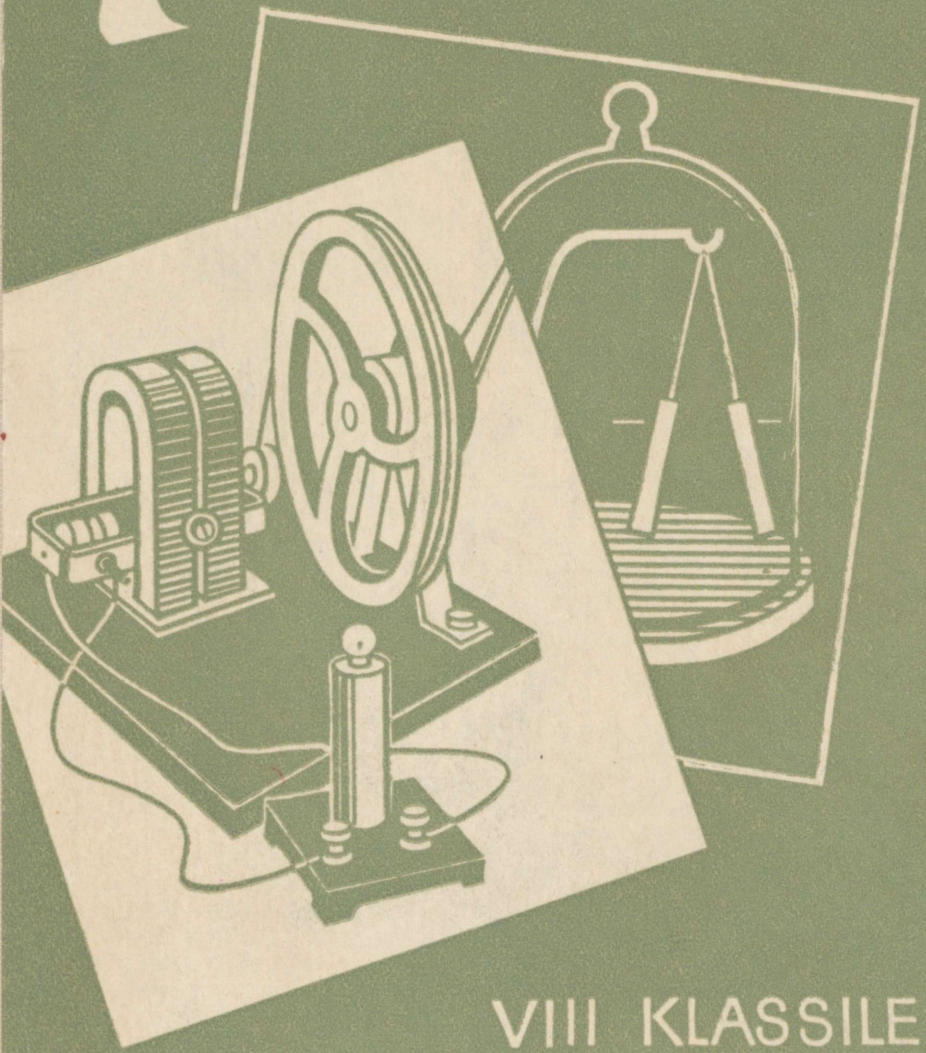
Füüsika



VIII KLASSILE

A-27093

A. PJORÕŠKIN, J. MINTŠENKOV,
V. KRAUKLIS, G. KARPINSKI

FÜÜSIKA

VIII KLASSILE

4. väljaanne

KIRJASTUS «VALGUS»
TALLINN 1966

53
F 98

Originaali tiitel:

А. В. Пёрышкин, Е. Я. Минченков, В. В. Крауклис, Г. К. Карпинский.
Физика.
Учебник для VIII класса.
Под редакцией Е. Я. Минченкова и А. В. Пёрышкина.
Издание четвёртое.
Утвержден Министерством просвещения РСФСР.
Издательство «Просвещение».
Москва — 1965.

Tõlkinud V. Paju.

Kaane kujundanud S. Liiberg.

Tõlge kinnitatud Eesti NSV Haridusministeeriumi poolt.

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
66103

ARHIIVKOGU

I. HÄÄL

§ 1. Võnkliikumine.

7. klassi kursuses vaatlesime ühtlast ja mitteühtlast sirgjoonelist liikumist. Need on lihtsaimad mehhaanilised liikumised.

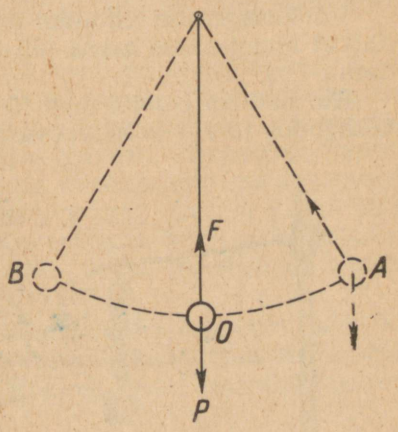
Looduses ja tehnikas esineb liikumisi, kus keha liigub tasakaaluasendi ümber, kaldudes sellest kord ühele, kord teisele poole. Selliseid liikumisi nimetatakse võnkliikumisteks ehk lihtsalt võnkumisteks.

Tutvume võnkliikumisega pendli liikumise jälgimise teel. Pendliks võib olla ükskõik milline raske keha (näiteks teras- või pliikuulike), mis on riputatud niidi otsa (joon. 1).

Viime pendli tasakaaluasendist *O* välja ja laseme ta lahti. Pendel hakkab punkti *O* ümber võnkuma, kaldudes sellest kord ühele poole (*A*), kord teisele poole (*B*).

Vaatleme, miks pendel võngub.

Tasakaaluasendis *O* mõjub pendlile kaks jõudu: raskusjõud (pendli kaal) *P* ja pinguletõmmatud niidi elastsusjõud *F* (joon. 1). Need jõud on teineteisega suuruselt võrdsed ning mõjuvad ühel ja samal vertikaalsel sirgel vastassuundades. Nende jõudude resultantjõud on null.



Joon. 1. Pendel tasakaaluasendis (*O*) ja kõrvalekallutatult (*A*).

Viime pendli asendisse *A*. Nüüd mõjub talle samuti kaks jõudu: pendli kaal ja pinguloleva niidi elastsusjõud. Kuid need jõud ei tasakaalusta enam teineteist, s. t. nende resultantjõud ei võrdu enam nulliga. Tasakaalustamata jõudude mõjul liigub pendel asendist *A* tasakaaluasendisse *O*.

Jõudnud tasakaaluasendisse, ei jää pendel seisma, vaid jätkab inertsi mõjul liikumist punktist *O* teisele poole. Pendlile mõjuvad

jõud püüavad seejuures tema liikumist pidurdada. Lõpuks pendel peatubki äärmises asendis *B*. Seejärel hakkab ta samade jõudude mõjul tasakaaluasendi poole tagasi liikuma.

Võnkuva keha suurimat kaugust tasakaaluasendist nimetatakse võnkeamplituudiks. Joonisel 1 kujutatud pendli võnkeamplituud on *OA* või *OB*.

Kui võnkuv keha on läbinud võnkumise algusest alates tee, mis võrdub neljakordse amplituudiga, siis ta on sooritanud täisvõnke. Näiteks kuulikese liikumine punktist *A* punkti *B* ja tagasi moodustab ühe täisvõnke.

Ajavahemikku, mille kestel keha sooritab ühe täisvõnke, nimetatakse võnkeperioodiks.

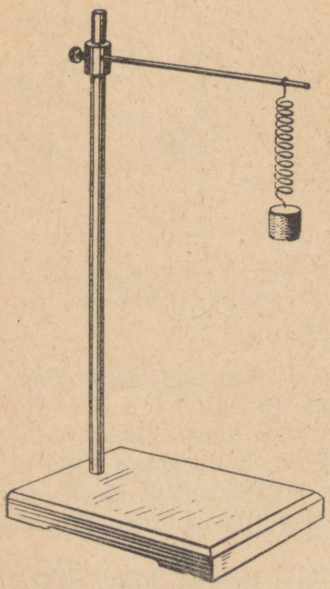
Võnkeperioodi mõõdetakse tavaliselt sekundites.

Riputame aluse külge kaks pendlit: ühe pika ja teise lühikese. Kallutame need tasakaaluasendist kõrvale ja laseme lahti. Näeme, et mingi kindla ajavahemiku kestel teeb lühike pendel rohkem täisvõnkeid kui pikk pendel.

Võngete arvu ühes sekundis nimetatakse võnkesageduseks.

Võnkesageduse ühikuks on võetud üks võnge sekundis. Seda ühikut nimetatakse saksa füüsiku Hertzi auks hertsiks (lühendatult Hz).

Kui näiteks pendel teeb 10 võnget sekundis, siis on tema võnkesagedus 10 Hz (võnkeperiood on 0,1 sek.).



Joon. 2. Ülesande nr. 2 juurde.

Harjutus 1. 1. Leningradis Iisaku katedraalis on üles seatud pendel, mis teeb igas minutis kolm täisvõnget. Arvuta selle pendli võnkesagedus ja periood.

2. Joonisel 2 on kujutatud statiivi külge kinnitatud vedru, mille otsas ripub koormus. Kui tõmmata koormust allapoole ja lasta ta uuesti lahti, siis koormus hakkab võnkuma. Millised põhjused kutsuvad võnkumise esile? Millised jõud mõjuvad koormusele tasakaaluolekus?

Märkus: Jõude, mis tekivad vedru venitamisel või kokkusurumisel, nimetatakse elastsusjõududeks.

§ 2. Energia muundumine võnkliikumisel. Sumbuvad võnkumised.

Viies pendli tasakaaluasendist välja (joon. 1), me teeme pendli tõstmiseks tööd. Seejuures suureneb pendli potentsiaalne energia. Kui tasakaaluasendis pendli potentsiaalne energia lugeda võrdseks nulliga,

siis tasakaaluasendist väljaviidud pendli potentsiaalne energia võrdub tema tõstmiseks kulutatud tööga.

Pendel, mis liigub äärmisest asendist tasakaaluasendi poole, laskub üha madalamale. Seejuures tema potentsiaalne energia kogu aeg väheneb ja kõige madalamas punktis, s. o. tasakaaluasendis, saab võrdseks nulliga. Samal ajal pendli liikumise kiirus ning seega ka kineetiline energia suureneb. Võnkuva pendli kineetiline energia on kõige suurem punktis, kus tema kiirus on kõige suurem, s. o. tasakaaluasendis *O*.

Kui pendli liikumisel energiakaod on nii väikesed, et neid võib arvestamata jätta, siis energia jäävuse seadusest järgneb, et tema kineetiline energia tasakaaluasendit läbimise momendil võrdub potentsiaalse energiaga äärmises asendis. Tee *AO* igas vahepealses punktis on potentsiaalse ja kineetilise energia summa jääv ning võrdub pendli potentsiaalse energiaga asendis *A*.

Pendli liikumisel punktist *O* punkti *B* tema potentsiaalne energia kasvab (pendel tõuseb kõrgemale). Seejuures tema kiirus ja kineetiline energia vähenevad. Kui pendel on jõudnud punkti *B*, mis asub niisama kõrgel nagu punkt *A*, siis on tema kineetiline energia null.

Võnkumisi, mis toimuvad ainult esialgse energiavaru arvel, nimetatakse **vabadeks võnkumisteks**. Vaba võnkumise sagedust nimetatakse omavõnkesageduseks. Energia vähenemise tõttu ei saa vabad võnkumised kesta igavesti. Tõepoolest, vaadeldes pendli võnkumist näeme, et tema võnkeamplituud aegamööda väheneb. Lõpuks jääb pendel seisma. Pendli energia kulub järkjärgult tööks õhutakistuse ja kinnituskohas tekkiva hõõrdumise ületamisel. Selliseid väheneva amplituudiga võnkumisi nimetatakse **sumbuvateks võnkumisteks**.

Mida suurem jõud takistab võnkuva keha liikumist, seda kiiremini väheneb amplituud ja seda varem lakkab võnkumine. Näiteks õhus võngub pendel võrdlemisi kaua, vette paigutatuna sumbub aga kiiresti.

Võnkuv keha kulutab energiat mitte ainult keskkonnatakistuse ületamiseks, vaid ka selle keskkonna, näiteks õhu, võnkliikumise tekitamiseks.

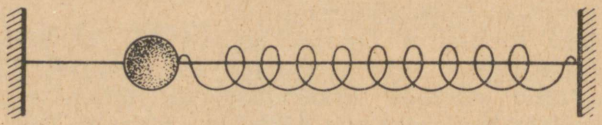
Selleks et võnkumine ei sumbuks, tuleb keha poolt ärakulutatud energiat pidevalt asendada uue energiaga. Kellades säilitab pendli võnkumise eriline mehhanism, mis töötab ülestõstetud vihi või üleskeeratud vedru energia arvel.

Võnkumine on väga levinud liikumise liik. Teda kohtame looduses, tehnikas ja igapäevases elus. Võnguvad näiteks tasakaalust väljaviidud kaalukausid; kella pendel; kruustangide vahele kinnitatud terasplaat, kui seda painutada ja seejärel lahti lasta; autode ja raudteevagunite kered vedrudel põrutuste korral; puude

oksad tuulepuhangute ajal; veeosakesed, kui vette visata mingi keha.

Harjutus 2. 1. Mitu korda pendli võnkeperioodi kestel muutub potentsiaalne energia kineetiliseks energiaks ja kineetiline energia potentsiaalseks energiaks?

2. Joonisel 3 on kujutatud peenele horisontaalsele vardale asetatud vedru. Vedru üks ots on kinnitatud toe külge, teise otsa küljes asub aga raske keha. Kui keha tõmmata paremale ja lasta ta lahti, siis keha hakkab võnkuma. Milline energia muundumine toimub selle võnkumise kestel?



Joon. 3. Ülesande nr. 2 juurde.

Märkus: Kokkusurutud või väljavenitatud vedru energia on potentsiaalne energia.

3. Valmista kodus lihtne pendel ning vaatle, mitu võnget ta teeb vees ja õhus kuni võnkumise täieliku sumbumiseni. (Mõtle järele, kuidas korraldada katse vees.) Amplituudi algväärtus vali mõlemal juhul võrdne. Korda katset, muutes pendli pikkust. Katse järeldused vormista lühikese aruandena.

§ 3. Häälevõnkumised.

Mitmesuguste loodusnähtuste seas on inimeste elus suur tähtsus häälel.

Maailm, milles me elame, on häältest tulvil. Linnulaul, muusika, ojakese vulin, puulehtede sahin, merelainete kohin, veduri vile — kõik need on mitmesugused hääled. Inimese kõne koosneb reast üksteisele järgnevatest häältest.

Lihtsad vaatlused näitavad, et helisevad kehad võnguvad. Vaatleme tähelepanelikult helisevat pillikeelt: ta näib keskelt paksemana ja tema piirjooned paistavad ebaselgetena (joon. 4). Pillikeele kuju muutus sellepärast, et keel võngub. Kui helisevale pillikeelele lähendada pabeririba, siis riba hakkab keele tõugete mõjul võnkuma. Me kuuleme häält seni, kuni keel võngub. Kui peatame keele, siis kaob ka hääl.

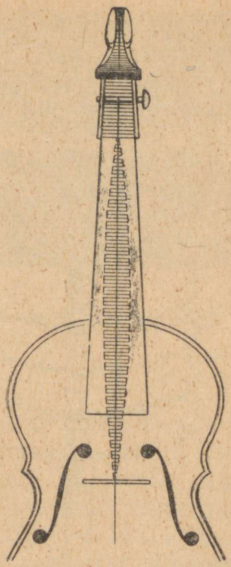
Häälenähtuste tundmaõppimiseks võib kasutada heliharki.

Kui heliharki lüüa haamrikesega või tõmmata viiulipoognaga, siis hakkab ta helisema.

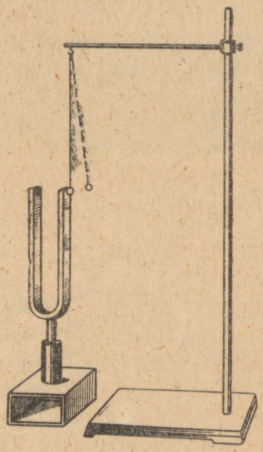
Lähendame helisevale helihargile niidi otsa riputatud väikese kuulikese, näiteks klaashelme. Helihargi harud tõukavad kuulikese eemale (joon. 5). See katse näitab, et helisev helihark võngub. Kui helihargi võnkumine lakkab, siis kaob ka hääl.

Helihargi võnkumist võib jälgida ka teisiti.

Võtame helihargi, mille haru küljes on teravik, ja tõmbame teravikuga kiiresti üle tahmaga kaetud klaasplaadi. Kui helihark ei helise, siis tekib klaasplaadil sirgjoon (joon. 6, *a*). Helisev heli-



Joon. 4. Heliseva pillikeele kuju.

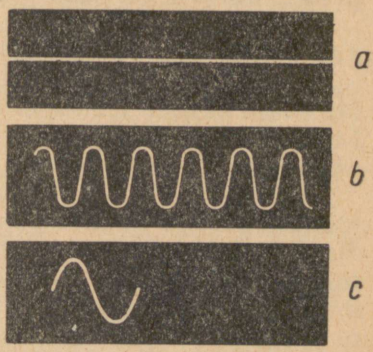


Joon. 5. Helisev helihark tõukab kerge kuulikese eemale.

hark jätab aga klaasile lainelise joone (joon. 6, *b*). Helihargi haru täisvõnge tekitab selle lainelise joone ühe «harja» ja ühe «nõo» (joon. 6, *c*.)

Vaatlused ja katsed näitavad, et hääleallikateks on võnkuvad kehad: metallplaadid, pillikeeled, inimeste ja loomade häälepaelad jne.

Sageli vesi veevärgi torudes «laulab» ja õhk korstnates «undab». Võnkuv õhusammas on hääleallikaks ka orelivilede ja mitmesugustes puhkpillides.



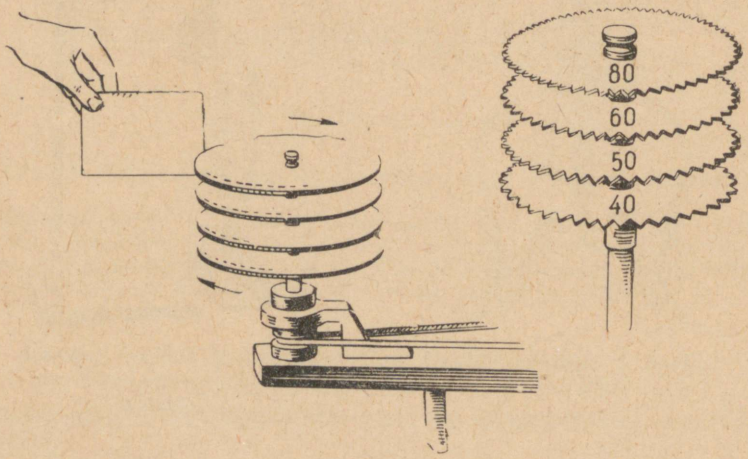
Joon. 6. Helihargi teraviku jälg tahmaga kaetud klaasplaadil.
a — jälg sel juhul, kui helihark ei helise; *b* — heliseva helihargi jälg; *c* — ühele täisvõnkele vastav jälg.

§ 4. Tooni kõrgus.

Paneme helisema kaks erinevat kitarri- või balalaikakeelt. Kuuleme erinevaid hääli: üks nendest on madalam, teine aga kõrgem. Mehe hääl on naise häälest madalam, bass tenorist madalam, sopran aldist kõrgem.

Millest sõltub hääle kõrgus? Sellele küsimusele vastuse leidmiseks korraldame katseid.

Joonisel 7 on kujutatud riist, mis koosneb mitmest ühisele teljele kinnitatud metallkettast. Kettad on varustatud hammastega, kusjuures erinevatel ketastel on hammaste arv erinev. Paneme riista pöörlema ja puudutame õhukese papitükiga ühe ketta hambaid. Kuuleme häält. Selle hääle allikaks on võnkuv papitükk.



Joon. 7. Katseriist, mis näitab tooni kõrguse sõltuvust võnkesagedusest.

Mida kiiremini papitükk võngub, seda suurem on võnkesagedus ja seda kõrgem on hääl.

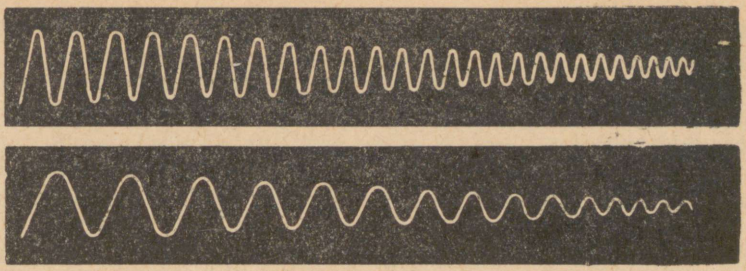
Häält, millel on kindel kõrgus, nimetatakse muusikaliseks heliks ehk tooniks.

Jättes katseriista pöörlemise kiiruse muutumatuks, puudutame erinevate ketaste hambaid. Me kuuleme erineva kõrgusega toone. Mida rohkem hambaid on kettal, s. t. mida suurem on papitüki võnkesagedus, seda kõrgem on toon.

Joonisel 8 on kujutatud jäljed, mille jätavad kaks erineva toonikõrgusega heliharki. Mõlemad helihargid liikusid piki tahmaga kaetud plaati ühesuguse kiirusega, puudutades seda oma teravikuga. Ülemise jälje jättis kõrgema tooniga helihark, alumise — madalama tooniga helihark. Võrreldes neid jälgi, näeme, et kõrgema tooniga helihargi võnkesagedus on suurem.

Katsetest võime teha järgmise järelduse: **tooni kõrgus sõltub hääleallika võnkesagedusest; mida suurem on võnkesagedus, seda kõrgem on toon.**

Meie kõrv on võimeline helina vastu võtma mehhaanilisi võnkumisi sagedusega 20 kuni 20 000 hertsi.



Joon. 8. Jäljed, mille jätavad kaks erineva toonikõrgusega heliharki.

Inimese hääle piirid on 64 hertsi (madal bassi noot) ja 1300 hertsi (kõrge soprani noot). Klaveri madalaim noot «la» vastab sagedusele 27,5 hertsi ja kõrgeim noot «do» sagedusele 4096 hertsi.

Mehhaanilisi võnkumisi, mille sagedus on üle 20 000 hertsi, nimetatakse ultrahelideks. Tänapäeva tehnika võimaldab saada ultrahelisid võnkesagedustega 20 000 hertsist kuni sadade miljonite hertsideni.

Ultrahelisid rakendatakse tänapäeval laialdaselt tehnikas. Uurides näiteks, kuidas levivad ultrahelid suurtes metallesemetes, kontrollitakse nende esemete kvaliteeti (kas neis ei ole pragusid ja õõnsusi). Ultrahelide abil saadakse mitmesuguseid emulsioone[1]. Ultraheli rakendamist mereasjanduses kirjeldame edaspidi (§ 8).

Ultrahelid võivad avaldada ka bioloogilist ja füsioloogilist toimet. Näiteks seemnete kiiritamine ultraheliga tõstab nende idanevust ja suurendab saagikust. Piima kiiritamine hoiab teda pikemat aega hapuks minemise eest.

On kindlaks tehtud, et mõned elusolendid, näiteks nahkhiired, kiirgavad ja tajuvad ultraheli ning orienteeruvad selle abil ruumis.

§ 5. Hääle tugevus.

Teame, et võnkuv keha omab energiat. Võnkuva keha energia on seda suurem, mida suurem on tema võnkeamplituud.

Kui võnkuvat keha ümbritseb õhk või mõni teine keskkond, siis ta annab sellele keskkonnale järk-järgult üle oma energia.

Energiahulka, mis läbib ühe sekundi jooksul häälelainete levi-

[1] Emulsioon — vedelik, milles on hõljuvas olekus antud vedelikus lahustumatuid õli, rasva või valkaine osakesi. Emulsioonide näideteks on piim ja samuti ka vee segu rasva ja leelisega, mida kasutatakse metallitöötlemisel lõikeriista ja valmistatava detaili jahutamiseks.

missuunaga risti asetatud 1 cm² suuruse pinna, nimetatakse hääle tugevuseks.

Kui keha ei hoia võnkumises mõni väline energiaallikas, siis võnkumine sumbub ja hääl vaibub, sest heliseva (võnkuva) keha energia väheneb.

Mida suurema energiahulga annab helisev keha üle teda ümbritsevale keskkonnale ühes sekundis, seda suurem on hääle tugevus.

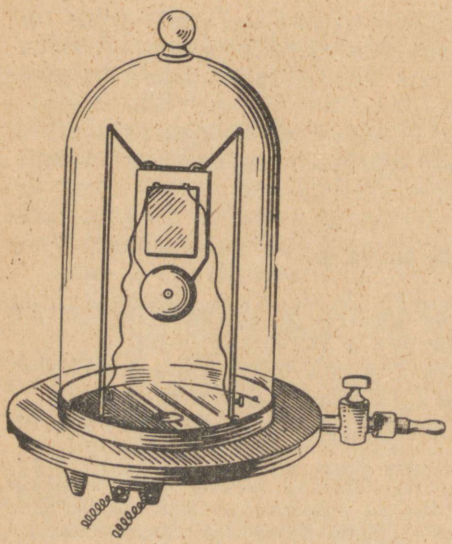
Lähendame heliseva helihargi harule niidi otsa riputatud kuulikese (joon. 5). Vaadeldes teatud aja kuulikese liikumist, näeme, et kui heli tugevus väheneb, siis helihargi haru ei tõuka kuulikest enam nii kaugele kui varem. Selle nähtuse põhjuseks on helihargi haru võnkeamplituudi vähenemine. Võnkeamplituudi vähenedes väheneb ka hääle tugevus.

Seega **hääle tugevus sõltub heliseva keha võnkeamplituudist. Mida suurem on heliseva keha võnkeamplituud, seda tugevam on hääl.**

§ 6. Hääle levimine.

Häält kuuleme kõrva abil. Heliseva keha (hääleallika) ja kõrva (hääle vastuvõtja) vahel on keskkond, mis annab hääleallika helivõnkumised edasi vastuvõtjale. Harilikult on selleks keskkonnaks õhk. Katsed näitavad, et õhutühjas ruumis hääl ei levi.

Asetame õhupumba kupli alla elektrikella ja paneme ta helisema (joon. 9). Seejärel hakkame kupli alt õhku välja pumpama. Õhu hõrenemisel hääl üha nõrgeneb ning lõpuks kaob peaaegu täiesti. Kui pump seisma jätta ja lasta õhk kupli alla, siis kuuleme jälle kella helisemist.



Joon. 9. Elektrikell õhupumba kupli all.

Seega hääl levib hõrendatud õhus halvasti ja õhutühjas ruumis ei levi üldse.

Hääl levib mitte ainult õhus, vaid ka igas teises keskkonnas. Seda võib samuti kindlaks teha katsete abil. Isegi nii nõrka häält, nagu laua ühele otsale asetatud taskukella tiksumist, võib kuulda laua teise otsa juurest, kui asetada kõrv vastu lauda.

On hästi teada, et maad

ja eriti raudteerööpaid mööda levib hääl kaugele. Asetades kõrva vastu raudteerööbast või maad, võime kuulda kaugelt läheneva rongi mürinat või galopeeriva hobuse kabjaplaginat.

Kui me vee all olles lööme kahte kivi teineteise vastu, siis kuuleme selgesti löögist tekkinud häält. Seega hääl levib ka vees.

Katsed näitavad, et mitmesugused tahked kehad juhivad häält erinevalt. Elastsed kehad on head häälejuhid. Enamik metalle, puit, gaasid ja vedelikud on elastsed kehad ja sellepärast hääl levib neis hästi. Kalameestele on hästi teada, et kalad tajuvad kaldalt kostvaid inimeste hääli ja samme.

Pehmed ja poorsed kehad on halvad häälejuhid. Näiteks taskus olevat kella ümbritseb pehme riie ja me ei kuule tema tiksumist.

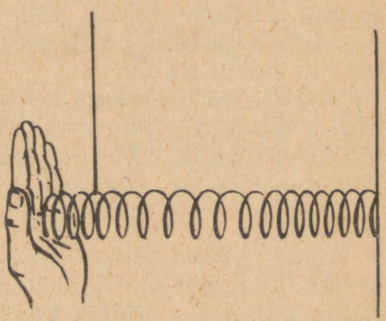
Selleks et takistada kõrvaliste häälte pääsemist mingisse ruumi, kaetakse ruumi seinad, põrand ja lagi häältneelavast materjalist kihtidega (vilt, vaibad, peenestatud kork, saepuru, poorsed kivid). Häälelained sumbuvad sellistes kihtides. Võnkliikumise energia muundub häält neelavate kehade siseenergiaks, mistõttu need kehad soojenevad.

Seega **hääl levib kõikides elastsetes kehades** — tahketes kehades, vedelikes ja gaasides, **kuid ei levi õhutühjas ruumis.**

§ 7. Hääle levimiskiirus.

Millised nähtused toimuvad keskkonnas, kui temas levib hääl? Sellele küsimusele vastuse leidmiseks korraldame katse.

Joonisel 10 on skemaatiliselt kujutatud pikk horisontaalselt asetatud spiraalvedru. Kui vedru otsale rütmiliselt käega lüüa, siis iga löögi hetkel keerud vedru otsas lähenevad üksteisele ning tekib keerdude tihenemine. Kui aga käsi eemaldub vedru otsa juurest, siis keerud eemalduvad üksteisest ning endise tihenduse kohal tekib keerdude hõrendus. Seega vedru keerud võnguvad. See võnkumine kandub edasi ühtedelt keerdudelt teistele — piki vedrut levivad keerdude tihendused ja hõrendused.



Joon. 10. Laine spiraalvedrul.

Näeme, et vedru vasakus otsas tekkinud keerdude tihendused ja hõrendused ei jõua kohe vedru parema otsani, vaid alles teatud aja möödudes. Sellest järgneb, et võnkumine ei levi vedrus hetkeliselt, vaid teatud kindla kiirusega.

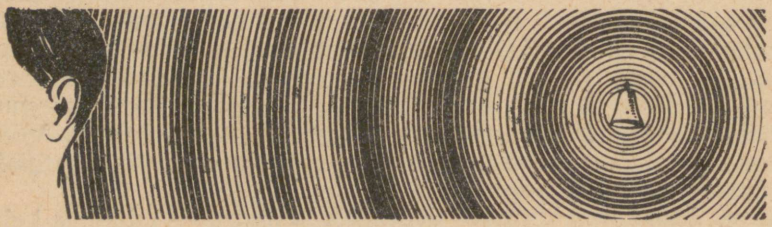
Võnkumise levimine keskkonnas, mille osakesed on üksteisega

seotud, kuulub erilisse liikumise liiki. See on *laineline liikumine* ehk *lainete levimine*.

Seega vedrus, mille otsa vastu me lööme, levivad lained.

Ainet, milles lained levivad, nimetatakse *edasiandvaks keskkonnaks*.

Hääl levib häälelainetena. Hääleallikas paneb edasiandva keskkonna osakesed võnkuma. See võnkumine levib kindla kiirusega tihenduste ja hõrendustena (s. o. lainete kujul) hääleallikast igas suunas laiali.



Joon. 11. Heliseva kella häälelained.

Joonisel 11 on kujutatud heliseva kella poolt tekitatud häälelainete levimine õhus. Sellel joonisel on näidatud õhuosakeste võnkumise tõttu tekkinud õhu tihendused ja hõrendused.

Äikese ajal näeme kõigepealt välku ja alles teatud aja möödudes kuuleme müristamist, olgugi et õhu võnkumine, mida me tajume häälena, tekkis välgusähvatusega samaaegselt.

Mida kaugemal on äikesepilv, seda suurema hilinemisega jõuab meieni müristamine.

Kui mõõta ajavahemik t, mis kulub hääle levimiseks hääleallikast vaatlejani, ning hääleallika kaugus s vaatlejast, siis hääle levimiskiirust v võib arvutada ühtlase liikumise valemist:

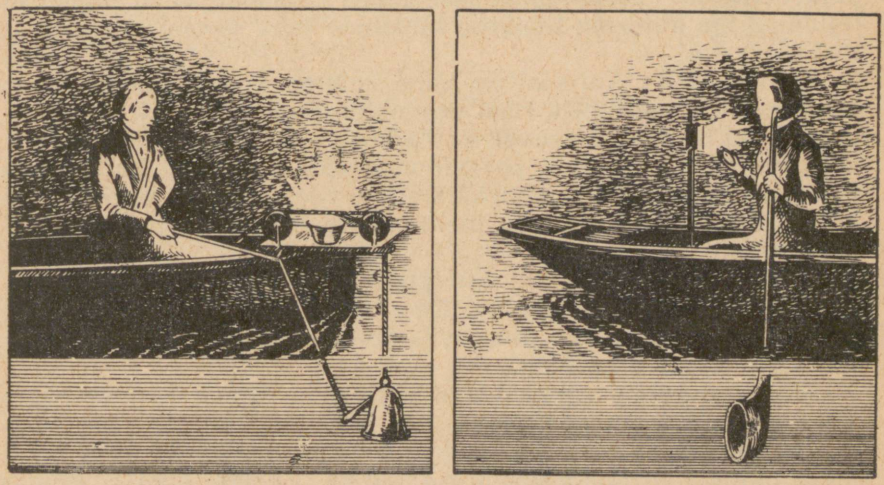
$$v = \frac{s}{t}.$$

Hääle kiirus sõltub selle keskkonna omadustest, milles hääl levib. Teadlased on välja töötanud mitmesuguseid viise hääle kiiruse mõõtmiseks. Hääle kiirus mõningates keskkondades on toodud alljärgnevas tabelis.

Hääle kiirus erinevates keskkondades $\left(\frac{m}{s}\right)$.

Vesi	1450
Plii	1300
Vask	3560
Kuusepuu	4000—5000
Teras	5000—6000
Klaas	5000

Harjutus 3. 1. Hääle kiirust vees mõõdeti esmakordselt 1827. a. Genfi järvel. Üks vaatlejaist laskis oma paadist vette kella, lõi seejärel kella vasaraga ning süütas samaaegselt paadis püssirohu (joon. 12). Teine vaatleja, kes asus samuti järvel ja kelle kaugus esimesest vaatlejast oli varem mõõdetud, nägi algul püssirohu süttimist ja kuulis siis vette lastud kuuldetorus kellalööki. Hääle tekkimise (valgusesähvatuse) ja tema päralejõudmise hetked registreeris teine vaatleja sekundomeetriga. Vaatlejatevaheline kaugus oli 3,75 km ja hääl jõudis teise vaatlejani 2,5 sekundit pärast seda, kui see nägi püssirohusähvatust. Kui suur on hääle kiirus vees?



Joon. 12. Ülesande nr. 1 juurde.

2. Vaatleja kuulis vedurivilet pool sekundit pärast seda, kui ta nägi vilest väljuvat valget aurupilvekest. Kui kaugel oli vaatleja vedurist helisignaali tekkimise hetkel?

3. Hääle kiiruse malmis määras esmakordselt prantsuse füüsik Biot, kasutades selleks järgmist võtet. Toru ühes otsas löödi vastu kella. Toru teises otsas kuulis vaatleja kahte heli: algul ühte, mis saabus mööda malmi, ja seejärel teist, mis levis õhus. Toru pikkus oli 930 meetrit ja helisignaalide saabumise aegade vahe oli 2,5 sek. Leia nende andmete järgi hääle kiirus malmis. Hääle kiiruseks õhus võta $340 \frac{m}{s}$.

§ 8. Hääle peegeldumine. Kaja.

Kui õhus leviv hääl kohtab oma teel mingit takistust (metsa, seina), siis ta peegeldub nendelt ja me kuuleme peegeldunud häält ehk k a j a.

Iga peegeldunud häält me ei kuule kajana. Nimelt kahte häält võib eristada teineteisest ainult siis, kui neid lahutav ajavahemik ei ole väiksem kui $\frac{1}{15}$ sekundit. Arvutame, kas me kuuleme lühi-

kese hüüatuse «ah» kaja, kui takistus asub meist 10 m kaugusel. Hääl jõuab takistuseni $\frac{1}{34}$ sekundiga ja sealt tagasi sama aja jooksul. Seega peegeldunud hääl jõuab meieni $\frac{1}{17}$ sekundi pärast. Näeme, et ajavahemik hääle tekkimise hetke ja peegeldunud hääle kuulmise hetke vahel on väiksem kui $\frac{1}{15}$ sekundit. Seetõttu me kaja ei kuule. Peegeldunud hääl ainult pikendab veidi hüüatuse tajumist: me kuuleme lühikese hüüatuse «ah» asemel veidi pikemat — «aah».

Suures saalis, kui seal on vähe inimesi, kostab esineja kõne kõmisevalt ja ebaselgelt. Hääl peegeldub seintelt, laelt ja toolidelt. Kuna need takistused asuvad kuulajatest erinevatel kaugustel, siis kõneleja hääl ja seintelt peegeldunud hääl saabuvad kuulajateni erinevail hetkedel. Ühe silbi kõla ei ole veel jõudnud lõppeda, kui kõrva jõuab juba teine silp jne. Seetõttu ongi kõne raskesti arusaadav.

Saalis, milles on palju kuulajaid, kõlab kõne arusaadavalt. Asi seisneb nimelt selles, et riietus ei peegelda, vaid neelab häälevõnkumisi. Seetõttu on inimestega täidetud saali akustilised (häälelised) omadused paremad.

Hääle peegeldumise nähtustel põhineb kajaloodi — mere sügavuse määramise seadme ehitus.

Kui laevalt saata välja lühike helisignaal, siis see peegeldub mere põhjalt ja jõuab mõne aja pärast laevale tagasi. Teades hääle levimise kiirust merevees ja aega, mille kestel hääl jõuab laevalt mere põhjani ja sealt tagasi, võib määrata mere sügavuse.

Oletame, et hääl jõudis laevale tagasi t sekundi pärast. Siis laeva ja mere põhja vahelise tee h läbib ta $\frac{t}{2}$ sekundiga. Siit järgneb, et $h = \frac{vt}{2}$, kus h on mere sügavus ja v hääle levimise kiirus merevees.

Tänapäeva kajaloodides kasutatakse mitte kuuldavaid häälevõnkumisi, vaid ultraheli, millest oli juttu § 4.

Kajaloodi kasutatakse ka kalapüügil. Tema abil võib avastada meres kalaparvi, sest nendelt peegeldub hästi laevalt saadetud helisignaal.

§ 9. Hääle resonants.

Resonantsi kohtame sageli tehnikas ja igapäevases elus.

Kõik tunnevad hästi kiike. Kiikumisel peame kiike iga kord tõukama tema liikumise suunas. Nii võime üsna väikese jõuga anda kiigele suure hoo.

Joonisel 13 on kujutatud tütarlaps pendliga. Seda pendlit võib suure amplituudiga võnkuma panna isegi nõrga õhujoa abil. Selleks tuleb õhujuga pendlile juhtida nii, et joa liikumise suund ühtib pendli liikumise suunaga.



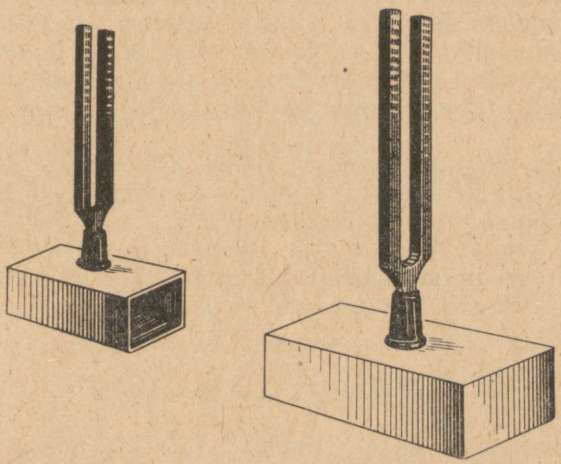
Joon. 13. Pendel pannakse võnkuma õhujoa abil.

Kiikumisel tuleb kiigele anda tõukeid, mille sagedus ühtib kiige omavõnkesagedusega. Need tõuked peavad mõjuma kiige liikumise suunas.

Kui häälelained langevad kehale, mis võib võnkuda mingi kindla sagedusega, siis see keha hakkab häälelainete tõugetest tugevasti võnkuma ainult sel juhul, kui need tõuked antakse keha omavõnkumise taktis.

Teeme järgmise katse.

Asetame teineteise lähedale kaks heliharki, mis võivad võrdsete sagedustega võnkuda (joon. 14). Paneme ühe nendest helisema ja summutame varsti heli, puudutades heliharki käega.



Joon. 14. Kaks heliharki, mis annavad ühekõrgused toonid, resoneerivad.

Olgugi et helihark enam ei võngu, me kuuleme siiski heli. Selle heli tekitab teine helihark. Kui puudutada seda käega, siis heli kaob. Teist heliharki me helisema ei pannud. Järelikult panid tema võnkuma häälelained, mis jõudsid temani esimeselt helihargilt.

Kinnitame teise helihargi külge vahatüki, muutes sellega tema omavõnkesagedust. Nüüd ta ei hakka enam esimese helihargiga kaasa helisema.

Kui avada klaveri kaas, vajutada pedaal alla ja laulda valjult

mingit kindlat nooti, siis klaver hakkab sama kõrge tooniga kaasa helisema. Klaveri kõikidest keeltest heliseb ainult üks keel, mis on häälestatud sellele helile, mille me tekitasime. Teised keeled ei helise. Sellist nähtust nimetatakse *h ä ä l e r e s o n a n t s i k s*.

Kaasahelisevat (resoneerivat) keha nimetatakse *r e s o n a a t o r i k s*.

Pannes helihargi võnkuma, teeme tööd: me anname helihargile mingi energiavaru. Helihark kulutab energiat õhu helivõnkumiste tekitamiseks ja aja jooksul tema energiavaru väheneb.

Hoides võnkuvat heliharki käes, kuuleme nõrka, kuid võrdlemisi kaua kestvat häält. Kui aga heliseva helihargiga puudutada laua või mõne teise eseme pinda, siis heli muutub tunduvalt tugevamaks, kuid kaob kiiresti. Nüüd võngub koos helihargiga ka lauaplaat. Seetõttu helihargi energiavaru lõpeb varem ja hääl sumbub kiiremini.

Tugevama hääle saamiseks kinnitatakse helihargid sageli erilistele kastidele, nn. *r e s o n a a t o r k a s t i d e l e*. Helisev helihark paneb võnkuma ka kasti ja selles oleva õhusamba, mille võnkumine on resonantsis helihargi võnkumisega.

Mitmesuguse kuju ja ehitusega resonaatoreid kasutatakse muusikariistades — klaveris, viiulis, kitarris jne. Resonaatorid tugevdavad muusikariista poolt tekitatud häält ja annavad sellele erilise helivärvi ehk *t ä m b r i*, mille järgi võib antud muusikariista häält eraldada teiste muusikariistade niisama kõrgetest häältest.

Inimese ja paljude loomade hääle allikaks on häälepaelad. Kopsudest tuleva õhu mõjul häälepaelad võnguvad ja tekitavad nõrga hääle. See hääl läbib resonaatoreid — kõri, suuõõnt ja suuava, muutub seal tugevamaks ja omandab mingi tämbri, mis iseloomustab antud inimese häält. Hääle tämbri järgi tunneme tuttavaid inimesi ka siis, kui me neid ei näe.

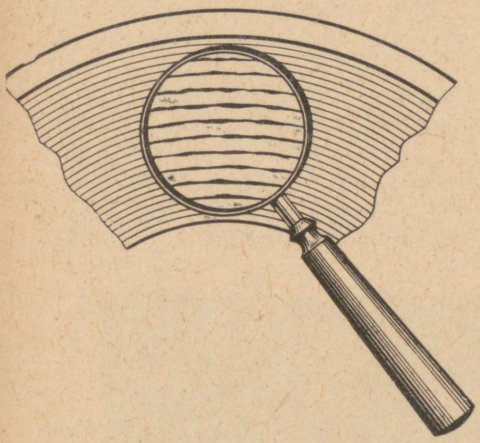
§ 10. Heli salvestamine ja taastamine.

Heli salvestamise ja taastamise võimalus avastati 1877. a. ameerika leiduri Edisoni poolt. See leiutis tungis kiiresti meie ellu.

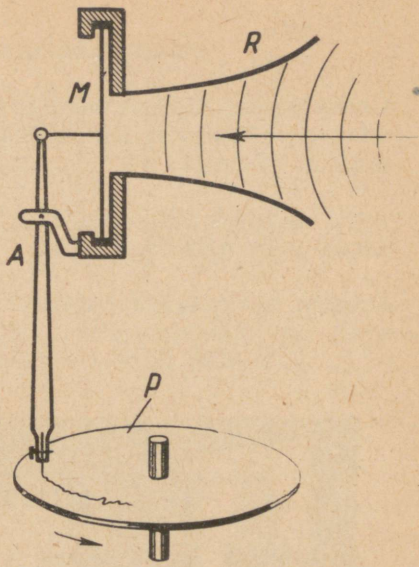
Vaadates luubiga grammofoniplaati, näeme sellel rida väikseid vagusid (joon. 15). Need on üheainsa spiraalse vao, plaadi servalt algava ja plaadi keskel lõppeva helikanali osad.

Joonisel 16 on kujutatud lihtsaima mehhaanilise helisalvestuse skeem. Täht *R* tähistab siin ruuporit ja *M* elastset plaati, mida nimetatakse membraaniks. Membraan on ühendatud kangiga *A*, mille otsas on lõiketera. Plaat *P* on kaetud pehmest ainest kihiga.

Ruupor *R* suunab hääleallika poolt tekitatud häälelained membraanile *M*, mis hakkab õhuosakestega samas taktis võnkuma.



Joon. 15. Helikanal grammofoniplaadil.



Joon. 16. Mehhaanilise helisalvestuse skeem.

Membraani võnkumine antakse edasi lõiketerale. See lõikab plaadi pehmesse ainesse helikanali. Helikanalist võetakse metallkoopia, mille järgi stantsitakse grammofoniplaadid.

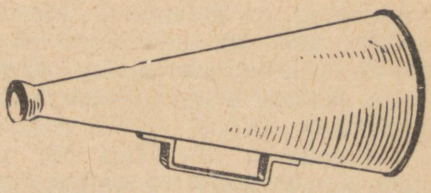
Helisalvestuse seadeldist võib kasutada ka hääle taastamiseks. Sel juhul asendatakse lõiketera nõelaga. Kui panna plaat pöörlema ja asetada nõel helikanali algusesse, siis hakkab see piki lainelist helivagu liikuma ja võnkuma. Nõel annab oma võnkumise edasi membraanile, see omakorda õhuosakestele ja me kuulemegi plaadile salvestatud häält.

Grammofoniplaatidele jäädvustatakse muusikateoseid, vestlusi ja kõnesid. Originaalseid ülesvõtteid, millel on kas ajalooline või mõni muu väärtus, säilitatakse erilistes hoidlates.

Peale mehhaanilise helisalvestuse on olemas ka teisi helisalvestuse liike, mis põhinevad muudel füüsikalistel nähtustel. Paljud muusikasõbrad tunnevad näiteks magnetilist helisalvestust ja selleks kasutatavat aparaati — magnetofoni.

Harjutus 4. 1. Vaatleja asub järsust nõlvakust 85 meetri kaugusel. Kui pika ajavahemiku möödudes ta kuuleb oma hääle kaja?

2. Kõne edasiandmiseks kaugele kasutatakse ruuporit (joon. 17). Miks ruuporiga rääkides on sõnad palju paremini kuuldavad kui ilma selleta?



Joon. 17. Ülesande nr. 3 juurde.

II. VALGUS

§ 11. Valgusallikad.

Põhiliseks looduslikuks valgus- ja soojusallikaks on Päike. Seetõttu on inimeste kujutlused valgusest ja soojusest juba väga vanast ajast alates teineteisega lahutamatult seotud.

Lõkkest peeru, küünla, petrooleumi- ja gaasilambi kaudu elektrilambini — selline on kunstlike valgusallikate pikk arengutee.

Lõkke, peeru ja küünla leegis kiirgavad valgust hõõguvad süsinikuosakesed. Elektrihõõglambis helendub aga kuum metallniit. Seega kuni tänapäevani kasutavad inimesed kuumi valgusallikaid.

Looduses võib kohata ka «külma valgust», mida kiirgavad näiteks kõdunenud puu, jaaniussid ja virmalised. Helenduv keha ei ole sel juhul kuum.

«Külma valguse» allikate hulka kuuluvad ka helenduvad reklaamtorud ja päevavalguslambid. NSV Liidus loodi päevavalguslambid akadeemik S. I. Vavilovi juhendamisel. Need on elektrilampidest mitu korda ökonoomsemad ja nende valgus on päevavalgusele lähedasem kui ühegi teise kunstliku valgusallika oma.

Valgusallikate tundmaõppimisel on mugav kasutada valguspunkti ehk punktikujulise valgusallika mõistet. Praktilises elus on igal väikesel valgusallikal mingid kindlad mõõtmed. Mida väiksemad on helenduva keha mõõtmed võrreldes kaugusega kohast, kust me hindame tema mõju, seda vähem eksime, kui loeme teda valguspunktiks. Näiteks helenduv keha läbimõõduga 1 cm paistab meile 30—35 meetri kauguselt vaadatuna valguspunktina.

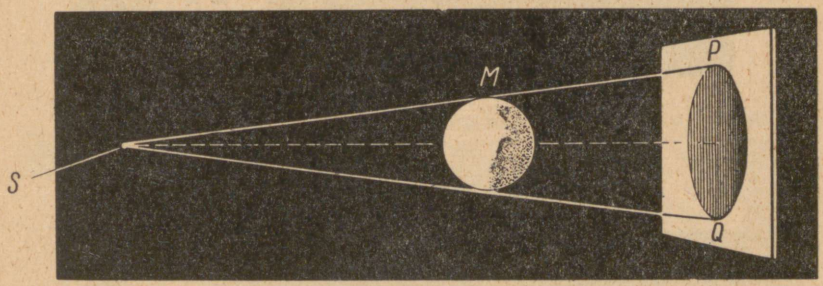
Hiiglasuuri tähti, mis on palju kordi suuremad Päikesest, näeme punktikujuliste valgusallikatena sellepärast, et nad asuvad Maast tohutult kaugel.

§ 12. Valguse sirgjooneline levimine.

Kui silma ja mingi valgusallika vahele asetada läbipaistmatu ese, siis me valgusallikat ei näe. Selle nähtuse põhjuseks on valguse sirgjooneline levimine ühtlases keskkonnas (näiteks õhus).

Valguse sirgjooneline levimine avastati juba kauges minevikus. Sellest kirjutas geomeetria rajaja Eukleides (300 aastat enne meie ajaarvamist).

Valguse sirgjoonelisel levimisel ühtlases keskkonnas põhineb ka varjude tekkimine. Inimeste, puude, hoonete ja teiste kehade varjud on päikesepaistelise ilmaga hästi nähtavad.



Joon. 18. Kera vari.

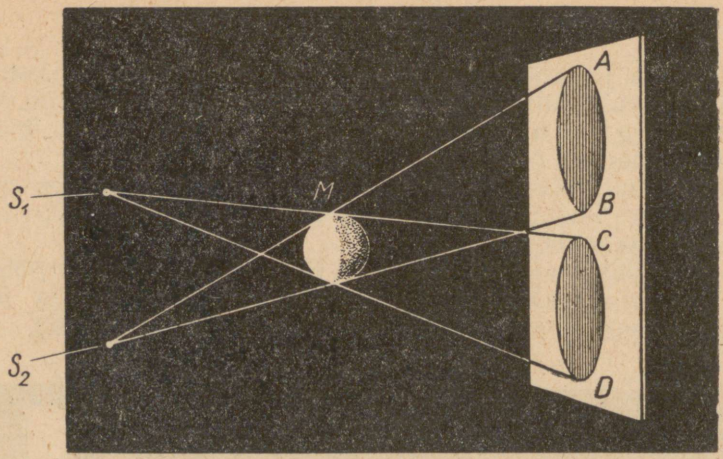
Joonisel 18 on kujutatud vari, mis tekib ekraanile läbipaistmatu kera M valgustamisel punktikujulise valgusallikaga S. Läbipaistmatu kera ei lase temale langevat valgust edasi levida. Seetõttu tekib ekraanile vari. Niisugust varju võib saada, kui valgustada pimedas toas taskulambiga kera.

Valgustades kera M kahe taskulambiga, võib saada kaks varju — AB ja CD (joon. 19). Need ei ole nii tumedad kui ühe lambi abil saadud vari, sest et varju AB valgustab lamp S_1 ja varju CD lamp S_2. Osaliselt valgustatud alasid ekraanil nimetatakse poolvarjudeks.

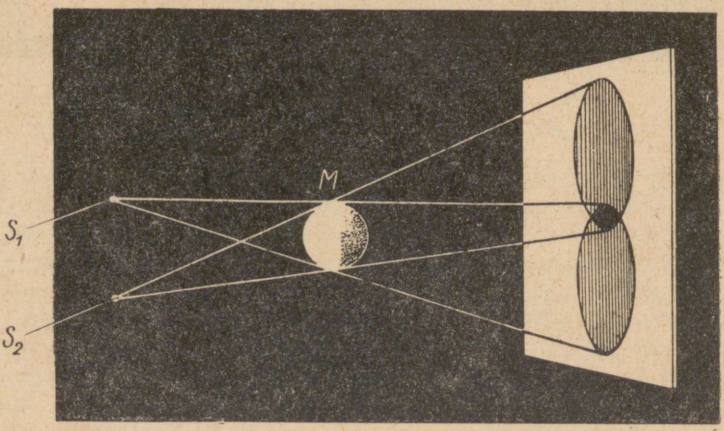
Kaht valgusallikat võib paigutada ka nii, et mõlemad poolvarjud teineteist osaliselt katavad. Sel juhul jääb ekraanile ka täielikult valgustamata ala ehk täisvari (joon. 20).

Valguse sirgjooneline levimine võimaldab sirgjoonte märkimist maastikul ning kauguste määramist maal, merel ja õhus. Vaatluse teel tootmises valmistatud esemete ja tööriistade sirgjoonelisuse kontrollimisel kasutatakse jällegi valguse sirgjoonelise levimise seadust.

On väga tõenäoline, et sirgjoone mõiste tekkiski valguse sirgjoonelise levimise kujutlusest.



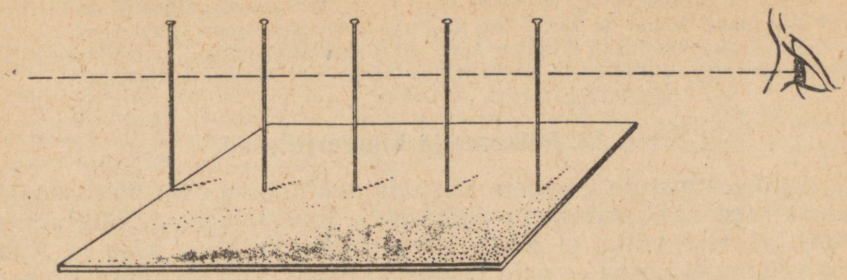
Joon. 19. Läbipaistmatu kera poolvarjud *AB* ja *CD*.



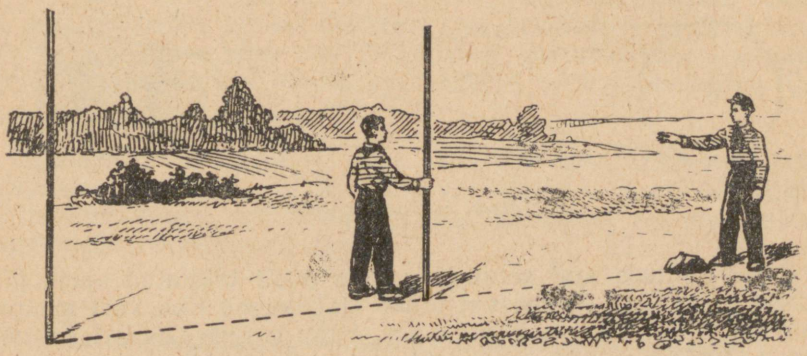
Joon. 20. Vari ja poolvari.

Harjutus 5. 1. Aseta lauale papitükk ja torka sellesse kaks nööpnõela mõne sentimeetri kaugusele teineteisest. Nende nõelte vahele aseta veel 2—3 nõela nii, et äärmine nõel, kui sellele vaadata, kõik teised nõelad varjab (joon. 21). Võta nõelad välja ja tõmba joonlaua abil papile sirgjoon, mis läbib äärmisi nõelaauke. Kuidas paiknevad selle sirgjoone suhtes teised nõelaaugud? Miks?

2. Joonisel 22 on näidatud, kuidas tähistada sirgjoont maastikul. Mitu sihitikku tuleb vähemalt võtta, et pikendada juba varem tähistatud sirgjoont teisele poole kivi?



Joon. 21. Ülesande nr. 1 juurde.

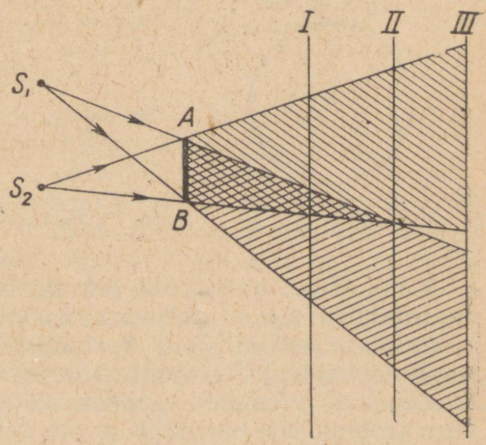


Joon. 22. Ülesande nr. 2 juurde.

3. Joonisel 23 on kujutatud kaks punktikujulist valgusallikat S_1 ja S_2, läbipaistmatu keha AB ja ekraan kolmes asendis (I, II ja III). Ruumi see osa, mida kumbki valgusallikas ei valgusta, on viirutatud kahekordselt kaldjoontega. Mida näeme ekraanil, kui ekraan on I, II ja III asendis?

4. Aseta lambi ja valge paberilehe vahele pliiats. Vaatle, kuidas muutub pliiatsi vari tema kaugenemisel ekraanist. Kuidas muutub sel juhul vari ja poolvari? Millal on varju piirjooned teravad ja millal ähmased?

5. Kuidas võib päikesepaistelise ilmaga võrrelda esemete kõrgusi varjude pikkuse järgi?



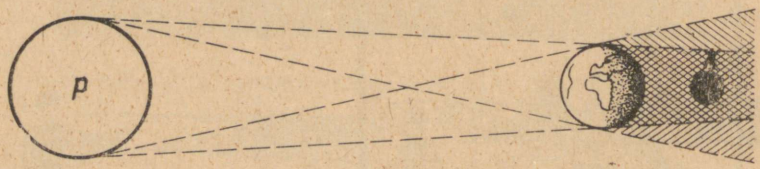
Joon. 23. Ülesande nr. 3 juurde.

6. Miks päikesepaistel esemete varjud on keskpäeval lühemad kui õhtul või hommikul? Millal on vari kõige lühem ja millises sihis on ta sel ajal?

7. Vertikaalne 1,5 m kõrgune kepp annab päikesepaistel 2 m pikkuse varju. Samal ajal on vabrikukorstna varju pikkus 60 m. Kui kõrge on korsten?

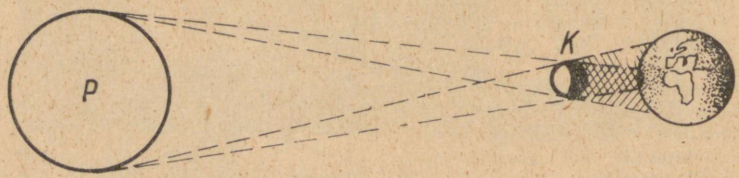
§ 13. Päikese- ja kuuvarjutused.

Läbipaistmatute esemete varjude tekkimisega on seletatavad ka sellised nähtused nagu päikese- ja kuuvarjutused. Siinjuures tuleb arvesse võtta, et Päike kiirgab valgust, kuna Maa ja Kuu ise valgust ei kiirga — neid valgustab Päike. Kuu liikumisel ümber Maa võib juhtuda, et Kuu satub Maa ja Päikese vahele. Samuti võib Maa sattuda Kuu ja Päikese vahele. Et tekiks varjutus, peavad Maa, Kuu ja Päike asuma ühel sirgel.



Joon. 24. Kuuvarjutus.

Kuuvarjutuse ajal satub Kuu Maa poolt tekitatud varju piirkonda (joon. 24). Päikesevarjutuse ajal langeb Kuu vari maapinnale (joon. 25). Maa neis kohtades, kuhu langeb täisvari, on nähtav täielik päikesevarjutus. Poolvarju piirkondadest vaadatuna katab Kuu ainult osa Päikesest. Seal toimub osaline päikesevarjutus. Maa teistes kohtades päikesevarjutusi ei esine.



Joon. 25. Päikesevarjutus.

Kuna Kuu ja Päikese liikumine on hästi läbi uuritud, siis ennustatakse täpselt paljudeks aastateks ette ka varjutuste alguse momendid. Astronoomid korraldavad iga varjutuse ajal mitmesuguseid teaduslikke vaatlusi ja mõõtmisi. Täieliku päikesevarjutuse ajal on võimalik vaadelda Päikese atmosfääri välisosa (Päikese krooni), mis harilikult ei ole nähtav Päikese pinna pimestava sära tõttu.

Päikesevarjutused tekitasid hirmu ebausklikes ja harimatutes inimestes. Seda kasutasid vaimulikud oma huvides. Varjutuste, samuti nagu kõigi teiste loodusnähtuste tõeliste põhjuste tundmine annab meile parima relva võitluses ebausuga.

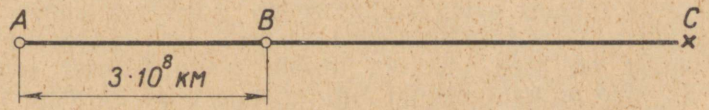
Harjutus 6. 1. Määrata Kuu poolt tekitatud varjukoonuse pikkus, kui Kuu ja Päikese keskpunktide vaheline kaugus on ligikaudu 150 000 000 km. Kuu ja Päikese läbimõõtude suhe on ligikaudu 1 : 400.

2. Kui kaugele ulatub Maa vari, kui Maa raadius $R = 6400$ km, Päikese raadius $R = 110$ Maa raadiust ning Päikese ja Maa keskpunktide vaheline kaugus on 24 000 Maa raadiust?

§ 14. Valguse kiirus.

Oli aeg, millal arvati, et valgus levib silmapilkselt. Alles 17. sajandi teisel poolel mõõdeti esmakordselt valguse kiirust. Ilmnes, et see on väga suur. Korduvad, mitmesuguste meetodite abil tehtud hilisemad mõõtmised näitasid, et valguse kiirus õhutühjas ruumis on 300 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$[1].

Kuna valguse kiirus on väga suur, siis tema mõõtmisel tuleb kasutada kas hiiglasuuri kaugusi või üliväikseid ajavahemikke. Kujutleme katset, milles kasutatavad kaugused on maapealsete kaugustega võrreldes suured.



Joon. 26. Punktist C saadetakse välja valgussignaalid. Neid signaale vaadeldakse punktides A ja B. Kaugus AB on väga suur, võrreldes Maal esinevate kaugustega.

Võtame sirgjoone ja sellel kolm punkti — A, B ja C (joon. 26). Olgu punktide A ja B vaheline kaugus teada. Punktide B ja C vaheline kaugus meie katses mingit osa ei etenda.

Kujutleme, et punktist C saadetakse välja kaks valgussignaali nii, et teine signaal järgneb esimesele täpselt tunni aja pärast. Oletame, et me võtsime esimese signaali vastu punktis B ja jõudsime seejärel täpselt ühe tunni möödudes punkti A. Kui valgus leviks silmapilkselt, siis me võtaksime teise signaali vastu ajahetkel, millal me saabusime punkti A. Valguse levimisel mingi kindla kiirusega jõuab valgussignaal punkti A teatud hilinemisega, mis sõltub valguse kiirusest ning punktide A ja B vaheli-

[1] Valguse kiirus tähistatakse tavaliselt tähega c.

sest kaugusest. Kui valgussignaal hilines t sekundi võrra, siis valguse kiirus on $\frac{AB}{t}$.

1675. a. mõõtis sellise meetodi abil valguse kiiruse taani astronoom Römer. Kui Maa, tiireldes ümber Päikese, oli jõudnud oma orbiidi punkti T (joon. 27), vaatles Römer planeet Jupiteri ühe kaaslase (joonisel tähistatud tähega M) varjutust. Nendest vaatlustest määras Römer kaaslase tiirlemisperioodi selle liikumisel ümber Jupiteri ja arvutas aastaks ette varjutuse aja. Kontrollides



Joon. 27. Maa orbiidi punktidest T ja T_1 vaadeldi kaaslase M varjutust.

oma arvutusi pool aastat hiljem vaatluste abil, avastas ta, et tegelik varjutus hilineb arvutustulemustega võrreldes umbes 1000 sekundi võrra. Varjutuse hilinemist seletas Römer sellega, et poole aasta pärast on Maa jõudnud teisele poole Päikest (joonisel asend T_1) ning on kaugenenud Jupiterist ja tema kaaslasest Maa orbiidi läbimõõdu võrra. Selle vahemaa läbimiseks kulub valgusel 1000 sekundit. Maa orbiidi läbimõõt on ligikaudu 300 000 000 kilomeetrit. Jagades selle 1000 sekundiga, saame valguse kiiruse väärtuseks:

$$c = \frac{300\,000\,000\ \text{km}}{1000\ \text{s}} = 300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}} \text{ ehk } 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{cm}}{s}.$$

Maapealsete objektide vahelised kaugused katab valgus sekundi väikeste murdosade jooksul. Seetõttu võib real juhtudel lugeda valguse kiirust lõpmatult suureks.

Astronoomidel tuleb sageli tegelda kaugustega, mille läbimiseks kulub valgusel sadu tuhandeid ja miljoneid aastaid. Nii suurte kauguste mõõtmiseks on kilomeeter liiga väike mõõtühik. Seetõttu kasutavad astronoomid pikkusühikuna valgusaastat — vahemaad, mida valgus katab ühe aastaga. Valgusaasta on ligikaudu 10^{13} km.

Lähim täht asub Maast $4\frac{1}{3}$ valgusaasta kaugusel. Astronoo-

mid tunnevad udukogusid, mille kaugus Maast on miljardeid või veelgi rohkem valgusaastaid.

Tänapäeval on välja töötatud meetodid, mis võimaldavad valguse kiirust suure täpsusega mõõta laboratoorsetes tingimustes.

Igas keskkonnas ei ole valguse kiirus 300 000 $\frac{km}{s}$. Õhus levib valgus veidi väiksema kiirusega kui õhutühjas ruumis. Vees on valguse kiirus $1\frac{1}{3}$ korda, klaasis aga $1\frac{1}{2}$ korda väiksem kui õhus.

Keskkonda, milles valguse kiirus on väiksem, nimetatakse optiliselt tihedamaks keskkonnaks. Seega klaas on suurema optilise tihedusega keskkond kui vesi.

Harjutus 7. 1. Arvuta valguse kiirus vees ja klaasis, lugedes valguse kiirused õhus ja õhutühjas ruumis võrdseteks.

2. 1946. aastal saadeti raadiosignaal esmakordselt Kuule. See peegeldus Kuu pinnalt, jõudis tagasi Maale ja võeti Maal vastu raadioaparatuuri abil. Kui pika ajavahemiku pärast jõudis signaal tagasi Maale, kui Maa ja Kuu vaheline kaugus on 384 000 km? Raadiosignaalide levimise kiirus võrdub valguse kiirusega.

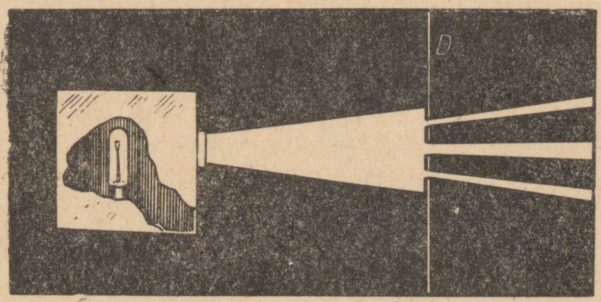
§ 15. Valguskiir. Valguskiirte kimp.

Valguse levimise suunda nimetatakse v a l g u s k i i r e k s.

Valguspunkt kiirgab valgust igas suunas. Seega iga seda punkti läbiv sirgjoon on valguskiir.

Tavaliselt on meil tegemist mitte valguskiirtega, vaid valgusallikast väljuvate valgusvihkudega ehk valguskiirte kimpudega. Näiteks päikesekiirte kimp langeb aknaeesriiete vahele jäänud pilust tuppa ja valgustab õhus hõljuvaid tolmuk übemeid.

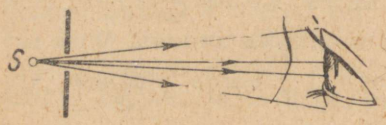
Katame heleda elektrilambi kastiga, milles on ümmargune ava. Avast väljuvate kiirte teele tekitame suitsu. Näeme valguskiirte kimpu, mis hajub, s. t. laieneb kauguse kasvades avast (joon. 28).



Joon. 28. Elektrilambist tulev hajuvate valguskiirte kimp.

Asetame kiirtekimbu teele ekraani, milles on kolm väikest erinevate mõõtmetega ava. Nüüd näeme kolme hajuvat valguskiirte kimpu.

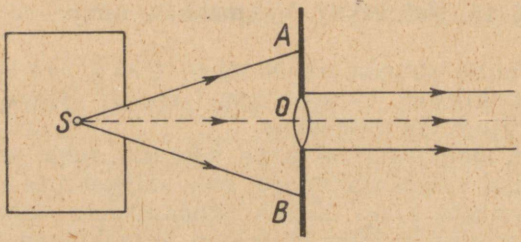
Igast valgusallikast levib valgus mingis suunas hajuvate kiirte kimbuna. See hajuvate kiirte kimp satub meie silma (joon. 29), tekitab nägemisaistingu ja me näeme selle kiirtekimbu tipus valguspunkti *S*.



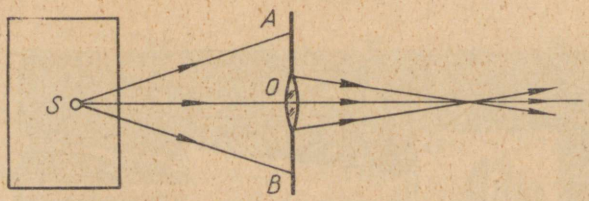
Joon. 29. Hajuvate kiirte kimbu tipus näeb silm valguspunkti *S*.

Osa valgusallika *S* poolt kiiratud valgusest väljub kastist kiirtekimbuna, mida piiravad kiired *SA* ja *SB* (joon. 30). Tõmbame läbi ava keskpunkti kiire *SO*. Selle kiire kõik punktid on kiirtest *SA* ja *SB* võrdsetel kaugustel. Kiir *SO* on kiirtekimbu teljeks ja näitab kogu valgusvihu levimise suunda.

Kasutades kaksikkumerat prilliklaasi, võib saada peaaegu paralleelsete kiirte kimbu (joon. 30) ja koonduvate kiirte kimbu (joon. 31).



Joon. 30. Kiirtekimbu *ASB* telg *SO* määrab kiirtekimbu levimise suuna.



Joon. 31. Koonduvate kiirte kimbu saamine.

Meie silma langevad tavaliselt hajuvate kiirte kimbud. Nende kiirte lõikepunktis näeme helenduvat valguspunkti.

Seejuures võib esineda kaks juhtu: 1) kiirtel on lõikepunkt tõepoolest olemas; sel juhul nimetatakse tema helenduvat kujutist

tõeliseks; 2) hajuvatel kiirtel puudub lõikepunkt, kuid silm näeb helenduvat punkti seal, kus lõikuvad nende kiirte kujuteldavad pikendused. Sellise punkti kujutist nimetatakse näivaks. Siin ei ole muidugi tegemist valguspunkti puudumisega. Reaalne valguspunkt, millest kiired langevad meie silma, on kuskil siiski olemas. Kuid meie ei näe seda seal, kus ta tegelikult asub. Selles mõttes kasutataksegi terminit «näiv kujutis».

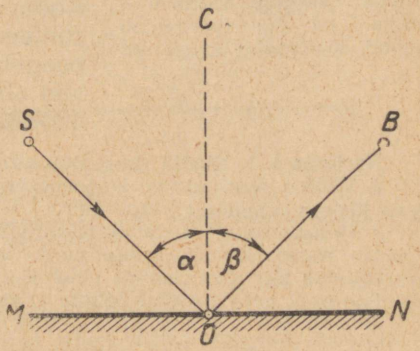
§ 16. Valguse peegeldumine. Peegeldumisseadused.

Päikesepaistelisel päeval võib tekitada peegli abil seinale või lakke väikese valguslaigu.

Valguslaik tekib seetõttu, et valgus peegeldub peeglilt, s. t. muudab peeglile langedes oma levimise suunda. Valguslaik on peegeldunud kiirtekimbu jälg mingil ekraanil.

Katsed näitavad, et valgus peegeldub alati kahe erineva optilise tihedusega keskkonna lahutuspinnalt.

Peegli pind eraldab kahte erineva optilise tihedusega keskkonda (näiteks klaasi ja õhku). Kui peegelpinnaks on tasapinna osa, siis nimetatakse peeglit tasapeegliks.

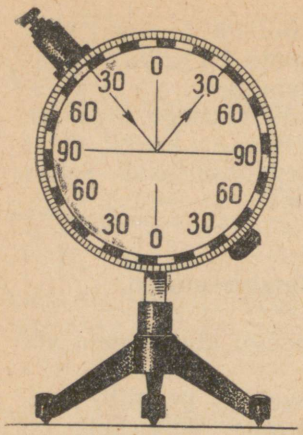


Joon. 32. Valguse peegeldumine.

Joonisel 32 kujutab sirglõik *MN* kahe keskkonna lahutuspinda. Sellele pinnale langeb punktist *S* valguskiirte kimp, mille suund on näidatud kiirega *SO*. Peegeldunud kiirtekimbu suunda näitab kiir *OB*. *SO* on langev kiir ja *OB* peegeldunud kiir. Valguskiire langemispunktist *O* on tõmmatud keskkondade lahutuspinnale *MN* ristsirge *OC*. Langeva kiire *SO* ja ristsirge *OC* poolt moodustatud nurka *SOC* nimetatakse langemisnurgaks. Sama ristsirge ja peegeldunud kiir *OB* moodustavad nurga *COB*, mida nimetatakse peegeldumisnurgaks.

Langemisnurga muutumisel muutub ka peegeldumisnurk. Seda nähtust on mugav vaadelda erilise katseriista abil (joon. 33). Katseriista põhiosaks on alusele kinnitatud ketas. Kettale on kantud ringskaala jaotise väärtusega 10° ja on tõmmatud kaks teineteisega risti olevat diameetrit 0—0 ja 90—90. Piki ketta äärt võib nihutada valgusallikat, mis annab kitsa kiirtekimbu.

Kinnitame kettale tasapeegli, nii nagu see on näidatud joonisel. Kui valguskiir langeb peeglile 40-kraadise nurga all, siis ta



Joon. 33. Optiline ketas. Kitsas valguskiirte kimp langeb peeglile 40-kraadise nurga all ja peegeldub samuti 40-kraadise nurga all.

ka peegeldub niisama suure nurga all. Nihutame valgusallikat piki ketta äärt ning märgime iga kord üles langemisnurga ja sellele vastava peegeldumisnurga. Näeme, et kiire peegeldumisnurk on kõikidel juhtudel võrdne langemisnurgaga. Seejuures peegeldunud kiir ja langev kiir on samas tasapinnas langemispunktist peeglile tõmmatud ristsirgega.

Seega valguse peegeldumine toimub järgmiste seaduste järgi:

1. **Langev kiir ja peegeldunud kiir on samas tasapinnas langemispunktist peegelpinnale tõmmatud ristsirgega.**

2. **Peegeldumisnurk võrdub langemisnurgaga.**

Kui kiir langeb peeglile *BO* suunas (joon. 32), siis peegeldunud kiir kulgeb suunas *OS*. Seega langeva kiire ja peegeldunud kiire asendid on vahetatavad ehk, nagu öeldakse, need kiired on pööratavad.

Harjutus 8. 1. Kuidas peegeldub kiir, mis langeb peeglile risti?

2. Milline peab olema langemisnurk, et peegeldunud kiir moodustaks langeva kiirega täisnurga? nurga 60°?

3. Horisontaalselt asetatud tasapeeglile langev päikesekiir moodustab peegli pinnaga nurga 30°. Kui suure nurga võrra tuleb pöörata peeglit, et suunata peegeldunud kiir vertikaalselt üles? Kui suur on langeva kiire ja peegli pinna vaheline nurk uues asendis? Selgita vastust joonise abil.

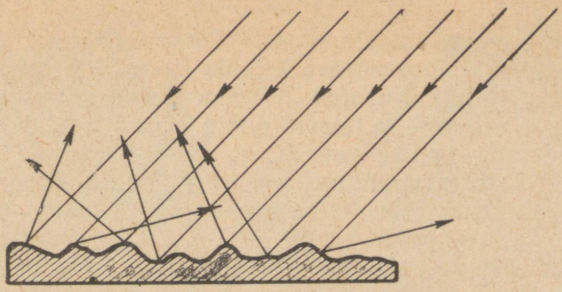
§ 17. Hajuv peegeldumine ja peegeldumine peegelpinnalt.

Kui joonisel 33 kujutatud katseriistale kinnitada tasapeegli asemel valge papitükk, siis sellele langev valgus ei peegeldu enam mingis kindlas suunas, vaid hajub kõikides suundades.

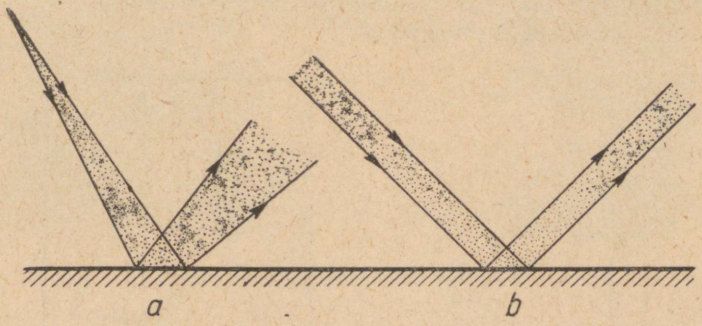
Iga pind, mis ei ole peegelpind, hajutab valgust. Joonisel 34 on kujutatud suurendatult sellise pinna läbilõige. Pind on kaetud väikeste kühmude ja nõgudega. Valgust hajutavat pinda võib vaadelda koosnevana paljudest väga väikestest tasapinna osadest, mis moodustavad üksteisega mitmesuguseid nurki. Sellepärast peegeldub niisugusele pinnale langev valgus mitmesugustes suundades.

Peegelpind, erinevalt krobelisest pinnast, peegeldab suurema osa temale langevast valgusest mingis kindlas suunas (joon. 35).

Kõik mittehelenduvad kehad, mida valgustab mingi valgusallikas, on nähtavad ainult seetõttu, et nad peegeldavad valgust.



Joon. 34. Valguse hajuv peegeldumine.



Joon. 35.
a — hajuvate kiirte kimbu peegeldumine peegelpinnalt; *b* — paralleelsete kiirte kimbu peegeldumine peegelpinnalt.

Hästi lihvitud klaasi pind ja veepind tuulevaikse ilmaga on halvasti nähtavad, sest nad hajutavad väga vähe valgust. Me näeme nendelt selgelt lähedal asuvate valgustatud esemete kujutisi. Kui aga peegel on kaetud tolmuga või veepind virvendab, siis on nad hästi nähtavad.

§ 18. Tasapeegel ja tema kasutamine.

Tasapeegel tekitab esemest kujutise peegli taga, s. o. seal, kus eset tegelikult ei ole. Kuidas seda seletada?

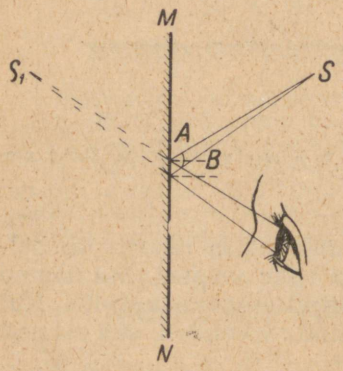
Langegu valguspunktist *S* peeglile *MN* hajuvad kiired *SA* ja *SB*. Need jäävad ka pärast peegeldumist hajuvateks ning langevad silma nii, nagu oleksid nad väljunud punktist S_1 (joon. 36). See peegli taga asuv punkt on peegeldunud kiirte pikenduste lõikepunkt. Tegelikult ei välju valguskiired punktist S_1. Seetõttu nimetatakse seda punkti valguspunkti *S* näivaks kujutiseks.

Vaatleme, kuidas valgusallikas ja selle näiv kujutis paiknevad peegli suhtes.

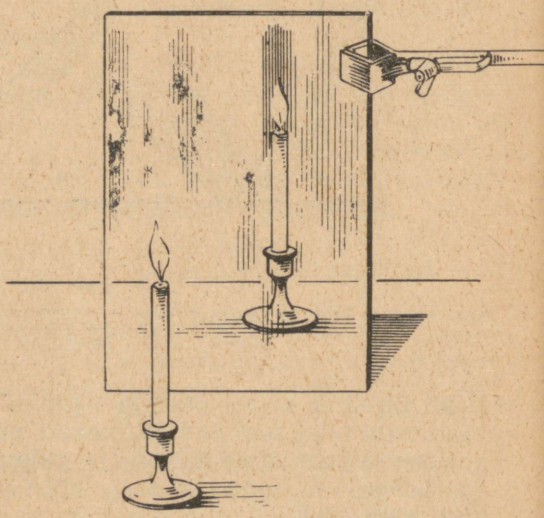
Kinnitame vertikaalsele alusele tasapinnalise klaasitüki. Kui asetame klaasitüki ette põleva küünla (joon. 37), siis näeme klaasile vaadates küünla kujutist. Võtame teise samasuguse küünla, mis ei põle, ja asetame ta teisele poole klaasi. Nihutades teist küünalt, leiame talle sellise asendi, et ta näib samuti põlevat. See tähendab, et kustunud küünal on nüüd kohas, kus tekib põleva küünla kujutis. Kui mõõdame küünla ja tema näiva kujutise kaugused klaasist, siis näeme, et need kaugused on võrdsed.

Seega tasapeegel tekitab esemest näiva kujutise, mis asub peegli taga niisama kaugel kui ese peegli ees.

Eseme kujutise konstrueerimiseks tasapeeglis tuleb tõmmata eseme punktidest peeglile ristlõigud ja pikendada neid samale kaugusele teisele poole peeglit (joon. 39). Ristlõikude lõpp-punktid ongi eseme kujutise punktideks.



Joon. 36. Valguspunkti näilik kujutis tasapeeglis.

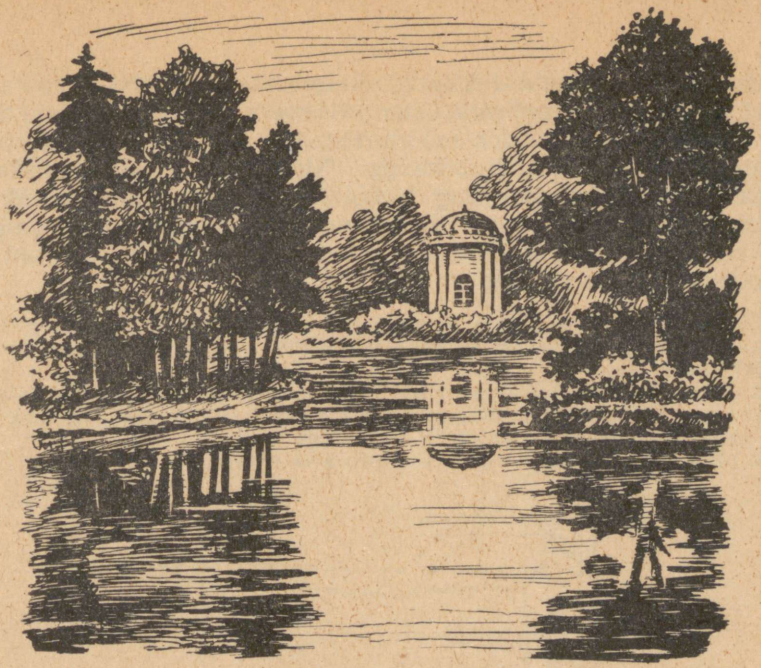


Joon. 37. Ese ja tema näilik kujutis on sümmeetrilised peegli suhtes.

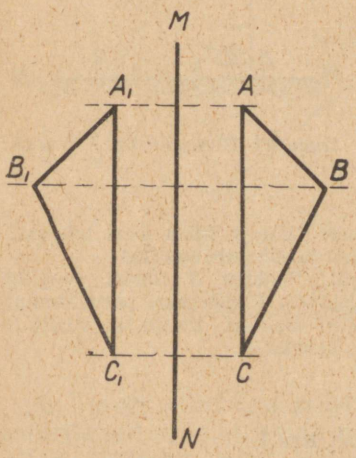
Ese ja tema kujutis ei ole teineteise suhtes mitte võrdsed, vaid s ü m m e e t r i l i s e d kujundid. Näiteks parema käe kinda kujutis peeglis paistab meile vasaku käe kindana, mida võib paremasse kätte panna ainult pahempidi pööratult.

Tasapeeglit kasutatakse laialdaselt igapäevases elus ja mitmesuguste optiliste riistade osadena.

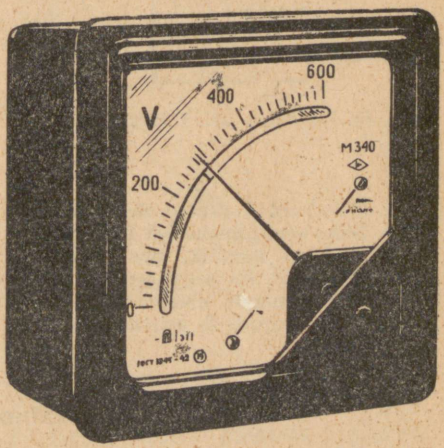
Mõõduriista näidu lugemise täpsus sõltub teatavasti silma õigest asendist skaala suhtes. Et näitude lugemisel ei tekiks suurt viga, on täpsed mõõduriistad varustatud peegelskaalaga. Inimene, kes selle mõõduriistaga töötab, näeb skaala jaotist, kitsast osutit



Joon. 38. Peegeldumine peegelpinnalt.



Joon. 39. Kujutise konstrueerimine tasapeeglis.

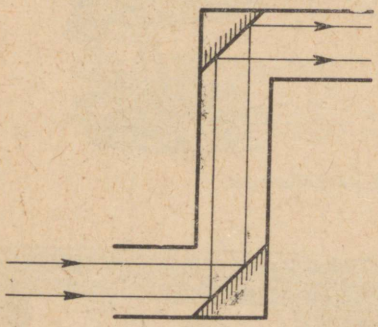


Joon. 40. Peegelskaalaga mõõduriist. Peeglis on näha mõõduriista osuti kujutis.

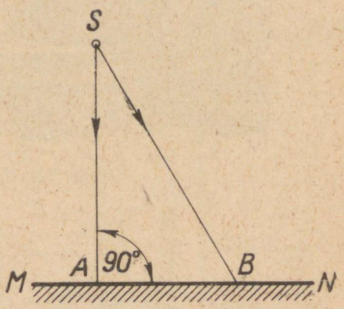
ja selle kujutist peeglis (joon. 40). Mõõduriista näidu õigeks lugemiseks peab ta oma silmale leidma asendi, millest vaadatuna osuti katab oma kujutise peeglis.

Peegli abil seinale tekitatud valguslaik nihkub märgatavalt ka siis, kui peeglit pöörata üsna väikese nurga võrra. Seda nähtust kasutatakse mõnedes mõõduriistades. Niisuguse mõõduriista skaala asub riistast endast kaugel. Mõõduriista näit määratakse valguslaigu nihkumise järgi sellel skaalal. Valguslaigu tekitab mõõduriista liikuva osaga ühendatud väike peegel, mida valgustatakse erilise valgusallikaga. Sellise skaalaga mõõduriistad on tavaliselt väga tundlikud.

Harjutus 9. 1. Miks autosse, autojuhi ette kinnitatakse väike tasapeegel?
2. Millisele paberile — kas läikivale või matile — kirjutatud kirja on kergem lugeda? Miks?
3. Joonisel 41 on kujutatud peegelperiskoobi mudel. Kuidas tuleb asetada peegel selles riistas ja riist ise, et temaga võiks vaadelda takistuse taga asuvaid esemeid? Valmista periskoop ja tee sellega vaatlusi.
4. Miks värskelt sadanud lumi päikesepaistel sätendab?



Joon. 41. Ülesande nr. 3 juurde.



Joon. 42. Ülesande nr. 7 juurde.

5. Tavaliselt kaetakse elektrilambid valge mati kattega. Miks seda tehakse?
6. Miks smirgelpaberiga hõõrumisel klaas muutub läbipaistmatuks?
7. Joonista sirglõik, mis kujutab tasapeeglit. Punktist S tõmba peeglile kiired SA ja SB, nii nagu see on näidatud joonisel 42. Konstrueeri peegeldunud kiired ja leia nende abil punkti S näiliku kujutise asukoht. Tõesta, et punkt S ja tema näiv kujutis S_1 asuvad peeglist võrdsetel kaugustel.

§ 19. Laboratoorne töö nr. 1.

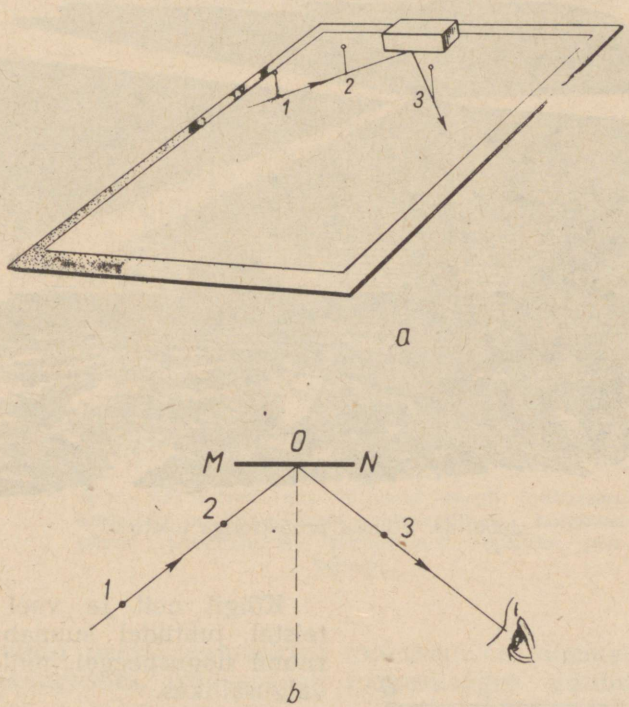
Valguse peegeldumine tasapeeglilt.

T ö ö v a h e n d i d. Puust alusele kinnitatud tasapeegel, joonestuskolmnurk, mall, kolm nööpnõela, rõhknaelad, papitükk, valge paberileht.

T ö ö k ä i k. 1. Kinnita paberileht rõhknaeltega papitüki külge ja aseta paberilehele peegel.

2. Torka paberisse nööpnõelad *1* ja *2* nii, nagu see on näidatud joonisel. Vaadates vasakult peeglisse, näed nende nööpnõelte kujutisi.

3. Torka paberisse nööpnõel *3* (joon. 43, *a*), valides talle sellise asendi, et nõel *3* ning nõelte *1* ja *2* kujutised oleksid ühel sirgel.



Joon. 43. Laboratoorse töö nr. 1 juurde.

4. Märgi pliiatsiga paberile peegli pinna asend. Võta peegel paberilehelt ning eemalda nõelad *1* ja *2*. Tõmba läbi nõelte *1* ja *2* aukude sirglõik kuni lõikumiseni peegli pinna asendit näitava sirgjoonega. See lõikepunkt ongi langemispunkt *O* (joon. 43, *b*).

5. Võta nõel *3* välja ja ühenda selle auk punktiga *O*. Saadud sirglõik kujutab peegeldunud kiirt.

6. Tõmba läbi punkti *O* peegli pinnale ristsirge.

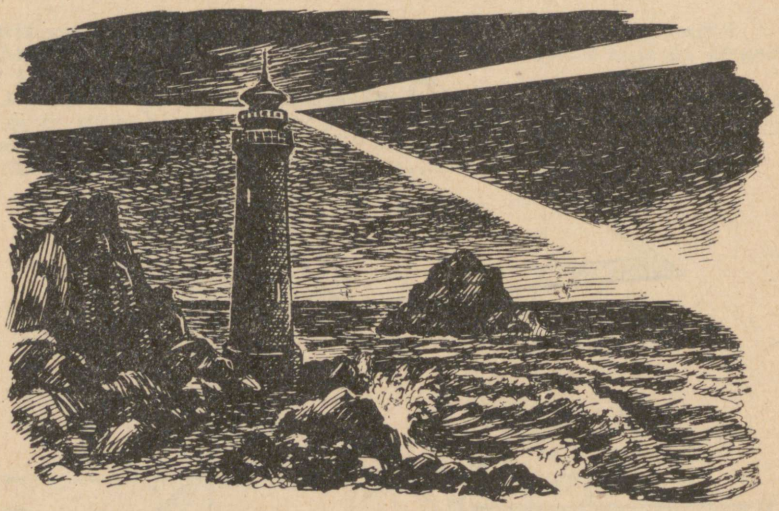
7. Mõõda langemisnurk ja peegeldumisnurk. Kas need on võrdsed?

8. Korda mõõtmist, valides teise langemisnurga.

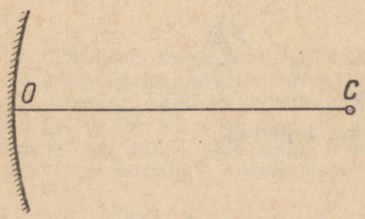
§ 20. Sfääriline nõguspeegel.

Õhtul vastutulev auto pimestab meid oma heledate tuledega. Prožektori võimas valgusvihk valgustab hästi kaugeid esemeid.

Joonisel 44 on kujutatud tuletorn, mis saadab valgusvihke kümnete kilomeetrite kaugusele ja võimaldab laevadel nende järgi orienteeruda.[1]



Joon. 44. Võimsa prožektoriga tuletorn.



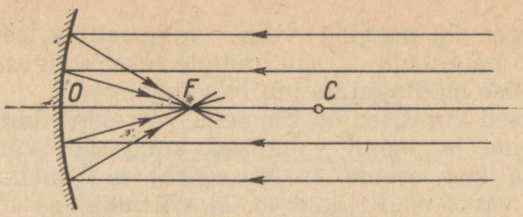
Joon. 45. Sfääriline nõguspeegel.

Kõigil neil ja veel paljudel teistel juhtudel suunab valguse ruumi nõguspeegel, mille ees on valgusallikas.

Sfääriline nõguspeegel kujutab endast hästi poleeritud kerapinna osa. Joonisel 45 on tähega *C* märgitud sfäärilise peegelpinna keskpunkt ehk peegli optiline keskpunkt ja tähega *O* peegli lagipunkt. Sirgjoont *CO*, mis läbib peegelpinna keskpunkti *C* ja peegli lagipunkti *O*, nimetatakse peegli optiliseks peateljeks.

Juhime laternast nõguspeeglile selle optilise peateljega paralleelsete valguskiirte kimbu (joon. 46). Pärast peegeldumist kiirte-

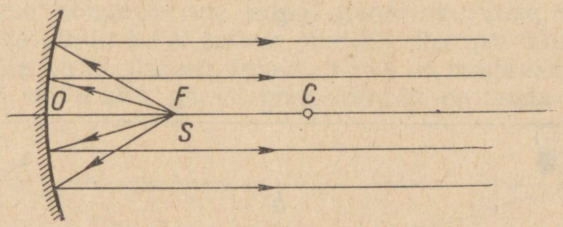
[1] Orienteeruma tuleneb ladina keelest ja tähendab asukoha määramist maakera mingi punkti või mingi suuna suhtes.



Joon. 46. Kiired, mis langevad peeglile paralleelselt optilise peateljega, lõikuvad pärast peegeldumist peegli fookuses *F*.

kimp koondub ühes punktis *F*, mis asub peegli optilisel peateljel. Seda punkti nimetatakse nõguspeegli f o o k u s e k s.

Kui paigutada peegli fookusesse valgusallikas, siis selle kiired peegelduvad peeglilt nii, nagu see on näidatud joonisel 47.



Joon. 47. Kiired, mis väljuvad peegli fookusesse asetatud punktikujulisest valgusallikast, kulgevad pärast peegeldumist paralleelselt optilise peateljega.

Kaugust peegli lagipunktist fookuseni *OF* nimetatakse peegli fookuskauguseks. Nõguspeegli fookuskaugus võrdub sfäärilise peegelpinna poole raadiusega, s. t. $OF = \frac{1}{2} OC$.

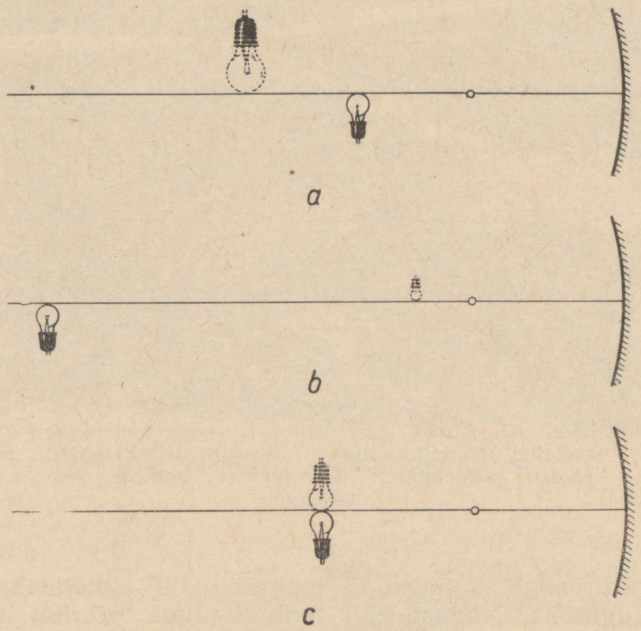
§ 21. Esemete kujutised nõguspeeglis.

Viime valgusallika (põleva küünla või elektrilambi) nõguspeeglile nii lähedale, et näeme peeglis valgusallika kujutist. See kujutis on näiv ja asub peegli taga. Ta on esemega võrreldes päripidine ja suurendatud.

Hakkame valgusallikat järk-järgult peeglist eemaldama. Sel puhul eemaldub ka kujutis. Tema mõõtmed suurenevad ja lõpuks näiv kujutis kaob. Kuid nüüd võib valgusallika kujutist saada peegli ette asetatud ekraanil. See kujutis on tõeline.

Mida kaugemale peeglist viime valgusallika, seda lähemale peeglile tuleb paigutada ekraan, millele tekib valgusallika tõeline kujutis. Kujutise mõõtmed seejuures vähenevad.

Kõik tõelised kujutised on esemega võrreldes ümber pööratud. Sõltuvalt eseme ja peegli vahelisest kaugusest võivad kujutise mõõtmed olla kas eseme (valgusallika) mõõtmetest suuremad (joon. 48, *a*), väiksemad (joon. 48, *b*) või nendega võrdsed (joon. 48, *c*).

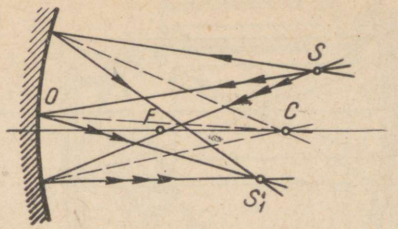


Joon. 48. *a*. Eseme tõeline suurendatud kujutis *b*. Tõeline vähendatud kujutis. *c*. Tõeline kujutis, mille mõõtmed võrduvad eseme mõõtmetega.

Seega nõguspeegli abil saadud kujutise asend ja mõõtmed sõltuvad eseme asendist peegli suhtes.

Kasutades valguse peegeldumise seadusi võib geomeetriliselt konstrueerida eseme kujutise nõguspeeglis.

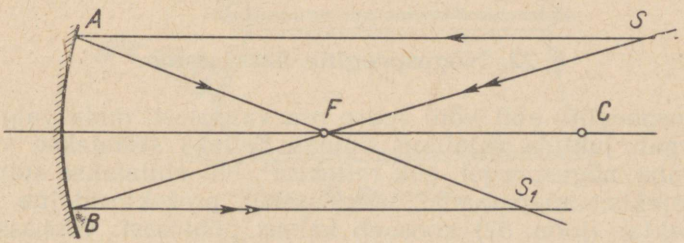
Joonisel 49 on kujutatud nõguspeegel ja selle ees asuv valguspunkt *S*. Tõmbame sellest peeglile kolm kiirt ja konstrueerime peegeldunud kiired. Peegeldunud kiired lõikuvad punktis S_1. Kuna kolm punktist *S* väljuvat kiirt olid valitud täiesti meelevaldselt, siis ka kõik teised kiired, mis langevad sellest punktist peeglile,



Joon. 49. Kolm vabalt valitud kiirt, mis langevad punktist *S* peeglile, lõikuvad pärast peegeldumist ühes punktis S_1.

peavad pärast peegeldumist lõikuma punktis S_1. Seega punkt S_1 on punkti *S* kujutiseks.

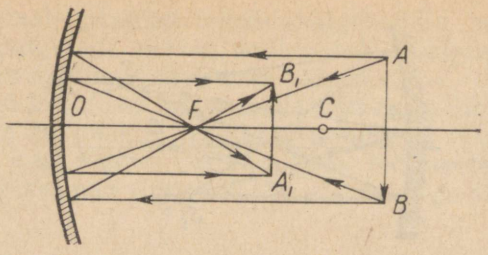
Kui tahame konstrueerida mingi punkti kujutist, siis tarvitseb meil teada ainult kahe sellest punktist lähtuva kiire suunda. Kiired ise võib valida täiesti vabalt. Siiski on mugavam kasutada selliseid kiiri, mille käik pärast peegeldumist on teada.



Joon. 50. Punkti kujutise konstrueerimine kahe kiire abil. Üks nendest kiirtest läbib peeglile langedes fookust ja teine langeb peeglile paralleelselt optilise peateljega.

Konstrueerime punkti *S* kujutise nõguspeeglis (joon. 50). Selleks tõmbame punktist *S* kaks kiirt: kiired *SA* ja *SB*. Kiire *SA* valime nii, et ta oleks paralleelne peegli optilise peateljega. Pärast peegeldumist läbib ta peegli fookust. Teise kiire *SB* tõmbame läbi peegli fookuse. Pärast peegeldumist kulgeb see paralleelselt optilise peateljega. Need kaks peegeldunud kiirt lõikuvad punktis S_1. Punkt S_1 on punkti *S* kujutiseks. Temas lõikuvad kõik need peeglilt peegeldunud kiired, mis väljusid punktist *S*.

Eseme kujutis koosneb selle eseme kõikide punktide kujutistest. Selleks et konstrueerida eseme kujutist nõguspeeglis, piisab, kui konstrueerida tema kahe otspunkti kujutised. Kõigi ülejäänud



Joon. 51. Kujutise konstrueerimine nõguspeeglis.

punktide kujutised asuvad nende vahel. Joonisel 51 kujutab eset nool *AB*.

Konstrueerides eespool kirjeldatud viisil punktide *A* ja *B* kujutised, saame kogu eseme kujutise A_1B_1. Ese asub sfäärilise peegelpinna keskpunktist (punktist *C*) kaugemal. Tema kujutis A_1B_1 asub fookuse *F* ja peegelpinna keskpunkti *C* vahel. Kujutis on esemega võrreldes vähendatud ja ümber pööratud. Ta on tõeline, sest et peeglilt peegeldunud kiired lõikuvad punktides A_1 ja B_1. Sellise kujutise võib tekitada ka ekraanile.

§ 22. Nõguspeeglite kasutamine.

Nõguspeeglite abil võib suure osa valgusest, mida valgusallikas kiirgab, juhtida vajalikus suunas. Selleks asetatakse valgusallika taha nõguspeegel ehk reflektor[1]. Nii ehitatakse autolaternad, projektsiooniaparaadid, taskulambid, prožektorid jne.

Prožektor (joon. 52) koosneb kahest põhiosast: võimsast valgusallikast ja suurest nõguspeeglist. Valgusallika ja peegli sellise asetuse juures, nagu on näidatud joonisel, suunab peegel valguse ruumi peaaegu paralleelsete kiirte kimbuna.

Suur prožektor võib valgustada esemeid, mis asuvad temast 10—12 km kaugusel. Prožektori valgust võib aga näha 75 km kauguselt ja kaugemalt (kui tema kiired langevad vaatleja silma). Suured prožektorid on üles seatud tuletornides.

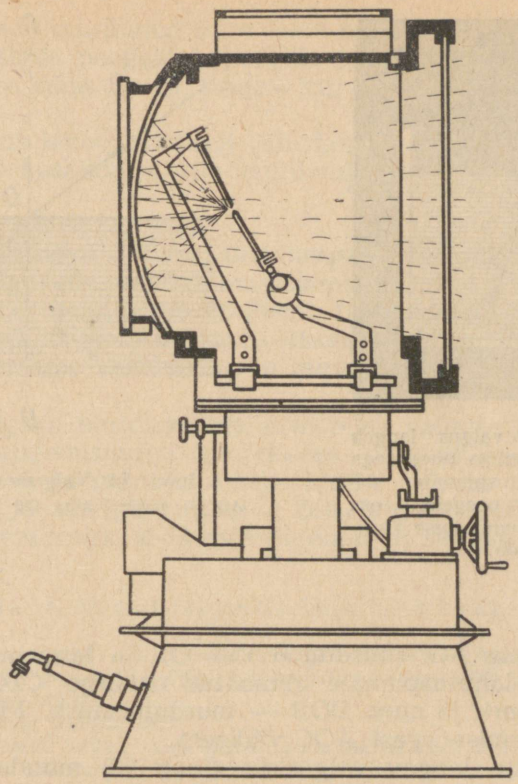
Nõguspeegleid kasutatakse ka peegelteleskoopides ehk reflektorites. Nende abil vaadeldakse taevakehi.

Harjutus 10. 1. Kui päikesekiired suunata nõguspeegliga paberile, siis paber süttib. Miks? Milline peab olema paberi asend peegli suhtes?

2. Hambaarstid kasutavad nõguspeeglit. Kas arst näeb sellises peeglis tõelist või näivat kujutist?

3. Auto esilaterna lambil on kaks hõõgniiti, mida toidetakse elektrivooluga teineteisest sõltumatult. Hõõgniit, mis annab «kaugtule», on paigutatud nõgus-

[1] Reflektor — peegeldaja.



Joon. 52. Prožektor.

peegli fookusesse. «Lähitule» hõõgniit asub aga sellest peeglile lähemal ja veidi kõrgemal. Mille poolest erinevad kaug- ja lähitulede valgusvihud?

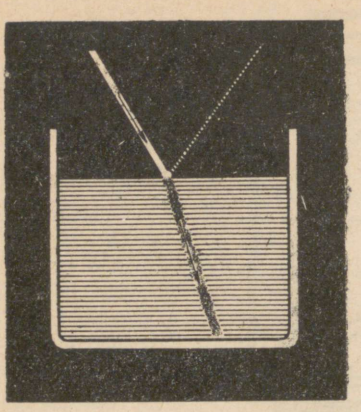
4. Konstrueeri eseme tõeline kujutis nõguspeeglis järgmistel juhtudel: 1) ese asub fookuse ja peegli optilise keskpunkti vahel; 2) ese asub peegli optilises keskpunktis; 3) ese asub peegli fookuse ja lagipunkti vahel.

Milline on kujutis nendel juhtudel (kas tõeline või näiv) ja kuidas ta paikneb peegli suhtes? Eset kujuta joonisel noolena.

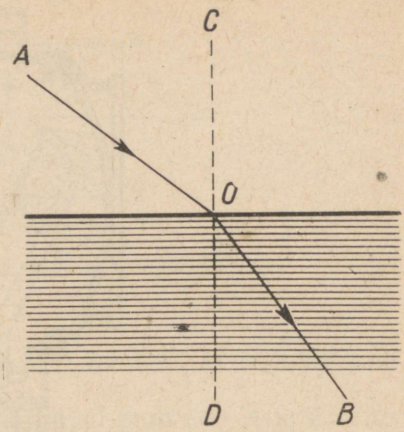
§ 23. Valguse murdumine.

Kui valguskiirte kimp langeb kahe erineva optilise tihedusega keskkonna, näiteks õhu ja vee lahutuspinnale (joon. 53), siis osa valgusest peegeldub sellelt pinnalt tagasi, ülejäänud osa aga tungib teise keskkonda. Üleminekul ühest keskkonnast teise muudab valguskiir keskkondade lahutuspinnal oma suunda. Seda nähtust nimetatakse *valguse murdumiseks*.

Vaatleme valguse murdumist lähemalt. Joonisel 54 on kuju-



Joon. 53. Kui valgus langeb kahe erineva optilise tihedusega keskkonna lahutuspinnale, siis osa kiirtekimbust peegeldub, osa aga tungib murdudes teise keskkonda.

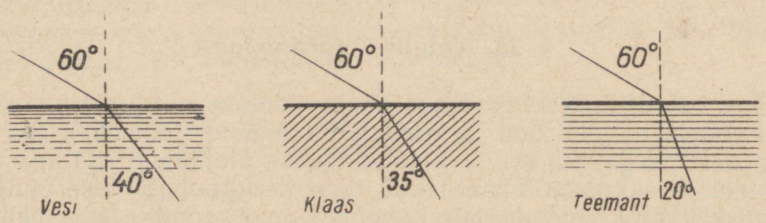


Joon. 54. Valguse murdumine.
AO — langev kiir; *OB* — murdunud kiir.

tatud langev kiir *AO*, murdunud kiir *OB* ja langemispunktist *O* keskkondade lahutuspinnale tõmmatud ristsirge *CD*. Nurk *AOC* on langemisnurk ja nurk *DOB* — murdumisnurk. Murdumisnurk *DOB* on langemisnurgast *AOC* väiksem.

Õhust vette langev valguskiir (joon. 53) muudab veepinnal oma suunda ning läheneb ristsirgele *CD*. Vesi on õhust optiliselt tihedam keskkond. Kui vesi asendada mõne teise läbipaistva keskkonnaga, mis on õhust optiliselt tihedam, siis murdunud kiir läheneb samuti ristsirgele. Seetõttu võime öelda: kui valgus läheb optiliselt hõredamast keskkonnast optiliselt tihedamasse keskkonda, siis murdumisnurk on langemisnurgast väiksem.

Katsed näitavad, et ühe ja sama langemisnurga puhul on murdumisnurk seda väiksem, mida suurema optilise tihedusega on keskkond, kuhu valguskiir tungib (joon. 55).



Joon. 55. Murdumine valguse üleminekul õhust vette, klaasi ja teemandisse ühesuguste langemisnurkade puhul.

Kui asetada murdunud kiire teele peegel, nii et see on kiirega risti, siis valgus peegeldub peeglilt ja väljub veest õhust vette langeva kiire sihis. Seega langev kiir ja murdunud kiir on pööratavad.

Kui valgus läheb optiliselt tihedamast keskkonnast optiliselt hõredamasse keskkonda, siis murdumisnurk on langemisnurgast suurem.

Kõigest öeldust järgneb:

1. Kahe erineva optilise tihedusega keskkonna lahutuspinna läbimisel valguskiir muudab oma suunda.

2. Valguse üleminekul optiliselt tihedamasse keskkonda on murdumisnurk langemisnurgast väiksem; valguse üleminekul optiliselt hõredamasse keskkonda on murdumisnurk langemisnurgast suurem.

Koos valguse murdumisega esineb ka valguse peegeldumine, kusjuures langemisnurga suurenedes peegeldunud kiirtekimbu heledus kasvab ja murdunud kiirtekimbu heledus väheneb. Seda võib näidata joonisel 53 kujutatud katse abil. Järelikult, mida suurem on langemisnurk, seda rohkem energiat sisaldab peegeldunud kiirtekimp.

Harjutus 11. 1. Millistel tingimustel valgus kahe keskkonna lahutuspinnal ei murdu?

2. Aseta kohvitassi põhja metallraha ja vali selline vaatesuund, et tassi ülemine äär raha parajasti varjab. Kui valada tass vett täis, siis muutub raha uuesti nähtavaks. Miks?

Selgita vastust joonise abil.

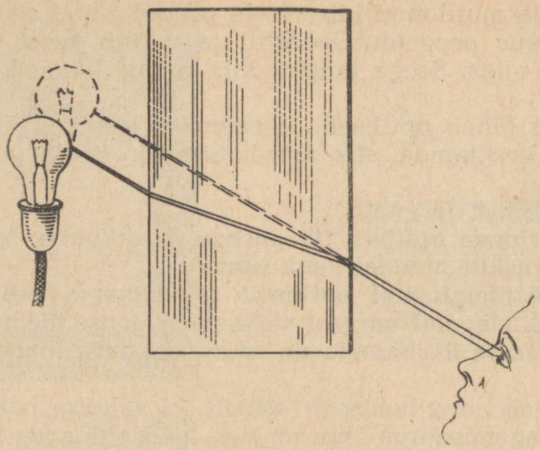
3. Kleebi pudeli ümber valge paber ja tee pudeli ühel küljel paberisse kitsas vertikaalne pilu. Täida pudel poolenisti veega ja vala vee peale petrooleumi. Valgusta pilu ja vaatle pudeli vastasküljele tekkinud valgusribasid. Millega seletada, et need valgusribad ei ühti?

§ 24. Valguskiirte käik tasaparalleelses plaadis ja prismas.

Suuname valguskiire läbi tasaparalleelse (paralleelsete tahkudega) plaadi. Plaadi läbimisel murdub valgus kaks korda: üks kord plaati sisenemisel ja teine kord plaadist väljumisel (joon. 56). Seejuures plaadist väljunud kiir jääb paralleelseks plaadile langeva kiirega, ta ainult nihkub veidi kõrvale. Mida paksem on plaat ja mida suurem on langemisnurk, seda suurem on see nihe. Nihke suurus sõltub ka plaadi ainest.

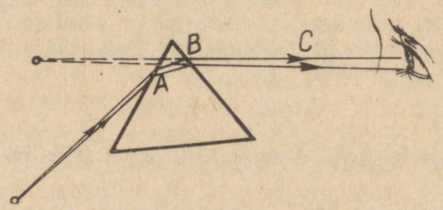
Ka aknaklaas on tasaparalleelne plaat. Vaadates esemeid läbi akna, me siiski ei näe, et nende kujud ja asendid on muutunud, sest et aknaklaas on õhuke ja valguskiired nihkuvad temas väga vähe.

Kui vaadata mingit eset läbi prisma, siis näeme seda teises suunas (joon. 57). Esemest tulev valguskiir langeb prismale punktis *A*, murdub prisma tahul ja kulgeb prisma sees suunas *AB*. Jõud-



Joon. 56. Valguse murdumine keskkonnas, mida piiravad kaks paralleelset tasapinda.

nud prisma teise tahuni, murdub kiir uuesti ning kaldub prisma aluse poole. Seetõttu näib vaatlejale, nagu oleks kiir väljunud punktist, mis asub kiire *BC* pikendusel, s. t. ese näib prisma murdvate tahkude poolt moodustatud nurga tipu poole nihutatuna.



Joon. 57. Valguse murdumine prismas.

§ 25. Laboratoorne töö nr. 2.

Valguse murdumine tasaparalleelses plaadis ja prismas.

T ö ö v a h e n d i d. Tasaparalleelne plaat, kolmetahuline prisma, leht valget paberit, papitükk, joonestuskolmnurk, mall, kolm nööpnõela.

T ö ö k ä i k. 1. Aseta plaat ja seejärel prisma puhtale paberilehele ja joonista hästi teritatud pliiatsiga nende kontuurid paberile. Kinnita paberileht rõhknaeltega papitüki külge.

2. Valguskiir tuleb suunata kaldu plaadi (või prisma) tahule. Valguskiire suund määra nööpnõeltega nii, nagu see on kirjeldatud laboratoorses töös nr. 1. Samuti määra nööpnõelte abil plaati (või prismat) läbinud kiire suund.

3. Kontrolli teostatud katse abil järgmiste seaduspärasuste kehtivust: valguse üleminekul optiliselt hõredamast keskkonnast optiliselt tihedamasse keskkonda (õhust klaasi) on murdumisnurk langemisnurgast väiksem; valguse üleminekul optiliselt tihedamast keskkonnast optiliselt hõredamasse keskkonda on murdumisnurk langemisnurgast suurem. Joonesta plaati ja prismat läbiva kiire käik.

4. Kontrolli, kas plaati läbinud kiir on paralleelne plaadile langeva kiirega; mõõda nurgad, mille moodustavad plaadile langev kiir ja plaadist väljunud kiir, ja võrdle neid.

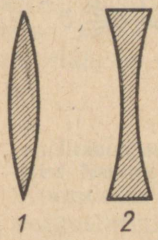
5. Mõõda, mitme millimeetri võrra on plaadist väljunud kiir nihkunud. Kontrolli katse abil, kas nihke suurus sõltub plaati siseneva kiire langemisnurgast.

6. Mõõda nurk, mille võrra prisma kallutab teda läbivat kiirt.

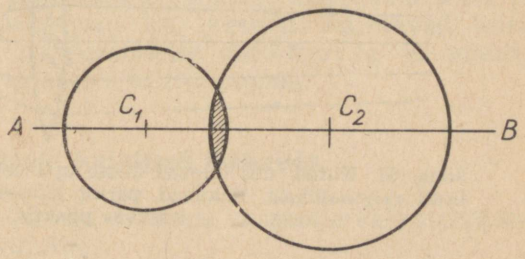
§ 26. Läätsed.

Läätsedeks nimetatakse läbipaistvaid kehi, mis on kahest küljest piiratud kõverate (kumerate või nõgusate) pindadega. Üks kahest piirpinnast võib olla ka tasapind. Vaatleme edaspidi ainult sfäärilisi läätsi, s. o. läätsi, mida piiravad kaks kerapinda (sfäärilist pinda).

Läätsi, mis on piiratud kahe kumera pinnaga, nimetatakse kumerläätsedeks; läätsi, mida piiravad kaks nõgusat pinda, nimetatakse nõgusläätsedeks (joon. 58).

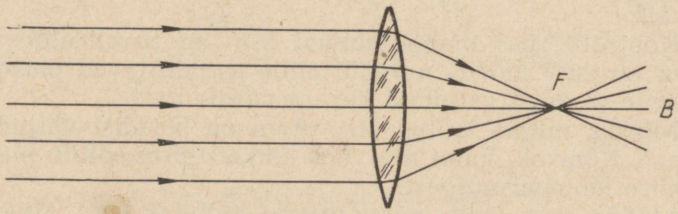


Joon. 58. Kaksikkumera ja kaksiknõgusa läätse läbilõige.



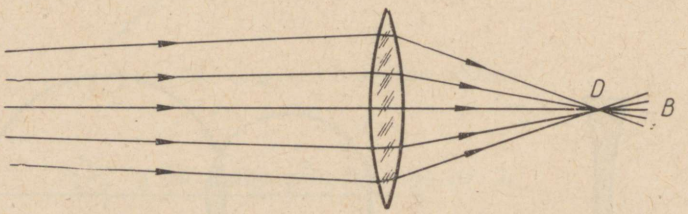
Joon. 59. C_1 ja C_2 — läätse piiravate sfääriliste pindade keskpunktid; AB — optiline telg.

Joont *AB*, mis läbib läätse sfääriliste pindade keskpunkte C_1 ja C_2 (joon. 59), nimetatakse läätse optiliseks peateljeks. Kui juhime kumerläätsele optilise teljega paralleelsete kiirte kimbu, siis pärast murdumist läätses need kiired lõikavad optilist peatelge ühes punktis (joon. 60). Seda punkti nimetatakse läätse fookuseks. Igal läätsel on kaks fookust, kummalgi pool läätse üks. Läätse ja tema fookuse vahelist kaugust nimetatakse läätse fookuskauguseks.



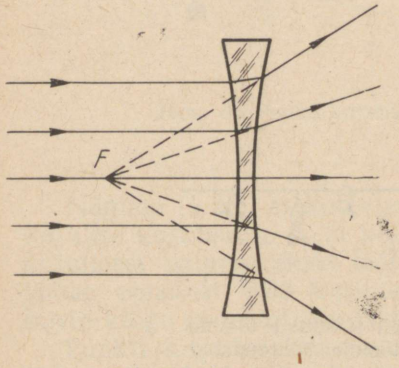
Joon. 60. Läätse fookus.

Laseme kumerläätsele langeda hajuvate kiirte kimbu, mis saadakse läätse optilisel peateljel asuvast punktikujulisest valgusallikast. Kui valgusallika kaugus läätsest on fookuskaugusest suurem, siis läätses murdunud kiired lõikuvad optilisel peateljel ühes punktis (punkt *D* joonisel 61, valgusallikas ei ole joonisel näidatud). Seega võime öelda: kumerlääts koondab nendest valgusallikatest tulevaid kiiri, mille kaugus läätsest on läätse fookuskaugusest suurem. Seetõttu nimetatakse kumerläätse ka valguskiiri koondavaks läätseks.

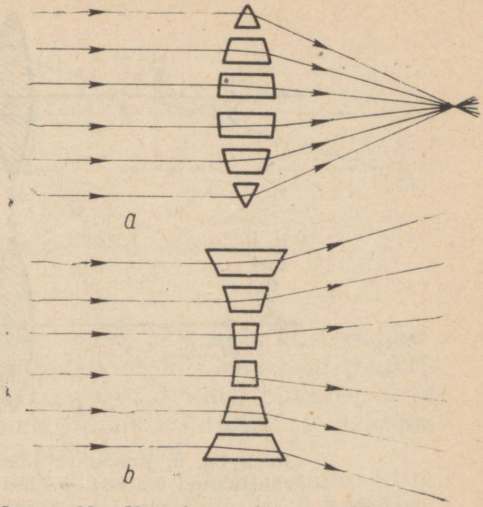


Joon. 61. Kiired, mis tulevad läätse optilisel teljel asuvast punktikujulisest valgusallikast, lõikuvad pärast läätses murdumist optilisel teljel asuvas punktis.

Kiirte läbiminekul nõguslääatsest näeme hoopis teistsugust pilti. Laseme langeda kaksiknõgusale läätsele optilise peateljega paralleelsete kiirte kimbu. Näeme, et need kiired väljuvad läätsest



Joon. 62. Kaksiknõgusa läätse näilik fookus.



Joon. 63. Koondavat läätse võib vaadelda koosnevana prismadest, mis on laiema osaga pööratud keskkoha poole. Hajutavat läätse võib vaadelda koosnevana prismadest, mis on laiema osaga pööratud äärte poole.

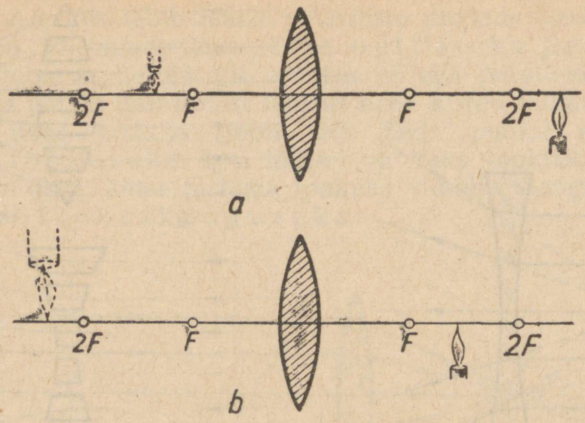
hajuva kiirtekimbuna (joon. 62). Kui niisugune hajuv kiirtekimp langeb silma, siis meile näib, et kiired väljuvad ühest punktist *F*. Seda punkti nimetatakse kaksiknõgusa läätse näivaks fookuseks. Nõguslääts võib nimetada ka valguskiiri hajutavaks läätseks.

Joonis 63 selgitab koondavate ja hajutavate läätsede mõju. Läätsi võib vaadelda suure hulga prismade koguna. Kuna prismad murravad kiiri nii, nagu see on näidatud joonistel, siis on ilmne, et läätsed, mis on keskelt paksemad kui äärtelt, koondavad kiiri, ja läätsed, mis on äärtelt paksemad kui keskelt, hajutavad kiiri. Läätse keskkoht mõjub tasaparalleelse plaadina: ta ei muuda kumerläätses ega ka nõguslääts kiirte suunda.

§ 27. Esemete kujutised läätsedes.

Koondavate läätsede abil võib tekitada ekraanile valgusallikate ja valgustatud esemete kujutisi.

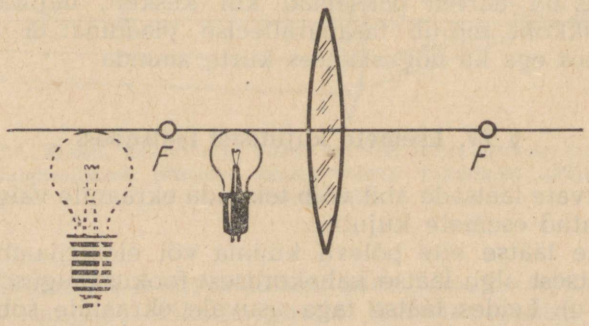
Asetame läätse ette põleva küünla või elektrilambi. Küünla kaugus läätsest olgu läätse kahekordsest fookuskaugusest suurem (joon. 64, *a*). Leides läätse taga asuvale ekraanile sobiva koha, tekib sellele valgusallika (eseme) kujutis, mis on tõeline, vähen-



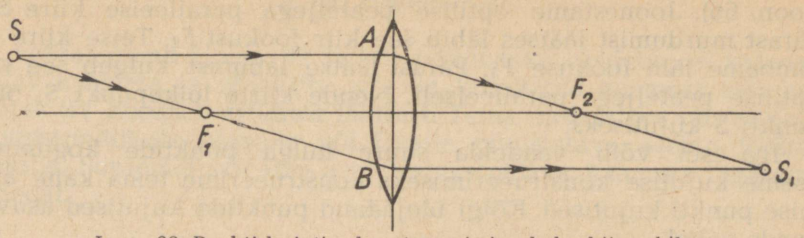
Joon. 64. *a*. Koondava läätse abil tekitatud tõeline vähendatud kujutis. *b*. Eseme tõeline suurendatud kujutis.

datud ja ümber pööratud. Kujutis tekib läätse fookuse ja läätsest kahekordsel fookuskaugusel asuva punkti vahel (punkt 2*F*). Kui viime eseme läätsele lähemale, siis tema ümberpööratud kujutis kaugeneb läätsest, kusjuures kujutise mõõtmed suurenevad. Kui ese asub punktide *F* ja 2*F* vahel, siis tekib temast suurendatud ümberpööratud kujutis, mille kaugus läätsest ületab kahekordse fookuskauguse (joon. 64, *b*).

Kui asetada ese fookuse ja läätse vahele, siis ekraanile kujutist ei teki. Vaadates aga eset läbi läätse, näeme eseme näivat päripidist suurendatud kujutist (joon. 65). Seega koondava läätse poolt tekitatud kujutise mõõtmed ja asend sõltuvad eseme asendist läätse suhtes.



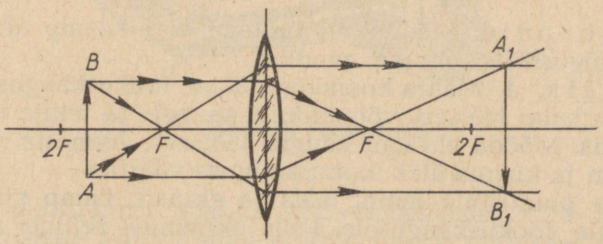
Joon. 65. Koondava läätse abil saadud näilik kujutis.



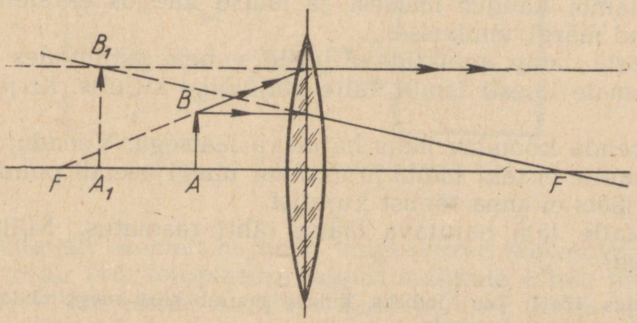
Joon. 66. Punkti kujutise konstrueerimine kahe kiire abil.

Nägime (§ 26), et koondav lääts annab valguspunktist punktikujulise kujutise, s. t., et kõik valguskiired, mis langevad punktikujulisest valgusallikast läätsele, koonduvad ühes punktis. Seda läätse omadust võib kasutada valguspunkti kujutise leidmiseks kiirte käigu geomeetrilise konstrueerimise teel.

Punkti kujutise konstrueerimiseks piisab mingi kahe kiire lõikepunkti leidmisest. Konstrueerime näiteks punkti *S* kujutise. Leiame kahe sellise kiire lõikepunkti, mille käik meil on teada



Joon. 67. Eseme kujutise konstrueerimine.



Joon. 68. Koondava läätse abil tekitatud näiliku kujutise konstrueerimine.

(joon. 66). Joonestame optilise peateljega paralleelse kiire SA. Pärast murdumist läätses läbib see kiir fookust F_2. Teise kiire SB tõmbame läbi fookuse F_1. Pärast läätse läbimist kulgeb see kiir optilise peateljega paralleelselt. Nende kiirte lõikepunkt S_1 ongi punkti S kujutiseks.

Iga eset võib vaadelda suure hulga punktide kogumina. Eseme kujutise konstrueerimiseks konstrueerime tema kahe äärmise punkti kujutised. Kõigi ülejäänud punktide kujutised asuvad nende vahel.

Joonisel 67 on näidatud eseme kujutise konstrueerimine juhul, kui ese asub punktide F ja $2F$ vahel. Ese on kujutatud noolega AB. Tema suurendatud kujutis A_1B_1 asub teisel pool läätse ja selle kaugus läätsest ületab kahekordse fookuskauguse.

Joonisel 68 on näidatud fookuse ja läätse vahel asuva eseme kujutis. See on suurendatud ja näilik, kusjuures ese ja tema kujutis asuvad samal pool läätse.

§ 28. Laboratoorne töö nr. 3.

Kujutiste saamine läätsede abil.

T ö ö v a h e n d i d. Mõõdulint, kattega elektrilamp alusel, kumerlääts, nõguslääts, ekraan, puuliist.

T ö ö k ä i k. 1. Määra koondava läätse fookuskaugus. Selleks aseta elektrilamp läätsest võimalikult kaugele ja tekita ekraanile tema kujutis. Mõõda ekraani kaugus läätsest. Joonesta vihikusse katse skeem ja kirjuta üles fookuskauguse väärtus.

2. Aseta puuliistule lamp, lääts ja ekraan. Lamp vii läätsest kahekordsele fookuskaugusele. Leia ekraanile selline asend, et temale tekiks lambi kattes oleva väljalõike terav kujutis.

3. Tee kindlaks, milline on kujutis — kas suurendatud või vähendatud, tõeline või näiv, päripidine või ümberpööratud. Mõõda lambi kaugus läätsest ja läätse kaugus ekraanist. Katse tulemused märgi vihikusse.

4. Aseta lamp punktide F ja $2F$ vahele. Nihutades ekraani, tekita temale uuesti lambi katte väljalõike kujutis. Kirjelda seda kujutist.

5. Asenda koondav lääts hajutava läätsega. Veendu, et kujutist ekraanile ei teki lambi ja ekraani ühegi asendi puhul, sest et hajutav lääts ei anna tõelist kujutist.

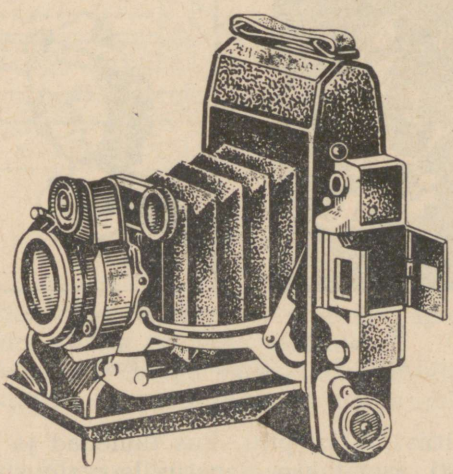
6. Vaatle läbi hajutava läätse tähti raamatus. Millistena sa neid näed?

Harjutus 12. 1. Tee kindlaks, kuidas murrab kiiri veega täidetud keedukolb või ümmargune karahvin.

2. Kuidas muutub kumerläätse poolt tekitatud kujutis, kui pool läätsest katta paberiga?

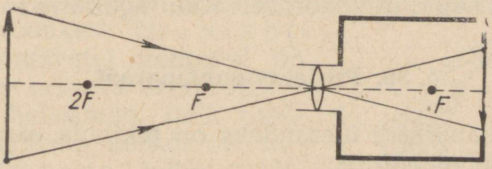
§ 29. Fotoaparaat.

Fotoaparaadi (joon. 69 ja 70) põhilisteks osadeks on valgustpidav kaamera ja objektiiv, mis on kinnitatud kaamera esiseina. Objektiiv koosneb mitmest läätsest. Tema ülesandeks on tekitada valgustundlikule plaadile või filmile pildistatava eseme tõeline kujutis. Fotoplaat või film asub valgustpidava kaamera tagaseina lähedal.



Joon. 69. Fotoaparaat.

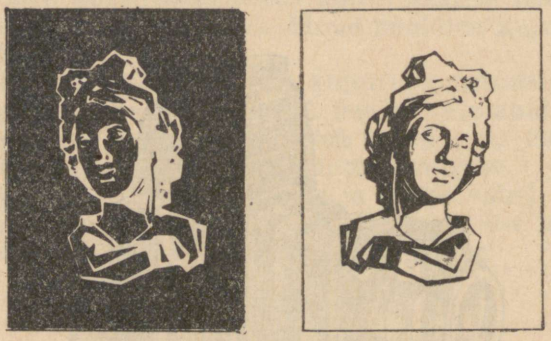
Enne pildistamist aparaat «teravustatakse», s. t. nihutatakse objektiivi sisse- või väljapoole, kuni filmile (mõnedes fotoaparaatides mattklaasile) tekib eseme terav kujutis.



Joon. 70. Fotoaparaadi skeem.

Pildistatavalt esemelt hajunud valguskiired läbivad objektiivi, mõjuvad filmi (või fotoplaadi) valgustundlikule kihile ning «joonistavad» sellele eseme kujutise. Kuid sel teel filmile või fotoplaadile tekkinud kujutis on varjatud, ta ei ole nähtav. Et kujutist nähtavaks teha, tuleb filmi või plaati keemiliselt töödelda. Selleks

asetatakse film kindla keemilise koostisega lahusesse (ilmutisse). Ilmuti toimel tumenevad need plaadi kohad, millele mõjus valgus. Pärast ilmutamist pannakse plaat teise lahusesse (kinnistajasse), pestakse teda veega ja kuivatatakse. Nii saadakse negatiiv (joon. 71, *a*), millel eseme heledad kohad on tumedad, eseme tumedad kohad aga heledad.



a *b*

Joon. 71. *a*. Negatiiv. *b*. Positiiv.

Et saada positiivi, s. o. pilti, kus tumedad ja heledad kohad paikneksid õigesti, asetatakse negatiivile valgustundliku kihiga kaetud paber (või plaat). Fotopaberit valgustatakse läbi negatiivi ning ta ilmutatakse ja kinnistatakse. Sel teel saadakse positiiv (joon. 71, *b*).

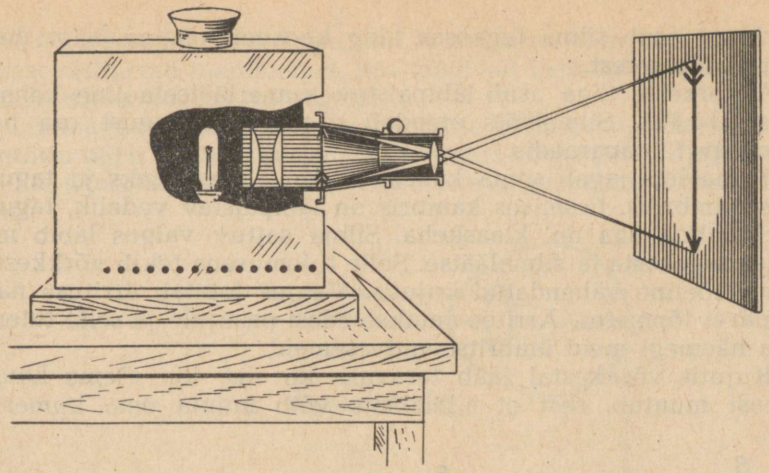
Fotograafiat kasutatakse laialdaselt tänapäeva teaduses ja tehnikas. Näiteks 4. oktoobril 1959. a. saadeti maailmaruumi kolmas nõukogude kosmoserakett. Selle viimases astmes oli planeetidevaheline automaatjaam, mis pildistas Maalt nähtamatut Kuu külge. Inimesed nägid esmakordselt Kuu tagakülje fotot.

§ 30. Projektsiooniaparaat.

Projektsiooniaparaadi ülesandeks on tekitada ekraanile eseme tõeline suurendatud kujutis.

Projektsiooniaparaadi ehitus on kujutatud joonisel 72. Metallkastis asub valgusallikas (võimas elektrilamp).

Klaasile või filmile jäädvustatud läbipaistev pilt (diapositiiv) paigutatakse objektiivi fookusest veidi kaugemale. Selleks et kujutis ekraanil oleks võimalikult hästi ja ühtlaselt valgustatud, koondatakse valgusallikast tulevad kiired kahe kumerläätse (kondensori) abil diapositiivile. Kujutis seatakse teravaks aparaadi objektiivi nihutamisega diapositiivi suhtes. Et ekraanile tekiks



Joon. 72. Projektsiooniaparaat.

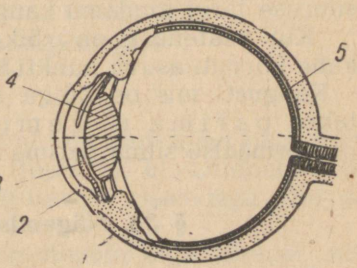
päripidine kujutis, tuleb diapositiiv asetada aparaati tagurpidi (pildi ülemine pool alla ja alumine pool üles).

Projektsiooniaparaat on iga kinoseadme põhiliseks osaks. Ka fotograafias kasutatav suurendusaparaat on projektsiooniaparaat.

§ 31. Silm ja nägemine.

Inimese silma ehitus on kujutatud joonisel 73. Silma klaaskeha ümbritsevad mitmesugused kihid. Välist kesta nimetatakse valgekestaks. See kaitseb silma mitmesuguste väliste mõjutuste eest. Valgekest on läbipaistmatu. Ainult tema eesmine osa, mis on veidi kumer, laseb valgust läbi. Valgekesta läbipaistvat eesosa nimetatakse sarvkestaks. Edasi järgneb soonkest. See koosneb väga paljudest silma toitvatest veresoontest. Silma eesosas läheb soonkest üle vikerkestaks. Erinevatel inimestel on silma vikerkest erineva värvusega — ta võib olla helesinine, hall, rohekas jne. Vikerkesta keskel on ümmargune silmaava, mille mõõtmed võivad muutuda: heledas valguses silmaava läbimõõt väheneb, nõrgas valguses aga suureneb. Need muutused, mis ei olene inimese tahtest, reguleerivad silma langeva valguse hulka.

Silmaõõs on seestpoolt kaetud valgustundliku võrkkestaga.



Joon. 73. Inimese silma ehitus: *1* — valgekest; *2* — sarvkest; *3* — vikerkest; *4* — silmalääts; *5* — võrkkest.

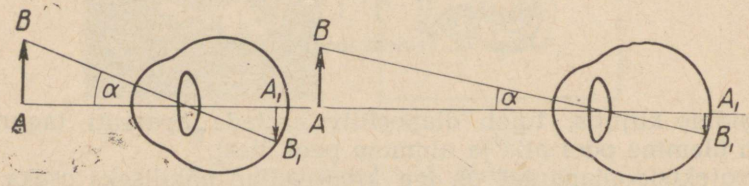
TRÜ Raamatukogu

Võrkkest asub silma tagaosas ning koosneb nägemisnärvi harudest ja lõpmetest.

Vikerkesta taga asub läbipaistev kumerläätsetaoline keha — silmalääts. Silmalääts etendab silmas samasugust osa nagu objektiiv fotoaparaadis.

Silmalääts jagab silma kaheks osaks — eesmiseks ja tagumiseks kambriks. Eesmises kambris on läbipaistev vedelik, tagumises kambris aga nn. klaaskeha. Silma sattuv valgus läbib murdudes sarvkesta ja silmaläätse. Selle tulemusena tekib võrkkestale eseme tõeline vähendatud kujutis. Valgus tekitab ärrituse nägemisnärvi lõpmetes. Ärritus antakse edasi peaajule ja selle tulemusena näemegi meid ümbritsevaid esemeid.

Kujutis võrkkestal jääb teravaks ka siis, kui eseme kaugus silmast muutub, sest et silmalääts võib muuta oma kumerust.



Joon. 74. Vaatenurk.

Lähedaste esemete vaatlemisel muutub silmalääts kumeramaks ja murrab seetõttu rohkem kiiri.

Joonisel 74 on skemaatiliselt näidatud kujutise tekkimine silma võrkkestale. Mida lähemal silmale on ese, seda suurem kujutis tekib temast võrkkestale ja seda suurem on nurk, mille all me eset näeme. Seda nurka nimetatakse vaatenurgaks (nurk α joonisel 74). Kui ese silmast eemaldub, siis vaatenurk väheneb ja meile näib, nagu väheneksid ka eseme mõõtmed.

Nähes kaugel meile tuntud esemeid, harjume esemete näiva suuruse järgi hindama kaugust nendeni.

Kui vaatenurk on väike (väiksem ühest kaareminutist), siis kahe kõrvuti asuva punkti kujutised sulavad silmas ühte.

Kaugust, mis on kõige sobivam eseme vaatlemiseks, nimetatakse parima nägemise kauguseks. Näiteks lugemisel on normaalse silma parima nägemise kaugus ligikaudu 25 cm.

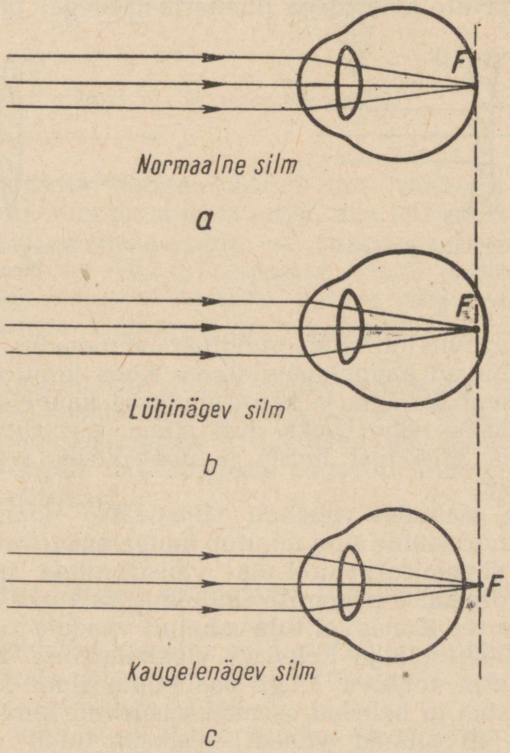
§ 32. Nägemishäired. Silma tervishoid.

Mitmesugustest nägemishäiretest vaatleme ainult lühinägevust ja kaugelenägevust.

Normaalse silma fookus asub võrkkestal (joon. 75, *a*). Niisugune silm näeb selgelt, ilma pingutamata mitmesuguseid ese-

meid. Vaadates kaugeid esemeid, normaalne silm ei väsi. Sellepärast säilitavad meremehed, kes töötavad meredel ja ookeanidel, kauaks ajaks normaalse nägemise.

Lühinägeva silma fookus ei asu mitte võrkkestal, vaid selle ees. Seetõttu näeb lühinägija kaugeid esemeid ebaselgelt. Mingi eseme peente üksikosade vaatlemiseks peab ta eseme viima silmale lähedale.



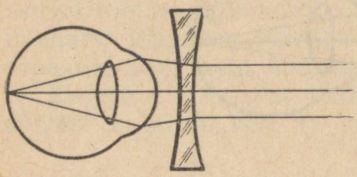
Joon. 75. Normaalse, lühi- ja kaugelenägeva silma skeemid.

Lühinägevuse põhjuseks on enamikul juhtudel silma liiga suur sügavus võrreldes normaalse silmaga (joon. 75, *b*). Lühinägevuse parandamiseks kasutatakse valgust hajutavate klaasidega (nõgusläätsedega) prille (joon. 76).

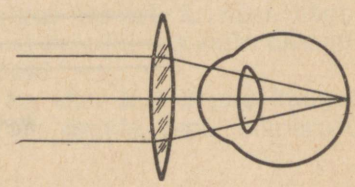
Kui sageli vaadata esemeid, mis on silmale liiga lähedal, siis võib normaalne silm muutuda lühinägevaks. Lugemisel, kirjutamisel, joonistamisel ja joonestamisel halvasti valgustatud töökohas tuleb tekst asetada silmade lähedale. Töötamine sellistes tingimustes on eriti kahjulik koolieas: see võib esile kutsuda lühi-

nägevuse, sest et selles eas ei ole veel silma valgekest küllalt kõvaks muutunud.

Kaugelenägeval silmal on väiksem sügavus kui normaalsel silmal (joon. 75, *c*). Seetõttu on kaugelenägeva silma fookus võrkkesta taga. Kui kaugelenägija oma silmi ei pinguta (silmaläätsede kumerust ei muuda), siis ta ei näe selgelt lähedasi esemeid. Selleks et näha normaalselt, kannavad kaugelenägijad valgustkoondavate klaasidega (kumerläätsedega) prille (joon. 77).



Joon. 76. Lühinägevuse parandamine.



Joon. 77. Kaugelenägevuse parandamine.

Kaugelenägevus on silma sünnipärane omadus. Peaaegu kõik inimesed sünnivad kaugelenägijatena. Koos kogu organismi arenemisega kasvab ka silm ja kaasasündinud kaugelenägevus muutub normaalseks nägevuseks. Kui silma tervishoiu nõudeid ei arvestata, siis, eriti just lapse- ja noorukieas, arenevad silmad lühinägelikeks.

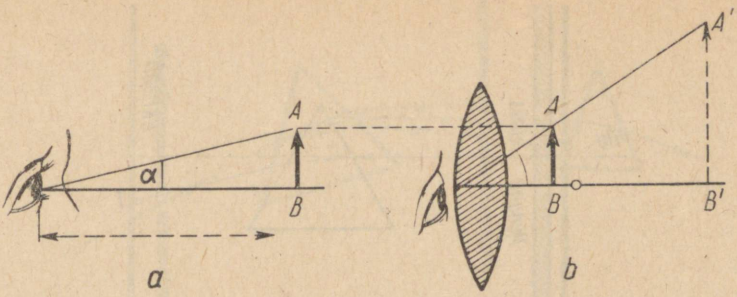
Vanaduse saabudes väheneb silmaläätse võime muuta oma kumerust ja normaalne silm muutub kaugelenägevaks.

Inimese nägemisorganitel on välismaailma tajumisel väga tähtis osa. Normaalse nägemise säilitamiseks tuleb töötada sobiva valgustuse juures. Kunagi ei tule vahetult vaadata tugevale valgusallikale — Päikesele ja heledale elektrilambile. Eriti ohtlik on elektrikeevitusel tekkiva leegi vaatamine ilma kaitseprillideta. Tugev valgustus ja heledad esemed väsitavad kiiresti meie nägemisorganeid. Et silmad vähem väsiksid, tuleb valgustamiseks kasutada varjude ja katetega varustatud lampe.

§ 33. Luup.

Meie silm ei näe vahetult väga kaugeid või väga väikseid esemeid, sest need paistavad liiga väikeste vaatenurkade all. Vaatenurga suurendamiseks kasutatakse mitmesuguseid optilisi riistu.

Joonisel 78 on näidatud luubi kasutamine. Ese *AB* on parima nägemise kauguselt nähtav nurga α all. Kui see nurk on väga väike, siis on raske eraldada eseme üksikosi. Vaatenurga suurendamiseks võib eset tuua silmale lähemale. Kuid sel juhul on eseme kaugus silmast väiksem parima nägemise kaugusest.



Joon. 78. Eseme kujutis luubis.

Kuidas siis tuleks toimida? Me võime vaadelda mitte eset ennast, vaid tema suurendatud kujutist, mis tekitatakse koondava läätse (luubi) abil. Selleks tuleb ese paigutada läätse ja läätse fookuse vahele (joon. 78, *b*) sellisesse kohta, et eseme kujutis asuks silmast (praktiliselt läätsest) parima nägemise kaugusel. Eseme sobiv kaugus läätsest leitakse katse teel, läätse vajalikule kaugusele nihutades.

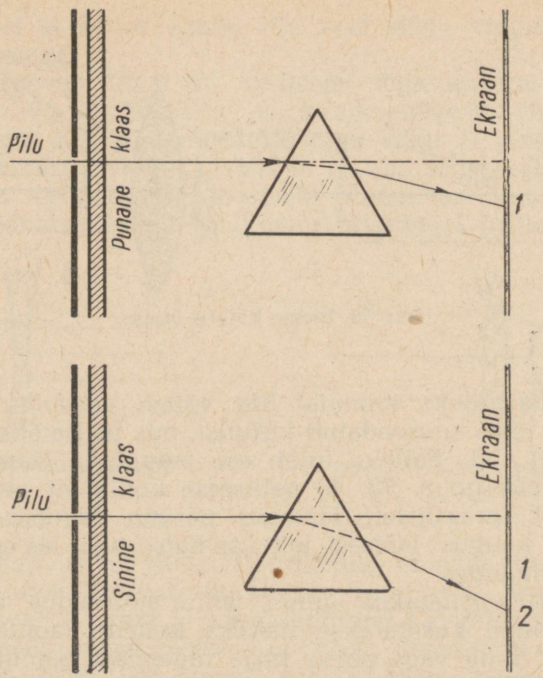
Tavaliselt kasutatakse luupe, mille suurendus on 2,5 kuni 25 korda. Luupe kasutatakse näiteks kellade monteerimisel ja parandamisel ning väga peene kirja lugemisel. Samuti leiab luup kasutamist bioloogias mitmesuguste taimede lõigete ja väikeste organismide vaatlemisel.

§ 34. Valge valguse lahutamine värvilisteks kiirteks.

Eespool kirjeldatud katsetes me kasutasime ainult valgeid valguskiiri. Kuid peale valge värvusega kiirte on olemas ka punased, sinised ja teiste värvustega kiired.

Kas erineva värvusega kiired, minnes ühest keskkonnast teise, murduvad ühesuguselt? Sellele küsimusele vastuse leidmiseks teeme katse.

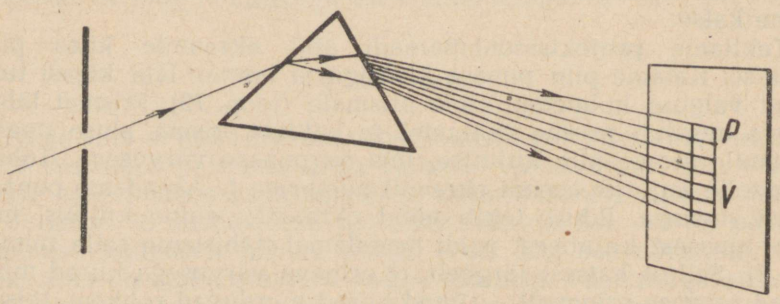
Tekitame projektsiooniaparaadi abil ekraanile kitsa pilu kujutise. Katame pilu punase klaasiga ja laseme läbi klaasi tunginud valguse kolmetahulisele prismale (joon. 79). Prismat läbiv valgus murdub prisma tahkudel ja kaldub prisma aluse poole. Ekraanile saame pilu kujutise, mis on punase värvusega. Tähistame selle kujutise asendi ekraanil numbriga *1*. Asendame punase klaasi sinisega. Pilust tekib nüüd ekraanile sinine kujutis, mis asub punasest kujutisest veidi madalamal (tähistame selle numbriga *2*). Sellest katsest järgneb, et erineva värvusega kiired murduvad prismas erinevalt — ühed kiired murduvad rohkem, teised vähem.



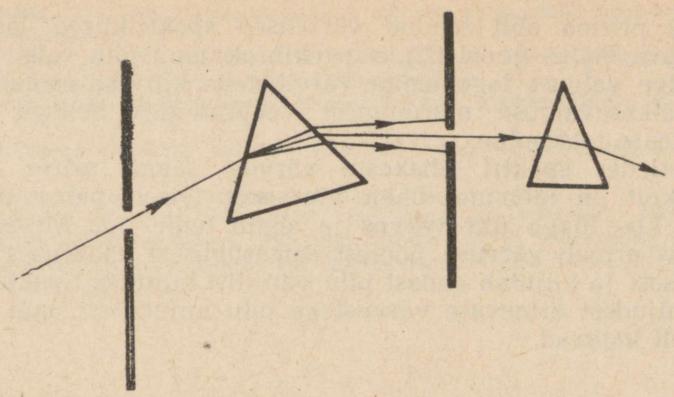
Joon. 79. Punaste ja siniste kiirte murdumine prismas.

Laseme prismale projektsiooniaparaadist valge kiirtekimbu. Nüüd näeme ekraanil laia mitmevärvilist riba *PV* (joon. 80). Värvused selles ribas paiknevad järgmises järjekorras: punane, oranž, kollane, roheline, helesinine, sinine ja violett.

Nendest katsetest selgub, et valge valgus on liitvalgus. Läbides prismat, laguneb valge valgus erineva värvusega kiirtekimpu-



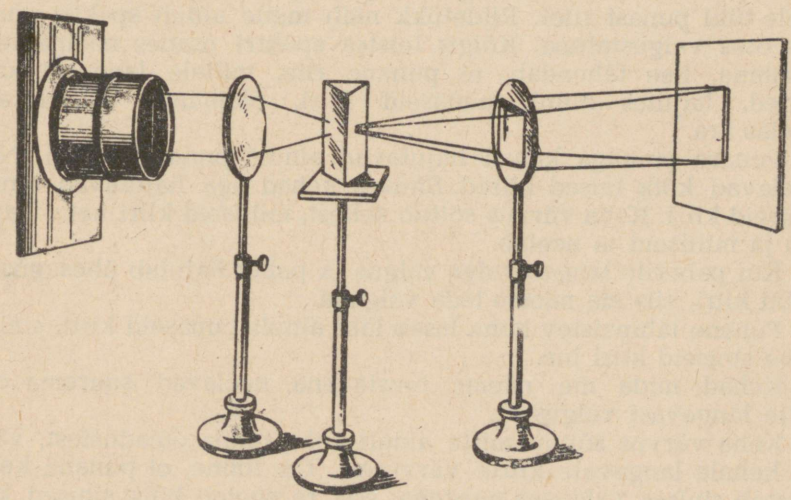
Joon. 80. Pideva spektri saamine.



Joon. 81. Ühevärvuseline kiir ei lagune teiste värvustega kiirteks.

deks. Mitmevärvilist valgusriba ekraanil nimetatakse s p e k t r i k s.[1]

Eraldame prisma abil saadud mitmesuguste värvustega kiirte kimbust välja mingi kindla värvusega, näiteks rohelise kiirtekimbu ja juhime selle teisele prismale (joon. 81). Näeme, et teine prisma kallutab küll need kiired kõrvale, kuid ei lahuta neid teistsuguste värvustega kiirteks. Seega värviline valgus erineb valgest valgusest: ta on lihtvalgus.



Joon. 82. Spektrivärvuste liitmine.

[1] Ladinakeelne sõna *spectrum* tähendab kujutis.

Kui prisma abil saadud värvilised spektrikiired lasta läbi koondava läätse (joon. 82), siis tekib ekraanil pilu valge kujutis.

Valge valguse lagunemine värvilisteks kiirteks esineb looduses päikesevalguse murdumisel veepiiskades. Sellega seletub vikerkaare tekkimine.

Loetledes spektri ribakeste värvusi, saame seitse värvust. Tegelikult on üleminek ühelt värvuselt teisele pidev: on raske öelda, kus lõpeb üks värvus ja algab teine. Iga kitsas ribake spektris erineb värvuse poolest samasugusest naabruses olevast ribakesest ja kujutab endast pilu värvilist kujutist. Spekter koosneb paljudest erinevate värvustega pilu kujutistest, mis üksteist osaliselt katavad.

§ 35. Kehade värvus.

Meid ümbritsev maailm on värviküllane. Selle põhjuseks on päikesevalgus, mis koosneb paljudest värvilistest kiirtest. Kuid miks siis puulehed on rohelised, pioneeri kaelarätik punane, päevalill kollane, rukkilill sinine, kirjutuspaber valge ja klassitahvel must, olgugi et kõiki neid valgustab üks ja sama päikesevalgus?

Valgustame valget ekraani mitmesuguse värvusega kiirtega. Ekraan paistab meile ükskord punasena, teinekord aga rohelisena või sinisena, sõltuvalt ekraanilt peegeldunud kiirte värvusest.

Tekitame ekraanile valge valguse spektri ja asetame kiirte teele tüki punast riiet. Riidetükk näib meile ainult spektri punases osas valgustatuna. Kõigis teistes spektri osades näeme teda mustana. See tähendab, et punane riie, millele langesid kõik kiired, hajutas ainult punaseid kiiri, ülejäänud kiired aga neelas ära.

Punase pinnaga kehad hajutavad ainult punaseid kiiri. Nad neelavad kõik teised kiired. Sinised kehad aga hajutavad ainult siniseid kiiri. Keha värvus sõltub sellest, milliseid kiiri keha hajutab ja milliseid ta neelab.

Kui paberile langeb valge valgus ja paber hajutab ühesuguselt kõiki kiiri, siis me näeme teda valgena.

Punane läbipaistev keha laseb läbi ainult punaseid kiiri, sinine keha siniseid kiiri jne.

Kehad, mida me näeme mustadena, neelavad suurema osa neile langevast valgusest.

Keha värvus sõltub mitte ainult keha pinna omadustest, vaid ka kehale langevate kiirte värvusest. On ilmne, et punane keha paistab sinises valguses mustana, sest ta neelab kõik sinised kiired. Värvilised kehad, näiteks riidekangad, muudavad kunstlikus valguses oma värvitoone: nad paistavad meile teistsugusena kui päevavalguses.

Harjutus 13. 1. Miks rohelist paberit, mis on valgustatud valge valgusega, näeme rohelisena?

2. Valgele paberile on kleebitud punased tähed. Millise valgusega tuleks valgustada paberit, et tähed muutuksid nähtamatuks?

3. Miks valge valgus prismat läbides laguneb mitmesugusteks värvilisteks kiirteks?

4. Millistena paistavad taimede rohelised lehed loojuva päikese punastes kiirtes?

5. Missugust keha me nimetame mustaks? Missugust valgeks?

6. Valmista vineerist või papist ring, jaga see seitsmeks sektoriks ja värvi sektorid spektrivärvidega. Tee ringi keskele auk ja pane sellest läbi telg. Hästi valgustatud kohas pane ring vurrina pöörlema. Missuguse värvusega näeme ringi pöörlemise ajal? Miks?

III. ELEKTER

I peatükk.

ALGTEADMISI ELEKTRIST.

§ 36. Elektri tähtsus elus.

Elektri tähtsus tänapäeva ühiskonna elus on väga suur.

Elektrienergia, mis juhtmete kaudu antakse edasi võimsatest soojus- ja hüdroelektrijaamadest, paneb liikuma vabrikutes ja tehastes tööpingid ja masinad, linnade tänavatel trammid ja trollibussid ning raudteedel elektrivedurid.

Miljonid elektrilambid valgustavad linnades ja külades elamuid ja tänavaid.

Elektri abil toimuvad telefoni- ja telegraafiside, raadio- ja televisioonisaated. Paljud teaduslikud avastused on tehtud elektriliste seadmete abil. Elektrilisi seadmeid kasutati näiteks Maa tehiskaaslastel kosmilise ruumi uurimiseks. Nende uurimuste tulemused anti Maale edasi raadio teel.

Arstiteaduses rakendatakse mitmesuguseid elektrilisi aparaate paljude haiguste ravimiseks ja elundite läbivalgustamiseks röntgenikiirtega.

Võrreldes teiste energia liikidega on elektrienergiat väga mugav rakendada sellepärast, et seda võib juhtmeid mööda edasi anda suurtele kaugustele ning tema abil saab niisama edukalt tööle panna hiiglasuurt sammuvat ekskavaatorit ja taskulampi.

On võimatu ette kujutada tänapäeva inimest, kellel ei tule tegelda elektriga. Selleks et aru saada mitmesuguste elektrimasinate ja elektriliste seadmete tööst, tuleb teada põhilisi elektriõpetuse seadusi. Eelkõige tutvume mõningate lihtsamate elektriliste nähtustega.

§ 37. Kehade elektriseerimine hõõrdumise teel.

Juba väga kauges minevikus inimesed märkasid, et villaga hõõrutud merevaik[1] tõmbab enda külge mitmesuguseid kehi: õlekõrsi, udusulgi ja karusnaha karvakesi.



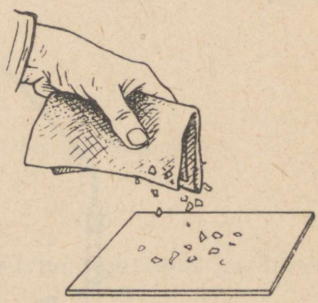
Joon. 83. Villase riidega hõõrutud eboniitpulk tõmbab külge paberitükke.

Hiljem tehti kindlaks, et see omadus on ka teistel ainetel: villase riidega või karusnahaga hõõrutud kirjalakil ja eboniidil[2] (joon. 83), siidiga hõõrutud klaaspulgal ja paberiga hõõrutud orgaanilisest klaasist (pleksiklaasist) pulgal.

Nende nähtuste põhjust nimetati XVII sajandi algul e l e k t r i k s. Elekter tuleneb kreekakeelsest sõnast «elektron», mis tähendab merevaiku.

Hõõrdumise teel sellise omaduse saanud kehade kohta öeldakse, et nad on e l e k t r i s e e r i t u d või et neile on antud e l e k t r i l a e n g.

Kui eboniitpulka hõõruda kuiva villase riidega, siis pulk ja riie hakkavad külge tõmbama paberitükikesi (joon. 84). See katse näitab, et hõõrdumisel elektriseeruvad mõlemad teineteisega kokkupuutuvad kehad.



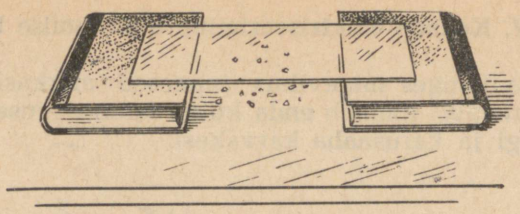
Joon. 84. Kahe keha hõõrumisel elektriseeruvad mõlemad kehad.

Harjutus 14. 1. Pane lauale pudel ja tasakaalusta sellel joonlaud või pliiats. Pudeli asemel võib võtta ükskõik millise sileda ümmarguse eseme — oluline on, et hõõrdumine aluse ja joonlaua vahel oleks võimalikult väike. Võta plastmassist kamm, hõõru seda kuiva ajalehepaberiga ja lähenda see külje poolt joonlauale. See pöördub.

2. Võta vihikusuurune klaasplaat, pese see piirituse või vee ja seebiga

[1] M e r e v a i k — sadu tuhandeid aastaid tagasi Maal kasvanud okaspuude kivistunud vaik.

[2] E b o n i i t — suure väävlisisaldusega kautšuk.



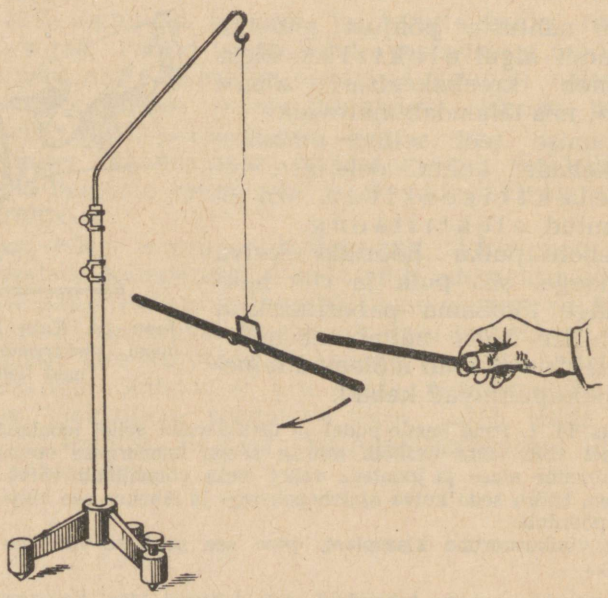
Joon. 85. Ülesande 2 juurde.

puhtaks ning kuivata. Aseta klaasplaat kahe raamatu äärele (joon. 85). Lauale raamatute vahele pane väikesi õhukesi paberitükikesi. Oluline on, et paberitükikesed oleksid võimalikult kerged. Hõõru ülalt klaasi kuiva kokkukägardatud ajalehepaberi tükiga ja kirjelda nähtust, mida sa jälgid.

3. Ava valamu kohal kraan ja lase vett peene joana voolata. Elektriseeri kamm, lähenda see veejoale ja vaatle veejoa kõrvalekaldumist kammi poole.

§ 38. Elektriseeritud kehade vastastikune mõju. Elektri kaks liiki.

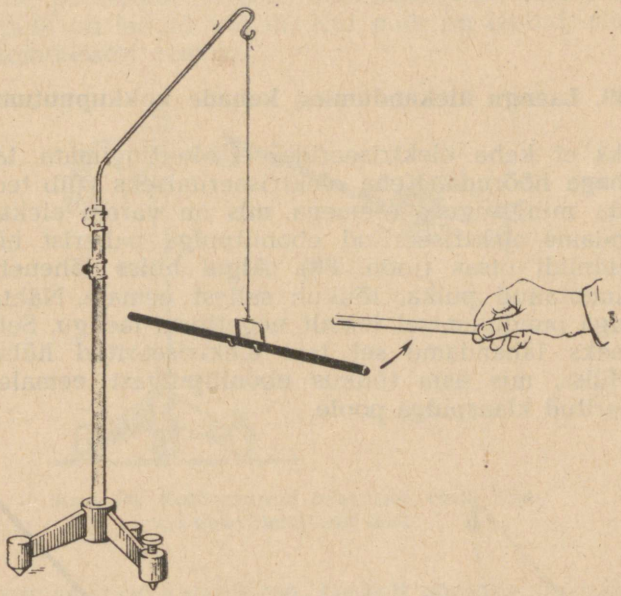
Elektriseerime villase riidega hõõrudes kaks eboniitpulka. Ühe neist riputame üles, nii nagu see on näidatud joonisel 86, ja lähendame sellele teise pulga. Näeme, et elektriseeritud eboniitpulgad tõukuvad.



Joon. 86. Elektriseeritud eboniitpulgad tõukuvad teineteisest eemale.

Täpselt sama tulemuse saame siis, kui eboniitpulkade asemel võtame siidiga hõõrutud klaaspulgad.

Lähendame elektriseeritud eboniitpulgale siidiga hõõrutud klaaspulga. Märkame, et eboniitpulk tõmbub klaaspulga poole (joon. 87).



Joon. 87. Elektriseeritud eboniit- ja klaaspulk tõmbuvad teineteise poole.

Seega elektriseeritud kehad kas tõmbuvad teineteise poole või tõukuvad eemale.

Millega seletada sellist erinevust elektriseeritud kehade vastastikuses mõjus? Ilmselt sellega, et eboniitpulgal tekib elektriseerimisel teist liiki elekter kui klaaspulgal. Elektriliste nähtuste üksikasjalik uurimine näitab, et see oletus on õige.

Siidiga hõõrutud klaaspulga elektrilaengut nimetatakse kokkuleppeliselt p o s i t i i v s e k s, karusnahaga hõõrutud eboniitpulga laengut aga n e g a t i i v s e k s. Ühed kehad elektriseeruvad nii nagu klaaspulk, s. t. positiivselt, teised aga nagu eboniitpulk — negatiivselt.[1]

[1] Klaaspulga laengut nimetati positiivseks muidugi meelevaldselt. Samuti oleks võinud lugeda positiivseks ka laengut, mis tekib eboniidi elektriseerimisel. Nagu hiljem näeme, oleks selline kokkulepe isegi mugavam.

Looduses on olemas kahte liiki elektrilaenguid — positiivseid ja negatiivseid.

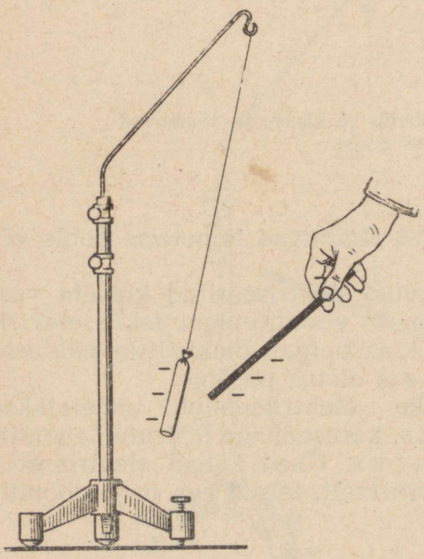
Positiivseid laenguid tähistatakse märgiga «+» (pluss), negatiivseid märgiga «—» (miinus).

Meie poolt tehtud katsed näitavad, et **samanimeliselt laetud kehad** (näiteks kaks eboniitpulka) **tõukuvad** ja **erinimeliselt laetud kehad** (eboniitpulk ja klaaspulk) **tõmbuvad.**

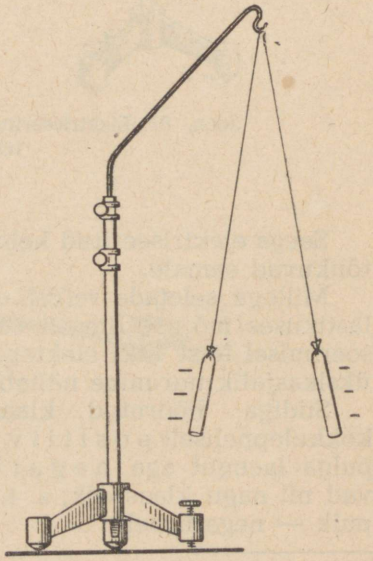
§ 39. Laengu ülekandumine kehade kokkupuutumisel.

Selleks et keha elektriseerida, ei ole tingimata tarvis teda teise kehaga hõõruda. Keha elektriseerimiseks võib teda näiteks puudutada mingisuguse esemega, mis on varem elektriseeritud.

Lähendame elektriseeritud eboniitpulga paberist hülsile, mis ripub siidniidi otsas (joon. 88). Algul hülss läheneb pulgale, kuid, puudutanud pulka, tõukub sellest eemale. Nähtavasti sai hülss pulga puudutamisel temalt negatiivse laengu. Selle oletuse tõestamiseks lähendame sel teel elektriseeritud hülsile klaaspulga. Hülss, mis äsja tõukus eboniitpulgast eemale, tõmbub elektriseeritud klaaspulga poole.



Joon. 88. Paberist hülss, puutunud vastu elektriseeritud pulka, tõukub sellest eemale.

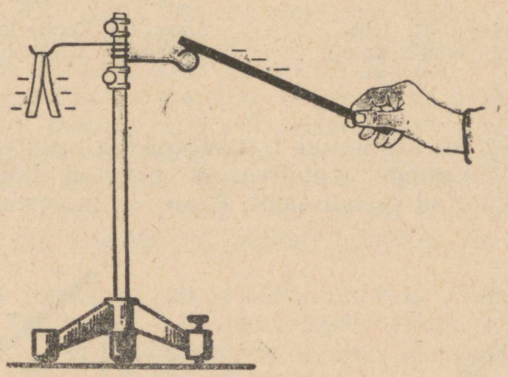


Joon. 89. Samanimeliselt laetud paberist hülsid tõukuvad teineteisest eemale.

§ 40. Elektroskoop.

Laeme kaks siidniitide otsa riputatud paberist hülssi samanimeliste laengutega. Selleks puudutame hülsse laetud eboniitpulgaga. Pärast seda hülsid tõukuvad teineteisest eemale (joon. 89).

Järelikult, puudutades hülsse eboniitpulgaga, võime kindlaks teha, kas pulk on laetud või ei. Kui pulk on laetud, siis hülsid tõukuvad teineteisest eemale.



Joon. 90. Kokkumurtud pabeririba otsad lähevad elektriseerimisel laiali.

Teeme samasuguse katse kitsa, keskelt pooleks murtud paberiribaga. Riputame pabeririba metalltraadile, mis on kinnitatud eboniidist alusele. Kui puudutada traati elektriseeritud pulgaga, siis osa laengut kandub pulgalt traadile ja paberiribale. Pabeririba otsad lähevad seejuures laiali (joon. 90).

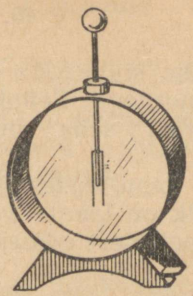
Selliste katsete abil võime kindlaks teha keha elektrilist olekut. Vaadeldud füüsikalisel nähtusel põhineb kehade elektriseeritud olekut näitava riista — elektroskoobi[1] töötamine.

Joonisel 91 on kujutatud lihtne elektroskoop. See koosneb metallvardast *A*, mille ühes otsas on kuulike *B*. Varda teise otsa külge on kinnitatud kaks paberilehekest *C*. Varda alumine ots koos lehekestega on paigutatud klaaskesta. Klaaskest kaitseb õhukesi lehekesi vigastuste eest ja võimaldab vaadelda lehekeste kõrvalekaldumist vardast varda elektriseerimisel. Kui laadida elektroskoobi kuulike, siis saavad laengu ka lehekesed. Elektriseeritud lehekesed tõukuvad vardast eemale ja lähevad mingi nurga all laiali.

[1] Elektroskoop tuleneb kreekakeelsetest sõnadest *elektron* ja *skopeo* — vaatlema, avastama.

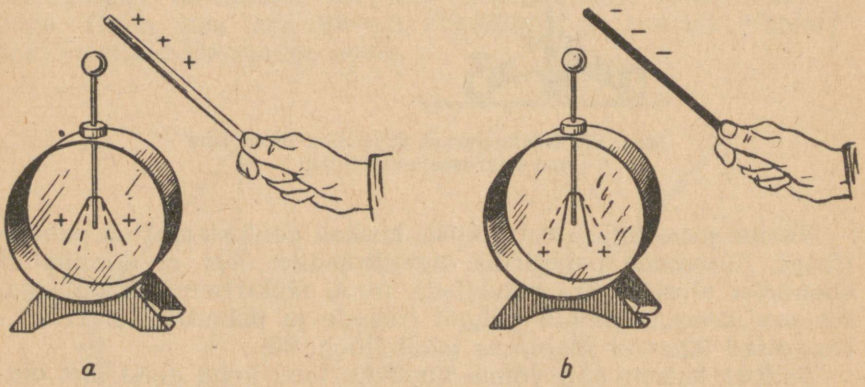


Joon. 91. Lihtsaim elektroskoop.



Joon. 92. Koolis kasutatav elektroskoop.

Joonisel 92 on kujutatud teistsuguse ehitusega elektroskoop. Selles on lehekestega metallvarras pistetud läbi plastmassist korgi ja paigutatud metallraami. Raam on mõlemalt küljelt kaetud klaasiga.



a *b*

Joon. 93. Elektroskoobiga samanimeliselt (*a*) ja erinimeliselt (*b*) laetud keha mõju elektroskoobile. Punktiirjoontega on näidatud lehekeste algasend.

Kui laetud elektroskoobile lähendada temaga samanimeliselt laetud keha, siis elektroskoobi lehekesed lähevad veel tugevamini laiali (joon. 93, *a*). Kui aga elektroskoobile lähendada temaga erinimeliselt laetud keha, siis märkame, et elektroskoobi lehekeste vaheline nurk väheneb (joon. 93, *b*). Seega elektroskoop võimaldab kindlaks teha, milline laeng on ühel või teisel kehal.

Elektroskoobiga võib hinnata ka keha laengu suurust. Mida suurem on nurk, mille võrra lehekesed lähevad elektroskoobi laadimisel laiali, seda tugevamini on elektroskoop laetud, seda suurem elektrilaeng talle anti.

Harjutus 15. 1. Niitide külge on riputatud kaks ühesugust paberist hülssi. Üks on laetud, teine laadimata. Kuidas teha kindlaks, kumb hülssidest on laetud?

2. Elektriseeri plastmassist kamm, hõõrudes teda villase riidega. Tee kindlaks kammi laengu märk, kasutades selleks klaaspulga abil positiivselt laetud elektroskoopi.

§ 41. Elektriväli.

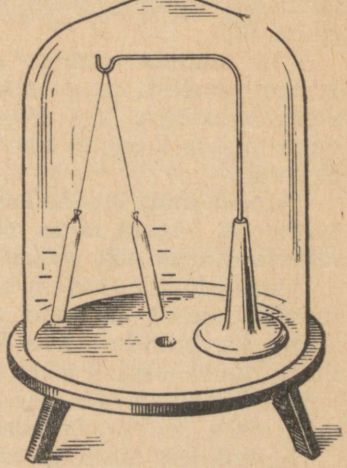
Katsed, mis näitavad elektrilaengute tõmbumist või tõukumist, veenavad meid selles, et elektrilaengud mõjutavad teineteist kaugelt, teatud vahemaa tagant. Seejuures on vastastikune mõju seda tugevam, mida lähemal on laengud teineteisele, ja seda nõrgem, mida kaugemal nad on.

Mehhaanikat õppides nägime, et üks keha mõjub teisele kas kehade vahetul kokkupuutel või teiste kehade, näiteks vee või õhu kaudu. Kuidas seletada elektriseeritud kehade vastastikust mõju? Meie katsetes asusid elektriseeritud kehad teineteisest teatud kaugusel. Võib-olla etendas siis peaosa õhk, mis oli kehade vahel? Kuid laetud kehad mõjutavad teineteist ka õhuta ruumis (joon. 94).

Elektriliste nähtuste pikaajalise uurimise tulemusena tehti kindlaks, et iga laetud keha ümbritseb elektriväli. Meie meeleorganid ei taju elektrivälja. Välja olemasolu võib kindlaks teha seetõttu, et ta mõjub igale temas olevale laengule. Sellega seletubki elektriseeritud kehade vastastikune mõju. Üht laengut ümbritsev elektriväli mõjub teisele laengule ja, vastupidi, teise laengu väli mõjub esimesele. Kui me lähendame laetud pulga laetud hülsile (joon. 88) ja vaatleme hülsi tõukumist, siis pulga mõju kaudu hülsil asuvale laengule teemegi kindlaks pulga elektrivälja.

Katse hülsiga näitab, et välja mõjul laeng nihkub. Selle nihke suund sõltub laengu märgist ja samuti ka elektrivälja tekitava laengu märgist. Näiteks negatiivne laeng liigub positiivse laengu väljas positiivse laengu poole, negatiivse laengu väljas aga eemaldub laengust.

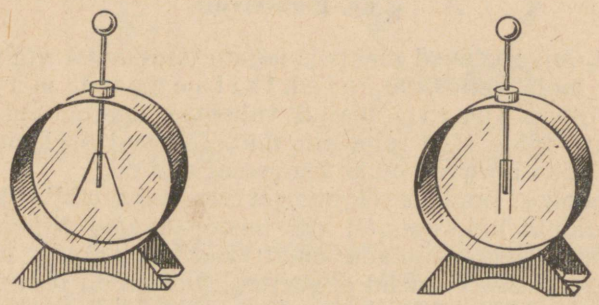
Laengu lähedal välja mõju on tugevam, laengust eemaldumisel välja mõju nõrgeneb. Laetud keha, mis asub teistest kehadest eemal, on nagu oma elektrivälja keskpunktiks.



Joon. 94. Laetud kehad mõjutavad teineteist ka õhutühjas ruumis.

§ 42. Elektrijuhid ja isolaatorid.

Soojusnähtuste õppimisel VI klassis selgus, et soojusjuhtimise võime järgi jagunevad ained headeks ja halbadeks soojusjuhtideks. Elektrilaengute edasiandmise võime järgi jagunevad ained juhtideks ja mittejuhtideks.



Joon. 95. Katse kahe elektroskoobiga; üks elektroskoop on laetud, teine laadimata.

Teeme järgmise katse. Laeme elektroskoobi (joon. 95) ja ühendame ta seejärel eboniitkäepideme külge kinnitatud traadi abil teise elektroskoobiga, mis on laadimata. Niipea kui traat puudutab mõlema elektroskoobi kuulikesi, langevad esimese elektroskoobi lehekesed veidi koomale, teise lehekesed aga eemalduvad teineteisest. See tähendab, et osa esimese elektroskoobi laengust kandus mööda traati üle teisele elektroskoobile (joon. 96).

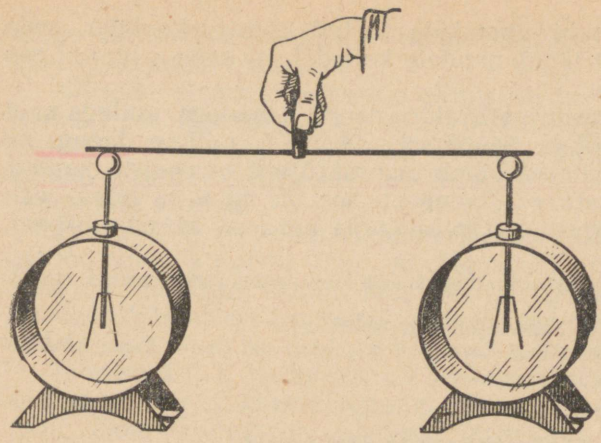
Kui laadida esimene elektroskoop ja ühendada ta seejärel mitmesugustest materjalidest traatide või plaatide abil teise elektroskoobiga, siis selgub, et ühed materjalid on niisugused, mida mööda laengud kanduvad üle, teisi mööda aga laengud üle ei kandu.

Aineid, mida mööda laengud kanduvad üle, nimetatakse elektrijuhtideks. Aineid, mida mööda laengud üle ei kandu, nimetatakse mittejuhtideks ehk isolaatoriteks[1].

Head elektrijuhid on metallid, maapind, vesi, milles on lahustunud soolasid, happeid või aluseid, ja grafiit (näiteks pliiatsisüda). Ka inimese keha juhib elektrit. Seda võib näidata väga lihtsa katse abil. Puudutame käega laetud elektroskoopi. Selle lehekesed langevad otsekohe alla. Elektroskoobi laeng kandus meie keha ja toa põranda kaudu maasse.

Metallidest on kõige paremad elektrijuhid hõbe, vask ja alu-

[1] Isolaator tuleneb itaaliakeelsest sõnast *isolare*, mis tähendab eraldama.



Joon. 96. Osa elektroskoobi laengust läks metalltraati mööda üle teisele elektroskoobile.



Joon. 97. Portselanisolaator juhtmete kinnitamiseks.

miinium. Elektrivõrgu juhtmed tehakse enamasti vasest või alumiiniumist.

Heade isolaatorite hulka kuuluvad eboniit, merevaik ja teised vaikained, portselan, kummi, mitmesugused plastmassid, siid, kaproon, petrooleum ja õlid. Toa elektrijuhtmestiku vaskjuhtmed on ümbritsetud kummist kesta ja puuvillast punutisega või on suletud plastmassist torukesse. Välisvõrgu juhtmed on kinnitatud postide külge portselanist isolaatorite abil (joon. 97).

§ 43. Maandamine.

Laetud keha ühendamisel maaga[1] (maandamisel) läheb laeng maasse ja keha jääb laenguta. Kuidas seda nähtust seletada?

Kui ühendasime laetud elektroskoobi juhi abil laadimata elektroskoobiga (joon. 96), siis laeng jagunes kahe ühesuguse riista vahel. Võib arvata, et laeng jagunes pooleks. Seega esimesele elektroskoobile jäi umbes pool sellest laengust, mis tal oli varem. Kui ühendaksime laetud elektroskoobiga kaks samasugust laadimata elektroskoopi, siis esimesele jääks üks kolmandik tema endisest laengust; nelja elektroskoobi korral jääks igale elektroskoobile neljandik laengust, kümne korral kümnendik jne. Mida

[1] Praktiliselt tehakse maandus maaga ühendatud traadi abil. Traat tinutatakse harilikult maasse kaevatud plaadi külge.

rohkem laadimata kehi ühendada laetud elektroskoobiga, seda suurem osa laengust läheb nendele kehadele ja seda väiksem osa jääb elektroskoobile.

Maakera on hiiglasuur, võrreldes nende kehadega, millega meil tuleb tegelda praktikas. Seepärast, ükskõik milline laeng ka kehal poleks, maandamisel läheb ta praktiliselt tervenisti maasse. Kehale jääb tähtsusetu osa laengust: see on nii mitu korda esialgsest laengust väiksem, kui mitu korda keha on Maast väiksem.

Harjutus 16. 1. Mispärast eboniitpulka saab käes hoides elektriseerida, metallvarrast aga ei saa?
2. Uuri, millest on tehtud elektrijuhtmete isolatsioon.
3. Mispärast elektrimontöörid kasutavad mõnikord töö juures kummikindaid?

§ 44. Prootonid ja elektronid.

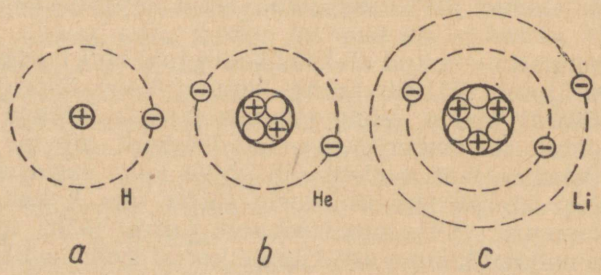
Kui laetud elektroskoop ühendada juhi abil laadimata elektroskoobiga (joon. 96), siis laeng jaguneb mõlema elektroskoobi vahel pooleks. Jaotatud laenguid võib uuesti jaotada kaheks laenguks jne.

Kas laengu jaotamisel on piir? Kas võib saada sellise suurusega laengut, mida ei saa enam edasi jaotada?

Sellele küsimusele vastuse leidmiseks tuletame meelde, et kõik kehad koosnevad molekulidest, mis omakorda koosnevad aatomitest (vt. VI klassi õpik, § 73).

Paljude katsete abil on kindlaks tehtud, et aatomil on keerukas ehitus. Aatom koosneb omakorda veel väiksematest osakestest. Aatomi koosseisu kuuluvad kahte liiki laetud osakesed — prootonid ja elektronid. Prootonid on positiivse laenguga, elektronid aga negatiivse laenguga osakesed. Elektroni laeng on suuruselt võrdne prootoni laenguga.

Aatomi koosseisu kuuluvate osakeste laengud on looduses



Joon. 98. Vesiniku, heeliumi ja liitiumi aatomi skeemid. Märgiga ⊕ on tähistatud prootonid, märgiga ⊖ elektronid ja märgiga ○ neutronid.

kõige väiksemad. Teadus ei tunne elektroni (või prootoni) laengust väiksemaid laenguid.

Mõnede ainete molekulide ehitus on kujutatud skemaatiliselt joonisel 98. Aatomi keskel asub positiivselt laetud tuum, mille koosseisu kuuluvad prootonid.[1] Tuuma ümber tiirlevad mööda kinnisi orbiite elektronid. Elektronide arv on võrdne tuuma prootonite arvuga.

Joonisel 98, *a* on kujutatud vesiniku aatomi skeem. Vesiniku aatomi tuum koosneb ühest prootonist. Tuuma ümber tiirleb üks elektron. Elektroni orbiidi läbimõõt on ligikaudu 0,00000004 cm, tuuma mõõtmed on aga sellest umbes kaks miljonit korda väiksemad.

Joonisel 98, *b* on kujutatud heeliumi aatomi skeem. Heeliumi aatomi tuumas on kaks prootonit. Tuuma ümber tiirleb kaks elektroni. Oma keerukuse poolest järgmine on liitiumi aatom (joon. 98, *c*). Tema tuumas on kolm prootonit ja tuuma ümber tiirleb kolm elektroni.

Looduses esinevatest aatomitest on kõige keerulisem uraani aatom. Uraani tuumas on 92 prootonit; tuuma ümber tiirleb 92 elektroni.

Aatomite koosseisu kuuluvad positiivselt ja negatiivselt laetud osakesed. Kuna aga positiivsed ja negatiivsed laengud on võrdsed, siis aatomid on elektriliselt neutraalsed.

§ 45. Elektronide osa kehade elektriseerimisel.

Võib juhtuda, et aatom kaotab ühe või mitu elektroni. Aatomisse jäänud elektronide laeng tuuma positiivset laengut sel juhul enam ei tasakaalusta. Aatom on laetud positiivselt.

Positiivselt laetud kehas on elektrone vähem kui keha aatomite tuumades prootoneid. Elektronide ülejäägi korral on keha laetud negatiivselt. Kehale laengu andmine tähendab keha elektronide ja prootonite arvu vahelise tasakaalu rikkumist.

Erinevate kehade, näiteks klaasi ja siidi hõõrumisel või kokkupuutumisel läheb teatud hulk elektrone üle ühelt kehalt teisele. Elektronid lähevad klaasilt üle siidile, mille tulemusena klaas saab positiivse laengu, siid aga negatiivse. Nagu katsed näitavad, on seejuures mõlema märgiga laengud suuruselt võrdsed.

Selleks et laenguid teineteisest eraldada, peab ületama erinimeliste laengute vahelise tõmbejõu. Kehade elektriseerimine on

[1] Peale prootonite kuuluvad tuuma koosseisu veel laenguta osakesed. Neid nimetatakse neutroniteks (nad on elektriliselt neutraalsed). Aatomi tuum võtab enda alla tähtsusetult väikese osa aatomi ruumalast. Aatomi mass aga on peaaegu tervenisti koondunud tuuma, sest et elektronide mass on kogu aatomi massiga võrreldes väga väike.

seotud energia kuluga. Näiteks elektriseerimiseks hõõrdumise teel kulub mehhaanilist energiat. Teistel juhtudel võib elektriseerimine toimuda ka teiste energialiikide arvel.

Metallide aatomites on mõned elektronid seotud tuumaga nõrgalt. Nad eralduvad kergesti aatomitest ja liiguvad korrapäratult metalli sees. Selliseid elektrone nimetatakse vabadeks elektronideks. Metallide hea elektrijuhtivus seletubki vabade elektronide olemasoluga. Negatiivselt laetud elektronid, mis ei ole seotud aatomitega, võivad metallis elektrivälja mõjul liikuda.

Prootonitega seotud positiivsed laengud kuuluvad aatomite tuumade koosseisu. Elektrilistes nähtustes tahkete kehade aatomite tuumad säilitavad oma asendi. Järelikult positiivsed laengud juhtides ei liigu.

Isolaatorites vabu laenguid ei ole. Seepärast isolaatorid elektrit ei juhi.

Kui ühendame negatiivselt laetud keha maaga, siis üleliigsed elektronid lähevad mööda ühendusjuhet maasse ja keha kaotab laengu. Kui aga maandada positiivselt laetud keha, millel on elektronide puudujääk, siis toimub vastupidine protsess: elektronid tulevad maast sellesse kehasse, neutraliseerivad tema positiivse laengu ja keha kaotab oma laengu. Juhis, mis ühendab laetud keha maaga, toimub mõlemal juhul teatud aja vältel elektronide suunatud liikumine.

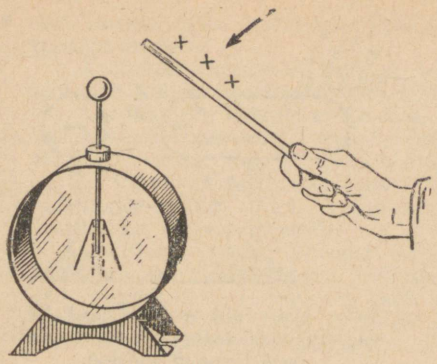
§ 46. Kehade elektriseerimine mõju abil.

Lähendame laenguta elektroskoobile elektriseeritud pulga. Pulgal asuvate elektronide elektriväli avaldab elektroskoobile mõju. Tema lehekesed lähevad laiali (joon. 99). Järelikult elektroskoop omandab laengu. Eemaldame pulga. Lehekesed langevad alla ja elektroskoop on jällegi laadimata (joon. 100).

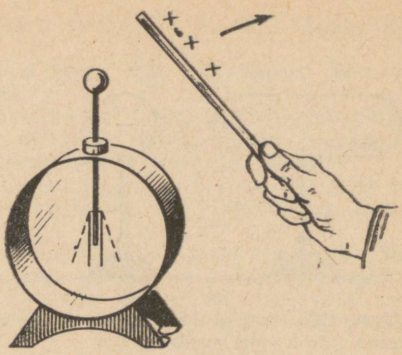
Kuidas tekivad elektroskoobil laengud, kui talle lähendada laetud keha? Mispärast need laengud keha eemaldamisel kaovad?

Vabad elektronid jagunevad laadimata elektroskoobi vardas ühtlaselt ja tasakaalustavad aatomite tuumade positiivse laengu. See on skemaatiliselt näidatud joonisel 101. Elektronid on joonisel kujutatud punktikestena.

Kui elektroskoobile lähendame laetud keha, siis elektroskoobi varras satub elektrivälja. Välja mõjul vabad elektronid paigutuvad metallis ümber. Kui lähendada elektroskoobile positiivselt laetud keha, siis elektronid kogunevad tema kuulikesele (joon. 102, *a*). Kui aga elektroskoobile lähendada negatiivne laeng, siis elektriväli tõukab elektronid varda alumisse otsa (joon. 102, *b*). Elektroskoobi varda otsad omandavad mõlemal juhul laengu. Varda otsas, mis on juurdetoodud kehale lähemal, tekib alati



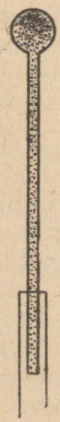
Joon. 99. Laetud keha lähendamisel elektroskoobi lehekesed lähevad laiali.



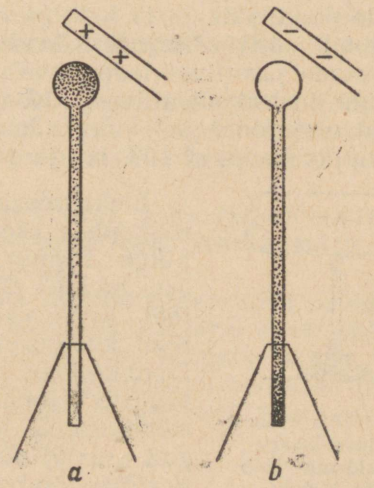
Joon. 100. Kui laetud keha eemaldada, siis elektroskoop kaotab oma laengu.

selle keha laenguga võrreldes erinimeline laeng; varda kaugemas otsas tekib aga alati laeng, mis on juurdetoodud laenguga samanimeline.

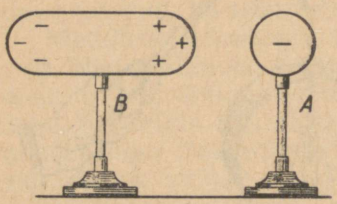
Juhi elektriseerimist mingisuguse laengu väljas nimetatakse elektriseerimiseks mõju abil. Kui mõjuv laeng eemal-



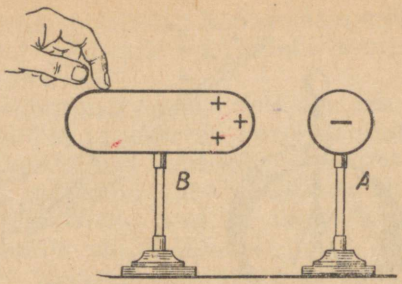
Joon. 101. Laadimata elektroskoobis on vabad elektronid jaotunud ühtlaselt.



Joon. 102. Kui juht asub mingi laengu väljas, siis elektronid temas ei ole enam jaotunud ühtlaselt.



Joon. 103. Laengute eraldumine juhis, mis asub laetud keha lähedal.



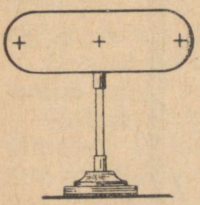
Joon. 104. Juhi maandamisel lähevad mõjuva laenguga samanimelised laengud maasse.

dada (joon. 100), siis elektronid jagunevad juhil uuesti ühtlaselt ja juht ei ole enam laetud.

Kasutades elektriseerimist mõju abil võib laenguid juhil mitte ainult ajutiselt eraldada, vaid ka juhti elektriseerida.

Lähendame negatiivselt laetud kehale *A* (joon. 103) laenguta juhi *B*, mis asub isoleerival alusel. Laengu *A* väljas juht *B* elektriseerub mõju teel. Laengu *A* välja mõjul vabad elektronid kogunevad laengust kaugematesse juhi *B* osadesse. Maandame juhi *B*, puudutades teda näiteks käega (joon. 104). Elektronid lähevad otsekohe mööda kätt maasse. Juhis *B* tekib elektronide puudujääk ja ta jääb positiivselt laetuks (joon. 105).

Samal viisil võib juhi *B* laadida ka negatiivselt. Selleks tuleb ta asetada positiivse laengu välja. Pärast lühiajalist maandamist on juht laetud negatiivselt. Kontrolli, millises juhi osas asuvad vabad elektronid sel juhul. Joonista katse kolm etappi, võttes eeskujuks joonised 103, 104 ja 105.



Joon. 105. Pärast mõjuva laengu eemaldamist jääb juht laetuks.

Elektriseerimisega mõju abil seletub ka mitmesuguste esemete tõmbumine laetud kehade külge. Laetud keha lähedale viidud laenguta ese, näiteks paberist hülss, elektriseerub mõju teel. Keha väli mõjub hülsil tekkinud laengutele, kusjuures positiivsetele ja negatiivsetele laengutele on see mõju erineva suurusega. Keha tõmbab erinimelisi laenguid tugevamini, kui ta samanimelisi tõukab, sest samanimelised laengud asuvad alati mõjuvast laengust kaugemal. Seetõttu tõmbub hülss laetud keha külge.

Harjutus 17. 1. Kehade elektriseerimisel hõõrdumise teel läheb teatud hulk elektrone ühelt kehalt teisele. Kirjelda, kuhu lähevad elektronid üle eboniidi hõõrumisel villase riidega.

2. Kerged paberitükikesed tõmbuvad laetud pulga külge paremini siis, kui

nad asuvad mitte isolaatoril, vaid juhtival maandatud plaadil. Millega seda tõsiasja seletada?

3. Kuidas jagunevad laengud juhil *B* (joon. 103), kui temale lähendada mõlemalt küljelt negatiivselt laetud keha?

4. Mõju abil elektriseeritud keha maandamisel (joon. 104) lähevad mõjuva laenguga samanimelised laengud maasse, sõltumata sellest, millises punktis me juhti puudutame. Kontrolli seda nähtust katse abil ja püüa seda seletada.

5. Võta vana grammofoniplaat (või orgaanilise klaasi tükk) ja lame plekist kompvekikarp. Karbi külge kinnita kirjalakist või orgaanilisest klaasist valmistatud isoleeriv käepide.

Elektriseeri plaat, hõõrudes seda villase riide või kuiva paberiga. Pane plaadile karp. Puuduta karpi sõrmega ja võta ta seejärel isoleeriva käepideme abil plaadilt ära. Veendu, et karp on tugevasti laetud. Sel teel võib karpi laadida mitu korda, ilma et plaadi hõõrumist tarvitseks korrata. Kirjeldatud riista nimetatakse elektrofooriks.

§ 47. Elektrivool.

Kui räägitakse elektrienergiast, mida kasutatakse lampide, masinate ja tööpinkide toiteks, siis mõeldakse selle all elektrijaamadest mööda juhtmeid lampidesse ja elektrimootoritesse juhitud elektrivoolu energiat.

Mis on siis elektrivool ja milles avaldub tema toime?

Laengute liikumisega me puutusime kokku juba varem, näiteks laetud elektroskoobi ühendamisel laenguta elektroskoobiga. Ühendusjuhtmes liiguvad vabad elektronid laetud keha elektrivälja mõjul. Sellist **elektronide suunatud liikumist juhis nimetatakse elektrivooluks.**

Laetud keha maandamisel tekib maandusjuhtmes elektrivool. See vool kestab väga lühikest aega: laengud lähevad kiiresti maasse, keha kaotab laengu ja voolu tekkimise peamine põhjus — elektriväli — kaob.

Kui me tahame voolu pikemat aega juhis säilitada, siis peab kogu selle aja jooksul mõjuma elektriväli. Selleks tuleb kehale anda pidevalt juurde uusi laenguid.

Keha laengut võib täiendada mitmesugusel viisil. Kõige lihtsam oleks keha laadida elektriseeritud pulgaga. Praktiliselt see viis ei sobi, sest pulga hõõrumisel on võimatu saada vähegi suuremaid laenguid, samuti on pulga elektriseerimise protsess väga aeglane. Praktikas tekitatakse elektrivool teiste võtetega, näiteks keemiliste reaktsioonide abil.

§ 48. Galvaanielemendid.

Itaalia teadlane Alessandro Volta avastas XVIII saj. lõpul, et metalli reageerimisel happega toimub laengute eraldumine. Metallplaat, mis on pandud happe lahusesse, elektriseerub negatiivselt, happe lahus aga positiivselt.

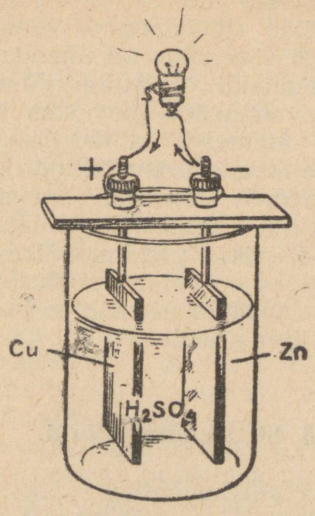


Alessandro Volta (1745—1827) — itaalia füüsik, üks elektrivoolu õpetuse rajajatest. Volta leiutas esimese galvaanielemendi, elektrofoori ja elementide patarei (Volta samba), mis andis kõrge pingega voolu.

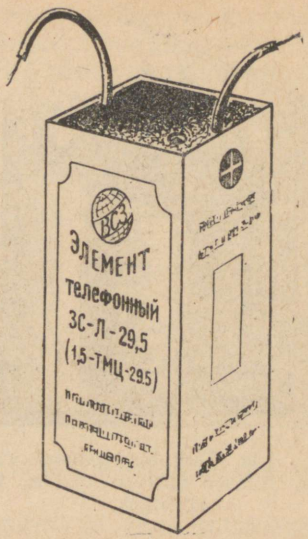
Tuginedes sellele nähtusele, ehitas Volta esimese keemilise elektrivoolu allika, mida hakati nimetama galvaanielemendiks (Volta kaasaegse, elektrivoolu nähtuse avastaja L. Galvani nime järgi). Tunduvalt täiustatud galvaanielemendid on ka praegu taskulampide, välitelefonide, raadiovastuvõtjate ja raadiosondide vooluallikateks.

Volta element (joon. 106) koosneb tsink- ja vaskplaadist, mis on asetatud väävelhappe (H_2So_4) vesilahusesse. Happega reageerides omandab tsink negatiivse, hape ja vaskplaat aga positiivse laengu. Laetud plaatide ümber tekib elektriväli. Välja mõjul peaksid elektronid liikuma tsinkplaadilt vaskplaadile. Kuid läbi õhu või mööda puust lauakest, mille külge on kinnitatud plaadid, ei saa elektronid liikuda — õhk ja puu on mittejuhid. Kui aga elemendi klemmid ehk nn. poolused ühendada juhi abil, siis juhis tekib elektrivool (joonisel on elemendi poolused ühendatud väikese elektrilambi kaudu).

Volta elemendist saadav vool nõrgeneb töötamisel kiiresti. Seetõttu Volta elementi praktikas ei kasutata. Praegu on kõige enam levinud kuivelemendid. Kuivelemendid on saanud oma nime sellest, et hariliku lahuse asemel on neis paks pasta, mis elemendi kallutamisel ei voola välja.



Joon. 106. Volta element. Nooled näitavad elektronide liikumise suunda.

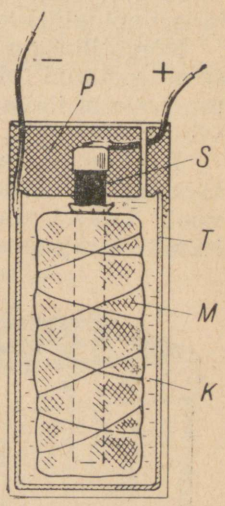


Joon. 107. Kuivelement.

Joonisel 107 on näidatud kuivelemendi väliskuju ja joonisel 108 — elemendi ehitus. Element koosneb tsinkanumast, milles asub söevarras. Varras on paigutatud linasest riidest kotikesse, mis on täidetud mangaanülihapendi (MnO_2) ja söe seguga. Vedeliku asemel kasutatakse elemendis paksu kliistrit. See on valmistatud jahust ja salmiaagilahusest (NH_4Cl). Tsinkanum on pandud papist karpi ja pealt kaetud pigikihiga. Pigikihti on tehtud väike ava, mille kaudu pääsevad välja elemendi töötamisel tekkivad gaasid.

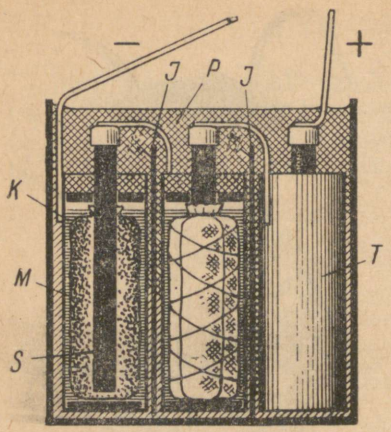
Elemendi positiivseks pooluseks on söevarda küljes olev klemm ja negatiivseks pooluseks tsinkanum.

Taskulambipatarei[1] koosneb väikesemõõdulistest kuivelementidest (joon. 109). Üks galvaanielement ei suuda tekitada lambikeses küllaldaselt voolu. Selleks et lambike põleks heledalt, kasutatakse kolme patareiks ühenda-



Joon. 108. Kuivelemendi ehitus: *T* — tsinkanum, *S* — söevarras, *M* — mangaanülihapendiga täidetud kotike, *K* — kliistrikiht ja *P* — pigikiht. Pluss- ja miinusmärkidega on tähistatud elemendi poolused.

[1] Patareiks nimetatakse mitut üksteisega ühendatud galvaanielementi.



Joon. 109. Taskulambipatarei läbilõige. Tähised ühtivad joonise 108 tähistega.

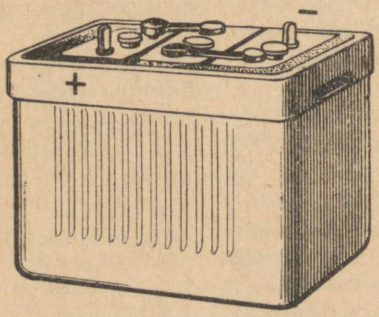
tud elementi. Joonisel on näidatud elementide ühendamine: esimese elemendi söevarras on ühendatud teise elemendi tsinksilindrikesega ja teise elemendi söevarras kolmanda elemendi silindrikesega. Esimese elemendi tsinksilindrikese ja kolmanda elemendi söevarda küljest on toodud läbi isolaatori (pigikihi) välja plekkplaadikesed. Plaadikesed on patarei poolusteks: esimene neist on negatiivne ja teine positiivne poolus.

§ 49. Akumulaatorid.

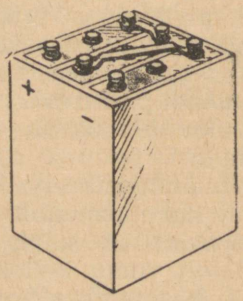
Galvaanielementide töötamisel kuluvad ära elektroodide aine ja lahus. Teatud aja möödumisel tuleb elemendid asendada uutega. Tunduvalt mugavam on kasutada vooluallikatena akumulaatoreid[1].

Kõige lihtsam akumulaator koosneb kahest väävelhappe lahusesse asetatud pliiplaadist. Kui ehitada selline akumulaator ja proovida ta töötamist elektrikõlisti või väikese elektrilambiga, siis võime veenduda, et see akumulaator voolu ei anna.

Et akumulaator muutuks vooluallikaks, on vaja teda «laadida». Laadimiseks lastakse läbi akumulaatori mingisuguse vooluallika vool. Teatud aja möödudes on akumulaator laetud ja teda võib kasutada iseseisva vooluallikana.



Joon. 110. Autodel kasutatav happeakumulaatorite patarei.



Joon. 111. Leelisakumulaatorite patarei.

[1] Akumulaator tuleneb ladinakeelsest sõnast *accumulare* — koguma.

Peale plii- ehk happeakumulaatori kasutatakse praegu laialdaselt raudnikkel- ehk leelisakumulaatoreid. Raudnikkelakumulaatori plaatideks on raudvõre pakid. Üks plaat sisaldab pressitud rauapulbrit ja teine nikkeloksiidi. Plaadid asuvad leelise (sööbekaaliumi — KOH) vesilahuses.

Joonisel 110 on kujutatud kolmest happeakumulaatorist koosnev patarei, mida kasutatakse autodel. Sillad, mida me näeme joonisel, ühendavad akumulaatorite negatiivseid pooluseid teiste akumulaatorite positiivsete poolustega.

Joonisel 111 on näidatud laboratoorset tüüpi leelisakumulaatorite patarei.

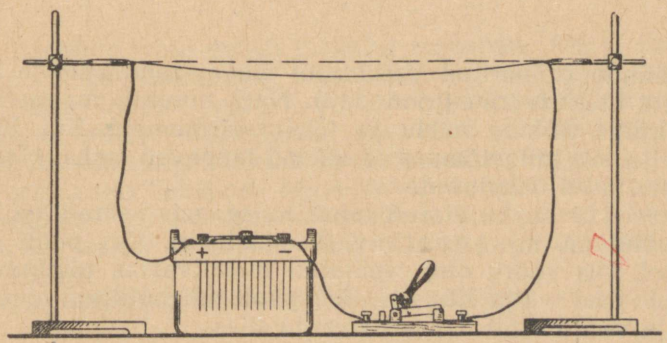
Akumulaatorite pooluseid tähistatakse märkidega «+» (positiivne) ja «—» (negatiivne). Laadimisel ühendatakse akumulaatori positiivne poolus vooluallika positiivse poolusega ja negatiivne poolus vooluallika negatiivse poolusega.

Laadimise ajal muutub akumulaatoris elektrienergia keemiliseks energiaks. Töötamisel muutub aga laadimisel kogutud keemiline energia uuesti elektrienergiaks.

Akumulaatoreid rakendatakse laialdaselt ja väga mitmesugusteks otstarveteks. Neid kasutatakse raudteevagunite ja autode valgustamiseks ja automootorite käivitamiseks. Võimsad akumulaatorite patareid varustavad allveelaevu elektrienergiaga. Ka Maa tehiskaaslastel asuvaid raadiosaatejaamu ja teaduslikku aparatuuri toidavad elektrivooluga tehiskaaslastele paigutatud akumulaatorid.

§ 50. Elektrivoolu toimed.

Elektrivoolu juhtides võib kindlaks teha toime järgi, mis ta esile kutsub. Tutvume voolu toimetega katsete abil.



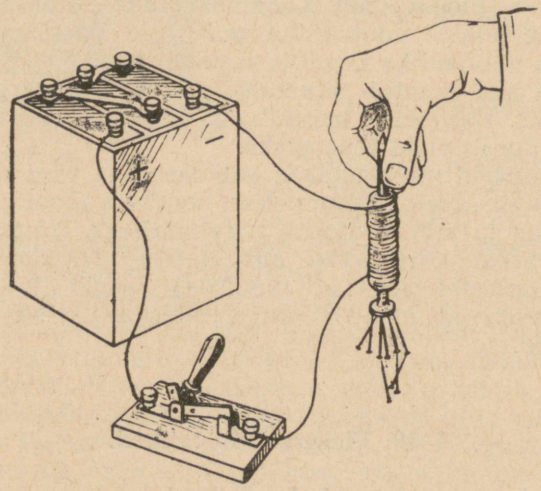
Joon. 112. Juht soojeneb teda läbiva elektrivoolu toimel. Juhi asend enne voolu sisselülitamist on näidatud punktiirjoonega.

1. Laseme voolu läbi traadi, mis on kahe statiivi vahele pingule tõmmatud (joon. 112). Traat soojeneb järk-järgult, pikeneb soojenemisel ja vajub longu. Elektrivool võib panna traadi punaselt hõõguma ja selle isegi läbi põletada.

Kui lasta vool läbi soola või happe vesilahuse, siis vedelik soojeneb samuti ja võib hakata keema.

Elektrivool soojendab alati juhti, mida ta läbib. Seejuures ilmneb voolu soojusliik toime.

Voolu soojusliku toimet kasutatakse näiteks elektrilampides, kus vool paneb peene metalltraadi heledalt hõõguma, elektripliitides, triikraudades jne.

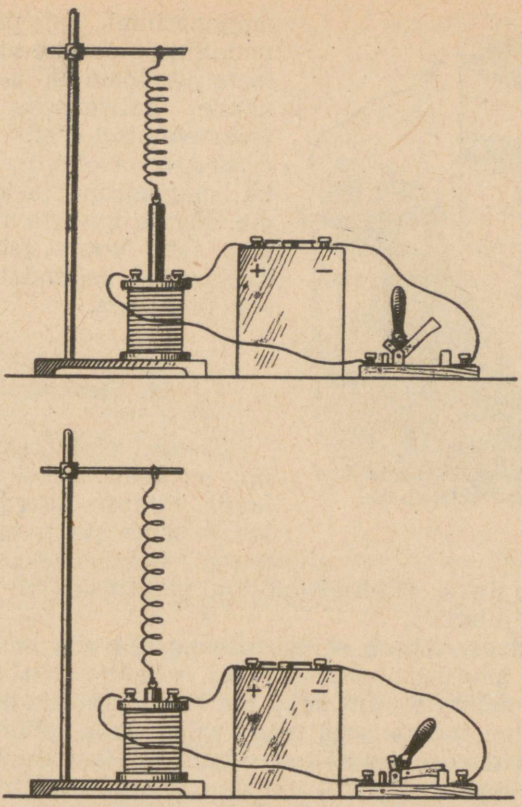


Joon. 113. Kui lasta naela ümber mähitud juhtmesse vool, siis muutub nael magnetiks.

2. Mähime isoleeritud vasktraadi ümber raudnaela ja laseme läbi traadi elektrivoolu (joon. 113). Nael muutub magnetiks. Ta tõmbab külge väikesi naelu ja teisi raudesemeid. Kui lülitame voolu välja, siis külgetõmmatud naelad langevad maha. Nael kaotab magnetilised omadused.

Joonisel 114 on kujutatud teine katse, mis samuti näitab, et elektrivoolul on magnetilised omadused. Kui pooli mähist läbib vool, siis vedru otsa riputatud metallvarras tõmbub pooli sisse. Kui vool välja lülitada, siis pooli magnetilised omadused kaovad ja vedru tõmbab uuesti varda üles.

Voolu magnetilisi omadusi rakendatakse praktikas väga palju. Voolu magnetilistel omadustel põhineb elektrimootorite ning paljude aparaatide ja seadmete (telegraafi, telefoni jt.) ehitus.

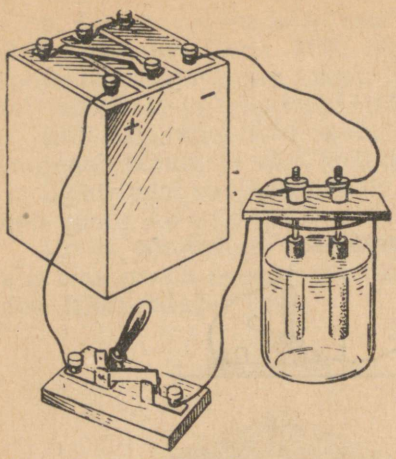


Joon. 114. Kui pooli lasta vool, siis pool tõmbab enda sisse raudsüdamiku.

3. Asetame vasevitrioli ($CuSO_4$) lahusesse kaks söepulka — elektroodi[1] ja ühendame nad akumulaatori poolustega (joon. 115). Mõne minuti pärast võtame elektroodid lahusest välja. Näeme, et sellele elektroodile, mis oli ühendatud akumulaatori negatiivse poolusega, tekkis õhuke punakas vasekiht. Vask eraldus vasevitrioli lahusest. Mida kauem voolu läbi lahuse lasta, seda rohkem vaske elektroodil eraldub. Voolu k e e m i l i n e toime avaldubki selles, et metall eraldub oma soola lahusest, kui vool läbib lahust.

Voolu keemilisel toimel põhineb näiteks alumiiniumi, vase,

[1] Elektroodideks nimetatakse vedelikku asetatud vardaid või plaate, mille ülesandeks on juhtida vedelikku elektrivoolu. Elektroodideks nimetatakse ka elementide ja akumulaatorite plaate.



Joon. 115. Katseseade voolu keemilise toime vaatlemiseks.

magneesiumi ja paljude teiste metallide tootmine ning metallesemete nikeldamine ja kroomimine nende kaitsmiseks korrosiooni (roostetamise) eest.

Seega on elektrivoolul soojuslik, magnetiline ja keemiline toime. Nende toimete abil saab kindlaks teha voolu esinemist juhis. Kõiki neid rakendatakse laialdaselt praktikas.

§ 51. Elektrihulga ühik.

Laeme elektroskoobi esialgu nii, et tema lehekesed lähevad laiali väikese nurga all. Seejärel laeme sama elektroskoobi tugevamini. Lehekestevaheline nurk suureneb. On ilmne, et teisel juhul oli elektroskoobil suurem laeng kui esimesel juhul.

Sellest katsest nähtub, et elektrilaeng võib olla väiksem või suurem. Laengu suurust nimetatakse ka e l e k t r i h u l g a k s. Elektrihulka võib mõõta samuti nagu iga teistki füüsikalist suurust.

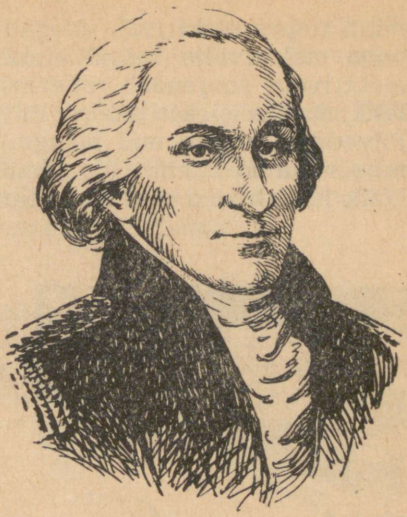
Elektrihulga mõõtmiseks tuleb valida talle mõõduühik. Elektroskoobi elektriseerimise näitest selgub, et elektrihulka võiks määrata kehas olevate liigsete või puuduvate elektronide arvuga. See viis on aga tülikas, sest elektrone ei ole võimalik loendada. Pealegi on elektroni laeng väga väike. Isegi väikeste, näiteks juuste kammimisel tekkivate laengute mõõtmisel tuleks tegemist teha tohutult suurte arvudega.

Elektrihulga ühiku määramiseks on mugav kasutada voolu keemilist toimet. Teame, et mida kauem vool kestab, seda suurem elektrihulk läbib soola lahust ja seda rohkem metalli eraldub vooluallika negatiivse poolusega ühendatud elektroodil.

Kokkuleppeliselt võeti elektrihulga ühikuks selline elektrihulk, mis läbides hõbenitraadi ($AgNO_3$) vesilahust, eraldab sellest 1,118 mg hõbedat. Seda ühikut nimetatakse **kuloniks** (prantsuse füüsiku Coulombi auks, kes 1785. aastal avastas elektrilaengute vastastikuse mõju seaduse). Lühendatult tähistatakse kulonit tähega C.

Kui üks kulon elektrit läbib mõne teise soola vesilahust, siis elektroodil eraldub teistsugune hulk metalli. Näiteks vaske eraldub 0,33 mg, rauda 0,193 mg ja tsinki 0,339 mg.

1 kulon elektrit on võrdne 6 250 000 000 000 000 000 ($6{,}25 \cdot 10^{18}$) elektroni või prootoni laenguga.



Charles Augustin Coulomb (1736—1806) — prantsuse füüsik. Avastas elektrilaengute vastastikuse mõju seaduse ja magnetpooluste vastastikuse mõju seaduse, uuris hõõrdumisseadusi ja leiutas tundlikud torsioonkaalud.

Harjutus 18. 1. Milline voolu toime esineb akumulaatori laadimisel?

2. Too näiteid voolu soojusliku toime kasutamisest.

3. Ava ettevaatlikult vana taskulambipatarei. Vaatle selle ehitust ja võrdle seda joonisega 109.

4. Voolu läbiminekul vasevitrioli lahusest eraldus elektroodil 0,4 mg vaske. Milline elektrihulk läbis lahust?

5. Mitu kulonit elektrit peab läbima hõbenitraadi vesilahust, selleks et lahusest eralduks 0,559 g hõbedat?

6. Elektrivoolu keemilise toime vaatlemise katses (joon. 115) läbis vasevitrioli lahust 180 kulonit elektrit. Kui palju muutus üks elektrood raskemaks?

7. Akumulaatori laadimiseks peab teadma, milline vooluallika poolustest on positiivne, milline negatiivne. Kuidas saada seda teada, kasutades voolu keemilist toimet?

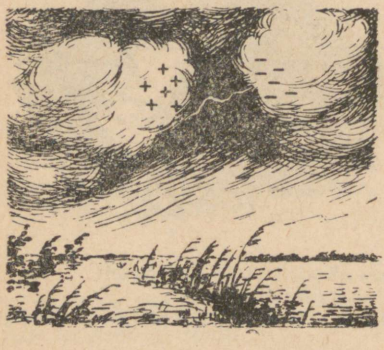
8. Vala klaasi vett ja lahusta selles mõned vasevitrioli kristallid. Pane lahusesse valge pleki ribad ja ühenda need taskulambipatarei poolustega. Vaatle vase eraldumist ühel plaadikestest.

§ 52. Elektrilised nähtused atmosfääris.

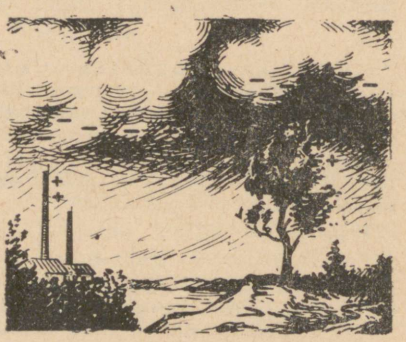
Tuhandete aastate jooksul nägid inimesed äikese ajal välku ja kuulsid müristamist. Nende nähtuste olemus aga sai selgeks alles pärast uurimusi, mida tegid XVIII sajandi vene teadlased M. V. Lomonossov ja G. Richmann ning ameerika teadlane V. Franklin. Nad tegid kindlaks, et välk on hiiglasuur elektrisäde atmosfääris.

Enne äikest kogunevad pilvedesse suured elektrilaengud. Seda soodustab asjaolu, et pilved asuvad kõrgel õhus ja laengud ei saa neist minna maasse. Kui kaks pilve, mis on laetud erinimeliste laengutega, satuvad teineteise lähedale, siis nende vahel

tekib tugev elektriväli. Negatiivselt laetud pilvest hakkavad tugeva elektrivälja mõjul elektronid liikuma läbi õhu. Tekkinud elektrivool soojendab tugevasti õhku, mistõttu see muutub küllaltki heaks elektrijuhiks. Pilvede vahel tekib välk (joon. 116). Pilvedesse kogunenud laengud lähevad mööda hõõguvast õhust moodustunud kanalit üle ühelt pilvelt teisele ja lahendus lõpeb. Välk kestab vaid murdosa sekundist.



Joon. 116. Pilvedevaheline välk.



Joon. 117. Välk pilve ja maa vahel.

Kuumenenud õhukihtide kiire ja tugev paisumine tekitab häälelaineid, mida me tajume müristamisena. Välk ja müristamine tekivad samaaegselt, kuid tavaliselt me kuuleme müristamist pärast seda, kui oleme näinud välku. Selle põhjuseks on asjaolu, et häälelained levivad õhus kiirusega 340 $\frac{m}{s}$, valgus levib aga peaaegu miljon korda suurema kiirusega (300 000 $\frac{km}{s}$).

Kestev kõuemürin esineb seetõttu, et erinevatest välgu osadest ei jõua häälelained meieni samaaegselt. Müristamist pikendab veel see, et hääl peegeldub pilvedest ja maapinnal asuvailt esemeilt.

Elektrilahendus (välk) võib toimuda mitte ainult kahe pilve vahel, vaid ka pilvede ja maa vahel (joon. 117). Kui näiteks laetud äikesepilv laskub küllalt madalale, siis tekitab ta elektrivälja abil maapinnal, eriti aga just kõrgetes esemetes, laengu. Seejuures võib toimuda lahendus pilvede ja maa vahel — välk lööb maasse.

Välk esineb sirgete või siksakiliste harudega ribadena ja tema pikkus ulatub mitme kilomeetrini. Peale hariliku välgu esineb mõnikord niinimetatud keravälk. Keravälk on pimestavalt hele kera läbimõõduga 10—15 cm. Keravälk liigub harilikult õhuvooluga koos, kuid ta võib seista ka paigal või liikuda vastu õhu-

voolu. Ta kestab mõne minuti ja seejärel kas kaob vaikselt või lõhkeb kõrvulukustava mürinaga. Keravälgu olemust ei ole senini veel kindlaks tehtud.

Välk, mis lööb puusse, lõhestab ja söestab selle. Kui välk lööb ehitustesse, tekib sageli tulekahju.

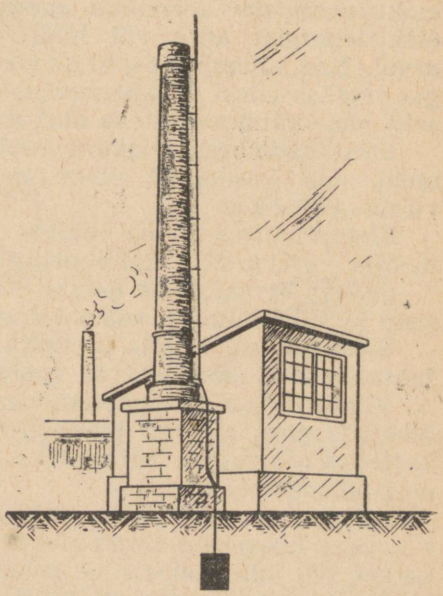
Inimest, kes asub selle koha läheduses, kuhu välk lööb, võib elektrilahendus tabada ja isegi surmata. Välgu läbi kannatada saanule tuleb viivitamatult teha kunstlikku hingamist.

§ 53. Piksekaitse.

Hoonete ja teiste ehitiste kaitsmiseks välgu eest seatakse üles piksevardad. Piksevarras kujutab endast terava otsaga metall-latti. See kinnitatakse hoone kõige kõrgemasse kohta (joon. 118). Jäme metall-latt ühendatakse metallplaadiga, mis on kaevatud sügavale maasse. Kui välk lööb piksevardasse, siis laengud lähevad mööda juhti maasse ja ei tekita majale mingisugust kahju.

Piksevarda ehituses on kõige tähtsam hea maandus. Halva maanduse korral välk purustab piksevarda ja hoone võib saada kannatada.

Välgud tekivad kõige sagedamini pilvede vahel. Äike ei ole kuigi ohtlik inimesele, kes viibib ruumis või metsas. Siiski tuleb kasutada teatud ettevaatusabinõusid. Äikese ajal tuleb vältida tõmbetuult. Selleks suletakse aknad ja ahjulõõrid. Kuni äikese lõppemiseni ei või väljuda metsast. Äikese ajal on ohtlik seista üksikult kasvavate kõrgete puude all.



Joon. 118. Piksekaitse vabrikukorstnal.

II peatükk.

ELEKTRIVOOL, TAKISTUS JA PINGE.

§ 54. Vooluring ja selle osad.

Igas vooluallikas saadakse elektrienergia mingi teist liiki energia arvel. Galvaanielementides ja akumulaatorites muundatakse elektrienergiaks keemiline energia. Elektrijaamades toodetakse elektrienergiat auru või hüdroturbiinide mehhaanilise energia arvel. See toimub *generaatorite*[1] abil. Saadud elektrienergia antakse edasi tööstusseadmetele ja korteritesse valgustamiseks ning mitmesugusteks elukondlikeks vajadusteks.

Elektrimootoreid, -lampe, -pliite ja igasuguseid muid seadmeid, mis kasutavad elektrivoolu, nimetatakse elektrienergia *tarbijateks*.

Elektrienergia tuleb juhtida tarbijasse. Selleks ühendatakse tarbija *juhtmete* abil vooluallikaga.

Selleks et vajalikul hetkel elektrienergia tarbijaid vooluringi sisse ja välja lülitada, kasutatakse *lüliteid*.

Vooluallikas, tarbija ja lüliti, mis on üksteisega ühendatud juhtmete abil, moodustavad vooluringi.

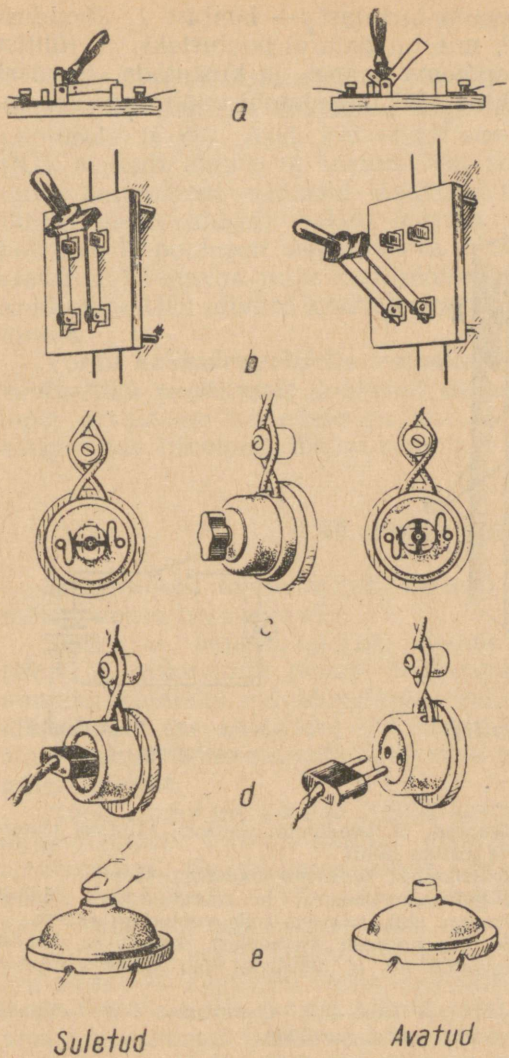
Vooluringiga tutvumiseks vaatleme näiteks toa elektriseadet. Elektrijaamast tulevad juhtmed viiakse majja ja seejärel igasse korterisse ja tuppa. Tarbijateks on siin lambid ja elektrilised majapidamisseadmed.

Selleks et vool läbiks vooluringi, peab see olema *suletud*, s. t. peab koosnema ainult elektrijuhtidest. Kui mõnes kohas juht katkeb või juhi asemele on pandud isolaator, siis vool vooluringis lakkab. Sellele põhineb lüliti töötamine. Joonisel 119 on kujutatud mitmesugused lülitid.

Jooniseid, mis kujutavad elektriliste seadmete ühendamist vooluringi, nimetatakse skeemideks. Seadmeid kujutatakse skeemidel tingmärkidega, millest mõned on toodud joonisel 120.

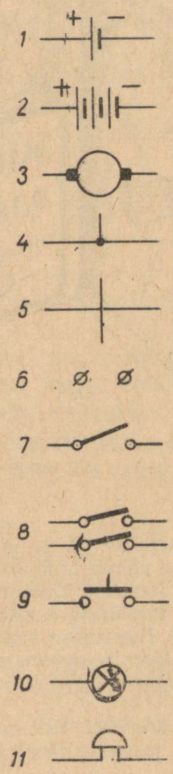
Vaatleme taskulambi vooluringi (joon. 121). See koosneb voo-

[1] Generaator tuleneb ladinakeelsest sõnast *generator* — looja, tekitaja.



Joon. 119. Mitmesugused lülitid:

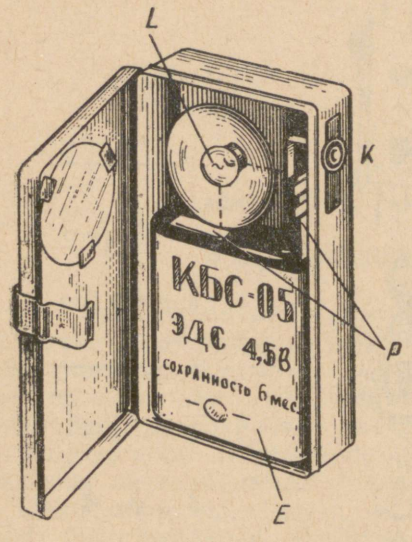
a — ühepooluseline vinnaklüliti; *b* — kahepooluseline vinnaklüliti; *c* — pöördlüliti; *d* — pistikupesa; *e* — kellanupp.



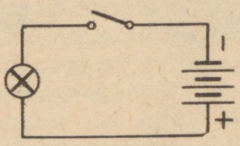
Joon. 120.

1 — element või akumulaator (pikk kriips tähistab positiivset poolust); *2* — elementide või akumulaatorite patarei; *3* — generaator või elektrimootor; *4* — juhtmete ühendamine; *5* — juhtmete lõikumine (ühenduseta); *6* — klemmid mingi riista ühendamiseks; *7* — lüliti; *8* — kahepooluseline lüliti; *9* — nupplüliti; *10* — elektrilamp; *11* — elektrikell.

luallikast — patareist *E*, voolu tarbijast — lambist *L*, ühendusjuhtmetest — plaatidest *P*, mis on patarei poolusteks, ja lülitist *K*. Lüliti abil võib lampi «põlema panna» ja kustutada. Joonisel 122 on kujutatud tingmärkide abil taskulambi vooluringi skeem.



Joon. 121. Taskulambi vooluringi põhilised osad.



Joon. 122. Taskulambi vooluringi skeem.

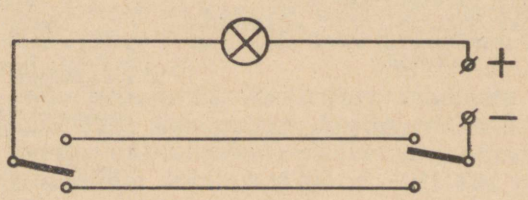
Harjutus 19. 1. Vaatle pistikupesa ja laualambi pistikut. Millisest materjalist on valmistatud pistikupesa ja pistiku osad?

2. Joonesta kellanupust ja elektrikellast koosneva vooluringi skeem.

3. Vooluring koosneb ühest galvaanielemendist ja kahest kellast, millest kumbki lülitatakse sisse oma kellanupu abil. Joonesta selle vooluringi skeem.

4. Koosta skeem vooluringile, mis koosneb elemendist, kellast ja kahest kellanupust. Kellanupud on paigutatud nii, et helistada võib kahest erinevast kohast.

5. Joonisel 123 on toodud lambi ja kahe lüliti ühendamise skeem. Vaatle skeemi ja mõtle järele, kus võib sellist seadet kasutada.



Joon. 123. Ülesande nr. 5 juurde.

§ 55. Voolu suund.

Teame, et elektrivool metalljuhtides on elektronide liikumine vooluallika (näiteks elemendi) negatiivselt pooluselt positiivsele poolusele (§ 48). Ajal, kui elektrivooluga tehti esimesi katseid (XIX sajandi algul), ei teatud veel midagi elektronide olemasolust. Sellepärast määrasid teadlased sel ajal elektrivoolu suuna täiesti meelevaldselt: hakati lugema, et vool läheb vooluallika positiivselt pooluselt negatiivsele. Nüüd on kindlaks tehtud, et elektronid liiguvad juhis vastupidises suunas. Varem vastuvõetud kokkulepe läks niivõrd kindlalt praktikasse, et seda otsustati mitte muuta.

Voolu kokkuleppeliseks suunaks vooluringis loetakse suunda vooluallika positiivselt pooluselt negatiivsele. Nimetatud kokkulepet arvestame ka edaspidi, kui ei ole vaja eriliselt näidata elektronide liikumise tõelist suunda.

§ 56. Voolu tugevus.

Elektrivoolu toime sõltub voolu tugevusest. Mida aga mõista voolu tugevuse all?

Koostame akumulaatorist, anumast, milles on vasevitrioli lahus, ja taskulambi pirnist vooluringi. Suleme selle vooluringi mingiks kindlaks ajavahemikuks, näiteks viieks minutiks. Vool läbib lahust ja negatiivsel elektroodil eraldub teatud hulk vaske. Vase hulga võime määrata kaalumise teel. Kogu katse vältel lamp põleb nõrgalt.

Nüüd teeme teise katse. Selles katses lülitame vooluringi kaks akumulaatorit. Vasega kaetud elektroodi asendame uue puhta elektroodiga. Kui lülitame voolu sisse, siis märkame, et lamp põleb heledamalt ja viie minuti jooksul eraldub elektroodil rohkem vaske kui esimeses katses.

Järelikult voolu keemiline toime on teises katses tugevam kui esimeses. Tugevam on ka soojuslik toime — lamp põleb heledamalt. Võib öelda, et teise katse ajal oli vool vooluringis tugevam kui esimesel juhul, sest tema toimed olid tugevamad. Seega voolu tugevuse üle võib otsustada voolu toimete järgi.

Voolu tugevus on määratud elektrihulgaga, mis läbib vooluringis juhi ristlõiget teatud ajavahemiku jooksul. Teises katses oli voolu tugevus suurem, sest viie minuti jooksul läbis vasevitrioli lahust rohkem elektrit (vaske eraldus rohkem).

Mida suurem laeng läbib ajaühikus (ühes sekundis) juhi ristlõiget, seda suurem on voolu tugevus vooluringis.

§ 57. Voolu tugevuse ühik.

Eelmises paragrahvis nägime, et voolu tugevus on määratud elektrihulgaga, mis läbib juhi ristlõiget ühe sekundi jooksul. Sellel põhinebki voolu tugevuse ühiku valik.

Voolu tugevuse ühikuks on võetud selline vool, mille puhul juhi ristlõiget läbib ühes sekundis üks kulon elektrit. Seda ühikut nimetatakse **ampriks** (füüsik A. Ampère'i auks).



André Marie Ampère (1775—1836) — prantsuse füüsik ja matemaatik. Uuris esimesena vooluga juhtmete mehhaanilist vastastikust mõju ja teisi elektromagnetilisi nähtusi. Ampère'ile kuulub hüpotees magnetismi olemusest. Selle hüpoteesi järgi on magnetismi põhjuseks molekulaarsed elektrivoolud, mis esinevad rauas ja teistes magnetilistes ainetes.

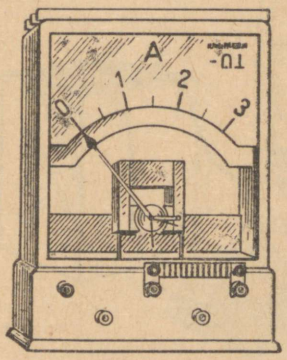
Voolu tugevust tähistatakse tähega *I* ja amprit tähega A. Nõrkade voolude mõõtmiseks kasutatakse sageli väiksemat ühikut — milliamprit (1 mA = 0,001 A).

Praktikas kohtame mitmesuguse tugevusega voole. Allpool on toodud voolu tugevused mõnede tarbijate vooluringides.

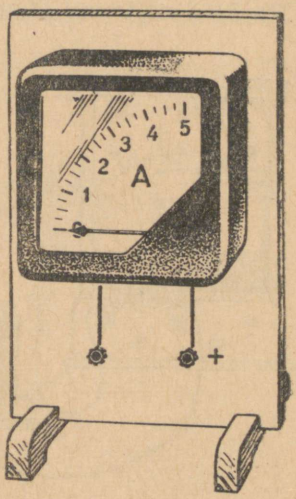
Elektri-habemeajamisaparaat		100 mA
Elektri-laualamp		0,3 A
Elektritriikraud		2,5 A
Tänavalaterna lamp	kuni	5 A
Elektripliit		5 A
Trammi elektrimootor	kuni	100 A
Trollibussi elektrimootor	kuni	150 A
Metallurgia-elektriahi	kuni	10 000 A
Ahi alumiiniumi tootmiseks	kuni	80 000 A
Voolu tugevus välgus (sekundi murdosa vältel)	kuni	5 000 000 A

§ 58. Ampermeeter.

Voolu tugevust vooluringis võib mõõta riista abil, mida nimetatakse ampermeetriks. Joonisel 124 on näidatud kooliampermeeter, mis on arvestatud kuni 3-ampriste voolude mõõtmiseks. Joonisel 125 on kujutatud tehniline ampermeeter. Selliseid



Joon. 124. Kooliampermeeter.

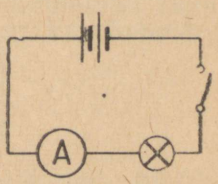


Joon. 125. Tehniline kilbiampermeeter.

ampermeetreid kasutatakse elektrijaamade jaotuskilpidel. Ampermeetri skaalal on täht *A*. See võimaldab teda eristada teistest elektrimõõduriistadest. Skeemidel tähistatakse ampermeetrit ringiga, mille sees on täht *A*.

Joonisel 125 kujutatud ampermeetri ehitus põhineb voolu magnetilisel toimel. Voolu tugevuse üle otsustatakse riista osuti kõrvalekalde järgi. Kui voolu tugevus on nii suur, et osuti läheb skaala piiridest välja, siis tuleb vooluring viivitamatult katkestada (ampermeeter välja lülitada, sest vastasel korral võib see rikneda).

Tarbijat, näiteks elektrilampi, läbiva voolu mõõtmiseks tuleb ampermeeter ühendada selle tarbija vooluringi nii, nagu see on näidatud skeemil (joon. 126). Sellist ühendust nimetatakse järjestikuseks, sest vool läbib järjestikku kõik vooluringi osad.

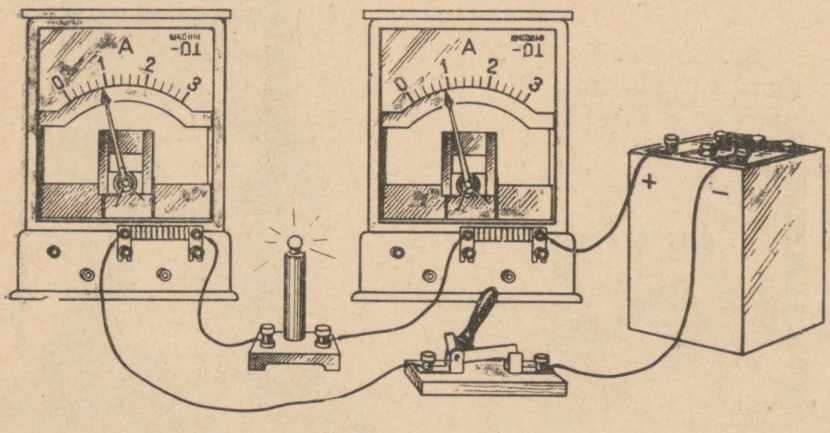


Joon. 126. Skeem, mis näitab ampermeetri ühendamist vooluringi.

Ampermeeter ühendatakse vooluringi kahe klemmi abil. Ühe klemmi juures on harilikult plussmärk, teise juures aga miinusmärk (mõ-

nikord jäetakse ka miinusmärk ära). Klemm, mis on varustatud märgiga «+», ühendatakse vooluallika positiivsest poolusest tuleva juhtmega.

Voolu tugevuse mõõtmisel võib ampermeetri ühendada vooluringi mistahes kohta, sest voolu tugevus on vooluringi kõikides osades ühesugune. Seda võib kontrollida katse abil. Ühendame vooluringi kaks ampermeetrit, ühe enne, teise pärast lampi (joon. 127). Nad näitavad ühesugust voolu tugevust.



Joon. 127. Vooluringi erinevates osades on voolu tugevus ühesugune.

Harjutus 20. 1. Elektrilampi läbis 5 minuti jooksul 90 kulonit elektrit. Leia voolu tugevus lambis.

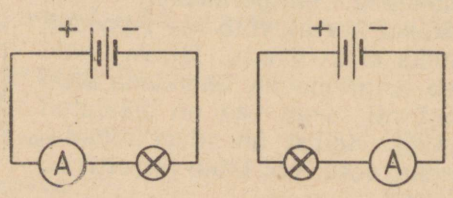
2. Kui suur elektrihulk läbib elektripliiti ühes minutis, kui vool pliidi vooluringis on 5 A?

3. Kuni täieliku tühjenemiseni võib akumulaator anda 40 tunni vältel 1 A tugevust voolu. Kui suure elektrihulga võib varuda selline akumulaator?

4. Voolu läbiminekul vasevitrioli lahusest eraldus 8,3 minuti jooksul 0,165 g vaske. Määrata voolu tugevus.

5. Hõbenitraadi vesilahust läbib vool tugevusega 15 mA. Kui palju hõbedat eraldub elektroodil 10 minuti jooksul?

6. Üks kord ühendati ampermeeter vooluringi nii, nagu on näidatud joonisel 128, *a*. Ta näit oli 0,1 A. Teine kord ta ühendati samasse vooluringi vas-



a *b*

Joon. 128. Ülesande nr. 6 juurde.

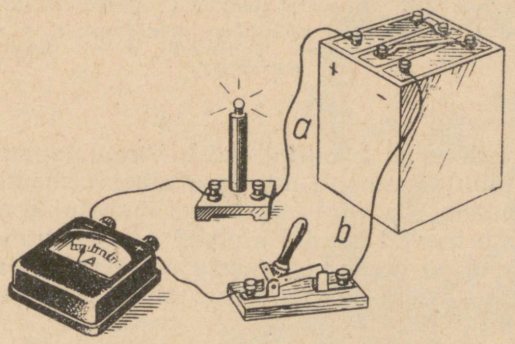
tavalt joonisel 128, *b* toodud skeemile. Milline on ampermeetri näit teisel juhul, võrreldes esimese juhuga?

7. Mõtle järele, kuidas on võimalik kontrollida ampermeetri näitude õigsust, kui sinu käsutuses on veel teine ampermeeter, mille täpsuses sa oled kindel?

§ 59. Laboratoorne töö nr. 4.

Vooluringi koostamine ja voolu mõõtmine selle mitmesugustes osades.

T ö ö v a h e n d i d. Akumulaator või kolmest elemendist koosnev patarei, kaks madalal pingel töötavat lampi alustel, lüliti, ampermeeter, ühendusjuhtmed.



Joon. 129. Laboratoorse töö nr. 4 juurde.

T ö ö k ä i k. 1. Koosta vooluring vastavalt joonisele 129 (lüliti peab olema avatud). Pärast seda, kui õpetaja on vooluringi kontrollinud, sule lüliti. Märgi üles ampermeetri näit. Seejärel lülita ampermeeter nendesse vooluringi osadesse, mis joonisel on märgitud tähtedega *a* ja *b*. Võrdle ampermeetri näite.

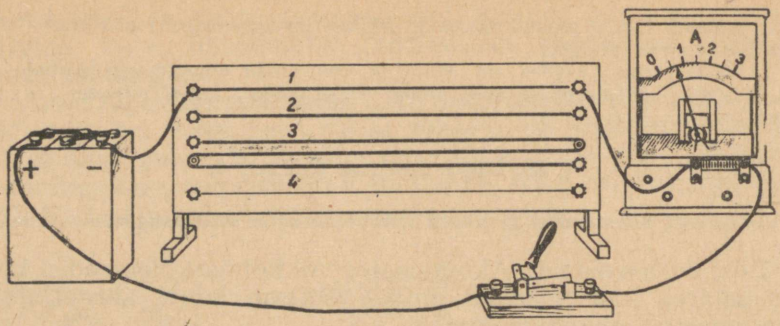
2. Lülita vooluringi järjestikku veel üks lamp. Kuidas nüüd lambid põlevad? Märgi üles ampermeetri näit vooluringis, milles on kaks lampi. Võrdle seda esimesel juhul saadud näiduga.

3. Joonista vihikusse mõlema vooluringi skeemid.

M ä r k u s. **Ampermeetrit ei tohi ühendada vooluallika klemmidega otseselt, s. t. ilma et temaga oleks järjestikku ühendatud tarbija.** Nii võib ampermeetri rikkuda!

§ 60. Juhtide takistus.

Koostame vooluringi vooluallikast (akumulaatorist), ampermeetrist, lülitist ja lauakesele kinnitatud peenest terastraadist (joon. 130). Lülitame voolu sisse ja märgime üles ampermeetri näidu. Seejärel lülitame vooluringi terastraadi asemel samasuguse



Joon. 130. Erinevatel juhtidel on erinev takistus.

1 — terastraat; *2* — samasuguse läbimõõduga nikeliintraat; *3* — samasuguse läbimõõduga, kuid kolm korda pikem nikeliintraat; *4* — väiksema läbimõõduga nikeliintraat.

pikkuse ja ristlõikega nikeliintraadi[1]. Voolu tugevus vooluringis väheneb. Kui lülitada vooluringi teine nikeliintraadist juhe, mis on kaks korda pikem, siis voolu tugevus väheneb kaks korda.

Näeme, et erinevad traadid juhivad voolu erinevalt. Juhi omadust avaldada mõju voolu tugevusele vooluringis nimetatakse juhi takistuseks. Mida nõrgem vool juhis tekib, seda suurem on juhi takistus.

See katse näitab, et nikeliintraadi takistus on suurem samasuguse pikkuse ja ristlõikega terastraadi takistusest ja et pikema nikeliintraadi takistus on suurem lühema omast. Järelikult juhi takistus sõltub materjalist ja pikkusest.

Teeme veel ühe katse. Lülitame vooluringi järgemööda mitu erinevat nikeliintraati, mis on ühesuguse pikkusega, kuid erineva ristlõikega. Selgub, et mida väiksem on juhi ristlõike pindala, seda väiksem on voolu tugevus vooluringis. Sellest katsest võib teha järelduse, et juhi takistus sõltub ka juhi ristlõike pindalast: mida väiksem on ristlõike pindala, seda suurem on takistus.

Seega juhi takistus on võrdeline tema pikkusega, pöördvõrdeline ristlõike pindalaga ja sõltub juhi materjalist.

Teame, et elektrivool juhis kujutab endast elektronide suunatud liikumist elektrivälja mõjul. Juhi aatomite vahel liikuvad elektronid põrkavad aatomitega kokku. See põrkamine põhjustabki nende liikumise takistuse.

Juhi materjali mõju takistuse suurusele seletub ainete erineva sisemise ehitusega. Lisandid harilikult rikuvad puhta metalli korrapärast ehitust. Seetõttu on sulami elektriline takistus suurem puhta metalli omast.

---

[1] Nikeliin on vase, nikli ja raua sulam. Nikeliintraati kasutatakse elektrotehnilistes seadmetes.

§ 61. Takistusühik. Juhtide takistuse arvutamine.

Juhtide takistuse **mõõtmiseks** tuleb valida mingi mõõtühik. Takistusühikuks võib võtta mingist kindlast materjalist, kindla pikkuse ja ristlõikega juhi takistuse.

Rahvusvahelise kokkuleppe kohaselt on takistuse ühikuks võetud 106,3 cm pikkuse ja 1 mm² ristlõikepindalaga elavhõbedasamba takistus temperatuuril 0° C[1]. Seda ühikut nimetatakse **oomiks** (füüsik Ohmi auks, kes avastas vooluringi osa kohta kehtiva põhilise seaduse).



Georg Simon Ohm (1787—1854) — saksa füüsik. 1826.—1827. a. avastas ta matemaatilise seose voolu tugevuse, juhi takistuse ja juhile rakendatud pinge vahel (Ohmi seadus).

Juhi takistust tähistatakse tähega R ja takistuse ühikut tähega Ω. Praktikas kasutatakse takistuse ühikutena ka kilo-oomi (1 kΩ = 1000 Ω) ja megaoomi (1 MΩ = 1 000 000 Ω).

Juhi takistust võib arvutada järgmise võtte abil. Enne leitakse 1m pikkuse ja 1 mm² ristlõike pindalaga juhi takistus (oomides). Seda suurust nimetatakse aine **eritakistuseks**. Eritakistust tähistatakse kreeka tähega ϱ («roo»). Olgu juhi pikkus l ja ristlõike pindala S mm². Kuna 1 m pikkuse ja 1 mm² ristlõike pindalaga juhi takistus on ϱ oomi (eritakistus), siis l m pikkuse ja 1 mm² ristlõike pindalaga juhi takistus on l korda suurem, s. t.

[1] Temperatuur on näidatud sellepärast, et juhi takistus sõltub temperatuurist. Temperatuuri tõustes metalljuhtide takistus suureneb, söe, grafiidi ja vedelike takistus aga väheneb.

$l\varrho$ oomi. l m pikkuse ja S mm² ristlõike pindalaga juhi takistus on aga S korda väiksem, s. t. $\varrho\frac{l}{S}$ oomi.

Seega üldjuhul võib juhi takistust oomides arvutada järgmise valemi abil:

$$R = \varrho\frac{l}{S}.$$

Saadud valemist määrame eritakistuse (ϱ) suuruse:

$$\varrho = \frac{RS}{l}.$$

R mõõdetakse oomides,
S — ruutmillimeetrites ja
l — meetrites.

Eritakistust (ϱ) mõõdetakse ühikutes $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$.

Alljärgnevas tabelis on toodud mõnede ainete eritakistused (temperatuuril 20°C).

Aine	$\left(\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right)$	Aine	$\left(\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right)$
Hõbe	0,016	Raud	0,099
Vask	0,017	Nikeliin	0,4
Alumiinium	0,029	Nikroom	1,1
Volfram	0,056	Süsi	40

Harjutus 21. 1. Ühe traadi pikkus on 20 cm ja teise pikkus 1,6 m. Mõlemad traadid on valmistatud samast materjalist ja neil on ühesugune ristlõike pindala. Kumma traadi takistus on suurem ja mitu korda? (Lahenda peast.)

2. On kaks samast materjalist traati. Ühe traadi pikkus on 5 m ja teise pikkus 0,5 m; ühe ristlõike pindala on 0,15 cm², teise oma aga 3 mm². Kumma traadi takistus on suurem ja mitu korda? Lahenda peast ja kontrolli tulemust, kasutades takistuse valemit.

3. On kaks ühesugusest materjalist võrdse pikkusega traati. Esimese ristlõike pindala on 0,1 cm² ja teise oma 2 mm². Esimese traadi takistus on 2 oomi. Leia teise traadi takistus.

4. Ühejuhtmeline telegraafiliin, pikkusega 125 km, on tehtud 6 mm läbimõõduga raudtraadist. Leia liini takistus.

5. Kui suurt takistust omab toa elektrijuhtmestik, kui see on tehtud vasktraadist ПРД (kahesooneline nöörjuhe)? Juhtmete pikkus on 12 m ja soone ristlõike pindala 0,75 mm².

6. Elektripliidi jaoks on vaja 24-oomise takistusega spiraali. Kui pikk nikeliintraat, mille läbimõõt on 0,4 mm, tuleb selleks võtta?

7. Millisel kahel viisil on võimalik saada 2-oomise takistusega traadist 0,5-oomise takistusega juhti?

8. Poolile on mähitud vasktraat, mille läbimõõt on 0,2 mm. Traadi takistus on 340 oomi. Leia traadi pikkus.

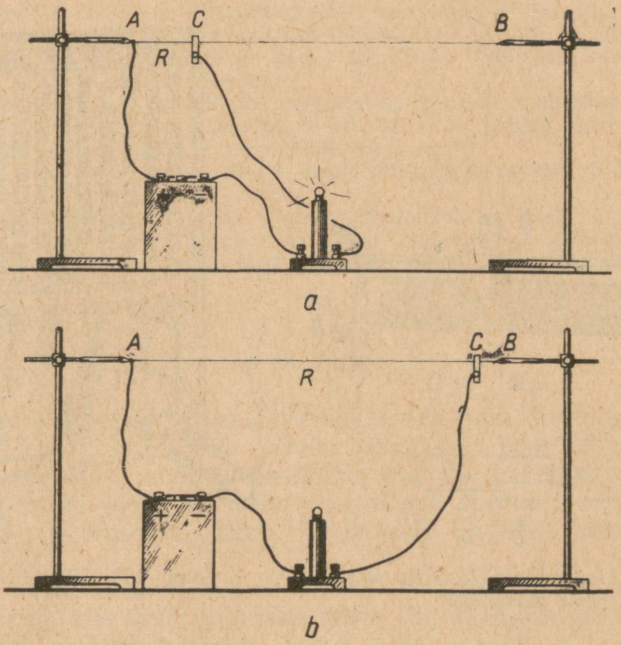
9. Pumba elektrimootori ühendusjuhtmete takistus ei tohi olla suurem kui 2,4 oomi. Millise ristlõike pindalaga vasktraat tuleb selleks võtta, kui pump asub elektrijaamast 800 m kaugusel?

10. Mitu korda on raudjuhtme takistus suurem samasuguse pikkuse ja ristlõikega vaskjuhtme takistusest?

11. Arvuta Moskva ja Leningradi vahelise kahejuhtmelise telegraafiliini takistus. Nende linnade vaheline kaugus on 650 km ja vasktraadi läbimõõt on 4 mm.

§ 62. Reostaadid.

Praktikas on sageli vaja reguleerida voolu tugevust vooluringis. Teatris ja kinos olete kindlasti märganud, kuidas saalis lambid aeglaselt kustuvad. Lampide aeglaseks kustutamiseks vähendatakse võrgus voolu tugevust. Trammi- või trollibussijuht, alus-



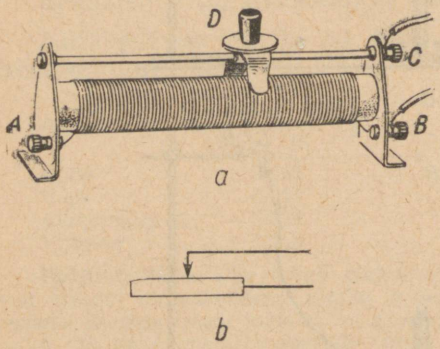
Joon. 131. Lihtne traaditükist reostaat:
a — takistus on väike, lamp põleb; *b* — suure takistuse korral lamp ei põle.

tades oma masinaga liikumist, peab aeglaselt suurendama voolu tugevust elektrimootoris, sest muidu hakkab masin liikuma järsu hüppega. Voolu tugevuse vähendamiseks ja suurendamiseks kasutatakse riistu, mida nimetatakse r e o s t a a t i d e k s.

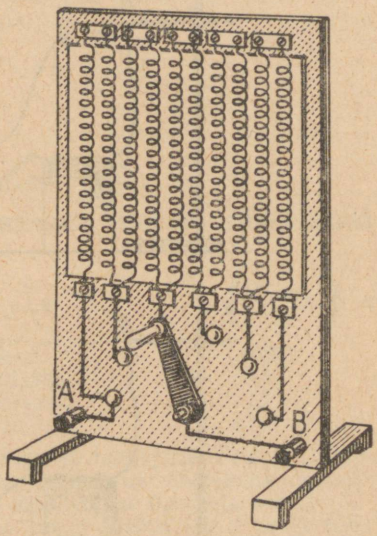
Kõige lihtsamaks reostaadiks on suure eritakistusega materjalist traat (joon. 131). Traat ühendatakse vooluringi klemmi *A* ja liikuva kontakti *C* abil. Vooluringi lülitatud osa *AC* pikkust võib kontakti nihutamisega vähendada või suurendada. Sellega muudetakse vooluringi takistust ja järelikult ka voolu tugevust.

Kuid selline reostaat on oma suurte mõõtmete tõttu käsitsemiseks ebamugav. Reostaadi mõõtmete vähendamiseks mähitakse traat keraamilisest ainest silindrile (joon. 132). Traadi otsad ühendatakse riista klemmidega *A* ja *B*. Et vool läheks mööda

keerde, mitte aga otse läbi mähise, kaetakse traat isolatsiooniga. Isolatsiooniks on õhuke tagikiht. Mähise kohal on metallvarras, mida mööda saab nihutada liugurit *D*. Liugur puudutab oma kontaktidega mähise keerde. Hõõrdumise tõttu nühitakse liuguri kontaktide alt tagikiht maha ja vool läheb traadi keerdudest liugurisse ja läbi selle vardasse. Varda otsas on klemm *C*. Sellist riista nimetatakse liugreostaadiks.



Joon. 132. Liugreostaat ja selle kujutamine skeemidel.



Joon. 133. Väntreostaat.

Reostaat ühendatakse vooluringi klemmi *A* või *B* ja vardal oleva klemmi *C* abil. Liuguri nihutamisega mööda varrast võib vooluringi lülitatud reostaadi takistust suurendada või vähendada. Igale reostaadile on märgitud mähiste takistus ja lubatud voolu tugevus, s. t. suurim voolu tugevus, mida mähis talub. Seda voolu tugevust ei tohi ületada, sest liiga suure voolu tugevuse korral läheb mähis tuliseks ja võib läbi põleda.

Skeemidel kujutatakse reostaati nii, nagu see on näidatud joonisel 132, *b*.

Joonisel 133 on kujutatud teist tüüpi reostaat. Isoleerainest valmistatud raami külge on kinnitatud traatspiraalid. Spiraalide alumised otsad on kinnitatud kontakti külge, mis paiknevad ringi kaarel. Metallvänt võib puudutada iga kontakti. Vända käepideme nihutamisega saab vooluringi lülitada rohkem või vähem spiraale. Kui käepide asetada nii, nagu on näidatud joonisel 133,

siis vool läheb klemmist *A* nelja spiraali, kolmanda kontakti ja vända kaudu klemmi *B*. Lükates vända järgmisele parempoolsele kontaktile, lülitame vooluringi kuus spiraali.

Sellist reostaati nimetatakse väntreostaadiks. Väntreostaadi abil võib takistust muuta ainult hüppeliselt, lülitades spiraale sisse kahekaupa.

Harjutus 22. 1. Joonisel 133 kujutatud reostaadi iga spiraali takistus on 2 oomi. Kui suur on vooluringi lülitatud takistus, kui käepide on joonisel kujutatud asendis? Millisele kontaktile peab käepideme lükkama, kui vooluringi on tarvis lülitada 16-oomine takistus?

2. Lambi vooluringi on lülitatud liugreostaat. Joonista vihikusse selle vooluringi skeem. Näita nooltega, kuidas reostaadis vool kulgeb. Kummale poole tuleb nihutada liugurit, selleks et lamp põleks heledamalt?

3. Kui pikk peab olema 0,3 mm läbimõõduga nikeliintraat, et sellest saaks ehitada reostaadi takistusega 750 oomi?

4. Reostaadi takistus muutub liuguri nihutamisel väikeste hüpete kaupa, kusjuures iga hüppe suurus võrdub ühe keeru takistusega. Leia takistuse hüppe suurus eelmises ülesandes vaadeldud reostaadi jaoks, kui mähis asub silindril, mille läbimõõt on 6 cm.

§ 63. Pinge.

Vooluallika sees, näiteks galvaanielemendis, toimub laengute eraldumine; elemendi üks poolus omandab positiivse ja teine poolus negatiivse laengu. Keemilise energia arvel nagu pumbatakse elektrone elemendi sees positiivselt pooluselt negatiivsele. Negatiivsel poolusel kujuneb elektronide ülejääk, positiivsel — puudujääk.

Selle tulemusena tekib elemendi pooluste vahel elektriline pinge. Laeng, mis asub pooluste vahel, liigub elektrivälja jõudude mõjul ühelt pooluselt teisele.

Ühendame elemendi poolused metalljuhtme abil. Juhtmes tekib elektrivool. Elemendi poolt tekitatud pinge tõttu hakkavad vabad elektronid metallis suunatult liikuma.

Suletud vooluringis on pinge mitte ainult vooluallika pooluste vahel, vaid ka igal vooluringi osal (vooluringi iga kahe punkti vahel). Seda nähtust võib võrrelda vee voolamisega jões. Elektrilisele pingele vastab vee surve (rõhumine), mida põhjustab vee nivoode vahe jõe lätte ja suudme juures. Vee nivoode vahe, seega ka surve, esineb jõe igas osas, mistõttu veevool jões kuskil ei katke. Järves ja tiigis, kus vee nivoo on kõikjal ühesugune, vesi ei voola.

§ 64. Pingeühik.

Kuna pinge on füüsikaline suurus, siis võib seda mõõta. Pingeühiku valimisel lähtume sellest, et erinevate pingete korral tekivad juhtides erinevate tugevustega voolud. Kui võtta juht, mille takistus on näiteks 1 oom, siis ei ole raske leida sellist pinget, mille korral juhis tekib vool tugevusega 1 A. Selle pinge võib võtta pingeühikuks.

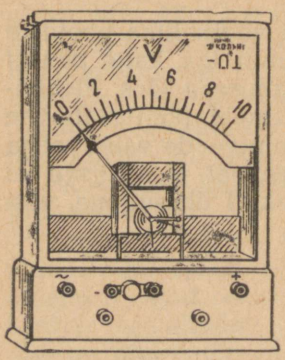
Pingeühikuks on võetud selline pinge, mis juhis takistusega 1 oom tekitab voolu tugevusega 1 A. Seda ühikut nimetatakse **voldiks** (itaalia füüsiku A. Volta auks).

Pinget tähistatakse tähega *U*, pingeühikut volt tähega V. Praktikas kasutatakse ka ühikuid millivolt (mV) ja kilovolt (kV).

Tehnikas ja looduses kohtame mitmesuguseid pingeid. Selleks et saada kujutlust kõige sagedamini esinevatest pingetest, on kasulik vaadelda järgmist tabelit.

Pinge, mis tekib südamelihaste kokkutõmbumisel	3,5 mV
Pinge Volta elemendi poolustel	1,1 V
Pinge kuivelemendi poolustel	1,5 V
Pinge leelisakumulaatori poolustel	1,25 V
Pinge happeakumulaatori poolustel	2 V
Pinge valgustusvõrgus	127 või 220 V
Pinge elektrienergia ülekandeliinides suure vahemaa korral	220—400 kV
Pinge ülekandeliinis, mis ühendab NLKP XXII kongressi nimelist Volga hüdroelektrijaama Moskvaga	500 kV
Pinge ülekandeliinis, mis ühendab NLKP XXII kongressi nimelist hüdroelektrijaama Donbassiga	800 kV
Pinge äikesepilvede vahel	kuni 100 000 kV

§ 65. Voltmeeter.



Joon. 134. Koolivoltmeeter.

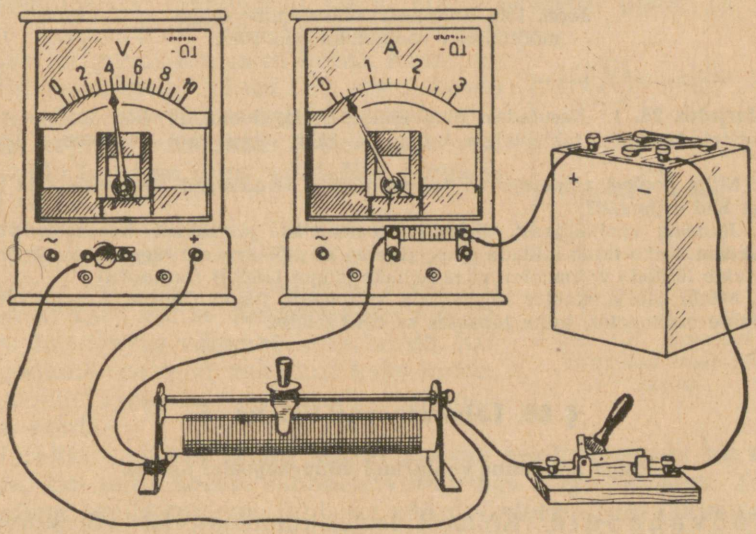
Pinge mõõtmiseks vooluallika poolustel või vooluringi mingil osal kasutatakse riistu, mida nimetatakse voltmeetriteks. Koolivoltmeeter on kujutatud joonisel 134. Tehnilised voltmeetrid ei erine oma välimuselt ampermeetritest (joon. 125). Selleks et voltmeetrit teistest elektrimõõduriistadest eristada, on voltmeetri skaalal täht *V*. Skeemidel tähistatakse voltmeetrit ringiga, mille sees on täht *V*. Voltmeetri ehitus põhineb voolu magnetilisel toimel, samuti nagu ampermeetri ehitusgi. Voltmeetri ühe klemmi juures on märk «+». See klemm tuleb ühendada

juhtmega, mis tuleb vooluallika positiivsest poolusest (vastasel korral riista osuti kaldub kõrvale vastupidises suunas).

Voltmeeter lülitatakse vooluringi teisiti kui ampermeeter.

Ampermeeter ühendatakse vooluringi tarbijaga järjestikku. Selleks et ampermeeter ei mõjutaks voolu tugevust vooluringis, peab ta takistus olema väike. Ampermeetrite takistused on mõõdetavad harilikult sajandikes või tuhandikes oomides.

Pinge mõõtmiseks mingil vooluringi osal, näiteks reostaadil, ühendatakse voltmeeter selle vooluringi osa otstega. Voltmeetri lülitamine on näidatud joonisel 135. Joonisel on kujutatud ka ampermeeter, mis on ühendatud vooluringi järjestikku.

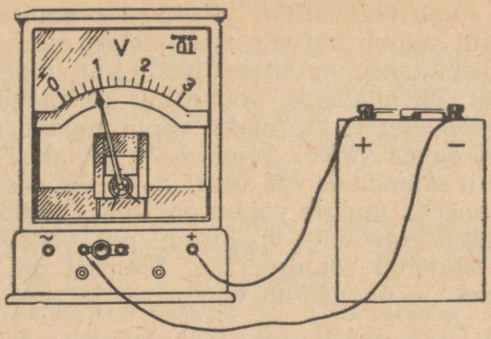


Joon. 135. Mõõduriistade ühendamine vooluringi voolu tugevuse ja pinge mõõtmiseks (voltmeeter mõõdab pinget reostaadil).

Et voltmeetri lülitamine vooluringi ei muudaks selles voolu tugevust, peab voltmeetri takistus olema väga suur. Sel juhul peaaegu kogu vool läbib põhiahelat ja ainult väga väike osa voolust läheb läbi voltmeetri.

Voltmeetrite takistused ulatuvad sadade ja tuhandete oomideni. Joonisel 134 kujutatud voltmeetri takistus on 600 oomi. Voltmeetri takistuse suurendamiseks ühendatakse sageli temaga järjestikku eeltakistus.

Vooluallika pooluste vahelise pinge mõõtmiseks ühendatakse voltmeeter vahetult vooluallika poolustega (joon. 136).



Joon. 136. Voltmeetri ühendamine pinge mõõtmiseks vooluallika poolustel.

Harjutus 23. 1. Kasutades pingeühiku definitsiooni (§ 64), arvuta pinge juhi otstel, kui juhi takistus on 1 oom ja juhti läbiv vool tugevusega 0,5 A? 2 A?

2. Mille poolest ampermeeter ja voltmeeter sarnanevad teineteisega ja mille poolest nad erinevad?

3. Joonista vooluallikast, lambist, reostaadist ja lülitist koosneva vooluringi skeem. Kuhu tuleb lülitada ampermeeter, et mõõta voolu tugevust vooluringis? Kuhu tuleb lülitada voltmeeter, et ta näitaks pinget lambil? reostaadil?

4. Mõtle järele, kuidas kontrollida voltmeetri näidu õigsust, kui on olemas veel teine voltmeeter, mille täpsuses sa oled kindel.

§ 66. Laboratoorne töö nr. 5.

Pinge mõõtmine vooluringi mitmesugustel osadel.

Töövahendid. Kolmest leelisakumulaatorist või kuivelemendist koosnev patarei, madalpingel töötav lamp alusel, voltmeeter, reostaat, lüliti ja ühendusjuhtmed.

Töö käik. 1. Määra iga akumulaatori või elemendi ja kogu patarei pinge. Millise järelduse võib teha mõõtmistulemuste võrdlemisest?

2. Ühenda järjestikku lamp, reostaat ja lüliti. Sule vooluring ja reguleeri reostaadi abil lambi hõõgumist.

3. Muuda mitu korda reostaadi liuguri asendit ja mõõda iga kord pinget reostaadi ja lambi klemmidel. Võrdle leitud pingeid reostaadile ja lambile rakendatud kogupingega.

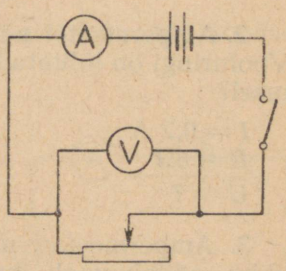
4. Joonista vihikusse katseriistade ühendamise skeemid, millel on kujutatud pinge mõõtmine patarei poolustel, lambi ja reostaadi klemmidel ning vooluringi kogupinge mõõtmine. Märgi üles nende mõõtmiste tulemused.

§ 67. Voolu tugevuse sõltuvus pingest ja takistusest. Ohmi seadus.

Vaatame, kuidas sõltub voolu tugevus juhile rakendatud pingest.

Koostame akumulaatorist, reostaadist, lülitist ja ampermeetrist vooluringi. Reostaadile rakendatud pinge mõõtmiseks ühendame voltmeetri nii, nagu näidatud joonisel 137. Suleme vooluringi ja märgime üles voltmeetri ja ampermeetri näidud.

Ühendame esimese akumulaatoriga teise samasuguse akumulaatori ja suleme uuesti vooluringi. Voltmeeter näitab kaks korda kõrgemat pinget ja ampermeeter kaks korda suuremat voolu tugevust. Kui lisame veel ühe akumulaatori, siis näeme, et reostaadile on rakendatud kolm korda suurem pinge ja teda läbib kolm korda tugevam vool. Sellest katsest järgneb: kui mitu korda suureneb juhile rakendatud pinge, nii mitu korda suureneb temas ka voolu tugevus, ehk teisiti öeldes: **konstantse takistuse korral on voolu tugevus juhis võrdeline pingega juhi otstel.**



Joon. 137. Joonisel 135 kujutatud vooluringi skeem.

Jätame vooluringis (joonis 137) akumulaatorite arvu endiseks ja muudame reostaadi takistust. Suurendame reostaadi takistust kaks korda. Ampermeeter näitab, et voolu tugevus väheneb kaks korda. Kui vähendame reostaadi takistust kaks korda, siis voolu tugevus vooluringis suureneb kaks korda.

Järelikult, **jääva pinge korral kasvab voolu tugevus nii mitu korda, kui mitu korda väheneb vooluringi lõigu takistus.** Teiste sõnadega, **voolu tugevus juhis on pöördvõrdeline juhi takistusega.**

Uurides voolu tugevuse sõltuvust pingest ja takistusest, avastas saksa teadlane Ohm 1827. aastal järgmise seaduse: **voolu tugevus juhis on võrdeline pingega juhi otstel ja pöördvõrdeline juhi takistusega.**

Ohmi seadus on üks elektrivoolu põhiseadustest. Voolu tugevuse, pinge ja takistuse määramisega seotud arvutused tehakse enamasti Ohmi seaduse järgi.

Kasutades voolu tugevuse, pinge ja takistuse tähiseid, võime Ohmi seaduse üles kirjutada järgmise valemi kujul:

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

Kui on vaja arvutada vooluringi osale rakendatud pinget voolu tugevuse ja takistuse kaudu, siis antakse valemile teine kuju:

$$U = IR.$$

Vooluringi osa takistuse arvutamiseks võib Ohmi seaduse valemi kirjutada järgmiselt:

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

See valem näitab, et juhile rakendatud pinge ja juhti läbiva voolu tugevuse suhe on jääv ja võrdub juhi takistusega.

Vaatame mõnda näidet.

1. Arvutada voolu tugevus elektripliidis, kui võrgu pinge on 127 V ja pliidi spiraali takistus on 24 oomi.

$U = 127$ V
$R = 24\Omega$
$I = ?$

Ohmi seaduse põhjal:

$$I = \frac{U}{R}; \quad I = \frac{127\text{ V}}{24\ \Omega} = 5{,}3\text{ A}.$$

2. Ampermeeter näitab, et voolu tugevus vooluringis on 0,2 A. Vooluringi on lülitatud 8-oomine takistus. Kui suur on pinge takistusel?

$I = 0{,}2$ A
$R = 8\Omega$
$U = ?$

Ohmi seaduse järgi $U = I \cdot R$;
$U = 0{,}2\text{ A} \cdot 8\Omega = 1{,}6$ V.

3. Ampermeeter, mis on lülitatud vooluringi lambiga järjestikku, näitab voolu tugevust 0,35 A. Pinge lambi klemmidel on 3,5 V. Leida lambi hõõgniidi takistus.

$I = 0{,}35$ A
$U = 3{,}5$ V
$R = ?$

Ohmi seaduse järgi $R = \frac{U}{I}$;

$$R = \frac{3{,}5\text{ V}}{0{,}35\text{ A}} = 10\Omega.$$

Harjutus 24. 1. Reostaat takistusega 600 oomi on lülitatud võrku, mille pinge on 127 V. Leida voolu tugevus reostaadis.

2. Voltmeetri takistus on 1200 oomi. Kui suur on voltmeetrit läbiva voolu tugevus, kui ta näitab pinget 10 V?

3. Kui suur pinge tuleb rakendada 1000-oomise takistusega juhile selleks, et teda läbiks vool tugevusega 1 mA?

4. Vooluringi lülitatud ampermeeter näitab voolu tugevust 1,8 A. Kas ampermeeter näitab õigesti, kui kontrollitud voltmeeter näitab sellesse vooluringi lülitatud reostaadi klemmidel pinget 2,5 V? Reostaadi takistus on 1,4 oomi.

5. Ampermeetri takistus on 0,02 oomi ja temaga võib mõõta kuni 10 A tugevust voolu. Miks seda ampermeetrit ei või lülitada otseselt valgustusvõrku, mille pinge on 120 V?

6. Vooluringi on ühendatud järjestikku kolm juhti, mille takistused on 6 oomi, 12 oomi ja 24 oomi. Ampermeeter näitab, et voolu tugevus selles vooluringis on 150 mA. Leida juhtidele rakendatud kogupinge ja pinge igal juhil.

7. Ampermeeter takistusega 0,015 oomi on ühendatud järjestikku reostaadiga, mille takistus on 12 oomi. Ampermeeter näitab voolu tugevust 6 A. Leida pinge reostaadil ja ampermeetril.

8. Leida lambi hõõgniidi takistus, kui seda läbib vool tugevusega 0,12 A ja pinge hõõgniidi otstel on 120 V.

9. Voltmeeter näitab pinget 220 V ja teda läbib vool tugevusega 15 mA. Arvutada voltmeetri takistus.

10. Elektrijaama generaator annab 127-voldist pinget. Generaatori klemmidega on ühendatud kaks lampi, kumbki takistusega 60 oomi. Üks lamp on otse generaatori juures, teine aga asub generaatorist 1,6 km kaugusel ja on ühendatud sellega juhtmete abil. Juhtmed on tehtud vasktraadist läbimõõduga 4 mm. Leida voolu tugevus esimeses ja teises lambis. Kas teine lamp põleb niisama heledalt kui esimene?

§ 68. Laboratoorne töö nr. 6.

Juhi takistuse määramine ampermeetri ja voltmeetri abil.

Töövahendid. Akumulaator või elementide patarei, kaks juhti (traadipooli), laboratoorne ampermeeter ja voltmeeter, reostaat, lüliti ja ühendusjuhtmed.

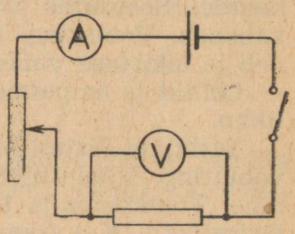
Töö käik. 1. Koosta vooluring vastavalt joon. 138 toodud skeemile. Märgi tabelisse ampermeetri näit.

2. Ühenda voltmeeter uuritava juhi otstega ja mõõda pinge juhil. Mõõtmistulemus märgi tabelisse.

3. Nihuta reostaadi liugur uude asendisse ja mõõda uuesti voolu tugevus ja pinge. Mõõtmistulemused kanna tabeli teise ritta.

4. Arvuta saadud andmete põhjal esimese juhi takistus ja leia kahest saadud väärtusest keskmine.

5. Korralda samad mõõtmised teise juhiga.



Joon. 138. Laboratoorse töö nr. 6 juurde.

	Voolu tugevus	Pinge	Takistus
1. juht	1 2	1 2	1 2 keskmine
2. juht	1 2	1 2	1 2 keskmine

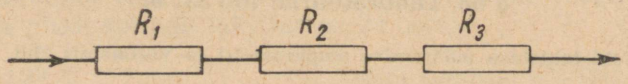
§ 69. Juhtide järjestikune ühendus.

Vooluringi osad (vooluallikas, ühendusjuhtmed, voolutarbijad ja lülitid) omavad kindlat takistust.

Vooluringi lõigu takistus sõltub teda moodustavate juhtide takistustest ja ühendusviisist. Juhte võib ühendada järjestikku ja paralleelselt.

Järjestikuseks nimetatakse niisugust ühendust, mille korral kõiki ühendatud juhte läbib sama vool. Joonisel 139 toodud skeemil on juhid, mille takistused R_1, R_2 ja R_3 on ühendatud järjestikku.

Järjestikuse ühenduse kui kõige lihtsamaga kohtusime juba eelmistes paragrahvides. Näiteks taskulambi patarei, lamp ja lüliti on ühendatud järjestikku (joon. 122). Ka laboratoorses töös olid vooluringi osad ühendatud järjestikku (joon. 138).



Joon. 139. Juhtide järjestikune ühendus.

Kui vooluringi lõiku lülitada järjestikku uus juht, siis selle lõigu takistus suureneb. Sellel põhineb reostaadi kasutamine voolu tugevuse reguleerimiseks vooluringis. Reostaadi liugurit nihutades ühendame vooluringi järjestikku rohkem või vähem traadikeerde. Seejuures vooluringi takistus vastavalt suureneb või väheneb. Vooluringi takistuse suurenemisel voolu tugevus väheneb ja takistuse vähenemisel — suureneb.

Lülitid ja ampermeetrid ühendatakse voolu tarbijatega järjestikku.

Tarbijate järjestikuse ühenduse näiteks on nääripuulampide vooluring. Vooluringi sisselülitamisel põlevad kõik lambid korraga. Trammides ja trollibussides ühendatakse lambid viiekaupa järjestikku. Kui tramm või elektrirong hakkab paigalt liikuma, siis tema elektrimootorid on samuti ühendatud järjestikku.

Vaatleme, kuidas voolu tugevus, pinge ja vooluringi lõigu kogutakistus sõltuvad järjestikku ühendatud juhtide takistustest.

Koostame vooluringi vooluallikast (akumulaatorist või patareist) ja kolmest järjestikku ühendatud juhist, mille takistused on $R_1 = 2$ oomi, $R_2 = 3$ oomi ja $R_3 = 5$ oomi (joon. 140). Vooluringi lülitame veel reostaadi, ampermeetri ja pinge mõõtmiseks voltmeetri.

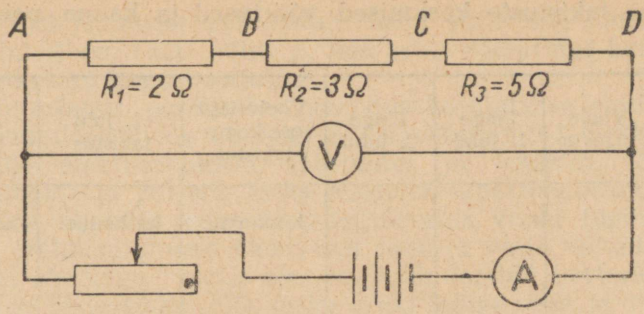
Muudame reostaadi abil voolu tugevust vooluringis nii, et lõigul AD oleks pinge 3 V. Seejuures ampermeeter näitab 0,3 A. Niisama suur on voolu tugevus ka igas juhis, sest voolu tugevus on vooluringis kõikjal ühesugune (§ 58).

Selleks et teada saada, kuidas jaguneb kogupinge üksikute juhtide vahel, mõõdame voltmeetri abil pinged nendel juhtidel, s. t. punktide A ja B, B ja C, C ja D vahel.

Voltmeeter näitab: $U_1 = 0{,}6$ V, $U_2 = 0{,}9$ V ja $U_3 = 1{,}5$ V.

Katse tulemused näitavad, et pinge vooluringi lõigul AD võrdub sellesse lõiku lülitatud juhtidele rakendatud pingete summaga, s. t.

$$3\ \text{V} = 0{,}6\text{V} + 0{,}9\text{V} + 1{,}5\text{V} \text{ ehk } U_0 = U_1 + U_2 + U_3.$$



Joon. 140. Vooluringi skeem juhtide järjestikuse ühenduse uurimiseks.

Teades, et vooluringi osa takistus väljendub Ohmi seaduse põhjal valemiga $R = \frac{U}{I}$, võime katseliselt määratud pinge ja voolu tugevuse põhjal arvutada vooluringi osa takistuse. Takistuse väärtuseks saame:

$$R = \frac{3\text{V}}{0{,}3\text{A}} = 10 \text{ oomi},$$

s. t. vooluringi osa takistus on võrdne temasse lülitatud juhtide takistuste ($R_1 = 2$ oomi, $R_2 = 3$ oomi ja $R_3 = 5$ oomi) summaga. Järelikult

$$R = R_1 + R_2 + R_3.$$

Seega järjestikku ühendatud juhtide korral on voolu tugevus kõikides vooluringi lülitatud juhtides ühesugune, pinge vooluringi osal on võrdne sinna lülitatud juhtidele rakendatud pingete summaga ja vooluringi osa takistus on võrdne kõikide juhtide takistuste summaga.

§ 70. Laboratoorne töö nr. 7.

Juhtide järjestikuse ühenduse uurimine.

Töövahendid. Vooluallikas (akumulaator või taskulambi patarei), reostaat, kaks juhti (traadipooli), laboratoorne ampermeeter ja voltmeeter, lüliti, ühendusjuhtmed.

Töö käik. 1. Koosta vooluring, ühendades järjestikku vooluallika, reostaadi, kaks juhti (pooli) ja ampermeetri.

2. Mõõda kahe juhi (pooli) kogupinge, pinge kummalgi juhil eraldi ja voolu tugevus vooluringis. Arvuta mõõtmistulemuste põhjal järjestikku ühendatud juhtide kogutakistus ja kummagi juhi takistus eraldi. Tee seda reostaadi liuguri kahe asendi korral.

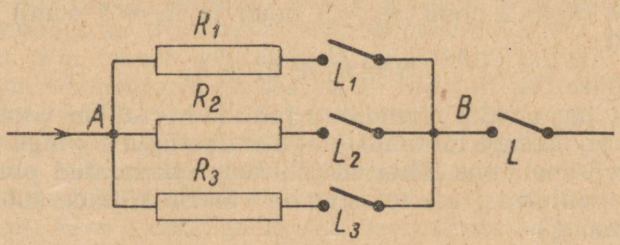
3. Leia takistuste keskmised väärtused ja kanna need tabelisse.

Pinge vooluringi osal	Voolu tugevus	Pinge 1. juhil	Pinge 2. juhil	Vooluringi osa kogutakistus	1. juhi takistus	2. juhi takistus
1. 2.				keskmine:	keskmine:	keskmine:

4. Veendu, kas eelmise paragrahvi lõpus tehtud järeldused on õiged.

§ 71. Juhtide paralleelne ühendus.

Praktikas ühendatakse voolutarbijad enamasti paralleelselt. Paralleelse ühenduse korral vool hargneb mingis vooluringi punktis ja läheb edasi mööda mitut juhet. Neid juhte nimetatakse harudeks. Hiljem need voolud ühinevad uuesti üheks vooluks. Kolme juhi paralleelse ühenduse skeem on toodud joonisel 141. Vool hargneb punktis *A* ja ühineb uuesti punktis *B*.



Joon. 141. Juhtide paralleelne ühendus.

Tähistame voolu tugevuse vooluringi hargnemata osas tähega *I*, voolu tugevused haruvooluringides I_1, I_2 ja I_3. Kuna punktides *A* ja *B* laenguid ei kogune juurde ega kao, siis vooluringi ühist osa läbinud laeng võrdub läbi kõikide harude voolanud laengute summaga. Seetõttu võime kirjutada järgmise võrduse:

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

Ei ole raske näha, et pinge paralleelselt ühendatud juhtidel on ühesugune — ta on võrdne punktide *A* ja *B* vahelise pingega.

Paralleelse ühenduse eeliseks, võrreldes järjestikuse ühendusega, on see, et iga voolutarbijat võib sisse ja välja lülitada

kõikidest ülejäänutest sõltumatult. Seda võib teha lülitite L_1, L_2 ja L_3 abil (joon. 141). Lüliti L, mis asub vooluringi hargnemata osas, katkestab kogu vooluringi.

Voolutarbijate paralleelset ühendust kasutatakse tehnikas laialdaselt. Paralleelselt on ühendatud valgustuslambid elektrivõrgus, tööpinkide elektrimootorid vabrikutes ja tehastes, trammide, elektrirongide ja paljude teiste masinate elektrimootorid. Ainult paralleelne ühendus võimaldab reguleerida voolu tugevust igas tarbijas eraldi ning neid ükshaaval sisse ja välja lülitada. Kujutlege, kui ebamugav oleks see, kui kõik lambid korteris oleksid ühendatud järjestikku. Siis saaks kõiki lampe sisse ja välja lülitada ainult korraga. Kui üks lamp läbi põleks, siis kustuksid ka kõik ülejäänud. Paralleelse lülituse korral me lülitame sisse ainult selle lambi, mida vajame.

Teiseks tähtsaks paralleelse ühenduse eeliseks on see, et kõiki tarbijaid toidetakse vooluga, millel on ühesugune pinge. Kui korterisse on toodud vool pingega 127 või 220 V (sellist pinget kasutatakse meie maal valgustusvõrkudes), siis seda pinget rakendatakse igale tarbijale. See võimaldab tarbijaid (lampe, elektripliite, -triikraudu, -teekanne jt.) valmistada kindla pinge jaoks. Tööpinkide, trammide ja teiste seadmete elektrimootorid valmistatakse samuti kindla pinge (127, 220, 380, 600 V jt.) jaoks.

Seega, **juhtide paralleelse ühenduse korral voolu tugevus vooluringi hargnemata osas on võrdne üksikute harude voolu tugevuste summaga; pinge kõikidel paralleelselt lülitatud juhtidel on ühesugune.**

§ 72. Takistus juhtide paralleelsel ühendamisel.

Kui järjestikuse ühenduse korral iga uue takistuse juurdelülitamine suurendab vooluringi lõigu kogutakistust, siis paralleelse ühenduse korral uue haru juurdelülitamine annab voolule täiendava tee ja vähendab lõigu takistust.

Arvutame mitmest paralleelselt ühendatud juhist koosneva vooluringi osa takistuse (paralleelselt ühendatud juhtide kogutakistuse).

Tähistame kogutakistuse tähega R, ühise pinge kõikidel harudel tähega U ja üksikute harude takistused tähtedega R_1, R_2 ja R_3. Ohmi seaduse põhjal

$$I = \frac{U}{R}; \qquad I_1 = \frac{U}{R_1}; \qquad I_2 = \frac{U}{R_2} \text{ ja } I_3 = \frac{U}{R_3}.$$

Pidades silmas, et voolu tugevus vooluringi hargnemata osas on võrdne üksikute harude voolu tugevuste summaga, s. t. $I = I_1 + I_2 + I_3$, võime kirjutada:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}.$$

Jagades võrduse mõlemaid pooli U-ga, saame

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Selle valemi abil saab arvutada mitmest paralleelselt ühendatud juhist koosneva vooluringi osa takistuse, kui kõikide nende juhtide takistused on teada.

Näited. 1. Kaks juhti, mille takistused on $R_1 = 3$ oomi ja $R_2 = 6$ oomi, on ühendatud paralleelselt. Leida vooluringi hargnenud osa takistus R.

Paneme andmed eespool saadud valemisse:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{1+2}{6} = \frac{1}{2}.$$

Siit leiame, et $R = 2$ oomi.

2. Vooluringi on üksteisega paralleelselt ühendatud 10 lampi, millest igaühe takistus on 120 oomi. Leida vooluringi hargnenud osa kogutakistus.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{120} + \frac{1}{120} + \ldots + \frac{1}{120} = \frac{10}{120} = \frac{1}{12}.$$

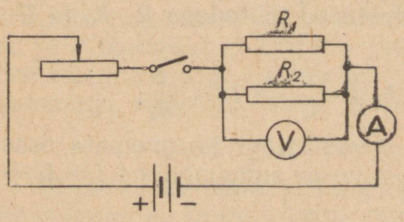
Siit $R = 12$ oomi.

Nendest näidetest selgub, et paralleelselt ühendatud juhtide kogutakistus on väiksem iga üksiku juhi takistusest. Kui paralleelselt on ühendatud n ühesugust juhti, siis kogutakistus on üksiku juhi takistusest n korda väiksem. n ühesugust juhti asendavad ühte juhti, mille ristlõike pindala on iga juhi ristlõike pindalast n korda suurem.

§ 73. Laboratoorne töö nr. 8.

Juhtide paralleelse ühenduse uurimine.

Töövahendid. Vooluallikas (akumulaator või taskulambi patarei), reostaat, kaks juhti (pooli), laboratoorne voltmeeter ja ampermeeter, lüliti ja ühendusjuhtmed.



Joon. 142. Laboratoorse töö nr. 8 juurde.

Töö käik. 1. Koosta vooluring joonisel 142 kujutatud skeemi järgi.

2. Mõõda pinge paralleelselt ühendatud juhtide otste vahel.

3. Lülita ampermeeter korda-mööda vooluringi hargnemata ossa ja üksikutesse harudesse ning mõõda voolu tugevused. Märgi mõõtmistulemused tabeli ülemisse ritta.

4. Muuda reostaadi abil hargmiku otste vahelist pinget ja mõõda uuesti voolu tugevused.

5. Saadud andmete põhjal arvuta lõigu ja üksikute harude takistuste keskmised väärtused.

Pinge hargmikul	Voolu tugevus hargnemata osas	Voolu tugevus 1. harus	Voolu tugevus 2. harus	Hargmiku kogutakistus	1. haru takistus	2. haru takistus
1.				keskm.	keskm.	keskm.
2.						

6. Veendu, et paralleelse ühenduse jaoks saadud voolu tugevuste vaheline seos ja takistuse valem kehtivad.

Harjutus 25. 1. Väntreostaat (joon. 133) koosneb 12 spiraalist. Iga spiraali takistus on 8 oomi. Milline on selle reostaadi suurim takistus?

2. Vooluringi osa koosneb kolmest järjestikku ühendatud juhist, mille takistused on 10 oomi, 20 oomi ja 30 oomi. Leida voolu tugevus nendes juhtides, kui pinge selle vooluringi osal on 6 V. Milline on pinge igal üksikul juhil? Joonista vihikusse juhtide ühendamise skeem.

3. Nääripuulampide ahel, mis on arvestatud pingele 127 V, koosneb 21 lambist. Iga lambi takistus on 12 oomi. Leida voolu tugevus ahela otstel ja pinge igal lambil.

4. Mitu kuuevoldist autolampi tuleb võtta selleks, et neist koostada pingele 120 V arvestatud järjestikune ahel?

5. Trammide jaoks kasutatakse 600-voldist pinget. Kuidas saab vagunite valgustamiseks kasutada lampe, mis on arvestatud pingele 127 V?

6. Kaks ühesugust lampi, mis on arvestatud pingele 127 V, on ühendatud järjestikku ja lülitatud 127-voldise pingega võrku. Kuidas lambid põlevad?

7. Kaks juhti, mille takistused on 30 oomi ja 60 oomi, on ühendatud teineteisega paralleelselt. Neid toidab vooluallikas, mille pinge on 6 V. Leida voolu tugevus kummaski juhis ja vooluringi hargnemata osas. Joonista juhtmete ühendamise skeem.

8. Joonista viiest paralleelselt ühendatud elektrilambist koosnev vooluring ja mõtle, kuidas tuleb ühendada kaks lülitit, selleks et nende abil oleks võimalik sisse lülitada 2 lampi, 3 lampi ja kõik 5 lampi.

9. Korteris on 4 lampi, mille takistused on 230 oomi, 230 oomi, 635 oomi ja 270 oomi. Leia voolu tugevus võrgus, kui põleb kaks esimest lampi, kaks teist lampi; kõik neli lampi. Võrgu pinge on 127 V.

10. Paralleelselt juhiga, mille takistus on 12 oomi, ühendati juht takistusega 24 oomi. Kuidas muutus vooluringi osa kogutakistus? Kontrolli vastust arvutuste abil.

11. Kolm juhti, mille takistused on 8 oomi, 12 oomi ja 24 oomi, on ühendatud paralleelselt. Arvuta kogutakistus.

12. Millise takistusega juht tuleb lülitada järjestikku juhiga, mille takistus on R, selleks et vooluringi osa kogutakistus suureneks kaks korda? kolm korda?

13. Millise takistusega juht tuleb lülitada paralleelselt juhiga, mille takistus on R, selleks et vooluringi osa kogutakistus väheneks kaks korda? kolm korda?

III peatükk.

VOOLU TÖÖ JA VÕIMSUS.

§ 74. Elektrivoolu töö.

Elektrivoolu toimel juht soojeneb. Juhi aatomite soojusliikumine kiireneb ja nende siseenergia suureneb. Kuna teisi soojusallikaid antud juhul ei ole, siis siseenergia[1] suureneb ainult elektrivoolu töö arvel.

Juhi siseenergia suureneb seetõttu, et elektrivälja mõjul liikuvad vabad elektronid mõjutavad aine aatomeid ja annavad neile osa oma energiast.

Kui elektriväli kaob, siis lakkab elektronide liikumine juhis väga kiiresti. Elektrivälja mõjul liiguvad elektronid positiivse pooluse poole. Seega teeb elektrivool tööd elektrivälja energia arvel.

Millistest suurustest sõltub elektrivoolu töö?

Et seda välja selgitada, teeme järgmise katse. Ühendame lambi ja reostaadi järjestikku vooluringi. Voolu tugevust lambis mõõdame ampermeetriga ja pinget voltmeetriga (joon. 143).

Seame reostaadi niisugusele takistusele, et lamp tumedalt hõõgub. Seejärel vähendame reostaadi takistust. Lamp hakkab heledamalt hõõguma, kusjuures voltmeeter näitab kõrgemat pinget ja ampermeeter suuremat voolu tugevust. Kui uuesti vähendada reostaadi takistust, siis hakkab lamp veelgi heledamalt hõõguma ning mõõduriistad näitavad veel suuremat pinget ja voolu tugevust.

Mida heledam on lambi hõõgniit, seda rohkem eraldub soojust ja seda rohkem tööd teeb elektrivool. Sellest võib järeldada, et elektrivoolu töö on võrdeline pingega juhi otstel ja juhti läbiva voolu tugevusega.

Samuti on voolu töö seda suurem, mida kauem läbib juhti vool. Seega voolu töö on võrdeline ajaga.

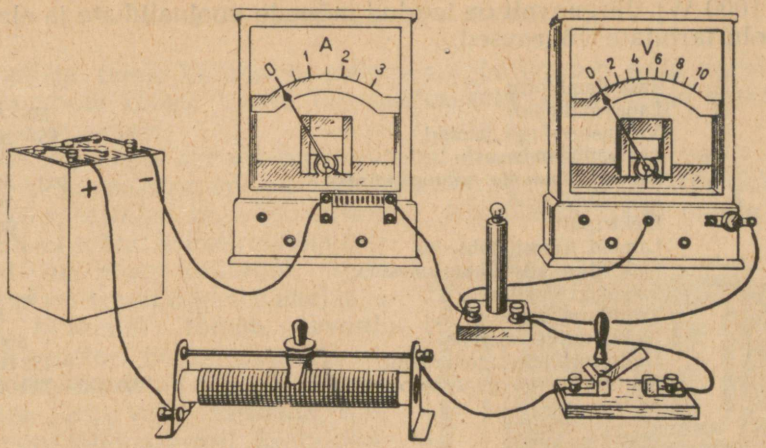
Matemaatiliselt väljendub voolu töö valemiga

$$A = IUt,$$

kus A on töö, U — pinge, I — voolu tugevus ja t — aeg.

---

[1] Siseenergia kohta vt. 7. kl. õpik § 44 ja 45.



Joon. 143. Katseriistade ühendamine voolu töö määramiseks.

Kui pinget mõõta voltides, voolu tugevust amprites ja aega sekundites, siis voolu töö väljendub džaulides (vt. 7. klassi õpik, § 22).

Seega **elektrivoolu töö džaulides väljendub korrutisena, mille teguriteks on pinge voltides, voolu tugevus amprites ja aeg sekundites.**

Elektrivoolu töö ei avaldu ainult juhi soojenemises, vaid ka puhta metalli väljaeraldumises metallisoola lahusest (voolu keemiline toime) ja mehhaanilise tööna.

§ 75. Elektrivoolu võimsus.

Mehhaanikast teame, et võimsus on arvuliselt võrdne ühes ajaühikus, näiteks ühes sekundis tehtud tööga.

$$N = \frac{A}{t}.$$

Elektrivoolu töö võrdub pinge, voolu tugevuse ja aja korrutisega. Jagades valemi $A = UIt$ mõlemad pooled ajaga t, saame voolu võimsuse:

$$N = UI.$$

Kui töö on väljendatud džaulides, siis saame võimsuse džaulides sekundi kohta, s. o. vattides (vt. 7. kl. õpik, § 23).

Seega **elektrivoolu võimsus vattides võrdub pinge voltides korrutatud voolu tugevusega amprites.**

Elektrivoolu võimsust võib väljendada ka kilovattides (1kW =

= 1000 W). Järgnevalt on toodud mõnede vooluallikate ja elektrivoolu tarbijate võimsused.

Taskulambipirn	1 W
Lauaventilaator	20—50 „
Valgustusvõrgu lambid	15—200 „
Lambapügamismasin	140 „
Lambid tänavate valgustamiseks	300—500 „
Elektritriikraud	300 „
Elektripliit	600 „
Lambid Kremli tähtedes	5 kW
Elektriline silolõikamismasin	10 „
Treipingi mootor	5—15 „
Trollibussi mootor	85 „
Elektriveduri mootor	4000 „
Hüdroturbiiniga generaator	250 000 „
Auruturbiiniga generaator	50 000—300 000 „

§ 76. Teine viis voolu töö arvutamiseks.

Kui on teada elektrivoolu tarbija võimsus N ja tema töötamise aeg t, siis võib voolu tööd arvutada järgmisest valemist:

$$A = Nt.$$

Väljendades võimsuse vattides ja aja sekundites, saame töö džaulides. Seda on kerge näha järgmisest seosest:

$$1\ \text{W} = \frac{1\ \text{J}}{1\ \text{s}},\ \text{kust saame}\ 1\ \text{J} = 1\ \text{W} \cdot 1\ \text{s}.$$

Praktikas on ebamugav väljendada tööd džaulides, sest et džaul on liiga väike mõõtühik. Seetõttu kasutatakse sagedamini järgmisi ühikuid:

1 hektovatt-tund = 100 W · 1 tund = 360 000 J;

1 kilovatt-tund = 1000 W · 1 tund = 3 600 000 J.

Et arvutada näiteks voolu tööd elektrilambis, tuleb teada, millisele võimsusele lamp on arvestatud ja mitu tundi ta põleb. Võimsus, millele voolutarbija on arvestatud, märgitakse erilisse tabelisse (tarbija passi). Lambi võimsus on näidatud lambi balloonil või soklil.

Oletame, et korteris kasutatakse lampi, mis on arvestatud võimsusele 60 W[1]. Lamp põleb iga päev 4 tundi. Arvutame voolu töö ühes kuus (30 päeva).

Voolu töö võrdub võimsuse ja aja korrutisega:

A = 0,06 kW · 120 tundi = 7,2 kWh.

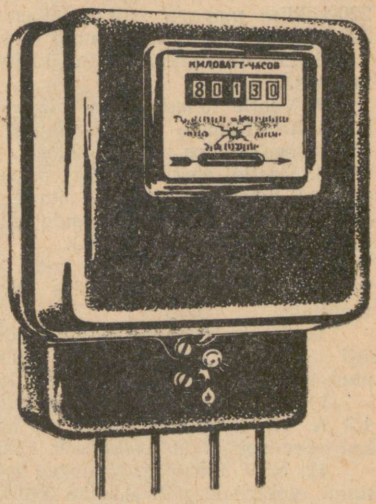
---

[1] Selle asemel, et iga kord öelda: «Lamp on arvestatud võimsusele 60 W», öeldakse lihtsalt: «Lambi võimsus on 60 W». Viimane väljendus ei ole päris õige, sest lamp ei oma mingit võimsust. Rääkides lambi võimsusest, mõistame selle all niisuguse voolu võimsust, mis läbib lampi siis, kui lamp põleb ettenähtud pingel.

§ 77. Elektrienergia arvesti.

Tarbija poolt kulutatud elektrienergia võrdub seda tarbijat läbiva voolu tööga. Voolu töö mõõtmiseks kasutatakse elektrienergia arvesteid.

Elektrienergia arvesti on kujutatud joonisel 144. Arvestis on väike elektrimootor, mis on ühendatud tarbija ahelaga järjestikku. Kui kõik tarbijad on välja lülitatud, siis ahelas voolu ei ole ja arvesti ei tööta. Mida rohkem tarbijaid on sisse lülitatud, seda suurem on voolu tugevus ahelas ja seda kiiremini töötab arvesti. Elektrimootori ketas on näha arvesti aknakesest. Ketta pöörlemise kiiruse järgi võib otsustada, milline vool läbib arvestit. Ketta pöörete arvu registreerib loendusmehhanism. Arvesti skaalale ilmuvad pidevalt numbrid, mis näitavad tarbijate poolt kulutatud elektrienergiat ehk elektrivoolu tööd kilovatt-tundides.



Joon. 144. Elektrienergia arvesti.

Et teada saada, kui palju elektrienergiat kulutati korteris mingis ajavahemikus, näiteks ühes kuus, tuleb üles märkida arvesti näit (kilovatt-tundide arv) kuu algul ja lahutada see arvesti näidust kuu lõpul.[1]

Oletame näiteks, et mingi kuu lõpul oli arvesti näit 801,30 kWh (joon. 144) ja eelmise kuu lõpul 792,05 kWh. Järelikult ühe kuu jooksul elektrivoolu poolt tehtud töö on:

$$801{,}30\ \text{kWh} - 792{,}05\ \text{kWh} = 9{,}25\ \text{kWh}.$$

Et teada saada kulutatud elektrienergia hinda, tuleb voolu töö kilovatt-tundides korrutada ühe kilovatt-tunni hinnaga. Elektrijaamades toodetakse elektrienergiat elanikkonna vajadusteks hinnaga 4 kopikat kilovatt-tund. Seega antud juhul tuleb elektrienergia eest maksta 37 kopikat.

Mõned arvestid mõõdavad voolu tööd hektovatt-tundides. Sellepärast tuleb alati vaadata, missugune voolu töö mõõtühik on märgitud arvesti skaalale.

---

[1] Arvesti skaala kaks viimast numbrit (mõnikord ka üks number), mis on teise värvusega või asuvad pärast koma, näitavad kilovatt-tunni kümnendikke ja sajandikke.

Harjutus 26. 1. Kui suure töö teeb elektrivool taskulambipirnis 5 minuti jooksul, kui lambi pinge on 3,5 V ja voolu tugevus 0,25 A?

2. 120-voldise pingega vooluvõrku on lülitatud elektripliit, mille takistus on 24 Ω. Kui suur on pliiti toitva voolu võimsus?

3. Viljapeksumasina MK-100 mootori võimsus on 13 kW. Leia voolu tugevus ühendusjuhtmetes, kui võrgupinge on 220 V. Arvuta ühe vahetuse (7 tunni) jooksul kulutatud elektrienergia hind. Ühe kilovatt-tunni hind on kehtiva tariifi kohaselt 2 kop.

4. Kui suur on voolu tugevus 96-vatise võimsusega lambis, mis on arvestatud pingele 127 V? pingele 220 V?

5. Miks ei või lampi, mis on ette nähtud töötamiseks pingel 127 V, lülitada 220-voldise pingega võrku? Vastuse põhjendamiseks arvuta, mitu korda on 220-voldise pinge korral lampi läbiva voolu võimsus suurem.

6. Elektritriikrauale on kirjutatud: 127 V, 300 W. Arvuta triikraua takistus.

7. Vaatle ühesugusele pingele arvestatud 40-vatise ja 220-vatise lambi hõõgniite. Kumma lambi hõõgniit on väiksema takistusega? Vastust põhjenda arvutusega, võttes pingeks 220 V.

8. Vaatle elektrienergia arvestit oma korteris. Kirjuta üles arvesti näit (kilovatt-tundide murdosad jäta arvestamata). Mõne päeva pärast vaata uuesti arvesti näitu ja arvuta nende päevade jooksul kulutatud elektrienergia hind (1 kWh hinnaks võta 4 kop.).

9. Teades, mitu arvesti ketta pööret vastab 1 kWh-le, võib arvutada mingi voolutarbija võimsuse. Kuidas seda teha? Võrgupinge kõikumist seejuures ei arvestata.

10. Korteris on 6 lampi, millest 2 lampi on 96-vatised, 2 lampi 60-vatised ja 2 lampi 40-vatised. Iga lamp põleb keskmiselt 5 tundi ööpäevas. Arvuta ühes kuus korteri valgustamiseks kulutatud elektrienergia hind.

11. Televiisor KBH-49, töötades pingel 127 V, tarbib voolu tugevusega 1,3 A. Arvuta televiisori poolt ühe kuu kestel kulutatud elektrienergia hind, kui televiisor töötab keskmiselt 2 tundi ööpäevas.

12. NSV Liidus kulutatakse igal aastal valgustuseks 30 miljardit kilovatt-tundi elektrienergiat. Arvuta kõikide lampide koguvõimsus, lugedes iga lambi põlemise ajaks 6 tundi ööpäevas.

§ 78. Laboratoorne töö nr. 9.

Elektrilampi läbiva voolu võimsuse määramine.

T ö ö v a h e n d i d. Vooluallikas (akumulaator või taskulambipatarei), taskulambipirn alusel, laboratoorne voltmeeter ja ampermeeter, lüliti, ühendusjuhtmed. Vastavate mõõduriistade olemasolu korral võib kasutada ka lampi, mis saab voolu valgustusvõrgust.

T ö ö k ä i k. Koosta vooluallikast ja lambist vooluring. Ühenda lambiga järjestikku ampermeeter ja mõõda voolu tugevus.

2. Mõõda voltmeetriga pinge lambi klemmidel.

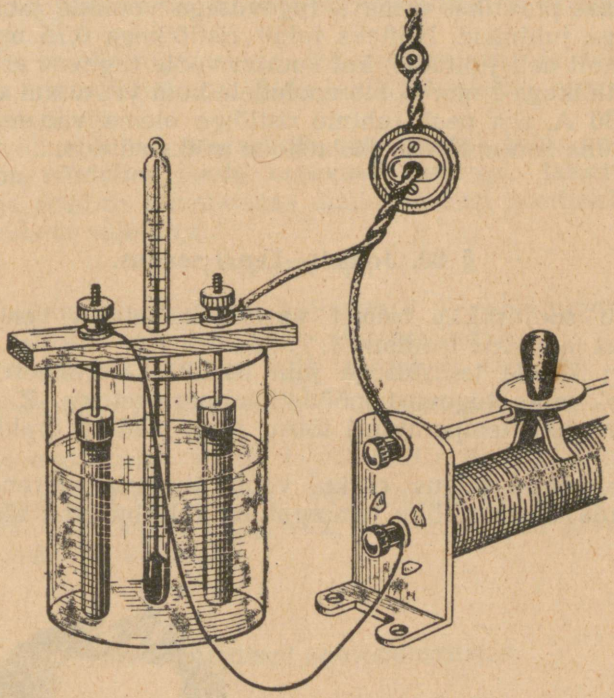
3. Joonista vihikusse vooluringi skeem ja märgi üles mõõduriistade näidud.

4. Arvuta voolu võimsus lambis ja voolu poolt ühe minuti jooksul tehtud töö.

5. Võrdle saadud võimsust lambile märgitud võimsusega.

§ 79. Juhi soojenemine elektrivoolu mõjul.

Tutvusime juba elektrivoolu soojusliku toimega (§ 50). Voolu soojusliku toime üheks ilmekaks ja levinud näiteks on elektrilambi hõõgniidi helendumine. Peale metalljuhtmete soojenevad voolu mõjul ka vedelikud (joon. 145) ja gaasid. Näiteks välgu tekkimisel kuumeneb elektrivoolu mõjul õhk (§ 52).



Joon. 145. Vool, läbides vett, soojendab seda.

Vaatleme lähemalt, millest sõltub elektrivoolu soojuslik toime. Selleks ühendame järjestikku kolm võrdse pikkuse ja ristlõikega juhet — vask-, teras- ja nikeliintraadi. Lülitame need järjestikku reostaadi ja ampermeetriga valgustusvõrku.

Suurendades järk-järgult voolu tugevust, märkame, et traadid soojenevad üha enam. Seega juhi soojenemine sõltub teda läbiva voolu tugevusest.

Teatud voolu tugevuse juures nikeliintraat hõõgub punakalt, terastraat ei hõõgu, kuid on kuum, kuna vasktraat on vaevalt märgatavalt soe. Kolmest traadist omab kõige suuremat takistust nikeliintraat, kõige väiksemat aga vasktraat. Seega ühe ja sama voolu tugevuse korral soojeneb kõige enam see juht, mille takistus

on kõige suurem. See seaduspärasus ilmneb iga elektrilambi vooluringis. Lambi peen, suure takistusega hõõgniit kuumeneb peaaegu 3000-kraadise temperatuurini. Vasest ühendusjuhtmed on aga samal ajal täiesti külmad.

Kui vaskjuhtmetes on voolu tugevus väga suur, siis võivad ka nemad tugevasti kuumeneda. Ühendusjuhtmete kuumenemine põhjustab energiakadu ning võib esile kutsuda tulekahju. Seetõttu kasutatakse praktikas erineva tugevusega voolude jaoks erineva ristlõikega juhtmeid. Näiteks juhet ristlõikega 0,75 mm^2 kasutatakse ainult neil juhtudel, kui suurim voolu tugevus ei ületa 9 A. Juhe ristlõikega 1 mm^2 sobib vooludele kuni 11 A. Kui voolu tugevus on 30 A, siis peab juhtme ristlõige olema vähemalt 6 mm^2. Muidu juhe soojeneks ja isolatsioon võiks süttida.

§ 80. Joule'i—Lenzi seadus.

Voolu soojuslikku toimet uurisid katseliselt vene teadlane E. H. Lenz ja inglise teadlane J. P. Joule.

Mingi kindla takistusega juht asetati kalorimeetrisse. Juhti lasti vool, mille tugevust mõõdeti ampermeetriga. Kalorimeetris oleva vedeliku temperatuuri tõusu järgi määrati eraldunud soojushulk.

Katse põhjal selgus, et kui voolu tugevus suureneb näiteks kaks korda, siis vedeliku temperatuur kalorimeetris tõuseb mitte



Emil Hristianovitš Lenz (1804—1865) — väljapaistev vene füüsik, akadeemik. Sai kuulsaks voolu soojusliku toime seaduse avastamisega ja uurimustega elektromagnetilise induktsiooni valdkonnast (Lenzi seadus). E. H. Lenz avastas elektrimasinate pööratavuse.

kaks, vaid neli korda. Voolu tugevuse suurenemisel kolm korda tõusis temperatuur üheksa korda. Seega katsed näitasid, et juhis eraldunud soojushulk on võrdeline voolu tugevuse ruuduga.

Asendades juhi kalorimeetris teiste juhtidega, mille takistus on näiteks 2 või 3 korda suurem, ja lastes läbi nende sama tugevusega voolu, ilmneb, et võrdsetes ajavahemikes tõuseb nende temperatuur samuti 2 või 3 korda. See katse näitab, et juhis eraldunud soojushulk sõltub juhi takistusest ja on sellega võrdeline.

Kui jätta voolu tugevus ja takistus samaks ja suurendada ainult aega, mille kestel vool läbib juhti, siis näeme, et soojushulk on võrdeline ajaga.

Seega võime öelda: **soojushulk, mis eraldub juhis voolu läbiminekul, on võrdeline voolu tugevuse ruuduga, takistusega ja ajaga.** Seda seadust nimetatakse Joule'i—Lenzi seaduseks. Teda võib väljendada valemiga:

$$Q = 0{,}24\, I^2 R\, t,$$

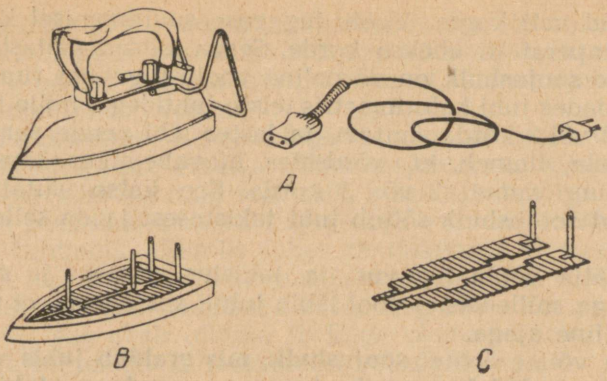
kus Q on eraldunud soojushulk kalorites, I — voolu tugevus amprites, R — takistus oomides ja t — aeg sekundites.

Selleks et mõista kordaja 0,24 tähendust, vaatleme korrutist I^2Rt. Ohmi seaduse põhjal $I = \frac{U}{R}$. Asendades korrutise I^2Rt ühe teguri selle avaldisega, saame $I\frac{U}{R}Rt = IUt$. Saadud avaldis väljendab voolu tööd džaulides (§ 74). Kuna 1 džaul võrdub 0,24 kaloriga (vt. 7. kl. õpik, § 52), siis, korrutades I^2Rt arvuga 0,24, saame soojushulga kalorites.

§ 81. Elektrilised soojendusriistad.

Voolu soojuslikku toimet kasutatakse mitmesugustes elektrisoojendusriistades. Koduses majapidamises on laialdaselt levinud elektrikeetjad, -pliidid, -triikrauad ja -teekannud. Tööstuses kasutatakse voolu soojuslikku toimet näiteks spetsiaalsete terasesortide ja teiste metallide sulatamiseks ning elektrikeevituseks. Põllumajanduses köetakse elektrivoolu abil kasvuhooneid, söödaauruteid, inkubaatoreid (haudeaparaate), kuivatatakse vilja ja valmistatakse silo.

Elektrisoojendusriistade põhiliseks osaks on kütteelement. Kütteelemendiks on kuumakindlast materjalist (vilgukivist, šamottkivist, keraamilisest materjalist) plaat, mille ümber mähitakse suure eritakistusega metallist traat või lint. Enamasti valmistatakse see nikli, kroomi, raua ja mangaani sulamist, mis on tuntud nikroomi nime all. Nikroomi eritakistus on 0,11. See on vase eritakistusest peaaegu 70 korda suurem.



Joon. 146. Elektritriikraud:
A — väliskuju; *B* — elektritriikraua alumine osa kaaneta; *C* — kütteelement.

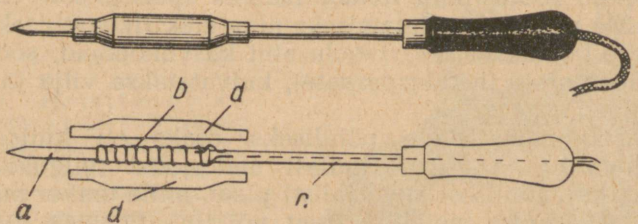
Elektritriikraua kütteelement on kujutatud joonisel 146, *C*. Vool kuumutab nikroomlindi 600—700-kraadise temperatuurini. Lint annab soojuse edasi triikraua teistele osadele, sealjuures ka alusplaadile (joon. 146, *B*).

Elektrijootekolvi ehitus on näidatud joonisel 147.

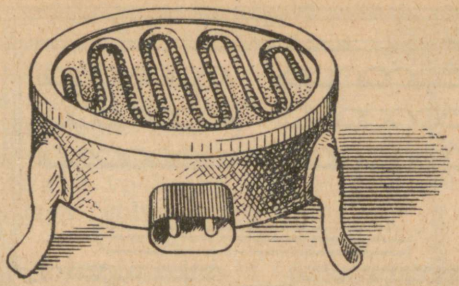
Elektripliidi kütteelemendiks on nikroomtraadist spiraal, mis on asetatud keraamilise plaadi uuretesse (joon. 148).

Kasvuhoonetes rakendatakse kütteelementidena tsementtorusid. Torude sees on küttetraadid (joon. 149). Traadid kuumenevad voolu mõjul ning soojendavad torusid, mulda ja õhku kasvuhoones. See võimaldab kasvatada aedvilju ka talvel.

Mõnikord kuumutatakse ainet sel teel, et elektrivool lastakse vahetult läbi selle aine. Näiteks mõnedes söödaauruti tüüpides on elektroodid vees. Vool läbib vett ja ajab selle keema. Sellist soojendamisviisi rakendatakse ka kõrgahjudes terase sulatamisel ning alumiiniumi, vase ja teiste metallide tootmisel.

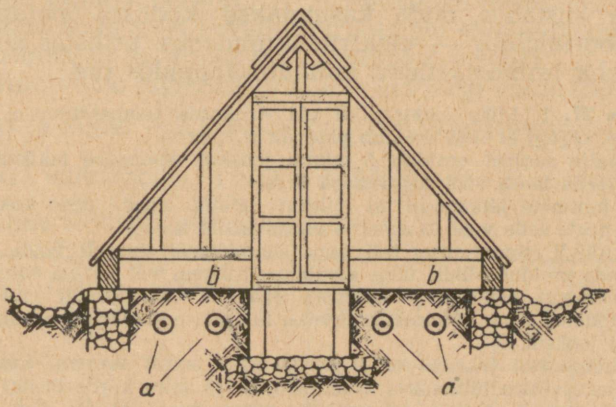


Joon. 147. Elektrijootekolb:
a — jootekolvi vaskvarras; *b* — vilgukivikihile mähitud nikroomtraat; *c* — toru, milles on ühendusjuhtmed; *d* — metallist kaitsekesta osad.



Joon. 148. Elektripliit.

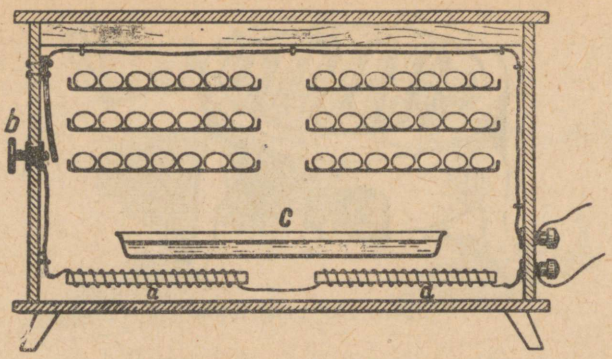
Elektrisoojendus võimaldab reguleerida soojendatava keha temperatuuri. Vaatleme, kuidas seda tehakse inkubaatoris kanapoegade väljahaudumisel. Loote arenemiseks peab temperatuur inkubaatoris olema mitte üle 38 kraadi ja mitte alla 37,7 kraadi. Inkubaator kujutab endast suurt kappi, mille riiulitel paiknevad munad (joon. 150). Kütteelementideks on nikeliintraadist spiraalid.



Joon. 149. Kütteelementide paigutus kasvuhoones:
a — torud traatidega (läbilõikes); *b* — muld.

Inkubaatoris on termoregulaator, mis koosneb kontaktiga varustatud bimetallplaadist[1]. Kui temperatuur tõuseb üle 38 kraadi, siis bimetallplaat paindub ja katkestab soojenduselementide vooluringi. Inkubaator hakkab aegamööda jahtuma. Kui temperatuur jõuab minimaalse lubatud väärtuseni, siis bimetallplaat suleb uuesti vooluringi ja inkubaator hakkab jälle soojenema. Selle tulemusena säilib inkubaatoris vajalik temperatuur.

[1] Bimetallplaadiga ja tema omadustega tutvusime 6. kl. füüsika kursuses.



Joon. 150. Inkubaator (lihtsustatud skeem):
a — kütteelemendid (traatspiraalid); *b* — bimetall-termoregulaator; *c* — anum veega vajaliku niiskuse säilitamiseks.

Automaatset temperatuuri reguleerimist rakendatakse paljudes keemiatööstuse, metallurgia ja teiste tööstusharude seadmetes, samuti ka riistades, mida kasutatakse koduses majapidamises ja laboratooriumides — elektritriikraudades, erilistes soojenduskappides ehk termostaatides, külmutuskappides jne.

Harjutus 27. 1. Miks elektripliidi või -triikraua temperatuur ei tõuse kuitahes kõrgele, olgugi et neis eraldub pidevalt soojust?

2. Kui palju soojust eraldub 5 minuti jooksul 40-oomise takistusega traatspiraalis, kui seda läbib vool tugevusega 3 A?

3. Miks juhtmete jätkamisel ei piirduta ainult nende otste kokkukeerutamisega, vaid peale selle veel joodetakse ühenduskoht tinaga?

4. Elektripliidi remontimisel tuli tema läbipõlenud spiraali veidi lühendada. Kas pärast seda eraldus pliidis ühes ajaühikus rohkem või vähem soojust?

5. Tutvu mingi elektrisoojendusriista (näiteks elektripliidi) ehitusega. Tee passi järgi kindlaks tema võimsus ja arvuta, kui suure soojushulga annab elektripliit 5 minuti jooksul.

6. Ühe hõõglambi takistus on 2 korda teise omast suurem. Kummas neist eraldub valgustusvõrku lülitamisel enam soojust ja mitu korda enam?

7. Elektrijootekolb tarbib võrguvoolu võimsusega 30 W. Kui palju soojust eraldub jootekolvis ühe tunni jooksul?

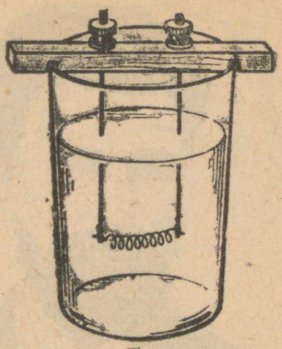
8. Elektrilist metallisulatusahju toidetakse 8000-amprise vooluga pingel 60 V. Kui palju soojust eraldub ahjus ühe minuti kestel?

§ 82. Laboratoorne töö nr. 10.

Džauli ja kalori vahelise seose määramine.

Töövahendid. Keeduklaas mahuga 200—250 milliliitrit, laboratoorne termomeeter, akumulaatorite patarei (4 V), soojendusspiraal takistusega 3—4 oomi, laboratoorne ampermeeter ja voltmeeter, kaalud koos vihtidega, sekundiosutiga kell, lüliti, ühendusjuhtmed, petrooleum.

Töö käik. 1. Kaalu keeduklaas koos sellesse asetatud soojendusspiraaliga. Vala klaasi nii palju petrooleumi, et spiraal on üleni selle sees (joon. 151). Kaalu klaas uuesti ja leia petrooleumi mass *m*.



Joon. 151 Keeduklaas soojendusspiraaliga.

2. Koosta spiraalist, ampermeetrist, lülitist ja akumulaatorist vooluring. Ühenda spiraali klemmidega voltmeeter. Voolu ära sisse lülita.

3. Aseta klaasi termomeeter ja määra petrooleumi algtemperatuur $t_1°$ 0,5-kraadise täpsusega.

4. Lülita vool sisse ja määra kella järgi voolu sisselülitamise ajamoment. Voolu on soovitatav sisse lülitada siis, kui kella sekundiosuti asub nulljaotisel.

5. Mõõda voolu tugevus *I* ja pinge *U* spiraali klemmidel.

6. Kui petrooleum soojeneb 5—6° võrra, lülita vool välja. Määra ajavahemik *t*, mille kestel spiraal oli voolu all. Mõõda petrooleumi lõpptemperatuur $t_2°$ 0,5-kraadise täpsusega.

7. Saadud andmetest arvuta petrooleumi soojendamiseks kulunud soojushulk *Q* (petrooleumi erisoojus $c = 0{,}51$).

8. Arvuta voolu tugevuse, pinge ja aja järgi voolu töö *A*.

9. Arvuta suhte $\frac{Q}{A}$ väärtus ja võrdle seda täpsete mõõtmiste teel saadud väärtusega $\left(0{,}24\,\frac{\text{cal}}{\text{J}}\right)$. Mõõtmiste ja arvutuste tulemused kanna töövihikusse järgmiselt:

Petrooleumi mass g	Algtemperatuur °C	Lõpptemperatuur °C	Voolu tugevus A	Pinge V	Aeg s	Voolu töö J	Suhe $\frac{Q}{A}$ $\frac{\text{cal}}{\text{J}}$

Märkus. Täpsema mõõtmistulemuse saamiseks on soovitatav mähkida keeduklaasi ümber 2—3 kihti paberit ja kasutada petrooleumi, mille temperatuur on 2—3° võrra madalam õhu temperatuurist klassis.

§ 83. Hõõglamp.

Esimese praktiliseks kasutamiseks kõlbliku hõõglambi valmistas 1873. a. vene leidur A. N. Lodõgin. Lodõgini lambis (joon. 152) oli kahe vaskjuhtme vahel süsivarras, mille läbimõõt oli



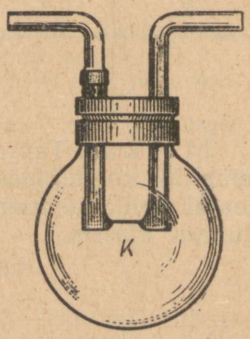
Aleksandr Nikolajevitš Lodõgin (1847—1923) — väljapaistev vene leidur. Ta leiutas 1872. a. süsivardaga elektrihõõglambi. Neid lampe hakati kasutama alates 1873. aastast. Hiljem leiutas A. N. Lodõgin metallniidiga lambi.

umbes 2 mm. Et süsi ära ei põleks, pumbati lambi klaaskestast õhk välja. Kuid sel ajal ei osatud saada küllaldast hõrendust (vaakuumi). Seetõttu olid Lodõgini esimesed lambid võrdlemisi lühikese elueaga. Nad töötasid kõigest mõne tunni.

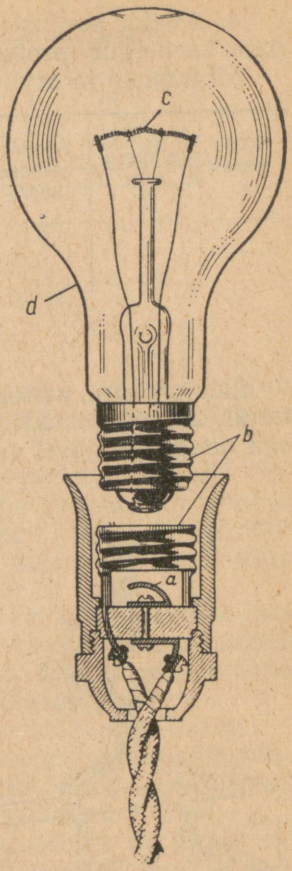
1890. a. valmistas Lodõgin metallniidiga hõõglambi. Ta valis hõõgniidi materjaliks kõrge sulamistemperatuuriga metalli (volfram, molübdeen, osmium). Mõned aastad hiljem täiustas metallhõõgniidiga lampe ameerika leidur T. Edison. Edison tegi ka ettepaneku valmistada lampidele keermega soklid, leiutas lambipesa, lüliti ja teisi valgustusvõrgu detaile.

Tänapäeval kasutatakse elektrilampe, mille hõõgniidiks on volframspiraal. Volframi sulamistemperatuur on 3300° ja teda võib kuumutada kuni 3000°-ni. Sellel temperatuuril volfram tugevasti aurustub, hõõgniit muutub peenemaks ja lõpuks põleb läbi. Volframi kiire aurustumise vältimiseks täidetakse tänapäeval lambid keemiliselt inertse gaasiga — argooni või krüptooniga.

Joonisel 153 on kujutatud gaasitäidisega hõõglamp. Hõõgniidi otsad on joodetud kahe traadi külge, mis tulevad läbi klaasi ja mille välised otsad on joodetud lambi sokli metallosade külge. Üks traat on joodetud sokli keermestikku, teine aga keermestikust isoleeritud sokli põhja külge.



Joon. 152. A. N. Lodõgini esimene hõõglamp. Vaskjuhtmete vahel on süsivarras *K*.



Joon. 153. Tänapäeval kasutatav hõõglamp ja lambipesa läbilõige:
a — lambipesa vedrukontakt; *b* — keermega osad; *c* — lambi hõõgniit; *d* — klaaskest.

Lamp ühendatakse valgustusvõrguga lambipesa kaudu. Lambipesa seesmises osas (joon. 153) on kaks kontakti — vedrukontakt, mis toetub vastu sokli põhja, ja lampi hoidev keermega rõngas. Vedrukontakt ja keermestatud rõngas on ühendatud klemmidega, mille külge kinnitatakse võrgujuhtmed.

Tänapäeval toodetakse hõõglampe pingetele 220 V, 127 V (valgustusvõrgule), 50 V (raudteevagunite valgustamiseks), 12 V, 6 V (autodele), 3,5 V ja 2,5 V (taskulampidele).

Harjutus. 28. 1. Võta lambipesa koost lahti ja leia tema põhilised osad. Keera lamp lahtivõetud lambipesa seesmisse ossa ja vaatle, kuidas lambiga ühendatakse võrgujuhtmed. Pane lamp kokku.

2. Vaatle autolampi. Mille poolest erineb tema sokkel eelmises paragrahvis kirjeldatud lambi soklist? Kuidas ühendatakse autolamp vooluallikaga? Miks autodel on ebamugav kasutada keermestatud sokliga lampe?

3. Tekita kumerläätse abil ekraanile lambi helenduva hõõgniidi suurendatud kujutis ja vaatle seda (kasuta selleks laualampi).

§ 84. Laboratoorne töö nr. 11.

Elektrisoojendusriista kasuteguri määramine.

T ö ö v a h e n d i d. Elektripliit või -teekann, anum veega, kaalud või mensuur (ühine kogu klassile), laboratoorne termomeeter (ühine kogu klassile), kell.

T ö ö k ä i k. 1. Vala keedunõusse vesi ning määra selle mass. Mõõda vee algtemperatuur. Lülita elektrisoojendusriist sisse ja lase veel soojeneda kuni keemiseni. Määra aeg, mis kulus vee soojenemiseks.

2. Teades elektrisoojendusriista võimsust (see on märgitud riista passis) ja vee soojenemise aega, arvuta voolu töö džaulides.

3. Arvuta vee soojendamiseks kulunud soojushulk kalorites (vee mass, algtemperatuur ja lõpptemperatuur on teada).

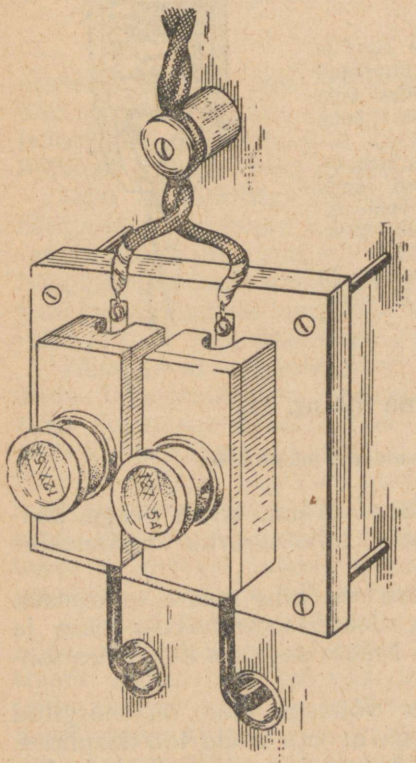
4. Avalda soojus ja töö samades ühikutes ning arvuta soojendaja kasutegur (protsentides).

Mõõtmiste ja arvutuste tulemused kanna vihikusse järgmiselt:

Vee mass g	Vee algtemperatuur °C	Soojendamise aeg s	Riista võimsus W	Voolu töö J	Soojushulk cal	Soojushulk J	Kasutegur %

§ 85. Kaitsmed.

Elektrivõrgu, näiteks korteri valgustusvõrgu juhtmed on arvestatud mingile maksimaalsele voolu tugevusele (vt. § 79). Kui aga mingil põhjusel voolu tugevus saab lubatud väärtusest suuremaks, siis võivad juhtmed kuumeneda ja neid kattev isolatsioonikiht võib põlema hakata. See võib põhjustada tulekahju.

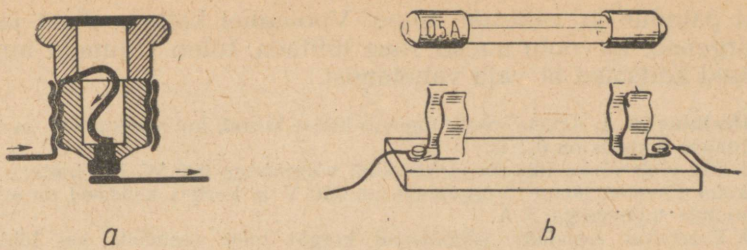


Joon. 154. Korterikaitsmete kilp.

Voolu tugevuse tunduva suurenemise põhjuseks elektrivõrgus võib olla kas võimsate tarbijate, näiteks elektripliitide üheaegne sisselülitamine või juhtmete lühiühendus ehk lühis. Lühise korral ei ole juhtmed ühendatud läbi mingi suure takistusega voolutarbija — nad on otseses kokkupuutes. Lühis võib tekkida elektririistade isolatsiooni riknemise tõttu. Kuna ühendusjuhtmete takistus on väga väike, siis voolu tugevus ahelas võib ulatuda sadade ampriteni.

Juhtmete ülekoormamise ja sellega seotud tuleohu vältimiseks lülitatakse vooluahelasse kaitsmed. Kaitsmete ülesandeks on voolu viivitamatu väljalülitamine juhul, kui liinis peaks tekkima vool, mille tugevus ületab lubatud normi.

Vaatleme korteri elektriseadmetes kasutatavate kaitsmete ehitust.



Joon. 155. Sulavkaitsmed:
a — kaitsekork; *b* — raadiovastuvõtja kaitse.

Kaitsmed paiknevad spetsiaalsel kilbil, mis on üles seatud kohas, kust juhtmed sisenevad korterisse. Igasse juhtmesse on lülitatud üks kaitse (joon. 154).

Kaitse koosneb portselanist või plastmassist karbikesest, milles asub kaitsmepesa. Pesasse keeratakse portselanist kaitsekork. Kaitsekorki (joon. 155, *a*) ümbritseb keermega rõngas. Korgi otsas on kontaktjalg. Korgi keermestatud osa on kontaktjalaga ühendatud korgi keha läbiva pliitraadi abil.

Vool läbib korkide pliitraate. Viimased on valitud sellise läbimõõduga, et nad peavad vastu kindla tugevusega voolule, näiteks voolule tugevusega 5 A, 10 A jne. Kui voolu tugevus ületab lubatud väärtuse, siis pliitraat sulab üles ja vooluahel katkeb.

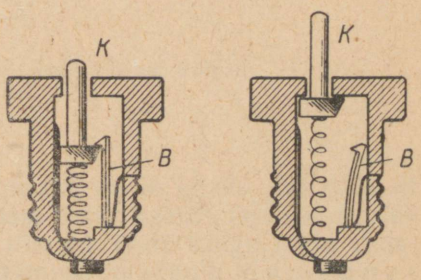
Selliseid kaitsmeid nimetatakse sulavkaitsmeteks.

Kui korteris «põlesid kaitsmed läbi», siis koormati valgustusvõrk üle. Sel juhul tuleb kõigepealt üles otsida viga, see kõrvaldada ja alles pärast seda keerata pesadesse uued korgid.

Läbipõlenud pliitraadi asendamine vasktraadiga on kategooriliselt keelatud. Vasktraat ei sula lühiühenduse korral üles ja selline «parandatud» kaitsekork võib põhjustada tulekahju.

Joonisel 155, *b* on kujutatud raadiovastuvõtjates kasutatav sulavkaitse. See koosneb kahe metallotsikuga varustatud klaastorukesest, mille sees on peenike traat. Toruke asetatakse erilisse kaitsmehoidjasse.

Sageli kasutatakse kaitsmetena kaitsekorkidesse monteeritud bimetallplaate. Vool läbib plaati *B* ja soojendab seda (joon. 156). Normaalse tugevusega voolu korral plaat soojeneb vähe ja hoiab oma konksuga nuppu *K*. Kui vool võrgus muutub liiga tugevaks, siis bimetall-



Joon. 156. Bimetallplaadiga kaitse.

plaat paindub ja vabastab nupu. Vooluahel katkeb. Plaat jahtub ja sirgeneb. Et voolu uuesti sisse lülitada, tuleb vajutada nupule. Sellised kaitsmed ei vaja vahetamist.

Harjutus 29. 1. Arvuta voolu tugevus lühise korral, kui võrgupinge on 220 V ja juhtmete takistus on 0,2 Ω.

2. Kas võib võrku lülitada elektripliidi võimsusega 600 W, kui korteris põlevad kolm 75-vatist lampi? Võrgupinge on 220 V ja korteri kaitsmed on arvestatud voolule tugevusega 5 A.

3. Enne kui asendada läbipõlenud korgid, tuleb veenduda, kas lühis on kõrvaldatud. Selleks keeratakse ühte kaitsmepessa uus kork ja teise hõõglamp. Kuidas võib sel teel kindlaks teha, kas lühis on kõrvaldatud?

4. Miks kaitsekorkide traadid valmistatakse kergestisulavatest metallidest?

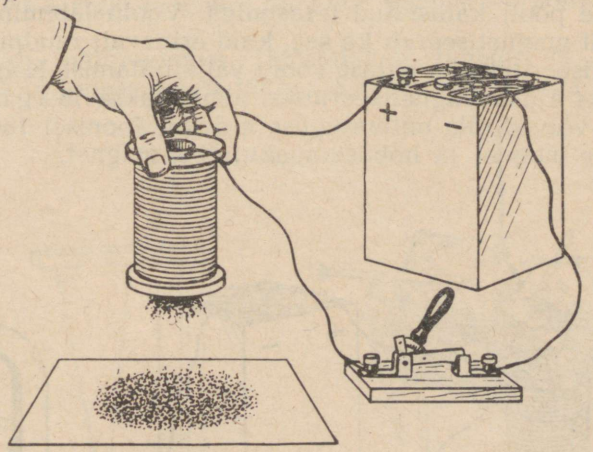
5. Raadiovastuvõtja tarbib voolu võimsusega 100 W. Millisele voolu tugevusele peab olema arvestatud raadiovastuvõtja kaitse, kui võrgupinge on 127 V? 220 V?

IV peatükk.

ELEKTROMAGNETILISED NÄHTUSED.

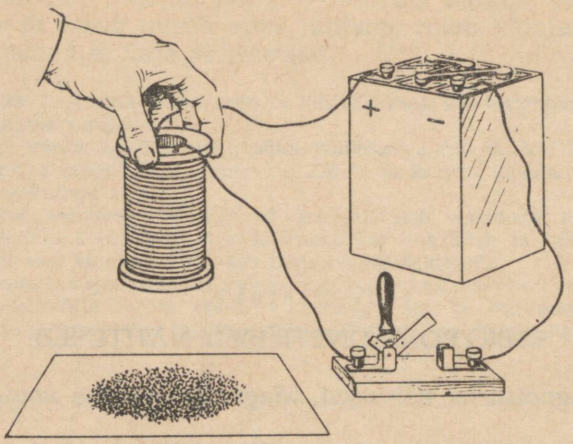
§ 86. Magnetilised nähtused. Magnetiseerimine voolu toimel.

Laseme isoleeritud traadist pooli elektrivoolu ja puudutame pooli otsaga rauapuru (avale pooli otsas tuleb kleepida paber). Tõstame pooli üles. Näeme, et rauapuru on jäänud selle otsa külge (joon. 157). Kui katkestame vooluringi, siis rauapuru langeb lauale (joon. 158).



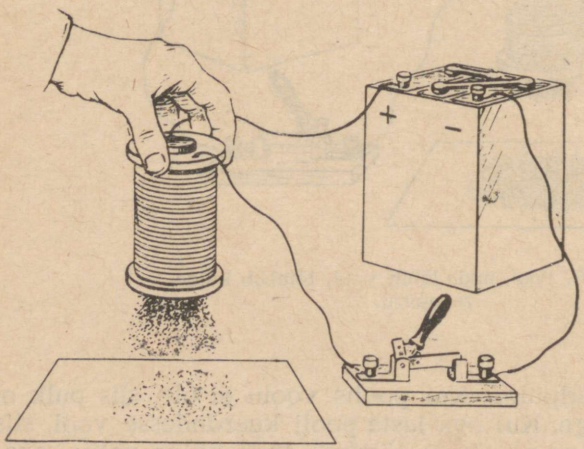
Joon. 157. Pool, mida läbib vool, tõmbab külge rauapuru.

Paneme pooli raudpulga. Kui poolis voolu ei ole, siis pulk ei tõmba rauapuru külge. Kui aga lasta pooli keerdudesse vool, siis raudpulk magnetiseerub ja tõmbab enda külge palju rauapuru (joon. 159). Voolu väljalülitamisel raudpulk demagnetiseerub, s. t. tema magnetiline külgetõmbejõud kaob.

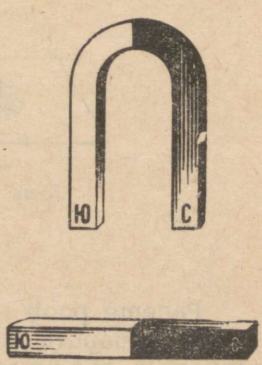


Joon. 158. Kui poolis voolu ei ole, siis ta rauapuru külge ei tõmba.

Paneme pooli karastatud teraspulga. Voolu läbiminekul pooli keerdudest magnetiseerub ka see, kuid erinevalt raudpulgast jääb ta magnetiseerituks ka pärast voolu väljalülitamist. Kehi, mis jäävad kauaks ajaks magnetiseerituks, nimetatakse **magnetiteks**. Magnetid võivad olla mitmesuguse kujuga. Joonisel 160 on kujutatud sirge magnet ja hobuserauakujuline magnet.



Joon. 159. Kui pooli, mida läbib vool, asetada raudpulk, siis see magnetiseerub.



Joon. 160. Hobuserauakujuline ja sirge magnet.

Asetame sirge magneti rauapuru kihile. Tõstes magneti üles, näeme, et rauapuru on tõmbunud ebaühtlaselt magneti erinevate kohtade külge. Kõige enam rauapuru jääb magneti otstele. Mida lähemale keskkohale, seda nõrgem on magneti külgetõmme (joon. 161).



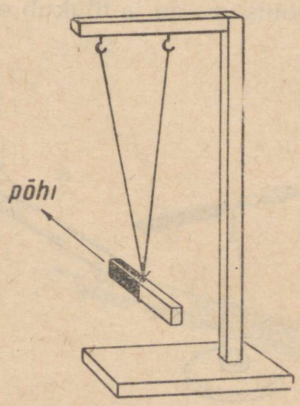
Joon. 161. Magnetpooluste leidmine.

Magneti neid kohti, kus ilmnevad kõige suuremad magnetilised mõjud, nimetatakse magneti poolusteks.

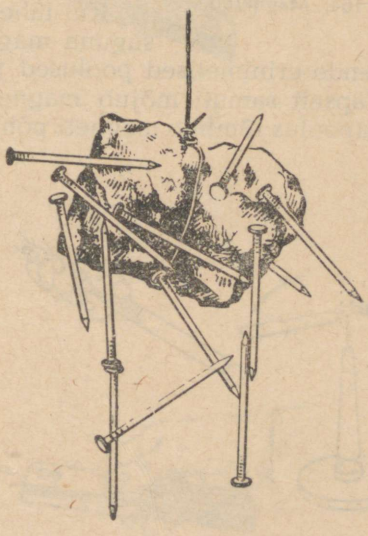
Riputame kahe niidi otsa (üks niit võib keerduda) sirge magneti (joon. 162). See võngub veidi ja asetub siis pärast võnkumise sumbumist nii, et tema üks ots näitab põhja ja teine lõunasse. Kui viia magnet sellest asendist välja, siis mõne aja pärast võtab ta uuesti põhja-lõuna sihi. Seejuures näitab põhja poole jällegi magneti sama ots, mis näitas sinna enne.

Magneti poolust, mis on pööratud põhja poole, nimetatakse põhjapooluseks ja lõuna poole pööratud poolust lõunapooluseks. Igal magnetil on kaks poolust — põhja- ja lõunapoolus.

Magneti põhjapoolust tähistatakse tähega *N* (või vene tähega *C*) ja lõunapoolust tähega *S* (või vene tähega *Ю*).



Joon. 162. Niidi otsa riputatud magnet näitab ühe poolusega põhja poole.



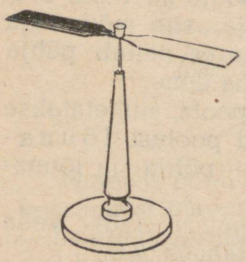
Joon. 163. Magnetrauamaagitükk tõmbab külge raudnaelu.

Lähendades magnetit mitmesugustest materjalidest valmistatud esemetele, näeme, et väga vähesed neist tõmbuvad magneti külge. Magnet tõmbab tugevasti külge malmi, terast, rauda ja teatud sulameid, tunduvalt nõrgemini aga niklit ja koobaltit.

Looduses leidub loomulikke magneteid (joon. 163) magnetrauamaagi kujul. Rikkalikud magnetrauamaagi lademed on Uraalis, Karjala ANSV-s, Kurski oblastis ja teistes kohtades.

Magnetrauamaagiga tutvudes said inimesed esimesi teadmisi kehade magnetilistest omadustest. Loomulikke magneteid tunti Hiinas juba 3000 aastat enne meie ajaarvamist ja neid kasutati orienteerumiseks maastikul.

§ 88. Magnetnõel. Magnetite vastastikune mõju.



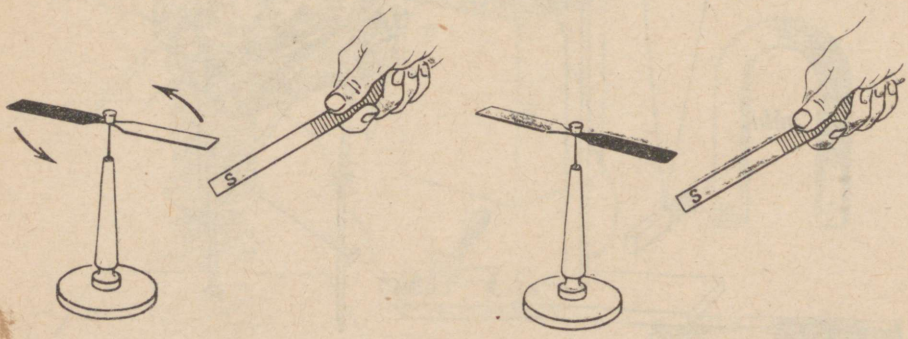
Joon. 164. Magnetnõel.

Joonisel 164 on kujutatud magnetnõel — kerge lehtterasest valmistatud magnet, mille keskel on klaas- või ahaatlaager. Laager toetub teravikule. Seetõttu võib magnetnõel vabalt pöörduda igasse suunda.

Samuti nagu niidi otsa riputatud magnet (joon. 162), jääb ka magnetnõel alati seisma põhja-lõuna sihis. Magnetnõela põhjapoolus värvitakse tavaliselt siniseks ja lõunapoolus punaseks.

Kui lähendada magnetnõelale teine samasugune magnetnõel, siis nad pöörduvad nii, et nende erinimelised poolused jäävad vastakuti.

Täpselt samuti mõjub magnetnõelale iga muu magnet: nõela lõunapoolus tõmbub magneti põhjapooluse poole ja tõukub eemale



Joon. 165. Magneti ja magnetnõela vastastikune mõju: nende samanimelised poolused tõukuvad ja erinimelised poolused tõmbuvad.

magneti lõunapoolusest (joon. 165). Seega **magnetite erinimelised poolused tõmbuvad ja samanimelised poolused tõukuvad.**

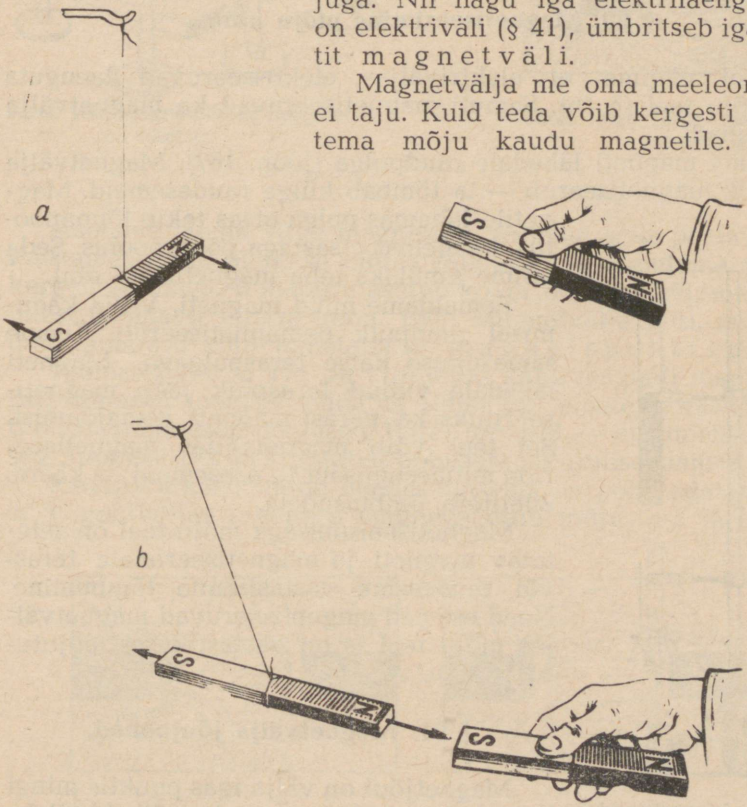
Magnetnõela ja teiste magnetite vastastikust mõju võib kasutada magneti pooluste määramiseks, kui need ei ole teada. Lähendame magneti otsa magnetnõelale. Kui magnetnõela lõunapoolus eemaldub magnetist, siis selles otsas, mille me lähendasime, on lõunapoolus.

§ 89. Magnetväli.

Lähendame magnetnõelale sirge magneti (joon. 165). Näeme, et magnet ja magnetnõel mõjutavad teineteist küllaltki kaugelt. Kauguse vähenedes see mõju tugevneb kiiresti.

Magnetite mõju teatud kauguselt on sarnane elektrilaengute vastastikuse mõjuga. Nii nagu iga elektrilaengu ümber on elektriväli (§ 41), ümbritseb iga magnetit m a g n e t v ä l i.

Magnetvälja me oma meeleorganitega ei taju. Kuid teda võib kergesti avastada tema mõju kaudu magnetile. Magnet-



Joon. 166. Magnetvälja mõju ülesriputatud magnetile:
a — magnet pöördub; *b* — magnet tõmbub külge.

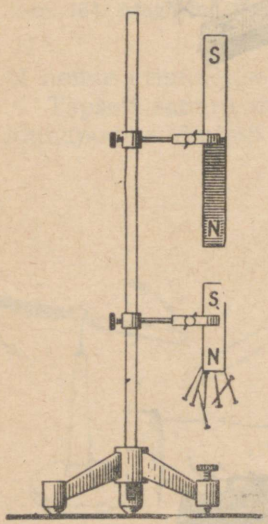
välja viidud magnetile, näiteks magnetnõelale, mõjuvad selles väljas jõud, nn. magnetilised jõud. Kuid magnetvälja mõju magnetitele erineb siiski elektrivälja mõjust laengutele. Laengule mõjuv jõud paneb laengu liikuma. Magnetväli mõjub aga magneti poolustele kahe vastassuunalise jõuga. Nende jõudude mõjul magnet pöördub ja nihkub. Kui lähendada magnet teisele magnetile, mis on riputatud niidi otsa (joon. 166), siis teine magnet pöördub nii, nagu see on kujutatud joonisel, ja tõmbub esimese magneti külge.

Esialgu võib tunduda arusaamatuna, miks ülesriputatud magnet tõmbub temale lähendatud magneti külge. Tema üht poolust ju tõmmatakse, teist aga tõugatakse. Asi seisneb selles, et samanimelised magnetpoolused asuvad teineteisest kaugemal kui isenimelised. Seetõttu on magnetitevahelised tõukejõud tõmbejõududest väiksemad.

§ 90. Magnetiseerimine mõju abil.

Eespool nägime, et elektriväljas elektriseeruvad laenguta kehad mõju teel (§ 46). Samuti magnetiseeruvad ka magnetvälja toodud kehad.

Asetame magneti lähedale raudpulga (joon. 167). Magnetvälja mõjul pulk magnetiseerub — ta tõmbab külge raudesemeid. Magnetile lähemas pulga otsas tekib lõunapoolus, kaugemas otsas aga põhjapoolus. Seda võime kindlaks teha magnetnõela abil.



Joon. 167. Magnetiseerimine mõju abil: raudpulk magnetiseerus ja tõmbab külge raudesemeid.

Eemaldame nüüd magneti. Välja kadumisel raudpulk demagnetiseerub. Teeme samasuguse katse teraspulgaga. Magneti lähedale viidud teraspulk jääb magnetiseerituks ka pärast magneti eemaldumist. Sel teel võib magnetväljas magnetiseerida mitmesuguseid terasesemeid — kääre, žiletitera, õmblusnõela.

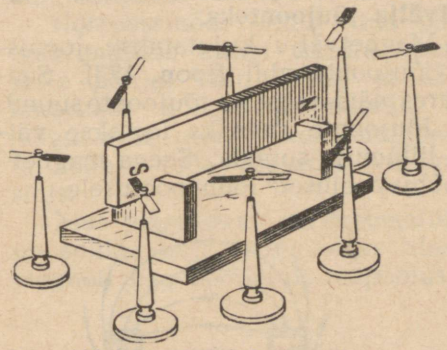
Magnetiseerumisega mõju teel on seletatav magneti ja magnetiseerimata terasvõi raudeseme vastastikune tõmbumine. Need esemed magnetiseeruvad magnetväljas mõju teel ja on vastastikuses mõjutuses magnetväljaga.

§ 91. Magnetvälja jõujooned.

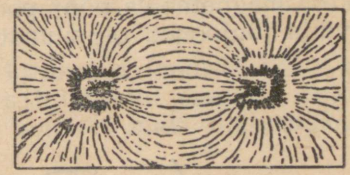
Magnetjõul on välja igas punktis mingi kindel suund. Seda suunda võib kindlaks teha magnetnõela abil, asetades selle välja antud punkti.

Välja magnetjõud mõjub piki joont, mille sihis asetub magnetnõel. **Magnetjõu suunaks loetakse suunda, kuhu näitab magneti põhjapoolus.**

Joonisel 168 on kujutatud magnet ja selle ümber kaheksa magnetnõela. Need magnetnõelad näitavad magnetjõu suunda kaheksas välja punktis. Magnetjõudude suundi paljudes välja punktides võib kindlaks teha rauapuru abil.



Joon. 168. Magnetnõelad magneti ümber.

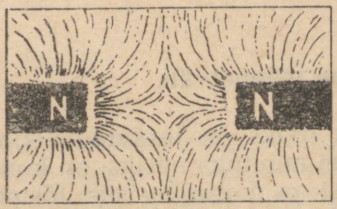


Joon. 169. Sirge magneti magnetspekter.

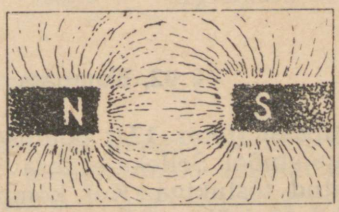
Asetame lauale sirge magneti ja paneme selle peale papitüki. Puistame papile õhukese kihina rauapuru ja koputame papitükki kergelt sõrmega. Rauapuru asetub kõverjooni mööda, mis lähevad ühest poolusest teiseni (joon. 169). Magnetvälja pilti, mis on saadud rauapuru abil, nimetatakse magnetspektriks.

Joonistel 170 ja 171 on kujutatud kahe magneti magnetspektrid: esimesel joonisel näidatud juhul on teineteise vastas magnetite samanimelised poolused, teisel joonisel — erinimelised poolused. Joonisel 172 on kujutatud hobuserauakujulise magneti spekter.

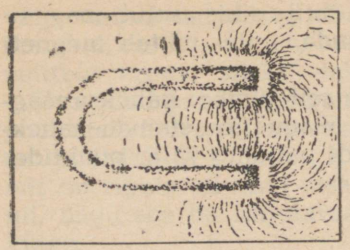
Rauapuru kasutamine nendes katsetes on põhjendatav sellega, et magnetväljas rauapuru magnetiseerub mõju teel ja tema osa-



Joon. 170. Kahe magneti samanimeliste pooluste magnetspekter.



Joon. 171. Kahe magneti erinimeliste pooluste magnetspekter.



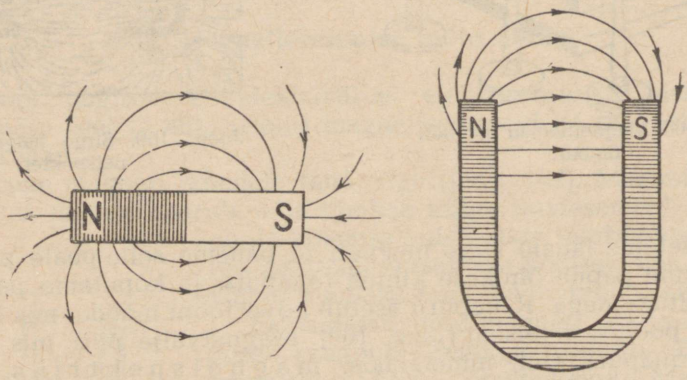
Joon. 172. Hobuserauakujulise magneti magnetspekter.

kesed muutuvad väikesteks magnetnõelakesteks. Iga nõelake asetub magnetväljas nii, et tema põhjapoolus näitab magnetjõu suunda selles punktis.

Jooni, mida mööda paikneb rauapuru magnetväljas, nimetatakse magnetvälja jõujoonteks.

Magnetvälju kujutatakse joonistel jõujoonte abil (joon. 173). Seejuures näidatakse ka jõujoonte suund.

Jõujoonte suunaks loetakse väikese magnetnõela põhjapooluse liikumise suunda. Seega magnetvälja jõujooned on suunatud põhjapooluselt lõunapoolusele.



Joon. 173. Sirge magneti ja hobuserauakujulise magneti magnetväljade jõujoonte suunad.

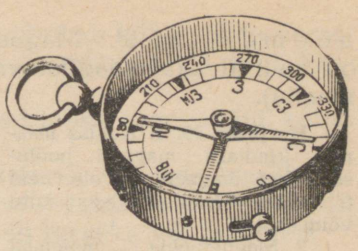
Magnetvälja jõujooned on alati kinnised. Joonisel 173 on mõned jõujooned kujutatud lahtistena ainult joonise pinna kokkuhoidmise eesmärgil.

§ 92. Kompass. Maa magnetväli.

Kompassi (joon. 174) põhiliseks osaks on teravikule kinnitatud magnetnõel. Selleks et teravik ei muutuks nüriks, on kompass varustatud tõstukiga. Kui kompassi ei kasutata, siis tõstetakse selle abil nõel üles, nii et see jääb kindlasse asendisse paigale.

Kompassi skaalal on tähistatud ilmakaared. Ilmakaarte leidmiseks vabastatakse kompassinõel ja pööratakse kompass nii, et põhjasuunale vastav skaala punkt ühtib magnetnõela põhjapoolu-

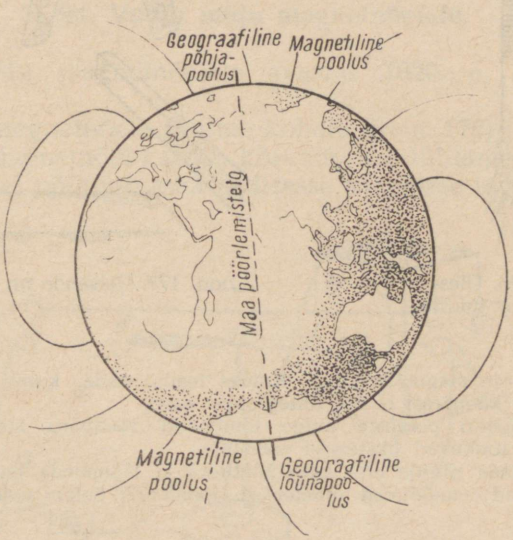
sega (see on värvitud siniseks). Kompassi järgi orienteerumisel tuleb jälgida, et kompassi lähedal ei oleks magneteid ega massiivseid terasvõi raudesemeid, mis oma magnetväljaga võiksid kompassinõela kõrvale kallutada.



Joon. 174. Kompass.

Kompassinõel võtab Maa pinna igas punktis mingi kindla asendi. Selle põhjal võib öelda, et Maad ümbritseb kõikjal magnetväli. See magnetväli mõjub kompassinõelale ja sunnib teda asetuma jõujoonte sihis.

Maa magnetväli on skemaatiliselt kujutatud joonisel 175. Tal on selline kuju, nagu oleks Maa sees hiiglasuur magnet. Selle magneti üks poolus (lõunapoolus) on punktis, mida nimetatakse



Joon. 175. Maa magnetväli.

geomagnetiliseks põhjapooluseks (asub Kanada ranniku lähedal), ja teine poolus (põhjapoolus) — punktis, mida nimetatakse geomagnetiliseks lõunapooluseks. Selles, et Maa kui magneti lõunapoolus asub geomagnetilisel põhjapoolusel, võib veenduda magnetnõela abil — magnetnõela põhjapoolus näitab selles suunas.

Mõnedes kohtades Maal kaldub kompassinõel põhja-lõuna sihist kõrvale. Sellist nähtust nimetatakse m a g n e t i l i s e k s

anomaaliaks[1]. Magnetiline anomaalia esineb kohtades, kus on suured rauamaagilademed (näiteks Kurski magnetiline anomaalia).

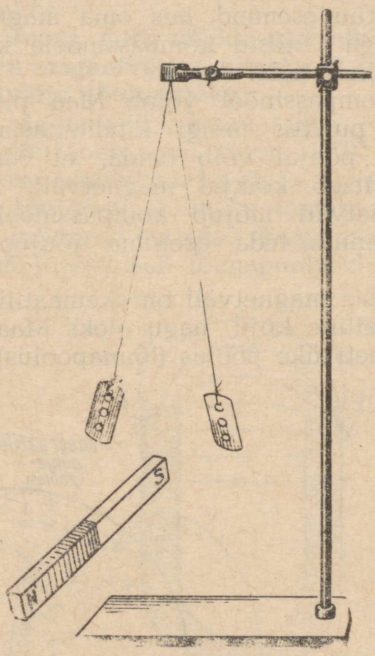
Harjutus 30. 1. Kuidas määrata kindlaks magneti pooluseid, kui magnetil ei ole neid tähistatud? Näita selleks mitu võimalust.

2. Magnetnõela mõlemad poolused tõmbuvad terasvarda poole. Millise järelduse võib sellest teha varda magnetiseerumise kohta?

3. Üks kahest ühesugusest terasvardast ei ole magnetiseeritud. Kuidas teada saada, kumb varras on magnetiseeritud, kui käepärast ei ole ühtegi teist eset?



Joon. 176. Ülesande nr. 4 juurde.



oon. 177. Ülesande nr. 5 juurde.

4. Miks magneti pooluste külge tõmbunud rauapuru moodustab «tutte» (joon. 176), mis tõukuvad üksteisest eemale?

5. Kui riputada niitide otsa kaks žiletitera ja lähendada neile altpoolt magnet, siis žiletiterad eemalduvad teineteisest (joon. 177). Seleta seda nähtust.

§ 93. Laboratoorne töö nr. 12.

Magneti omaduste tundmaõppimine ja magnetspektrite vaatlemine.

Töövahendid. Kaks sirget magnetit, magnetnõel, aukudega karp (sõel) rauapuruga, pehme raudtraadi tükikesed, papitükk ja žiletiterad.

[1] *Anomaalia* tuleneb ladina keelest ja tähendab ebakorrapärasust, normist kõrvalekaldumist.

T ö ö k ä i k. 1. Proovi, kas magnet tõmbab külge naelu, terassulge, pliiatsit, kustutuskummi, klaasi, alumiiniumi ja teisi käepäraseid esemeid.

2. Millised magneti kohad tõmbavad kõige tugevamini külge rauapuru ja traaditükikesi?

3. Riputa magneti pooluse külge üksteise otsa rida traaditükikesi. Hoides käes ülemist traaditükikest, eemalda ettevaatlikult magnet. Kas traaditükikestest ketike jääb terveks või laguneb?

4. Riputa magneti pooluse külge žiletitera. Eemalda žiletitera magnetist ja kontrolli magnetnõela abil, kas ta on magnetiseeritud.

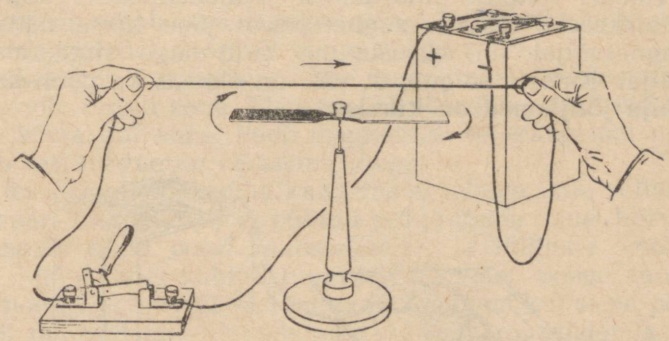
5. Aseta lauale sirge magnet ja pane selle peale papitükk. Riputa papile rauapuru ja koputa papitükki kergelt sõrmega. Vaatle magnetspektrit ja joonista see vihikusse.

6. Tekita kahe samanimelise pooluse magnetvälja spekter ja kahe erinimelise pooluse magnetvälja spekter. Joonista need oma töövihikusse.

§ 94. Voolu mõju magnetnõelale.

Voolu mõju magnetnõelale avastas 1820. a. taani füüsik H. Oersted.

Asetame magnetnõela juhtme kohale (joon. 178) ja laseme sellesse voolu. Magnetnõel kaldub kõrvale. Kui lülitame voolu välja, siis magnetnõel pöördub oma endisesse asendisse tagasi.



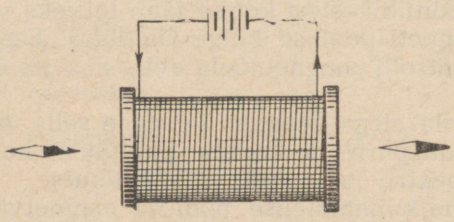
Joon. 178. Vooluga juhtme lähedale asetatud magnetnõel kaldub kõrvale.

Magnetnõela kõrvalekaldumine elektrivoolu mõjul viib meid järeldusele, et vooluga juhet ümbritseb magnetväli.

Katsete abil on kindlaks tehtud, et kõikidel juhtudel, kui toimub laengute liikumine (elektrivool), tekib liikuvate laengute ümber magnetväli.

§ 95. Vooluga pooli magnetväli.

Sirget juhet läbiv vool tekitab võrdlemisi nõrga magnetvälja. Tugevama magnetvälja saamiseks mähitakse juhe poolile. Sel juhul pooli üksikute keerdude magnetväljad liituvad ja tugevdavad üksteist.

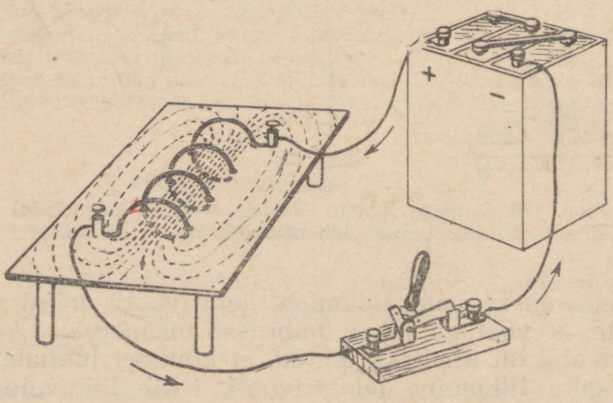


Joon. 179. Vooluga pooli magnetpoolused.

Poolil, mille keerde läbib vool, on magneti omadused. Tema kahte poolust on kerge kindlaks teha. Asetame pooli kummagi otsa lähedale magnetnõelad (joon. 179). Üks magnetnõel pöördub pooli poole põhjapoolusega ja teine — lõunapoolusega.

Pooli magnetvälja spektrit võib saada joonisel 180 kujutatud katseriista abil. Pooli keerud läbivad vineerlauakest.

Puistame lauakesele rauapuru ja lülitame voolu sisse. Rauapuru ja vineeri vahelise hõõrdumise vähendamiseks koputame kergelt lauakesele. Saame magnetspektri. See katse näitab, et pooli magnetväljal on samasugune kuju nagu sirge magneti magnetväljal. Katsest selgub, et väli on olemas ka pooli sees — **magnetvälja jõujooned on kinnised.**



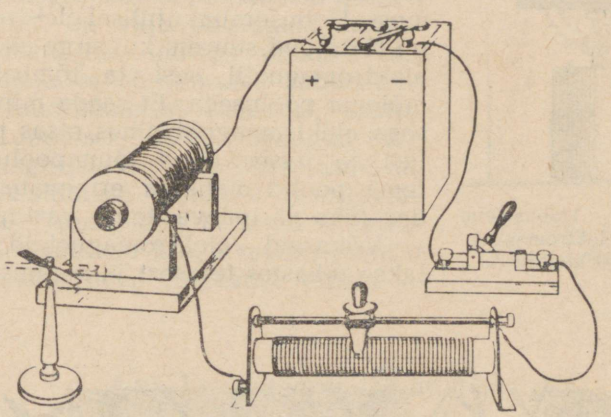
Joon. 180. Vooluga pooli magnetväli.

Leidnud magnetnõela abil pooli põhjapooluse, võib määrata jõujoonte suuna — jõujooned väljuvad pooli põhjapoolusest ja sisenevad lõunapoolusesse.

§ 96. Elektromagnet.

Vaatleme lähemalt vooluga pooli magnetvälja.

Koostame vooluallikast, poolist, reostaadist ja lülitist vooluringi (joon. 181). Viime pooli ühe otsa juurde magnetnõela. Kui



Joon. 181. Pooli magnetiliste omaduste tundmaõppimine.

magnetnõel võtab oma tavalise põhja-lõuna sihi, lülitame voolu sisse. Magnetnõel pöördub mingi nurga võrra.

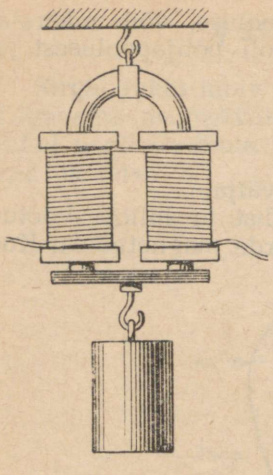
Katkestame vooluringi, viime magnetnõela kaugemale ja lülitame voolu uuesti sisse. Magnetnõel pöördub jälle, kuid väiksema nurga võrra kui enne. Pooli magnetväli on kaugemal nõrgem ja mõjub seal magnetile väiksema jõuga.

Viies magnetnõela üha kaugemale, leiame talle sellise asendi, et ta enam märgatavalt ei pöördu põhja-lõuna sihist kõrvale.

Paneme nüüd pooli raudsüdamiku ja lülitame voolu uuesti sisse. Magnetnõel kaldub tugevasti kõrvale. Seega raudsüdamikuga pooli magnetväli on tunduvalt tugevam kui sama pooli magnetväli raudsüdamiku puudumisel. Poolis raudsüdamik magnetiseerus ja tema magnetväli liitus pooli magnetväljaga.

Jättes magnetnõela kauguse poolist endiseks, muudame reostaadi abil voolu tugevust poolis. Voolu tugevuse vähendamisel magnetväli nõrgeneb ja voolu tugevuse suurendamisel tugevneb. Kui vool välja lülitada, siis pooli ja raudsüdamiku magnetväli kaob.[1]

[1] Praktiliselt jääb südamik veidi magnetiseerituks. See on niinimetatud jääkmagnetism. Rauas, mis sisaldab väga vähe süsinikku, on jääkmagnetism väga väike.

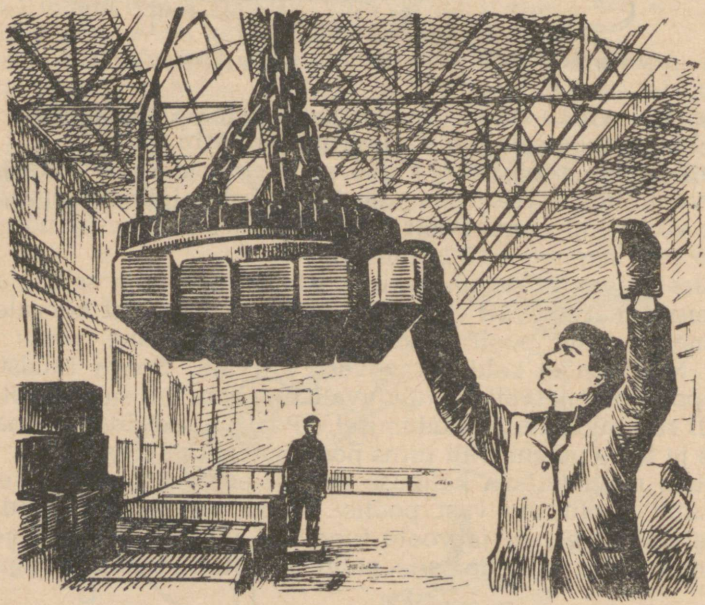


Joon. 182. Hobuserauakujuline elektromagnet hoiab ülal koormust.

Raudsüdamikuga pooli nimetatakse elektromagnetiks. Lihtsa elektromagneti võib valmistada igast raudesemest, näiteks naelast, mähkides selle ümber mõne kihi isoleeritud traati (joon. 113).

Olenevalt elektromagnetite kasutusalast valmistatakse neid mitmesuguse kujuga. Joonisel 182 on kujutatud hobuserauakujuline elektromagnet, mis hoiab üleval ankrut ja selle külge kinnitatud koormust. Hobuserauakujulisel elektromagnetil on tõstejõud suurem kui sirge südamikuga elektromagnetil, sest ta tõmbab ankrut mõlema poolusega. Et saada mitme mähisega elektromagneti ühes otsas põhjapoolust ja teises otsas lõunapoolust, tuleb tema poolid mähkida erinevates suundades (üks päripäeva, teine vastupäeva).

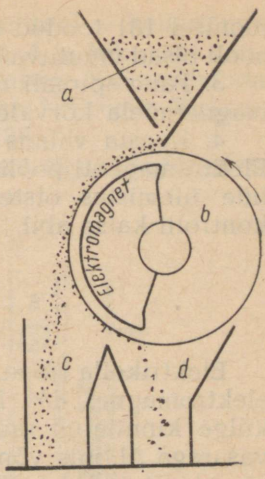
Võimsaid elektromagneteid kasutatakse tehastes terasest ja malmist toodete,



Joon. 183. Elektromagnetiline kraana. Elektromagneti tõstejõu üle võib otsustada selle järgi, et iga teraskang kaalub umbes 1000 kG.

laastude ja lõikamisjäätmete transportimiseks (joon. 183). Seda tehakse järgmiselt. Kraanajuht laseb elektromagneti tõstetava koorma peale. Seejärel lülitab ta voolu sisse ja koorem tõmbub elektromagneti külge. Kraana viib koorma vajalikku kohta ja kraanajuht lülitab voolu välja. Koorem eraldub elektromagnetist ja kraana saadetakse uut koormat tooma.

Elektromagneteid rakendatakse ka neil juhtudel, kui on vaja puhastada mitmesuguseid materjale, näiteks veskites teri või katlamajades sütt, neisse juhuslikult sattunud raudesemetest (naeltest, mutritest jne.). Joonisel 184 on kujutatud läbilõikes magnetiline viljapuhastusmasin. Vili *a* puistatakse punkrist pöörlevale trumlile *b*. Trumli sees on tugev elektromagnet. See tõmbab külge raudesemeid *d* ning eemaldab need langevast viljast *c*.



Joon. 184. Magnetiline separaator.

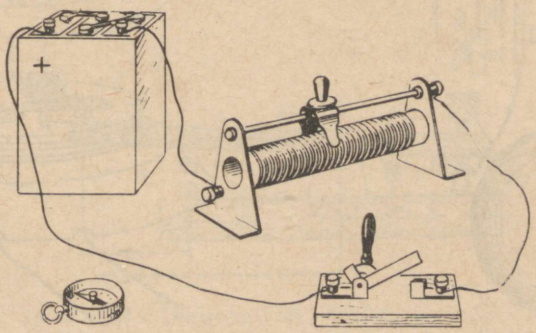
§ 97. Laboratoorne töö nr. 13.

Elektromagneti kokkupanemine ja tema töötamisega tutvumine.

T ö ö v a h e n d i d. Vooluallikas, lüliti, ühendusjuhtmed, isoleeritud vaskjuhe, kompass, raudnael, elektromagneti osad.

T ö ö k ä i k. 1. Koosta joonise 185 järgi vooluring. Tee kindlaks, kas magnetnõela kõrvalekaldumise suund sõltub voolu suunast juhtmes.

2. Mähi vaskjuhe pliiatsi ümber. Koosta vooluring vastavalt



Joon. 185. Laboratoorse töö nr. 13 juurde.

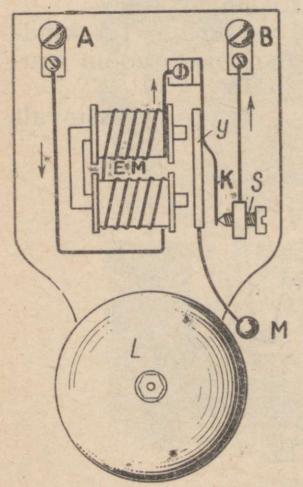
joonisel 181 toodud skeemile. Veendu, kas voolu sisselülitamisel pooli otsad muutuvad magnetpoolusteks.

3. Pane spiraali raudnael ja tee kindlaks, kuidas see mõjutab magnetnõela kõrvalekaldumist.

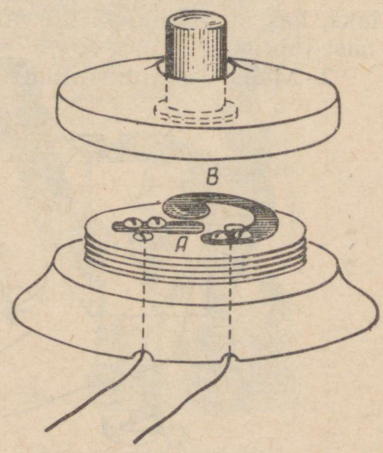
4. Koosta valmis osadest hobuserauakujuline elektromagnet. Elektromagneti poolid ühenda teineteisega järjestikku, nii et poolide ülemistes otstes tekiksid erinimelised poolused. Tulemusi kontrolli katse abil.

§ 98. Elektrikell.

Elektrikella (joon. 186) põhiliseks osaks on hobuserauakujuline elektromagnet *EM*. Elektromagneti pooluste ees asub terasvedru külge kinnitatud raudplaat ehk ankur *y*. Ankur on varustatud vasaraga *M*, mis võnkudes lööb vastu kellakaussi *L*. Ankru külge on kinnitatud kruvile *S* toetuv kontaktvedru *K*. Vool siseneb klemmi *A* kaudu, läbib elektromagneti mähist, ankrut, kontaktvedrut, kruvi ja väljub klemmist *B*. Niipea kui elektromagneti südamik magnetiseerub ja tõmbab ankru külge, eemaldub kontaktvedru kruvist *S* ja vooluring katkeb. Elektromagneti südamik demagnetiseerub ja vedru viib ankru endisesse asendisse tagasi. Vooluring sulgub, südamik magnetiseerub, tõmbab ankru külge ja kõik kordub uuesti. Niikaua kui elektrikell on ühendatud vooluallikaga, vooluring katkeb ja sulgub automaatselt, ankur võngub elektromagneti südamiku ees ja vasar lööb vastu kellakaussi. Kell heliseb pidevalt.



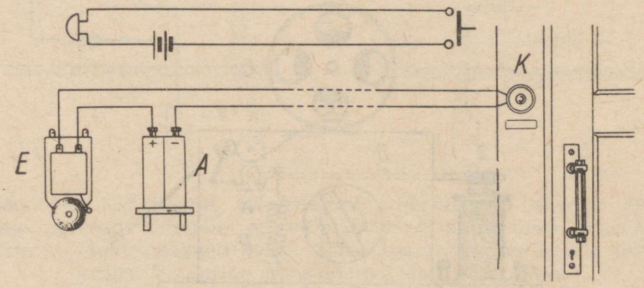
Joon. 186. Elektrikell.



Joon. 187. Elektrikella nupp (lahtivõetult).

Kella sisselülitamiseks kasutatakse erilisi lüliteid — kellanuppe (joon. 187). See koosneb liikumatust kontaktist *A* ja liikuvast kontaktist *B*, mis on tavaliselt teineteisest lahutatud. Kui vajutada nupule, siis kontaktid sulguvad ja kell hakkab helisema. Elektrikella ühendamise skeem on toodud joonisel 188.

Elektrikelli kasutatakse tööstuses automaatsignaalseadmetes, raudteel, tuletõrjes ja kodustes tingimustes.



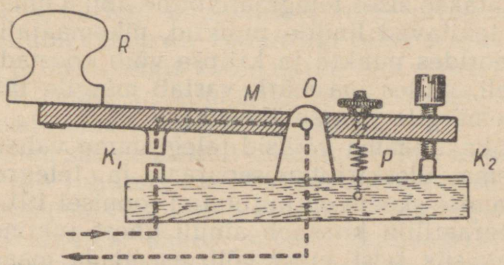
Joon. 188. Elektrikella vooluringi skeem:
A — vooluallikas; *E* — elektrikell; *K* — nupp välisukse juures.

Harjutus 31. 1. Joonista skeem, millel kujutatud vooluringis võib ühte kella helisema panna mitmetes erinevates punktides asuvate lülitite abil. Kus sellist skeemi võib kasutada?

2. Joonista skeem, mille järgi mitut kella võib helisema panna ühe lülitit abil.

§ 99. Elektritelegraaf.

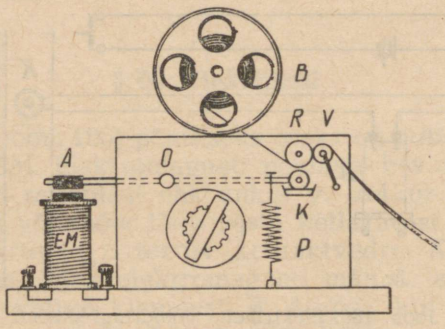
Telegraafi ülesandeks on signaalide edasiandmine kauge maa taha ja nende üleskirjutamine. Sõna *«telegraaf»* tuleneb kreeka-keelsetest sõnadest *tēle* — kauge ja *grapho* — kirjutan.



Joon. 189. Telegraafivõti. Punktiirjoonega on näidatud voolu tee juhul, kui võtme käepide on alla vajutatud.

Elektritelegraafiaparaadis on üleskirjutusseadis ja telegraafivõti. Võtme abil võib vooluringi sulgeda ja katkestada.

Joonisel 189 on kujutatud telegraafivõti. Metallkang *M* võib pöörduda telje *O* ümber. Võtme ühes otsas on kontakt K_1 ja teises otsas kontakt K_2. Vedru *P* surub kangi niisugusesse asendisse, et kontakt K_1 on lahutatud. Kontakti K_1 sulgemiseks tuleb vajutada telegraafivõtme käepidemele *R*.



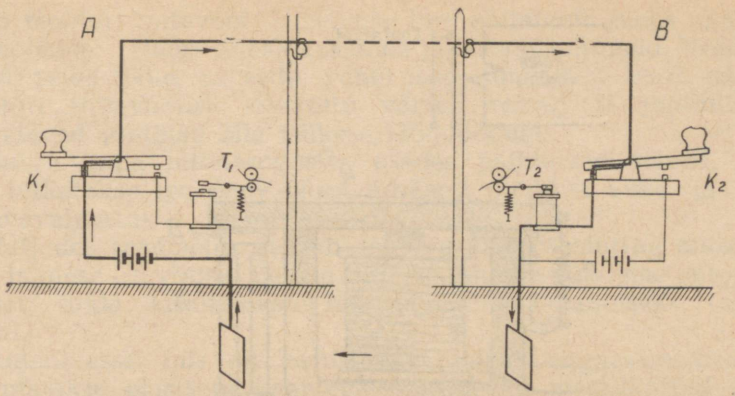
Joon. 190. Telegraafiaparaat.

Üleskirjutamisseadis on kujutatud joonisel 190. See koosneb elektromagnetist *EM* ja teljele *O* kinnitatud kangist. Kangi ühe õla külge on kinnitatud raudplaat *A* (ankur). Kangi teise õla otsas, mida pingutab vedru *P*, on poolenisti värvivannis asuv rattake *K*. Kellamehhanism, mida ei ole joonisel kujutatud, paneb võllid *V* ja *R* liikuma ja tõmbab edasi kettale *B* mähitud õhukest paberilinti. Kui elektromagneti mähist läbib vool, siis elektromagnet tõmbab ankru külge ja surub värviga kaetud rattakese vastu paberilinti. See jätab paberile jälje — kriipsu.

Kriips tuleb seda pikem, mida kauem ankur on tõmmatud vastu elektromagnetit, s. t. mida pikema ajavahemiku kestel elektromagneti mähist läbib vool.

Vool lülitatakse sisse telegraafivõtme abil. Lühiajalised vajutused võtmele tekitavad lindile punktid, pikemaajalised aga kriipsud. Kombineerides punkte ja kriipse võib koostada eriliste tingmärkide tabeli, milles iga märk vastab mingile tähele, numbrile või kirjavahemärgile (morsetähestik).

Selleks et kaks jaama võiksid telegramme vahetada, peab neis mõlemas olema üleskirjutamisaparaat ja telegraafivõti. Kahe jaama ühendamise skeem on kujutatud joonisel 191. Sellel skeemil näidatud telegraafiliin koosneb ainult ühest juhtmest. Kuna maa on elektrijuht, siis teist juhet võib asendada maaga. Sellepärast on mõlemas jaamas telegraafiaparaat maandatud. Joonisel 191 on kujutatud seadmete asend signaali edasiandmisel jaamast *A* jaama *B*.



Joon. 191. Kahepoolse telegraafiside lihtsustatud skeem. Esimese aparaadi võtmele K_1 vajutamisel tõmbub teise aparaadi ankur T_2 elektromagneti külge. Teise aparaadi paberilindile tekib kriips. Vooluring on näidatud jämeda joonega.

Tuleb silmas pidada, et toodud skeem selgitab ainult telegrafeerimise põhimõtet. Tänapäeva telegraafiaparaatide ehitus ja töötamine on tunduvalt keerukam. Nad ei tekita lindile punkte ja kriipse, vaid trükivad sellele tähed. Paberilint, millele on trükitud sõnad, kleebitakse blanketile ja saadetakse adressaadile.

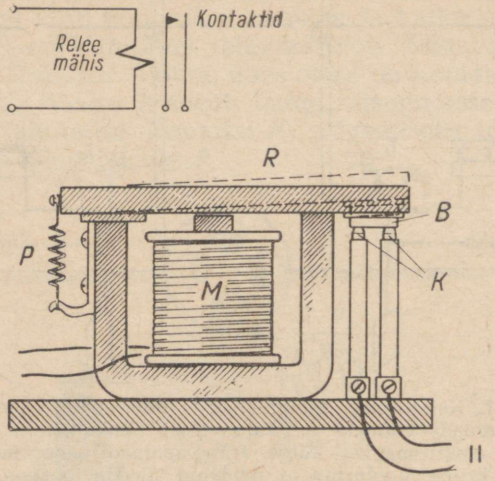
§ 100. Elektromagnetiline relee.

Mitmesugustel tehnikaaladel, eriti automaatikas, kasutatakse laialdaselt elektromagnetilisi seadmeid, mida nimetatakse releedeks.

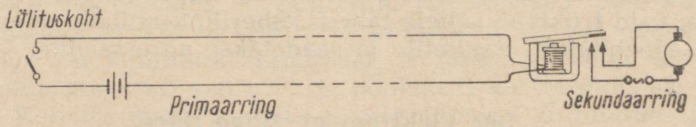
Iga relee põhiliseks osaks on elektromagnet *M* (joon. 192). Kui elektromagneti mähist läbib vool, siis ankur *R* tõmbub vastu elektromagnetit ja ankruga ühendatud plaadike *B* suleb kontaktid *K*. Elektromagneti vooluringi nimetatakse relee primaarvooluringiks ja kontaktide *K* abil suletavat vooluringi relee sekundaarvooluringiks. Kui relee primaarringis voolu ei ole, siis vedru *P* hoiab ankru elektromagnetist eemal ja kontaktid *K* on avatud. Ankru selline asend on joonisel näidatud punktiirjoonega.

Joonisel 193 on skemaatiliselt näidatud relee, mida kasutatakse elektrimootori töö juhtimiseks. Mootor ühendatakse tema kõrval asuva relee sekundaarvooluringi. Primaarvooluring suletakse juhtimispuldist. Seejuures ankur suleb sekundaarringi kontaktid. Relee lülitab sisse mootori, mis käitab temaga ühendatud masina. Kui katkestame elektromagneti vooluringi, siis relee lülitab mootori välja.

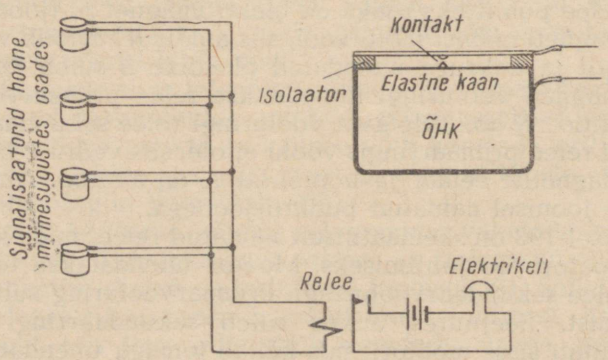
Kui relee puuduks, siis tuleks lülituskohani viia juhtmed, mida



Joon. 192. Elektromagnetiline relee ja selle tingmärk.



Joon. 193. Relee kasutamine elektrimootori käivitamiseks.



Joon. 194. Automaatse tulekahjusignalisatsiooniseadme skeem. Paremal ülal on kujutatud signalisaator läbilõikes.

läbib mootori toitevool. Niisuguse liini ehitamine oleks aga ebaökonoomne: selleks tuleks kasutada jämedaid juhtmeid. Vool, mis paneb relee tööle, on sadu, vahel isegi tuhandeid kordi nõrgem mootori toitevoolust. Seetõttu võivad releed ja juhtimispulti ühendavad juhtmed olla väikese läbimõõduga.

Suure linna mitmesugustes osades paiknevad releed, mille abil lülitatakse iga päev ühest kesksest punktist sisse ja välja tänavavalgustus.

Paljudes seadmetes sulgub relee primaarvooluring automaatselt, inimese osavõtuta. Sellise lülituse näitena vaatleme automaatseadet, mida kasutatakse häiresignaalide andmiseks tuleohu puhul.

Ruumidesse, mis on varustatud tulekahjusignaalseadmetega, paigutatakse elastsete kaantega õhutihedad metallkarbid (joon. 194). Kaane küljes on kontakt. Kui õhu temperatuur karbis ei ületa tavalist toatemperatuuri, siis on kontaktid avatud. Kui aga õhk soojeneb 60—70 kraadini, siis ta paisub, surub karbi kaane kummi ja suleb primaarringi. Relee sekundaarringi on lülitatud elektrikell, mis annab häiresignaali. Teise releega võib ühendada veepumba elektrimootori. Pump toidab veega tuletõrjevoolikuid.

§ 101. Telemehhaanika mõiste.

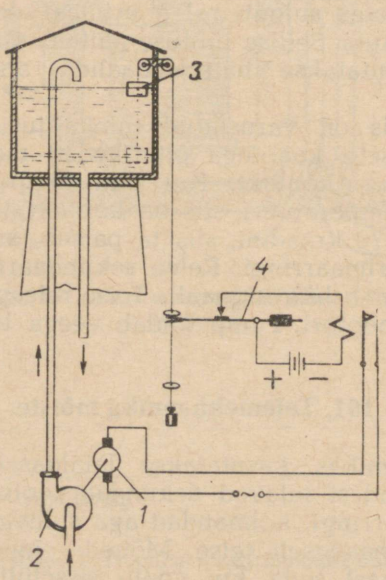
Tänapäeva tehnikas kasutatakse laialdaselt mitmesuguseid releesid. Ühed nendest sulevad sekundaarvooluringi, teised katkestavad sekundaarringi, kolmandad aga sulevad ühe vooluringi ja katkestavad samaaegselt teise. Mõned releed sulevad sekundaarringi alles pärast seda, kui voolu sisselülitamisest primaarringis on möödunud teatud ajavahemik (aegrelee). Mõnikord kasutatakse releesid, mille tööle panemiseks tuleb neile anda mingi kindel elektriliste impulsside kombinatsioon telegraafiaparaadis kasutatavate punktide ja kriipsude kujul.

Releede abil võib kaugelt juhtida mitmesuguseid keerukaid protsesse. Näiteks käivitada ja seisata mitmesuguste masinate elektrimootoreid, avada ja sulgeda torude kraane, reguleerida temperatuuri ahjudes jne.

Seadmeid, mille abil saab keerukaid protsesse juhtida elektrisignaalide edasiandmise teel juhtmete kaudu, nimetatakse *telemehhaanilisteks seadmeteks*.

Meie maal on konstrueeritud ja rakendatakse palju telemehhaanilisi süsteeme. Need kergendavad tunduvalt inimeste tööd. Telemehhaaniliselt juhitakse näiteks kõiki pumba- ja hüdroelektrijaamu, mis asuvad Moskva-nimelisel (Moskva—Volga) kanalil. Kõikide masinate käivitamine, seiskamine ja nende töö reguleerimine Moskva-nimelise kanali jaamades toimub ühest punktist, mis asub Moskvas.

Keerukad aparaadid täidavad mitte ainult kiiresti ja tõrkumata käske, vaid signaliseerivad ka käskude täitmisest ja masinate seisukorrast antud hetkel. Üheks huvitavaks seadmeks on näiteks «automaatteadustaja». See annab telefoni teel suusõnalisi teateid masinate tööst, nende ülekoormamisest või riketest nendes. Inimese hääl on muidugi jäädvustatud varem helilindile — aparaat lülitab ainult vajaliku teate sisse.



Joon. 195. Automaat vee pumpamiseks:
1 — elektrimootor; *2* — pump; *3* — ujuk; *4* — kang kontaktiga.

Harjutus 32. 1. Pioneerilaagris tekkis veega varustamises vaheaegu, sest et pumba elektrimootorit ei lülitatud õigel ajal sisse. Õpetaja juhendamisel ehitasid pioneerid automaadi, mis reguleeris vee nivood paagis. Automaadi skeem on toodud joonisel 195. Kui vee nivoo paagis langeb alla mingi kindla piiri, siis automaat lülitab pumba sisse; kui paak saab täis, siis ta lülitab pumba uuesti välja. Vaatle skeemi ja selgita, kuidas automaat töötab.

§ 102. Telefon.

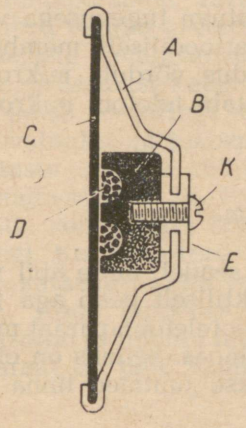
Inimeste elu tänapäeva ühiskonnas ei ole mõeldav telefonita. Telefoni abil võime rääkida, asudes üksteisest tuhandete kilomeetrite kaugusel.

Telefoniga kõneldes hoiame käes telefonitoru. Toru ülemises

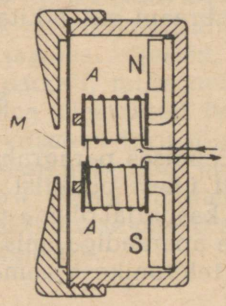
otsas, mis hoitakse vastu kõrva, on telefon[1], alumises otsas aga mikrofon[2]. Mikrofon ja telefon on ühendatud juhtmete abil telefoniliini teises otsas asuva mikrofoni ja telefoniga samasse vooluringi. Vooluringi toidetakse elementidest või akumulaatoritest.

Kui räägime, siis me häälepaelad võnguvad ja panevad õhu võnkuma. Õhu võnkumisi tajume häälena.

Hääle edasiandmine kauge maa taha tähendab võnkumiste edasiandmist. Et vältida seejuures hääle moonutamist, tuleb edasiantava võnkumise sagedus hoida muutumatuna.



Joon. 196. Mikrofoni ehitus:
A — mikrofoni kest; *B* — söeplaat; *C* — süsimembraan; *D* — söepulber; *E* — isoleeriv rõngas; *K* — kontaktkruvi.



Joon. 197. Telefoni ehitus:
A — elektromagneti mähis; *N* ja *S* — terasmagneti poolused; *M* — membraan.

Mikrofoni põhiliseks osaks on väike metallkarp (joon. 196). Sellesse on kestast isoleeritult kinnitatud söeplaat, milles on süvendid. Süvenditesse on puistatud söepulber. Karp on pealt kaetud õhukese söeplaadiga (membraaniga).

Elektrivool läheb membraanist plaadini läbi söepulbri. Söepulbril on suur takistus. Seetõttu läbib mikrofoni nõrk vool. Kui rõhuda membraanile, siis membraan surub söepulbri kokku. Kontaktid söeterakeste vahel muutuvad paremaks, söepulbri takistus väheneb ja teda läbib tugevam vool. Kui membraan sirgeneb, siis voolu tugevus väheneb ja omandab uuesti esialgse väärtuse.

Hääl, jõudes membraanini, paneb selle võnkuma sama sagedusega, millega võngub hääleallikas. Sama sagedusega muutub ka

[1] Telefon — kreekakeelsetest sõnadest *tēle* — kauge ja *phōnē* — hääl. Telefon on riist, mis võimaldab häält edasi anda kauge maa taha.

[2] Mikrofon — kreekakeelsetest sõnadest *mikros* — väike ja *phōnē* — hääl. Mikrofon on riist, mille abil saab vastu võtta nõrku hääli.

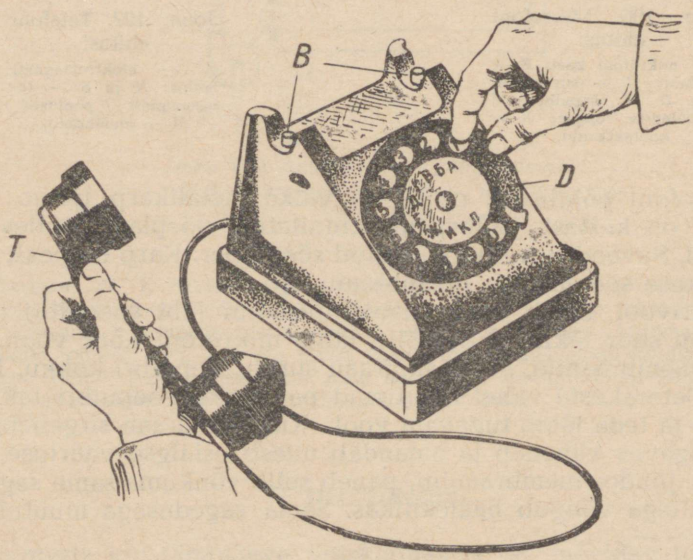
mikrofoni takistus ja seega ka voolu tugevus vooluringis. Muutuva tugevusega vool läbib telefoni.

Telefonis (joon. 197) on kaks väikest elektromagnetit, mille mähised on valmistatud peenest traadist. Elektromagnetite südamikud asuvad tugeva terasmagneti pooluste küljes ja on seetõttu alati magnetiseeritud. Elektromagneti pooluste ees on õhuke raudmembraan, mis tõmbub südamiku külge ja on sellepärast kergelt sissepoole painutatud. Membraani peal on auguga kaas, mis telefoniga rääkimisel asetatakse vastu kõrva.

Kui elektromagneti mähiseid läbib muutuva tugevusega vool, siis membraani külgetõmbumine muutub perioodiliselt, membraan hakkab võnkuma. Selle võnkumise sagedus võrdub mikrofoni membraani võnkesagedusega. Seega taastab telefon mikrofoni membraani ees tekitatud hääle.

§ 103. Telefonikeskjaam.

Eelmises paragrahvis vaatlesime lihtsat seadet, mille abil võib häält ühest punktist teise edasi anda. Praktiliselt peab aga telefoni kasutajal olema võimalus ühendada oma telefoniaparaat mingi teise aparaadiga, mis asub näiteks antud linnas. Selleks on ehitatud telefonikeskjaamad. Keskjaamast viiakse juhtmed linna kõi-



Joon. 198. Tänapäeva telefoniaparaat:
T — toru telefoni ja mikrofoniga; *D* — valijaketas; *B* — kella ja toru ümberlüliti nupud.

kide telefonide juurde. Jaamas ühendatakse need juhtmed pistikupesadega, mis asuvad suurtel kilpidel — kommutaatoritel. Öeldud numbri järgi ühendab valvetelefonist ühe telefoniliini teise telefoniliiniga.

Nõukogude võimu aastatel on enamikus meie linnades käsitelefonijaamad asendatud automaatjaamadega. Liinide ühendamine automaatkeskjaamas toimub relee süsteemi abil. Releed pannakse tööle telefoniaparaadist saadud vooluimpulsside abil. Selleks on telefoniaparaadid varustatud valijakettaga (joon. 198). Telefoninumbrit valides asetatakse sõrm avasse, mis vastab telefoninumbri esimesele numbrile, pööratakse ketast, kuni sõrm puutub vastu tuge, ja lastakse ketas lahti. Pöördudes algasendisse tagasi, katkestab ketas vooluringi nii mitu korda, kui suur oli esimene number. Nii valitakse järjekorras telefoninumbri kõik teised numbrid. Katkestuste seeriad mõjutavad automaatkeskjaamas releesid, mis ühendavadki liinid. Pärast seda juhitakse aparaati, mille number valiti, vool. Selles aparaadis hakkab helisema elektrikell (väljakutse). Kui tõsta toru üles, siis eriline lüliti vabaneb toru rõhumisest, katkestab kella vooluringi ning lülitab sisse mikrofoni ja telefoni. Kõne lõppedes asetatakse telefonitoru tagasi aparaadile. Mikrofon ja telefon lülitatakse välja ja kell lülitatakse uuesti sisse. Aparaat on jälle valmis väljakutse vastuvõtmiseks.

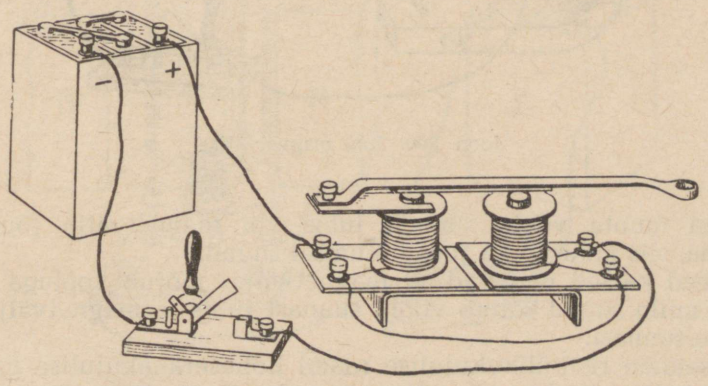
§ 104. Laboratoorne töö nr. 14.

Elektromagnetilise relee koostamine ja katsetamine.

T ö ö v a h e n d i d. Elektromagneti osad, kaks vooluallikat, taskulambi pirn alusel, lüliti, ühendusjuhtmed.

T ö ö k ä i k. 1. (Joon. 199.) Ühenda vetruva ankruga elektromagnet vooluallika ja lülitiga ning proovi tema töötamist.

2. Koosta sekundaarvooluring, mis sulgub vetruva ankru abil.



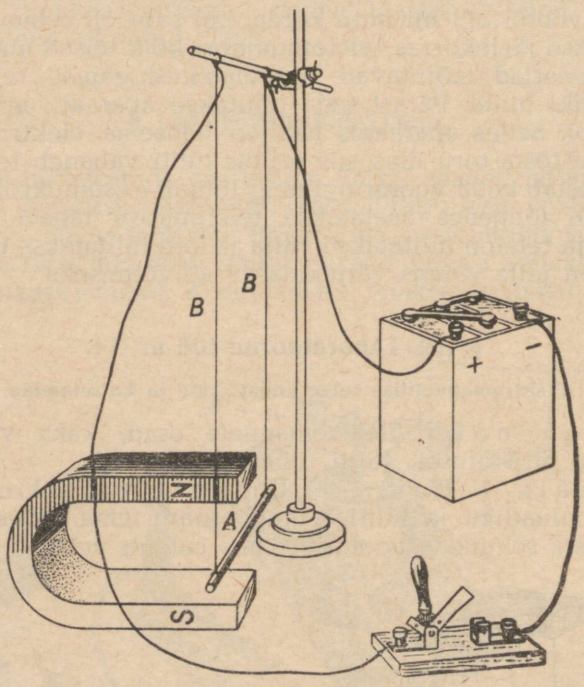
Joon. 199. Osadest koostatud elektromagnet.

Ühenda sekundaarringi lamp ja vooluallikas. Pane relee tööle, sulgedes lüliti. Vaatle nähtust, mis toimub relee sekundaarvooluringis.

3. Joonista vihikusse selle relee skeem ja väliskuju.

§ 105. Vooluga juhi liikumine magnetväljas.

Riputame juhi kahe painduva juhtme otsa ja paigutame ta hobuserauakujulise magneti pooluste vahele (joon. 200). Ühendame painduvad juhtmed vooluallikaga ja lülitame voolu sisse. Vooluga juht hakkab liikuma risti magnetvälja jõujoontega.

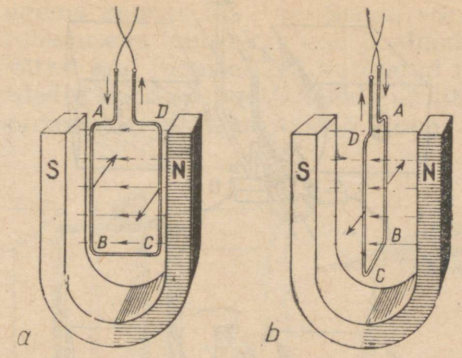


Joon. 200. Juht magnetväljas.

Kui muuta voolu suunda juhis või magnetvälja jõujoonte suunda, siis muutub ka juhi liikumise suund.

Need katsed näitavad, et magnetväljas mõjub vooluga juhile jõud, mille suund sõltub voolu suunast juhis ja magnetvälja jõujoonte suunast.

Asetame ristkülikukujulise raami hobuserauakujulise magneti magnetvälja ja laseme sellesse voolu (joon. 201). Raami osa-



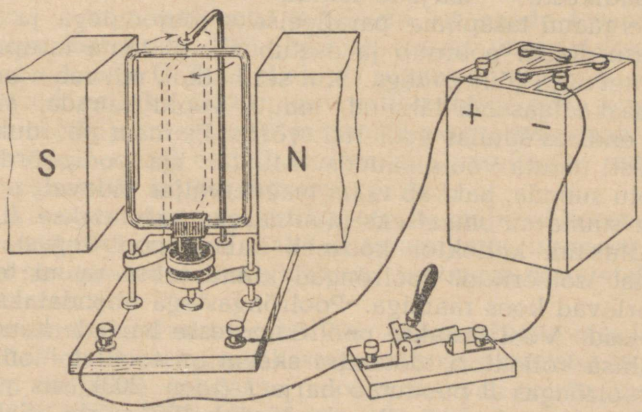
Joon. 201. Jõud, mis mõjuvad vooluga raamile magnetväljas.

des *AB* ja *CD* on vooludel erinev suund. Seetõttu mõjuvad nendele raami osadele magnetväljas võrdsed ja vastassuunalised jõud (joon. 201, *a*). Need jõud pööravad raami nii, et tema tasapind jääb magnetvälja jõujoontega risti (joon. 201, *b*).

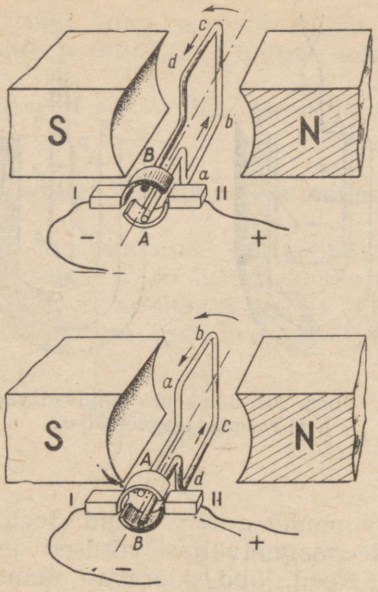
§ 106. Alalisvoolumootor.

Vooluga raami pöördumist magnetväljas kasutatakse elektrimootorites.

Joonisel 202 on kujutatud raam, mis koosneb mõnekümnest



Joon. 202. Vooluga raami pöörlemine magnetväljas.



Joon. 203. Raami pöördumisel iga 180° nurga võrra muutub voolu suund vastupidiseks.

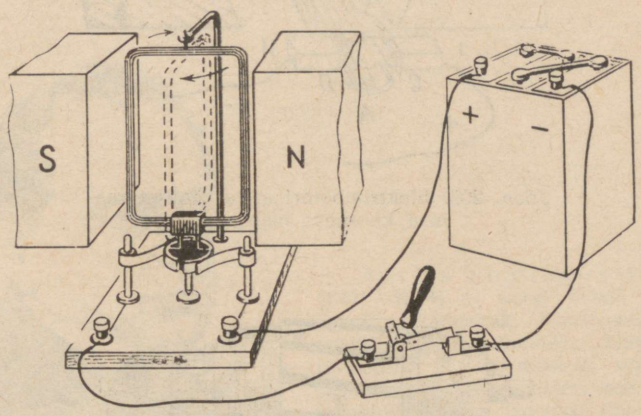
isoleeritud juhtme keerust. Raam on kinnitatud vertikaalsele teljele. Sama telje alumise otsa küljes on kaks teineteisest isoleeritud metallrõngast. Ühe rõngaga on ühendatud raami mähise üks ots, teise rõngaga teine ots. Vool juhitakse rõngastesse õhukeste metallplaadikeste — harjade kaudu.

Seame raami tasapinna paralleelseks jõujoontega ja lülitame voolu sisse. Raam pöördub ja asetub nii, et tema tasapind jääb risti magnetvälja jõujoontega. Kui sel hetkel, mil raam on inertsi mõjul tasakaaluasendi läbinud, muuta voolu suunda, siis raam pöördub endises suunas veel 180° võrra. Et raam pöörduks edasi, tuleb uuesti muuta voolu suunda. Muutes iga poolpöörde (180°) järel voolu suunda, hakkab raam magnetväljas pidevalt pöörlema.

Voolu suuna automaatseks muutmiseks kasutatakse kollektorit. Lihtsaim kollektor koosneb kahest poolrõngast, mis on teineteisest isoleeritud. Poolrõngad kinnitatakse raami teljele ja need pöörlevad koos raamiga. Poolrõngastega ühendatakse raami mähise otsad. Vool lastakse poolrõngastesse harjade kaudu. Niisuguse lihtsa kollektori töötamise skeem on toodud joonisel 203.

Kui poolrõngas *B* puudutab harja *I* (joon. 203), siis vool raamis läheb suunas *ab* — *cd*. Raam pöördub 180° võrra. Selle poolpöörde lõpul hakkab harja *I* puudutama poolrõngas *A* ja vool hak-

kab raamis kulgema suunas *dc — ba*. Seega voolu suund raamis muutub. Selle tulemusena teeb raam uue poolpöörde. Tekib pidev pöörlemine. Võttes ära joonisel 202 kujutatud riista teljelt kaks rõngast ja asendades need eespool kirjeldatud lihtsa kollektoriga, saame alalisvoolumootori töötava mudeli (joon. 204).



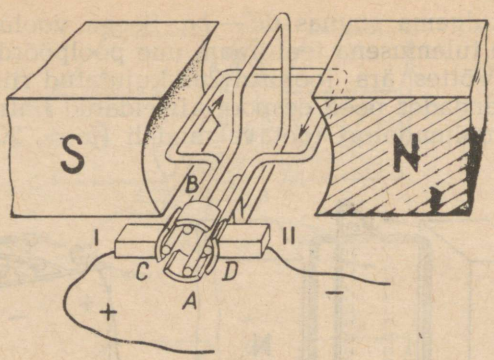
Joon. 204. Alalisvoolumootori töötav mudel.

Magnetväli mõjub mähisele (raamile) suurima jõuga sel juhul, kui mähise keerdude tasapind on paralleelne jõujoontega. Kui keerdude tasapind on risti välja jõujoontega, siis pöördub mähis ainult inertsi mõjul. Seetõttu pöörleb üheleainsale raamile keritud mähis tõugetega.

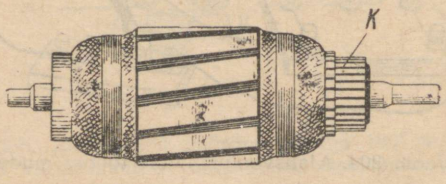
Et saada ühtlasemat pöörlemist, võib ühe raami asemel võtta kaks raami ja kinnitada need teljele nii, et nende tasapinnad on teineteisega risti (joon. 205). Mähiste otsad ühendatakse kollektori otstega *A, B* ja *C, D*. Kollektori rõngas on nüüd jagatud mitte kaheks, vaid neljaks osaks, vastavalt mähiste otste arvule. Kui üks raam on jõujoontega risti ja temale magnetväli enam ei mõju, siis teine raam on sel hetkel jõujoontega paralleelne ning temale mõjub magnetväli kõige suurema jõuga.

Tehnikas kasutatavate elektrimootorite mähised koosnevad paljudest keerdudest, mis on mähitud terassilindri uuretesse. Terassilindrit koos tema uuretesse mähitud juhtmega nimetatakse mootori a n k r u k s.

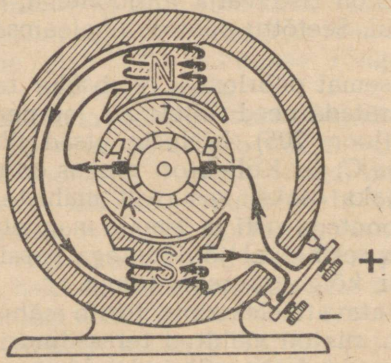
Ankur on kujutatud joonisel 206. Ankrumähiste otsad ühendatakse kollektori *K* vaskplaadikestega, mis on üksteisest isoleeritud. Söeharjad, millesse juhitakse vool, puutuvad vastu kollektorit. Kuna süsi ei ole nii kõva kui vask, siis hõõrdumisel vastu harju kulub kollektor vähe.



Joon. 205. Elektrimootori ankur kahest raamist koosneva mähisega.



Joon. 206. Alalisvoolumootori ankur kollektoriga.



Joon. 207. Alalisvoolumootori läbilõige.

Mootori magnetväli tekitatakse tugeva elektromagneti abil. Elektrimootori läbilõige on toodud joonisel 207. Mootori keres paiknevad elektromagneti poolused *N* ja *S*. Pooluste vahel on ankur *J* (ankrumähiseid ei ole joonisel näidatud). Kollektor on tähistatud tähega *K* ja harjad tähtedega *A* ja *B*. Vool läbib järgemööda elektromagneti ja ankru mähised.



Boriss Semjonovitš Jakobi (1801—1874) — vene füüsik ja elektrotehnik, akadeemik. Konstrueeris esimese praktiliseks kasutamiseks kõlbliku elektrimootori, leiutas meetodi metallkoopiate saamiseks mitmesugustest esemetest (galvanoplastika) ja meetodi ühtede metallide katmiseks teistega (galvanosteegia) elektrivoolu abil. B. S. Jakobi leiutas telegraafiaparaadi, mis trükkis morsemärkide asemel tähti.

Ankur pöörleb niikaua, kuni mootorisse lastakse voolu. Ühendades ankru telje mingi masina teljega, võib panna selle masina tööle. Sel juhul tehakse elektrienergia arvel mehhaanilist tööd.

Elektrimootori, mis oli üks esimestest praktiliseks kasutamiseks kõlblikest elektrimootoritest maailmas, leiutas 1834. a. akadeemik B. S. Jakobi. 1838. a. katsetati Neeval edukalt paati, mille pani liikuma Jakobi elektrimootor. See oli maailma esimene elektrilaev.

§ 107. Laboratoorne töö nr. 15.

Alalisvoolumootori kokkupanemine ja katsetamine.

T ö ö v a h e n d i d. Hobuserauakujuline magnet, ankur kollektoriga, puitalus, harjad, laagritega toed, ühendusjuhtmed, vooluallikas.

T ö ö k ä i k. 1. Pane elektrimootori mudel kokku.

2. Lülita vool sisse ja pane mootor tööle. Kui ankur ei pöörle, siis leia viga ja kõrvalda see. Kollektorit võib telje otsas pöörata. Pöörates kollektorit leia talle magnetväljas ankru suhtes õige asend.

§ 108. Elektrimootorite rakendamine.

Elektrimootoritel on võrreldes aurumasinate ja sisepõlemismootoritega rida eeliseid. Ühesuguste mõõtmete korral on nad väiksemad ja nende käsitsemine on mugavam. Nende jaoks ei ole vaja kütuse- ja veetagavara, nad ei eralda suitsu ega gaase ning ei saasta õhku. Sobiva võimsusega elektrimootoreid on mugav paigaldada — neid võib üles seada tööpingile, trammi põranda alla ja elektriveduri teljele. On olemas ka elektrimootoreid, mis töötavad mingis vedelikus, näiteks naftas, pumbates seda puuraugust üles.

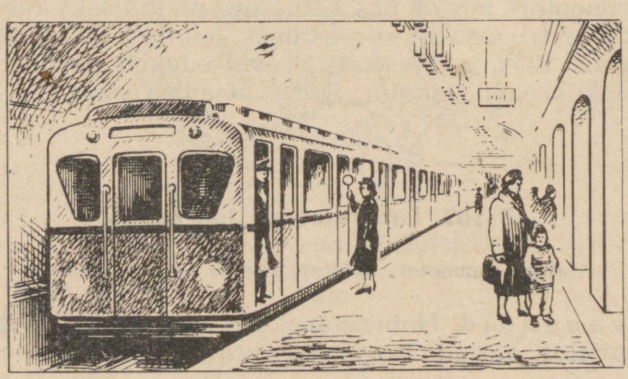
Meie tööstus toodab väga mitmesuguse suurusega elektrimootoreid. Nende võimsus ulatub mõnest vatist (näiteks elektrigrammofonides, elektri-habemeajamisaparaatides) sadade ja tuhandete kilovattideni (ekskavaatorites, valtsimispinkides, laevades).

Võimsate elektrimootorite kasutegur ulatub kuni 96%-ni. Nii suurt kasutegurit ei oma ükski teine jõumasin.

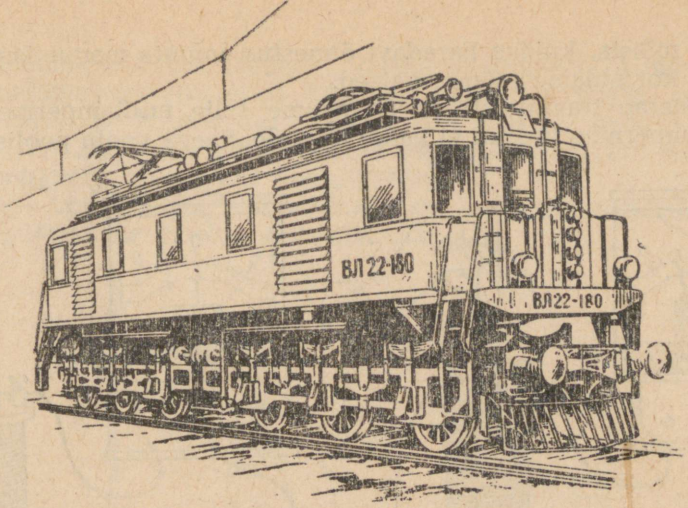
Elektrimootoritega käitatakse tehastes ja vabrikutes tööpinke. Põllumajanduses on elektrivoolu tarbijateks pumbad, viljapeksu-, tuulamis-, lüpsi- ja hekslimasinad.

Transpordis panevad elektrimootorid liikuma trammid, trollibussid, metroorongid (joon. 208) ja elektrivedurid (joon. 209).

Elektrimootorite kasutamine koduses majapidamises — tolmuimejates, külmutuskappides, pesupesemis- ja õmblusmasinates — kergendab tunduvalt inimeste tööd ja loob mugavusi.



Joon. 208. Metroorong.



Joon. 209. Elektrivedur.

§ 109. Induktsioonvool.

Nägime, et magnetnõel kaldub kõrvale juhtmest läbimineva voolu mõjul (joon. 178); vooluga pooli asetatud raudpulk magnetiseerub (joon. 159); vooluga juht hakkab magnetväljas liikuma (joon. 200).

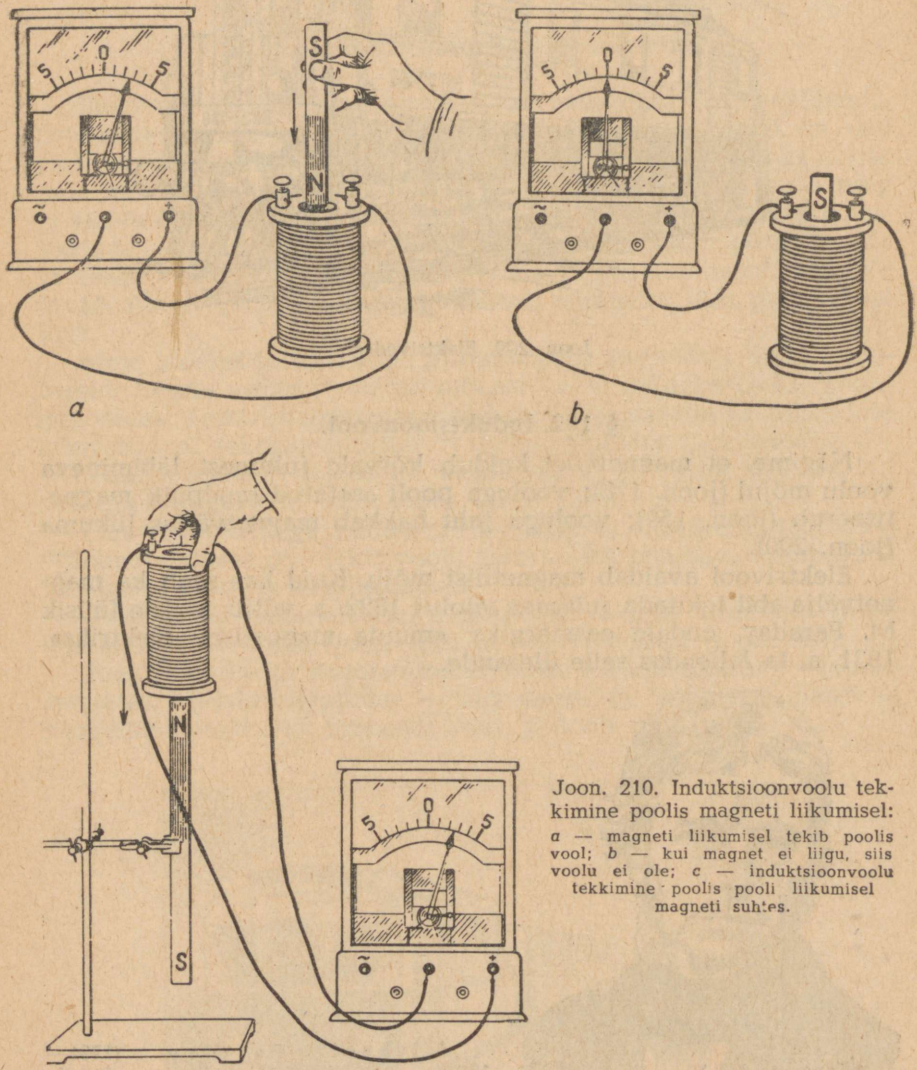
Elektrivool avaldab magnetilist mõju. Kuid kas saab ka magnetvälja abil tekitada juhtmes voolu? 1822. a. võttis inglise füüsik M. Faraday endale eesmärgiks «muuta magnetism elektriks». 1831. a. ta lahendas selle ülesande.



Michael Faraday (1791—1867) — väljapaistev inglise füüsik. M. Faraday rajas õpetuse elektri- ja magnetväljast, avastas voolu keemilise toime seadused ja elektromagnetilise induktsiooni nähtuse.

Et mõista, kuidas Faradayl õnnestus «muuta magnetism elektriks», korraldame mõned katsed.

Võtame traadipooli ja ühendame selle milliampermeetriga[1]. Milliampermeetri osuti ei kaldu kõrvale. Seega voolu poolis ei ole.

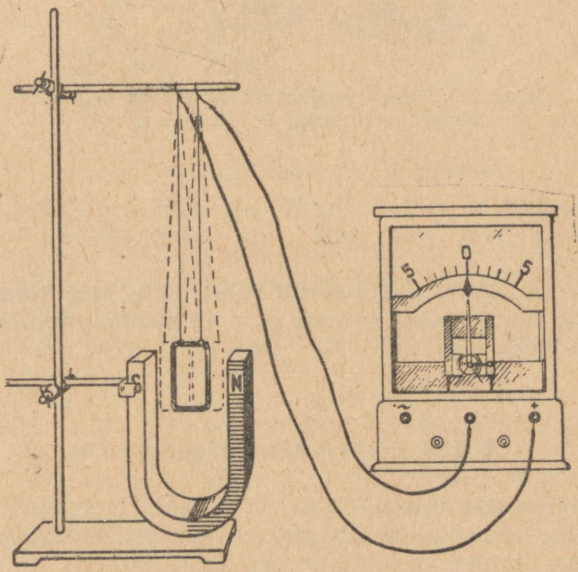


Joon. 210. Induktsioonvoolu tekkimine poolis magneti liikumisel: *a* — magneti liikumisel tekib poolis vool; *b* — kui magnet ei liigu, siis voolu ei ole; *c* — induktsioonvoolu tekkimine poolis pooli liikumisel magneti suhtes.

[1] Milliampermeeter — tundlik elektrimõõteriist voolu mõõtmiseks ampri tuhandikes.

Asetame pooli sisse magneti. Näeme, et magneti liikumisel kaldub milliampermeetri osuti kõrvale. Järelikult poolis on vool (joon. 210, *a*). Niipea kui magnet jääb seisma, kaob ka vool (joon. 210, *b*). Analoogiline nähtus esineb ka siis, kui liigutada mitte magnetit, vaid pooli (joon. 210, *c*).

Seega võime öelda: kui suletud pool ja magnet teineteise suhtes liiguvad, siis poolis tekib elektrivool.



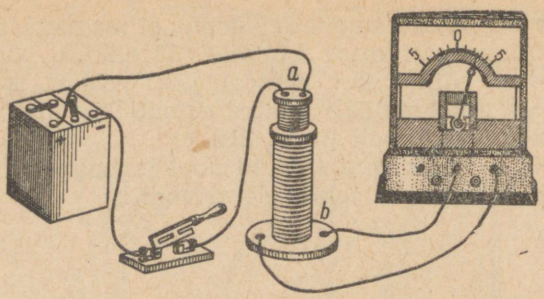
Joon. 211. Kui pool liigub nii, siis magnetväli pooli sees ei muutu ja voolu ei indutseerita.

Kuid juhi igasugusel liikumisel magnetväljas ei teki siiski voolu. Viime magnetvälja (joon. 211) mõnest traadikeerust koosneva pooli ja liigutame seda p i k i m a g n e t v ä l j a j õ u j o o n i. Pooliga ühendatud milliampermeeter ei näita voolu.

See seletub asjaoluga, et pooli liikumisel magnetväli pooli sees ei muutu. Samuti ei teki poolis voolu ka siis, kui magnet jääb pooli suhtes liikumatuks (joon. 210, *b*), sest ka sel juhul magnetväli poolis ei muutu.

Kui liigutada pooli piki magneti vertikaalset telge, siis magnetväli poolis muutub. Milliampermeeter näitab, et pooli keerdudes on vool. Sama nähtus esineb ka magneti liikumisel pooli sees.

Joonisel 212 on kujutatud vooluallikaga ühendatud pool *a*. See pool on asetatud teise pooli *b*, mis on ühendatud milliampermeetriga. Pooli *a* vooluringi sulgemisel ja katkestamisel muutub poo-



Joon. 212. Pooli *a* vooluringi sulgemisel ja katkestamisel tekib poolis *b* induktsioonvool.

lis *b* magnetväli ja pooli *b* keerdudes tekib vool. Seega vool tekib suletud juhis siis, kui selle juhi poolt haaratud magnetväli muutub.

Elektrivoolu tekkimist suletud juhis selle juhi kontuuri läbiva magnetvälja muutumisel nimetatakse elektromagnetiliseks induktsiooniks ja tekkinud voolu — induktsioonvooluks.

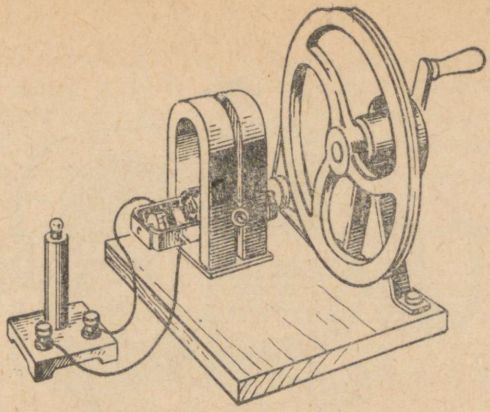
§ 110. Vahelduvvoolugeneraator.

Elektrijaamades muundatakse turbiinide ja teiste jõumasinate mehhaaniline energia elektrienergiaks elektrigeneraatorite abil.

Vaatleme lihtsaima elektrigeneraatori ehitust.

Võtame raami (joon. 202), millel on kaks rõngast, ja ühendame harjad milliampermeetriga. Asetame raami sellisesse asendisse, et tema keerdude tasapind on risti hobuserauakujulise magneti välja jõujoontega. Seda asendit nimetatakse neutraalseks asendiks. Pöörates raami neutraalsest asendist edasi 180° võrra, märkame, et milliampermeetri osuti kaldub kõrvale. Kui pöörata raami endises suunas veel 180° võrra, siis osuti kaldub teisele poole kõrvale. Seega magnetväljas pöörlevas raamis tekib induktsioonvool. Voolu suund muutub iga kord, kui raam läbib neutraalset asendit, s. o. iga poolpöörde järel. Seejuures muutub ka voolu tugevus — iga poolpöörde algul voolu tugevus suureneb, lõpul aga väheneb.

Induktsioonvool tekib seetõttu, et raami pöörlemisel muutub keerdude tasapinda läbivate jõujoonte arv. Kui raam on neutraalses asendis, siis läbib teda kõige rohkem magnetvälja jõujooni. Pärast raami pöördumist 90° võrra jõujooned teda enam ei läbi. Pöördumise jätkumisel hakkab raami uuesti läbima üha suurem arv jõujooni, kuid nüüd langevad need raami tasapinnale vastassuunas, sest raam on teise külje pööranud. Kui raam on läbinud

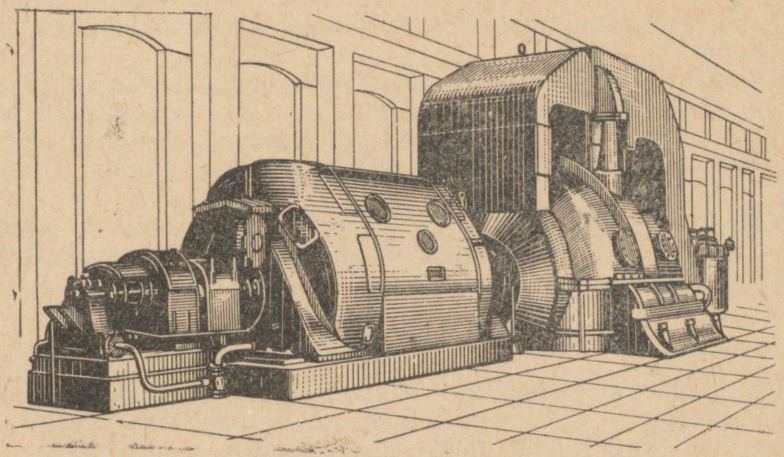


Joon. 213. Lihtsaim vahelduvvoolugeneraator.

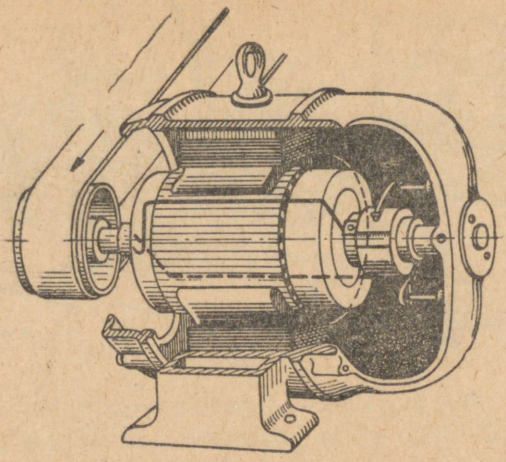
neutraalse asendi, siis hakkab teda läbivate jõujoonte arv jälle vähenema. Pöörlevas raamis tekkiva induktsioonvoolu tugevus ja suund muutuvad.

Voolu, mille tugevus ja suund perioodiliselt muutuvad, nimetatakse *vahelduvvooluks*.

Magnetist, raamist, kahest rõngast ja harjadest koosnev katseriist kujutab endast vahelduvvoolugeneraatori mudelit. Joonisel 213 on kujutatud lihtsaim väikese võimsusega vahelduvvoolugeneraator. Raudankrule keritud mähis pöörleb hobuserauakujulise magneti pooluste vahel magnetväljas. Vool juhitakse mähisest vooluringi kahe rõnga ja harjade abil.



Joon. 214. Vahelduvvoolugeneraator elektrijaamas. Tagaplaanil on kujutatud auruturbiin, mis paneb generaatori pöörlema.



Joon. 215. Alalisvoolugeneraatori (ühtlasi ka elektrimootori) läbilõige.

Tehnikas kasutatavates vahelduvvoolugeneraatorites pöörleb mitte mähis, milles indutseeritakse vool, vaid elektromagnet. Elektromagnet kinnitatakse generaatori võllile ja temasse lastakse mingist kõrvalisest vooluallikast alalisvool. Vool juhitakse elektromagneti mähisesse harjade ja rõngaste kaudu.

Vahelduvvoolugeneraatori pöörlevat osa nimetatakse r o o t o r i k s. Rootor asub generaatori teraskeres, mille uuretesse on paigutatud mähisetraat. Keret koos mähisega nimetatakse s t a a t o r i k s. Rootori (elektromagneti) pöörlemisel tekib staatori mähises vahelduvvool. Joonisel 214 on kujutatud võimas vahelduvvoolugeneraator.

Generaatori rootori paneb pöörlema mingi jõumasin — hüdroturbiin, auruturbiin või sisepõlemismootor. Generaatorit, mille rootor pöörleb hüdroturbiiniga ühisel võllil, nimetatakse hüdrogeneraatoriks ja generaatorit, mille rootori paneb pöörlema auruturbiin — turbogeneraatoriks.

Võimsad generaatorid annavad voolu tugevusega mitukümmend tuhat amprit ja töötavad pingetel, mille väärtus on 10 000 voldi piirides.

§ 111. Alalisvoolumasina pööratavus.

Ühendame elektrimootori mudeli (joon. 204) klemmidega milliampermeetri ja paneme mudeli ankru pöörlema. Näeme, et mõõteriista osuti kaldub ühele poole kõrvale. Seega vooluringi läbib muutumatu suunaga vool. **Elektrimootor võib töötada alalisvoolugeneraatorina.**

Kui lasta elektrimootori ankrumähisesse vool, siis ankur hakkab pöörlema. Kui aga selle mootori ankur pöörlema panna, siis tema mähises indutseeritakse vool. Tekkinud induktsioonvool on vahelduv. Kuid kollektori ja harjade abil lülitatakse mähise otsad iga poolpöörde järel ümber. Seetõttu läbib vooluringi välisosa ühesuunaline vool.

Alalisvoolumootoreid ja -generaatoreid nimetatakse *alalisvoolumasinateks*.

Iga alalisvoolumasin võib töötada nii mootorina kui ka generaatorina, s. t. alalisvoolumasinad on *pööratavad*. Joonisel 215 on kujutatud läbilõikes alalisvoolumasin. Näeme sellel elektromagnetite pooluseid, ankrut, kollektorit, harju ja ankrumähise ühte keerdu.

§ 112. Vahelduvvoolu omadused ja rakendamine.

Alalisvoolul on keemiline, soojuslik ja magnetiline toime (§ 50). Vaatleme nüüd vahelduvvoolu toimeid. Ühendame vahelduvvoolugeneraatori (joon. 213) poolused juhtmete abil madalapingelise lambiga ja paneme generaatori ankru aeglaselt pöörlema. Lambi hõõgniit hakkab helenduma. See helendumine ei ole aga ühtlane. Lamp vilgub, sest vahelduvvoolu tugevus muutub; samuti muutub ka ankru iga poolpöörde järel voolu suund. Voolu suuna muutumise hetkel vooluringi voolu ei lähe — lamp kustub. Kui vool saavutab suurima tugevuse, siis hakkab lamp heledalt hõõguma.

Kui panna ankur kiiremini pöörlema, siis lambi vilkumise sagedus suureneb. Küllalt kiirel pöörlemisel ei ole lambi vilkumine üldse märgatav. Voolu suuna kiirel muutumisel ei jõua lambi hõõgniit täielikult jahtuda — kiiresti vahelduvaid väikseid hõõgniidi heleduse muutusi silm aga ei taju.

Katse lambiga näitab, et ka vahelduvvoolul on soojuslik toime. Seega võib teda kasutada soojendusriistades ja valgustuseks. Tänapäeval kasutatakse selleks otstarbeks peaaegu eranditult 50-hertsise sagedusega vahelduvvoolu, s. o. voolu, mille suund muutub 100 korda sekundis. Lambi vilkumine ei ole seejuures üldse märgatav.

Võtame pooli, millel on palju keerde, asetame sellesse raudsüdamiku ja lülitame ta elektrivõrku. Lähendame nüüd pooli otsa väikeste naelte kuhjakesele. Näeme, et südamik tõmbab naelu külge. Seejuures kuuleme undamist (põrinat), mille põhjuseks on raudnaelte kiire ümbermagnetiseerumine (100 korda sekundis). Seega vahelduvvoolul, samuti nagu alalisvoolulgi, on magnetiline toime.

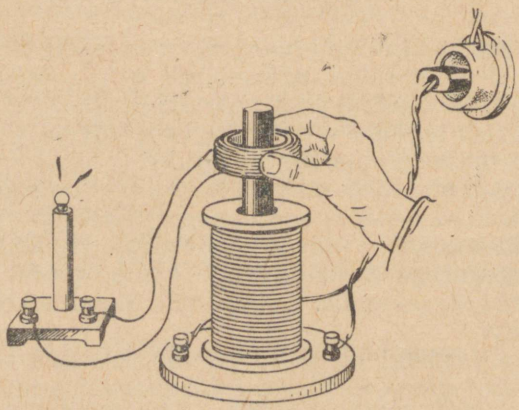
Vahelduvvoolu magnetilisel toimel põhineb elektrimootori ehitus. Vahelduvvoolumootorid on tunduvalt lihtsama ehitusega kui alalisvoolumootorid. Tehnikas kasutatakse peamiselt vahelduvvoolumootoreid.

Erinevalt alalisvoolust ei võimalda vahelduvvool kasutada oma keemilist toimet. Lastes näiteks vahelduvvoolu läbi väävelhappe vesilahuse, eraldub mõlemal elektroodil vaheldumisi vesinik ja hapnik, mitte aga üks nendest gaasidest, nagu alalisvoolu puhul. Seetõttu ei saa vahelduvvooluga laadida akumulaatorit ega eraldada metalli tema soola lahusest.

§ 113. Transformaator. Vahelduvvoolu pinge muutmine.

Enamik tööstuses ja koduses majapidamises kasutatavaid elektriseadmeid on arvestatud pingele 220 või 127 volti. Generaatorid toodavad aga tunduvalt kõrgema pingega voolu. Sellepärast lülitatakse vahelduvvoolu võrku transformaatorid[1] — riistad, mis muudavad pinge vajaliku väärtuseni. Transformaatorid võivad tõsta või madaldada pinget vooluringis. Selleks et mõista transformaatori töötamise põhimõtet, korraldame mõned katsed.

Asetame pooli sisse raudsüdamiku ja laseme valgustusvõrgust tema keerdudesse vahelduvvoolu. Südamik magnetiseerub kogu aeg ümber. Tema ülemises otsas tekib 50 korda sekundis põhjapoolus ja sama arv kordi lõunapoolus. Vahelduvvoolu poolt tekitatud magnetväli on samuti vahelduv (muutuv).



Joon. 216. Vahelduv magnetväli indutseerib poolis vahelduvvoolu.

[1] Ladina keelest: *transformator* — muundaja.

Teame, et muutuv magnetväli indutseerib suletud juhis elektrivoolu (§ 109). Ühendame väikese pooli taskulambipirniga ja paneme ta teises poolis asuva raudsüdamiku ümber (sellele «kaela») (joon. 216). Kui teist pooli läbib vahelduvvool, siis lamp põleb. Seega poolis, mille me asetasime südamiku ümber, indutseeriti vool.



Pavel Nikolajevitš Jablotškov (1847—1894) — vene elektrotehnik, kes leiutas 1867. a. «Jablotškovi küünla» — kaarlambi, mis annab väga heleda valguse. P. N. Jablotškovi kaarlambid olid esimesteks elektrilisteks valgusallikateks, mida kasutati paljudes maailma maades linnade tänavate, väljakute ja suurte ruumide valgustamiseks. Lampide toitmiseks vooluga konstrueeris ta transformaatori, mille abil lahendati esmakordselt edukalt probleem, kuidas toita vooluga mitut tarbijat ühest transformaatorist.

Vahelduv magnetväli mõjub antud juhul nii, nagu mõjus pooli *a* muutuv magnetväli poolile *b* pooli *a* vooluringi sulgemisel ja katkestamisel (joon. 212). Seejuures indutseeritakse poolis vahelduvvool.

Induktsiooninähtusel põhinebki transformaatori ehitus.

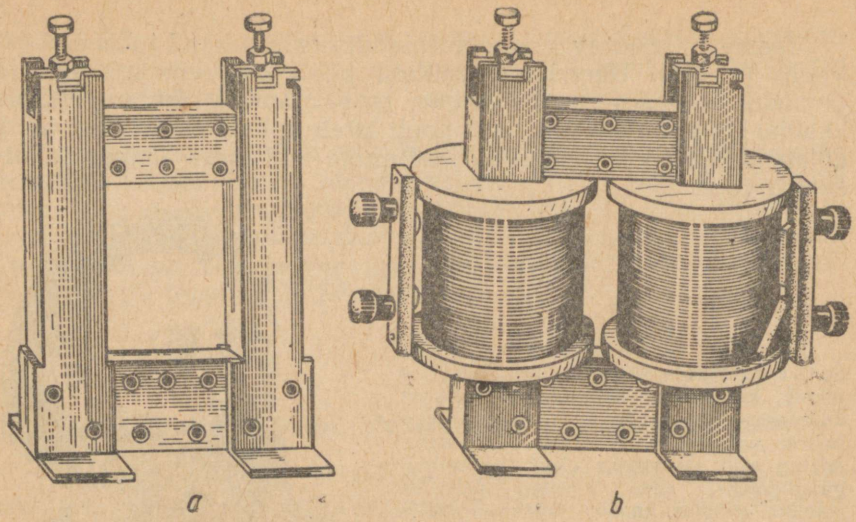
Transformaatori leiutas ja rakendas praktikasse väljapaistev vene elektrotehnik P. N. Jablotškov.

Transformaatoril on suletud südamik (joon. 217, *a*), mis koosneb spetsiaalsest transformaatoriterasest valmistatud plekkidest (raua, räni, mangaani ja teiste ainete sulam). Südamikule on paigutatud erineva keerdude arvuga isoleeritud traadist poolid (mähised) (joon. 217, *b*). Üks mähis, mida nimetatakse primaarmähiseks, ühendatakse vahelduvvooluallikaga. Temas tekib vahelduv magnetväli, mis magnetiseerib südamiku. Teises mähises — sekundaarmähises — tekib elektromagnetilise induktsiooni tulemusena vahelduvvool (sekundaarmähiseid võib olla ka mitu).

Pinge sekundaarmähise klemmidel sõltub keerdude arvust selles mähises.

Kui sekundaarmähise keerdude arv võrdub primaarmähise keerdude arvuga, siis pinge sekundaarmähises on niisama kõrge nagu primaarmähiseski.

Kui sekundaarmähise keerdude arv on primaarmähise keer-



Joon. 217. Transformaatori ehitus.
a — transformaatori südamik; *b* — transformaator kokkupandud kujul.

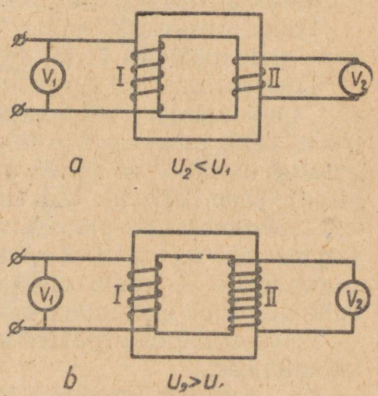
dude arvust näiteks kaks korda väiksem, siis ka pinge sekundaarmähises on kaks korda väiksem kui primaarmähises.

Transformaatorit, mis annab primaarmähise vooluringi pingest madalama pinge, nimetatakse pinget madaldavaks transformaatoriks. Sellise transformaatori skeem on toodud joonisel 218, *a*.

Transformaator, mille sekundaarmähisel on keerde rohkem kui primaarmähisel, annab nii mitu korda kõrgema pinge, kui mitu korda sekundaarmähise keerdude arv on suurem primaarmähise keerdude arvust. Sellist transformaatorit nimetatakse pinget tõstvaks transformaatoriks. Tema skeem on toodud joonisel 218, *b*.

Vaatleme näitena transformaatori rakendamist raadiovastuvõtjas.

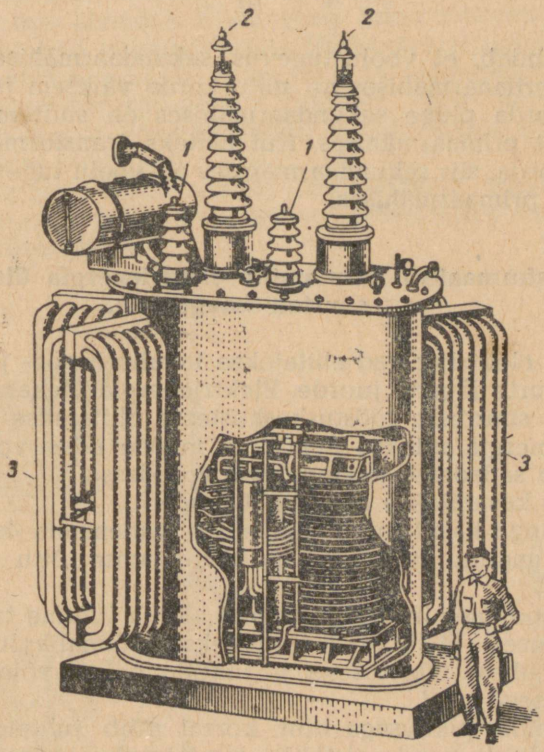
Raadiovastuvõtjate lampide toitmiseks kasutatakse voole pingetega 5V, 6,3V ja 300V. Need voolud saadakse raadiovastuvõtjas asuvast transformaatorist. Transformaatori primaarmähis on arves-



Joon. 218. Transformaatorite skeemid:
a — pinget madaldav transformaator;
b — pinget tõstev transformaator.

tatud elektrivõrgu pingele, näiteks 220 voldile. Sekundaarmähiseid on kolm. Ühel nendest on keerdude arv 44 korda väiksem kui primaarmähisel. See mähis annab pinge 220V : 44 = 5V. Teine sekundaarmähis on arvestatud samal viisil 6,3 voldile. Kolmandale sekundaarmähisele on keritud rohkem keerde, kui neid on primaarmähisel. See mähis annab 300-voldise pinge.

Transformaatorite võimsus ulatub mõnest vatist kuni kümnete ja sadade tuhandete kilovattideni. Joonisel 217, *b* on kujutatud koolikatseteks kasutatav transformaator. Tema võimsus on 90 W. Joonisel 219 on näidatud suure võimsusega (umbes 100 000 kW) transformaator. Selle transformaatori mähised on suures õliga täidetud paagis (osa paagist on joonisel kujutatud avatuna). Transformaatori töötamisel tema mähised soojenevad. Õli, ringeldes paagis ja väljaspool paaki paiknevates torudes, jahtub ja jahutab seega transformaatorit.



Joon. 219. Suure võimsusega transformaator:
1 — madalpingemähise otsad; *2* — kõrgepingemähise otsad; *3* — torud õli jahutamiseks.

§ 114. Voolu tugevuse muutumine transformeerimisel.

Transformaatori abil võib muuta vahelduvvoolu pinget. Vaatleme, kuidas muutub seejuures voolu tugevus.

Energia jäävuse seadusest järgneb, et voolu võimsus sekundaarmähises ei saa olla suurem voolu võimsusest primaarmähises. Tegelikult on see viimasest isegi väiksem, sest osa energiat kulub juhtmete ja transformaatori südamiku soojendamiseks.

Tähistame voolu tugevuse primaarmähises tähega I_1 ja pinge tähega U_1. Voolu tugevus ja pinge sekundaarmähises olgu vastavalt I_2 ja U_2. Kuna energiakaod transformaatoris on väikesed, siis võib need arvestamata jätta. Sel juhul võib sekundaar- ja primaarmähise voolude võimsusi võrdseteks lugeda. Seega

$$U_2 I_2 = U_1 I_1.$$

Sellele võrdusele võib anda järgmise kuju:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2}.$$

See tähendab, et voolu tugevus sekundaarmähises on voolu tugevusest primaarmähises nii mitu korda väiksem (või suurem), kui mitu korda pinge sekundaarmähises on suurem (või väiksem) pingest primaarmähises. Kui näiteks transformaator tõstab pinget 10 korda, siis sekundaarmähises on voolu tugevus 10 korda väiksem kui primaarmähises.

§ 115. Transformaatori kasutamine elektrienergia ülekandmiseks suurtele kaugustele.

Võimsad elektrijaamad ehitatakse tavaliselt söe- ja turbalademete või suurte jõgede juurde. Elektrienergia ülekandmiseks linnadesse või suurtesse tööstuskeskustesse ehitatakse ülekandeliinid. Elektrienergia antakse neid liine mööda edasi vooluga, mille pinge ulatub sadadesse tuhandetesse voltidesse.

Miks siis kasutatakse nii kõrget pinget?

Kõrge pinge kasutamine võimaldab vähendada kadusid, mis tekivad vältimatult liini juhtmete soojenemise tõttu elektrivoolu toimel.

Juhtme soojenemine voolu toimel sõltub juhtme takistusest ja voolu tugevusest. Et juhtmed soojeneksid võimalikult vähe, tuleb need teha väikese takistusega ja juhtida neisse võimalikult väikese tugevusega vool.

Mingi kindla pikkusega liini korral võib juhtmete takistust vähendada ainult nende ristlõike pindala suurendamisega. Kuid suure ristlõike pindalaga juhtmete kasutamine ei ole kasulik. Sellised juhtmed on väga rasked ja neid on halb kinnitada isolaato-

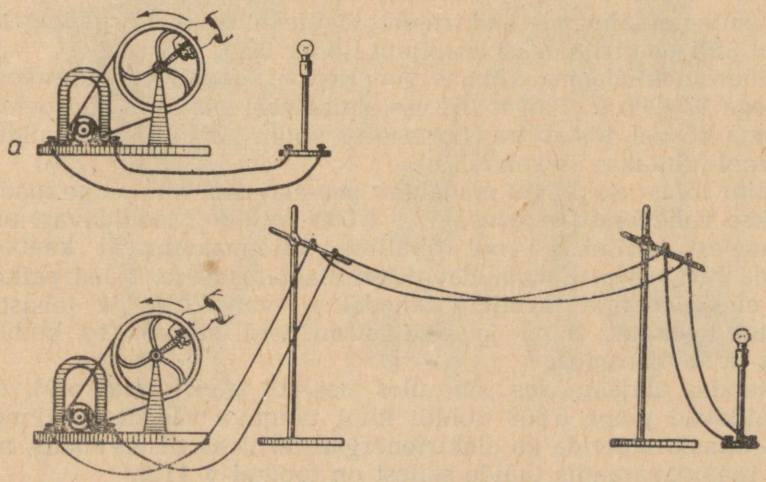
ritele. Nende valmistamiseks kuluks ka palju metalli. Kõige selle tulemusena oleks ülekandeliini ehitamine majanduslikult ebaotstarbekas.

Juhtmete soojenemisest tingitud energiakao vähendamiseks vähendatakse voolu tugevust ülekandeliinis. Et säilitada seejuures etteantud võimsust, tuleb vastavalt tõsta pinget. Näiteks võimsust 1000 kW võib üle kanda pingel 200V ja voolu tugevusel 5000A; kui aga kasutada sama võimsuse ülekandmiseks 200 000-voldist pinget, siis voolu tugevus on kõigest 5A. Seetõttu ei lähe elektrijaamades toodetav vool otse ülekandeliini, vaid see juhitakse pinget tõstvasse transformaatorisse. Transformaatori sekundaarmähises indutseeritakse tunduvalt väiksema voolu tugevusega kõrgepingeline vool.

Kõrgepingeline vool juhitakse ülekandeliini vask- või alumiiniumjuhtmetesse. Juhtmed kinnitatakse mastide külge eriliste kõrgepingeisolaatorite abil. Meie maal kasutatakse elektrienergia ülekandmiseks kuni 500 000-voldist pinget. Näiteks nii suur on pinge liinis, mis ühendab Nõukogude Liidu Kommunistliku Partei XXII Kongressi nimelist Volga Hüdroelektrijaama Moskvaga.

Kõrgepingeline vool on inimestele ja loomadele ohtlik. Seetõttu asetatakse kõrgepingeliini juhtmed väga kõrgele. Mingil juhul ei tohi ronida kõrgepingeliini metallmastide otsa; masti ei või isegi käega puudutada.

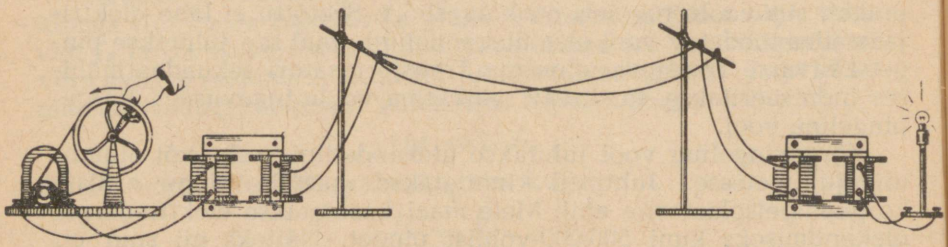
Elektrienergia tarbimiskohas muundavad transformaatorid kõrgepingelise voolu madalpingeliseks. Seejuures voolu tugevus vastavalt suureneb.



Joon. 220. Katse, mis näitab kadude sõltuvust juhtmete pikkusest.

Elektrienergia kõrgepingelise ülekandmise kasulikkust võib selgitada järgmise katsega.

Ühendame lambi lühikeste juhtmete abil vahelduvvoolu generaatori klemmidega (joon. 220, *a*). Lamp hakkab heledalt hõõguma. Kui aga juhtida energia generaatorist lambini pikkade juhtmete abil, millel on suur takistus, siis kadude tõttu selles «liinis» annab lamp nõrka valgust (joon. 220, *b*).



Joon. 221. Katse, mis näitab elektrienergia ülekandmist kõrgepinge abil.

Lülitame liini algusesse pinget tõstva transformaatori ja liini lõppu pinget madaldava transformaatori (joon. 221). Nüüd põleb lamp heledalt, olgugi et vool tuleb neidsamu juhtmeid mööda. Kasutades kõrgema pingega voolu, me vältisime ühendusjuhtmete soojendamiseks minevaid energiakadusid.

§ 116. Voolu tee elektrijaamast tarbijani.

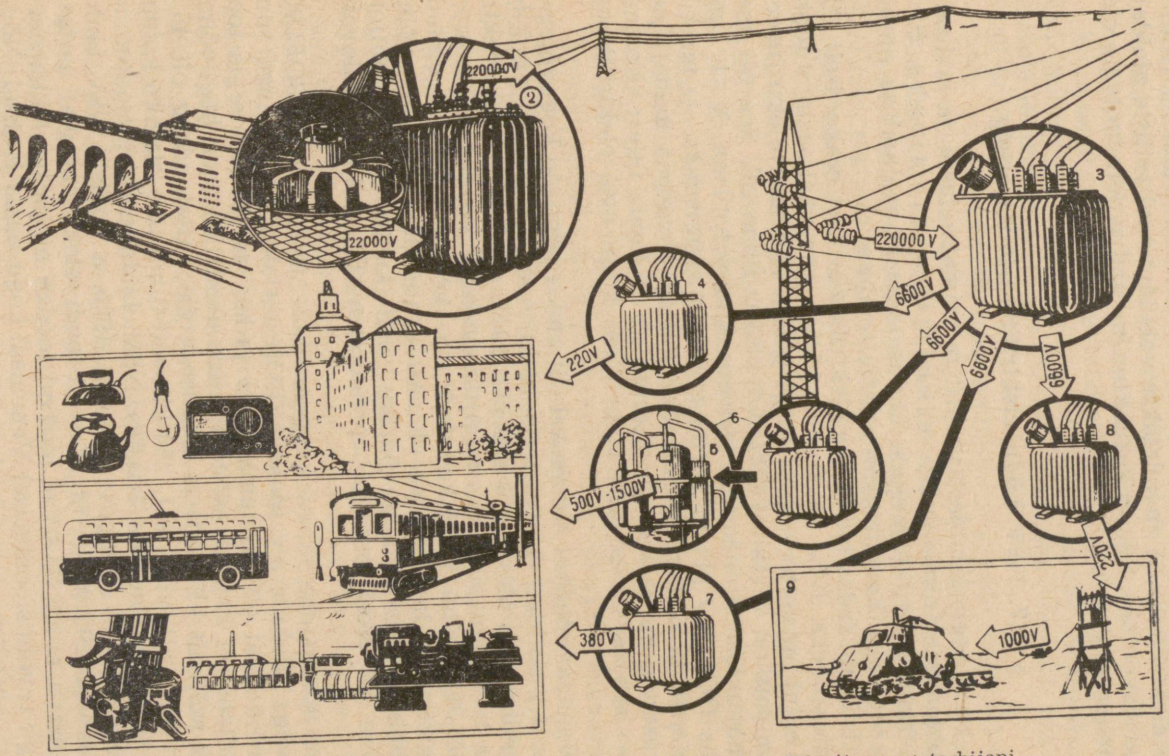
Vaatleme lähemalt elektrienergia ülekandmist kõrgepingelise voolu abil elektrijaamast tarbijani (joon. 222).

Hüdroelektrijaama võimas generaator toodab vahelduvvoolu pingega 220 000 V. Pinget tõstvas alajaamas, mis asub hüdroelektrijaama kõrval, tõstab transformaator voolu pinge 220 000 voldini. See vool juhitakse ülekandeliini.

Liini lõpus on pinget madaldav pea-alajaam, kus pinge madaldatakse vahepealse väärtuseni — 6 600 voldini. Madaldavast pea-alajaamast juhitakse vool õhuliine või maa-aluseid kaableid mööda järgmistesse madaldavatesse alajaamadesse. Need paiknevad elektrienergia tarbijate lähedal — vabrikutes ja tehastes, suurtes hoonetes, linna- ja raudteetranspordi ettevõtetes, kolhoosides ja sovhoosides.

Nendes alajaamades on üles seatud transformaatorid, mis madaldavad pinge 6 600 voldilt kuni nõutava väärtuseni. Pinget võib transformeerida ka elektrienergiat tarbivas riistas endas, näiteks raadioaparaadis (näide sellest on toodud § 113).

Kuna vahelduvvoolu pinget on võimalik muuta, siis rakenda-



Joon. 222. Skeem, mis selgitab elektrienergia ülekandmist elektrijaamast tarbijani.

takse vahelduvvoolu laialdaselt tööstuses. Neil juhtudel, kui tuleb kasutada alalisvoolu (akumulaatorite laadimiseks, metallide saamiseks soola lahusest, transpordimasinates — trammis, trollibussis ja elektriveduris), muudetakse vahelduvvool eriliste alaldajate abil alalisvooluks. See on kasulikum kui alalisvoolu tootvate elektrijaamade ehitamine.

§ 117. NSV Liidu elektrifitseerimise areng.

Elektrienergia laialdast viimist rahvamajandusse ja kodusesse majapidamisse nimetatakse elektrifitseerimiseks. Elektrifitseerimine on Nõukogude Liidus tähtsaks majanduse arendamise vahendiks, kommunismi ehitamise aluseks.

V. I. Lenin pidas meie maa elektrifitseerimist erakordselt tähtsaks ülesandeks. Juba nõukogude võimu esimestel aastatel töötati V. I. Lenini initsiatiivil välja julge plaan Venemaa elektrifitseerimiseks, mis on tuntud *GOELRO*[1] plaani nime all. See oli meie maa majanduse arendamise esimene kompleksplaan. V. I. Lenin nimetas *GOELRO* plaani partei teiseks programmiks — nii kõrgelt hindas ta elektrienergia rakendamist Venemaa mahajäänud ja purustatud majanduse arendamisel. V. I. Lenin ütles: «Kommunism — see on nõukogude võim pluss kogu maa elektrifitseerimine.»

Revolutsioonieelsel Venemaal oli elektrijaamade koguvõimsus kõigest 1,1 miljonit kilovatti ja elektrienergiat toodeti 14 kilovatt-tundi aastas ühe elaniku kohta. 1913. a. oli Venemaa elektrienergia toodangu poolest viieteistkümnendal kohal maailmas.

GOELRO plaani järgi kavatseti 10—15 aasta jooksul ehitada 30 elektrijaama ja tõsta rea olemasolevate elektrijaamade võimsust. Elektrijaamade koguvõimsus pidi kasvama 1,74 miljoni kilovatini ja elektrienergia aastatoodang 8,8 miljardi kilovatt-tunnini.

Tänu nõukogude rahva kangelaslikule tööle täideti *GOELRO* plaan väga lühikese aja jooksul (1931. aastaks). Iga aastaga suurenes meie maal elektrijaamade arv ja kasvas elektrienergia toodang. Sõjaeelsel 1940. a. oli NSV Liidu elektrijaamade koguvõimsus 11,2 miljonit kilovatti ja elektrienergia aastatoodang oli 48,3 miljardit kilovatt-tundi, s. t. 254 kilovatt-tundi ühe elaniku kohta. Pärast Suurt Isamaasõda hakkas NSV Liidu elektrifitseerimine uuesti väga kiires tempos arenema. 1960. a. tootsid NSV Liidu elektrijaamad 292 miljardit kilovatt-tundi elektrienergiat aastas. See tähendab, et iga 33 tunni jooksul toodeti nii palju elektrienergiat, nagu revolutsioonieelsel Venemaal kogu aasta jooksul. Nõu-

[1] *GOELRO* — Venemaa Elektrifitseerimise Riikliku Komisjoni nimetus (Государственная комиссия по электрификации России).

kogude Liit omandas elektrienergia tootmises teise koha maailmas.

Elektrifitseerimise aluseks on suured elektrijaamad, mis teenindavad terveid tööstusrajoone. Siit tuleneb ka selliste elektrijaamade nimetus — riiklik rajoonielektrijaam.

Meie maal töötavad kümned võimsad rajooni-soojuselektrijaamad, millest enamik asub söe, põlevkivi, turba, loodusliku gaasi ja nafta leiukohtade juures. Selliste jaamade võimsus ulatub üle 1 miljoni kilovati.

Meie maa elektrienergia üldbilansis langeb soojuselektrijaamade arvele umbes 80% kogu energiatoodangust.

Soojuselektrijaamade kõrval on ehitatud ja ehitatakse ka palju võimsaid hüdroelektrijaamu. Need asuvad suurtel jõgedel — Volgal, Donil, Kaamal, Angaral, Obil, Jenisseil jt. «Valge söe» (jõgede energia) varude poolest on Nõukogude Liit esimesel kohal maailmas.

Kuibõševi lähedale ehitati V. I. Lenini nimeline Volga Hüdroelektrijaam võimsusega 2,3 miljonit kilovatti ja Volgogradi lähedale Nõukogude Liidu Kommunistliku Partei XXII Kongressi nimeline Hüdroelektrijaam võimsusega 2,5 miljonit kilovatti. 1964. a. algul hakkas täie võimsusega (4,5 milj. kW) tööle ka Bratski hüdroelektrijaam Angaral, ehitamisel on aga Krasnojarski hüdroelektrijaam Jenisseil, Nureki hüdroelektrijaam Vahšil ja rida teisi.

Elektrijaamade kõrgepingeliinid ühendatakse omavahel energiasüsteemideks. Ühte energiasüsteemi on näiteks ühendatud NSV Liidu Euroopa-osa kõik elektrijaamad. Praegu tehakse ettevalmistustöid ühtse energiasüsteemi loomiseks, millesse kuuluvad kõik NSV Liidu ja rea sotsialistlike maade elektrijaamad.

Ühtsesse energiasüsteemi ühendatud elektrijaamad võimaldavad kiiresti rahuldada kasvanud elektrienergia vajadust suure koormuse ajal, näiteks õhtul. Suvel, kui elektrienergia tarbimine valgustuseks väheneb ja kui jõgedes on rohkem vett, kannavad põhilise osa koormusest hüdroelektrijaamad. Soojuselektrijaamade turbiinid aga seisavad — neile tehakse plaanilist remonti.

Elektrifitseerimise areng võimaldab mehhaniseerida kõik töömahukad protsessid, parandab töötingimusi ja tõstab tunduvalt tööviljakust. 1959. aastal toodeti meie maal ühe elaniku kohta 1270 kilovatt-tundi elektrienergiat, 1965. a. toodetakse aga 2260 kilovatt-tundi.

Nõukogude Liidu Kommunistliku Partei programm, mis võeti vastu partei XXII kongressil, näeb ette tõsta lähema kahekümne aasta jooksul elektrienergia toodang 2700—3000 miljardi kilovatttunnini. Iga elaniku kohta toodetakse siis 11 000—12 500 kilovatttundi elektrienergiat.

Elektrifitseerimine võimaldab laialdaselt arendada transporti. Kõikjal laieneb ja paraneb linnatransport — ilmub üha rohkem tramme ja trollibusse. Kolmes linnas — Moskvas, Leningradis ja

Kiievis — on olemas mugavaim ja kiireim linnatranspordi liik — metroo. Kõikide suurte linnade lähedased piirkonnad on elektrifitseeritud. Mugavates elektrirongides sõidavad iga päev miljonid inimesed. Samuti elektrifitseeritakse ka kaug-raudteeliine. Raudteede elektrifitseerimine on tähtis rahvamajanduslik ülesanne. Elektrirongid liiguvad aururongidest tunduvalt kiiremini ja kasutavad vähem kütust. Näiteks aururongi vedur kulutab Moskvast Vladivostokki sõitmiseks 250 tonni sütt. Kui aga rongi koosseisu võtta elektrivedur, siis tuleb elektrijaamades põletada kõigest 85 tonni sütt. Pealegi läbib rong osa teest kõige odavama energia — hüdroelektrijaamade energia arvel.

Tänapäeval elektrifitseeritakse Moskva ja Vladivostoki vaheline raudteeliin — kõige pikem raudtee maailmas.

Seitseaastaku jooksul ehitatakse meil rida täiesti uut tüüpi elektrijaamu, mis töötavad aatomienergia arvel. Neid nimetatakse aatomielektrijaamadeks.

Iga aastaga lastakse meil käiku üha uusi võimsaid hüdro-, soojus- ja aatomielektrijaamu. Kasvab võimas energiavool, mis lähendab meid helgele tulevikule — kommunismile.

V peatükk.

ALGTEADMISI RAADIOVASTUVÕTUST.

§ 118. Mis on raadio?

Meie maal ei ole arvatavasti ühtegi inimest, kes ei oleks kuulanud raadiosaadet ega näinud raadiovastuvõtjat. Paljud meist jälgivad ka televisioonisaateid.

Raadio on üks elektriside liikidest. Ta võimaldab suurtele kaugustele edasi anda mitmesuguseid signaale: morsetähestiku punkte ja kriipse (raadiotelegraaf), kõnet ja muusikat (raadiotelefon), esemete või kinofilmide kujutisi (televisioon). Raadio teel peetakse sidet merel sõitva laevaga, õhus lendava lennukiga ja planeetidevahelises ruumis liikuva kosmoselaevaga.

Raadio abil võib avastada pilvede taga lendava lennuki ja mõõta kauguse temani (raadiolokatsioon). Nõukogude kolmas kosmosejaam fotografeeris käsu põhjal, mis saadeti Maalt raadio teel, Kuu tagakülge ja saatis seejärel saadud ülesvõtted Maale.

Raadio abil antakse iga päev edasi päevauudiseid, loenguid, ettekandeid ja kontserte. Raadio on saanud võimsaks teadmiste ja kultuuri levitamise vahendiks. Raadio kaudu kuuleb kogu meie maa partei ja valitsuse juhtide ajaloolisi kõnesid, teateid nõukogude teaduse ja tehnika väljapaistvatest saavutustest.

Selles peatükis antakse ainult üldisi andmeid raadiosidest, sest elektriõpetuse algkursusest saadud teadmised ei ole küllaldased kõigi raadiosaatega seotud füüsikaliste protsesside mõistmiseks.

§ 119. Raadio leiutamise ajaloost.

Raadio leiutati meie maal. Esimese raadiovastuvõtja maailmas ehitas 1895. a. suur vene teadlane A. S. Popov. Sel ajal ei olnud veel raadiosaatejaamu. Sellepärast võttis Popovi raadioaparaat vastu ainult signaale, mida tekitas välgu elektrilahendus äikese ajal. Seda riista, nn. «äikesemärkijat» demonstreeris

A. Popov 7. mail 1895. a. Peterburis Vene Füüsika-Keemia Seltsi koosolekul. Nõukogude Liidu valitsuse otsusega tähistatakse meil seda päeva igal aastal raadiopäevana.

Varsti avastas A. S. Popov viisi, kuidas signaale edasi anda morsetähestiku abil. Esimesena maailmas andis ta 1896. a. edasi traadita raadiotelegrammi 250 m kaugusele. Nelja aasta pärast pidas ta raadiosidet juba 50 km kauguselt. Sellest ajast möödunud aastate jooksul on raadiosaate ja -vastuvõtu meetodid paljude teadlaste töö tulemusena niivõrd täiustunud, et tänapäeval ei ole maakeral raadioside jaoks piire.

Esimesi raadioside seadmeid nimetati traadita telegraafiks. Hiljem asendati see väljendus lühema sõnaga raadio, mis tuleneb kreekakeelsest sõnast *radius* — kiir. See sõna võeti kasutusele sellepärast, et raadiosaatejaamast levivad elektromagnetilised lained ehk raadiolained radiaalselt igas suunas laiali.

Raadiolained levivad valguse kiirusega $\left(300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}\right)$.

§ 120. Kõrgsagedusvool.

Eelmises peatükis tutvusime tööstuses kasutatava vahelduvvooluga. Vahelduvvool, mida kasutatakse tööstuses, omab sagedust 50 hertsi ja teda nimetatakse tööstusliku sagedusega vooluks.

Telefonikõne ajal läbib telefonitraate vool, mille sagedus võrdub edasiantava hääle sagedusega. Häälevõnkumiste sagedus on 50—10 000 hertsi piirides. Selliste sagedustega voole nimetatakse helisagedus- ehk madalsagedusvooludeks.

Raadiosaade põhineb aga selliste vahelduvvoolude kasutamisel, mille sagedus on mõõdetav sadades tuhandetes, miljonites ja kümnetes miljonites hertsides. Niisuguseid voole nimetatakse kõrgsagedusvooludeks.

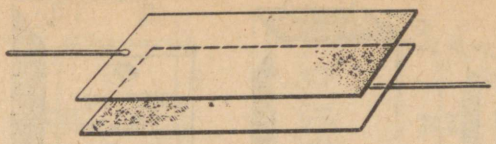
Kõrgsagedusvoolu saamiseks kasutatakse võnkeringi. Võnkering koosneb poolist ja kondensaatorist. Võnkeringis elektrilaengud võnguvad, liikudes poolis kord ühele, kord teisele poole.

Selleks et üldjoontes mõista, kuidas võnkeringis tekib elektriline võnkumine, tutvume algul kondensaatori ehitusega.

§ 121. Kondensaator.

Kondensaator on riist, mis võimaldab koguda elektrilaenguid. Kondensaatoris elektrilaengud nagu tiheneksid. Siit tuleneb ka tema nimetus (kondensaator — tihendaja).

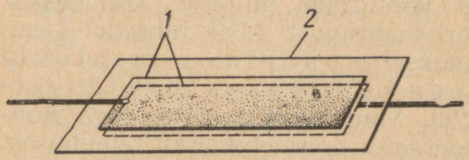
Lihtsaim kondensaator koosneb kahest metallplaadist (kat-



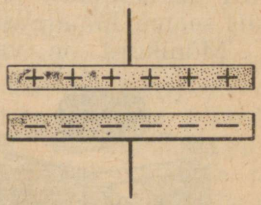
Joon. 223. Lihtsaima kondensaatori ehitus.

test), mis on teineteisest eraldatud mingi isolaatori, näiteks õhu- (joon. 223) või vilgukivi- (joon. 224) kihiga.

Kui laadida kondensaatori üks kate positiivselt ja teine negatiivselt (joon. 225), siis plaatide vahel tekib elektriväli. Laengud plaatidel tõmbuvad teineteise poole. See võimaldab kontsentreerida laenguid kondensaatorile ja koguda mingi energiahulk elektrivälja energia näol.



Joon. 224. Kondensaator vilgukivilehtedest isolaatoriga:
1 — katted; *2* — isolaator.



Joon. 225. Laengute paigutus kondensaatoril.

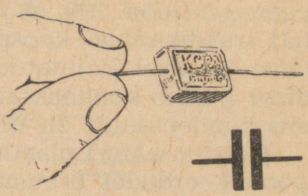
Laetud kondensaator on vooluallikas, sest tema plaatide vahel on pinge. Kui laetud kondensaatori katted ühendada omavahel juhtmega, siis juhet läbib teatud aja kestel vool.

Kondensaatori omadust koguda elektrilaenguid nimetatakse elektrimahtuvuseks ehk lihtsalt mahtuvuseks.

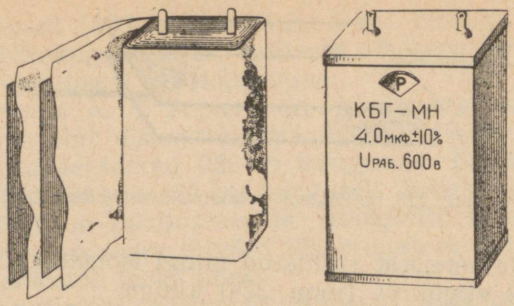
Kondensaatori mahtuvus on seda suurem, mida suurem on tema katete pindala ja mida lähemal teineteisele need paiknevad.

Kondensaatorid valmistatakse metallplaatidest (tavaliselt alumiiniumpaberist). Isolaatorina kasutatakse õhukesi vilgukivilehti või parafineeritud paberit. Joonisel 226 on kujutatud vilgukivikondensaator. Alumiiniumpaberi ja vilgukivilehtede pakki ümbritseb plastmassist kest.

Paberkondensaatori ehitus on näidatud joonisel 227. Alumiiniumpaberist ribad on teineteisest eraldatud parafineeritud paberiga. Ribad on keeratud rulli ja asetatud väikesesse karbikesse. Karbi kaanele on kinnitatud kontaktid,



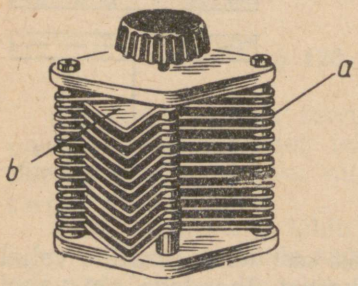
Joon. 226. Väikese mahtuvusega vilgukivikondensaator ja kondensaatori tingmärk.



Joon. 227. Paberkondensaatori ehitus ja väliskuju.

mis on ühendatud kondensaatori katetega. Kui laeme kondensaatori vooluallikast ja suleme seejärel tema kontaktid juhtmega, siis saame lühiajalise voolu sädeme näol.

Mõnikord on vaja muuta vooluringi lülitatud kondensaatori mahtuvust. Neil juhtudel kasutatakse muudetava mahtuvusega kondensaatoreid (joon. 228). Muudetava mahtuvusega kondensaator koosneb kahest teineteisest isoleeritud metallplaatide süsteemist, millest üks on teise suhtes liikuv. Telje pööramisel lähevad liikuvad plaadid liikumatute plaatide vahele. Seejuures kondensaatori mahtuvus suureneb. Kui pöörata telge vastassuunas, siis kondensaatori mahtuvus väheneb.

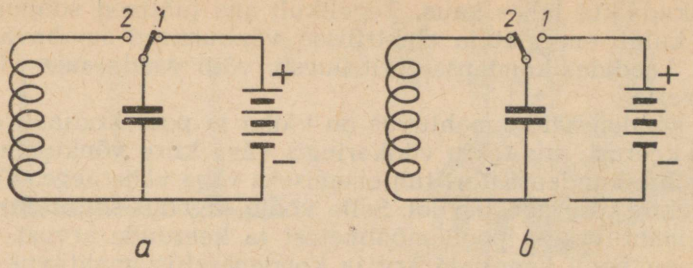


Joon. 228. Muudetava mahtuvusega kondensaator.

§ 122. Võnkering.

Laeme kondensaatori mingist vooluallikast, näiteks elementide patareist (joon. 229, *a*) ja ühendame ta seejärel mõnest isoleeritud traadikeerust koosneva pooliga (joon. 229, *b*). Selleks kasutame joonisel kujutatud ümberlülitit. Pöörates ümberlüliti asendisse *1*, võib kondensaatorit laadida. Kui ümberlüliti on asendis 2, siis kondensaator on ühendatud pooliga.

Kondensaatori plaatide vahelise välja mõjul hakkavad laengud pooli keerdudes liikuma. Tekib elektrivool. Seejuures elektriväli kondensaatori plaatide vahel hakkab nõrgenema ja poolis tekib magnetväli. Saabub hetk, mil kondensaator on täielikult tühjenenud. Sel ajal on magnetväli poolis kõige tugevam. Kondensaatori elektrivälja energia on muutunud pooli magnetvälja energiaks.

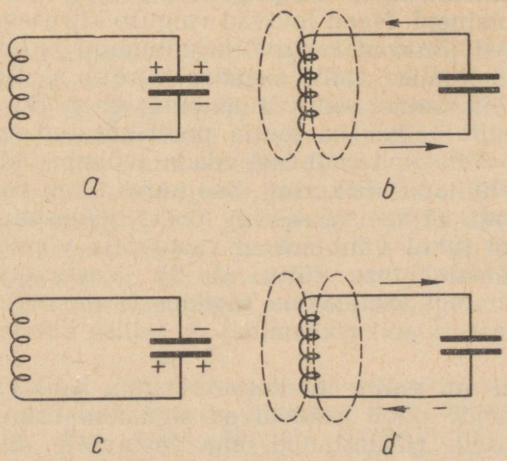


Joon. 229.

a — võnkeringi kondensaatorit laetakse patareist; *b* — laetud kondensaator tühjeneb läbi pooli. Pool on skeemil kujutatud mõnest keerust koosneva juhtmena.

Magnetvälja energia arvel jätkub teatud aja vältel laengute liikumine endises suunas. Selle tulemusena laetakse kondensaator uuesti. Kuid seal, kus enne olid positiivsed laengud, on nüüd negatiivsed laengud, seal aga, kus olid negatiivsed laengud, on nüüd positiivsed. Kondensaator laetakse ümber ja vool lakkab hetkeks. Kuna kondensaator on ümber laetud, siis kordub kogu nähtus vastupidises suunas: kondensaator hakkab tühjenema ja annab seejuures osa oma energiast poolile, pool aga laeb jällegi kondensaatori ümber. Pärast seda hakkab kondensaator uuesti tühjenema. Seega hakkavad laengud võnkeringis võnkuma, liikudes pooli keerde mööda ühelt plaadilt teisele ja tagasi. Kondensaatori ümberlaadimise etapid on kujutatud joonisel 230.

Kui juhtmetel puuduks takistus, siis võiksid laengud võnkerin-



Joon. 230. Võnkeringis toimuva nähtuse etapid.

gis võnkuda kui tahes kaua. Tegelikult aga juhtmed soojenevad, selleks kulub energiat ja elektrilised võnkumised sumbuvad aja jooksul. Laadides kondensaatorit uuesti, võib saada uue võnkumiste seeria.

Kui kondensaatori mahtuvus on väike ja pool koosneb ainult mõnest keerust, siis tekib võnkeringis väga kiire võnkumine. Sel juhul kulub kondensaatori tühjenemiseks väga vähe aega. Võnkeringis tekib kõrgsagedusvool. Selle voolu sagedus sõltub kondensaatori mahtuvusest, pooli mõõtmetest ja keerdude arvust. Mida suurem on pooli keerdude arv ja kondensaatori mahtuvus, seda väiksem on sagedus. Kui lülitada võnkeringi muudetava mahtuvusega kondensaator, siis võib saada mitmesuguste sagedustega võnkumisi.

Seadet, mille abil saadakse kõrgsagedusvõnkumisi, nimetatakse kõrgsagedusgeneraatoriks. Võnkering on kõrgsagedusgeneraatori põhiliseks osaks. Generaatori osade hulka kuuluvad ka elektronlambid, mille abil antakse võnkeringi energiat juurde ja välditakse sellega võnkumiste sumbumist.

Kõrgsagedusvoolu lampgeneraatorid on olemas igas raadiosaatejaamas.

§ 123. Raadioside üldpõhimõte.

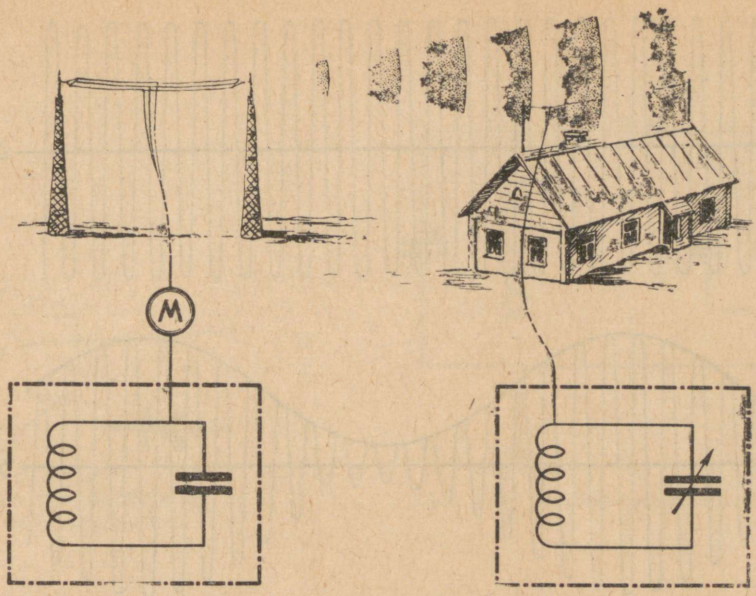
Raadiosidest võtavad osa alati kaks seadet — raadiosaatejaam ja vastuvõtja (joon. 231).

Raadiosaatejaama põhiliseks osaks on kõrgsagedusgeneraator, mis sisaldab võnkeringi. Saatja võnkering maandatakse ja ühendatakse antenniga. Antenn on maast isoleeritud juhe, mis on riputatud kõrgetele mastidele.

Kui saateantenni läbib kõrgsageduslik võnkumine, siis antenn kiirgab raadiolaineid. Need levivad valguse kiirusega igas suunas.

Raadiolained jõuavad vastuvõtja antennini ja tekitavad selles elektronide võnkumise, mille sagedus võrdub saatja sagedusega. Elektronide võnkumine vastuvõtuantennis on nõrk, sest vastuvõtjani jõuab ainult väike osa saatja poolt kiiratud energiast. Kuid neid võnkeid võib tunduvalt tugevdada (võimendada), kui vastuvõtja antenni lülitada võnkering. Seejuures tuleb pool ja kondensaator valida nii, et see võnkering oleks häälestatud saatejaama sagedusele. Sel juhul võnkumised vastuvõtja võnkeringis tugevnevad resonantsinähtuse tõttu (§ 9). Vastuvõtja võnkering häälestatakse mingi saatejaama sagedusele muudetava mahtuvusega kondensaatori abil (skeemidel on sellise kondensaatori tingmärgil nool).

Tänapäeval on palju raadiosaatejaamu. Kõik nad töötavad üheaegselt. Nende poolt saadetavad signaalid erinevad aga üksteisest sageduselt. Häälestanud oma vastuvõtja mingile sagedusele, võtame vastu ainult mingi kindla raadiojaama saateid.



Joon. 231. Raadioside üldine skeem.

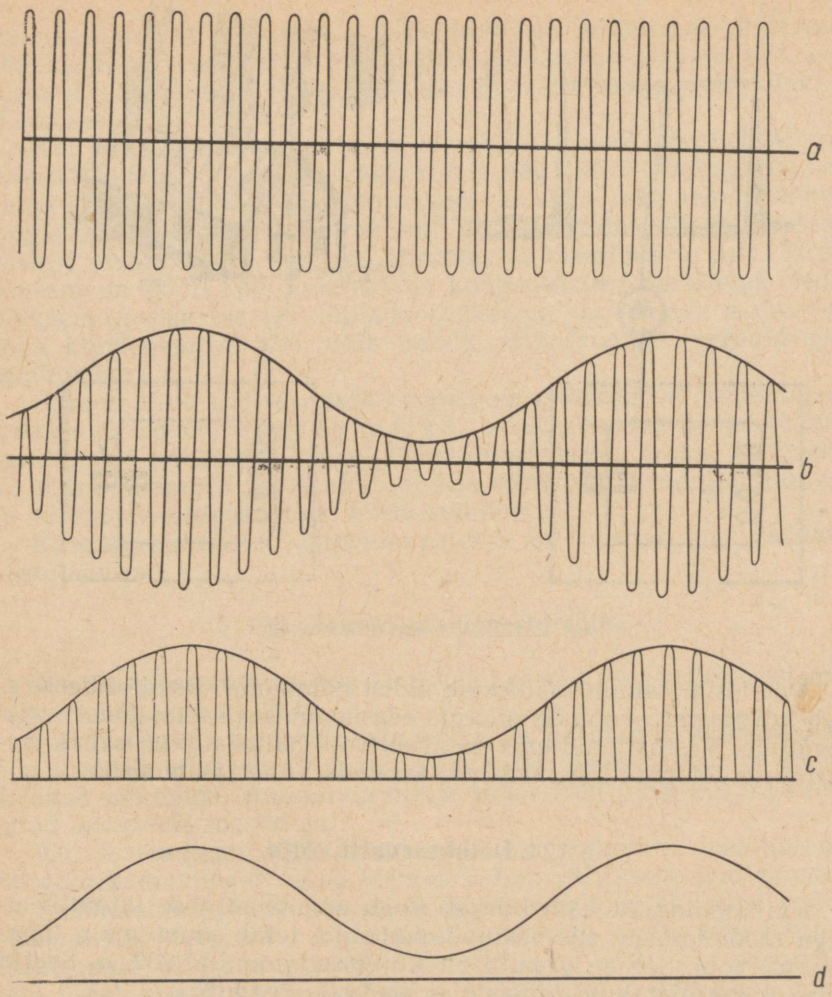
Vaatlesime ainult raadioside üldist põhimõtet. Raadioside seisneb kõrgsagedusvoolude energia edasiandmises saatejaamast vastuvõtjale. Vastuvõetud energia arvel võib näiteks tööle panna isekirjutava telegraafiaparaadi või taastada kõnet ja muusikat.

§ 124. Detektorvastuvõtja.

Kui raadiosaatejaam kiirgab kogu aeg ühesuguse intensiivsusega raadiolaineid, siis vastuvõtuantennis tekib muutumatu tugevusega vool. See on graafiliselt kujutatud joonisel 232, *a*. Saatja kiirgab energiat, kuid signaale ei saada (ta «vaikib»).

Oletame, et saateantenni on lülitatud mikrofon *M* (joon. 231). Kui mikrofoni ees tekitada hääl, siis mikrofoni takistus muutub selle hääle sagedusega (§ 102). Saatja antennis hakkab voolu tugevus muutuma.[1] Täpselt samuti muutub vool ka vastuvõtuantennis. Vastuvõtja võnkeringis tekkinud vool on graafiliselt kujutatud joonisel 232, *b*. Laineline joon on edasiantava helivõnkumise graafik.

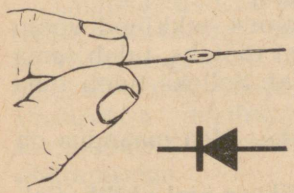
[1] Siin kirjeldatakse ainult põhimõtteliselt võimalikku mikrofoni ühendamise viisi, mida praktikas ei kasutata. Tegelikult asub mikrofon mitte raadiosaatejaamas, vaid sellest kaugel (stuudios, kontserdisaalis). Helisagedusvool läheb juhtmeid mööda saatejaama ja mõjub erilises seadeldises voolule saateantennis.



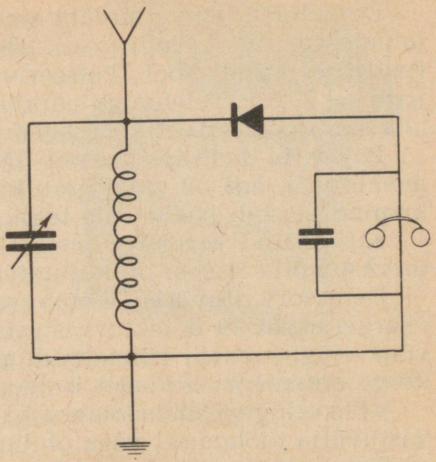
Joon. 232. Häälevõnkumiste edasiandmine kõrgsagedusvoolu abil:
a — raadiosaatejaama kõrgsagedusvoolu graafik; *b* — kõrgsagedusvool vastuvõtja võnkeringis; elektriliste võnkumiste amplituud muutub helisagedusega; *c* — vool detektori ja telefoni vooluringis; *d* — telefoni membraani võnkumise graafik.

Edasiantava hääle taastamiseks tuleb kõrgsagedusvool koos tema helisagedusvõnkumistega lasta telefoni. Kuid kõrgsagedusvool ei ole võimeline läbima telefoni mähist.

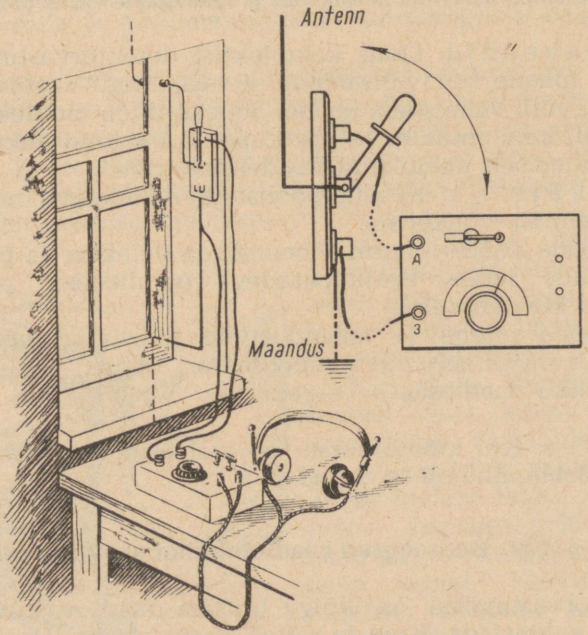
Et taastada edasiantavat häält, tuleb telefoni vooluringi lülitada veel seade, mida nimetatakse detektoriks. See on näidatud joonisel 233.



Joon. 233. Detektor ja selle tingmärk.



Joon. 234. Detektorvastuvõtja skeem.



Joon. 235. Pikselüliti.

Detektor laseb voolu läbi ainult ühes suunas. Seetõttu telefoni ja detektori vooluringi (joon. 234) läbib mitte vahelduvvool, vaid (pulseeriv) alalisvool. Pulseeriva voolu graafik on kujutatud joonisel 232, *c*. Telefoniga paralleelselt ühendatakse kondensaator, mis silub pulseerivat kõrgsagedusvoolu.

Pulseeriv helisagedusvool läbib telefoni ja paneb võnkuma membraani, mis on graafiliselt kujutatud joonisel 232, *d*. See võnkumine taastab hääle, mis tekitati saatejaamas mikrofoni ees.

Kirjeldatud seadet nimetatakse detektorvastuvõtjaks (detektorvastuvõtja skeem on kujutatud joonisel 234).

Detektorvastuvõtja töötab vastuvõtuantennis tekkinud voolu energia arvel. Et detektorvastuvõtja paremini töötaks, tuleb tema võnkeringi suunata võimalikult palju energiat. Selleks tuleb teha kõrge antenn ja see hästi isoleerida.

Võnkeringiga ühendatakse ka maandusjuhe. Hea maandus on vastuvõtja töötamisel väga oluline.

Tuleb silmas pidada, et kõrge antenn on äikese ajal ohtlik. Sellepärast tuleb enne äikest antenn spetsiaalse pikselüliti abil maandada (joon. 235).

§ 125. Laboratoorne töö nr. 16.

Detektorvastuvõtja koostamine ja raadiosaate vastuvõtmine.

T ö ö v a h e n d i d. Osad komplektist detektorvastuvõtja koostamiseks, tubane või välisantenn ja maandus. Vastuvõtja osade komplekti võib valmistada ka ise. Selleks tuleb monteerida paneelidele pool, kondensaator ja pistikupesad telefoni jaoks koos nendega paralleelselt ühendatud kondensaatoriga.

T ö ö k ä i k. 1. Koosta poolist ja muudetava mahtuvusega kondensaatorist võnkering.

2. Ühenda kondensaatori klemmidega detektor ja pistikupesad peatelefonide jaoks. Pistikupesadega paralleelselt peab olema ühendatud kondensaator.

3. Ühenda antenn ja maandusjuhe koostatud detektorvastuvõtjaga. Pöörates sujuvalt kondensaatori nuppu, häälesta võnkering kohaliku raadiosaatja sagedusele. Veendu, kas vastuvõtja töötab.

H o i a t u s. Kui laboratoorse töö ajal esineb äikest, siis välisantenni kasutamine on keelatud.

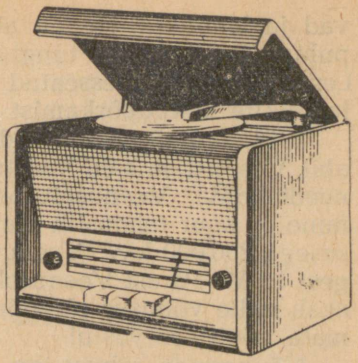
§ 126. Kaasaegsed raadiotehnika saavutused.

Detektorvastuvõtja on kõige lihtsam raadiovastuvõtja. Teda on kerge valmistada. Kuid ta võtab vastu ainult lähedal asuvate võimsate jaamade saateid ja neidki võib kuulata ainult telefoni

abil. Detektorvastuvõtjat on mugav kasutada seal, kus puudub elektrivool. Ta ei vaja patareid.

Kaugete raadiosaatejaamade vastuvõtmiseks kasutatakse tänapäeval lampvastuvõtjaid. Lampvastuvõtja antennis tekkiv vool võimendatakse patarei või valgustusvõrgu voolu arvel sadu kordi.

Lampvastuvõtja, samuti nagu detektorvastuvõtjagi põhiliseks osaks on võnkering, kuhu on lülitatud muudetava mahtuvusega kondensaator. Vastuvõtja häälestatakse mingile saatejaamale kondensaatori nupu pööramisega.



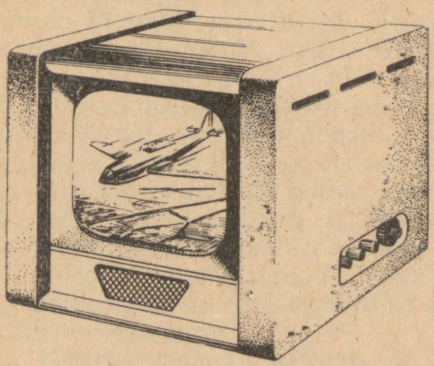
Joon. 236. Lampvastuvõtja grammofoniga (radioola).

Laialdaselt on levinud ka elektrigrammofonid. Erilise seadme — helipea külge kinnitatud nõel libiseb piki plaadi helikanalit (joon. 236). Helipeas tekib helisagedusvool, mida võimendatakse lampvõimendajas ja juhitakse seejärel valjuhääldaja vooluringi. Valjuhääldaja taastab plaadile jäädvustatud helid.

Raadioseadmeid kasutatakse mitmesugusteks otstarveteks, näiteks tööpinkide automaatseks juhtimiseks tööstustes, sidepidamiseks transpordis ja põllumajanduses, mitmesuguste haiguste arstimiseks jne.

Nõukogude raadiotehnika väljapaistvad edusammud võimaldasid luua kindla raadioside kosmosejaamade ja -laevadega.

Raadioseadmete abil võib kaugele edasi anda mitte ainult hääli, vaid ka esemete ja kinofilmide kujutisi (joon. 237). Seda raadio rakendusala nimetatakse televisiooniks. Tänapäeval on paljudes linnades televisioonikeskused. Need on ühendatud ühtsesse võrku. Moskva televisioonikeskuse saateid näeb kogu meie maa. Eriti tähelepanuväärseid saateid antakse meilt ka Lääne-Euroopa maadesse.



Joon. 237. Televiisor.

Kui saata mingi takistuse suunas välja kitsas raadiolainete kimp («raadiokiir»), siis see peegeldub takistuselt ja jõuab meieni tagasi «raadiokajana». Tagasipeegeldunud signaali järgi võib määrata peegeldava eseme kaugust. Sellel nähtusel põhineb raadiolokatsiooniseadmete töö. Raadiolokaatoritega on varustatud lae-

vad ja lennukid. Nende abil saab orienteeruda halva nähtavuse puhul (raadiolained tungivad läbi udu, pilvede, vihma ja lume). Lennuväljadele ülesseatud raadiolokaatorid võimaldavad vältida lennukite kokkupõrkamist õhkutõusmisel ja maandumisel.

1961. a. maikuus uurisid nõukogude teadlased raadiolokaatorite abil Veenust ja said väärtuslikke teaduslikke andmeid selle planeedi kohta. Veenuselt peegeldunud raadiosignaalide vastuvõtmine on suur teaduslik saavutus. Veenusele saadeti signaal võimsusega 250 000 kW, Veenuse pinnal oli aga signaali võimsus kõigest 15 W. Pärast Veenuselt peegeldumist jõudis Maale tagasi signaal, mille võimsus oli mõni miljondik vatti. Kuid sellele vaatamata võeti see vastu!

Nõukogude rahvas on õigustatult uhke oma teadlaste saavutustele raadiotehnika valdkonnas. Raadio, mis sündis meie maal, teenib ustavalt kommunismi ehitamise üritust.

VI peatükk.

ALGTEADMISI AATOMI EHITUSEST.

§ 127. Aatomi ehitus.

Sõna «aatom» tähendab kreeka keeles jagamatu. Nii nimetasid vana-kreeka teadlased osakesi, mida nad pidasid kõikide kehade koostisosadeks. Kujutlus aatomi jagamatusest püsis teaduses kuni 19. sajandi lõpuni.

Edasine füüsika areng näitas, et aatomid kujutavad endast keerukaid moodustisi. Nagu § 44 on näidatud, kuuluvad aatomi koosseisu üliväikesed osakesed — *elektronid*. Kuigi elektronid omavad negatiivset elektrilaengut, on aatom tavalises olekus neutraalne. Oli loomulik oletada, et peale elektronide on aatomis veel positiivselt laetud osakesed, mille laeng on absoluutväärtuselt võrdne elektronide negatiivse laenguga.

Teadlaste ette kerkisid tähtsad küsimused: milline on aatomi ehitus? Mida kujutavad endast aatomi koostisosad? Kuidas nad asetsevad üksteise suhtes? Millised jõud seovad aatomi koostisosi?

Selleks et kõigile nendele küsimustele vastata, tuli teha väga keerukaid katseid ja arvutusi.

Suured teened aatomi ehituse avastamisel on inglise füüsikul Rutherfordil ja tema õpilastel. Rutherford tuli järeldusele, et aatom koosneb positiivselt laetud tuumast ja selle ümber tiirlevatest elektronidest. Sellist elektronide moodustist nimetatakse aatomi *elektronkatteks*. Edasi tehti kindlaks, et aatomituumal on positiivne laeng suurusega Ze, kus e on väikseim positiivne laeng, mis oma absoluutväärtuselt võrdub elektroni laenguga, ja Z on selliste positiivsete laengute arv aatomituumas. See arv võrdub neutraalse aatomi ümber tiirlevate elektronide arvuga. Tuuma positiivne laeng on tingitud positiivselt laetud osakeste — prootonite olemasolust tuumas.

Teades tuuma laengut, võib leida elektronide arvu aatomi elektronkattes ja ümberpöördult. Elektronide arvu järgi võib määrata tuumalaengut.

Näiteks vesiniku aatomis on üks elektron, heeliumi aatomis kaks elektroni ja liitiumi aatomis kolm elektroni (joon. 98). Seega



Marie Sklodowska-Curie (1867—1934) — väljapaistev poola füüsik ja keemik. 1898. a. avastas ta koos oma abikaasa P. Curie'ga radioaktiivsed elemendid — raadiumi ja polooniumi. Suure töö tulemusena sai M. Sklodowska umbes ühe grammi raadiumi broomisoola. M. Sklodowska oli esimene naisprofessor Pariisi ülikoolis, paljude maailma maade akadeemiate liige, sealhulgas ka NSV Liidu Teaduste Akadeemia auliige.

nende keemiliste elementide positiivne laeng võrdub vastavalt ühe, kahe ja kolme elektroni laenguga.

Kuna elektrone on aatomis vähe ja elektroni mass on prootoni massist 1840 korda väiksem, siis kogu aatomi mass on praktiliselt koondatud tema tuuma.

§ 128. Loomulik radioaktiivsus.

Aatomi ehituse tundmaõppimise arengus oli suur tähtsus radioaktiivsuse avastamisel.

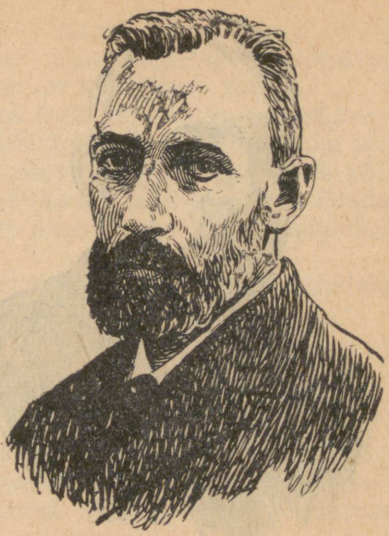
Radioaktiivsuse avastas möödunud sajandi lõpul prantsuse teadlane Becquerel (loe: bekrell). Becquerel tegi kindlaks, et uraaniühendeid sisaldav maak kiirgab erilisi silmale nähtamatuid kiiri, mis mõjuvad fotoplaadile.

Kui pimedas toas panna fotoplaadile uraanimaagitükk ja mõne päeva pärast plaat ilmutada, siis tekib sellele maagitüki kujutis. Sel teel Becquerel avastaski radioaktiivsuse.

Varsti pärast seda avastust tehti kindlaks, et nähtamatuid kiiri kiirgavad ka mõned teised ained. Kõiki neid aineid hakati nimetama r a d i o a k t i i v s e t e k s aineteks ja aine omadust kiirata niisuguseid kiiri — radioaktiivsuseks.

Suuri teeneid radioaktiivsuse uurimisel on prantsuse teadlastel Pierre ja Marie Curie'del (loe: pjäär ja marii kürii). Töötades läbi mitu tonni uraanimaaki, said nad umbes 1 gramm tundmatut metalli, mille radioaktiivsus oli mitu korda suurem kui uraanil. Teadlased nimetasid seda metalli r a a d i u m i k s[1].

[1] R a a d i u m — kiirgav; ladinakeelsest sõnast *radius* — kiir.



Pierre Curie (1859—1906) — prantsuse füüsik. Pierre Curie töötas koos oma naise Marie Sklodowska-Curie'ga radioaktiivsuse uurimisel. Nad avastasid ja said uusi, varem tundmatuid radioaktiivseid aineid. P. Curie'le kuulub ka rida avastusi magnetiliste nähtuste valdkonnast.

Juba ühe kümnemiljardiku grammi raadiumi olemasolu võib avastada tema radioaktiivse mõju järgi.

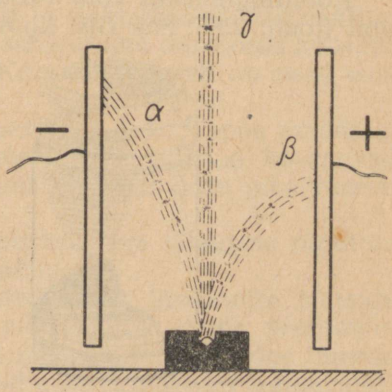
Kiired, mida raadium kiirgab, mõjuvad fotoplaadile, muudavad õhu elektrit juhtivaks, kutsuvad esile mõnede ainete helendumise ja tungivad läbi õhukestest metallplaatidest. Rasked metallid, näiteks plii, ei lase seda kiirgust läbi.

Raadium ja teised radioaktiivsed ained kiirgavad pidevalt energiat. Seetõttu on raadium alati soojem teda ümbritsevatest esemetest. Üks gramm raadiumi eraldab tunnis umbes 140 kalorit energiat.

Pärast radioaktiivsuse avastamist tekkis küsimus: mida kujutab endast see kiirgus, milline on tema olemus? See küsimus lahendati inglise teadlase Rutherfordi poolt.

Kui radioaktiivse aine tükike sulgeda pliist anumasse, milles on kitsas kanal, ja asetada anum tugevasse elektrivälja, siis radioaktiivse aine kiirgus laguneb välja mõjul kolmeks kimbuks (joon. 238). Neid kiirtekimpe tähistatakse kreeka tähestiku kolme esimese tähega: α-kiirgus, β-kiirgus ja γ-kiirgus.

Osutus, et α-kiirgus kuju-



Joon. 238. Raadiumi kiirgus elektriväljas.



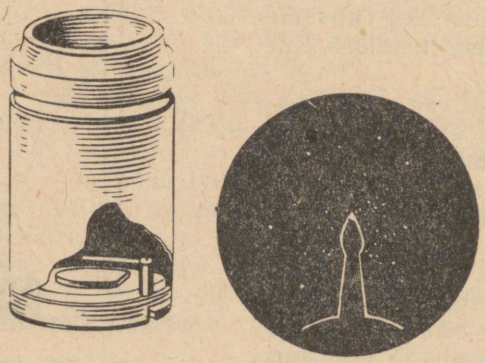
Ernest Rutherford (1871—1937) — inglise füüsik, NSV Liidu Teaduste Akadeemia ja paljude teiste akadeemiate auliige. E. Rutherford uuris aatomi ehitust ja radioaktiivsuse nähtusi. Ta avastas 1899. a. raadiumi α- ja β-kiirguse ja korraldas 1919. a. esimesena aatomituuma lõhestamise katse.

tab endast suure kiirusega lendavate heeliumi tuumade voogu. Iga heeliumituum selles voos omab positiivset laengut, mis on kaks korda suurem vesiniku tuuma laengust. Heeliumi tuuma mass on vesiniku tuuma massist umbes neli korda suurem. α-kiired kalduvad elektriväljas kõrvale negatiivse plaadi poole.

β-kiirgus kujutab endast kiirete elektronide voogu. Elektriväljas kaldub ta kõrvale positiivse plaadi poole, s. t. vastassuunas, võrreldes α-osakestega.

γ-kiirgust elektriväli ega magnetväli kõrvale ei kalluta. Tal on samasugune olemus nagu valguselgi.

Koolitingimustes võib α-osakeste mõju vaadelda spintariskoobi abil (joon. 239). See riist koosneb väikesest torust, mille põhi on



Joon. 239. Spintariskoop.

kaetud tsinksulfiidikihiga. α-osakeste mõjul hakkab tsinksulfiid helenduma. Toru põhja ees asub nõel, mille otsas on radioaktiivse aine terake. Toru ülemise otsa külge on kinnitatud luup.

Kui viibida mõni minut pimeduses (selleks, et silm pimedusega harjuks) ja vaadata seejärel läbi luubi toru põhja, siis näeme sellel sähvatusi (sädemeid). Iga selline sähvatus tekib α-osakese põrkest vastu tsinksulfiidikihti. Spintariskoobi abil võib loendada, mitu α-osakest kiirgab radioaktiivse aine terake keskmiselt ühes sekundis.

β-osakesi (elektrone) on spintariskoobi abil raske kindlaks teha, sest need tekitavad väga nõrga helenduse.

§ 129. Aatomituumade ehitus.

Teaduses ei piirduta ainult avastatud nähtuse katselise uurimisega, vaid püütakse seda ka põhjendada. Seetõttu hakati otsekohe pärast radioaktiivsuse avastamist selgitama selle nähtuse põhjusi.

Rutherford püstitas hüpoteesi, et radioaktiivsus on aatomite lagunemise tulemus. Osa radioaktiivse aine aatomitest puruneb mingil tundmatul põhjusel iseenesest: aatomid nagu plahvataksid. Seejuures tekkinud α- ja β-osakesed on selle lagunemise saadused — nad on lagunenud aatomite «killud». Aatomi plahvatamisel tekib γ-kiirgus, mis on sarnane valgusele.

Ühed radioaktiivsed ained lagunevad aeglaselt, teised aga küllaltki kiiresti. Näiteks pool kõigist uraani aatomitest laguneb mitme miljardi aasta jooksul, pool kõigist raadiumi aatomitest 1590 aasta jooksul ja pool radioaktiivse gaasi — radooni aatomitest 3,8 päeva jooksul. Tuntakse ka selliseid radioaktiivseid aineid, mille aatomitest pool laguneb mõne miljondiku sekundi jooksul.

Teame, et aatom koosneb tuumast ja elektronidest. Radioaktiivsuse nähtuse põhjal võib arvata, et aatomituum omakorda koosneb mingitest lihtsamatest osakestest. Kuid missugused on need osakesed?

Nõukogude teadlased D. D. Ivanenko ja J. D. Gapon avaldasid esimestena arvamust, et kõikide elementide tuumad koosnevad prootonitest ja neutronitest. Prootonist oli meil juttu juba varem. Kuid mis on neutron?

Neutron on aineosake, mille mass on väga lähedane prootoni massile, kuid millel puudub elektrilaeng.

Aatomituuma mass võrdub neutronite ja prootonite masside summaga. Tuuma laeng on aga määratletud ainult prootonite arvuga, sest neutron on elektriliselt neutraalne. Elektrone tuumas ei ole, olgugi et mõned radioaktiivsed ained kiirgavad lagunemisel elektrone (β-osakesi). Need elektronid tekivad tuuma lagunemise tulemusena. Mõned tuuma neutronid kiirgavad välja elektroni ja

muutuvad ise prootoniteks. Heeliumiaatomid (α-osakesed) koosnevad kahest prootonist ja kahest neutronist (joon. 98). Nad tekivad samuti radioaktiivse aine lagunemisel.

Uraani, raadiumi ja teiste radioaktiivsete ainete aatomituumad on ebapüsivad. Aeg-ajalt üksikud aatomituumad lagunevad, paisates välja elektrone või α-osakesi.

Kui tuum kiirgab välja α-osakese, siis tema mass ja positiivne laeng vähenevad.

Kui tuum kiirgab välja elektroni, siis tema mass jääb peaaegu muutumatuks, kuid tema positiivne laeng suureneb.

Tuum, mis kiirgab välja elektroni, muutub mingi teise elemendi tuumaks. Näiteks raadiumi aatomi tuum, kiirates välja β-osakese, muutub radioaktiivse gaasi — radooni tuumaks. Kui panna raadiumitükk katseklaasi ja sulatada katseklaas kinni, siis mõne aja pärast on katseklaasis raadium ja radoon. Radoon omakorda muutub teisteks radioaktiivseteks aineteks. Selle lagunemise lõppsaaduseks on plii, mis ei ole radioaktiivne ega lagune.

Seega radioaktiivsus ilmneb ühtede elementide teisteks muundumise protsessis.

§ 130. Aatomienergia.

Eespool selgus, et radioaktiivse aine lagunemise tulemusena tekkinud osakesed liiguvad suure kiirusega. Näiteks α-osakeste kiirus on $2 \cdot 10^7 \frac{cm}{s}$ ja β-osakeste (elektronide) kiirus $2 \cdot 10^9 \frac{cm}{s}$, s. t. lähedane valguse kiirusele. Seega osakestel on suur kineetiline energia.

Kust see energia saadakse? On loomulik väita, et selle energia allikaks on aatomituumad. Arvutused näitavad, et aatomituumades on tõepoolest olemas suured energiavarud. Seda energiat nimetatakse aatomisiseseks energiaks ehk aatomienergiaks.

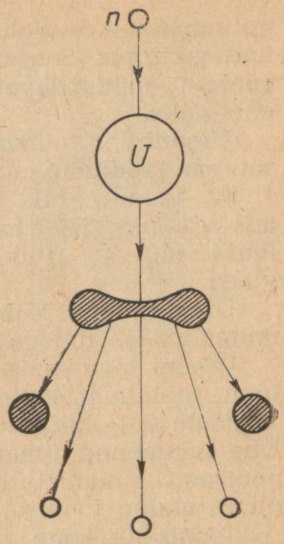
Radioaktiivsete ainete tuumad, lagunedes iseenesest (spontaanselt), eraldavad hiiglasuuri energiahulki. On näiteks välja arvutatud, et kivisöe aatomienergia on tema keemilisest energiast miljon korda suurem.

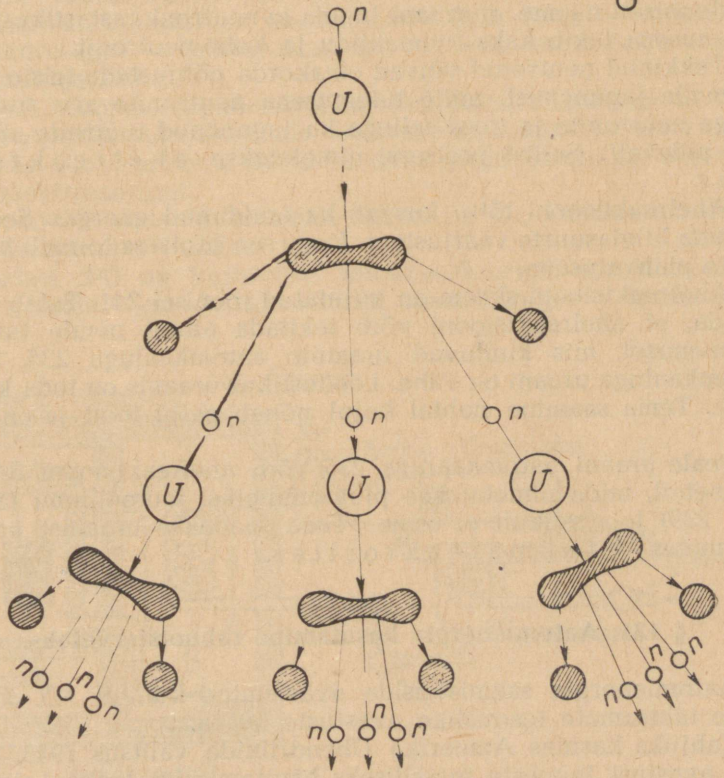
Kuid raadiumitaolisi aineid on looduses vähe. Seetõttu on nende poolt eraldatav koguenergia väike.

1939. a. avastasid teadlased uraani tuuma jagunemise neutronite toimel. See nähtus sai aluseks uuele tehnikaalale — tuumaenergeetikale.

Katsed näitasid, et kui uraani kiiritada neutronitega, siis neutronid neelduvad uraani aatomituumades. Selle tulemusena tekivad ebapüsivad tuumad, millest igaüks jaguneb kaheks uueks, ligikaudu võrdse massiga tuumaks. Uraani tuuma jagunemisel tekkinud tuumakillud lendavad hiiglasuure kiirusega laiali. Aato-

Joon. 240. Uraani tuuma jagunemine.





Joon. 241. Ahelreaktsiooni skeem.

mituumas tekib plahvatusetaoline protsess, millega kaasneb võimas γ-kiirgus. Seega uraani tuuma jagunemisel muundub tuumaenergia laialilendavate kildude kineetiliseks energiaks ja kiirgusenergiaks.

Uraani ühe tuuma jagunemisel eralduv energia on palju kordi suurem raadiumi lagunemisel tekkiva α-osakese energiast. Kui 1 kg uraani kõik tuumad laguneksid, siis eralduks energia, mis võrduks 2000 tonni söe põlemisel või 20 000 tonni tugeva lõhkeaine — trinitrotoluooli plahvatamisel vabaneva energiaga.

Uraani tuuma killud on radioaktiivsed ja nendega toimub rida muundumisi, millega kaasneb samuti energia eraldumine.

Uraani lagunemisel tekib rida elemente, nagu baarium, krüptoon, rubiidium, kadmium jt.

Peale selle kiirgavad jagunevad uraani tuumad ka neutroneid. Ühe jagunenud uraani tuuma kohta tuleb üks kuni kolm vaba neutronit. Uraani tuuma jagunemine koos neutroni eraldumisega on kujutatud joonisel 240.

Jooniselt näeme, et uraani tuuma ja neutroni vastastikuse mõju tulemusena tekib kaks tuumakildu ja kolm neutronit.

Tekkinud neutronid võivad omakorda põhjustada teiste uraani tuumade jagunemist, mille tulemusena neutronite arv suureneb. Seega neutronite ja koos sellega ka jagunenud tuumade arv kasvab pidevalt. Sellist protsessi nimetatakse *ahelreaktsiooniks*.

Ahelreaktsiooni tõttu kasvab ka eraldunud energia. See võib ulatuda hiiglasuurte väärtusteni. Kogu see protsess toimub kiiresti, suure plahvatusena.

Ahelreaktsiooni skeem on kujutatud joonisel 241. Tuleb silmas pidada, et ahelreaktsiooni võib tekitada ainult nende tuumade jagunemisel, mis kuuluvad uraanile aatomkaaluga 235. Sellise aatomkaaluga uraani on vähe. Looduslikus uraanis on teda kõigest 0,7%. Tema saamine puhtal kujul nõuab palju tööd ja on kulukas.

Peale uraani aatomkaaluga 235 võib ahelreaktsiooni tekitada ka metall, mida nimetatakse plutooniumiks. Plutooniumi (aatomkaal 239) looduslikult ei esine. Teda saadakse uraanist erilistes seadmetes — *tuumareaktorites*.

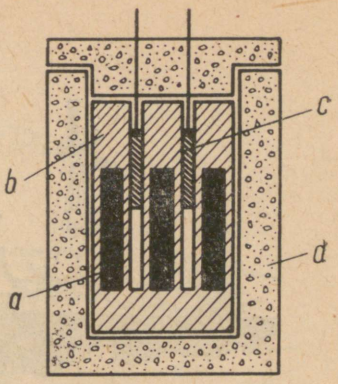
§ 131. Aatomienergia kasutamine rahuotstarveteks.

Aatomienergia saamisviiside avastamine kuulub XX sajandi kõige tähtsamate teaduslike avastuste hulka.

Kahjuks kasutas Ameerika Ühendriikide valitsus 1945. aastal seda avastust inimeste massiliseks hävitamiseks Jaapani linnade Hirošima ja Nagasaki pommitamisel aatomipommidega.

Nõukogude Liidu käsutuses on selle relva näol samuti hiiglasuured purustavad jõud. Kuid meie ei säästa oma jõudu selleks, et keelata aatomirelva kasutamist. Aatomienergiat peab kasutama ainult rahuotstarveteks. Aatomienergia kasutamises rahuotstarveteks on NSV Liit kõikidest teistest maadest ees.

1954. aastal ehitati meie maal maailma esimene tööstuslik aatomielektrijaam võimsusega 5000 kW. Praegu on meil juba aatomielektrijaamu, mille võimsus on sadu tuhandeid kilovatte. Ehitatakse veelgi võimsamaid aatomielektrijaamu.



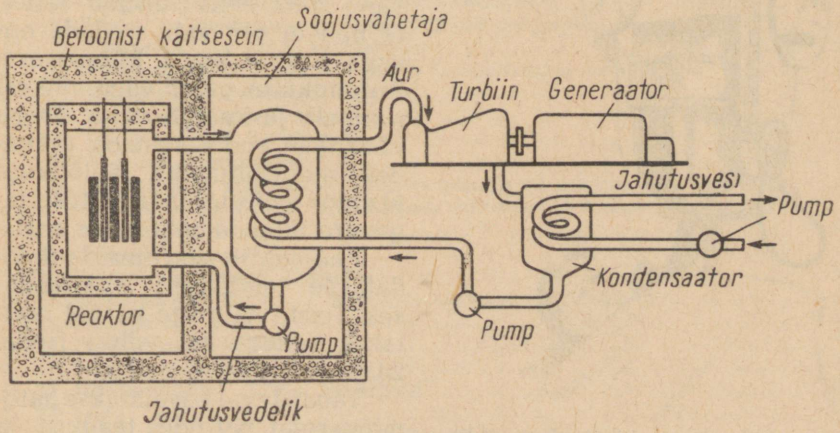
Joon. 242. Tuumareaktor:
a — uraanvardad; *b* — neutronite aeglustaja (grafiit); *c* — reguleerimisvardad; *d* — betoonkaitse.

Aatomielektrijaama üheks põhiosaks on tuumareaktor, mis kujutab endast suurt silindrilist anumat (joon. 242). Reaktor täidetakse «tuumakütusega» — uraanvarrastega, mis sisaldavad palju uraani aatomkaaluga 235.

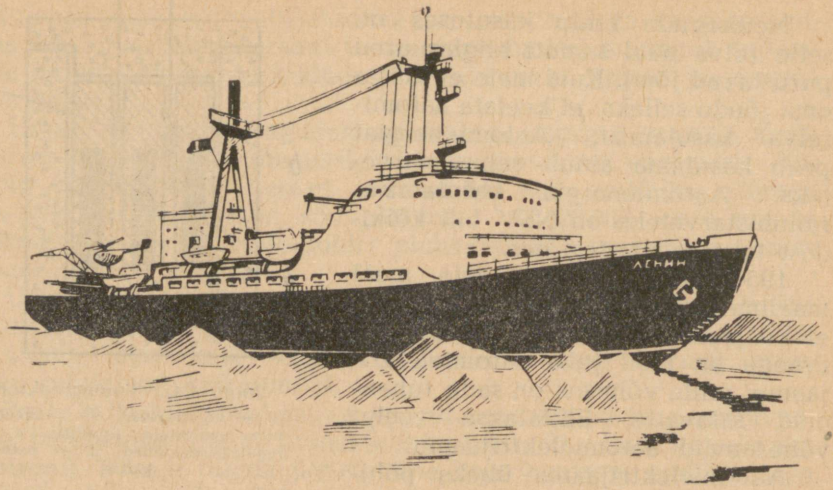
Uraani tuumade jagunemisel eraldub palju soojust. Seda soojust kasutatakse auruturbiinide töölerakendamiseks vajaliku auru saamiseks. Auruturbiinid on ühendatud generaatoritega, mis toodavad elektrienergiat.

Aatomielektrijaama töötamise skeem on siin kirjeldatud ainult kõige üldisemates joontes.

Joonisel 243 on kujutatud aatomireaktoriga aurujõuseadme skeem. Uraani tuumade jagunemisel saadud soojus antakse edasi



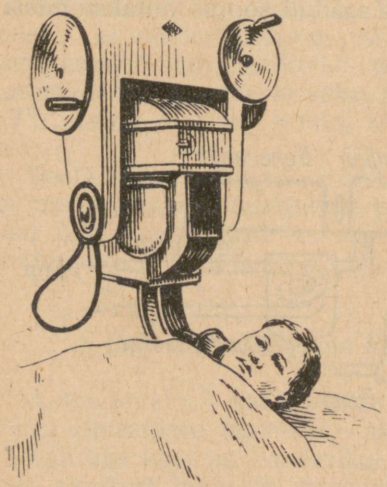
Joon. 243. Aatomijõuseadme skeem.



Joon. 244. Aatomijäälõhkuja «Lenin».

jahutusvedelikule. Jahutusvedelik kuumutab aurukatlas vett ja muudab selle auruks.

Tuumareaktoreid võib paigutada laevadele. 1959. aastal ehitati Nõukogude Liidus maailma võimsaim jäälõhkuja — aatomijäälõhkuja «Lenin», mille mootorid töötavad tuumakütusel (joon. 244). Jäälõhkuja «Lenin» võimsus on 29 420 kW. Sellise võimsusega võib «Lenin» terve aasta juhtida laevu läbi Põhja meretee.



Joon. 245. Haige kiiritamine radioaktiivse kiirgusega.

Aatomikütusel töötavate laevade suur eelis seisneb selles, et neil ei ole vaja vedada endaga kaasas suurt kütusevaru. Aatomikütus omab väga väikest ruumala ja kaalub vähe. Seega võib laev end varustada pikkadeks meresõitudeks. Jäälõhkuja «Lenin» võib töötada kütuse tagavara täiendamata terve aasta.

Radioaktiivseid aineid rakendatakse laialdaselt arstiteaduses. Teiste haiguste kõrval ravitakse sellega ka vähki (joon. 245).

Tänapäeval kasutatakse aatomienergiat paljudes teaduse- ja tööstusharudes.

SISUKORD.

I. Hääl.

§ 1. Võnkliikumine 3
§ 2. Energia muundumine võnkliikumisel. Sumbuvad võnkumised 4
§ 3. Häälevõnkumised 6
§ 4. Tooni kõrgus 7
§ 5. Hääle tugevus 9
§ 6. Hääle levimine 10
§ 7. Hääle levimiskiirus 13
§ 8. Hääle peegeldumine. Kaja 13
§ 9. Hääle resonants 14
§ 10. Heli salvestamine ja taastamine 16

II. Valgus.

§ 11. Valgusallikad 18
§ 12. Valguse sirgjooneline levimine 19
§ 13. Päikese- ja kuuvarjutused 22
§ 14. Valguse kiirus 23
§ 15. Valguskiir. Valguskiirte kimp 25
§ 16. Valguse peegeldumine. Peegeldumisseadused 27
§ 17. Hajuv peegeldumine ja peegeldumine peegelpinnalt 28
§ 18. Tasapeegel ja selle kasutamine 29
§ 19. Laboratoorne töö nr. 1. Valguse peegeldumine tasapeeglilt 32
§ 20. Sfääriline nõguspeegel 34
§ 21. Esemete kujutised nõguspeeglis 35
§ 22. Nõguspeeglite kasutamine 38
§ 23. Valguse murdumine 39
§ 24. Valguskiirte käik tasaparalleelses plaadis ja prismas 41
§ 25. Laboratoorne töö nr. 2. Valguse murdumine tasaparalleelses plaadis ja prismas 42
§ 26. Läätsed 43
§ 27. Esemete kujutised läätsedes 45
§ 28. Laboratoorne töö nr. 3. Kujutiste saamine läätsede abil 48
§ 29. Fotoaparaat 49
§ 30. Projektsiooniaparaat 50
§ 31. Silm ja nägemine 51
§ 32. Nägemishäired. Silma tervishoid 52
§ 33. Luup 54
§ 34. Valge valguse lahutamine värvilisteks kiirteks 55
§ 35. Kehade värvus 58

III. Elekter.

I peatükk. **Algteadmisi elektrist.**

§ 36. Elektri tähtsus elus 60
§ 37. Kehade elektriseerimine hõõrdumise teel 61
§ 38. Elektriseeritud kehade vastastikune mõju. Elektri kaks liiki 62
§ 39. Laengu ülekandumine kehade kokkupuutumisel 64
§ 40. Elektroskoop 65
§ 41. Elektriväli 67
§ 42. Elektrijuhid ja isolaatorid 68
§ 43. Maandamine 69
§ 44. Prootonid ja elektronid 70
§ 45. Elektronide osa kehade elektriseerimisel 71
§ 46. Kehade elektriseerimine mõju abil 72
§ 47. Elektrivool 75
§ 48. Galvaanielemendid 76
§ 49. Akumulaator 78
§ 50. Elektrivoolu toimed 79
§ 51. Elektrihulga ühik 82
§ 52. Elektrilised nähtused atmosfääris 83
§ 53. Piksekaitse 85

II peatükk. **Elektrivool, takistus ja pinge.**

§ 54. Vooluring ja selle osad 86
§ 55. Voolu suund 88
§ 56. Voolu tugevus 89
§ 57. Voolu tugevuse ühik 90
§ 58. Ampermeeter 91
§ 59. Laboratoorne töö nr. 4. Vooluringi koostamine ja voolu tugevuse mõõtmine selle mitmesugustes osades 93
§ 60. Juhtide takistus 93
§ 61. Takistusühik. Juhtide takistuse arvutamine 95
§ 62. Reostaadid 97
§ 63. Pinge 99
§ 64. Pingeühik 100
§ 65. Voltmeeter 100
§ 66. Laboratoorne töö nr. 5. Pinge mõõtmine vooluringi mitmesugustel osadel 102
§ 67. Voolu tugevuse sõltuvus pingest ja takistusest. Ohmi seadus 103
§ 68. Laboratoorne töö nr. 6. Juhi takistuse määramine ampermeetri ja voltmeetri abil 105
§ 69. Juhtide järjestikune ühendus 105
§ 70. Laboratoorne töö nr. 7. Juhtide järjestikuse ühenduse uurimine 107
§ 71. Juhtide paralleelne ühendus 108
§ 72. Takistus juhtide paralleelsel ühendamisel 109
§ 73. Laboratoorne töö nr. 8. Juhtide paralleelse ühenduse uurimine 110

III peatükk. **Voolu töö ja võimsus.**

§ 74. Elektrivoolu töö 112
§ 75. Elektrivoolu võimsus 113
§ 76. Teine viis voolu töö arvutamiseks 114
§ 77. Elektrienergia arvesti 115
§ 78. Laboratoorne töö nr. 9. Elektrilampi läbiva voolu võimsuse määramine 116
§ 79. Juhi soojenemine elektrivoolu mõjul 117

§ 80. Joule'i—Lenzi seadus ... 118
§ 81. Elektrilised soojendusriistad ... 119
§ 82. Laboratoorne töö nr. 10. Džauli ja kalori vahelise seose määramine ... 122
§ 83. Hõõglamp ... 123
§ 84. Laboratoorne töö nr. 11. Elektrisoojendusriista kasuteguri määramine ... 125
§ 85. Kaitsmed ... 126

IV peatükk. **Elektromagnetilised nähtused.**

§ 86. Magnetilised nähtused. Magnetiseerumine voolu toimel ... 129
§ 87. Magnetid ... 131
§ 88. Magnetnõel. Magnetite vastastikune mõju ... 132
§ 89. Magnetväli ... 133
§ 90. Magnetiseerimine mõju abil ... 134
§ 91. Magnetvälja jõujooned ... 134
§ 92. Kompass. Maa magnetväli ... 136
§ 93. Laboratoorne töö nr. 12. Magneti omaduste tundmaõppimine ja magnetspektrite vaatlemine ... 138
§ 94. Voolu mõju magnetnõelale ... 139
§ 95. Vooluga pooli magnetväli ... 140
§ 96. Elektromagnet ... 141
§ 97. Laboratoorne töö nr. 13. Elektromagneti ja tema töötamisega tutvumine ... 143
§ 98. Elektrikell ... 144
§ 99. Elektritelegraaf ... 145
§ 100. Elektromagnetiline relee ... 147
§ 101. Telemehhaanika mõiste ... 149
§ 102. Telefon ... 150
§ 103. Telefonikeskjaam ... 152
§ 104. Laboratoorne töö nr. 14. Elektromagnetilise relee koostamine ja töölepanemine ... 153
§ 105. Vooluga juhi liikumine magnetväljas ... 154
§ 106. Alalisvoolumootor ... 155
§ 107. Laboratoorne töö nr. 15. Alalisvoolumootori kokkupanemine ja katsetamine ... 159
§ 108. Elektrimootorite rakendamine ... 160
§ 109. Induktsioonvool ... 161
§ 110. Vahelduvvoolugeneraator ... 164
§ 111. Alalisvoolumasina pööratavus ... 166
§ 112. Vahelduvvoolu omadused ja rakendamine ... 167
§ 113. Transformaator. Vahelduvvoolu pinge muutmine ... 168
§ 114. Voolu tugevuse muutumine transformeerumisel ... 172
§ 115. Transformaatori kasutamine elektrienergia ülekandmiseks suurtele kaugustele ... 172
§ 116. Voolu tee elektrijaamast tarbijani ... 174
§ 117. NSV Liidu elektrifitseerimise areng ... 176

V peatükk. **Algteadmisi raadiovastuvõtust.**

§ 118. Mis on raadio? ... 179
§ 119. Raadio leiutamise ajaloost ... 179
§ 120. Kõrgsagedusvool ... 180
§ 121. Kondensaator ... 180
§ 122. Võnkering ... 182
§ 123. Raadioside üldpõhimõte ... 184
§ 124. Detektorvastuvõtja ... 185

§ 125. Laboratoorne töö nr. 16. Detektorvastuvõtja koostamine ja raadiosaate vastuvõtmine 188
§ 126. Kaasaegsed raadiotehnika saavutused 188

VI peatükk. **Algteadmisi aatomi ehitusest.**

§ 127. Aatomi ehitus 191
§ 128. Loomulik radioaktiivsus 192
§ 129. Aatomituumade ehitus 195
§ 130. Aatomienergia 196
§ 131. Aatomienergia kasutamine rahuotstarveteks 198

Пёрышкин Александр Васильевич
Минченков Евгений Яковлевич
Крауклис Вильгельм Вильгельмович,
Карпинский Георгий Константинович
ФИЗИКА
для VIII класса
Обложка С. Лийберг
На эстонском языке
Издательство «Валгус»
Таллин, Пярнуское шоссе, 10

*

Toimetaja E. Randma
Kunstiline toimetaja H. Keigo
Tehniline toimetaja T. Linkvist
Korrektorid H. Kahar ja V. Leibak
Ladumisele antud 24. IX 1965. Trükkimisele antud 2. XII 1965. Paber 60×90, 1/16. Trükipoognaid 12,75. Arvestuspoognaid 12,19. Trükiarv 11 000. Tellimise nr. 3221. Trükikoda «Punane Täht», Tallinn, Pikk tn. 54/58.
Hind 23 kop.
6—4

TKU

23 kop.

A-27093

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00427770 5