusest, ristlõikest ja materjalist.

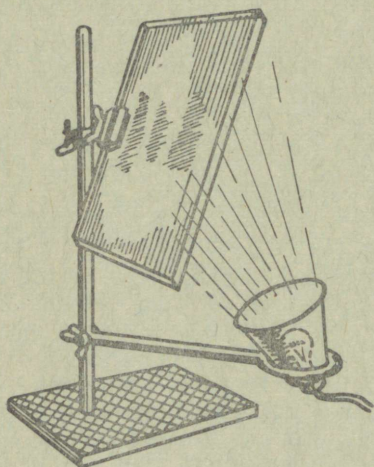
Archimedese seaduse tuletamisel näitab sissejuhatav katse vette asetatud kehale (koormusega varustatud pulgale) mõjuva üleslükkejõu olemasolu. Katse vaatlemisel tekib küsimus: millest sõltub üleslükkejõu suurus?

Õpilaste huvi äratamiseks õpitava probleemi vastu kasutan sissejuhatavaid katseid alati, kui see on võimalik. Nii muutuvad õpilased aktiivsemaks ja kogu tunni efektiivsus kasvab.

Põhikatseks valin niisuguse katse (mõnikord ka mitu katset), mis järjekindlalt avab füüsikalise protsessi kogu käigu ning kõik tema seaduspärasused ja mis kõige selgemini demonstreerib füüsikaliste suuruste vahelist sõltuvust. Nii on mul võimalik esitada selgeid ja loogiliselt põhjendatud seletusi, tõestusi ja järeldusi.

Näiteks korraldan aurustumise seaduste tundmaõppimiseks aja- kirjas «Физика в школе»¹⁾ kirjeldatud katse, mis demonstreerib vedeliku aurustumist mattklaasilt.

Suur mattklaas kinnitatakse kaldu statiivi külge. Kui tekitada mattklaasile vedelikulaik, muutub klaas sellest kohast läbipaistvaks. Laik on hästi nähtav ka klassi kaugematest kohtadest. Parema nähta- vuse tagamiseks valgustatakse mattklaasi tagantpoolt lambiga, nii nagu see on näidatud joonisel 3.



Joon. 3. Katseseade aurustumise sea- duste demonstreerimiseks.

Katse demonstreerimise käigus vaadeldakse vedelikulaikude kadu- mist aurustumise tõttu klaasi pinnalt mitmesugustes tingimustes ja tehakse järeldusi aurustumise kiiruse sõltuvuse kohta vedeliku ainest, temperatuurist, õhu liikumise kiirusest aurustuva vedeliku kohal ja vedeliku pinna suurusest. See katse on lihtne ja näitlik ning täiendatuna katsetega, mis näitavad soojuse neeldumist aurustumisel ja aurus- tumise kiiruse sõltuvust rõhust, võimaldab ta avada aurustumise sea- duste sisu.

Katsete valikul taotlen lihtsust ja püüan saavutada seda, et keeru- kad katseseadmed või nähtuse mitteolulised küljed ei tõmbaks õpilaste tähelepanu demonstreeritava nähtuse põhilistelt külgedelt kõrvale.

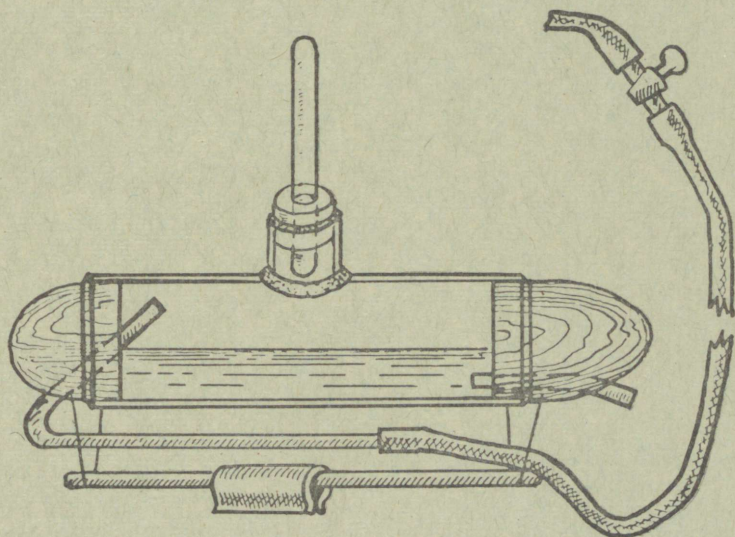
Tundi planeerides teen kindlaks, mida jutustada tunnis kasutatud katseriistade ehituse ja rakendamise kohta, mida joonistada tahvlile

¹⁾ Л. И. Скрябин, «Демонстрация законов испарения», журн. «Физика в школе», 1946, № 1.

ja milliseid küsimusi esitada klassile katse vaatlemise ajal. Mõtlen läbi järelduste tuletamise käigu. See osa tunnist koos uue materjali esitamiseega on kõige töömahukam. Selleks, et ei esineks ruttamist aine käsitlemisel ega tunni ühe osa koondamist teise osa arvel, tuleb uue materjali esitamisel täpselt kinni pidada ajalisest plaanist.

Kui aega jätkub, siis demonstreerin katseid ka õppematerjali kinnistamisel. Mõnikord illustreerivad need katsed tuletatud seaduste rakendamist, teistel juhtudel on nad aga eksperimentaalseteks ülesanneteks.

Et illustreerida ujumise tingimuste rakendamist tehnikas, on näiteks kasulik korraldada katse allveelaeva lihtsustatud mudeliga (joonis 4).



Joon. 4. Allveelaeva töötava mudeli ehitust selgitav skeem.

See mudel on valmistatud kooli tehnikaringis. Allveelaeva mudeli põhiosaks on 15 cm pikkune klaasilinder, mis on valmistatud mensuurist või umbes 5 cm-se läbimõõduga pudelist. Sobiva pikkusega silinder lõigatakse välja elektrivoolu mõjul hõõguva suure eritakistusega traadi abil. Eelnevalt tehakse viiliga lõikekohale täkked. Silindri mõlema otsa ette on mendelejevi kitiga kinnitatud korgid, millest on läbi pistetud klaastorud. Ühe toru ots asub laeva sisemuse ülaosas, teine ots aga alaosas (vt. joonis 4).

Allveelaeva püsivuse tagamiseks on laeva põhja all koormus, mis toetub kahele korkide külge kinnitatud traadist aasale. Laeva ülemisele pinnale on kleebitud mendelejevi kitiga «periskoop». Periskoo-biks on kinnisulatatud otstega klaastoru tükk, mis on pistetud korgisse. Klaastoruga, mille ots asub laeva ülaosas, ühendatakse võimalikult kerge 60—80 cm pikkune kummitoru. Kummitoru ots on suletav kraani või näpitsaga.

Allveelaev pannakse ujuma veega täidetud akvaariumi. Allveelaeva sukeldumiseks avame kraani ja laseme laevast välja teatud koguse õhku. Teise avatud klaastoru kaudu, mille ots on laeva alumises osas, tungib vesi laeva sisemusse ja laev sukeldub. Sõltuvalt laeva tunginud vee hulgast võib laev kas vajuda põhja või ujuda veepinna ligidal nii, et «periskoop» ulatub osaliselt veest välja. Kui laev on sukeldunud vajalikule sügavusele, suletakse kraan ja laev jääb tasakaalu. Laeva veepinnale tõstmiseks tuleb suruõhu abil tõrjuda osa vett laevast välja. Selleks avatakse kraan ja pumbatakse kummipuhuri või pumba abil laeva õhku.

See mudel on lihtne ja näitlik ning võimaldab meelde tuletada allveelaevanduse füüsikalisi aluseid. Õpilased analüüsivad huviga laeva sukeldumise ja tõusmise põhjusi. Kinnistamine kulgeb aktiivselt.

Järgnevalt planeerin kodused ülesanded, lülitades mõnikord nende hulka ka lihtsa katse või laboratoorse töö. Kasutan seejuures S. F. Pokrovski käsiraamatut «Опыты и наблюдения в домашних заданиях по физике».

Eriti palju aega pühendan üksikute raskete teemade detailsele meetodilisele läbitöötamisele. Läbitöötamise tulemused vormistan kas kartoteegi kaartidele või tunni tööplaani ja teen märkuse kalenderplaani, et tund või teema on detailselt läbi töötatud. Järgnevatel aastatel vaatan kriitiliselt läbi vanad plaanid, muudan neid ja loobun täielikult nendest materjali esitamise meetoditest, mis praktikas end ei õigustanud. Selline töö on sageli seotud uute katseriistade konstrueerimisega või vanade ümberehitamisega.

II. Demonstratsioonkatsete valimine ja süstematiseerimine.

Praktilises töös peab õpetaja pidevalt kasutama meetodilist kirjandust, käsiraamatuid ja populaarteaduslikku kirjandust, et laiendada oma silmaringi ja rikastada katsete tagavara. Kartoteek võimaldab mul valida vajalikul momendil kõige efektiivsemaid ja meetodiliselt väärtuslikumaid katseid ja demonstratsioone. See koosneb postkaardisuurustest kaartidest, mis on valmistatud tihedast paberist. Kannan kaartidele jooniste abil demonstratsioonide skeemid, katseriistade karakteristikad ja teised vajalikud andmed katseriistade ja -seadmete kohta (näiteks, kui katse toimub mingil kindlal režiimil, siis märgin katse

kestvuse; mõnikord teen metoodilise iseloomuga märkusi; näitan, kust katse on võetud jne.). Kaardi ülaosasse kirjutatakse kaardile kantud demonratsioonkatsete rühma nimetuse. (Kaardile kantakse ainult ühele teemale vastavad katsed, nagu näiteks «Newtoni II seadus», «Nurga all mõjuvate jõudude liitmine», «Ohmi seadus», «Galvanoplastika», «Valguse interferents» jne.) Kaardi paremal nurgal on tema järjekorranumber. Kaardile kantud demonratsioonkatsete skeemid on samuti nummerdatud.

Näide sellisest kaardist on toodud lk. 57—59.

Kartoteegi koostamisel ja kasutamisel kogub õpetaja teadmisi ja kogemusi katsete metoodika ja tehnika alalt. Pärast ühe või teise katse demonstreerimist tunnis kannan kartoteeki vajalikud parandused, täiendused ja märkused ning märgin poolaastaplaani (lahtrisse «Didaktiline materjal») selle katse numbrit, mis väärrib tähelepanu ka tulevikus. Kirjutatakse näiteks: 138 (3). See tähendab, et edaspidi tuleb kasutada katset 3 kaardilt nr. 138.

Kui mingi käsiraamatuga tutvumisel leitakse sobiv katse, siis kantakse see vastavale kaardile. Kartoteek võimaldab demonratsioonkatseid tundideks varem ette valmistada ning rakendada selleks laboranti.

Kartoteek sisaldab ka niisuguseid kaarte, millele on kantud demonratsioonkatsed kas terve tunni või tundide rühma kohta. Selliselt olen läbi töötanud näiteks järgmised tunnid: «Inerts», «Rõhumine», «Kiirgumine ja neeldumine», «Soojushulga mõiste» ja «Mõjuelekter» — 7. klass; «Elektromagnetilised võnkumised», «Elektromagnetilised lained» — 10. klass.

Näidis sellisest kaardist on toodud lk. 59—61.

Kaartidele kantud materjal muidugi vananeb ja see asendatakse töö käigus kas osaliselt või täielikult uuega.

Kabineti täiendamine uute katseriistadega avab laialdasemad võimalused katsete korraldamiseks. Demonratsioonkatseid muudetakse vastavalt nendele võimalustele, kusjuures kartoteeki täiendatakse uue kaardiga ja poolaastaplaani tehakse uue kaardi kohta märkus.

Minu praktikas tuli näiteks muuta katseid seoses Brauni elektroomeetri saamisega Kolbe elektroskoopide asemele. Demonratsioon-dünamomeetrite saamisega avardusid jõudude liitmise ja komponendid lahutamise demonstreerimise võimalused. Katsed muutusid täiuslikumaks ka seoses ümberpöörava prisma omandamisega, mis võimaldas ekraanile projitseerida rida nähtusi: konvektsiooni, keemist, avatud ja suletud galvaanielemendis toimuvaid nähtusi, kapillaarsust, rõhu jaotust liikuvast vedelikust ja palju muud. Selline aastatepikkune süstemaatiline töö kartoteegiga muudab katsete korraldamise viljakamaks ning väldib ruttamist, juhuslikkust ja ebaõnnestumisi.

III. Demonstratsioonkatse kui tähtis vahend õppematerjalist parema arusaamise kindlustamisel.

Mõned füüsika kursuse teemad on õpilastele raskesti omandatavad. Selleks et õpilased saaksid aru õppetunnis esitatud materjalist, tuleb töötada suure pingega. Oskusliku katsete rakendamisega võib aga teadmiste omandamist muuta tunduvalt kergemaks. Toon mõned näited.

Näide 1. Erikaalu mõiste kujundamine 6. klassis. Selle küsimuse käsitlemist alustan praktiliste ülesannete vaatlemisega. Esitan küsimuse: kuidas teada saada mullahunniku või paaki valatud nafta kaalu, kui neid on võimatu kaaluda? Need küsimused viivad õpilased mõttele, et praktiliste küsimuste lahendamisel on mõnikord tähtis teada mingis kindlas ruumalas sisalduva aine kaalu, näiteks ühe kuupdetsimeetri mulla või ühe liitri nafta kaalu.

(Teeme kindlaks, et vajalik on teada ka hunnikus sisalduva mulla kuupdetsimeetrite arvu või paaki valatud nafta liitrite arvu.)

Märgime, et selliseid ülesandeid on lihtsam lahendada siis, kui meil on varem teada ühes kuupsentimeetris sisalduva aine kaal. (Arutleme, kuidas kaalu sel juhul määrata.)

Järgnevalt demonstreeritakse mitmesugustest ainetest — puust, korgist, kummist, savist ja seatinast — kuupe, mille ruumala on 1 cm^3 .

Kaalunud need kuubid, jõuavad õpilased veendumusele, et nende kaal on erinev. Kuna see demonstratsioonkatse täidab abstraktse erikaalu mõiste konkreetse sisuga, siis arvan, et ta ei ole üleliigne.

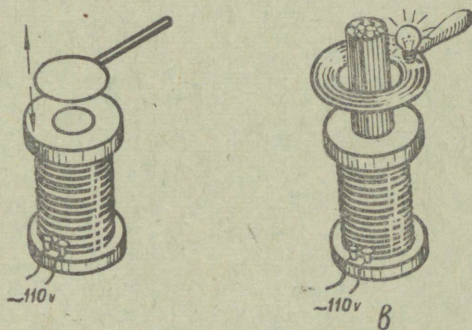
Selleks et kinnitada erikaalu järgi aine kaalu määramise võtte õigsust, lahendatakse katseline ülesanne: kuidas määrata antud puuklotsi kaal, kui me oleme varem kaalunud 1 cm^3 suuruse ruumalaga samast puust kuubi. Muidugi enne, kui seda ülesannet õpilastele anda, peab õpetaja valmistama puust kuubi, mille kaal vastab puu erikaalule. Õpilased määravad klotsi ruumala, arvutavad tema kaalu ja kontrollivad saadud tulemust, kaaludes klotsi. Demonstratsioonkatse abil kinnistatakse erikaalu mõistet ja tunnetatakse tema praktilist väärtust.

Järgnevalt esitatakse küsimus: kuidas määrata aine erikaalu nii, et me ei lõika temast välja 1 cm^3 -se ruumalaga kuupi? Õpilased tulevad ise sellele (äsjalahendatud katselise ülesande põhjal), et erikaalu leidmiseks tuleb teada mingi aine hulga kaalu ja ruumala ja et kaal grammides tuleb jagada ruumalaga kuupsentimeetrites. Seda järeldust kinnitatakse laboratoorse tööga, milles määratakse mingi tahke aine, näiteks puu või kummi, ja piirituse erikaal. (Puu erikaalu määramiseks kasutatakse «aritmeetika kastist» võetud korrapärase kujuga klotsi, kummi erikaalu määramiseks kummikorki.)

Niisugune vaevarikas töö tasub end sellega, et õpilased omandavad kindlalt uue mõiste ja näevad tema praktilist väärtust.

Näide 2. Tavaliselt tekitab raskusi elektromagnetiliste lainete käsitlemine 10. klassis. Püüdsin elektromagnetiliste lainete tekkimist ja levimist seletada katsete abil. Katse on õpilastele arutluskäigu kõige veenvamaks tõestuseks. Loobusin elektromagnetilise välja kujutamise jõujoonte abil ja püüdsin viia õpilaste teadvusesse Maxwelli avastuse põhiolemuse ning kinnitada selle järeldusi katsetega. Maxwelli teooria tulemuste elementaarse käsitlemise leidsin I. P. Žerebatsovi raamatu «Raadiotehnika» 1949. a. väljaandest, mida ma kasutasin. Maxwelli poolt avastatud seaduse olemus on selles raamatus esitatud järgmiselt: «Igasugune elektrivälja muutus põhjustab magnetvälja tekkimise ja igasugune magnetvälja muutus elektrivälja tekkimise». Nende väidete õigsust võib kontrollida Thomsoni pooliga ja Tesla transformatoriga korraldatavate lihtsate katsete abil.

Katse 1. Thomsoni pooli kohale asetatakse vedru külge kinnitatud raudplaat. Kui laseme pooli vahelduvvoolu, hakkab raudplaat võnkuma, tõmbudes kord pooli poole, kord aga pöördudes endisesse asendisse tagasi (joonis 5 a).



Joon. 5. Katsed Thomsoni pooliga.

Katse analüüs (tehakse klassi osavõtul). Pooli mähises liiguvad laengud. Seega on juhtmes olemas elektriväli. Kuna vooluks on vahelduvvool, siis elektriväli muutub. Raudplaadi võnkumine näitab magnetvälja olemasolu pooli lähedal. Plaadi võnkumine näitab, et magnetväli muutub.

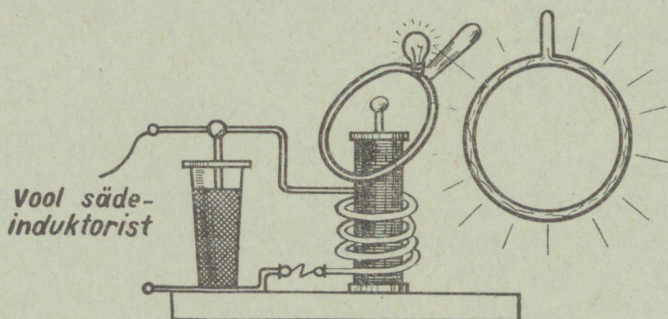
Järeldus: elektrivälja muutus tekitab ruumis muutuva magnetvälja.

Katse 2. Raudsüdamikuga Thomsoni pooli kohale asetatakse tasapinnaline pool, mis on suletud elektrilambiga. Kui laseme Thomsoni pooli vahelduvvoolu, siis hakkab lamp põlema (joonis 5 b).

Analüüs. Voolu tekkimisest sekundaarpoolis järgneb, et selle pooli mähises on elektriväli. See elektriväli tekkis muutuva magnetvälja mõjul (millest oli juttu eespool). Uus elektriväli muutub, kuna muutub teda esile kutsunud magnetväli. Lülitanud lambi klemmide külge alalisvoolu voltmeetri, võime veenduda, et tekkinud elektriväli on muutuv. Sellele vaatamata et lamp põleb edasi, ei kaldu voltmeetri osuti kõrvale. See katse näitab, et lampi läbib muutuva elektrivälja mõjul tekkinud vahelduvvool.

Tuleb märkida, et me vaatleme elektrivälja ainult juhtmes, kuid elektriväli on olemas ka juhet ümbritsevas ruumis. Selle väite tõestamiseks korraldame katse Tesla transformaatoriga.

Katse 3. Viime lambiga suletud ühest juhtmekeerust koosneva mähise Tesla transformaatori sekundaarpooli magnetvälja. Vaatleme lambi põlemist (selle põhjused on õpilastele juba tuttavad). Seejärel viime samasse välja elektroodideta Geissleri toru ning vaatleme gaasi helendumist selles (joonis 6).



Joon. 6. Lambi ja hõrendustoru helendumine muutivas elektriväljas.

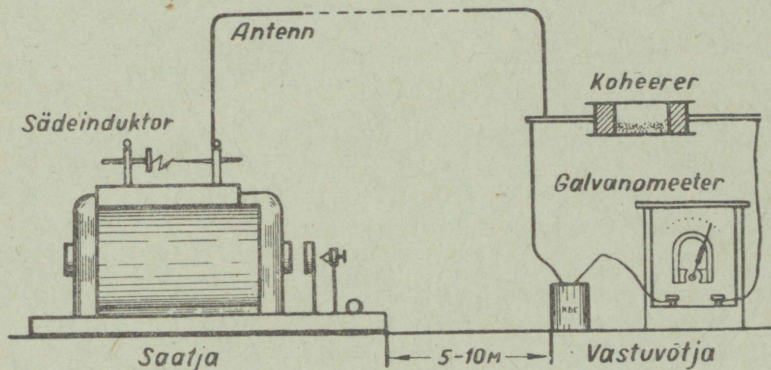
Järeldused. Veendusime muutuva elektrivälja olemasolus kahel teel: viisime sellesse väljast juhtme ja hõendatud gaasiga (mittejuhiga) täidetud toru, mille gaas helendub teatavasti muutuva elektrivälja mõjul. Seega muutuv elektriväli on olemas ka väljaspool juhti, muutuvat magnetvälja ümbritsevas ruumis.

Magnetvälja muutumine tekitab ümbritsevas ruumis muutuva elektrivälja. Võib näidata, et muutuv elektriväli tekitab omakorda muutuva magnetvälja jne.

Demonstreeritud katsed avavad elektromagnetilise välja põhiomaduse: elektromagnetiline väli koosneb teineteisega seotud muutuvatest elektri- ja magnetväljadest.

Siinkohal jutustan õpilastele, et 1867. a. tõestas Maxwell teoreetiliselt elektromagnetiliste väljade olmasolu ja tuli järeldusele, et kui kuskil muutub elektriväli, siis tekib ruumis kindlasti muutuv magnetväli. Kuid magnetvälja muutus tekitab omakorda uue elektrivälja, mis samuti muutub ning tekitab jällegi uue magnetvälja jne.

Seega võime induksiooni seaduste põhjal öelda, et mingis kohas tekkiv elektri- või magnetvälja muutus kandub edasi juhet ümbritsevasse ruumi, sealt edasi kaugematesse kohtadesse jne. Nii levib väli laineliselt kiirusega 300 000 km/sek. üha kaugemale.



Joon. 7. Lihtne katseseade elektromagnetiliste lainete tekitamise ja vastuvõtmise demonstreerimiseks.

Ruumis liikuv elektromagnetiline väli kaotab seose selle juhtmega, mille ümber ta esialgu tekkis. Kui lülida vool juhtmest välja, siis elektromagnetiline laine jätkab ikkagi oma liikumist ruumis. Siinkohal on sobiv märkida, et kõikidel lainetel on omadus katkestada oma side võnkeallikaga. Õpilastele meenuvad näited kergesti: nad on kuulnud kaugelt vedurivilet veel pärast seda, kui aur lakkas tungimast vilesse, on kuulnud puusepa kirvelööki pärast kirve tungimist puusse ja lõpuks on kuulnud oma hääle kaja.

Elektromagnetiline laine kannab endaga kaasa energiat, mis on saadud juhtmes kulgevast elektrivoolust. Ehk teisiti öeldes: juhe, mida läbib vahelduvvool, kiirgab elektromagnetilist energiat ruumi. Kui ruumi, milles levib elektromagnetiline laine, paigutada juhe, siis induitseeritakse selles muutuv elektriväli. Tekib vahelduvvool. See juhe neelab elektromagnetilise välja energiat.

Meenutame nüüd võnkekontuuris toimuvaid nähtusi. Eelmises tunnis me näitasime, et selles kulgeb kõrgsagedusega vahelduvvool. Jutustame avatud võnkekontuurist. Kui vool kontuuris muutub mingi

kindla sagedusega, siis väli ruumis muutub sama sagedusega. Need muutused levivad juhtmest eemale kiirusega 300 000 km/sek.

Nüüd on kerge aru saada raadiosaate põhimõttest. Kui paigutada elektromagnetilisse välja juhe (antenn), siis selles indutseeritakse vool, mille sagedus võrdub antenni ümbritseva elektromagnetilise välja muutumise sagedusega.

Demonstreeritakse elektromagnetiliste lainete vastuvõttu koheereri abil.

Katse 4. Saatja koosneb sädeinduktorist (4 V) ja vertikaalselt asetatud antennist, mille pikkus on 1,5 m. Vastuvõtja osadeks on rauaviilmetega täidetud klaastoru (koheerer), taskulambipatarei (tarvitatud), kooli demonstratsioongalvanomeeter ja vertikaalselt asetatud 1,5 m pikkune antenn. Vastuvõtja ja saatja asetatakse teineteisest 5—10 m kaugusele (joonis 7).

Lühidalt selgitatakse koheereri ülesannet ja korraldatakse katse. Koheereriit koputatakse pliatsiga.

Selleks et näidata resonantsi osa elektromagnetiliste lainete vastuvõtul, kasutatakse tuntud katset Lodge'i kontuuridega.

Viimasel ajal kasutan sädeinduktori ja koheereri asemel ultralühilaine lampgeneraatorit, mille ma ehitasin ajakirjas «Физика в школе», 1953, nr. 5 leiduva kirjelduse järgi. See lihtne katseriist võimaldab näidata ühte tänapäeval kasutatavat elektromagnetiliste võnkumiste genereerimise viisi ja omab äärmiselt lihtsat vastuvõtuvõnkekontuuri. Vastuvõtukontuuri skeem ühtib täpselt skeemiga, mille me tavaliselt joonistame tahvlile raadiovastuvõtja põhimõtte selgitamiseks. Selle katseriistaga ja tema juurde kuuluvate detailidega demonstreerin (katse nr. 4 asemel) järgmist:

1. Elektromagnetiliste lainete lampgeneraator.
2. Energia kiirgamine elektromagnetiliste lainete kaudu võnkekontuurist ümbritsevasse ruumi.
3. Resonantsi osa raadiovastuvõtul.
4. Avatud ja suletud võnkekontuuride kiirguse võrdlemine.
5. Vastuvõtja tundlikkuse suurendamine suletud vastuvõtukontuurile induktiivselt sidestatud avatud kontuuri lisamise teel.
6. Suletud võnkekontuuri muutmine avatuks (kontuuri omainduktsioonipooliga ühendatakse antenn).
7. Telegraaf-raadiovastuvõtu põhimõtte.

Kirjeldatud näites ma lähtusin jällegi õpilastele tuttavast elektromagnetilise indukttsiooni seadusest ning laiendasin ja täpsustasin omandatud mõisteid katsete abil. Katsete abil tegin õpilastele arusaa-

davaks raadiosaate, elektromagnetiliste lainete levimise ja raadiovastuvõtu olemuse. Nagu praktika näitab, on sel kujul esitatud materjal õpilastele jõukohane.

Eespool analüüsitud näited ei ole ainukesed. Oskuslikult rakendatud demonstratsioonkatsed konkretiseerivad abstraktseid mõisteid ja teevad need õpilastele arusaadavaks.

IV. Õpilaste tähelepanu aktiveerimine katsete abil.

Madala õppeedukuse põhjuseks, eriti 6.—7. klassides, on väga sageli klassi passiivne osavõtt uue materjali läbitöötamisest õppetunnis. Kas aja vähesuse tõttu või teistel põhjustel loobub õpetaja mõnikord klassi kaasatõmbamisest vestlusse ja kasutab tunnis jutustavat esitusviisi koos katsete demonstreerimisega.

6.—7. klassi õpilastel on raske pikemaks ajaks keskenduda õpetaja jutustuse kuulamisele. Nende tähelepanu hajub ja õpetaja töö muutub vähe efektiivseks.

Neil juhtudel jääb katsete mõte õpilastele ebaselgeks. Õpetaja poolt tehtavad järeldused ei tugine õpilaste kindlatele teadmistele. Püüan uue materjali esitamisel alati dogmatismi vältida. Eelistan dünaamilisi katseid «sõnalis-kriidilisele» jutustusele ning püüan korraldada tööd tunnis nii, et õpilaste mõte aktiivselt töötaks.

Näidete abil võib selgitada, kuidas siduda katsete korraldamist tunnis aktiivsete meetodite rakendamisega ja kui kasulik on aktiivsuse tõstmise eesmärgil asendada sõnaline meetod katselise meetodiga isegi sellistel juhtudel, nagu treening-ülesannete lahendamine.

Näide 1. 6. klassis on läbi töötatud teema «Rõhumine vedeliku sees». Hakatakse tundma õppima õhu rõhumist ja näitama katsete abil selle olemasolu.

Kuna vedeliku ja gaasi rõhumise põhjused on sarnased, siis alustan tundi vedeliku poolt avaldatava rõhu kordamisega. Meenutame vedelikku asetatud kehale, anuma seintele ja põhjale mõjuva rõhumise põhjust.

Esitan küsimuse: kuidas muutuks vedeliku rõhumine keha tahule siis, kui me hakkaksime keha laskma mere põhja.

Jutustan õpilastele, et maakera ümbritseva õhukihi paksus on mitusada kilomeetrit ja et me elame õhuookeani põhjas. Kas õhk võib avaldada rõhumist meile ja teistele kehadele?

Pärast selle küsimuse arutlemist tuleb klass järeldusele, et kui õhk omab kaalu, siis ta peab avaldama samuti rõhumist nagu vesigi. Suure huviga kaalutakse kolbi suletud õhku. Seejuures kontrollin, kas õpilased saavad aru, mida õpetaja teeb. Kui vihid, mis varem tasakaalustasid kolvi koos õhuga, kaaluvad pärast õhu väljapumpamist kolvi üles, siis küsin, miks kolb muutus kergemaks.

Vastus: «Sellepärast, et õhu hulk kolvis vähenes.»

Küsimus: «Kas õhk omab kaalu?»

Õpilased vastavad sellele küsimusele jaatavalt. Kraani avades laseme õhu kolbi. Tasakaal saabub uuesti ja õpilased veenduvad veel kord oma järelduse õigsuses. Pärast õhu erikaaluga tutvumist võrdleme seda vee ja mõnede gaaside erikaaludega. Teeme oletuse, et atmosfäärirõhk on olemas. Kontrollime seda oletust katsete abil.

Katse 1. Lehter kaetakse maisipaberiga ja hakatakse temast õhku välja pumpama. Paber rebeneb lehtri sisemuse suunas katki.

Esitatakse küsimused: «Kuidas muutus rõhk lehtris õhu väljapumpamisel?» — «Miks paber rebenes lehtri sisemuse suunas?»

Katse 2. Korraldatakse katse Magdeburgi taldrikutega. Kui õpilased on aru saanud katsest nr. 1, siis selgitavad nad iseseisvalt ka selle katse sisu. Viitan Guericke katsete ajaloolisele tähtsusele.

Katse 3. Vee järgnemine torusse pistetud kolvile.

Selle katse analüüs võimaldab õpilastel edaspidi aru saada vee-pumba töötamise põhimõttest ja elavhõbedasamba tasakaalust baromeetri torus.

Nagu toodud näidetest selgub, on kogu tund nii üles ehitatud, et katsete ja vestluse ajal oleks kogu klass aktiivne. Katsed vahelduvad nii, et iga järgmine katse on «võtmeks» eelmisele.

Näide 2. Sellest näitest selgub, kuidas katsete rakendamine 7. kl. aktiveerib Ohmi seadust kinnistavate treeningülesannete lahendamist.

Õpilaste aktiivsuse suurendamiseks ja selleks, et õpilased võiksid täielikult veenduda valemi $I = \frac{V}{R}$ õigsuses, seon ülesanded katsetega.

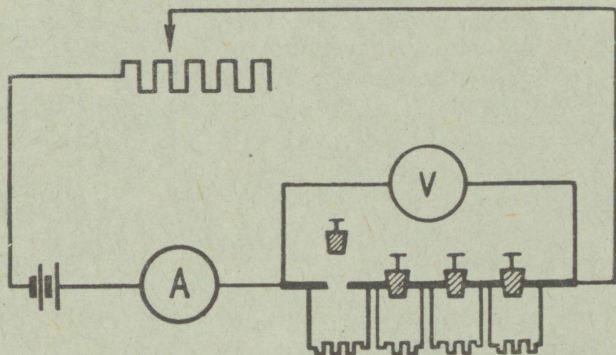
Selliste ülesannete vastuseid on kerge kontrollida katse abil.

Demonstratsioonilaul koostatakse voluring, mis koosneb voluallikast elektromotoorse jõuga 4 V, ampermeetrist mõõdupiirkonnaga 1 A, voltmeetrist mõõdupiirkonnaga 10 V, 10—50 oomilisest takistusmagasinist ja reostaadist takistusega 30—40 oomi (joon. 8).

Katse 1. a) varjan ampermeetri klassi eest ekraaniga, lülitan takistusmagasinist sisse 30 oomilise takistuse ja nihutan reostaadi liuguvat kontakti seni, kuni pinge on 3 V. Palun klassi määrata voltmeetri näit, vaadata voluringi lülitatud takistuse suurust ja arvutada Ohmi seaduse põhjal ampermeetri näit (voolutugevus).

Kogu klass lahendab meelsasti selle ülesande iseseisvalt ja iga töö lõpetanud õpilane tõstab käe.

Kõndides pinkide vahel tunnen huvi nõrgemate õpilaste töö vastu. Õpilane, kes lõpetas töö esimesena, eemaldab ampermeetrit katva ekraani ja näitab kogu klassile, et ampermeetri näit võrdub Ohmi seaduse põhjal arvatud tulemusega. Sama õpilane jutustab ja kirjutab tahvlile lahenduskäigu. Õpilased kontrollivad oma lahendusi ja parandavad vead.



Joon. 8. Katseseade Ohmi seaduse tundmaõppimiseks.

Katse 2. b) Katan ekraaniga kinni voltmeetri, lülin sisse 20 oomise takistuse, viin reostaadi abil voolu tugevuse 0,1 amprile ja lasen õpilastel arvutada voltmeetri näidu (ülesande lahendamiskäiku kontrollitakse eespool kirjeldatud viisil).

Katse 3. c) Sulen ekraaniga takistuskasti, lülin selle õpilastele teatamata takistusele 10 oomi ja viin reostaadi abil voolu tugevuse 0,1 amprile (pinge omandab väärtuse 1 V). Lasen õpilastel ampermeetri ja voltmeetri näitude põhjal arvutada vooluringi lülitatud takistuse suurus. (Arvutuse tulemust kontrollitakse nagu varemgi.)

Sooritatud töö kinnistab õpilaste mällu Ohmi seaduse valemi ja seda väljendava funktsionaalse sõltuvuse. Peale selle veenab see õpilasi Ohmi seaduse õigsuses ja praktilises rakendatavuses.

Jätkates Ohmi seaduse tundmaõpetamist annan katselisi ülesandeid jootekolvi võimsuse ja tema mähise takistuse määramiseks. Kui aega jätkub, siis lahendame rea katselisi ülesandeid elektripliidi kohta. Mõõdetakse elektripliiti läbiva voolu tugevus ja pinge spiraali otstel, kui pliit on lülitatud 220 voldisesse elektrivõrku. Arvutatakse spiraali takistus, pliidi võimsus, pliiti läbiva voolu töö ühe tunni jooksul ja ühe tunni kestel kulutatud elektrienergia hind. Samuti arvutatakse, kui suur on voolutugevus pliidis selle lülitamisel 110 voldise pin-

gega elektrivõrku, kontrollitakse arvutust katseliselt ja selgitatakse voolu tugevuse muutumise põhjus.

Õpikus toodud treeningülesandeid lahendatakse kodus.

Selline aktiivne töö tunnis annab häid tulemusi: isegi kõige nõrgemad õpilased valdavad teadlikult keerukat õppematerjali. Üheks paremaks õpilaste tähelepanu aktiviseerimise vahendiks tunnis on nende sellise töö andmine, mille tulemusi võib kontrollida katsete abil.

V. Õpilaste mõtlemise arendamine vaatluse ja katse tulemuste lahtimõtestamise protsessis.

Füüsika programmi materjali omandamine sõltub suurel määral õpilaste üldisest arengutasemest ja nende loogilise mõtlemise arengust. Loogiline mõtlemine areneb eelkõige matemaatika ja füüsika tundides, sest siin tutvuvad õpilased arutluse õige ülesehitamise ja järelduste tuletamise näidistega.

Ma juhindun oma töös järgmistest loogika seadustele vastavatest reeglitest.

1. Materjali esitamisel jälgin oma kõnet ja väljenduste õigsust ning püüan saavutada seda, et mõte oleks selge, et öeldud väited oleksid omavahel seotud ega esineks vasturääkivusi.

2. Selgitan õpilastele, et tõeliseks ja usaldatavaks võib lugeda ainult seda, mis on teaduslikult tõestatud ja praktikaga kontrollitud. Arutluste aluseks ei või võtta ebaõigeid või meelevaldselt valitud eeldusi, sest neil juhtudel jõuame isegi õige arutluskäigu korral paratamatult valedele järeldustele (selle vea teevad õpilased sageli).

Jälgin, et õpilased väldiksid selliseid väljendusi ja arutlusi, milles üks mõte on teisele vasturääkiv, et nad jääksid oma väidete juurde kogu arutluskäigu kestel ja kasutaksid sõnu rangelt kindlas tähenduses.

Õpilastele, kelle teadmiste maht ja praktiliste kogemuste hulk on väike, valmistab sageli raskusi õpetajalt ja õpikust saadud mitmesuguste faktide hulgast kõige olulisemate väljavalimine. Viimane on aga väga tähtis, sest et tunnis tahvli juures või eksamil vastates on õpilase käsutuses aeg, mis õppetunni pikkusega võrreldes on väga väike. Mõned eksamipiletid sisaldavad tervet teemat, mille käsitlemisele kulus mitu õppetundi. Seetõttu peab õpilane esitama ainult kõige olulisema. Oluliste faktide, esemete oluliste tunnuste ja nähtuste oluliste külgede väljaeraldamine on aga arenenud õpilasele jõukohane ülesanne. Siit tuleneb tähtis praktiline järeldus õpetaja jaoks — olla mitte ainult ise oma väljenduste, mõtete ja arutlustega õpilastele eeskujuks, vaid tutvustada õpilasi ka füüsikaliste teadmiste väljendamise õigete võtetega, vastuse ülesehitamisega tunnis ja eksamil, õigete vaatlusvõtetega jne.

Selgitan näidete abil, kuidas tuleb vastamisel õppematerjali esitada. Juhin õpilaste tähelepanu sellele, et õpikus ja tunnis käsitletakse õppematerjali niisuguses järjekorras, mis võimaldaks õpilastel aru saada nende poolt varem tundmata faktidest. Vastamisel seisab õpilase ees teine ülesanne: näidata klassile ja õpetajale, et ta tunneb õppematerjali. Suulisel vastamisel saab õpilasi õigele teele juhtida lisa-küsimuste esitamisega. Raskem on seda aga teha eksamil. Seetõttu selgitan ulatuslikumate küsimuste kordamisel õpilastele, kuidas oma vastust üles ehitada, ja mõnikord koostan koos õpilastega raskemate programmiküsimuste kohta vastamise plaani.

Loogika reeglite põhjal tuleb mingi küsimuse käsitlust alustada üldiste mõistete kirjeldamisega ja selgitada, milliste esemete kohta need mõisted kehtivad. Sellesse üldisesse mõistesse kuuluvate osamõistete sisust räägime alles siis, kui me spetsiaalselt läheme üle nende kirjeldamisele. Seda reeglit soovitan ka õpilastel kasutada suulise vastuse planeerimisel.

Näiteks on füüsika küpsuseksamite piletis üks küsimus sõnastatud järgmiselt: «Vertikaalselt üles, horisontaalselt ja nurga all kaldu visatud keha liikumine». Õpilased peavad algul märkima, et need liikumised on liitliikumised: iga liikumine koosneb inertsil mõjul toimuvast ühtlasest liikumisest, mille kiirus võrdub viskamisel saadud algkiirusega, ja vabalangemise kiirendusega ühtlasest kiirenevast liikumisest. Järgnevalt vaadeldakse liikumise tulemust, mis sõltub kiiruste vahelisest nurgast.

Tähelepanuväärseks vahendiks õpilaste loogilise mõtlemisvõime arendamisel on katse. Katse protsessis saavad õpilased vaatlemise ja nähtuste analüüsimise oskuse. Neid oskusi tuleb õpetaja juhtimisel arendada.

K. D. Ušinski ütles: «Iga õpetus, mis ei ole surnud ega sihitu, peab silmas lapse ettevalmistamist eluks; kuid elus ei saa olla midagi tähtsamat, kui oskus näha eset igakülgset ja nende tingimuste keskonnas, millesse ta on asetatud» ja «meie järelduste ja kogu mõtlemise õigsus sõltub esiteks nende andmete õigsusest, mille põhjal me teeme loogilise järelduse, ja teiseks järelduskäigu enda õigsusest. Kui välismaailmast tajutud andmed ei ole õiged, siis on ka järeldused valed. Siit järgneb algõpetuse jaoks tähtis kohustus — õpetada last õigesti vaatlema ja rikastada teda võimalikult täielike, õigete ja erdate kujutlustega, mis saavad siis tema mõtlemisprotsessi elementideks».

Püüan saavutada vaatlemisprotsessis klassi aktiivset tähelepanu. Näitan õpilastele, millele tuleb tähelepanu pöörata, mida tuleb jälgida, ning kontrollin, mida õpilane vaatleb ja kas ta õigesti vaatleb. Katse

demonstreerimise ühendan jutustamisega ja õpetan õpilasi samaaegselt vaatlemisega mind kuulama ja olema pidevalt valmis vaadeldud nähtuse kohta esitatud küsimustele vastamiseks.

Taotlen, et õpilased mõtestaksid lahti tunni iga etapi, ja pöördun sel eesmärgil sageli õpilaste poole tunni ettevalmistamisel hoolikalt läbimõeldud küsimustega.

On tähtis, et klassile esitatavad küsimused õigustaksid end ja et nad tekiks nagu iseenesest katse korraldamise käigus. Vaatluse protsess on seotud mõtestamise protsessiga ja eelneb sellele. Kui võimalik, siis tuleb neid ajaliselt teineteisele lähendada ja viia isegi ühtumiseni. See annab paremaid tulemusi. Kõik katses ei ole vaadeldav (näiteks õpilane ei näe laengute ümberpaiknemist juhis). Seetõttu tuleb mõnikord antud katset selgitada või seda täiendada.

Et õpilased katse tulemuste lahtimõtestamise protsessis õigesti arutleksid, juhendan neid küsimuste esitamise teel. Vaatluse käigus esitatud küsimustele peavad õpilased ise leidma vastused ja tegema järelduse. Nii õpetan ma õpilastele kindlaid mõtlemisoperatsioone ja arendan sellega nende loogilist mõtlemist. Vaadeldgem sellealase töö näitena üht tundi 7. kl. programmist. Tuleb märkida, et see on programmi üks raskemaid teemasid, millega pannakse alus elektronteooriale.

Tunni teema — «Mõjuelekter».

Tunni eesmärk — näidata, et kehas on olemas võrdsel hulgal positiivseid ja negatiivseid laenguid ja et juhis võib neid laenguid eraldada teise laetud keha mõju abil.

Tunni käigus korraldan seeria katseid. Demonstratsioonilaul on kaks Brauni elektromeetrit, isoleerainest käepidemega ühendusvarras, klaas- ja eboniitpulk.

Algul juhin õpilaste tähelepanu sellele, et nii elektroskoobid kui ka pulgad ei ole laetud.

Katse 1. Elektriseerin klaaspulga ja lähendan selle elektroskoobile, puudutamata seda. Esitan klassile küsimuse: kas ma sel teel elektroskoobi laadisin? Õpilased, vaadates elektroskoobi kõrvalekaldunud osutit, teevad vale järelduse: nad arvavad, et elektroskoop on laetud. Seejärel eemaldan klaaspulga. Elektroskoobi osuti vajub alla ja näitab, et elektroskoobil laeng puudub.

See sissejuhatav katse võimaldab seada õpilaste ette probleemi: mis toimub laadimata juhis, kui sellele lähendada laetud keha?

Kordan katset 1 ja juhin õpilaste tähelepanu sellele, et kui ma elektroskoobi kuulikest pulgaga ei puuduta, siis pulga laeng ei saa elektroskoobile kanduda, sest õhk on mittejuht.

Katse 2. Kaks elektroskoopi on teineteisega ühendatud isoleerainest käepidemega varustatud juhtme abil. Kui lähendada laetud pulka ühele nendest, siis kalduvad mõlema elektroskoobi osutid kõrvale. Küsin õpilastelt: kas elektroskoobid on laetud? Eelmise katse põhjal annavad õpilased eitava vastuse. Viin pulga eemale ja näitan sellega, et nende järeldus on õige. Lähendan pulga teistkordselt ja pärast osutite kõrvalekaldumist — juhin sellele operatsioonile klassi tähelepanu — eemaldan ühendusjuhtme. Jätan pulga elektroskoobi lähedale ja küsin: kas elektroskoobid on laetud? Õpilased nägid, et ma ka nüüd ei puudutanud pulgaga elektroskoopi ja annavad jällegi eitava vastuse. Kuid kohe nad näevad, et nad eksisid, sest elektroskoobid on laetud.

Esitan klassile küsimuse: võib-olla laadisime elektroskoobi ühendusjuhtme eemaldamise teel? Kontrollin seda oletust: eemaldan elektroskoopidelt laengud, puudutades neid sõrmega, panen ühendusjuhtme kohale ja võtan selle ära nagu varemgi, ilma et ma laetud pulka elektroskoopidele oleksin lähendanud. Klass tuleb järeldusele, et ühendusjuhe ei olnud laengu saamise põhjuseks. Küsin: kas elektroskoobid katse ajal võiksid saada laengu mõnelt kehalt? Kordan katset. Klass vastab eitavalt. Kust siis laeng võeti?

Kui ükski õpilane ei tule sellele, et laeng oli olemas elektroskoopides enestes, siis palun õpilasi mõelda, mis toimub sel juhul, kui laetud elektroskoobid ühendada isoleeritud käepidemega juhtme abil. Esitan küsimuse: kas elektroskoopide ühendamisel võisid laengud üle minna mõnele kehale? Saan eitava vastuse. Mõned õpilased on arvamusel, et laengud hävisid. Sel juhul meenutan, et looduses ei või midagi jäljetult kaduda.

Jääb järele ainult üks oletus, millele klass tavaliselt tuleb: laengud jäid elektroskoopidele. Laeme induktsiooni teel elektroskoobi uuesti ja uurime laetud pulga abil, millise laengu sai kumbki elektroskoop. Teeme kindlaks (selle järelduse teeb klass), et pulgale lähem elektroskoop omandas pulga laenguga võrreldes vastasnimelise laengu, kaugem elektroskoop aga samanimelise laengu. Juhin õpilaste tähelepanu sellele, et elektroskoopide laengud on suuruselt võrdsed.

Küsin klassilt:

1. Kuidas need laengud teineteist mõjutavad?
2. Mis juhtus, kui me ühendasime võrdsete ja erinimeliste laengutega elektroskoobid? Tavaliselt räägivad õpilased, et laengud tõmbusid ja elektroskoobid kaotasid oma laengu.

Kontrollime katse 3 abil nende järeldust.

Katse 3. Laeme pulkade abil mõlemad elektroskoobid võrdsete erinimeliste laengutega ja ühendame need juhtme abil. Elektroskoobid

tühjenevad laengust. Täpsustan selle nähtuse mõtet: positiivne ja negatiivne laeng, mis tõmbuvad teineteise poole, ei kao, vaid nad hävitavad teineteise mõju.

Esitan uue küsimuse, millele annab vastuse katse: kas positiivne ja negatiivne laeng hävitavad alati teineteise mõju?

Katse 4. Laeme elektrooskoobid pulkade abil erinimeliste, kuid erineva suurusega laengutega. Kõik näevad, et sel juhul täielikku laengust tühjenemist ei toimu.

Selgitan selle nähtuse mõtet.

Pärast kirjeldatud katse korraldamist palun õpilasi järele mõelda, kust siis võeti positiivsed ja negatiivsed laengud laadimata elektrooskoopide ühendamisel ja nendele laetud pulga lähendamisel ja miks need laengud on võrdse suurusega.

Õpilased tulevad tavaliselt õigele järeldusele: laadimata elektrooskoopides on olemas võrdsel hulgal positiivseid ja negatiivseid laenguid, mistõttu me nende olemasolu ei märka. Kui elektrooskoobile lähendame laetud (näiteks positiivselt laetud) pulga, siis see eraldab need laengud: positiivsed laengud tõukuvad ja kogunevad kaugemal asuvale elektrooskoobile, negatiivsed laengud tõmbuvad ja kogunevad lähemal asuvale elektrooskoobile. Kui ühendusjuhtme ära võtame, siis pulga eemaldamisel laengud enam ühineda ei saa — nende vahele jääb õhk, mis on mittejuht. Kui aga laetud elektrooskoobid juhtme abil ühendada, siis laengud tõmbuvad ja hävitavad teineteise mõju.

Lõpuks üldistan katsetest saadud järeldusi. Märgin, et tänapäeva teadus on kindlaks teinud, et igas kehas on olemas võrdsel hulgal positiivseid ja negatiivseid laenguid. Nad hävitavad teineteise mõju ja seetõttu nende olemasolu ei ilmne. Laetud pulga abil õnnestus meil neid laenguid eraldada, s. t. tõugata samanimelist laengut juhi kaugemasse otsa ja tõmmata vastanimelist laengut juhi lähemasse otsa (näitan seda katse abil).

Kui nüüd, ilma et pulka eemaldataks, lahutada teineteisest juhi otsad, siis osutuvad need laetuks. Selline elektriseerimine toimub laetud keha (pulga) mõjul, mistõttu seda nimetatakse «elektriseerimiseks mõju abil».

Järgnevalt näitan katset, mis veenab õpilasi selles, et laetud kehas on tõepoolest olemas positiivsed ja negatiivsed laengud.

Eemaldan laengu klaaspulgalt, pistes selle vette ja kuivatades ta seejärel pliidi kohal. Asetanud pulga elektrooskoobi konduktorile, näitan, et pulk ei ole laetud. Elektrooskoop ei ole samuti laetud. Nüüd hõõrun pulka mitu korda elektrooskoobi konduktori serva vastu (sarnaselt viiulipoogna liikumisele keelt mööda).

Märkame, et elektrooskoop omandas laengu. Paneme pulga teise elektrooskoobi konduktorile ja jätame ta sellele. Seejuures märkame, et teine elektrooskoop omandas samuti laengu. Uurime klaaspulga abil mõlema elektrooskoobi laenguid. Laengud on erinimelised.

Kui ühendame elektrooskoobid isoleeritud käepidemega juhtme abil, siis nad kaotavad oma laengu.

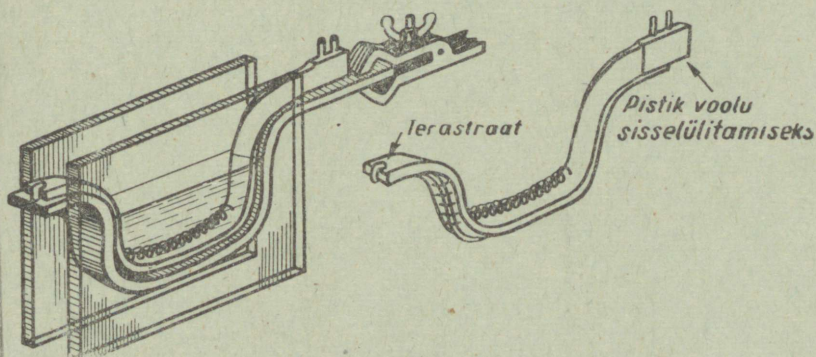
Teeme järelduse.

Materjali kinnistamiseks laeme ühe elektrooskoobi induksiooni teel, kasutades selleks mitmesuguseid pulki.

Nagu toodud näitest selgub, püüan vaatluse ja katsete lahtimõtestamise protsessis saavutada sellist olukorda, et õpilase mõtte töötaks aktiivselt, ja esitan õpilastele küsimused nii, et nad õpiksid vaatlustest tegema loogiliselt õigeid järeldusi. Kuna katse lahtimõtestamise protsess on erakordselt aktiivne, siis on tal suur tähtsus õpilaste loogilise mõtlemise arendamise seisukohalt.

VI. Katsete täiustamine.

Iga koolis korraldatava demonstratsiooni ja katse kohta esitatakse rida nõudeid, mis määravad ära nende meetodilise väärtuse. Nende nõuete hulka kuulub nähtavuse tagamine, võimalikult lihtsate võtete ja vahendite rakendamine, väljenduslikkus ja emotsionaalsus, lühiajalisus ja ohutus.



Joon. 9. Pleksiklaasist vann vee keemise projitseerimiseks. Paremäl on näidatud kütteelement.

Katse täiustamine nimetatud kolme nõude täitmise suunas teeb ta väärtuslikumaks ja õpilastele arusaadavamaks.

Oma õpetamise praktikas püüan alati täiustada klassis korraldatavaid katseid. Selleks ehitän katseriistu ümber ja konstrueerin uusi —

mõnikord oma initsiatiivil, mõnikord aga metoodilistes ajakirjades ja teistes väljaannetes avaldatud artiklite mõjul.

Toon selle töö kohta näiteid.

Projektsiooniaparaadi rakendamine võimaldas projitseeritult vaadelda selliseid nähtusi nagu keemine ja galvaanielemendis toimuvad protsessid, jälgida temperatuuri naftaliini sulatamisel, vaadelda vedeliku poolt toru seintele avaldatava rõhu sõltuvust vedeliku voolamise kiirusest ja teisi katseid. Selleks konstrueeriti lihtsad katseriistad. Järgnevalt kirjeldan mõnda nendest.

1. Katseriist keemise vaatlemiseks (joonis 9).

Orgaanilisest klaasist on kokku liimitud vann mõõdetega $9 \times 21 \times 1,5$ cm.

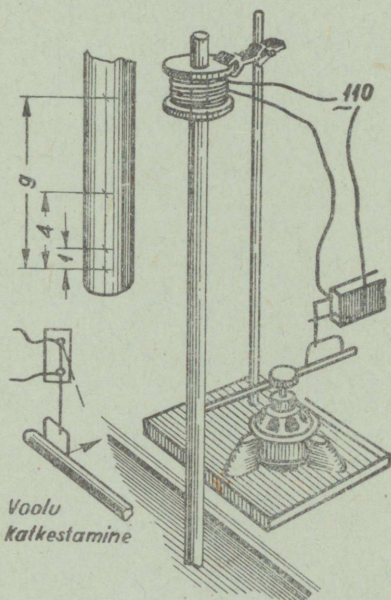
Vanni põhja asetatakse pleksiklaasist plaadile monteeritud kütteelement. Et soojenemisel pehmenev plaat ei deformeeruks, tugevdatakse teda terastraadiga nii, nagu see on näidatud joonisel 9.

Kütteekehaga järjestikku lülitatud reostaadiga reguleerime vedeliku soojenemisrežiimi selliselt, et vedelik hakkaks 5—6 minuti jooksul pärast riista sisselülitamist keema. Selline kiirendatud režiim on kasulik esiteks sellepärast, et tema kasutamisel ilmneb eriti teravalt vedeliku soojenemine konventsiooni teel, mullide eraldumine vanni seintel, nende kasvamine ja liikumine vedeliku pinna poole, aurumullide tekkimine vedeliku sees, auru eraldumine keemisel ja keemise lakkamine soojendamise katkestamisel. Teiseks ei jõua pleksiklaasist vann lühikesel aja jooksul niivõrd soojeneda, et tema seinad deformeeruksid. Vann projitseeritakse ekraanile ümberpöörava prismaga varustatud projektsiooniaparaadi abil.

2. Selleks et tõestada, et vaba langemine on ühtlaselt kiirenev liikumine, teeb varem kasutusel olnud füüsika õpikute autor I. I. Sokolov ettepaneku kasutada tema 8. kl. õpikus § 30 kirjeldatud katseseadet. Kuid kirjelduse järgi koostatud katseseade ei anna neid tulemusi, millele autor tugineb vaba langemise kiirenduse konstantsuse tõestamisel. 1, 2 ja 3 sekundi jooksul keha poolt läbitud teede suhe ei ole võrdne suhtega $1 : 4 : 9$ sel põhjusel, et langevale silindrile pintli abil tõmmatud algkriipsu ja esimese kriipsu vaheline kaugus ei võrdu mootori võlli pöörlemisperioodi jooksul silindri poolt läbitud tee pikkusega. Seda põhjustab asjaolu, et mootori pöörlemise ja silindri langemise algmomentide ei saa panna ühtima. Täiustasin kirjeldatud katseseadet, rakendades magnetina Thomsoni pooli, mis hoiab üleval umbes 70 cm pikkusega ja 3 cm läbimõõduga raudtoru. Pintli otsa külge kinnitasin automaatse klambrikujulise voolu väljalülija.

Enne katset koostasid poolist ja katkestist vooluringi.

Katkesti on valmistatud kahest teineteise vastu puutuvast traaditükist. Katkesti liikuv traat pöörduvabalt hoideliistu sisse tehtud augus. Voolu väljalülitimisel lööb pintslitsi otsa külge kinnitatud klamber vastu liikuvat traadi otsa, mis seejuures pöörduvab ja katkestab vooluringi. Kuna traadi hõõrdumine augus on väga väike ja traadid on kerged (läbimõõt 0,8—1 mm), siis voolu väljalülitimine ei põhjusta mootori pöörlemiskiiruse muutumist. (Joonis 10.)



Joon. 10. Katseriist vaba lange-
mise kiirenduse konstantsuse
demonstreerimiseks.

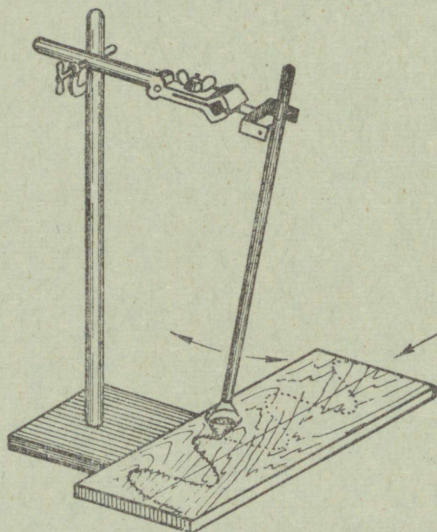
Katseseadme töölepanemiseks suleme katkesti, asetame pooli avasse raudsilindri ja käivitame mootori, asetades selle nii, et värvisse kastetud pintslitsi ots puutub vastu silindrit. Kui mootor hakkab ühtlaselt tööle, siis lähendame klambriale katkesti. Sel momendil, samaaegselt algkriipsu märkimisega silindri pinnale, hakkab pooli poolt vabastatud silinder langema. Pintsli teeb silindriale märgid, mille kaugused algkriipsust suhtuvad nagu 1 : 4 : 9 : 16 Seega näeme, et katseseadme väike täiustamine — silindri automaatne lahtipäästmine elektromagneti poolt teatud kindlal ajamomendil — parandab tunduvalt katsetulemusi.

3. Teatud täiustus on tehtud ka liivapendlile, mida kasutatakse võnkumiste siinusoidi joonistamiseks ühtlaselt liikuvale vineeritükile. See täiustus seisnes pendli kinnitusviisi kindlamaks muutmises. Pendel

riputati üles nii, nagu see on näidatud joonisel 11. Pärast sellist täiustamist hakkas pendel võnkuma rangelt ühes tasapinnas ja siinusoidi saamine ei tekitanud raskusi.

Toodud näited ei ole ainukesed. Kooli füüsika kabinetis toimub pidev töö katseriistade täiustamise, nende kasutamise võimaluste laiendamise, võimalike rikete vältimise ja töötamiskindluse suurendamise alal.

Seoses polütehnilise õpetuse kehtestamisega üldhariduslikus koolis kerkisid õpetaja ette selliste mudelite, katseriistade ja makettide konstrueerimise ülesanded, mille abil saab näidata füüsika seaduste rakendamist tehnikas. Selline töö toimub põhiliselt tehnikaringis. Valmistatud katseriistu kasutatakse füüsika tundides.



Joon. 11. Pendel võnkumiste üleskirjutamiseks.

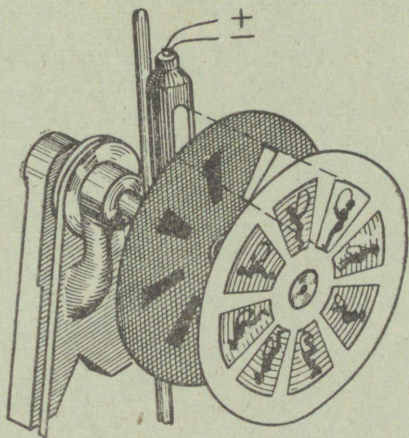
Tehnikaringis esinevad õpilased 10—15 minutiliste ettekannetega, mis illustreerivad füüsika seaduste rakendamist tehnikas. Enamasti valitakse teemad nii, et õpilane võiks mudelite abil demonstreerida tema poolt ettekantava tehnilise protsessi või tehnilise seadme töö füüsikalist põhimõtet.

Näiteks ettekandeks, mis käsitleb lennuki tõusu kõrguse mõõtmist altimeetriga, valmistab õpilane altimeetri töötava mudeli; inertsi kasutamist käsitlevaks ettekandeks valmistati vesioina mudel. Nii valmistati ka töötav reaktiivmootori mudel, termopatarei, galvaaniline koopia bareljeefist, katseriist mitteühtlase ristlõikega torus voolava vedeliku

rõhu muutumise demonstreerimiseks, uppunud laevade ülestõstmisel kasutatava pontoontõstuki mudel, katseriist, mis demonstreerib liikuva kujutise saamist kinos jne.

Toon mõned näited meie koolis konstrueeritud katseriistadest.

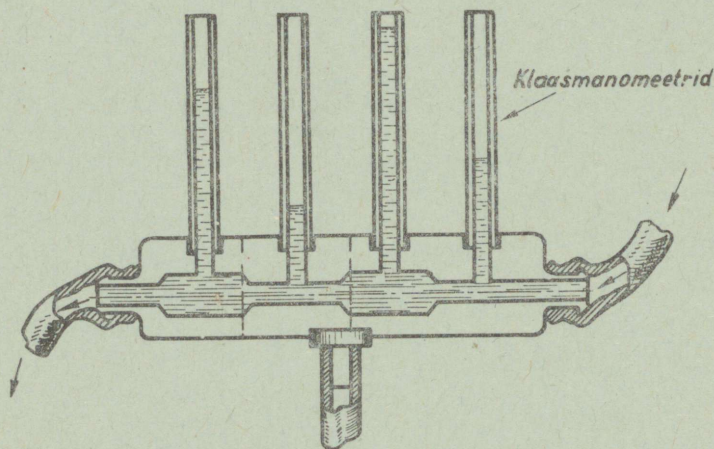
1. Katseriist kinos tekkiva kujutise liikumise põhimõtte demonstreerimiseks on stroboskoobi teisendiks. Stroboskoobil on see oluline puudus, et selle abil saab vaadelda ainult üks õpilane. Meil õnnestus stroboskoobi konstruktsiooni muuta nii, et selle abil tekitatud kujutist võis jälgida kogu klass. Riist oli valmistatud kahest 30 sentimeetrisest läbimõõduga pappkettast, mis kinnitati ühisele teljele teineteisest 5 cm kaugusele. Eesmissesse kettasse on tehtud 8 ava nii, nagu see on näidatud joonisel 12. Aknad on kaetud kalkaga (pauspaberiga), millele on kleebitud 8 kujundit. Need kujutavad üle hüppenööri hüppava poisi kaheksat järjestikust asendit. Kujundid on välja lõigatud mustast läbi-paistmatust paberist.



Joon. 12. Katseriist liikuva kujutise tekkimise demonstreerimiseks.

Teise kettasse, iga aknakese keskkohale, on lõigatud 2 mm laiusega radiaalsed pilud. Telg koos ketastega asetatakse tsentrifugaalmasinale. Ketaste taha ülemise akna kohale on kinnitatud kuuevoldine lamp, mida varjab mustast paberist tehtud kate. Kattesse on tehtud 3 mm laiune pilu, mis on ketta piluga paralleelne. Ketaste pöörlemisel näeme poisi kuju liikumist. Seda katseriista rakendatakse X klassis kinoaparaadi töötamise põhimõtte selgitamisel ja õpilastele korraldatud loengu «Kinotehnika» ajal.

2. Katseriist, mis võimaldab projektsioonis vaadelda mitteühtlase läbimõõduga torus voolava vedeliku rõhu muutust (joonis 13), on tehtud pleksiklaasi tükist, mille mõõted on 90×20×15 mm. Pleksiklaasitükki puuritakse pikisuunas peene puuriga auk ja saetakse klaas kolmeks tükiks. Saadud kanalit lajendatakse kahest kohast suure läbimõõduga puuri abil. Pärast seda tasandatakse löikekohad viiliga ja kõik kolm osa liimitakse kokku pleksiklaasi-liimiga, mille valmistamiseks lahustatakse pleksiklaasitükikesi kanges äädikahappes. Toru iga



Joon. 13. Katseriist mitteühtlase ristlõikega torus voolava vedeliku rõhu demonstreerimiseks.

osa keskkoha kohale liimitakse mendelejevi kitiga klaastoru, mis täidab manomeetri ülesannet. Pesad nende jaoks tehakse sobiva läbimõõduga puuri abil. Vesi lastakse katseriista selle otsa kinnitatud kummitoru kaudu. Teise samasuguse toru kaudu toimub vee äravool. Veevoolu kiirust reguleeritakse mõlema kummitoru külge kinnitatud näpitsatega. Et riista oleks võimalik kondensori ette kinnitada, liimitakse tema alumise osa keskkoha pleksiklaasist varras. Varras pistetakse metalltorusse, mis kinnitatakse optilise pingi muhvi või statiivi näpitsate vahele.

Toodud näited selgitavad, millist tööd võib õpetaja teha selleks, et muuta õpetamist näitlikumaks, arusaadavamaks ja huvitavamaks. Kõik see võimaldab õpilastel nähtusi paremini tajuda ja neid lahti mõtestada.

VII. Näiteid demonstratsioonkatsete kaartidest.

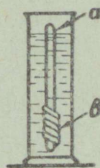
Archimedese seadus

1. Vedeliku poolt kehale avaldatav üleslükkejõud.

a — puupulk või tühi klaastoru;

b — koormus, alumiinium- või seatinatraat.

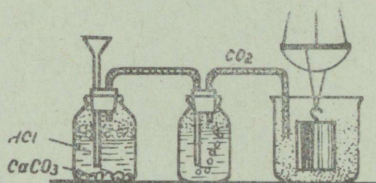
Sukeldame pulga vedelikku. Vaadeldakse pulga tõusmist.



2. Süsihappegaasi poolt kehale avaldatav üleslükkejõud.

Kaalud peavad olema tundlikud, keha võimalikult suure ruumalaga ning kerge.

Süsihappegaasi asemel võib kasutada ka eetriauru.

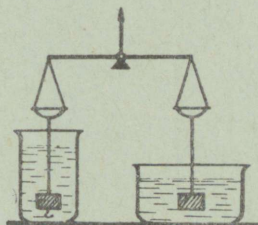


3. Millest sõltub üleslükkejõu suurus?

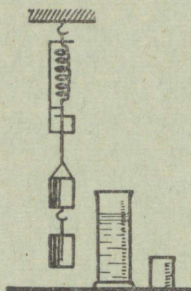
a) Ei sõltu vedeliku ruumalast ja vedelikku sukeldunud keha sügavusest (kaks ühesugust kaaludel tasakaalustatud kihti sukeldatakse erineva mahuga anumatesse, mis on täidetud veega; muudetakse sukeldumise sügavust).

b) Sõltub vedeliku erikaalust (tasakaalustatakse ühesugused vihid; üks nendest lastakse piiritusse, teine aga vette).

c) Sõltub keha ruumalast (ühe kaalukaasi külge riputatakse 200-grammine viht, teise kaalukaasi külge aga 100-grammine viht; 100-grammine viht asetatakse kaalude tasakaalustamiseks teisele kaalukausile; mõlemad kaalukaaside külge riputatud vihid sukeldatakse vette).



4. Katse Archimedese ämbriga



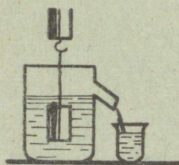
a) keha ruumala võrdlemine ämbri ruumalaga;

b) vedru pikenemise fikseerimine ämbri ja keha ülesriputamisel;

c) vedru kokkutõmbumise vaatlemine keha sukeldumisel vedelikku;

d) vee valamine ämbriisse ja selle kaudu üleslükkejõu määramine.

5. Katse ülevooluanumaga (näitlikum)



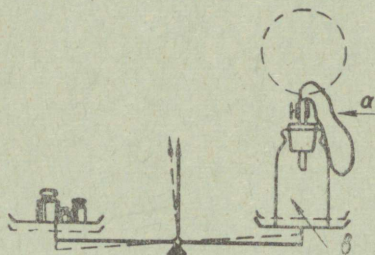
määratakse keha poolt väljatõrjutud vee ruumala.

6. Katse demonstratsioondünamomeetriga



Osuti asend fikseeritakse vee abil dünamomeetritele kleebitud paberiribakesega.

7. Õhu üleslükkejõud:

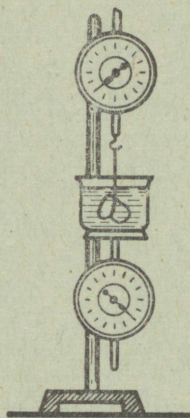


a) laste õhupall;

b) kokkusurutud õhk.

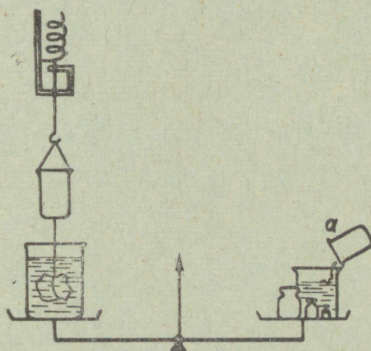
8. Üleslükkejõu vastumõju.

Enne keha sukeldumist vedelikku pööratakse mõlema dünamomeetri skaalad nullasendisse.



9. Teine viis vastumõju demonstreerimiseks.

a — anum üleslükkejõudu tasakaalustava vee valamiseks.



Inerts

(8. klassi tunni käsitus)

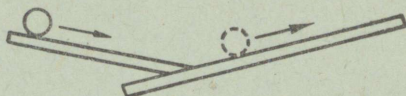
1. Keha liigub ühtlaselt temale rakendatud jõu mõjul.

Näiteid:

Vedur veab vaguneid. Traktor veab atra. Jalgratas liigub inimese lihaste jõul.

Arutleme järgmist küsimust: selliste näidete põhjal tundub, et keha liikumiseks on vajalik liikumapanev jõud. Kas see on õige?

2. Liikumine ilma liikumapaneva jõuta.



Katse: puukuul veereb mööda klaasi.

Näiteid jalgratturi, kuuli, palli ja teiste kehade liikumisest toovad õpilased.

3. Miks selliste kehade liikumine, millele ei mõju liikumapanevat jõudu, aeglustub?

a) Katse: Klaasile puistatakse ühtlane õhuke kiht liiva. Seejärel lastakse kaldrennist klaasile veereda puukuul. Vaadeldakse kuuli liikumise aeglustumist.

Küsimused:

1. Mis oli kuuli liikumise aeglustumise põhjuseks?
2. Kuidas liiguks kuul siis, kui meil õnnestuks selle põhjuse mõju kõrvaldada?

b) Jalgratturi, kelgu ja teiste kehade pidurdumise põhjuste leidmine.

c) Katse: Õhu pidurdav mõju.



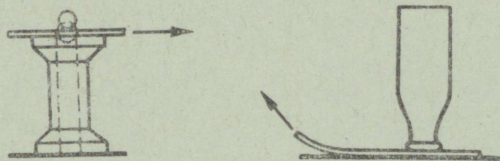
Lastakse langeda paberileht ja seejärel sama paberileht kokkukärgardatult.

Küsimus: Kuidas liiguks keha siis, kui teda ei mõjutaks teised kehad?

Järelduse teevad õpilased. Defineeritakse inertsit kui keha omadust säilitada oma kiirust muutumatuna.

4. Paigalolek kui liikumise erijuht
(liikumine nulliga võrduva kiirusega).

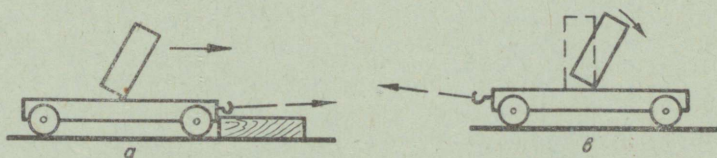
Katsed:



- a) Sõrmega nipsu lastes lüüakse papitükk minema. Kuulike jääb niidipoolile püsima.
- b) Pabeririba tõmmatakse järsku ära. Pudel jääb paigale.

5. Kinnistamine: Katsed vankrikeesele asetatud klotsiga.

Miks vankrikeese järsul pidurdamisel klots kukub ettepoole (a)?
Tuua selliseid näiteid praktikast.



Vankrike tõmmatakse järsult liikuma. Klots kukub tahapoole (b).
Miks?

Tuua selliseid näiteid praktikast.

6. Praktilisi näiteid inertsiga kasutamisest.

1. Hõõvlitera väljalöömine.
2. Kirve löömine varre otsa.
3. Tolmu kloppimine.
4. Hüpe.

Vigade arvutamine ja hindamine füüsika laboratoorsetes töödes keskkoolis

S. KAMENETSKI,
Moskva 212. Keskkooli õpetaja

Laboratoorsete tööde sooritamisel teevad õpilased iseseisvalt lihtsamaid füüsikalisi mõõtmisi ja saavad vilumusi mõõduriistade käsitsemiseks. Füüsika katsete olemuse õigeks mõistmiseks ja katse tulemuste lahtimõtestamiseks tuleb laboratoorse töö sooritamisel rakendada vigade arvutamist või hindamist. Füüsikaalases metoodilises kirjanduses ei pöörata vigade arvutamise küsimusele küllaldast tähelepanu. Vigade analüüs on aga keskkoolis korraldatavate laboratoorsete tööde vajalik koostiselement ja tema juurutamine koolipraktikasse nõuab esmajärjekorras õpetajate vastavat ettevalmistamist ja vigade arvutamise metoodika väljatöötamist.

Moskva 212. ja 692. keskkoolide töökogemuste põhjal antakse käesolevas töös mitmesuguseid vigade arvutamise meetodeid ja tehakse järeldusi nende rakendatavuse kohta keskkoolis.

1. Vigade arvutamise ja hindamise vajalikkus laboratoorsete tööde korraldamisel.

Iga mõõtmisega seotud füüsikaline katse annab mõõdetava suuruse ligikaudse väärtuse. Sõltuvalt mõõtmismeetodist, kasutatud mõõduriistadest ja oskusest töötada nende mõõduriistadega võib iga katse korraldaja öelda, millise täpsusega on mõõtmine sooritatud ning milliseid numbreid mõõtmistulemuses võib lugeda õigeks. Seega annab vigade arvutamine ja hindamine võimaluse analüüsida katse tulemust. Kui vigu ei arvutata, siis tekib õpilastel vale ettekujutus mõõtmise täpsusest, kujutlus, et saadud väärtus on absoluutselt täpne füüsikaline konstant.

Nagu töökogemused näitavad, lähenevad õpilased vigade hindamise korral töö tulemusele palju arukamalt, tungivad sügavamalt töö olemusse ja tunnevad suuremat rahuldust tehtud tööst.

Peatume mõnel näitel.

1. Kuuendate ja seitsmendate klasside õpilased võrdlevad laboratoorsete tööde sooritamisel katse tulemusena saadud suuruse väärtust tabeli andmetega. Õppimise teatud etapil ja mõnedes töodes on see lubatav. Kuid püüe saadud tulemusi tabeli andmetega kokku sobitada võib sageli viia ebasoovitavatele järeldustele ja valele kujutlusele. Pealegi võib õpilasel tekkida ebasoovitav harjumus piirdudagi katse tulemuste ja tabeli andmete võrdlemisega ning jätta antud füüsikaline mõõtmine analüüsimata. Real juhtudel on selline võrdlemine põhimõtteliselt vale.

Oletame näiteks, et tahke keha erikaalu määramiseks saab õpilane metallist keha. Väliste tunnuste järgi on see rauast. Töö tulemusena saab õpilane erikaalu väärtuseks $7,4 \text{ G/cm}^3$ — raua erikaal on aga tabeli andmete järgi $7,8 \text{ G/cm}^3$. Näib, et tulemus ei olegi nii halb, sest et viga on 5%. Kui aga tungida selle katse olemusse, siis tekib küsimus: kas keha on ikka tõepoolest rauast? Kas temas ei ole lisandeid, mille olemasolu võib tunduvalt muuta erikaalu väärtust? Järelikult ei saa esialgu veel midagi öelda selle kohta, kui hästi või halvasti katse on korraldatud. Sellele küsimusele võib vastata pärast mõõtmismeetodi analüüsimist ja mõõtmisel tekkida võiva vea hindamist. Muidugi, me ei eita sugugi tabeli andmete kasutamise vajadust, sest et nad näitavad suurusjärku ja aitavad kohe avastada nii mõõtmis- kui ka arvutusvea. Kuid juhuslik ühtimine tabeli andmetega ei näita veel seda, et töö on sooritatud hästi ja täpselt.

2. 9. klassis sooritatakse laboratoorne töö «Kehade vaba langemise kiirenduse määramine» pendli meetodil. Õpilased teavad hästi, et vaba langemise kiirenduse väärtus on $g = 981 \text{ cm/sek}^2$. Saanud näiteks katse tulemuseks $g = 976 \text{ cm/sek}^2$, nad mõtlevad, et töö tulemus on halb ja püüavad seda kõigi võimalike võtetega lähendada väärtusele 981 cm/sek^2 .

Selline laboratoorse töö tulemuse kunstlik lähendamine tabeli andmetele on põhimõtteliselt lubamatu.

Kooli katsetes rakendatava lihtpendli meetodi analüüs tõestab, et vaba langemise kiirendust võib määrata täpsusega 3—4%, s. t. katse võib anda tema väärtuse piirides $g = (981 + 35) \text{ cm/sek}^2$ kuni $g = (981 - 35) \text{ cm/sek}^2$. Kuna väärtus $g = 976 \text{ cm/sek}^2$ on nendes piirides, siis ei või katset lugeda sugugi halvasti korraldatuks. Kui raskuskiirendust on vaja määrata täpsemini, siis tuleb kasutada teist meetodit, näiteks pöördpendli meetodit, või korraldada lihtpendli meetodil suur arv katseid ja arvutada katse tulemuste keskmine väärtus.

Näidete arvu võiks tunduvalt suurendada, kuid ka eespooltoodu põhjal võib teha järelduse, et füüsika küsimustest sügavamalt arusaamiseks on vigade hindamine ja arvutamine vajalik.

Esineb arvamus, et vigade arvutamine on vajalik ainult teadlikes uurimustes, kus soovitakse saada suurt mõõtmistäpsust. See arvamus on ekslik, kuna ilma viga teadmata ei saa kunagi mõõtmise tulemuse kohta midagi öelda. Arvamust, et vigade arvutamisest keskkooli laboratoorsetes töödes tuleb loobuda õppeaja vähesuse ja õpilaste ülekoormatuse tõttu, ei saa samuti lugeda õigeks. Autori töökogemused on näidanud, et arvutused vea hindamisel on äärmiselt lihtsad, neid ei ole palju ja nad võtavad vähe aega. Füüsikalise mõõtmise olemusest arusaamine ja mõõtmise täpsuse tundmine viivad füüsikaliste nähtuste sügavamale mõistmisele ja teevad täielikult tasa kulutatud aja.

Kooli lõpetajad, kes on tuttavad mõõtmisvigade hindamise meetoditega, suudavad tulevases praktilises töös oma teadmisi paremini rakendada: täpsuse ja tolerantsi mõisted on neile täiesti arusaadavad ja, mis kõige tähtsam, teadlikult omandatavad. Ei tekita raskusi üleminek arvutamisel paberil arvutuslükatiga töötamisele. Õpilased omandavad kergesti etteantud täpsusastmega ligikaudse arvutamise oskuse. Vigade arvutamine füüsika laboratoorsetes töödes võimaldab pealegi anda õpilastele ligikaudse arvutamise oskusi ka ülesannete lahendamisel.

Muidugi tuleb vigade arvutamisel arvestada õpilaste iga erinevates klassides, kus õpitakse füüsikat.

Absoluutse ja relatiivse vea mõisted ei ole lihtsad mõisted. Nende omandamiseks on vaja ratsionaalset meetodikat ja süstemaatilist tööd õpilastega. Koolide töökogemused näitavad, et programmiga määratud ajaga võib laboratoorsetes töödes arvutada ja hinnata vead õpilasi üle koormamata ja et see on üheks efektiivseks vahendiks õpilaste teadmiste kvaliteedi tõstmisel füüsikas.

2. Absoluutse ja relatiivse vea mõisted.

Peatume lühidalt absoluutse ja relatiivse vea mõistetel (siin sisse toodud tähiseid kasutame ka edaspidi).

Olgu katse tulemusena saadud väärtus A , mis on otsitava suuruse x ligikaudseks väärtuseks. Meie mõõtmismeetodite ebatäiuslikkuse tõttu tekib viga ΔA . Antud suurust, millel on sama dimensioon kui suurusel A ja mis ei ole arvutusviga, nimetatakse absoluutseks veaks.

Otsitav suurus x asub tõkete $A + \Delta A$ ja $A - \Delta A$ vahel.

Graafiliselt võib seda kujutada järgmiselt:

$$\frac{A - \Delta A}{|} \quad | \quad \frac{A + \Delta A}{|}$$

Otsitav suurus

ja analüütiliselt:

$$A - \Delta A \leq x \leq A + \Delta A.$$

Absoluutse vea teadmine ei võimalda otsustada mõõtmise täpsuse üle, kuna selleks on tarvis teada, millise osa mõõdetavast suurusest moodustab mõõtmise maksimaalne absoluutne viga ehk absoluutse vea ülemmäär. Seoses sellega on sobiv opereerida teise suurusega $\frac{\Delta A}{A}$, s. t. absoluutse vea ja otsitava suuruse ligikaudse väärtuse suhtega.

Suurust $\frac{\Delta A}{A}$ nimetatakse relatiivseks veaks.

Töö tulemuse võib kirjutada järgmiselt:

$$1. x = A \pm \Delta A;$$

$$2. x = A \left(1 \pm \frac{\Delta A}{A} \right).$$

Absoluutset viga tähistatakse tähega Δ , relatiivset viga tähega δ . Näiteks erikaalu väärtuses märgitakse absoluutne viga tähisega Δd , pikkuse väärtuses relatiivne viga tähisega δl jne.

Peatume nüüd keskkooli füüsika laboratoorsetes töödes kasutataval absoluutse ja relatiivse vea arvutamise ja hindamise meetoditel.

3. Vea arvutamise ja hindamise meetodite liigitus.

Lähtudes töökogemustest, mis on saadud vigade määramisel õpilaste laboratoorsetes töödes, võib järeldada, et keskkoolis on sobiv kasutada järgmisi meetodeid:

1. Tõkete meetod.
2. Laboratoorse töö tulemuse hindamise meetod.
3. Aritmeetilise keskmise meetod.

Selleks, et rääkida nende meetodite rakendamisest, tuleb neist igaühte üksikasjaliselt vaadelda ja näidetega illustreerida.

Tõkete meetod.

Tõkete meetod on kõige lihtsam ja täiesti jõukohane isegi 6. ja 7. klassi õpilastele. Seda meetodit võib rakendada kõikides laboratoorsetes töödes. Selle rakendamine võimaldab lihtsate näidete abil õpilastele selgitada absoluutse ja relatiivse vea olemust ja viia neid arusaamisele, et ükski mõõtmistulemus ei saa olla absoluutselt täpne, et igal mõõtmisel tekib viga ja et sõltuvalt mõõtmismeetodist ja kasutatud mõõduriistadest võib katse korraldaja leida vigade ülemmäärad.

Tökete meetod kergendab edaspidi üleminekut teistele vigade arvutamise meetoditele — nn. «hindamise» ja aritmeetilise keskmise meetoditele.

Tökete meetodi rakendamisel me anname õpilastele vilumusi ühe või teise mõõtmise vigade hindamiseks sõltuvalt kasutatud mõõduriistadest. See on esimeseks etapiks laboratoorse töö tulemuse vea leidmisel hindamise meetodi abil.

Vaatleme tökete meetodi rakendamist töös, mille eesmärgiks on alumiiniumist risttahuka ruumala määramine.

Ruumala mõõtmiseks kasutame millimeeterjaotistega mõõdujoonlauda, millega võib hästi töödeldud pindadega metallist risttahuka mõõtteid määrata täpsusega kuni 0,1 mm.

Saame järgmised mõõtmistulemused:

1. pikkus $l = (40,3 \pm 0,1)$ mm;
2. laius $b = (25,0 \pm 0,1)$ mm;
3. kõrgus $h = (10,0 \pm 0,1)$ mm.

Ruumala on $V = l \cdot b \cdot h = 10,075 \text{ cm}^3$. Leiame tökked, mille vahel asub ruumala tõeline väärtus.

1. Kõikide mõõtmiste ülemtökked on:

$$\begin{aligned}l_1 &= 40,3 + 0,1 = 40,4 \text{ mm;} \\b_1 &= 25,0 + 0,1 = 25,1 \text{ mm;} \\h_1 &= 10,0 + 0,1 = 10,1 \text{ mm.}\end{aligned}$$

Järelikult ruumala ülemtöke on $V_1 = l_1 \cdot b_1 \cdot h_1 = 10,241 \text{ cm}^3$.

2. Mõõtmiste alamtökked on:

$$\begin{aligned}l_2 &= 40,3 - 0,1 = 40,2 \text{ mm;} \\b_2 &= 25,0 - 0,1 = 24,9 \text{ mm;} \\h_2 &= 10,0 - 0,1 = 9,9 \text{ mm.}\end{aligned}$$

Ruumala alamtöke võrdub $V_2 = l_2 \cdot b_2 \cdot h_2 = 9,908 \text{ cm}^3$.

Mõõtmistulemus $V = 10,075 \text{ cm}^3$ asub tökete V_1 ja V_2 vahel.

Nende tökete olemasolu räägib sellest, et ruumala ei ole vaja arvutada tuhandendik kuupsentimeetrilise täpsusega, nagu meie seda tegime, ja et tuleb võtta ainult need tüvenumbrid, mille täpsuses me oleme veendunud.

Kui võrrelda ruumala tökete väärtusi, siis tuleme järeldusele, et usaldatavad on ainult tüvenumbrid kuni ühtedeni, kuna kümnendikud on juba mitteusaldatavad.

Ligikaudse arvutamise reeglitest järgneb, et:

- 1) ligikaudseid arve peab ümardama, säilitades neis ainult usaldatavad tüvenumbrid ja mitte üle ühe mitteusaldatava tüvenumbri;
- 2) vahepealsete tehete tulemustes tuleb säilitada üks tüvenumber rohkem kui lõpptulemuses.

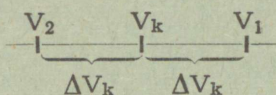
Seetõttu $V_1 = 10,24 \text{ cm}^3$ ja $V_2 = 9,91 \text{ cm}^3$.

Ruumala ligikaudseks väärtuseks võtame saadud tõkete väärtuste keskmise väärtuse:

$$V_k = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{10,24 + 9,91}{2} \approx 10,07 \text{ cm}^3.$$

Absoluutse vea ülemmääraks loeme tõkete väärtuste maksimaalse hälbe (kõrvalekalde) keskmisest väärtusest:

$$V_k = \frac{V_1 - V_2}{2} = \frac{10,24 - 9,91}{2} \approx 0,16 \text{ cm}^3.$$



Pärast ümardamist on laboratoorse töö lõpptulemus järgmine:

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

Mõõtmistulemuses võtame ainult usaldatavad ja ühe mitteusaldatava tüvenumbri. Absoluutset viga me suurendasime, kuna ümardamisel suurendasime ruumala keskmist väärtust (lähendasime teda ülemisele tõkkele). Seetõttu tuleb tõket edasi nihutada, s.t. absoluutse vea väärtust suurendada ($V_k = 10,07 \text{ cm}^3$ asemel võtame väärtuse $V_k = 10,1 \text{ cm}^3$ ja vastavalt suurendame absoluutset viga, võttes $V_k = 0,16 \text{ cm}^3$ asemel $V_k = 0,2 \text{ cm}^3$). Relatiivse vea arvutame järgmiselt:

$$V = \frac{\Delta V_k}{V_k} \cdot 100\% = \frac{0,2}{10,2} \cdot 100\% = 2\%.$$

Tõkete meetodi rakendamist mõõtmisvigade arvutamisel võib vaadelda ka teistes laboratoorsetes töödes. Näeme, et kunagi ei tule arvutustes rakendada ligikaudse arvutamise valemeid (nii nagu mõõtmistulemuse hindamise meetodi rakendamisel) ja et arvutused on lihtsad. Mistahes laboratoorses töös tõkete meetodil, tulemus hindamise meetodil ja aritmeetilise keskmise meetodil arvutatud mõõtmisvea väärtused langevad ühte. Näiteks laboratoorse töö «Boyle-Mariotte'i seaduse katseline kontrollimine» korraldamisel sain mõõtmisveaks nende kolme meetodi rakendamisel järgmised tulemused:

1. Tõkete meetod — $\frac{\Delta C}{C} = 1,1\%$.

2. Mõõtmistulemuse hindamise meetod — $\frac{\Delta C}{C} = 1,2\%$.

3. Aritmeetilise keskmise meetod — $\frac{\Delta C}{C} = 1,1\%$.

Kõik see näitab tõkete meetodi suurt väärtust.

Sõnastame tõkete meetodil vigade arvutamise reeglid:

1. Leiame otsitava suuruse ülem- ja alamtõkke ja ümardame neid nagu vahepealseid väärtusi.

2. Otsitava suuruse ligikaudseks väärtuseks loeme ülem- ja alamtõkke poolsumma.

3. Absoluutne viga on võrdne poolega ülem- ja alamtõkke vahest.

4. Tulemused ümardame, jättes järele ainult usaldatavad ja ühe mitteusaldatava tüvenumbri.

5. Kui ümardamisel tuleb keskmist väärtust suurendada või vähendada, siis sellega lähendame seda ülem- või alamtõkkele. Järelikult sama palju tuleb suurendada ka absoluutse vea väärtust.

Väga tähtis on õpilastele relatiivse vea mõiste selgitamine. Õpilased peavad aru saama, et relatiivne viga sõltub mõõdetava suuruse väärtusest. Näiteks alumiiniumist risttahuka pikkuse ja kõrguse mõõtmisel on relatiivsed vead järgmised:

$$\delta l = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\% = \frac{0,1}{40,3} \cdot 100\% = 0,3\%;$$

$$\delta h = \frac{\Delta h}{h} \cdot 100\% = \frac{0,1}{10,0} \cdot 100\% = 1\%,$$

kusjuures $\Delta l = \Delta h$.

Õpilased peavad teadma, kus tekib mõõtmisel suur viga. Meie näites on alumiiniumist risttahuka kõrguse mõõtmisel viga tunduvalt suurem pikkuse mõõtmisel tekkivast veast.

Relatiivse vea olemusest arusaamine võimaldab õigesti valida töö jaoks mõõduriista. Näiteks traadi pikkust, kui see on küllalt suur, võib mõõta vajaliku täpsusega sentimeeterjaotistega joonlaua abil. Sama traadi diameetrit aga ei saa küllaldase täpsusega mõõta isegi millimeeterjaotistega joonlaua abil. Selle töö jaoks tuleb kasutada kruvikaliibrit või mõnda kunstlikku võtet (traadist spiraali pikkuse mõõtmist jt.).

Vigade arvutamise meetodika analüüsimisel vaatleme, kuidas seda meetodit kasutada töös 6. ja 7. klassi ning vanemate klasside õpilastega.

Lõpetanud tõkete meetodi analüüsimise, võime teha järelduse, et selle rakendamine võimaldab sügavamalt tungida füüsikaliste mõõtmiste olemusse, avab õpilaste ees absoluutse ja relatiivse vea sisu ja annab neile igasuguste mõõtmiste vigade hindamise oskuse.

Laboratoorse töö tulemuse hindamise meetod.

Laboratoorse töö tulemuse hindamise meetod sai niisuguse nime seetõttu, et selle rakendamisel algab töö iga mõõduriista poolt põhjustatud vea hindamisega. See meetod võimaldab analüüsida katset, näha

selle positiivseid ja negatiivseid külgi ning välja tuua need katse etapid, millele tuleb rohkem tähelepanu pöörata. Füüsika katsetes on see meetod kõige üldisem ja seda rakendatakse kõige laialdasemalt. Selle üldise meetodi rakendamist keskkooli laboratoorsetes töödes raskendab asjaolu, et mõnel juhul on võimatu anda talle matemaatilist põhjendust, kuna selleks on vaja sügavalt aru saada funktsionaalsest sõltuvusest ja omada oskust leida funktsiooni tuletist. See kehtib vea arvutamise kohta kaudsetel mõõtmistel. Selliste suuruste mõõtmisel, nagu pikkus, mass, temperatuur jt., s. t. otsesel mõõtmisel, on väga kerge vea väärtust leida hindamise teel. Sellepärast võibki seda meetodit rakendada vea arvutamiseks otsesel mõõtmistel. Aga ka nendes töödes, kus on vaja teada viga ja kus ei ole võimalik teha palju katseid ja saada palju andmeid, rakendatakse vigade hindamise meetodit, ehkki ilma sügava teoreetilise põhjenduseta. Tökete meetodi tundmine kergendab sellele meetodile üleminekut.

Meetod on oma sisult järgmine. Algul analüüsitakse laboratoorset tööd, tehakse kindlaks, kuidas tuleb teostada mõõtmisi, millised vead võivad nende mõõtmiste juures tekkida. Võimalike vigade hindamisel lähtume sellest, milliseid mõõduriistu kasutasime, missugused on mõõduriistade skaalad ja kui suured on katse korraldaja vilumused (katseriistadega töötamise ja mõõtmise oskus).

Otsitav tulemus arvutatakse mitmest mõõtmistulemusest. Järelikult lõpptulemuse viga osutub kõikide mõõtmiste üldveaks. Seejuures tuleb arvestada, et vead võivad olla nii negatiivsed kui ka positiivsed, s. t. need tuleb liita. Vea suurus sõltub ka otsitava suuruse määramise meetodist, s. t. meil on tähtis antud katses esinevate suuruste vaheline funktsionaalne sõltuvus. Seetõttu on vea hindamisel põhilise tähtsusega antud funktsionaalset sõltuvust väljendav valem.

Laboratoorse töö tulemuse hindamise meetodi selgitamiseks analüüsime 9. klassi laboratoorset tööd «Gaasi oleku ühendatud valemi katseline kontrollimine».

Õpilased saavad laboratoorse töö sooritamiseks kinnise otsaga U-toru-manomeetri, mille skaala jaotise väärtus on 1 mm, termomeetri, mille skaala jaotise väärtus on 1° ja anuma, kuhu valatakse esialgu külm ja pärast soe vesi.

Peale selle peab olema kogu klassi jaoks ühine baromeeter (aneroiid- või elavhõbedabaromeeter) atmosfääri rõhu mõõtmiseks. Kooli baromeetrid võimaldavad atmosfääri rõhku mõõta harilikult täpsusega 0,5—1 mm Hg. Laboratoorses töös uuritakse gaasi ruumala ja rõhu vahelist sõltuvust temperatuuri muutumisel. Selle seose määrab Mendelejevi-Clapeyroni võrrand ehk gaasi oleku võrrand ja seda väljendab

valem: $\frac{VP}{T} = \text{const.}$, kus V on ruumala, P — rõhk, T — absoluutne temperatuur.

Õpilane paigutab manomeetri külma vette, mõõdab gaasi ruumala, rõhu ja temperatuuri ning kordab neid mõõtmisi uuesti, pannes manomeetri sooja vette.

Mõõtmiste tulemusena saame:

$$\frac{VP}{T} = C_1 \text{ ja } \frac{VP}{T} = C_2.$$

Toome antud laboratoorses töös saadud mõõtmistulemuste tabeli:

Jrk. nr.	Ruumala V	Atmosfääri rõhk P _{atm}	Elavhõbeda nivoode vahe H	Rõhk P = P _{atm} —H	Temperatuur		$\frac{VP}{T} = C = \text{const.}$
					t°C	T°K	
1.	54 tingühikut	769 mm	29 mm	740 mm	22°	295°	130
2.	59 tingühikut	769 mm	15 mm	754 mm	60°	333°	132

Selleks et vastata küsimusele, millise täpsusega on gaasi olekuvõrrand kontrollitud, tuleb hinnata viga. Viga tekib ruumala, rõhu ja temperatuuri mõõtmisel.

Hindame vead lähtudes mõõduriistade täpsusest:

$$\Delta V = 0,5 \text{ tingühikut;}$$

$$\Delta P = 1 \text{ mm elavhõbeda sammast (1 mm Hg);}$$

$$\Delta T = 0,5^\circ.$$

Võtame vea suuruseks poole skaala jaotise väärtusest. Kui mõõdetakse mitte üks kord vaid mitu korda, või kui viga, näiteks ΔP , saadakse baromeetri ja manomeetri abil teostatud mõõtmiste tulemusena, siis üldviga on võrdne vigade summaga.

Meie eesmärgiks on leida $\frac{\Delta C}{C}$, s. t. suuruse $\frac{VP}{T} = C$ määramisel

tekinud relatiivne viga. Antud relatiivne viga $\frac{\Delta C}{C}$ koosneb ruumala,

rõhu ja temperatuuri relatiivsetest vigadest $\frac{\Delta V}{V}$, $\frac{\Delta P}{P}$ ja $\frac{\Delta T}{T}$, s. t.

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta T}{T}.$$

Toome esimese katse jaoks $\frac{\Delta C}{C}$ arvutuse:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta T}{T} = \frac{0,5 \text{ tingühikut}}{52 \text{ tingühikut}} +$$

$$+ \frac{1 \text{ mm Hg}}{740 \text{ mm Hg}} + \frac{0,5^\circ}{295^\circ} = 0,013.$$

$$\frac{\Delta C}{C} = 1,3\%.$$

$$\Delta C = \frac{1,3}{100} \cdot C_1 = \frac{1,3 \cdot 130}{100} \approx 2.$$

$$C = C_k \pm \Delta C = 131 \pm 2.$$

Katse tulemus ei välju katseriistade jaoks lubatud vea piiridest.

Relatiivse vea arvutamise valemi

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta T}{T}$$

põhjendus antakse vigade teoorias¹.

Õpilastel ei ole võimalik aru saada selle valemi tuletuskäigust. Seepärast tuleb valemit ilma sügava põhjenduseta ainult selgitada. Antud asjaolu ei tohi õpetajat segada, kuna selliseid juhte esineb õppeprotsessis mujalgi.

Pealegi võib sellist dogmaatilist teed vältida, vaadeldes näitena korrutise vea valemit tuletamist. See tuletuskäik on täiesti jõukohane 9. ja 10. klassi õpilastele, kes on juba kohanud analoogilisi arvutusi matemaatika kursuses.

$$C = A \cdot B$$

$$C + \Delta C = (A + \Delta A) \cdot (B + \Delta B) = A \cdot B + \Delta A \cdot B + \Delta B \cdot A + \Delta A \cdot \Delta B.$$

Lahutades sellest avaldisest C ja jagades suurusega C = A · B, saame:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta A \cdot \Delta B}{C}.$$

Kuid $\frac{\Delta A \cdot \Delta B}{C}$ on teist järku väike suurus ja selle võib jätta arvestamata. Seega

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}.$$

¹ Vt. näiteks К. П. Яковлев, Физический практикум, т. III, М.-Л., Гос-техиздат, 1945.

Tulemust, et korrutise viga on võrdne tegurite relatiivsete vigade summaga, võib üldistada, kasutades seda, et õpilased on väga hästi tuttavad täisarvulise ja murrulise astendaja mõistega.

Kui $A = B^2$, siis võib kirjutada $A = B \cdot B$ ja

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

Tähendab, astme relatiivne viga on võrdne aluse relatiivse vea ja astendaja korrutisega.

Tulemust võib üldistada ka juhule $A = \sqrt{B} = B^{1/2}$; seega

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

Selgituseks tuleb tuua mõned näited:

$$1. VP = C, \text{ seega } \frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta P}{P};$$

$$2. g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}, \text{ seega } \frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + 2 \frac{\Delta T}{T};$$

$$3. m = KI t, \text{ seega } \frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta t}{t};$$

$$4. T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ seega } \frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta l}{2l}.$$

Näeme, et osa liikmeid ei esine relatiivse vea valemis, kuna nad on konstantsed suurused (näiteks $4\pi^2$, K , g).

Vaatamata sellele, et keskkooliõpilastele ei ole mõtet vigade teooriat esitada, on neil kasulik teada mõningaid vigade teooria järeldusi. Nende hulka kuuluvad näiteks järgmised:

1. Vead võivad olla nii positiivsed kui ka negatiivsed ja sellepärast tuleb alati liita nende absoluutväärtused.

2. Otsitava tulemuse relatiivne viga koosneb üksikute mõõtmiste relatiivsetest vigadest.

3. Absoluutne viga ei ole lõpmata väike suurus, mistõttu ei ole lubatud jätta teda arvestamata.

Laboratoorse töö tulemuse hindamise meetod võimaldab kindlaks teha, milline laboratoorse töö etapp annab suurima vea.

Teostame sellise analüüsi meie poolt vaadeldud töös.

$$\frac{\Delta V}{V} \cong 1\%; \frac{\Delta P}{P} \cong 0,1\%; \frac{\Delta T}{T} \cong 0,2\%.$$

Põhilise vea annab ruumala mõõtmine, järelikult nõuab töö see etapp suurimat tähelepanu ning spetsiaalseid mõõtmismeetodeid.

Mis puutub viimasesse, s. t. mõõtmismeetodite valikusse, siis seda tuleb keskkooli tingimustes lugeda ebaotstarbekaks.

Füüsikalistes mõõtmistes eelneb selline vea hindamine igale katsele, kuna see võimaldab valida vajalikke mõõduriistu ja mõõtmismeetodikat.

Näitena võib tuua raskuskiirenduse g määramise lihtpendli meetodil (antud näite toome illustratsioonina, kuna näite lihtsuse tõttu võib meetodika ratsionaalsuse kohta teha järelduse ka ilma arvutusteta).

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

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + 2 \frac{\Delta T}{T}.$$

Kui $l = 50 \text{ cm}$ ja $\Delta l = 0,1 \text{ cm}$, siis

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{0,1 \text{ cm}}{50 \text{ cm}} = 0,002, \text{ s. t. } \frac{\Delta l}{l} = 0,2\%.$$

Kui $T = 1,4 \text{ sek.}$, siis stopperiga mõõtes võib lugeda $T = 0,2 \text{ sek.}$, järelikult

$$\frac{\Delta T}{T} \cong \frac{0,2 \text{ sek.}}{1,4 \text{ sek.}} = 0,14; \frac{\Delta T}{T} = 14\%.$$

Vea vähendamiseks tuleb vönkeperioodi määramisel lähtuda ühe vönke asemel mitmest vönkest.

Pendli 100 vönke korral:

$$T = 0,002 \text{ sek.}; \frac{\Delta T}{T} = \frac{0,002 \text{ sek.}}{1,4 \text{ sek.}} = 0,0014 \text{ ehk } \frac{\Delta T}{T} = 0,14\%.$$

Sellist vönkeperioodi määramise meetodikat rakendataksegi antud laboratoorses töös.

Väga suuri vigu võib saada sellistel juhtudel, kui valemis esineb kahe suuruse vahe, mis võib olla väga väike. Võtame näiteks laboratoorse töö «Keha erisoojuse määramine kalorimeetrilisel meetodil».

Olgu: M — vee mass;

m — tahke keha mass;

t_0 — vee algtemperatuur;

t_1 — tahke keha algtemperatuur;

Θ — segu temperatuur;

$$C_1 \text{ — vee erisoojus } \left(C_1 = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g. kraad}} \right)$$

(lihtsuse mõttes jätame arvestamata kalorimeetri soojendamiseks kuluva soojushulga).

Valem erisoojuse arvutamiseks on järgmine:

$$C = \frac{C_1 M (\Theta - t_0)}{m (t_1 - \Theta)} \frac{\text{cal}}{\text{g. kraad}} . \text{ Järelikult relatiivne viga on:}$$

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta (\Theta - t_0)}{\Theta - t_0} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta (t_1 - \Theta)}{t_1 - \Theta} .$$

Kõikide valemis esinevate suuruste väärtused määrame katseliselt:

$$M = 500 \text{ g}; \quad \Delta M = 0,2 \text{ g}; \quad \frac{\Delta M}{M} = 0,04\%;$$

$$m = 114 \text{ g}; \quad \Delta m = 0,2 \text{ g}; \quad \frac{\Delta m}{m} = 0,2\%;$$

$$\Theta - t_0 = 4^\circ; \quad \Delta (\Theta - t_0) = 0,2^\circ; \quad \frac{\Delta (\Theta - t_0)}{\Theta - t_0} = 5\%;$$

$$t_1 - \Theta = 82^\circ; \quad \Delta (t_1 - \Theta) = 0,2^\circ; \quad \frac{\Delta (t_1 - \Theta)}{t_1 - \Theta} = 0,3\% .$$

Selleks, et vähendada viga, tuleb laboratoorne töö korraldada nii, et vahe $\Theta - t_0$ oleks suurem. Selleks tuleb võtta kas vähem vett või suurema massiga uuritav keha. Muidugi tuleb arvestada, et seejuures vahe $t_1 - \Theta$ ei muutuks liiga väikeseks. Kasutades eespooltoodud valemit, võime valida uuritava keha ja kalorimeetris oleva vee massi jaoks vajaliku suhte. Seejuures peab meeles pidama, et parimad katse tingimused esinevad sel juhul, kui lõpp-temperatuur on niipalju kõrgem toa temperatuurist, kuipalju toa temperatuur on kõrgem kalorimeetrisse valatud vee temperatuurist, sest et sel juhul me kõrvaldame osaliselt vee ja õhu vahelisest soojusvahetusest tingitud kao.

Kui arvestada ka kalorimeetri soojenemiseks kuluvat soojust, siis muutub valem kohmakaks ja vea arvutamine raskeneb.

Vigade arvutamisel ja hindamisel on kõige enam levinud meetodiks laboratoorse töö tulemuse hindamise meetod. Sellegi meetodi abil võib arvutada vead kõikides laboratoorsetes töödes. Kuid nagu katsed näitavad, kutsub selle meetodi rakendamine keskkoolis sageli esile raskusi. Tema rakendamine on lubatav ainult 9. ja 10. (peamiselt 10.) klassis. Selle meetodi rakendatavuse küsimust vaatleme hiljem.

Aritmeetilise keskmise meetod.

Seda meetodit rakendatakse juhul, kui otsitavat suurust võib määrata mitu korda. Mida rohkem on tehtud mõõtmisi, seda suurema täpsusega arvutatakse selle meetodi abil viga ja keskmine mõõtmistulemus.

Selle meetodi teoreetilise põhjenduse annab juhuslike vigade teooria (Gaussi teooria). Meetodi idee seisneb selles, et kui me opereerime täpsete arvudega, siis aritmeetilise keskmise suhtes võetud hälvetete summa on alati võrdne nulliga. Kui aga opereerida ligikaudsete suurustega, siis tõeliste suuruste hälvetete summa läheneb mõõtmiste arvu kasvamisel nullile.

Näitena vaatleme vigade arvutamist aritmeetilise keskmise meetodil laboratoorses töös «Kaldpinna kasuteguri määramine». Teatavasti

$$\text{kasutegur} = \eta = \frac{A_1}{A} = \frac{P \cdot h}{F \cdot l},$$

kus P on mööda kaldpinna liikuva plaadi kaal;

F — plaadile paralleelselt kaldpinnaga rakendatud jõud, mis paneb plaadi ühtlaselt liikuma;

l — kaldpinna pikkus;

h — kaldpinna kõrgus.

Vea võib määrata hindamise meetodil, kasutades valemit:

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

Kuid ΔP ja ΔF peavad sel juhul olema määratud katseliselt, s. t. P ja F määramiseks tuleb korraldada suur arv katseid ja seejärel määrata P ja F keskmine viga (ΔP_k ja ΔF_k) aritmeetilise keskmise meetodil.

Muidugi võib ΔP ja ΔF kindlaks määrata ka dünamomeetri skaala jaotise väärtuse järgi. Kuid sel juhul, kasutades näiteks Bakušinski dünamomeetrit, peame võtma $\Delta P = \Delta F$, kuigi katsed näitavad, et $\Delta F > \Delta P$. See on tingitud asjaolust, et F määramiseks tuleb plaat panna ühtlaselt liikuma, mis on aga väga raske. Plaadi ebaühtlane liikumine suurendab ΔF väärtust.

Selles laboratoorses töös on kasuteguri η määramiseks lihtsam korraldada mitu katset ja, saanud rea η väärtusi, arvutada aritmeetilise keskmise meetodil keskmine tulemus ja viga $\delta\eta$. Nii vähendame töökulu vea arvutamisel ja suure katsete arvu korral saame pealegi väärtuslikuma tulemuse.

Katse tulemusena saadi järgmised väärtused:

Jrk. nr.	h (m)	l (m)	P (kG)	F (kG)	A_1 (kGm)	A (kGm)	η	η_k	$\delta\eta$ %
1.	0,215	0,5	0,07	0,037	0,01505	0,0185	0,81		
2.	0,215	0,5	0,17	0,098	0,03655	0,049	0,74	0,77	3,2
3.	0,215	0,5	0,27	0,158	0,06	0,079	0,76		
4.	0,215	0,5	0,37	0,21	0,07955	0,105	0,75		

Vea arvutame järgmiselt:

1. Määrame otsitava suuruse aritmeetilise keskmise:

$$\eta = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4}{4} \cong 0,77.$$

2. Määrame iga mõõtmise vea

$$\Delta_1 = \eta_k - \eta_1 = -0,04$$

$$\Delta_2 = \eta_k - \eta_2 = 0,03$$

$$\Delta_3 = \eta_k - \eta_3 = -0,01$$

$$\Delta_4 = \eta_k - \eta_4 = 0,02$$

3. Leiame keskmise vea arvestades, et selle väärtus võib olla nii positiivne kui ka negatiivne:

$$\begin{aligned} \Delta_k &= \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2| + |\Delta_3| + |\Delta_4|}{4} = \\ &= \frac{0,04 + 0,03 + 0,01 + 0,02}{4} = 0,025. \end{aligned}$$

4. Arvutame relatiivse vea:

$$\delta\eta = \frac{\Delta_k}{\eta_k} \cdot 100\% = \frac{0,025 \cdot 100\%}{0,77} \cong 3,2\%.$$

Laboratoorse töö tulemus avaldub järgmiselt:

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_k \pm \Delta_k = 0,77 \pm 0,025 \\ &\text{ehk } \eta = (77 \pm 2,5)\%. \end{aligned}$$

Laboratoorsetes töödes, kus on võimalik vea arvutamiseks korraldada suur hulk mõõtmisi, on soovitatav rakendada aritmeetilise keskmise meetodit, sest et see on lihtne ja kättesaadav.

Tuleb tähelepanu juhtida sellele, et füüsika katsetes võib peale juhuslikkude vigade esineda ka süstemaatilisi vigu. Kõik vea arvutamise ja hindamise meetodid kehtivad ainult juhuslikkude vigade kohta. Real juhtudel võib õpetaja anda õpilastele juhendeid laboratoorse töö korraldamiseks sellistes tingimustes, mis võimaldavad süstemaatilise vea vähendamist. Põhiliselt seisneb see kõik katseriistade hoolikas ettevalmistamises laboratoorseteks töödeks ja õpilaste poolt katseriistade käsitlemise võtete omandamises (katseriistade ülesseadmine, katseriistade näitude lugemine, mõõduriista nullpunkti määramine jne.).

Lõpetanud vigade arvutamise ja hindamise mitmesuguste meetodite vaatlemise, tuleb üle minna ühe või teise meetodi rakendatavuse küsimusele ja näidata, millistes töödes ja kuidas tuleb viga arvutada.

Tõkete meetodit võib rakendada eranditult kõikides laboratoorsetes töödes. Sageli aga on otstarbekam rakendada aritmeetilise kesk-

mise meetodit. Mõlemad need meetodid koos võimaldavad arvutada viga kõikides laboratoorsetes töödes.

Hindamise meetodit võib rakendada kõikides laboratoorsetes töödes, kuid reas töödes see tekitab tunduvalt raskusi. Arvan, et hindamise meetodit võib rakendada ainult hea ettevalmistusega klassides — seal aga, kus selle omandamine võib tekitada raskusi, on otstarbekam rakendada tõkete meetodit.

Hindamise meetodist tema universaalsuse tõttu liigselt vaimustusse sattumine ning õpilaste ea ja ettevalmistuse arvestamata jätmine võib põhjustada mahakirjutamist ja kopeerimist, ilma et küsimuse sisust oleks aru saadud.

Minu tööpraktikas esines sageli juhtumeid, et rea klasside õpilased tulid kergesti toime hindamise meetodi arvutustega, said sellest meetodist aru ja rakendasid seda iseseisvalt kõikides teistes laboratoorsetes töödes. 10-a klass (212. keskkooli 1952/53. õ.-a. lend) teostas kõik arvutused hindamise meetodil. 10-b klassis aga lugesin selle meetodi rakendamist võimatuks õpilaste nõrga ettevalmistuse tõttu matemaatikas ja füüsikas.

Füüsika praktikumi korraldamisel muutuvad hindamise meetodi rakendamise võimalused laialdasemaks.

Aritmeetilise keskmise meetodit rakendatakse nendes laboratoorsetes töödes, kus õpilased korraldavad mitu katset ja saavad rea otsitava suuruse väärtusi.

Vaatamata sellele, et vigade arvutamise viisi valikuks võib anda kriteeriumi, jääb meetodi valik siiski õpetaja ülesandeks. Õpetajal tuleb siinjuures arvestada laboratoorse töö sisu ja tingimusi ning õpilaste ettevalmistust.

Töökogemuste põhjal võib teha järgmise üldise järelduse.

1. Vigade arvutamisel frontaalsetes laboratoorsetes töödes on otstarbekam rakendada kas tõkete või aritmeetilise keskmise meetodit, sõltuvalt töö iseloomust.

2. Füüsika praktikumi töödes võib peale nende meetodite rakendada ka laboratoorse töö tulemuse hindamise meetodit.

4. Mõõtmisvigade hindamise ja arvutamise meetoodika füüsika laboratoorsete tööde korraldamisel keskkoolis.

Mitmesuguste vigade arvutamise meetodite analüüsimisel vaatlesime juba mõningaid meetoodika küsimusi, näidates, millisel juhul rakendada üht või teist meetodit ja millistele selle töö raskematele elementidele tuleb pöörata suuremat tähelepanu. Käesolevas peatükis antakse vigade arvutamise ja hindamise meetoodika üldised juhendid, mis järgnevad meetodite analüüsist ja on õpilastega sooritatud töö kogemuste üldistuseks.

Alustades õpilastega tööd vigade arvutamise alal tuleb lähtuda järgnevast.

1. Töö peab toimuma süstemaatiliselt alates 6. klassist, kusjuures tuleb arvestada iga klassi vanuselisi iseärasusi.

2. Antud küsimuste omandamisel ei või lubada formalismi. Töö ei tohi piirduda vigade arvutamise skeemide päheõppimisega. Tuleb taotleda küsimuse olemuse sügavat omandamist ja seetõttu ei tohi õppimisel kiirustada: uued mõisted tuleb kasutusele võtta järkjärgult, selgitada neid näidete abil ja minna järkjärgult kiirustamata raskemate küsimuste käsitlemisele. Kuna materjal on raskesti omandatav, siis tuleb tähelepanelikult suhtuda õpilaste küsimustesse ja anda nendele alati vastus.

3. Kõige raskemini omandatavad on absoluutse ja relatiivse vea mõisted ise ja nimelt selles mõttes, et otsitav suurus määratakse ligikaudselt ja et ta asub kahe tõkke vahel. Selle küsimuse omandamisel on kõige paremaks ja kergemaks meetodiks tõkete meetod. Kui õpilased selle meefodi abil vigu arvutades on saanud selgeks absoluutse ja relatiivse vea olemuse, siis võib üle minna teistele vigade arvutamise ja hindamise meetoditele.

4. Vigade arvutamise alal tuleb töötada nii frontaalsetes laboratoorsetes töödes kui ka füüsika praktikumis. Muidugi peab arvestama, et füüsika praktikumi töö sooritamiseks on eraldatud rohkem aega, mistõttu õpilastele esitatavad nõudmised võivad olla suuremad.

5. Õpilaste teadmiste arvestamiseks laboratoorsete tööde teostamisel ja vigade arvutamisel tuleb laboratoorsete tööde aruandeid kontrollida ja töö kvaliteeti hinnata vastavate hinnetega.

6. Õpilastele on tähtis näidata vigade arvutamise suurt osa füüsika katsetes ja anda nendele kujutus mõõtmistäpsusest. Mis aga puutub vigade arvutamise tehnikasse, siis keskkooli tingimustes ei ole seda võimalik täiuslikuks arendada. Siit järgneb, et mõõtmisvigu ei ole vaja arvutada iga laboratoorse töö korral ja et selleks tuleb valida niisugused tööd, mille sooritamisel õpilased omandavad kõige enam vastavaid oskusi ja kus need arvutused on põhimõtteliselt vajalikud.

Tuleb meeles pidada, et mõõtmisvigade arvutamine ei ole omaette eesmärgiks ja et sellest tööst ei tohi vaimustusse sattuda. Vastasel korral juhitakse õpilaste tähelepanu katselt endalt ja selle tehnika omandamiselt kõrvale. Vigade arvutamine peab süvendama füüsika katsete olemuse mõistmist.

Võib soovitada järgmist, rea õpetajate poolt praktiseeritud töösüsteemi.

6. ja 7. klass.

Pärast esimese laboratoorse töö sooritamist arutab õpetaja koos õpilastega mõõtmiste ja vigade küsimust. Vestluse plaan võiks olla järgmine:

a) Mida tähendab mingi suuruse mõõtmine?

b) Mõõtmistel on vead alati vältimatud. Mida tähendab see, et mõõdetav suurus on suletud mingite tōkete vahele?

c) Kuidas me saame määrata iga mõõtmise vea ülemmäär?

d) Mis on relatiivne viga ja kuidas määrata tema väärtust?

Kõik need küsimused töötatakse läbi konkreetsete näidete abil, kasjuures selgitamisel kasutatakse mingit mõõduriista, näiteks mõõdujoonlauda või mõõdulinti.

Laboratoorses töös «Pikkuste mõõtmine» tuleb leida absoluutne ja relatiivne viga ning tōkete väärtused otseste mõõtmiste korral. Seejärel sooritatakse laboratoorne töö «Pindalade mõõtmine», illustreeritakse selle näite varal, kuidas määrata tōkete väärtused kaudsetel mõõtmistel ja näidatakse mõõtmistulemuse ümardamise võtteid, s. t. selgitatakse tehteid ligikaudsete arvudega. Õpilased peavad seejuures selgitust tähelepanelikult jälgima; laudadel ei tohi olla katseriistu, sest tavaliselt tõmbavad need õpilaste tähelepanu kõrvale.

Keha ruumala ja pindala iseseisval määramisel laboratoorse töö korras arvutavad õpilased alam- ja ülemtōkke ning ümardavad tulemuse. Igal mõõtmisel (pikkuse, laiuse ja kõrguse mõõtmisel) tuleb arvutada relatiivne viga.

Esimestes töödes teevad õpilased muidugi vigu, mida tuleb parandada ja selgitada. Selleks et kontrollida, kas õpilased on mõõtmisvea mõiste omandanud, tuleb neile laboratoorse töö lõpul esitada vastavaid küsimusi. Kõik need küsimused esitatakse antud töö kohta ja nad peavad aitama sügavamalt lahti mõtestada töö tulemust.

Järgmise laboratoorse töö sooritamisel tuleb õpilastele selgitada tōkete määramise viisi ja tehteid ligikaudsete arvudega.

Iga mõõtmise täpsuse, s. t. vea ülemmäärad võib määrata ühises vestluses kogu klassiga, lähtudes mõõduriista skaalast. Algul võib absoluutse vea ülemmääraks lugeda skaala jaotise väärtuse, hiljem aga (vanemates klassides) poole või veel väiksema osa sellest.

Laboratoorse töö ja vigade arvutamise sooritavad õpilased iseisvalt. Tunni lõpul peab aga õpetaja saadud tulemusi analüüsima ja selgitama, millised on iga mõõtmise tōkked ning absoluutse ja relatiivse vea väärtused. Erilist tähelepanu osutatakse relatiivsele veale. Tuleb näidata, et relatiivse vea väärtus sõltub mõõdetud suurusest.

Järgmistes laboratoorses töödes töötab õpetaja sama plaani järgi.

Mõnedes töödes, kus õpilastel tuleb sooritada palju mõõtmisi, võib nendele selgitada, et mõõtmistulemuste keskmine väärtus on kõige usaldatavam, ja nõuda õpilastelt mõõtmistulemuste keskmise väärtuse määramist. Selliste tööde analüüsimise tulemusena peab õpilastele selgeks saama, et otsitava suuruse täpsemaks määramiseks tuleb korraldada palju mõõtmisi ja lugeda selle väärtuseks mõõtmistulemuste keskmine väärtus.

7. klassis võib ligikaudse arvutamise reeglite ja tõkete määramise võtete omandamist kontrollida mingi laboratoorse töö abil, näiteks — nagu seda paljud õpetajad teevad — laboratoorse töö «Elektrilambi ja elektrimootori võimsuse määramine» abil.

7. klassi lõpetanud õpilased peavad oskama ja teadma järgmist.

1. Määrata mõõtmise absoluutne viga ja arvutada relatiivne viga.

2. Määrata mõõdetava suuruse alam- ja ülemtõke.

3. Rakendada õigesti ligikaudse arvutamise võtteid.

4. Arvutada töödes, kus mõõtmiste arv on suur, mõõtmistulemuste keskmine väärtus.

Tööd vigade arvutamise alal 6. ja 7. klassis peab õpetaja siduma ligikaudse arvutamise reeglite kasutamisega ülesannete lahendamisel. See võimaldab nende reeglite rakendamist laialdasemalt harjutada.

8. — 10. klass.

8.—10. klasside õpilased võivad omandada vigade arvutamise mitmesuguste meetodite abil ja leida mitte ainult iga mõõtmise, vaid ka otsitava suuruse absoluutse ja relatiivse vea. Erinevad vigade arvutamise meetodid ei ole ühevõrra raskesti omandatavad. Seetõttu tuleb neid rakendada teatud kindlas järjekorras, arvestades õpilaste vanuselist iseärasust.

Vaatleme vigade arvutamise meetodikat vastavalt igale klassile.

8. klass.

Vigade arvutamisel 8. klassis on kõige otstarbekam kasutada tõkete ja aritmeetilise keskmise meetodit.

Tõkete meetodit tuleb eelistada sellepärast, et ta võimaldab vahetult edasi arendada õpilaste poolt omandatud teadmisi ega nõua mingite täiendavate valemite rakendamist.

8. klassis tuleb selgitada aritmeetilise keskmise meetodit ja harjutada selle rakendamist. Õpilastele selgitatakse, et selle vigade arvutamise meetodi rakendamisel tuleb korraldada palju katseid ja et need mõõtmistulemused, mis tunduvalt erinevad enamikest mõõtmistulemustest, tuleb ära jätta.

Aritmeetilise keskmise meetodi selgitamisel antakse õpilastele vigade arvutamise täpne skeem. Töökogemused näitavad, et arvuta-

mise skeemist arusaamine ja tema meelespidamine ei tekita suuri raskusi. Tõkete meetodi meelespidamine ei ole samuti raske, sest et tema olemuse omandavad õpilased juba 6. ja 7. klassis.

Enne selliste laboratoorsete tööde korraldamist, millega seoses arvutatakse mõõtmisvead, tuleb õpilastega vestelda. Vestluses näidatakse, et tehted ligikaudsete arvudega ja töö tulemuse ümardamine ei rahulda meid enam ja tuleb hakata arvutama otsitava suuruse absoluutset ja relatiivset viga.

Mingi laboratoorse töö näite abil selgitatakse õpilastele vigade arvutamist tõkete meetodil. Selles arutelus on kõige sobivamaks näiteks laboratoorne töö «Hõõrdeteguri määramine».

Aritmeetilise keskmise meetodit võib selgitada samuti laboratoorse töö «Hõõrdeteguri määramine» abil. See võimaldab neid meetodeid võrrelda ja näidata, et aritmeetilise keskmise meetod annab samuti tõkkes, mille vahel asub otsitava suuruse väärtus.

Aritmeetilise keskmise meetodi rakendamist võib harjutada laboratoorse töö «Kaldpinna kasuteguri määramine» abil. Peale selle on see töö väga mugav aritmeetilise keskmise meetodi selgitamiseks.

Seega pööratakse 8. klassis peamine tähelepanu tõkete ja aritmeetilise keskmise meetodile.

Kvalitatiivse iseloomuga laboratoorsetes töödes ja füüsikaliste seaduste kontrollimiseks korraldatud töödes (ühtlaselt kiireneva liikumise seaduste uurimine kaldpinna abil, keha liikumine mööda parabooli, nurga all mõjuvate jõudude liitmine, paralleelsete jõudude liitmine jne.), kus mõõtmisviga ei arvutata, tuleb koos klassiga analüüsida kõige suuremate vigade põhjusi.

8. klassi füüsika praktikumi töödes on samuti otstarbekas rakendada tõkete ja aritmeetilise keskmise meetodit. Laboratoorse töö tulemuse hindamise meetod, olgugi et seda soovitatakse füüsika praktikumi korraldamise küsimusi käsitlevates raamatutes, on 8. klassis rakendamiseks raske ja tema järele ei ole ka erilist vajadust.

9. klass.

9. klassis võib mõõtmisviga arvutada tõkete ja aritmeetilise keskmise meetodite abil. Kuna 8. klassis on õpilased tõkete meetodi omandanud, võib järkjärgult üle minna hindamise meetodile, mis on õpilastele raskem.

Laboratoorse töö tulemuse hindamise meetodit on õpilastele otstarbekas tutvustada laboratoorses töös «Boyle-Mariotte'i» seaduse kontrollimine». Mõõtmisvead tuleb algul arvutada tõkete meetodi ja seejärel hindamise meetodi abil.

Sellisel mõlema meetodi paralleelsel käsitlemisel saavad õpilased hindamise meetodist aru. Näidates, et mõlemad meetodid annavad

sama tulemuse, peab õpetaja õpilastele selgitama, et kuna hindamise meetodit võib rakendada igas töös, siis on ta mugavam, ja et edaspidi hakatakse seda rakendama. Ligikaudse arvutamise valemeid võib selgitada nii, nagu seda on käsitletud hindamise meetodi vaatlemisel (lk. 76).

Järgnevate laboratoorsete tööde sooritamise tulemusena võivad õpilased hindamise meetodi hästi omandada. Hea treeningu annab neile vigade arvutamine laboratoorses töös «Gaasi oleku võrrandi katseline kontrollimine».

9. klassis sooritatakse laboratoorseid töid kalorimeetriast. Kooli tingimustes ei ole ajapuuduse tõttu nendes töödes võimalik rakendada ühtegi eespool käsitletud vigade arvutamise meetodit. Kuid selleks, et vigade arvutamine füüsika tundides ei muutuks episoodiliseks nähtuseks, tuleb laboratoorsete tööde tulemuste arutlemisel välja selgitada võimalikud vead, olgugi et neid ei arvutata.

Õpilased peavad aru saama, et kõik mõõtmised ei põhjusta laboratoorsetes töödes suuri vigu. Seetõttu tuleb rohkem tähelepanu osutada nendele mõõtmistele, mis annavad suurima vea.

9. klassi õpilased peavad juba iseseisvalt ja ilma eriliste raskusteta oskama määrata iga mõõtmise vea ülemmäära, suutma arvutada relatiivse vea, aru saama, et mõõtmisviga võib täpsema mõõduriista kasutamiseга vähendada ja oskama kõikide mõõtmiste hulgast välja eraldada need mõõtmised, mis annavad suurima vea.

Kui töö õpilastega toimub kirjeldatud plaani järgi, siis tuleb füüsika praktikumi ajal peale tõkete ja aritmeetilise keskmise meetodi rakendada ka hindamise meetodit.

Nagu eespool on märgitud, võib tõkete ja aritmeetilise keskmise meetodit rakendada kõikide laboratoorsete tööde korral. Hindamise meetod omab aga oma universaalsuse tõttu suuremat tähtsust füüsikaliste mõõtmiste analüüsimisel. Kõikides tehnikaalastes ja teaduslikes uurimustes rakendatakse just seda meetodit. Peale selle kohtavad õpilased oma praktilises töös vigade arvutamist hindamise meetodil sagedamini kui teiste meetodite abil. Seetõttu on ka arusaadav, miks on otstarbekas vaadelda ka hindamise meetodit. Selle küsimuse lahendamisel ei tohi aga unustada, et keskkooli eesmärgiks on mitte mitmesuguste vigade arvutamise meetodite tundmaõppimine, vaid füüsika katsete sisu, vea olemuse ning vigade arvutamise võimaluste selgitamine õpilastele.

Seetõttu peab õpetaja hindamise meetodi rakendamise küsimuse lahendama sõltuvalt sellest, kuidas õpilased omandavad kõik teised küsimused, mis on füüsika katsetega seotud. Kui aga õpetaja suudab õpilased viia hindamise meetodi omandamiseni, siis tuleb seda lugeda positiivseks nähtuseks.

10. klass.

Kui korraldada töö eespool kirjeldatud plaani järgi, siis on 10. klassi õpilased õppeaasta algul tuttavad kõigi vigade arvutamise meetoditega.

Õppeaasta algul, esimeste laboratoorsete tööde korraldamisel selgitab õpetaja õpilastele neid meetodeid ja märgib, et antud õppeaastal tuleb õpilastel mõõtmisvead arvutada iseseisvalt, s. t. ilma õpetaja abita ja ilma et tahvlile oleks kirjutatud arvutamise skeemi.

See nõuab õpilastelt teatavat iseseisvat kodust tööd, mille tulemusi võib õpetaja kontrollida küsitlemise teel. Loomulikult tuleb õpetaja õpilastele appi tõis esilekerkivate raskuste korral, seletab ebaselgeid küsimusi uuesti.

10. klassis teostatakse kordamise huvides suur arv töid 8. ja 9. klasside programmide järgi. Nende tööde juures tuleb õpilastelt nõuda vigade arvutamist. Kui näiteks 8. klassis rakendati mingis töös tõkete meetodit, siis 10. klassis võib samas töös rakendada hindamise meetodit.

Suur tähtsus on laboratoorsetel töödel füüsika praktikumis, kus vigade analüüsi tuleb hoolikalt kontrollida.

Kui 6.—9. klassides teha õpilastega süstemaatilist tööd vigade arvutamise alal, siis kümnendas klassis ei tekita see töö enam mingisuguseid raskusi.

Toimetajad L. Luhaorg, V. Paju

Tehniline toimetaja F. Lipp

Korrektorid M. Linnamägi, T. Rongonen

Trükkimisele antud 8. XII 1961. Trükipoognaid 5,25. Arvestuspoognaid 5,07.
Autoripoognaid 4,97. Trükiarv 2000. Tellimise nr. 607. MB-08264.
ENSV MN Asjadevalitsuse Trükikoda, Tallinn.

Hind 14 kop.

Hind 14 kop.

A
24352

7148671

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00714867 1