G. FALEJEV JA A. PJORŌŠKIN

FÜÜSIKA

II OSA

VII KLASSILE

RK „PEDAGOOGILINE KIRJANDUS"

G. FALEJEV JA A. PJORÕŠKIN

FÜÜSIKA

II OSA

VII KLASSILE

3278

RK
„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS"
TALLINN 1948

2

Bibliotheca
Universitatis
Tartuensis
(1948: 0978)
25009

A-17361

ELEKTER.

I peatükk.

SISSEJUHATUS.

1. **Teatmeid elektri ajaloost.** Vaatamata sellele et seesugused elektrilised nähtused nagu äike olid tuntud juba ürginimesele, teati kuni XIX saj. elektrist väga vähe. «Elektri üle saime teada midagi mõistlikku vaid sellest ajast,» ütleb Engels, «kui avanes võimalus selle tehniliseks kasutamiseks.» Elektri tundmaõppimine arenes väga aeglases tempos. Alles XIX sajandi alguseks tutvusid inimesed elektrivooluga.

Juba esimene tutvus elektrivooluga avastas rea voolu omadusi, mida võis ära kasutada praktilisteks otstarveteks.

1802. a. näitas vene õpetlane Petrov, kuidas elektri abil võib saada heledat valgust.

1804. a. ehitab itaalia õpetlane Negro esimese elektrimootori.

Elektrivool kandub juhtmeid mööda edasi ülikiiresti. See omadus, mis on väga väärtuslik signaalide kiireks edasiandmiseks, kasutati ära esimeste raudteerongide liiklemise teenindamiseks, millised liikusid tolle aja kohta ennekuulmatu kiirusega.

Rongide liiklemise teenindamise huvides oli vajalik signaalide kiire edasiandmine rongi väljumise, peatamise, teerikke

jne. puhul. Seepärast nõudis uus liiklemistehnika ka uusi sidevahendeid. Lahendades antud tehnilist ülesannet elektri ärakasutamiseks sidepidamise otstarbel, avastas teadus ja õppis tundma rea elektrivoolu seadusi.

Kõiki avastusi ei olnud võimalik praktilisteks otstarveteks ära kasutada, sest voolu saamise viisid ise olid väga ebatäiuslikud. Alles 1831. a. leiab inglise õpetlane Faraday meetodid mehaanilise energia muutmiseks elektrienergiaks, ja veel samal aastal ehitatakse esimene masin mehaanilise energia muutmiseks elektrienergiaks.

On täiesti arusaadav, et esimene masin oli väga ebatäiuslik ja selle tundmaõppimine ning täiendamine nõudis realt õpetlasilt ja leiutajailt palju tööd.

Faraday avastusest kuni esimese praktiliselt kõlbliku dünamomasina ehitamiseni kulus üle 40 aasta. Alates XIX sajandi lõpust hakkab elektrienergia kasutamine tööstuses laialt arenema.

1876. a. seatakse Pariisi puiesteedel sisse elektrivalgustus vene inseneri Jablotškovi seadiste abil.

1879. a. leiutab Edison oma elektrihõõglambi, mille tagajärjel elektrienergiat hakatakse laialt kasutama valgustuse otstarbel.

1882. a. ehitati New Yorgis esimene elektrijaam ja samal ajal leidis prantslane Marcel Deprez (l. döprè) elektrienergia edasiandmise viisi suurte kauguste taha.

Praegusel ajal tunneb igaüks elektrienergia arvukaid rakendamisviise tööstuses, igaüks võib tähele panna, kuidas elektrienergia asendab muid energia liike. Igaüks teab hulga ehitatud ja ehitatavaid elektrijaamu, mis töötavad ümber langeva vee või kütteaine energia elektrienergiaks ja annavad selle edasi kauge maa taha mitmekesiseks kasutamiseks.

Elektrifikatsioon, mis haarab elektrivooluga kogu tööstuse, põllumajanduse, transpordi, kogu igapäevase elu — selline on

inimtehnika arenemise viimane sõna, mille saavutamiseks on kulunud paljusid kümneid tuhandeid aastaid.

Teaduse ja tehnika ühise jõupingutuse tulemuseks olid mitte ainult tehnilised saavutused. Elektri põhjalik tundmaõppimine võimaldas teadusel heita sügavat pilku aine enda ehitusse, mille õpetus, arenedes kiiresti, avab teadusele ikka uusi ja uusi horisonte.

2. **Elekter rahvamajanduses.** Tööstuses paneb elektrienergia liikuma terve rea mehhanisme, ta teenindab tehase elektriahjusid ja teda rakendatakse tehnilistes protsessides. Põllumajanduses kasutatakse elektrit alates suurtest töödest niisutuse ja põllumajanduslike seadiste teenindamise alal ning lõpetades väikeste töödega nagu elekterlüps, loomatoidu lõikamine, soojendamine jne.

Elektri abil antakse telegramme edasi tohutu kiirusega juhtmeid kaudu ja juhtmeteta, teostades sidet üksteisest kaugel asuvate kohtade vahel; elektrirongid, tramm ja maa-alune raudtee veavad laadungeid ja reisijaid.

Elektri abil on võimalik tööstuslikes keskustes ära kasutada kaugeid energia-allikaid; elektri keskjaamade võrk töötab kohalikud odavad jõuallikad ümber elektrivooluks ja annab nende energia edasi suurte kauguste taha.

Selline jõujaamade võrk on ehitusel ka meie Liidus. 1932. a. lõpetati grandioosseima jõujaama — Dnepri Hüdroelektrijaama ehitamine.

3. **Elekter sõjaasjanduses.** Sõjatehnikas leiab elekter laialdast rakendamist side-, lahingu- ja abiteenistuse pidamisel. Telefonid, mis harilikult on kinnitatud seinale, muutusid rändtelefonideks, mis on kiiresti ja kergesti ülesseatavad igal pool; nende ülesanne laienes: nad muutusid sidepidamise vahendist luuramise vahendiks — vaenlase kohta teadete kogumise vahendiks. Ehitades erilisel viisil liine ja kasutades hääletugev-

dajaid, taotellakse võimalust kuulata kõnesid, mida peetakse vaenlase telefonidega.

Elektrit kasutatakse iselõhkevate või jaamamiinide ja fugasside lõhkemapanemiseks. Esimesi paneb vaenlane ise lõhkema, kui astub neile peale. Teisi pannakse lõhkema jaamast, kust vaadeldakse vaenlase liikumist. Peale miinide lõhkemapanemise kasutatakse elektrit ka traataedade elektriseerimiseks, mille puudutamine on elukardetav.

Lahingus kasutatakse elektrit kahurväe patareide tegevussepanemiseks. Elektri abil saavutatakse kiire ja täpne sihtimine, kahuri laadimine ja tulistamine. Kuid vähe sellest: käesoleval ajal lendavad juba oma rooli ise reguleerivad aeroplaanid, millede juhtimist toimetatakse maapinnalt. Maapinnalt raadio kaudu antud käskluse järgi muudavad aeroplaanid lennu suunda, viskavad alla pomme ja pöörduvad tagasi. Täpselt samuti võib kaugelt juhtida laevu ja panna neid tulistama.

II peatükk.

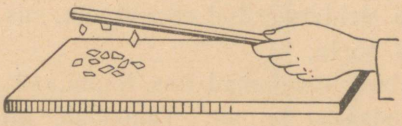
ALGTEADMISI ELEKTRIST.

4. **Elektriseerimine.** Sõna elekter tuleneb kreekakeelsest sõnast **elektron,** mis tähendab «merivaik». Juba kauges minevikus oli teada, et villase riidega hõõrutud merivaik tõmbab külge kergeid esemeid. Arvati, et see on omane ainult merivaigule, mispärast seda nimetatigi elektriliseks omaduseks.

1600. a. leidis inglane Gilbert, et elektrilisi omadusi evib mitte üksnes merivaik.

Paberitükikesi tõmbab külge: kaleviga hõõrutud kirjalakk (joon. 1), villa või nahaga hõõrutud eboniit ja siidiga hõõrutud klaaspulk. Ka täiesti kuiv käega hõõrutud paberileht ilmutab elektrilisi omadusi.

Elektriseerumist hõõrumise mõjul võib väga tihti tähele panna. Kuivade ja puhtate juuste kammimisel eboniidist kammiga elektriseeruvad juuksed ja kamm: kammimisel on kuulda raginat, pimedas võib tähele panna väikesi sädemeid, juuksed hoiduvad halvasti üksteise ligi ja kamm tõmbab külge paberitükikesi ning teisi kehi.



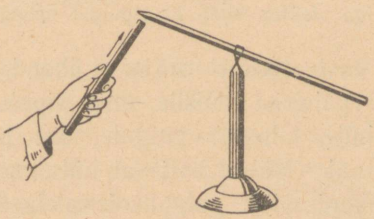
Joon. 1. Kaleviga hõõrutud kirjalakk tõmbab külge paberitükikesi.

Rihma hõõrdumisel vastu rihmaratast rihm elektriseerub. Kuivas ruumis võib rihma elektriseerumine olla niivõrd suur, et tekivad sädemed. Sädemete tekkimine on üsna kardetav, kui ruum, kus nad tekivad, on täidetud kuiva kergesti plahvatava tolmuga. Neil juhtudel tuleb tähelepanelikult jälgida ruumide olukorda ja takistada sädemete tekkimist.

Küsimusi.

1. Kust tuleneb sõna «elekter»?
2. Milliste katsetega võib näidata elektri tekkimist hõõrumise teel?

5. **Kahte liiki laengud.** Hõõrume kahte eboniitpulka kalevilapiga. Asetanud ühe pulga mingile teravikule nii, et ta võiks pöörelda, lähendame sellele teise pulga (joon. 2). Me märkame, et eboniitpulgad tõukavad teineteist eemale.



Joon. 2.

Täpselt samaseid tagajärgi saavutatakse, kui eboniitpulkade asemel võtta klaaspulgad ja neid hõõruda elavhõbeda ja tsingilahusega — tsinkamalgaamiga — kaetud nahaga.

Lähendame elektriseeritud eboniitpulgale nahaga hõõrutud klaaspulga ja me näeme, et eboniitpulk t õ m b u b klaaspulga poole.

Kui asetada pöörlevale alusele elektriseeritud klaaspulk ja lähendada sellele elektriseeritud eboniitpulk, siis klaaspulk tõmbub eboniitpulga poole.

Niisiis elektriseeritud kehad kas tõmbuvad üksteise poole või tõukuvad üksteisest eemale. Tähendab, **on olemas kahte liiki elektrilaenguid.**

Elektrilaengud, mis tekivad eboniitpulgal kalevilapiga hõõrumisel, nimetatakse n e g a t i i v s e t e k s, aga laengud, mis saadakse klaasil nahaga hõõrumisel — p o s i t i i v s e t e k s. Võrdsete positiivsete ja negatiivsete laengute ühendamisel mingil kehal keha ei ilmuta elektrilisi omadusi.

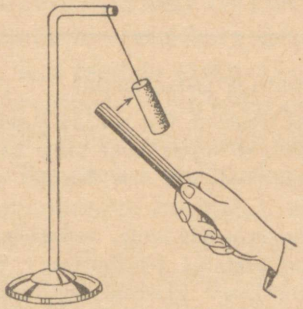
Elektriseerime kahte hülssi, mis ripuvad siidniidi otsas, puudutades ühte elektriseeritud eboniitpulgaga, teist elektriseeritud klaaspulgaga. Neid hülsse lähendades tõmbavad nad teineteist ligi, aga puudutanud teineteist, jäävad rippuma, nagu oleksid nad laengu kaotanud.

Küsimusi.

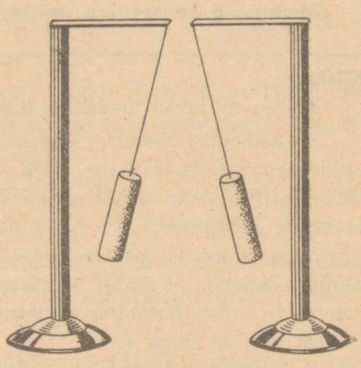
1. Milliste katsete abil on tehtud kindlaks kahte liiki elektrilaengute olemasolu?
2. Missugust kahte liiki elektrit saadakse hõõrumise teel?
3. Millist elektrit nimetatakse negatiivseks, millist positiivseks?
4. Millise märgiga elekter tekib klaaspulgal nahaga hõõrumisel?

6. **Laengute vastastikune mõju.** Lähendame elektriseeritud eboniitpulka paberist hülsile, mis ripub siidniidi otsas (joon. 3). Algul hülss läheneb pulgale, siis puudutades seda, tõukub sellest eemale. Nähtavasti sai hülss, puudutades pulka, laengu, mis on ühenimeline pulgal oleva laenguga — nega-

tiivse laengu. Seda oletust võib tõestada, lähendades varem laetud hülsile elektriseeritud klaaspulga. Hülss, mis äsja tõukus eboniitpulgast eemale, tõmbub klaaspulga külge.



Joon. 3.

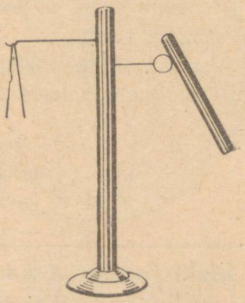


Joon. 4. Ühtemoodi elektriseeritud hülsid tõukavad teineteist eemale.

Laeme kahte hülssi, mis ripuvad siidniitide otsas, ühesuguste laengutega, selleks puudutame hülssi laetud eboniitpulgakesega. Kui lähendame niidid, mille otsas ripuvad hülsid, siis näeme, et need tõukavad teineteist eemale (joon. 4).

Metalltraadil, mis on kinnitatud eboniidist alusele, ripub kahekorra murtud paberossipaberi riba (joon. 5).

Kui puudutame seda riba elektriseeritud pulgaga, siis selle mõlemad otsad elektriseeruvad ühtmoodi ja me näeme, et pabeririba otsad eemalduvad teineteisest.



Joon. 5. Traadi puudutamisel laetud pulgaga pabeririba otsad eemalduvad.

Nende katsete alusel teeme järelduse:

kehad, mis on laetud ühenimelise elektriga, tõukavad teineteist eemale; isenimelise elektriga laetud kehad aga tõmbuvad teineteise poole.

Küsimus.

Kuidas mõjuvad vastamisi isenimelise elektriga laetud kehad?

7. **Coulomb'i seadus.** Prantsuse õpetlane Coulomb (loe kulón), uurides elektrilaengute vastastikust mõju, tegi kindlaks, et vastastikune mõju kahe elektriseeritud keha vahel sõltub laengute suurusest, mis neis kehades on, ja nende kaugusest.

Mida suuremad on laengud, seda suurem on nende vahel vastastikune mõju. Oletame, et kahel kuulikesel, mis on asetatud teineteisest 1 cm kaugusele, olid ühesugused laengud ja kuulikesed tõukusid teineteisest eemale võrdse jõuga f

Kui laengut ühel kuulikesel suurendada teatud arv korda, siis suureneb samapalju korda ka eemaletõukamise jõud.

Kui ka teisel kuulikesel suurendada laengut, siis suureneb võrdeliselt ka tõukamise jõud.

Tähendab, elektrilaengute vastastikune mõju muutub võrdeliselt laengute suurusega. Kui kuulikeste kaugust vähendada, siis, nagu tegi kindlaks Coulomb, kauguse vähenedes 2 korda, suureneb vastastikune mõju 4 korda, kauguse vähenedes 3 korda, suureneb vastastikune mõju 9 korda.

Coulomb leidis, et vastastikune mõju on pöördvõrdeline laengutevahelise kauguse ruuduga.

Vastava ühiku valikul laengu jõu ja suuruse mõõtmiseks võib Coulomb'i arvukate katsete tagajärgi väljendada järgmises valemis:

$$f = \frac{e\ e_1}{r^2},$$

kus f on laengute vastastikune mõju,
e ja e_1 — laengute suurus,
r — nendevaheline kaugus.

Elektrilaengute vastastikune mõju on võrdeline laengute korrutisega ja pöördvõrdeline nendevahelise kauguse ruuduga.

Seda seadust nimetatakse Coulomb'i seaduseks.

8. **Elektroskoop.** Et selgitada, millise laenguga ja millisel määral antud keha on elektriseeritud, kasutatakse elektroskoope.

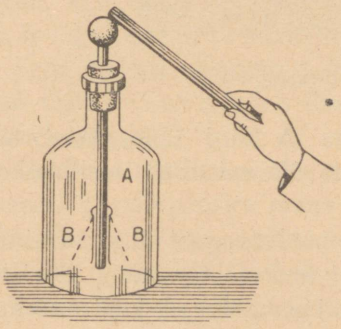
Joonisel nr. 6 kujutatud elektroskoop koosneb metalsest vardast A, millele on kinnitatud kaks pabeririba B. Varras paigutatakse eboniitkorgi abil klaaskatte sisemusse.

Kui laadida elektroskoobi varras, siis elektriseeruvad ka paberiribad. Elektriseeritud ribad, tõukudes teineteisest, eemalduvad vähema või suurema nurga all.

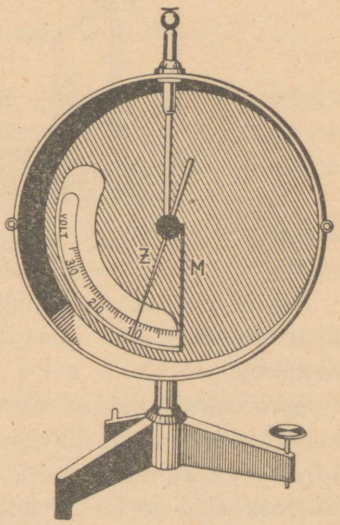
Kui laetud elektroskoobile lähendada keha, mis on laetud samanimelise laenguga, siis eemalduvad elektroskoobi lehekesed veelgi suurema nurga all. Lähendades elektroskoobile keha, mis on laetud isenimelise laenguga, me näeme, et nurk elektroskoobi lehekeste vahel väheneb.

Nii võib elektroskoobi abil kindlaks määrata, millise laenguga on elektriseeritud üks või teine keha.

Elektroskoobil, mis on kujutatud joonisel nr. 7, on metall-



Joon. 6. Elektroskoop.



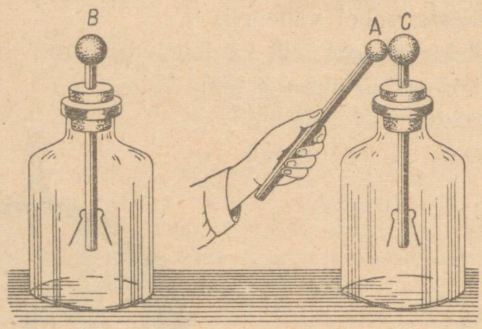
Joon. 7. Elektroskoop.

kesta sisemuses keskkohta läbistavale teljele kinnitatud paberiribade asemel kergelt liikuv osuti Z.

Varda M laadimisega eemaldub osuti vardast teatud suurusega nurga all, olenevalt laengu suurusest.

9. **Juhid ja isolaatorid.** Laeme võimalikult tugevamini paberilehekestega elektroskoobi ja lähendame elektroskoobi kuulikesele laadimata väikese metalse kuulikese A, mis on kinnitatud eboniidist käepidemele (joon. 8).

Kui puudutada elektroskoobi kuulikest B kuulikesega A, siis läheb osa elektroskoobi laengust üle kuulikesele A, milles võime veenduda, kui viime kuulikese A teisele laadimata elektroskoobile C (joon. 8).



Joon. 8. Laengu ülekandmine.

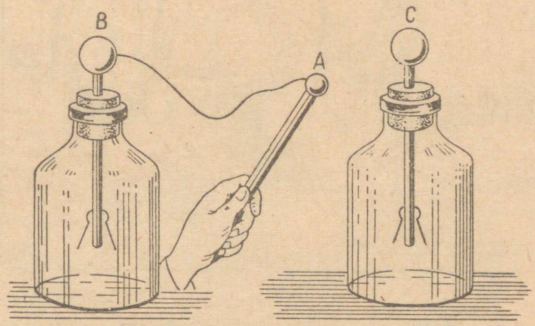
Niisiis, puudutades kuulikesega A kord ühte, kord teist elektroskoopi, võime laengu kanda üle esimeselt elektroskoobilt teisele.

Sel määral, kuidas me kanname laenguid ühelt elektroskoobilt teisele, võib täheldada, et ühe elektroskoobi (B) lehekesed langevad, aga teise (C) omad eemalduvad, kuni mõlemad elektroskoobid on laetud ühtemoodi.

Asetame elektroskoobid teineteisest võimalikult kaugemale

ja seome ühe (B) külge kuiva linase niidi selles pikkuses, et seda oleks võimalik tõmmata kuni teise elektroskoobini (C). Niidi vaba otsa seome eboniidist käepidemega kuulikese A külge (joon. 9).

Laeme elektroskoobi B ja vaatame, kas pole võimalik laengut elektroskoobilt B niiti mööda kanda üle elektroskoobile C.



Joon. 9. Laengu üleandmine linase niidi kaudu.

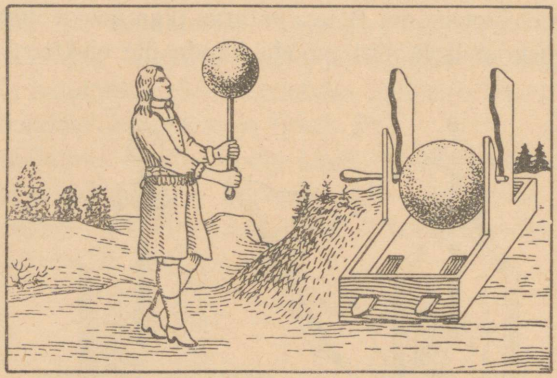
Puudutades niidiga varustatud kuulikesega A elektroskoopi C, me märkame, et elektroskoobi B lehekesed veidi langevad, aga elektroskoobi C lehekesed eemalduvad. Tähendab, osa laengut elektroskoobilt B kandus üle elektroskoobile C.

Seda laengu üleandmist ühelt kehalt teisele vaatles esimesena Otto Guericke (loe gerike), kes ehitas elektrisaamiseks masina.

Guericke masin koosnes suurest väävlist-valmistatud kerast (joon. 10), mis pöörles puust teljel. Kera pöörlemisel Guericke hõõrus seda kätega. Selline keha elektriseerus märksa tugevamini kui merivaigu tükikesed, milledega katsetas Gilbert.

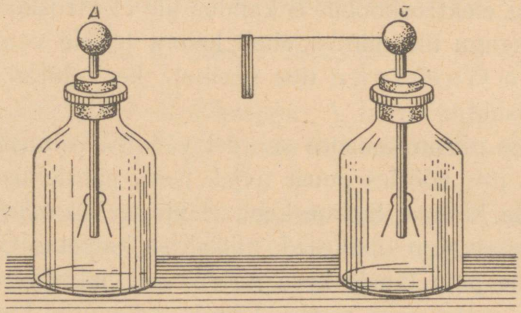
Guericke pani tähele kera hõõrumisel pimedas toas helendust, mida saatis nõrk ragin. Ühe katse juures tegi Guericke kindlaks, et elekter võib levida linast niiti mööda. Teiste tead-

laste uurimused, kes püüdsid elektrit masina juurest anda edasi mõnesugusele kaugusele, tegid kindlaks, et mitmesugused ained j u h i v a d elektrit erinevalt.



Joon. 10. Otto Guericke masin.
Paremal — masina kujutis. Vasemal — väävelkuul, mis on võetud masinalt katsetamiseks.

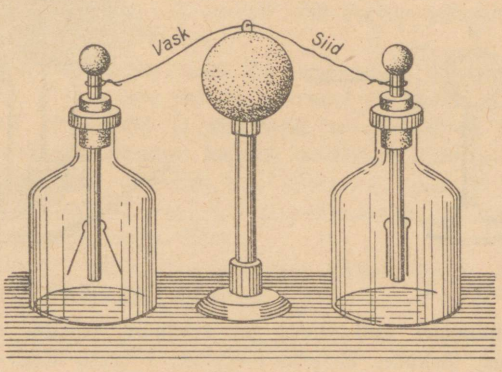
Lükkame elektroskoobid A ja C teineteisele lähemale, ja laadinud neist ühe, ühendame nende kuulikesed mitmesugusest



Joon. 11.

materjalist traatide ja plaatidega. Seejuures on kerge kindlaks teha, et metalltraate mööda laengud lähevad üle, aga eboniit-pulka või siidniite mööda laengud üle ei lähe.

Kehi, mida mööda laengud kanduvad ühest punktist teise, nimetatakse *juhtideks*. Kehi, mida mööda laengud edasi ei kandu, nimetatakse *isolaatoriteks*[1] (joon. 12).



Joon. 12. Juht ja isolaator.

Et juht hoiaks alal temas oleva laengu, eraldatakse ta teistest juhtidest isolaatorite abil. Sellise isoleerimise näiteid me nägime katsete juures. Paberist hülsid olid riputatud siidniitide külge, mitmesugused riistad olid asetatud alustele, mis olid valmistatud isolaatoreist — eboniidist või klaasist.

On vaja ära märkida, et täiuslikke isolaatoreid pole olemas.

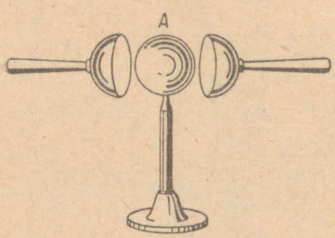
10. **Elektri jaotumine juhtmeil.** Laeme isoleeritud kera **A** (joon. 13) ja võttes kaks metallkäepidemega poolkera, katame nendega kera nii, et poolkerad seda puudutaksid. Pärast seda võtame poolkerad ära. Uurimused elektroskoobiga näitavad, et kera kaotas laengu, poolkerad aga said laengu.

Joonisel 14 on kujutatud peenikestest painduvaist traatidest võrk, mis

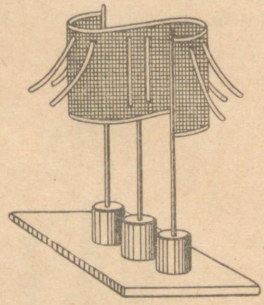
[1] Isolaator tuleneb itaaliakeelsest sõnast *isolare* — eraldama.

on kinnitatud isoleerivaile aluseile. Võrgu mõlemale küljele on kleebitud paberiribakesed. Koolutades võrku, võib sellele anda igasuguseid vorme. Kui võrku laadida elektriga, siis tõukuvad paberiribakesed võrgu kumeral poolel võrgust eemale, aga nõgusal poolel jäävad endisse asendisse.

Need katsed näitavad, et juhtidel **jaotub elekter ainult välisele pinnale.**



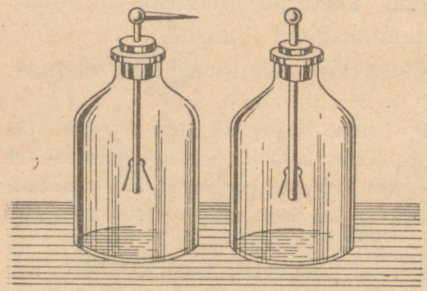
Joon. 13.



Joon. 14.

Elektri jaotumine juhi pinnal on seletatav sellega, et ühenimelise elektri osakesed, tõukudes üksteisest eemale, võtavad kõige äärepoolsema asendi — juhi välispinna, kust nad samuti püüavad eemalduda, kuid seda takistab õhk — isolaator.

Kuid juhi pinnal jaotuvad laengud mitte alati võrdselt. Katsed näitavad, et mida teravamad on juhi otsad, seda suurem on elektri hulk juhi pinna iga ruutsentimeetri kohta.



Joon. 15.

Kui elektriseerida tugevasti mingit keha, mille pinnal on teravik, siis selle pinna iga ruutsentimeetril on nii suur elektri hulk, et teravikuga kokkupuutuvad õhuosakesed hakkavad kiiresti elektriseeruma ja tõukudes teravikust eemale, viivad enesega kaasa teraviku laengut. Me täheldame teraviku lähedal laetud õhuosakeste liikumist — «elektrituult», mis on suuteline laadima teraviku kõrval olevat laadimata keha (joon. 15).

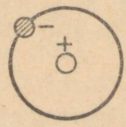
Küsimusi.

1. Kuidas jaotuvad elektrilaengud juhtidel?
2. Millega seletada, et elektrilaengud jaotuvad ainult juhi välispinnale?
3. Kas jaotub elekter juhi pinnal ühtlaselt?

11. **Aine elektriline ehitus.** Kõik kehad koosnevad molekulidest. Molekulid koosnevad veelgi väiksematest osadest — aatomitest. Aatome peeti kaua väikseimaiks jagamatuiks osadeks. Käesoleval ajal on mitte ainult see kindlaks tehtud, et aatomi võib jagada väiksemateks osadeks, vaid on teada ka aatomi ehitus.

1913. a. esitasid inglise füüsik Rutherford ja taani füüsik Borh teooria sellest, et iga aine aatomi koosseisu kuuluvad prootonid ja elektronid. **Prootonid ja elektronid on väikseimad käesoleval ajal tuntud aineosakesed. Prooton kannab positiivset elektrilaengut. Elektron on negatiivse elektri väikseim osa.** Elektroni mass on ligi 2000 korda väiksem vesiniku aatomi massist. Prootoni mass on vesiniku aatomi massist kergem elektroni massi võrra.

Prootonid ja elektronid kuuluvad mitmesuguseis kombinatsioones igasuguste ainete aatomite koosseisu.



Joon. 16. Vesiniku aatomi ehitus.

Kõige lihtsam on aatomi ehitus vesinikul, mis koosneb ühest prootonist ja ühest elektronist. Aatomi keskel on võrdlemisi massiivne prooton, mille ümber liigub elektron (joon. 16). Oma liikumisel prootoni ümber hoitakse elektron kinni selle külgetõmbe-jõuga, mis on olemas iseliigiliste laengute vahel. Kuna vesiniku aatom tervikuna ei ilmuta laengut, siis prootoni ja elektroni laengud on võrdsed.

Muude elementide aatomid, millel on keerukam ehitus, koosnevad positiivselt laetud kesksest tuumast ja elektronidest, mis keerlevad tuuma ümber; elektronide arv aatomis on võrdne prootonite arvuga, mistõttu aatom harilikes tingimustes ei ilmuta elektrilaengut.

Küsimusi.

1. Mis on prooton ja elektron?
2. Milline on vesiniku aatomi ehitus?

12. **Elektriseerumisnähtuse seletus aine elektroniteooria alusel.** Kui hõõruda eboniiti karusnahaga, mis on kinnitatud isoleerivale käepidemele, siis võib veenduda, et elektriseeruvad nii eboniit kui karusnahk, kuid nende elektriseerumine on vastupidine: eboniit elektriseerub negatiivselt, nahk aga positiivselt. Kui lähendada eboniit ja nahk elektroskoobile üheaegselt, siis elektroskoop ei ilmuta elektriseerumist. Seda nähtust võib seletada järgmiselt.

Mitmesuguste elementide aatomeis on olemas elektronid, mis võrdlemisi suure kauguse tõttu kesktuumast on allutatud tuuma mõjule nõrgalt. Need elektronid eralduvad oma aatomeist kergesti kehade hõõrumisel ja paljudel muudel põhjustel. Metallides võivad nad asetuda aatomite ja molekulide vahele. Kui keha pole laetud, siis on temas ühesugune hulk positiivseid ja negatiivseid laenguid. Kui aatomid mõningais tingimustes kaotavad osa elektrone, siis keha elektriseerub positiivselt. Eboniitkepikese hõõrumisel nahaga läheb osa elektrone nahalt eboniidile ja kuna eboniit on isolaator, siis sinna nad jäävadki. Karusnahk aga, kaotanud osa elektrone, osutub positiivselt elektriseerituks. Klaasi hõõrumisel nahaga annab klaas osa oma elektronidest nahale, mille tagajärjel klaas elektriseerub positiivselt, nahk aga negatiivselt.

Katsed näitavad, et kahe keha hõõrumisel tekib ühel negatiivne elekter, teisel aga — positiivne ja alati võrdsel hulgal.

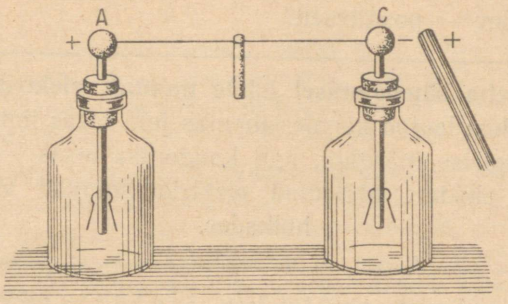
Küsimus.

Kuidas võib seletada elektriseerumise nähtust hõõrumise puhul?

13. **Elektriseerimine mõju läbi.** Laetud klaaspulga lähendamisel elektroskoobile võib täheldada, et veel enne, kui pulk puudutab elektroskoopi, eemalduvad selle lehekesed. Lähendame elektroskoobile laetud pulga, puudutamata selle kuulikest. Lehekesed eemalduvad — tähendab, elektroskoop on laetud. Eemaldame pulga elektroskoobi juurest. Lehekesed langevad alla.

Selgitame, kust ilmuvad laengud elektroskoobile ja kuhu nad kaovad. Ühendame kaks elektroskoopi traaditükiga, mille keskel on eboniidist käepide. Lähendame (kuid ei puuduta) ühele elektroskoobile elektriseeritud pulga. Mõlemad elektro-

skoobid osutuvad laetuks (joon. 17). Kui eemaldada laetud pulk, kaotavad elektroskoobid laengu, mida nägime varem ka ühe elektroskoobi juures. Kordame katset, kuid kui elektroskoobid

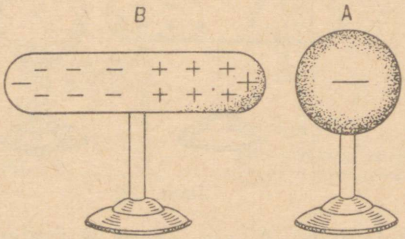


Joon. 17.

on saanud laengu, kõrvaldame neid ühendava traadi. Nüüd jäävad laetud pulga eemaldamisel mõlemad elektroskoobid laetuks. Ühendame elektroskoobid traadiga — nad kaotavad laengu (lehekesed langevad alla).

Kuhu kadusid laengud elektroskoopidelt?

Ära minna nad ei võinud, sest ühendades elektroskoope



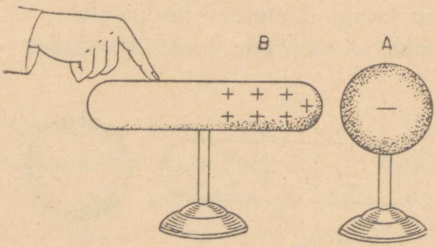
Joon. 18.

traadiga, me hoidsime traati eboniidist käepidemega, eboniit aga on isolaator. Jääb üks oletus: laengud elektroskoopidel olid mitte ühesuguse märgiga ja elektroskoopide ühendamisel ühe laengu mõju hävitas teise mõju.

Kordame katset, ja kuni elektroskoobid on teineteisest eraldatud, lähendame neile kordamööda laetud klaaspulga. Klaaspulgale lähim elektroskoop osutub laetuks negatiivselt, aga kaugemal olev — positiivselt.

Laetud keha lähendamisel juhile muutub elektrilaengute asetus juhis: laetud kehale lähemas juhi otsas ilmub elekter vastupidise märgiga, aga kaugemas otsas — sama märgiga elekter. Mõlemad elektrid ilmuvad võrdsetes hulkades.

Sellist laadimist nimetatakse elektriseerimiseks mõju läbi. Elektriseerimist mõju läbi võib seletada nii: negatiivselt laetud keha A lähendamisel laadimata juhile B viimase vabad elektronid, tõukudes keha A negatiivsest laengust, asetuvad juhi vastasotsale. Keha B üks ots elektriseerub positiivselt, teine — negatiivselt.



Joon. 19.

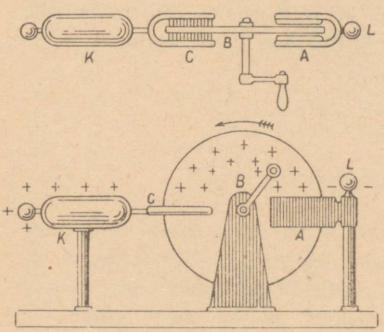
Kui eemaldada keha A, siis kehas B ümberasetunud elektronid tõmmatakse uuesti positiivselt laetud aatomi osade poole ja meie ei märka enam juhis B laengut. Kui, lähendades uuesti kehale B keha A, ühendada keha B maaga, puudutades kas või sõrmega keha B-d, siis elektronid, püüdes kehast A tõukuda võimalikult kaugemale, lähevad maasse (joon. 19). Kehas B

ilmneb elektronide puudujääk ja ta osutub laadituks positiivselt. Kui, eraldades nüüd keha B maast, eemaldada ka keha A, siis juht B jääb laetuks ainult positiivse elektriga.

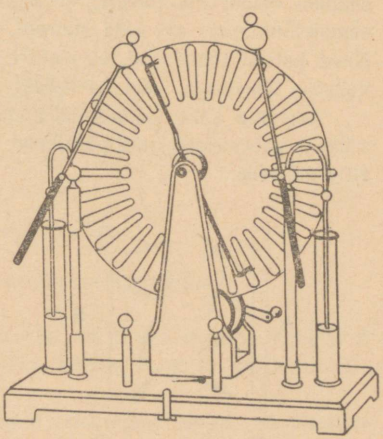
Küsimusi.

1. Milles seisab elektriseerumise nähtus mõju läbi?
2. Kuidas võib seletada elektriseerumist mõju läbi?
3. Elektroskoobile lähendati positiivselt laetud klaaspulk. Millised laengud tekivad mõju läbi elektroskoobi nupul ja selle lehekestel?

14. **Elektrimasin.** Suurte elektrilaengute saamiseks kasutatakse spetsiaalseid riistu. Üheks selliseks, ehituselt lihtsaimaks riistaks on «hõõrumiselektrimasin» (joon. 20). See koosneb klaaskettast B, mis pöörleb teljel käepideme abil, ja kahest nahkpadjakesest A, mis on kaetud inglistina- või tsinkamalgaamiga. Pöörlemisel hõõrub klaas vastu amalgaami ja elektriseerub positiivselt, aga padjakesed ja nendega ühendatud k o n d u k t o r (juht) L — negatiivselt.



Joon. 20. Elektrimasin.



Joon. 21. Elektrimasin.

Klaasketas liigub pöörlemisel metallkahvli C teravike vahele, mis on ühendatud konduktoriga K. Positiivsed laengud kettal elektriseerivad mõju läbi konduktori K positiivselt, aga kahvli C teravikud — negatiivselt. Kahvli negatiivne elekter voolab teravikelt klaaskettale, kus ühineb positiivse laenguga.

Nii koguneb konduktorile L negatiivne laeng, konduktorile K aga positiivne.

Praktikas kasutatakse tihti ehituselt hoopis keerukamat riista (joon. 21).

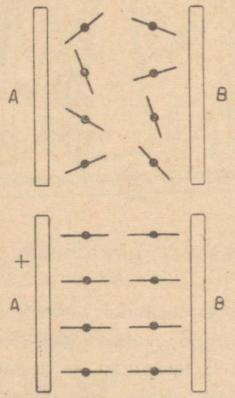
Küsimusi.

1. Millistest osadest koosneb hõõrumis-elektrimasin?
2. Kuidas seletada laengute kogunemist masina konduktoreile?

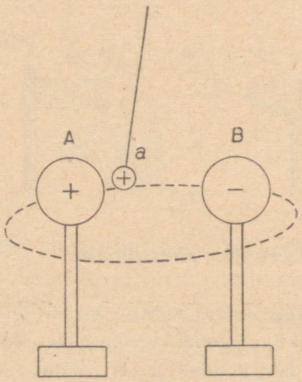
15. **Elektriväli.** Kui lähendame laetud eboniitpulga hüisile, mis ripub siidniidi otsas, siis näeme, et hülss hakkab tõmbuma pulga poole, kuni pulk on sellest veel küllalt kaugel. Puudutanud pulka, tõukub hülss sellest eemale, kusjuures see eemaletõukumine tuleb ilmsiks teatud kaugusel pulgast. Elektroskoobi lehekesed eemalduvad laetud pulga lähendamisel tema kuulikesele, kuigi pulk ei puudutanud elektroskoopi.

Lähendame laetud kerale ühenimeliselt laetud kuulikesed, mis ripuvad siidniidi otsas; me näeme, et kuulikesed tõukuvad eemale, kusjuures see eemaletõukumine on seda suurem, mida lähemale püüame tuua kuulikesed. Need katsed tõendavad, et elektri mõju avaldub mitte üksnes laetud keha vahetus läheduses, vaid ka sellest teatud kaugusel.

Asetame kahe isoleeritud metallplaadi A ja B (joon. 22) vahele mitu väikest paberosutit, mis pöörlevad kergesti teravikel ja on asetatud isoleeritud aluseile.



Joon. 22.



Joon. 23.

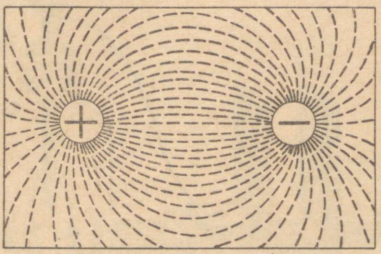
Kuni plaadid A ja B on laadimata, asetuvad osutid korratult, kuid tarvitseb neid ainult laadida, ühendades plaadid A ja B masina konduktoritega, pööravad end osutid kohe ja asetuvad nii, nagu näidatud joonisel 22 (all).

Kui seda katset sooritada anumas, millest õhk on välja pumbatud, oleksid resultaadid samasugused.

Ruumi, milles avaldub mingi jõudude mõju, nimetatakse nende jõudude väljaks.

Elektriseeritud keha lähedal või elektriseeritud kehade vahel on elektriväli.

Olgu A ja B kaks liikumatut juhti (joon. 23), kusjuures juht A on elektriseeritud positiivselt, juht B aga negatiivselt. Juhi A lähedale asetame väikese kuulikese a, mis on laetud positiivse elektriga ja on vabalt liikuv. Kuulike, tõukudes kehast A ja tõmbudes keha B poole, hakkab liikuma A ja B vahel teatud kõverjoont mööda. Kui asetada kuulike mitmesugustele kohtadele juhi A lähedal, siis liigub ta igal üksikjuhul A



Joon. 24. Tungjoonte asetus elektriväljas.

juurest B juurde erinevaid kõverjooni mööda. Eriti kui asetada kuulike A ja B vahelisele sirgjoonele, mis ühendab juhtide A ja B keskkohti, siis kuulike liigub seda sirget mööda.

Jooni, mida mööda liiguvad laengud elektrijõu mõjul, nimetatakse elektri tungjoonteks.

Näitlikult võib elektri tungjooni kujutada järgmise katse abil. Lameda põhjaga anumasse, mis on täidetud vaseliini või tärpentiiniga, puistatakse hiniini kristallikesi või asbestitükikesi. Paigutades sellisesse vedelikku kaks kuulikest, mis on ühendatud elektrimasina poolustega, näeme (joon. 24), et vedelikul ujuvad kehakesed asetuvad kõverjooneliselt.

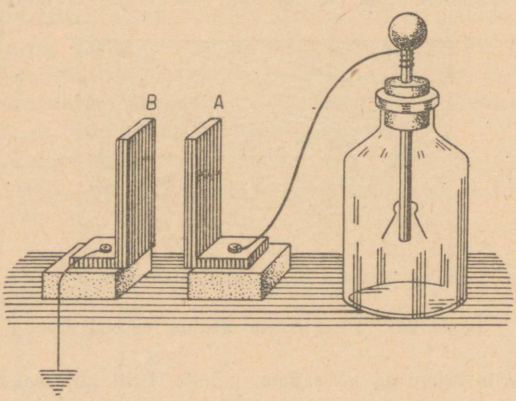
Leppe kohaselt peetakse tungjoonte alguseks positiivset laengut ja lõpuks negatiivset.

Inglise füüsik F a r a d a y oletas, et ühe laengu mõju teisele toimub erilise materiaalse keskkonna kaudu, mis täidab kogu maailmaruumi, kõik vahemikud elektronide ja prootonite vahel. Seda keskkonda nimetatakse e e t r i k s.

Küsimusi.

1. Mida nimetatakse elektri tungjooneks?
2. Mida nimetatakse elektriväljaks?
3. Milles seisab Faraday arvamuse olemus laengute vastastikuse mõju suhtes?

16. **Kondensaator.** Ühendame elektroskoobiga metallplaadi A (joon. 25), mis on kinnitatud parafiinalusele või mõnele muule heale isolaatorile, ja anname plaadile teatud elektrilaengu. Elektroskoobi lehekesed eemalduvad,



Joon. 25.

näidates plaadil elektrilaengu olemasolu. Anname plaadile uue portsjoni laengut — lehekesed eemalduvad veelgi suurema nurga all.

Nihutame plaadile A lähemale plaadi B, mis on ühendatud maaga. Me näeme, et elektroskoobi lehekesed langevad alla. Plaadi B eemalenihutamisel plaadist A eemalduvad lehekesed uuesti endise nurga alla.

Plaati A võib laadida ka plaadi B juuresolekul kuni lehekeste endise eemaldumisnurgani, kuid selleks tuleb plaadile A anda suur laeng. See tähendab, et **plaadi A mahutavus suurenes plaadi B juuresolekul.**

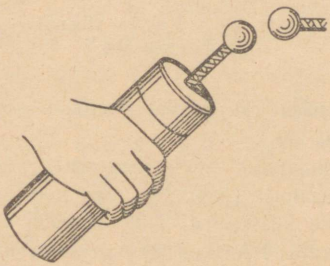
Riista, mis koosneb kahest isolaatoriga eraldatud juhist, nimetatakse kondensaatoriks.

Sõna kondensaator tuleneb ladinakeelsest sõnast *condensare*, mis tähendab ‚tihendama'.

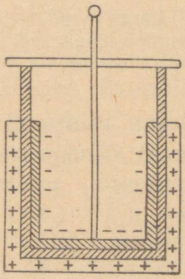
1796. a. Muschenbroek, füüsika professor Leidenis, soovides elektriseerida vett, korraldas järgmise katse.

Ühes käes hoidis Muschenbroek klaasanumat veega, millesse oli pandud metallvarb, mis oli ühendatud elektrimasina konduktoriga. Soovides saada sädet, puudutas ta teise käega vees olevat varba ja sai väga tugeva löögi. Hiljem teisendati seda katset.

Vee asemel kaetakse klaasanuma sisemine osa tinapaberiga, mis ühendatakse nõust väljaulatuva metallvarvaga. Samuti kaetakse anum tina-



Joon. 26. Leideni purgi laadimine.



Joon. 27. Laengu asetumine laetud leideni purgi katteil.

paberiga väljastpoolt. Sellist riista, mis osutub kondensaatoriks, nimetatakse leideni purgiks.

Et laadida leideni purki, selleks võetakse see kätte välist katet pidi, sisemine kate aga ühendatakse elektrimasina konduktoriga (joon. 26). Leideni purgi tühjakslaadimisel saadakse hele säde. Suure leideni purgi tühjakslaadimine võib olla elukardetav.

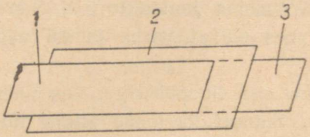
Arutame läbi, mis toimub leideni purgi laadimisel. Oletame, et ühendasime anuma negatiivse konduktoriga. Seesmine kate laetakse negatiivselt.

Väliskatte elektronid, tõugatud seesmise katte elektronidest, lähevad inimese käe ja keha kaudu maasse. Pärast laadimist omandab seesmine kate negatiivse laengu, väline aga — positiivse.

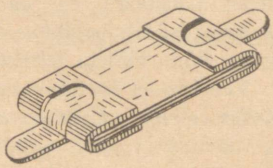
Nii on leideni purgi mõlemad katted laetud isenimelise elektriga (joon. 27).

Ühendanud isoleeritud käepideme küljes oleva traadi — t ü h j e n d a j a abil seesmise katte välisega, anname seesmise katte elektronidele võimaluse asuda väliskattele, kusjuures selle üleminekuga kaasneb säde.

Tehnikas kasutatakse kondensaatoreid, mis koosnevad stannioliga kaetud vilgukivi-lehekestest, — püsiva mahutavusega lamedaid kondensaatoreid (joon. 28).



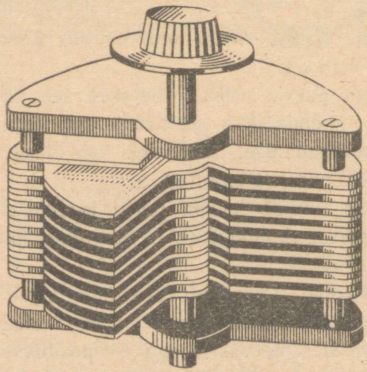
Joon. 28. Lame kondensaator: 1 ja 3 stannioli-lehekesed, 2 — vilgukivi-plaadike nende vahel.



Joon. 29. Valmis vilgukivi-kondensaator.

Väga tihti koosnevad lamedad kondensaatorid tervest seeriast stannioliga kaetud vilgukivi-plaadikestest (joon. 29).

Raadiotehnikas kasutatakse peale nimetatud kondensaatorite veel m u u t u v a m a h u t a v u s e g a kondensaatorit (joon. 30). See koosneb kahest teineteisest isoleeritud metallplaatide süsteemist. Uks süsteem on liikumatu, teist aga võib telje ümber pöörata. Pöörates liikuvat süsteemi, muudetakse kondensaatori mahutavust.

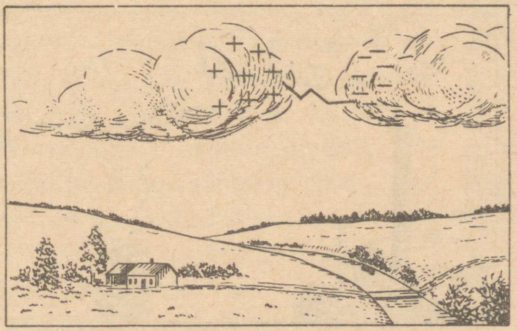


Joon. 30. Muutuva mahutavusega kondensaator.

Küsimusi.

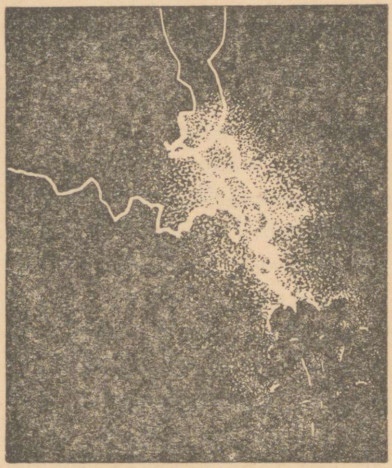
1. Mida nimetatakse kondensaatoriks?
2. Kas võib kondensaatori mõlemaid katteid laadida ühenimeliste laengutega?
3. Kas võib laadida ainult ühte kondensaatori katet, jättes teise laadimata?

17. **Elektrilisi nähtusi atmosfääris.** Palavail suvepäevil võib sageli täheldada äikest. Ammugi on teada, et välk ei ole midagi muud, kui elektrisäde, sarnane sädemele, mis saadakse elektrimasina või leideni purgi tühjendamisel, müristamine aga on ragin, mis saadab sädet. Katseliselt tõestas seda esmakordselt 1752. a. ameerika õpetlane Franklin. Franklin laskis äikese ajal pilvedesse tavalise metallteravikuga varustatud lohe. Lohe lasti üles nööri otsas, mis lõppes Franklini käes oleva siidnööriga. Kui nöör märjaks sai ja juhiks muutus, võis sellest saada väga suuri sädemeid, milledega kaasnes tugev ragin. Need katsed on väga kardetavad. 1753. a. sai sel kombel saadud sädemest surma Lomonossovi sõber, vene õpetlane Richman. Välgu tekkimist võib seletada järgmisel viisil. Kui kaks pilve, mis on laetud isenimeliste elektritega, lähenevad teineteisele teatud kaugusele, siis toimub nende vahel



Joon. 31.

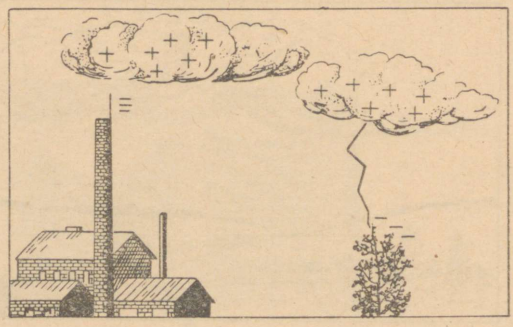
laengutühjendus — välk, mida saadab ragin — müristamine (joon. 31). Välk ja müristamine toimuvad üheaegselt, kuna aga valguskiire levimiskiirus on 300 000 km/sek ja hääle oma kõigest 340 m/sek, siis kuuleme müristamist alles pärast seda, kui oleme valgust näinud. Laengutühjendus — välk — ei tarvitse toimuda ainult kahe pilve vahel, vaid ka pilvede ja maa vahel (joon. 33).



Joon. 32. Välgu foto.

Kui näiteks positiivse elektriga laetud äikesepilv tuleb maale küllalt lähedale, siis kutsub ta maa selles kohas, eriti aga kõrgeis esemeis, mõju läbi esile negatiivse elektri. Seejuures võib toimuda pilve ja maa vahel laengutühjendus — välgulöömine.

Kujult on välgud väga mitmesugused: sirgete kitsaste ribade näol, siksakitaoliste ribadena ja helendava kera kujul;



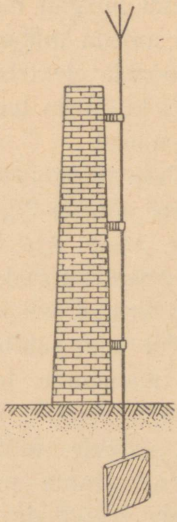
Joon. 33.

viimased lõhkevad kõrvulukustava müraga. Välk, mis on löönud puusse, pilbastab selle ja söestab sageli. Kui välk läheb läbi metallide, siis ta sulatab need. Sattudes liivasse, välk sulatab selle, moodustades omapärase kujuga torukesi, mida rahvas nimetab piksenooltеks (fulguriidid).

Küsimusi.

1. Mis on välk?
2. Millest tekib välk?
3. Mis on müristamine?
4. Kuidas tekib välk pilve ja maa vahel?
5. Millega on seletatav, et müristamist kuuleme hiljem, kui näeme välku?

18. **Piksevarras.** Et kaitsta hooneid välgu purustava tegevuse eest, kasutatakse Franklini poolt soovitatud piksevarrast. Lihtsamakujuline piksevarras kujutab endast teravaotsalist metallvarba, mis pannakse hoonete katustele (joon. 34). Metallvarb ühendatakse väga heade elektrijuhtide abil maja kõigi metallosadega, nagu raudkatusega, veetorustikuga ja samuti ka maaga pinnase niiskeisse kihtidesse kaevatud vasklehe abil. Laetud pilve poolt piksevarda teravikule tõmmatud elekter voolab õhku. Kui pikne löökski piksevardasse, siis pilve elekter läheb juhti mööda maasse, toomata majale mingisugust kahju. Kõige tähtsam piksevarda ehituses on hea ühendus maaga — maandamine. Vastasel juhul piksevarras mitte ainult ei too kasu, vaid tõmbab enesele pikselöögi. See võib hoonet kahjustada. Olgu tähendatud, et piksevarras



Joon. 34. Piksevarras.

müristamist ei takista, sest müristamine on ragin, mis kaasneb välgulöömisega.

Küsimusi.

1. Kuidas on ehitatud piksevarras?
2. Misjaoks kasutatakse piksevarrast?

19. **Laengute liikumine juhis.** Eespool nägime (joon. 9), et kui kuiva niidi abil ühendasime laetud elektroskoobi laadimata elektroskoobiga, läksid laengud ühelt elektroskoobilt teisele. See laengute üleminek kestab seni, kui elektroskoobid on laetud ühe ja sama astmeni, mida võime otsustada lehekeste laialimineku nurga suuruse järgi.

Laeme kaks ühesugust elektroskoopi ühenimelise elektriga erinevais astmeis. Elektroskoopide lehekesed lähevad laiali erinevalt. Kui elektroskoopide kuulikesi ühendada juhiga, siis algab laengu üleminek juhti mööda, kuni lehekeste laialimineku nurgad muutuvad ühesugusteks. Mis sunnib laenguid juhti mööda ümber asuma? Miks katkeb üleminek, kui elektroskoopide elektriseerumisaste saab ühesuguseks?

Et kujutella laengute liikumise mehhanismi, vaatleme järgmist näidet.

Kaks külgmiste torudega kolbi on ühendatud, nagu näidatud joonisel 35, pumbaga, mis pumpab ühest kolvist õhku välja, teise aga surub juurde. Kolbide korkidesse on pandud manomeetri torud, ja üks toru, mis ühendab kolbe, on varustatud kraani või näpitsaga.

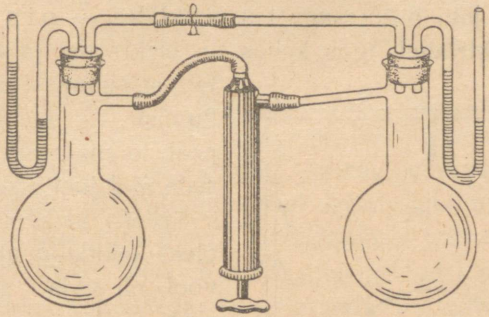
Kui me pumbaga töötame, siis saavutatakse ühes kolvis õhu tihenemine, teises — hõrenemine.

Manomeetrid märgivad need tihenemised ja hõrenemised oma nivoode muutumisega.

Katkestame pumba tegevuse ja avame kraani. Manomeetrite nivoode muutumine lubab järeldada, et ühendavas torus tekib õhu vool. Õhu liikumine kestab niikaua, kuni on

olemas surve — rõhumiste vahe anumates —, mis paneb õhu liikuma. Kui rõhumised neis võrduvad, kaob surve — õhu vool katkeb.

Meie seadeldises vastavad erineva õhurõhumisega kolvid elektroskoopidele, mille elektriseerumisastmed on erinevad (s. o. kas elektroskoobid on laetud isenimeliste laengutega või on ühenimeliste laengute juures lehekeste laialimineku nurgad erinevad); ühendav toru vastab juhile. Põhjuseks, mis



Joon. 35.

sunnib laenguid juhti mööda ümber asetuma, me peame katsete alusel pidama juhiga ühendatud elektroskoopide elektriseerumisastmete vahet.

Näites elektroskoopidega saime laengute ümberasetumise, mis kestis väga lühikest aega. Me võiksime seda pikendada, kui hoiaksime alal elektroskoopide elektriseerumisastmete vahe.

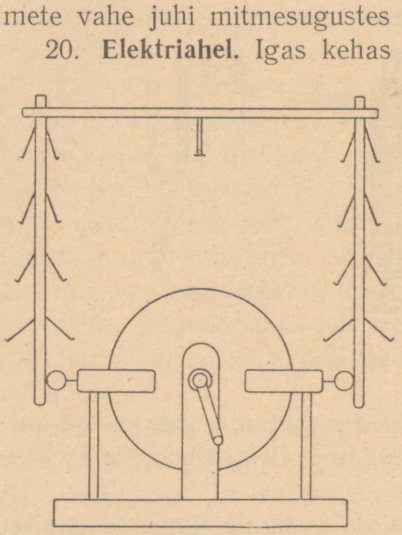
Ühendame elektrimasina konduktorid puukeppidega, millele on kinnitatud paberiribad (joon. 36). Kui masinat ringi ajada, siis lähevad ribad eri kohtades laiali erinevalt, näidates sellega ühtlasi, et mitmesugustes punktides on olemas elektriseerumisastmete vahe, mis säilitab voolu.

Nähtus võttis sellise kuju, nagu ta oleks võtnud joon. 35 näidatud seadeldises, kui oleks hakatud pumbaga töötama ühendava toru kraani lahtiolekul. On selge, et esimeses kolvis, vaatamata õhu liikumisele torus, säiliks surumine, aga teises kolvis hoiduks alal hõrenemine.

Järelikult õhuvoolu liikumise vajalikuks tingimuseks on kolbide rõhumise vahe — surve.

Täpselt samuti elektrilaengute — elektronide — liikumise vajalikuks tingimuseks juhis peab olema elektriseerumisastmete vahe juhi mitmesugustes punktides — p i n g e.

20. **Elektriahel.** Igas kehas on elektrone, ja et saavutada teatud suunas elektronide liikumist — elektrivoolu —, peab looma pinge ja hoidma seda alal juhi otsades.



Joon. 36.

Selleks, et kepis (joon. 36) oleks tekkinud alaline elektrivool, oli vaja elektrimasinat ringi ajada, s. o. teha tööd. Tähendab, elektrimasinas toimub mehaanilise energia muundumine elektrienergiaks. Elektrimasin on generaatoriks (allikaks) elektrienergiale, mis tekitab pinget mehaanilise energia arvel. Niikaua kui vool läheb keppi mööda, mis ühendab elektrimasina konduktoreid (joon. 36), on üks konduktoreist laetud positiivselt, teine — negatiivselt.

Konduktorite elektriseerumisastmete vahe ongi pinge põhjuseks, mis hoiab alal voolu.

Et juhti läbiks vool, on vaja juhi otsades hoida alal pinget.

Seadmeid, mis juhi otsades kutsuvad esile pinge, nimetatakse generaatoreiks ehk vooluallikaiks.

Ühed generaatorid tekitavad pinge mehaanilise energia arvel, teised — keemilise energia arvel ja kolmandad — soojusenergia arvel. Seadeldisi, mis võimaldavad elektrienergiat muundada energia muudeks vormideks, nimetatakse *vastuvõtjaiks*. Vastuvõtjaiks osutuvad elektrilambid, elektriahi, elektrimootor jt.

Kuna vastuvõtja on harilikult generaatorist kaugel, siis on vaja selleni viia elektrivool, milleks kasutatakse metalljuhtmeid.

Ühendades vooluallika juhtmete abil vooluvastuvõtjaga, saame suletud ahela, mida mööda tsirkuleerib vool.

Voolu kasutamisel on tarvilik omada võimalust juhtida elektronide voolu. Lihtsaimal juhul seisab juhtimine elektronide voolu katkestamises või uuendamises juhtmete lahutamise või ühendamise teel. Keerukamail juhtudel annab juhtimine võimaluse vähendada ja suurendada (teatud piirides) elektronide hulka, mis läbivad ahelat.

Niisiis igas elektrivooluahelas me eristame: 1) *generaatori*, kus mingi energia liik muundatakse elektrienergiaks; 2) *vastuvõtja*, kus elektrienergia tarvitatakse ära, s. o. kus elektrienergia muundub soojusenergiaks (lamp, ahi), mehaaniliseks (mootor) või keemiliseks energiaks; 3) *juhtmed*, mis viivad energia vastuvõtjasse, ja loovad elektronide suletud liikumisvõimaluse; 4) *vooluandmise juhtimise*, s. o. elektroonide voolu katkestamise ja uuendamise seadeldis mis võimaldab mõnikord ka muuta selle voolu suurust.

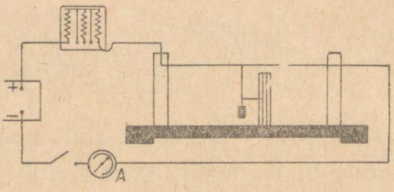
21. **Elektrivool.** Elektrivooluga kaasnevad mitmesugused nähtused, mida nimetame voolu toimeks.

Vaatleme mõningaid elektrivoolu avaldusi.

Juhtide soojenemine. Laseme voolu läbi tugede vahel pingule tõmmatud nikkeltraadi, millel ripub väike koormus, mis

venitab traati keskkohast. Koormuse lähedale on asetatud skaala, mille järgi saab määrata koormuse kõrgust seadise aluse kohal (joon. 37).

Voolu läbilaskmise juures traadist langeb koormus allapoole, mis osutab traadi pikenemisele soojenemise tõttu. Mida tugevam on traadist läbilastav vool, seda madalamale langeb koormus.



Joon. 37.

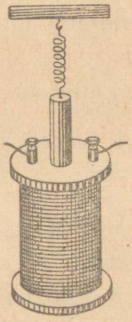
Juht, mida läbib vool, soojeneb.

Voolu magnetiline toime. Mähime isoleeritud traadi suure raudnaela ümber. Kui lasta vool juhtmest läbi, siis muutub raudnael magnetiks — tõmbab külge raudesemeid; kui vool katkestada, siis külgetõmmatud esemed kukuvad maha — nael lakkab olemast magnetiks.

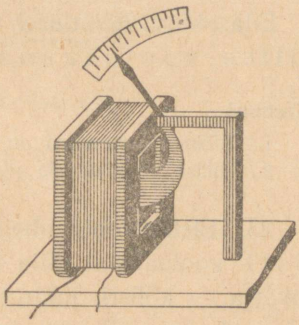
Voolu magnetilist toimet võib ilmestada ka järgmise katsega. Asetame traatpooli sisse tüki rauda, mis ripub vedru küljes. Kui poolis voolu ei ole, on rauatükk liikumatu. Poolist voolu läbilaskmisel tõmbub rauatükk (südamik) pooli sisemusse (joon. 38). Täpselt samuti tõmbub pooli sisemusse raudsüdamik, mis on kinnitatud teljele (joon. 39). Soojeneva traadi või poolisse tõmbuva südamikuga riistad võivad olla voolunäitajaiks juhis ja voolumõõtjaiks.

Selliseid riistu, mis näitavad voolu olemasolu, nimetatakse galvanomeetriteks.

Voolu keemilised toimed. Juhime voolu läbi vasevitrioli lahuse. Et juhtida voolu lahusesse ja välja, asetame lahusesse kaks söeplaadikest — elektroodid, mis on ühendatud vooluallikaga. Võtnud mõne minuti pärast plaadikesed lahusest välja, näeme, et ühele neist on ilmunud punakas vasekiht, mis on eraldunud vasevitriolist. Vase eraldumine lahusest osutab keemilistele nähtustele lahustes voolu läbiminekul nendest.



Joon. 38. Raudsüdamiku tõmbumine poolisse, mida läbib vool.



Joon. 39. Galvanomeetri ehituse skeem.

Niisiis keemilised nähtused lahustes võivad olla ka voolunäitajaiks juhis.

Küsimusi.

1. Milliste toimingute abil võib saada teada, kas juhis on voolu?
2. Kuidas näidata, et elektrivool avaldab magnetilist toimet?
3. Kuidas nimetatakse riistu, mis näitavad elektrivoolu olemasolu juhis?
4. Kuidas näidata, et elektrivool avaldab keemilist toimet?

22. **Elektrivoolu suund.** Igal vooluallikal on vooluahelasse lülimiseks kaks klemmi. Neid vooluallika osasid nimetatakse poolusteks. Üks poolustest on laaditud positiivselt — positiivne poolus; teine negatiivselt — vooluallika negatiivne poolus.

Vaadeldes elektrivoolu juhis kui elektronide voolu, me peaksime võtma voolu suunana elektronide liikumise suuna, s. o. suuna vooluallika negatiivsest poolusest positiivse pooluse poole, sest just selles suunas liiguvad elektronid.

Kuid elektronide teooria arenes alles hiljuti. Varem arvati, et elektrivool läheb vooluallika positiivselt pooluselt negatiivsele. Sellist voolusuunda, erinevalt tõelisest — elektronide suunast, nimetatakse tehniliseks suunaks.

Edaspidisel käsitlusel võtame voolusuunana igal pool tehnilise voolusuuna.

Küsimusi.

1. Milline voolusuund on tõeline (elektronide suund)?
2. Millist voolusuunda nimetatakse tehniliseks?

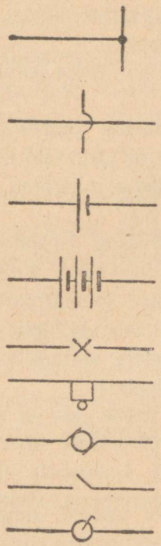
23. **Elektrivoolu ahelate näiteid.** Vaatleme elektrikõlisti vooluahelat. Siin on meil: generaator — element, vastuvõtja — kõlisti, juhtmed, mis toovad juurde voolu, ja juhtimisseade — nupp, mis annab võimaluse seada jalule või katkestada elektronide liikumist ahelas ja järelikult anda energiat elemendilt kõlistile.

Taskulambi ahelas võime samuti leida: generaatori patarei; 2) vastuvõtja — lambikese; 3) juhtmed — plaadid, mis on kinnitatud patareile; 4) juhtimisseadme — nupu, mille abil süütame lambikese.

Elektritrammi ahelas on generaatoriks jaama dünamomasin, vastuvõtjaks trammi mootor. Energiat saadakse siin ülemise juhtme ja looga kaudu; teiseks juhtmeks on rööpad. Juhtimine on trammi esiosas. Me märkame, et trammi vooluahela juhtimisseade annab võimaluse mitte ainult voolu sisse- ja väljalülimiseks, vaid ka voolu nõrgendamiseks ja tugevdamiseks.

Joonised, mis kujutavad mitmesuguste elektriseadiste omavahelist ühendamist, nimetatakse skeemideks.

Seadiste skeemide joonestamiseks kasutatakse spetsiaalseid märke, mis on kujutatud allpool olevas tabelis.



Juhtmete ühendamine.

Ristuvad ühendamata juhtmed.

Element: väike jooneke — — positiivne poolus.

Elementide patarei.

Lamp.

Kõlisti.

Mootor.

Voolukatkestajad.

24. **Laboratoorne töö nr. 1.** Töö eesmärk. **Koostada elektrivoolu ahel generaatorist, vastuvõtjast, juhtmeist ja juhtimisseadeldistest.**

Riistad ja materjalid: elektrikõlisti; galvaani element; 3 tükikest isoleeritud traati; võti kahe näpitsaga (klemmiga); kõlisti nupp, nuga juhtmete puhastamiseks; kruvikeeraja.

Leida elemendi poolused. Leida elektrikõlisti klemmid. Puhastada vaskjuhtmete otsad isolatsioonist või kui see on juba tehtud, siis oksüüdi kihist. Ühendada üks kõlisti klemmidest patarei poolusega. Kõlisti teine klemm ja teine poolus ühendada juhtme abil võtme mõlema klemmiga.

Ülesandeid II peatüki juurde.

1. Kuidas näidata, et kahe keha vastastikusel hõõrdumisel mõlemad kehad elektriseeruvad, kuid teineteisele vastupidise elektriga?

2. Peenikeste siidlõngade otsa on riputatud kaks täiesti ühesugust leedri säsi kuulikest, üks laetud, teine — laadimata. Kuidas teha kindlaks, milline kuulike on laetud?

3. Millega seletada, et kerge leedrisäsi-kuulike, mis algul hakkab elektriseeritud kepikese külge, siis sellest jälle eemale tõukub?

4. Miks võib hõõrumisega elektriseerida eboniitpulka, hoides seda käes, ja miks ei saa elektriseerida valgevaskvarba, hoides seda käes, ka siis mitte, kui temaga puudutada laetud keha?

5. Miks laetud elektroskoop tühjeneb, kui tema kuulikest puudutada käega?

6. Miks soovitatakse elektriseerimiskatsete juures riputada mitmesuguseid elektriseeritud kehi mitte harilike niitide, vaid siidniitide külge?

7. Kuidas võib elektroskoobi abil kindlaks määrata, millise elektriga keha on laetud?

8. Milliseid kehi nimetame juhtideks, milliseid isolaatoreiks? Nimetada mõned juhid ja mõned isolaatorid.

9. Miks elektriahelate ühendused tehakse metalltraatide abil?

10. Vaadelda, kuidas on ehitatud elektrilambi juhe ja näidata selle juhtme valmistamiseks kasutatud mitmesuguste materjalide otstarve?

11. Miks seinakontaktid tehakse portselanist?

12. Miks korrasolev elektrikõlisti ei helise, kui ei vajutata nupule?

13. Joonestada taskulambi vooluahela ühenduste skeem.

14. Joonestada ühenupuga elektrikõlisti vooluahela skeem.

15. Joonestada vooluahela skeem kahenupuga elektrikõlisti jaoks, mille abil saab kõlistada kahest toast.

16. Joonestada vooluahela skeem, mis koosneb elektrilambist ja vooluallikast, näidata noolega voolu suund selles skeemis.

17. Näidata teistsuguse noolega, milline on elektronide liikumissuund selles ahelas.

III peatükk.

ELEKTRIENERGIA MUUNDUMINE KEEMILISEKS ENERGIAKS JA VASTUPIDI.

25. **Elektrivool metallides.** Vasktraati võib kuumendada tulipunaseks, kui sellest lasta läbi elektrivool; ent tarvitseb vaid vool katkestada ja lasta traadil jahtuda, kui ta saab jälle selleks, milline oli enne katset. Traadi keemiline koostis ei muutu. Füüsikud lasksid voolu läbi kolmest tihedalt üksteise kõrval seisvast silindrist — vask-, alumiinium- ja vasksilindrist

— tervelt ühe aasta jooksul ja ei avastanud mingit muutust silindrite kaalus. Kõik need katsed on selle tõenduseks, et vool metallides ei teki aatomite ja molekulide liikumise teel.

Seepärast peame oletama, et voolu läbiminekust metallist võtavad osa üksnes elektronid, mis liiguvad vabalt aatomitevahelistes ruumides. Molekulid ja aatomid tahketes juhtides jäävad oma kohale. 1916. a. korraldasid füüsikud järgmise katse. Nad võtsid mitmesugustest metallidest poolid, ühendasid nende juhtmete otsad galvanomeetriga ja panid poolid väga kiiresti keerlema. Siis peatasid nad neid järsku. Seejuures pandi tähele, et pärast poolide peatumist oli neis lühikest aega veel vool.

Selle katse seletus on järgmine. Metallis on olemas vabad elektronid, ja andes poolidele teatud kiiruse, antakse sama kiirus ka elektronidele. Poolide peatumisel vabad elektronid, liikudes inertsi põhjal, lähevad edasi, mida tähistataksegi vooluna.

Küsimusi.

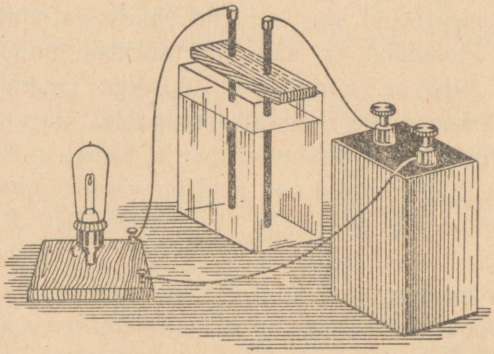
1. Mida kujutab enesest elektrivool tahketes juhtides?
2. Kas võtavad elektrivoolu liikumisest osa ka tahke juhi aatomid ja molekulid?
3. Millist katset on korraldatud selle tõenduseks, et elektrivool tahketes juhtides on vabade elektronide vool?

26. **Elektrolüüs.** Paigutame klaasanumasse teineteisest teatud kaugusele kaks söepulka, milledele kinnitame vooluallika juhtmed (joon. 40). Ühte juhtmesse lülime elektrilambi. Lõpetanud juhtmete lülimise, märkame, et lamp ei põle: vooluahel on söepulgakeste vahel katkenud, mistõttu vool ei lähe läbi lambi. Valame anumasse puhast vett. Ka sel juhul lamp ei põle, kuigi söepulgakeste vahel on veekiht. Tähendab, puhas vesi ei lase voolu üldse läbi või kui lasebki, siis väga vähe.

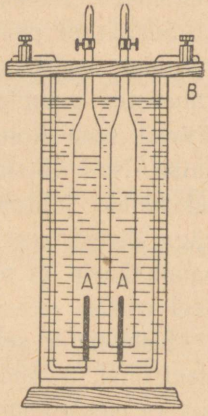
Eraldame söepulgakeste küljest juhtmed ja asetame nende vahele kuiva vasevitrioli kristalli. Ka nüüd lamp ei põle: vasevitrioli kristall ei juhi voolu üldse või juhib halvasti.

Lahustame vasevitrioli vees ja valame selle lahuse anumasse, milles söepulgakesed on lülitud vooluahelasse. Me näeme, et anumat läbib vool ja et ühel söepulgal sadestub vask.

Samuti võime veenduda, et vesi hakkab voolu läbi laskma, kui lisame temasse mõne tilga väävelhapet. Vool läbib hapendatud vee ja söepulgakestel eralduvad gaasimullikesed.



Joon. 40.



Joon. 41.

Kogume eraldunud gaasi. Sel eesmärgil valame kõrgesse purki nõrka väävelhappe lahust ja laseme sellesse kaks vasktraati, mille otstele on kinnitatud peenikesed ümmargused söekesed A (joon. 41). (Osa juhet, mis on väljaspool klaastorusid, on hästi isoleeritud. Söekesed on paigutatud klaastorude sisemusse, torud ise aga on kinnitatud paratineeritud lauakese B külge). Lasknud vooluahelasse voolu ja kogunud gaasi, teeme kindlaks, et üks neist gaasidest on vesinik, teine — hapnik.

Vedelikke, milles voolu läbimisel täheldatakse keemilisi nähtusi, nimetatakse elektrolüütideks. Nähtusi, mis on täheldatavad elektrolüütides, kui neid läbib vool, nimetatakse elektrolüüsiks.

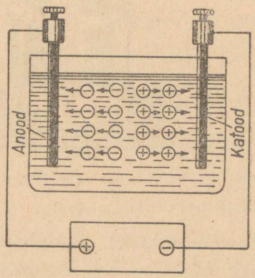
Elektrolüüti pandud plaadikesi, mille abil elektrolüüt lülitakse vooluahelasse, nimetatakse elektroodideks. Elektroodi, mis on ühendatud vooluallika positiivse klemmiga, nimetatakse anoodiks, teist elektroodi nimetatakse katoodiks.

Elektrolüüsi nähtust seletatakse järgmiselt:

Aine lahustumisel tema molekulid lagunevad (dissotsieeruvad) vee molekulide mõjul kooste-osadeks. Molekulide lagunemisel jaotuvad elektronid ebaühtlaselt. Need aatomid ja aatomite rühmad, milledel on elektrone vähem kui positiivselt laetud aineosakesi, saavad positiivse laengu, aga teised, milledele läheb üle elektronide ülejääk, saavad negatiivse laengu. Selliseid laetud aatomeid või aatomite rühmi nimetatakse i o o n i d e k s[1]. Ioonide laengud, mis tekivad molekulide lagunemisel, on suuruselt võrdsed, sest ühinemisel annavad nad molekuli, mis ei elektriseeru. Selline molekulide dissotsieerumise protsess ioonideks kestab lahuses kogu aja. Uhes sellega toimub ka vastupidine protsess — ioonide ühinemine neutraalseiks molekulideks, sest ioonid on alalises liikumises ja põrkavad seepärast omavahel kokku. Kaks protsessi: molekulide dissotsiatsioon ja vastupidine protsess — molekulide tekkimine ioonidest — toimuvad üheaegselt.

Vaatleme soolhappe (HCl) elektrolüüsi. Selles lahuses leidub peale soolhappe neutraalsete molekulide (HCl) soolhappe lagunenud aineosakesi: vesiniku aatomeid (H), milledest igaüks on kaotanud ühe elektroni ja mis kannavad seepärast positiivset laengut, ja kloori aatomeid (Cl), mis on saanud liigse elektroni ja omavad seetõttu negatiivset laengut (joon. 42).

Kui sellisesse lahusesse panna elektroodid, mis on ühendatud vooluallika poolustega, siis hakkavad ioonid liikuma elektroodide poole. Positiivselt laetud ioone, mis liiguvad katoodi poole, nimetatakse k a t i o o n i d e k s; negatiivselt laetud ioone, mis liiguvad anoodi poole, nimetatakse a n i o o n i d e k s. Positiivsed vesiniku ioonid liiguvad katoodi poole, sest katoodplaadike evib negatiivselt laetud keha omadusi, kloori ioonid aga liiguvad anoodi poole, sest anoodplaadike evib positiivselt laetud keha omadusi. Jõudnud elektroodideni, annavad vesiniku ja kloori ioonid oma laengu elektroodidele, muutuvad seega laengute aatomeiks ja eralduvad lahusest gaasi näol.



Joon. 42.

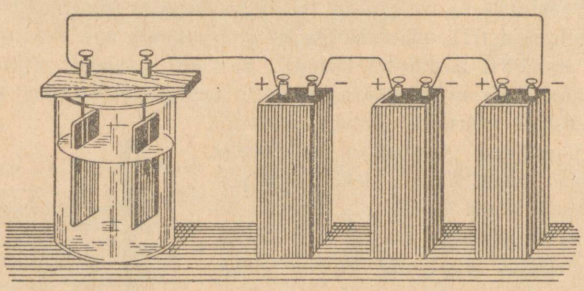
Ioonide liikumisest lahuses on tingitud kaks üheaegset protsessi: aine eraldumine elektroodidele ja voolu läbimine lahusest elektrilaengute edasikande teel ioonide kaudu. Elektronide vahetut läbiminekut, nagu metallides, elektrolüütides pole olemas.

[1] *Jonos* (kreeka k.) tähendab — rändav

Küsimusi.

1. Mis on elektrolüüs?
2. Milliseid elektrijuhte nimetatakse elektrolüütideks?
3. Mida nimetatakse elektrolüütseks dissotsiatsiooniks?
4. Mida nimetatakse iooniks?
5. Millistes suundades liiguvad positiivsed ja negatiivsed ioonid lahuses, kui lahust läbib vool?
6. Miks liiguvad lahuses positiivsed ioonid katoodi poole, negatiivsed aga anoodi poole?

27. **Väävelhapu vase lahuse elektrolüüs.** Laseme voolu läbi vasevitrioli lahuse, võttes elektroodideks kaks vaskplaadikest ja määrates algul väga täpselt kindlaks nende plaadikeste kaalu (joon. 43). Lülime voolu 15 minuti pärast välja, peseme plaadikesed puhtaks ja kuivatame nad.



Joon. 43.

Katoodplaadikesel on selgesti näha eraldunud vask. Kui katoodplaadikest uuesti kaaluda, siis selgub, et see on muutunud raskemaks; kaalunud anoodplaadikese, võime märgata, et see on läinud kergemaks ligikaudu niipalju, kuipalju on juurde tulnud katoodplaadikese kaalule. Siit tuleme järeldusele, et vasevitrioli elektrolüüsis ilmub katoodile puhas vask, aga anoodplaadikese vask läheb järk-järgult lahusesse.

Elektrolüütilise dissotsiatsiooni teooria alusel võib vasevitrioli lahuse elektrolüüsi selgitada järgmiselt: lahuses on $CuSO_4$ molekulid, vase positiivsed ioonid (Cu) ja negatiivsed ioonid (SO_4). Seejuures võivad positiivsed ja negatiivsed ioonid omavahel ühineda ja moodustada $CuSO_4$ molekule, molekulid omakorda aga võivad laguneda ioonideks. Vase (Cu) aatomid kaotavad dissotsieerumise juures osa oma elektronest ja laevad end

positiivselt, aga happe jäägi (SO_4) aatomid omandavad elektrone ja laevad end negatiivselt.

Voolu sisselülimisel ahelasse tekib vedelikus Cu ioonide liikumine katoodi poole ja SO_4 ioonide liikumine anoodi poole. Vasevitrioli lahuse elektrolüüsi kogu protsess koosneb kahest osast, mida võib avaldada järgmiste võrranditega.

1. Primaarne elektrolüütiline protsess:

$$CuSO_4 = Cu + SO_4.$$

2. Sekundaarne keemiline protsess:

$$SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O.$$

Katoodile sadestunud vask on primaarse elektrolüütilise protsessi produkt, gaasitaoline hapnik anoodil aga sekundaarse keemilise protsessi produkt.

Küsimusi.

1. Mis sünnib vasevitrioli-lahusega, mida läbib vool?
2. Millisele elektroodile eralduvad lahusest vase osakesed ja millisele hapniku osakesed?

28. **Lahjendatud väävelhappe elektrolüüs.** Eespool kirjeldatud hapukaks tehtud vee elektrolüüsi võib seletada järgmiselt: väävelhappe molekul laguneb lahuses kaheks vesiniku iooniks ja üheks SO_4 iooniks:

$$H_2SO_4 = H + H + SO_4.$$

Iga vesiniku ioon omab ühte positiivset laengut, sest vesiniku aatom kaotas ühe elektroni. H ja SO_4 kahe iooni ühinemisel saadakse väävelhappe neutraalne molekul H_2SO_4. Järelikult SO_4 omab kahte negatiivset laengut. Lahuse vesiniku ioonid liiguvad katoodi poole, SO_4 ioonid aga anoodi poole. Happejääk SO_4 annab vee molekuliga teineteist vastastikku mõjutades väävelhapet ja hapnikku, mis eraldub anoodil.

Väävelhappe elektrolüüsi protsess koosneb kahest osast, mida võib väljendada järgmiste võrranditega.

1. Primaarne elektrolüütiline protsess:

$$H_2SO_4 = H + H + SO_4$$

2. Sekundaarne keemiline protsess:

$$SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$$

Katoodil eraldub vesinik, anoodil aga vaba hapnik, mida katses märkamegi.

Küsimusi.

1. Mis toimub väävelhappe lahusega, mida läbib vool?
2. Millisel elektroodil eraldub väävelhappe elektrolüüsis vesinik, millisel hapnik?

29. **Elektri hulk. Kulon.** Lasknud voolu läbi vasevitriollahuse, vaatleme vase eraldumist söekatoodil. Katse näitab, et algul söekatood kattub vaevalt märgatava vasekihiga, siis vastavalt voolu läbilaskmisele suureneb vasekiht katoodil ja voolupikaaegsel läbilaskel võib saada söel küllaltki paksu vasekihi, millele on kerge külge joota näiteks vaskjuhet, mida praktikas sageli ka tehakse.

Kuna soolade ja hapete lahustes elektrilaengud liiguvad koos aineosakestega, siis mida rohkem eraldub katoodil ainet, seda enam laenguid läheb läbi lahuse.

Kuulus inglise füüsik F a r a d a y, uurides elektrolüüsi nähtust, tegi kindlaks selle nähtuse seaduse.

Elektrolüüsil eraldunud aine kaaluline hulk on võrdeline lahusest läbinud elektrihulgaga.

Selle seaduse alusel võib kindlaks määrata elektrihulga ühiku.

Elektrihulga ühikuks võetakse elektrihulk, mis hõbedasoola lahuse läbimisel eraldab katoodil 1,118 milligrammi hõbedat.
Seda ühikut nimetatakse kuloniks.

N ä i d e. Mitu kulonit elektrit läbis hõbedasoola lahuse, kui katoodile eraldus 2236 mg?

L a h e n d u s. 1,118 mg eraldab 1 kulon.

$$2236 \text{ mg eraldab } \frac{2236}{1{,}118} = 2000 \text{ kulonit.}$$

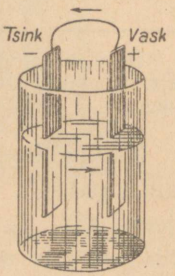
Faraday tõestas, et mitmesuguste ainete kaaluline hulk, mis elektrolüüsil ühe kuloni elektri läbiminekul eraldub, on mitmesugune, kuid igale antud ainele konstantne (muutumatu). Nii näiteks eraldub ühe kuloni läbimisel: vaske — 0,329 mg; niklit — 0,304 mg; tsinki — 0,338 mg jne.

Küsimusi.

1. Mis alusel võib kindlaks määrata vooluahela läbinud elektrihulga?
2. Mis on võetud elektrihulga ühikuks?

30. **Volta element.** Lihtsaimaks vooluallikaks on volta element (vt. lk. 64).

Volta element (joon. 44) koosneb vask- ja tsinkplaadikesest, mis on asetatud 10-protsendilisse väävelhappe lahusesse. Positiivne elektrood selles on vask, negatiivne — tsink. Vool välisahelast läheb vaselt tsingile. Vaadeldes, mis sünnib elemendi plaadikestega, kui element töötab, märkame, et tsink lahustub, aga vaskplaadikesele eraldub gaas — vesinik.



Joon. 44. Volta element.

Järelikult on elektrienergia saamine elemendilt seotud elemendi koosseisu kuuluvate ainete keemilise reaktsiooniga.

Lülime värske elemendi elektrikõlisti klemmide külge. Kell kõliseb algul valjusti, siis muutudes järk-järgult vaiksemaks, lakkab kõlisemast. Vool ahelas väheneb. See elemendi poolt antud voolu nõrgenemine on kutsutud esile niinimetatud elemendi polarisatsiooniga, mis ilmneb sellest, et vasele eraldunud vesinik, andnud sellele oma laengud, katab plaadi gaasimullikestega ja takistab sellega vesiniku ioonide pääsu lahusest plaadikese juurde. Elemendi polarisatsiooni vältimiseks pannakse lahusesse mitmesuguseid keemilisi aineid, mida nimetatakse depolarisaatoreiks, mille ülesandeks

on takistada vesiniku sadestumist elemendi positiivsele elektroodile.

Selliseid aineid on palju. Väga tihti kasutatakse näiteks mangaanülihapendit ja kaaliumbikromaati.

Küsimusi.

1. Mida nimetatakse elemendi polarisatsiooniks?
2. Kuidas nimetatakse aineid, mida kasutatakse elemendi polarisatsiooni hävitamiseks?

31. **Grenet'** (loe grenee) **element.** Gernet' element on mittepolariseeruvat tüüpi element. Elektroodideks selles elemendis on tsink- ja sõeplaadike, mis on asetatud lahusesse, mis koosneb 1000 cm^3 veest, 100 g kaaliumbikromaadist ja 100 cm^3 väävelhappest.

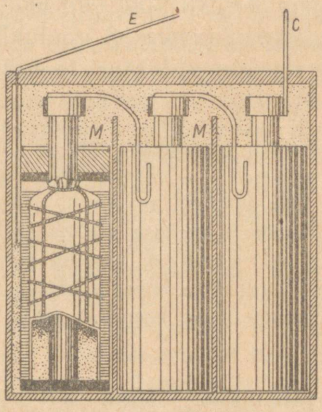
Positiivseks elektroodiks on süsi, negatiivseks — tsink.

Depolarisaatoriks on siin kaaliumbikromaat. Kui elemente ei kasutata, võetakse tsingiplaadikesed vedelikust välja, sest lahus söövitab tsingi.

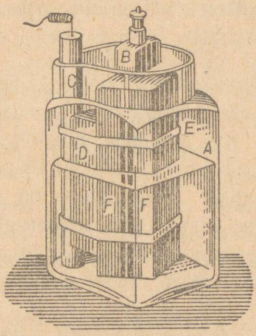
32. **Leklanšee element.** Võtame lahti vana rikutud taskulambi patarei, võttes sellelt noaga ettevaatlikult paberist kesta (joon. 45). Ta koosneb kolmest väikesest tsinksilindrikesest, mis on läbi söödud mitmest kohast. Võtame ühe neist silindreist ja lõikame selle osadeks. Silindri sees on linane kotike, mis on täidetud mangaanülihapendi ja söe seguga; pakendi sees asetseb tihedasti söest silinder, mille väljaulatuvale otsale on pandud vaskmütsike. Üksikute tsinksilindrikeste vahele on pandud kartongi tükikesed M ja iga tsinksilinder on traadi abil ühendatud naaberelemendi söe vaskmütsikesega. Äärmisest tsingist ühelt poolt ja äärmisest vaskmütsikesest teiselt poolt väljuvad plekkribad C ja E. Kui võtta lahti enam-vähem korras elektritaskulambi patarei, siis võib näha, et mangaanülihapendi kotikese ja tsingi vahele on valatud mingit kliistrit. See kliister on valmistatud nuuskpiirituse ja jahu segust. Jahu on

lisatud ainult selleks, et segu saaks tihedam ja ei voolaks patareist välja. Need kolm silindrit ühes neisse mahutatud söekestega on taskulambi patarei üksikud elemendid ja kõik nad on tehtud ühtemoodi.

Sellesüsteemilisi elemente on müügil suurel hulgal. Sageli kasutatakse mitte kuivi, vaid märgi leklanšee elemente (joon. 46). Need koosnevad tsinkpulgakesest C ja söeplaadikesest B,



Joon. 45. Taskulambi patarei (läbilõige).



Joon. 46. Leklanšee element.

mis on asetatud kahe mangaanülihapendist pressitud plaadikese F vahele. Tsink on mangaanülihapendist eraldatud isolaatori D abil ja on paigutatud purki A, kuhu valatakse nuuskpiirituse ja vee lahust. Sel kombel valmistatud leklanšee element on tarvitamiskõlblik.

Positiivseks elektroodiks siin on süsi, negatiivseks — tsink. Depolarisaatori ülesannet täidab mangaanülihapend.

Küsimusi.

1. Kuidas on ehitatud elektritaskulambi patarei?
2. Kuidas on ehitatud leklanšee märgelement?

33. **Akumulaatorid.** Peale galvaani elementide kasutatakse praktikas väga tihti niinimetatud akumulaatoreid. Akumulaatori lihtsaim mudel koosneb seatinaplaadikesest, mis on paigutatud väävelhappe-lahusesse. Valmistanud sellise mudeli ja proovinud ta tegevust kas või elektrikõlistiga, võime veenduda, et see akumulaator voolu ei anna, kell ei kõlise.

Et akumulaator hakkaks töötama, selleks on teda vaja «laadida». Laadimiseks lastakse mingi vooluallika vool läbi akumulaatori, ühendades akumulaatori seatinaplaadikesed vooluallika klemmidega. Teatud aja jooksul on akumulaator laetud ja annab voolu.

Akumulaatorist voolu läbilaskmisel eraldub plaadikesel, mis on ühendatud patarei negatiivse poolusega — katoodil — väävelhappe-lahusest vesinik, mis muudab tinahapendi jälle puhtaks seatinaks. Akumulaatori anoodil eraldub hapnik, mis hapendab anoodse seatina seatina-ülihapendiks. Akumulaator on siis laetud, kui katood muutub puhtaks seatinaks, anood aga seatina-ülihapendiks. Vooluallika energia kutsus esile akumulaatori koosseisu kuuluvate ainete vastastikuse keemilise mõju, mis omakorda annab uuesti elektrienergiat.

34. **Akumulaatori kasutamine tehnikas.** Sõna akumulaator tähendab koguja. Selle ülesandeks on koguda olemasolevaid elektrienergia vabu tagavarasid, muuta neid keemiliseks energiaks ja anda neid ära elektrienergia kujul seal ja siis, kus ja millal nende järgi tuntakse vajadust.

Oletame, et elektrijaamas töötavad masinad ööd ja päevad, et anda tarbijale voolu. Kuid päeval ja südaööl vajab tarbija voolu vähe, mistõttu tekivad vaba energia tagavarad, mis suunatakse akumulaatoreisse. Õhtul, millal kõik lülivad sisse valgustuse, võib energiat mitte jätkuda. Siin ongi abiks tagavarad, mida akumulaatorid on kogunud päeva jooksul.

Akumulaator töötab alati korralikult (õigel ümberkäimisel) ja kulu tema laadimiseks on märksa odavam kui tühjenenud elementide vahetamine uute vastu.

Akumulaatorite abil võib elektrienergiat toimetada igasse kohta. Nad annavad voolu raudtee-vagunite valgustamiseks rongi seisaku ajal, millal rongi dünamomasinad ei tööta. Akumulaatorite patareid annavad voolu mootoreile, mis panevad liikuma allveelaevu nende allveesõidu ajal. Akumulaatorid on vajalikud autos seisaku ajal valgustamiseks ja auto mootori automaatseks käivitamiseks.

35. **Elektrolüüsi kasutamine tööstuses.** Esmakordselt kasutas keemia otstarbel elektrolüüsi 1807. a. inglise õpetlane D a v y, kes sulatatud leelissoolade elektrolüüsimisel sai kaaliumi ja naatriumi metalses olekus.

Hiljem kasutati elektrolüüsi nähtust metallesemete katmiseks kallite metallide kihtidega — hõbedaga, kullaga, plaatinaga ja nikliga. Kuid elektrokeemia tormiline areng algas alles pärast seda, kui oli leiutatud elektrienergia võimas generaator — dünamomasin — mis on võimeline andma suurejõulist voolu. Sellest momendist hakkas elektrienergia ikka rokkem ja rohkem tungima keemiatööstusse. Elektrokeemia sai keemiatööstuse üheks aluseks. Loodi lai tööstusala — e l e k t r o m e t a l l u r g i a.

36. **Vase rafineerimine.** Keemiliselt puhas vask etendab elektrotehnikas suurt osa. Ta on juhtmete valmistamisel parimaks materjaliks. Vase puhastamist igasugustest segudest nimetatakse vase r a f i n e e r i m i s e k s. Seda rafineerimist teostatakse elektri abil.

Puupütid või betoontõrred täidetakse vasevitrioli-lahusega. Igaühesse neist lastakse mitu ühendatud vaskkatoodi, mis on valmistatud õhukestest keemiliselt puhtaist vaskplaatidest, ja nende vahele mitu anoodi (harilikust ebapuhtast vasest pakse plaate, mis on traatidega kokku pandud). Voolu läbiminekul eraldub vasevitrioolist katoodile puhas vask, sellal kui anoodi vask lahustub: anoodsed plaadid muutuvad üha õhemaks. Kõrvalised segud, mis olid anoodil, langevad põhja kui sadestis. Kui katood kasvab niipalju kui vaja, siis võetakse ta lahusest välja ja tema asemele riputatakse uus õhuke vaskplaadike. Samuti vajaduse järgi asendatakse äratarvitatud anoodne plaat uuega, mille tagajärjel protsess toimub katkestamatult. Katoodi kasvamise protsess toimub võrdlemisi aeglaselt; seepärast, et saada 80 kg raskusega katoodplaati, nagu see harilikult esineb meie tehastes, on vaja voolu lasta läbi katkestamatult 20—30 ööpäeva jooksul.

Huvitav on märkida, et anoodses sadestises, niinimetatud päras, leidub rida väärtuslikke ja haruldasi mettalle, nende hulgas kulda, plaatinat ja hõbedat.

Mõningatel juhtudel moodustab pära kaal 1% anoodse plaadi kaalust. Metallide väärtus, mis saadakse pärast, katab rafineerimiskulud sedavõrd, et keemiliselt puhta vase hind ei kujune kallimaks hariliku vase hinnast. Vaske, mis saadakse sellise elektrolüütilise meetodiga, nimetatakse elektrolüütiliseks vaseks.

Meie Liidu arenev elektrotehniline tööstus nõuab suurel hulgal puhast vaske. Kapitalistlikul Venemaal olemasolnud tehased, mis jäid meie kätte poolhävitatud olukorras, ei suutnud kaugeltki rahuldada kõiki vajadusi. Et vabaneda vajadusest vedada meil puuduvat vaske sisse välismaalt, kavastati ja teostati esimese ja teise viisaastaku jooksul suur vasevalamistehaste ehitamine.

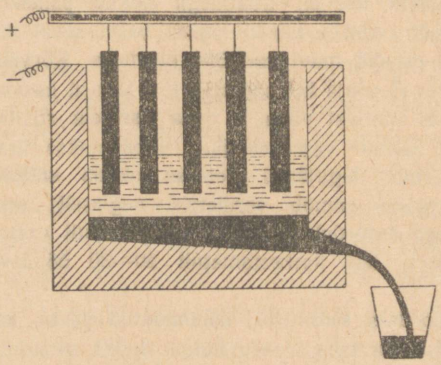
Vasemaagi peamised tagavarad on meil Uuralis, Kaukaasias ja Kasahstanis.

Nõukogude ajal on Uuralis lõpetatud Uurali elektrolüütilise tehase ehitamine, mis toodab igal aastal suurel hulgal elektrolüütilist vaske.

Küsimusi.

1. Kuidas saadakse rafineeritud vaske?
2. Mis tehakse meie maal tööstuse vasetarviduse rahuldamiseks?

37. **Alumiiniumi saamine.** Alumiinium — kerge valge metall, mis leiab kõige mitmekesisemat rakendamist — avastati ligi sada aastat tagasi. Vaatamata sellele, et alumiiniumi leidub savis, sai ta alles hiljuti praktilise kasutamise osaliseks. 1827. a. saadi alumiiniumi laboratoorsel teel ja tema hind oli võrdne kulla hinnaga. 1886. a. langes alumiiniumi hind kuni 50 rublani kilogramm. Nüüd on alumiinium metall, millest tehakse kõige mitmekesisemaid asju, alates sööginõudest ja lõpetades juhtmetega elektrotehnika vajadusteks.



Joon. 47. Alumiiniumi saamine.

Alumiiniumi tööstuslik tootmine sai võimalikuks vaid siis, kui selleks hakati kasutama odavat elektrienergiat.

Alumiiniumi saadakse sulatatud alumiiniumimaagist elektrolüüsi teel (joon. 47). Erilistesse tiigleisse kallatakse alumiiniumimaaki ja savikut (alumiiniumhapend). Tiigel ise on katoodiks.

Anoodiks on söevarvad, mis on pandud tiiglisse. Lastes voolu läbi maagi, taotellakse selle sulamist soojusega, mida annab vool. Selleks lastakse algul söevarvad alla kuni kontaktini tiigliga. Pärast seda kui maak on sulanud, tõstetakse söed ülespoole. Vool läheb läbi sulatatud massi, ja katoodil (tiigli põhi ja seinad) eraldub puhas alumiinium. Sulatatud alumiinium, raskem kui tema maak, laskub põhja, kust teda erilise ava kaudu lastakse vormidesse.

Alumiiniumi tootmiseks on vajalik omada odavat elektrienergiat ja head alumiiniumimaaki. Sellised tingimused on meil NSV Liidus Volhovi elektrijaama rajoonis, kus on alumiiniumimaagi lademed (Tihvini b o k s i i d i d). Esimesel viisaastakul lasti siin käiku suure tööstusliku võimsusega Volhovi alumiiniumi kombinaat. See kasutab peaaegu kogu Volhovi elektrijaama elektrienergia. Üldiselt on alumiiniumitehaseid kasulik ehitada suurte elektrijaamade lähedusse, sest nende jaamade poolt toodetav energia on väga odav. Käesoleval ajal on NSV Liit jõudnud alumiiniumi tootmise alal maailmas esikohale.

Peale puhta alumiiniumi ja vase toodetakse käesoleval ajal elektrilisel teel rida muid metalle, nagu magneesium, naatrium, kaalium, kaltsium jt. Keemiatööstuses valmistatakse elektri abil soodat, kloori, kloorkaltsiumi jt.

Küsimus.

Kuidas saadakse alumiiniumi ja milliseid metalle peale selle saadakse veel elektrolüüsi teel?

38. **Galvanoplastika.** Elektrivoolu abil võib mitmesuguseist esemeist saada metalseid koopiaid. Tehakse seda järgmiselt.

Oletame, et on vaja võtta koopia laualt, millele on tehtud raamatu või riide jaoks reljeefne joonis. See osa lauast, millel on joonis, kaetakse õhukese grafiidikihiga, mistõttu see külg muutub voolu juhiks. Valmisseatud laud asetatakse vasevitrioli-lahusesse ja ühendades sellega juhtme, muudetakse ta katoodiks. Anoodina paigutatakse vasevitrioli-lahusesse vaskplaat. Voolu läbilaskmisel eraldub vask lauakesele. Kui saadakse küllalt paks kiht eraldunud vaske, eraldatakse ta lauast. Saadakse vaskleht täpse negatiivse (vastupidise) kujutisega joonisesest, mis oli laual — *matriits*. Kõik süvendused, mis olid laual, on vasksel negatiivil reljeefsed, ja ümberpöördult, reljeefsete kohtade asemele saadi süvendused. Kui sellisest negatiivsest kujutisest on tarvis saada originaali täpset koopiat, siis tuleb võtta koopia saadud matriitsilt, mis olles negatiivi vastupidine koopia, vastab

täiesti originaalile. Kuid tihti on nii, et võib läbi saada teise koopiata ja kasutada tööstuseks ainult matriitse.

Sel viisil saadud koopiad on niivõrd täpsed, et seda galvanoplastilist meetodit kasutatakse matriitside saamiseks, mille abil valmistatakse grammofoniplaate.

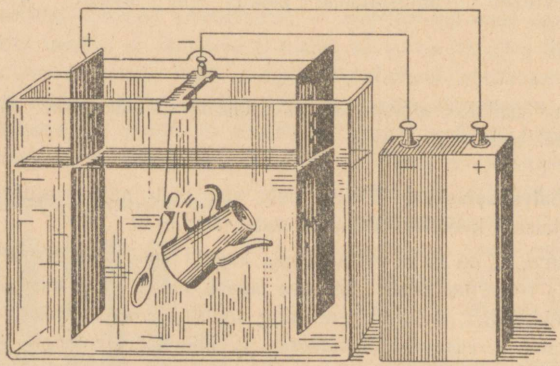
Küsimusi.

1. Millist tehnilist protsessi nimetatakse galvanoplastikaks?
2. Kuidas saada galvanoplastilisel teel täpset koopiat kipsbareljeefist (reljeefsest kujutisest)?

39. **Galvanosteegia.** Tihti tuleb kergesti oksüdeeruvate metallide pinda katta metallidega, mis oksüdeeruvad halvasti: nikliga, hõbedaga, tsingiga jt.

Kõigile on tuntud nikeldatud asjad, näiteks samovarid, teekannud, uisud, noad, kahvlid jne.

Asjade katmine mitteoksüdeeruvate metallidega elektrolüütilisel teel on üks odavamaid, kohasemaid ja kiiremaid meetodeid. See meetod kannab g a l v a n o s t e e g i a nimetust.



Joon. 48.

Ese, mida soovitakse katta niklikihiga, puhastatakse mustusest ja rasvaplekkidest ja paigutatakse siis galvanoplastilisse vanni (joon. 48). Vanni valatakse väävelhapuniklit ($NiSO_4$). Anoodina võetakse tükk niklit, katoodiks aga on ese ise. Lastes teatud aja jooksul voolu läbi, saadakse lahuses oleval esemel tihe, vajaliku paksusega niklikiht.

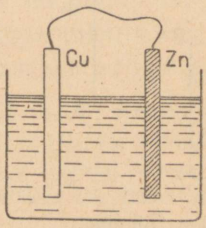
Hõbetamisel ja kuldamisel kasutatakse kulla- ja hõbedasoolade lahuseid.

Küsimusi.

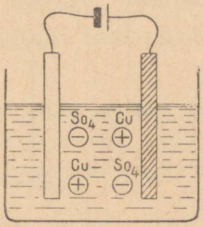
1. Mis on galvanosteegia?
2. Kuidas katta nikliga uisud?
3. Mis on mingi eseme katmisel nikliga katoodiks ja anoodiks?

Ülesandeid III peatüki juurde.

1. Kas võivad dissotsiatsiooni juures tekkida ühemärgilised ioonid? Miks?
2. Millist laengut omavad vase ioonid vasevitrioli lahuses?
3. Miks nikeldamise juures pannakse anoodina nikkelplaadike? Kas eraldub nikkel niklisoola-lahusest, kui niklit anoodil asendada mingi muu metalliga?
4. Näidata nooltega (joon. 49), kuidas liigub vool ahelas, mis koosneb volta elemendist ja juhtmest.



Joon. 49.



Joon. 50.

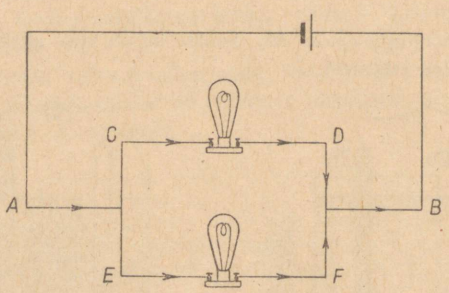
5. Näidata nooltega, kuidas liiguvad ioonid vasevitrioli-lahuses (joon. 50) sellest voolu läbilaskmisel.
6. Miks nõrgeneb volta element väga kiiresti?
7. On olemas taskulambi patareisid, mille poolustel pole tähendatud märke + (pluss) ja — (miinus). Kuidas saab kindlaks määrata selliste vooluallikate pooluseid?
8. Kui kaaluda ära leklanšee elemendi tsinkplaadike enne ja pärast elemendi töötamist, kas ilmneb siis vahe selle kaalus? Millele see osutab?
9. Kui palju kuloneid läks läbi vasevitroli-lahuse, kui katoodile eraldus 2,303 g vaske?
10. Üks ja sama vool läbib lämmastikhapu hõbeda ja vasevitrioli lahuse. Millistest lahustest eraldub rohkem metalli?

ELEKTRIVOOLU SEADUSED.

40. **Voolu tugevus.** Lülime vooluvõrku elektrilambi. Lamp põleb heledasti, tähendab läbi tema niidi voolab küllaldane hulk elektrone, mis eritavad lambi põlemiseks vajalikku energiat.

Teise sama liiki lambi põlemiseks nõutakse 1 sekundis silmanähtavalt sama suurt energia hulka.

Kui lülida mõlemad lambid võrku nii, et vool läbiks neid paralleelselt (joon. 51), siis peab kahe lambi põlemiseks



Joon. 51. Lampide paralleelne lülimine.

ühise juhtme kaudu, mis toob voolu neile lampidele, sekundis läbi minema kaks korda rohkem energiat, kui iga üksikut juhet mööda, mis lähevad üksikute lampideni.

Mida rohkem on lülitud lampe paralleelselt, seda suurem energiahulk peab juurde voolama ühist juhet mööda ajaühikus.

Elektrihulka, mis voolab läbi juhtme ristlõike 1 sekundis, nimetatakse voolu tugevuseks.

Küsimusi.

1. Mis vahe on tugeva ja nõrga voolu vahel?
2. Kus nõutakse tugevamat voolu, kas ühe või mitme samasuguse lambi põlemiseks?
3. Mida nimetatakse voolu tugevuseks?

41. **Voolutugevuse ühik.** Vooluahelast läbivoolanud elektrihulga üle võib otsustada ta mõju järgi. Vool, minnes läbi lämmastikuhapu hõbeda lahuse, eraldab katoodile hõbedat.

Katoodile eraldunud metallihulga järgi võime otsustada lahusest läbivoolanud elektrihulga üle.

Voolu tugevuse rahvusvaheliseks ühikuks — amper — on võetud alalisvoolu tugevus, mis voolates läbi lämmastikhapu hõbeda vesilahuse eraldab 1 sekundi jooksul 1,118 mg hõbedat.

Seda ühikut nimetatakse ampriks prantsuse füüsiku Ampêre'i auks.

Ampri lühem tähistus on A.

Väga nõrkade voolude mõõtmiseks kasutatakse ühikut, mis on amprist 1000 korda väiksem — milliamper.

Harilik hõõglamp tarvitab ligi 0,3 amprit. Teaduslike uurimiste juures tuleb voolu mõõta milliampri tuhandike osadega — mikroampritega.

Märkus. Eespool nägime, et üks kulon eraldab hõbedasoolalahusest 1,118 mg hõbedat. Kuna ka 1-amprine vool eraldab sekundis 1,118 mg hõbedat, peame järeldama, et üheamprise voolu juures läbib juhi ristlõike üks kulon sekundis.

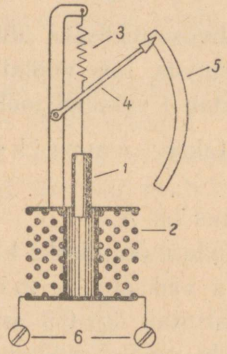
Seda võib lühidalt järgmiselt üles tähendada: 1 amper $= \frac{1 \text{ kulon}}{\text{sek}}$

Küsimusi.

1. Mis on voolutugevuse rahvusvaheliseks ühikuks?
2. Millist voolu nimetatakse üheampriseks vooluks?
3. Millised ühikud on amprist väiksemad?

42. **Ampermeeter.** Määrata alati voolutugevust katoodile eraldunud hõbeda hulga järgi on väga ebamugav ja enamikel juhtudel, kui vool tihti muutub, ka isegi võimata. Voolu tugevuse mõõtmiseks kasutatakse spetsiaalset riista — ampermeetrit. Mõnedes ampermeetrites tõmbub poolisse, mida mööda läheb vool, raudsüdamik (joon. 52). Mida tugevam on

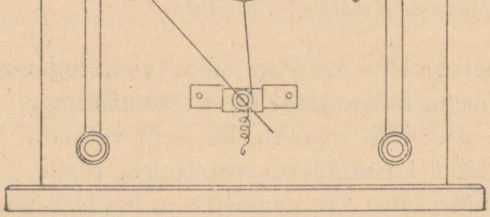
vool, seda sügavamale pooli sisse tõmbub raudsüdamik ja seda enam kaldub kõrvale südamikuga ühendatud osuti. Teistes süsteemides soojendab vool peenikest traadikest, mis on tõmmatud pingule kahe toa vahele. Soojenemisel traadike pikeneb,



Joon. 52. Ampermeetri ehituse skeem.

1 — raudsüdamik; 2 — traatpool, mida läbib mõõdetav vool; 3 — vedru tõmbab südamiku poolist välja; 4 — osuti; 5— riista skaala; 6 — riista ahelasse sisselülimise klemmid.

mille tagajärjel ampermeetri osuti, mis on ühendatud pikeneva traadiga (joon. 53), liigub edasi. Tehnikas kasutatakse mitmesuguse ehitusega ampermeetreid. Enamikel juhtudel on väl-



Joon. 53. Soojus-ampermeetri skeem.

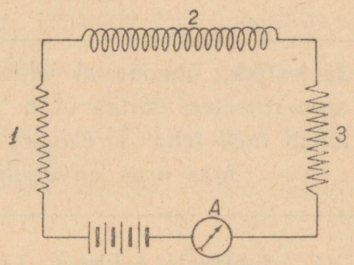
jastpoolt näha vaid skaala ja osuti. Skaala näitab ampreid ja selle osi.

Kuna ampermeeter peab võtma arvele kogu voolu, mis läbib vooluahelat, siis lülitakse ta ahelasse nii, et kogu ahela vool tingimata läheks läbi ampermeetri (joon. 54).

Sellist sisselülimist nimetatakse *järjestikuliseks*, kuna selle lülimise juures kogu vool läheb läbi seadeldise, mis on lülitud vooluahelasse.

Ampermeetril on vooluahelasse lülimiseks 2 klemmi.

Väga tihti tähistatakse ampermeetri ühte klemmi märgiga pluss (+), teist märgiga miinus (—), või sel pole ühtegi märki. See tähendab, et sellise ampermeetri õigeks näitamiseks on vaja klemm märgiga (+) ühendada tingimata juhtmega, mille kaudu vool tuleb ampermeetrisse.



Joon. 54. Ampermeetri lülimine ahelasse.

Ebaõigel sisselülimisel ampermeeter kas ei näita voolu üldse, või näitab valesti.

Kui vool osutub liiga tugevaks ja osuti läheb skaala piirest välja, siis tuleb ampermeeter *viibimata* ahelast välja lülida, kuna vastasel korral ta võib rikneda.

Küsimusi.

1. Mis on ampermeeter?
2. Kuidas lülitakse ampermeeter ahelasse?
3. Joonestage vooluahela skeem ühes ampermeetriga, mis määrab voolutugevuse lambis.

43. Laboratoorne töö nr. 2. *Töö eesmärk.* **Uurida voolutugevust ahela mitmesugustes osades.**

Töövahendid: vooluallikas; ampermeeter; isoleeritud traadi poolide komplekt või muid seadmeid vooluahela moodustamiseks; juhtmeid ühenduste tegemiseks.

Antud riistade abil koostage vooluahel, võttes neid soovitud järjekorras ja hoolitsedes, et vool läbiks järjestikku kõiki riistu. Selline vooluahel on kujutatud joonisel 54.

Lülides ampermeetri vooluahelasse mitmes kohas (mitmesuguste seadmete vahele) määrake kindlaks voolutugevus neis kohtades ja tähendage üles ampermeetri näitamised.

Järjestikku ühendatud juhtmete mitmesse kohta lülitud ampermeeter näitab ühte ja sama voolutugevust, mis lubab meil teha järelduse: järjestikku ühendatud ahela igas osas on voolutugevus ühesugune.

44. **Juhtmete takistus.** Lülides vooluallikast, ampermeetrist ja juhtmetest koosnevasse vooluahelasse mitmesugused juhtmed, võib tähele panna, et üks ja sama vooluallikas annab mitmesugust voolutugevust olenevalt juhtmete omadustest, mis on lülitud vooluahelasse. Vooluahelast osa juhtmete väljalülimisel vool suureneb, ahelasse uute juhtmete sisselülimisel vool väheneb. **Iga juhe on voolule takistuseks.**

Mitmesugused juhtmed omavad mitmesugust takistust. Lülime ahelasse 1 m nikeliintraati läbimõõduga 0,5 mm ja paneme tähele voolu tugevust. Asendame sisselülitud traaditüki pooliga, millele on mähitud 5 m täpselt samasugust traati — vool väheneb peaaegu 5 korda. Lülinud sisse 10-meetrise pooli täpselt samasuguse traadiga, saame peaaegu 10-kordse voolutugevuse vähenemise võrreldes esimese katsega.

Traadi takistus suureneb traadi pikkuse suurendamisega.

Asendanud katseks võetud nikeliintraadi samasuguse peenema traadiga, näeme, et

peenike traat omab suuremat takistust kui sama pikkusega jäme traat.

Kui võrrelda kahte erinevast metallist ühesuguste mõõdetega traati, siis veendume, et nende takistused on erisugused.

Vasktraadi takistus on väiksem kui sama mõõdetega raudtraadi oma ja raudtraadi takistus väiksem kui nikeliintraadi oma.

Küsimusi.

1. Missugused traadid omavad suuremat takistust — pikad või lühikesed, jämedad või peenikesed? Mispärast?
2. Kas ühesuguste mõõdetega erinevast metallist traatide takistused on ühesugused?

45. **Juhtmete takistuse arvestus.** Esimesena leidis elektrivool praktilist kasutamist telegraafis. Seoses telegraafi vajadusega anda voolu edasi suurte kauguste taha, oli tarvilik hoolikalt uurida tingimusi, mille juures see edasiandmine on võimalik.

Uurides mitmesuguste juhtmete takistusi, tehti kindlaks, et

juhtme takistus on võrdeline juhtme pikkusega ja pöördvõrdeline tema ristlõike pindalaga.

Kui tähistada juhtme takistust tähega R, juhtme pikkust meetrites tähega l ja ristlõikepinda ruutmillimeetrites tähega s, siis võib takistuse R suurust avaldada valemiga:

$$R = \varrho \frac{l}{s},$$

kus koefitsient ϱ [1], mis kuulub valemisse, nimetatakse eri-

[1] Kreeka täht ϱ (roo).

takistuseks ja näitab 1 m pikkuse ja 1 mm² läbilõikega antud ainest samba takistust.

Teades 1 m pikkuse ja 1 mm² läbilõikega antud traadi takistust, võib arvutada iga traadi takistust, mis on valmistatud samast ainest. On vaid vaja kokku leppida, mida võtta takistuse ühikuks.

Takistuse ühikuks võetakse takistus, mida evib elavhõbedasammas pikkusega 106,3 cm ja ristlõikega 1 mm² 0°C juures.

See ühik nimetati oomiks saksa õpetlase Ohm'i auks, kes avastas elektrivoolu seadusi.

Sõna oom asemel kirjutatakse märk Ω (kreeka täht — *oomega).*

Ühe miljoni oomilist takistust nimetatakse megoomiks ja tähistatakse märgiga M Ω.

Vaadeldes seda tabelit, näeme, et kõige väiksemat eritakistust evib hõbe, väga lähedal sellele on vask; metallide sulamid omavad suuremat eritakistust; eriti suur on söe eritakistus. Need ained, mida nimetame **isolaatoreiks, lasevad tegelikult voolu läbi, ainult nende takistus on väga suur.**

Eritakistuste tabel.

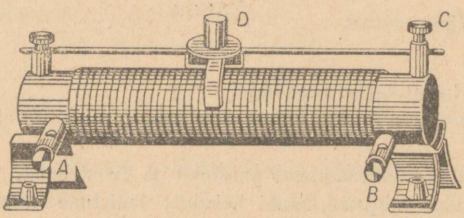
Aine.	Eritakistus.
Hõbe . . .	0,0158
Vask . . .	0,0175
Alumiinium .	0,032
Raud . . .	0,13
Uushõbe . .	0,301
Nikeliin . .	0,45
Elavhõbe 18° juures . .	0,958
Süsi hõõglambis .	40

Küsimusi.

1. Millise valemi järgi võib arvutada traadi takistust?
2. Kuidas väljendada takistuse valemit sõnadega (lk. 59)?
3. Mida tähendab täht ϱ, mis kuulub takistuse määramise valemisse?
4. Mida nimetatakse eritakistuseks?
5. Milliste ühikutega mõõdetakse takistust?
6. Mis on oom?
7. Kui suur on 1 meetri pikkuse ja 1 mm² läbilõikega raudtraadi takistus?

46. **Reostaadid.** Riistu, mille abil, muutes vooluahela takistust, võib reguleerida ahelas voolutugevust, nimetatakse reostaatideks.

Suure eritakistusega traat keritakse silindrile, mis on tehtud isolaatorist, ja traadi otsadele kinnitatakse klemmid A ja B (joon. 55). Silindri kohal ülal kinnitatakse metalsele varvale



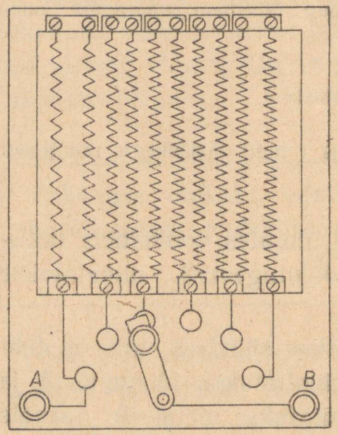
Joon. 55. Liikuva kontaktiga reostaat.

liikuv kontakt D, mis puudutab tihedalt traatmähist. Reostaat lülitakse vooluahelasse klemmide A või B ja metalsel varval oleva klemmi C abil. Liigutades kontakti D siia- või sinnapoole, suurendatakse või vähendatakse sisselülitud traadi pikkust.

Teine liik — väntreostaat, mis koosneb reast raudtraadi spiraalidest, on kujutatud skemaatiliselt joon. 56.

Isolaatorist valmistatud raami küljes on all rida metalseid

kontakte ja metalne käepide, mida võib, pöörates ümber telje, suruda tihedasti vastu ühte või teist kontakti. Esimese kontakti külge, mis ühendatud klemmiga A, on kinnitatud traadi algus, mis hõlmates siksakiliselt järjestikku üksteisest eraldatud ülemisi liiste ja alumisi kontakte, lõpeb viimase kontakti juures. Vooluga on ühenduses esimene kontakt ja käepideme telg. Käepideme asendi puhul, mis on näidatud joonisel 56, läheb vool, minnes sisse esimesest kontaktist, läbi nelja traatspiraali ning käepideme ja väljub klemmi B kaudu.



Joon. 56. Väntreostaat.

Küsimusi.

1. Milleks kasutatakse reostaate?
2. Missugust traati kasutatakse reostaatide valmistamiseks?

Harjutus.

Koostage ahel elektrilambist, patareist ja reostaadist, ühendades neid järjestikku. Kuidas mõjutab lambi heledust takistuse muutmine sisselülitud reostaadiga?

47. **Pinge.** Et elektronid juhtmes liiguksid, on vajalik juhtme otsades säilitada pinget.

Koostame vooluahela mitmesuguste takistustega juhtmetest, vooluallikast ja ampermeetrist. Kui ahel sulgeda, siis läheb seda ahelat mööda vool. Tähendab, ahela iga kahe punkti vahel on pinge, mis sunnib elektrone nende punktide vahel ümber asetuma, milles võime veenduda, ühendades ahela katsealuste punktidega spetsiaalse riista pinge mõõtmiseks — voltmeetri.

Kui voltmeeter, mis on ühendatud ahela kahe punktiga,

näitab, et antud kahe punkti vahel pinget ei ole, siis ahela selles osas ei ole ka voolu. Voltmeeter, mis ühendatakse ahela mitmesuguste osadega, näitab, et ahela mitmesuguste punktide vahel pinge on erinev.

Pinge ühikuks on võetud pinge, mis on üheoomise takistusega juhtme otstes, kui sellest juhtmest läheb läbi üheamprine vool. Seda pingeühikut nimetatakse voldiks[1].

Toome näiteid mõningaist pingeist.

Volta elemendi pooluste pinge — ligi 1 volt.
Taskulambi patarei pooluste pinge — 4,5 volti.
Seatina-akumulaatori pooluste pinge — 2 „
Elektrivoolu pinge linnades on mitmesugune: ühtedes linnades on ta 110 volti, teistes — 220 volti.

Küsimusi.

1. Mis on pinge?
2. Millise riistaga mõõdetakse pinget?
3. Milliste ühikutega mõõdetakse pinget?
4. Mis on volt?
5. Kus on pinge suurem: kas antud juhtme otstes või ühe otsa ja keskkoha vahel?

48. **Pinge mõõtmine voltmeetriga.** Pinge mõõtmiseks kasutatakse riistu, mida nimetatakse voltmeetriteks. Väliselt nad ei erine millegi poolest ampermeetreist.

Nende eristamiseks ampermeetreist on skaalal märk V või sõna volt.

Võrreldes ampermeetri ja voltmeetri sisemist ehitust, märkame, et ampermeetri pool on tehtud jämedamast traadist kui voltmeetri pool. Ampermeetri pool omab märksa väiksemat takistust kui voltmeetri pool.

On täiesti arusaadav, et mõõduriistad, mis lülitakse vooluahelasse sellest läbimineva voolu mõõtmiseks, peavad olema

[1] Itaalia õpetlase Volta auks.

ehitatud nii, et nende lülimine ahelasse ei muudaks ahelast läbimineva voolu hulka.

Ampermeeter lülitakse ahelasse järjestikku.

Tal peab olema väga väike takistus, et tema sisselülimisel ei muutuks mõõdetav vool märgatavalt.



Volta (1745—1827), itaalia füüsik
— esimese galvaani elemendi leiutaja.

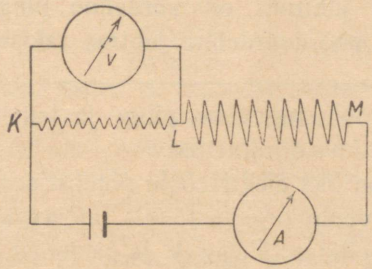
Vooluahela kahe punkti vahelise pinge mõõtmiseks lülitakse voltmeeter mõõdetavasse ossa nii, nagu see on näidatud joonisel 57. Sellist sisselülimist nimetatakse paralleelseks lülimiseks.

On tarvilik, et voltmeeter omaks võimalikult suuremat takistust, sest ainult sel tingimusel tema lülimine vooluahelasse ei muuda märgatavalt voolu tugevust katsetatavas osas, milles võime veenduda katse abil.

Joonisel 57 on näidatud elektri vooluahel, millesse on lülitud ampermeeter ahela voolu tugevuse mõõtmiseks ja voltmeeter, millega mõõdetakse pinget punktide K ja L vahel.

Küsimusi.

1. Milline vahe on ampermeetri ja voltmeetri ehituses?
2. Mis vahe on ampermeetri ja voltmeetri sisselülimise vahel?



Joon. 57. Ampermeetri ja voltmeetri lülimine voolu ahelasse.

49. **Ohmi seadus.** Kui ahelasse, mis koosneb lambist ja ampermeetrist, lülida üks suur leklanšee element, siis võib märgata, et ahelas on väga nõrk vool ja lambi niit ei hõõgu. Niipea kui elemendi asendame värske taskulambi-patareiga, suureneb vool ahelas ja lambi niit hõõgub heledasti. Mõõtnud pinge ahela otstes elemendi ja taskulambi-patarei sisselülitamisel, näeme, et patarei sisselülimisel on pinge märksa suurem.

Tähendab:

Voolu tugevus juhtmes suureneb pinge suurendamisega juhtme otstes.

Lülinud ahelasse ühe lambi asemel kaks lampi järjestikku, suurendame sellega ahela takistust ja märkame, et voolu tugevus ahelas väheneb.

Voolu tugevus väheneb ahela takistuse suurenemisega.

Uurinud voolu tugevuse sõltuvust takistusest ja pingest,

määras Ohm 1827. a. kindlaks olenevuse nende kolme suuruse vahel, mida sõnastatakse järgmiselt:

voolu tugevus juhtmes on võrdeline pingega juhtme otstes ja pöördvõrdeline juhtme takistusega.

See sõltuvus voolu tugevuse, pinge ja takistuse vahel kannab Ohmi seaduse nimetust.

Ohmi seadus on üks elektrivoolu põhilisi seadusi.

Kui tähistada voolu tugevust, mis on avaldatud amprites, tähega I, pinget voltides tähega V ja takistust oomides tähega R, siis võib Ohmi seadust üles tähendada järgmise valemiga:

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

Kui teame ahelalõigu voolutugevust ja takistust, siis võime leida pinge lõigu otstes:

$$V = I \cdot R.$$

Juhtme otste pinge on võrdne voolu tugevuse ja juhtme takistuse korrutisega.

Määrates takistust Ohmi seaduse valemi järgi, saame:

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

Juhtme takistus on võrdne juhtme otste pinge ja voolu tugevuse jagatisega.

Näiteid.

1. Määrata selle voolu tugevus, mis läbib 240-oomise takistusega elektrilampi, kui linna elektrivõrgu pinge on 120 volti.

Lahendus.

$$I = \frac{120 \text{ volti}}{240 \text{ oomi}} = 0{,}5 \text{ amprit.}$$

2. Elektrisoojendaja traadi takistus on 22 oomi. Seda läbiv vool — 5 amprit. Määrata pinge klemmides.

Lahendus.

$$V = 22 \times 5 = 110 \text{ volti.}$$

3. Akumulaatori pooluste pinge on 2 volti. Ahelat läbiv vool — 0,5 amprit. Leida vooluahela takistus.

Lahendus.

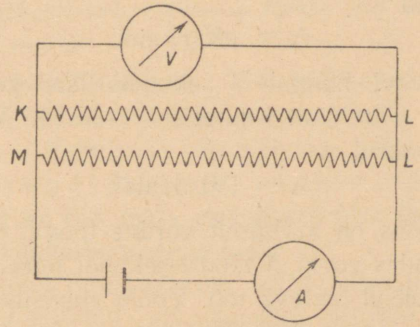
$$R = \frac{2 \text{ volti}}{0{,}5 \text{ amprit}} = 4 \text{ oomi.}$$

50. **Laboratoorne töö nr. 3. Takistuse mõõtmine ahela lõigus.** Riistad ja materjalid: vooluallikas; juhtmed ühenduste tegemiseks; kaks katsetatavat takistust; voltmeeter ja ampermeeter.

1. Ühendanud järjestikku (joon. 57) vooluallika, mõlemad katsetatavad takistused KL ja LM ja ampermeetri, ühendage voltmeeter paralleelselt takistuse KL klemmidega. Sulgenud voolu, määrake ahela voolu tugevus I ja pinge V takistuse KL otstes. Saadud andmete järgi määrake otsitava takistuse suurus.

Samal viisil määrake teise takistuse suurus ja üldine takistus.

2. Ühendage katsetatavad takistused paralleelselt ja lülige need vooluahelasse skeemi järgi, mis on kujutatud joonisel 58. Määrake voolu tugevus ahelas, pinge paralleelselt ühendatud takistuste klemmides ja arvestage välja nende üldine takistus.



Joon. 58. Takistuste paralleelne ühendus.

Küsimusi.

1. Kas kahe järjestikku ühendatud juhtme ühine takistus on suurem või väiksem takistuste summast?
2. Kas mõlema paralleelselt ühendatud juhtme ühine takistus on väiksem või suurem takistuste summast?
3. Mis on suurem, kas ühe juhtme takistus, või kahe paralleelselt ühendatud juhtme ühine takistus? Miks?

51. **Voolu töö ja võimsus.** Tutvudes elektrivoolu mitmesuguste nähtustega, nägime, et elektrivool võib teha tööd. Elektrimootorite abil paneb vool käima mitmesuguseid tööpinke, tramme. Juhe, mida mööda läheb vool, soojeneb. Voolu mitmesuguste nähtuste juures täheldame elektrienergia muundumist energia muudeks liikideks.

Töö hulk, mida teeb vee vool, sõltub vee hulgast, mis voolab läbi teatud voolu läbilõike, ja sellest survest, mille mõjul vesi voolab. Täpselt samuti on ka **elektrivoolu töö võrdeline juhtme läbilõikest läbivoolanud elektri hulgaga ja pingega, mille mõjul kulgeb vool.**

Ühe kuloni ümberasetumisel lõigus pingega üks volt tehakse tööd 1 džaul.

Džaul on väga väike tööühik: ühes kilogramm-meetris on 9,8 džauli.

Lõigus, mille pinge on V volti, sooritatakse e kuloni ümberpaigutamisel töö

$$A = eV \text{ džauli.}$$

I-amprine vool kannab 1 sekundis läbi juhtme läbilõike e = It kulonit. Järelikult I-amprise voolu töö V-voldise pinge juures t sek. jooksul on

$$A = IVt \text{ džauli.}$$

Voolu võimsus on arvuliselt võrdne tööga, mida teeb vool 1 sekundis. Teades voolu A tööd t sekundi jooksul, võime leida ühe sekundi jooksul tehtava töö. Voolu võimsus:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{IVt}{t} = IV.$$

Voolu võimsus on võrdeline voolu tugevusega ja pingega, mille mõjul kulgeb vool.

Elektri alalisvoolu võimsus üheamprise tugevuse ja ühevoldise pinge juures moodustab ühe vati.

Vati rahvusvaheline lühend — W.

1 vatt = 1 amper × 1 volt.

Voolu tugevuse või pinge suurenemisega suureneb võrdeliselt voolu võimsus. **1-amprine vool V-voldise pinge juures omab võimsust V vatti.**

1000 vatti on kilovatt (kW).

100 vatti on hektovatt (hW).

Hobujõud on 736 vatti.

Küsimusi.

1. Millistest suurustest sõltub voolu võimsus?
2. Mis on vatt?
3. Kuidas arvutada voolu võimsust?

Harjutusi.

1. Millise võimsuse kulutab ära lamp, mis tarvitab 0,5 amprit, kui lambi klemmide pinge on 110 volti?
2. 110-voldise pingega vooluvõrku lülitud mootor võtab voolu 7,35 amprit. Määrake mootori võimsus.
3. Lamp nõuab 100-vatist võimsust. Milline vool läbib lampi, kui see lülida 110-voldise pingega vooluvõrku?

52. **Elektrivoolu tööühikud.** Töö, mida elektrivool teeb ühe sekundi jooksul 1-vatise vooluvõimsuse juures, võrdub vatt-sekundiga. Tehnikas mõõdetakse elektrivoolu tööd hektovatt-tundide või kilovatt-tundidega. **Hektovatt-tund on töö, mida elektrivool teeb ühe tunni jooksul 1 hektovatise vooluvõimsuse puhul.**

Hektovatt-tund (lühendatult hWh) võrdub 100 vatti × × 3600 sek. = 360 000 vatt-sekundiga (džauli).

Kilovatt-tund on töö, mida teeb ühe tunni jooksul 1-kilovatise võimsusega vool.

Üks kilovatt-tund on 1000 × 3600 = 3 600 000 džauli.

Voolu võimsus on voolu töö 1 sekundis.

Et arvutada voolu tööd, tuleb voolu võimsus korrutada ajaga.

Näide. Määrata töö, mis tehtud 5-hektovatise voolu poolt 0,2 tunni jooksul. A = 5 hW × 0,2 tundi = 1 hW-tund.

Küsimusi.

1. Milliste ühikutega mõõdetakse voolu tööd?
2. Mis on kilovatt-tund?

Ülesandeid IV peatüki juurde.

1. Milline kahest traadist — raud- või vasktraat, ühesuguse läbilõike ja pikkusega — omab suuremat takistust? mitu korda?
2. Millega võrdub 100 m vasktraadi takistus, mille ristläbilõige on 2 mm^2?
3. Määrata 5 m raudtraadi takistus, kui traadi läbilõige on 1 mm^2?
4. 0,8 mm^2 läbilõikega rull vasktraati omab 2-oomist takistust. Leida traadi pikkus.
5. 1 mm^2 läbilõikega traadid vasest, rauast, nikeliinist ja alumiiniumist omavad igaüks 10-oomist takistust. Kui pikk on iga traat?
6. Millise läbilõikega peab võtma alumiiniumtraadi, et tema takistus oleks sama kui vasktraadil, mille läbilõike pind on 2 mm^2, kui mõlema traadi pikkused on ühesugused?
7. Millise läbilõikega peab võtma nikeliintraadi reostaadi ehitamiseks, mis on kalkuleeritud 20 oomile 100 m traadipikkuse juures.
8. Määrata elektrijaamast tarbijani ulatuvate vaskjuhtmete takistus, kui see vahemaa on 2 km ja traadi läbilõige on 50 mm^2.
9. Millise pikkusega peab võtma 2 mm^2 läbilõikega nikeliintraadi reostaadi spiraalide jaoks (joon. 56), mis on kalkuleeritud 20-oomisele üldisele takistusele nii, et käepideme üleviimisel ühelt kontaktilt teisele tema takistus suureneks 4 oomi võrra?
10. Isoleerimata traaditüki takistus on 1 oom. Milline on sama traadi takistus, kui see keskelt poolitada ja saadud pooled täies pikkuses kokku põimida?
11. Millega võrdub trammi vaskõhujuhtme takistus, mille pikkus on 3 km ja läbilõige 30 mm^2?
12. Määrata 3 mm^2 läbilõikega raudtraadi kaal, mis on võetud 2-oomise takistusega reostaadi ehitamiseks?
13. Elektri vooluahelasse (joon. 59) on lülitud liikuva kontaktiga reostaat. Näidake nooltega, kuidas läheb vool reostaadis?
14. Määrata Moskva ja Leningradi vahelise telegraafijuhtme takistus, kui nendevaheline kaugus on 650 km ja juhe on tehtud raudtraadist diameetriga 4 mm.

15. Määrata raudtraadi läbilõike pind, mille pikkus on 8 m ja takistus 2 oomi.

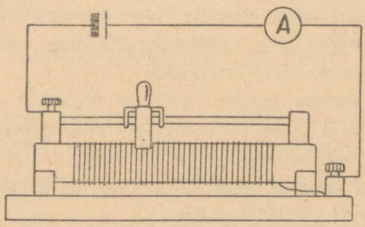
16. Määrata elektrilambi metallniidi läbilõike pind, kui selle takistus kuumas olekus on võrdne 200 oomiga, niidi pikkus 25 cm ja niidi aine eritakistus = 0,2.

17. Raadiovastuvõtja jaoks on vajalik ehitada reostaat, mis on arvestatud 20 oomile. Millise läbilõikega peab. võtma nikeliintraadi pikkusega 5 m?

18. Milline on eelmises ülesandes tähendatud reostaadi takistus, kui nikeliintraadi asemel võtta sama pikkusega raudtraat?

19. Vooluahelasse lülitud ampermeeter näitab voolu tugevust 1,8 amprit. Kas ampermeetri andmed on õiged, kui kontrollitud voltmeeter näitab 1,4-oomise takistuse otstes pinget 2,5 volti?

20. Kõrgepinge juures on inimesele surmav umbes 0,01-amprise tugevusega vool. Inimese keha keskmine takistus on 50 000 oomi. Milline pinge on inimesele surmav?



Joon. 59.

21. Määrata trammivaguni mootori mähise takistus, kui trammivõrgu pinge on 575 volti ja mähist läbiva voolu keskmine tugevus on 71 amprit.

22. Ampermeetri takistus on 0,02 oomi. Maksimaalne koormus on 10 amprit. Kas võib antud ampermeetrit lülida vahetult akumulaatori külge, mille poolustepinge on 2 volti?

23. Kaks traati — raud- ja vasktraat — ühesuguse pikkuse ja ühesuguse läbilõikega on lülitud vooluahelasse paralleelselt. Millist traati mööda läheb suurema tugevusega vool? Mispärast?

24. Milline on hõõglambi traatide takistus, kui traadist läheb läbi vool tugevusega 0,12 amprit ja niitide otste pinge on 120 volti?

25. Määrata pinge juhtme otstes, mille takistus on 20 oomi, kui juhet läbib vool tugevusega 0,2 amprit.

26. Millist pinget näitab voltmeeter, mis on kinnitatud nikeliintraadi külge takistusega 2,5 oomi, kui ahelasse lülitud ampermeeter näitas voolu tugevust 1,2 amprit?

27. Hõõglambi pinge on 110 volti, tema takistus põlemise ajal on 80 oomi. Millise tugevusega vool läbib lampi?

28. Arvutada voolu tugevus, mis läbib leeklambi, mille takistus on 1,2 oomi, kui pinge lambi otstes on 48 volti.

29. Määrata takistus 16-küünlasel söelambil, mis põleb 120-voldise pinge juures, kui voolu tugevus selles on 0,25 amprit.

30. Kui suur on 10-hobujõulise mootori võimsus kilovattides?

31. Kui palju energiat kulutab 5 tunni jooksul elektriahi, mis 120-voldise pinge juures tarvitab 10-amprist voolutugevust?

32. Trammivaguni liikumise ajal läheb läbi trammi mootori 80-amprine vool pingega 500 volti. Kui suur on voolu võimsus kilovattides?

33. Mootor, mis paneb käima treipinki, omab võimsust 2,5 HJ. Määrata selle voolu tugevus, mis voolab treipingis töötamise ajal, kui pinge mootori klemmides on 220 volti.

34. Rajooni elektrijaama energia, võimsusega 48 000 kilovatti, antakse Moskvale edasi 115 000-voldise pingega. Millega võrdub voolu tugevus juhtmeis, mis seda voolu edasi annavad?

35. Määrata juhtmete takistus eelmise ülesande tingimuste kohaselt, kui pinge kaotus neis ei ületa 10% üldisest edasiantavast pingest?

36. Dneprogresi iga turbogeneraatori võimsus on 80 000 HJ. Määrata turbogeneraatori poolt antava voolu tugevus, kui pinge selle klemmides on 6 kilovolti (üks kilovolt on 1000 volti).

37. Kui palju tuleb maksta elektrijaamale 50-vatise lambi põlemise eest kuus, kui lamp põleb keskmiselt 5 tundi päevas? Energia hind on 25 kop. kilovatt-tund.

38. Millise tugevusega vool lasti läbi juhtme, kui selle töö 15 minuti jooksul võrdus 40 500 džauliga ja ahela pinge oli 15 volti?

V peatükk.

ELEKTRIENERGIA MUUNDUMINE SOOJUSENERGIAKS.

53. **Voolu soojustoimed.** Katsed näitavad, et juhe, mida mööda kulgeb vool, soojeneb. Juhtmete soojenemist voolu abil võib seletada järgmiselt: liikuvad elektronid põrkavad kokku juhtme aine aatomite ja molekulidega ning annavad neile edasi

osa oma kineetilisest energiast, sundides neid tugevamini võnkuma. Vastavalt molekulaar-kineetilisele teooriale tähendab molekulide liikumise tugevnemine juhtme temperatuuri tõusu.

Mida suurem on juhtme takistus ja mida rohkem elektrone liigub edasi üheaegselt, seda suurem peab olema juhtme soojenemine.

Võtame ühesuguse pikkuse ja paksusega mitmesugusest metallist (raud, nikeliin, vask) traaditükke, ühendame need järjestikku ja laseme neist voolu läbi.

Traadid soojenevad erinevalt: kõige soojem on nikeliin-, siis raud- ja kõige vähem soe on vasktraat.

Voolu tugevus kõigis traatides on ühesugune, kuid suurim takistus on nikeliinil, väikseim kõigist — vasel.

Suurendades voolu tugevust märkame, et suureneb ka traadi kuumenemine.

Mida kauem laseme voolu läbi juhtmete, seda rohkem tekib neis soojust.

Soojuse hulk, mis tekib juhtmes elektrivoolu läbiminekul, sõltub voolu tugevusest, juhtme takistusest ja ajast.

Küsimusi.

1. Tooge näiteid elektrienergia muundumisest soojusenergiaks.
2. Millest sõltub soojuse hulk, mida vool tekitab juhtmes?
3. Kuidas selgitada molekulaar-kineetilise teooria alusel juhtme soojendamise sõltuvust voolu tugevusest?

54. **Joule'i ja Lenzi seadus.** Uurides küsimust elektrienergia muundumisest soojusenergiaks, tõendasid inglane Joule ja vene füüsik Lenz, et kui elektrivool mingisugust muud toimet ei avalda, siis kogu ta energia muundub juhtmes soojuseks.

Gramm-kalorite hulk Q, mida tekitab I-amprine vool V-voldise pingega t sekundi jooksul, on ekvivalentne selleks

kulutatud elektrienergiaga VIt vatt-sekundit: $Q = qVIt$, kus koefitsient q annab võrdsuse vatt-sekundite arvu ja ekvivalentse kalorite arvu Q vahel. Et määrata kindlaks q tähendust, oletame, et $V = 1$ voldiga, $I = 1$ ampriga, $t = 1$ sekundiga, siis $Q = q$.

Järelikult:

q on soojuse hulk, mida tekitab ühes sekundis 1-vatise võimsusega vool.

Suurust q nimetatakse elektrienergia soojus-ekvivalendiks.

Katselisel teel on leitud, et elektrienergia soojus-ekvivalent $q = 0{,}24$ gramm-kalorit vatt-sekundis.

See arv näitab, milline soojuse hulk tekib voolu tööga, mis on võrdne ühe vatt-sekundi ehk ühe džauliga.

Asendades suuruse q valemis $Q = qVIt$ tema arvulise suurusega, saame $Q = 0{,}24$ VIt.

Ohmi seaduse järgi $V = IR$. Asendades selle V tähenduse valemis $Q = 0{,}24$ VIt, saame

$$Q = 0{,}24\ I^2Rt \text{ gramm-kal.}$$

Voolu poolt eraldatud soojuse hulk on võrdeline voolu tugevuse ruuduga, juhtme takistusega ja ajaga.

See valem, mis on tuletatud inglise füüsiku Joule'i ja temast sõltumatult vene füüsiku Lenzi poolt, kannab Joule-Lenzi seaduse nimetust.

Küsimusi.

1. Milles seisab Joule-Lenzi seadus?
2. Kirjutage Joule-Lenzi seaduse valem!
3. Mida tähendab koefitsient 0,24, mis kuulub sellesse valemisse?

55. **Laboratoorne töö nr. 4.** Töö eesmärk. **Määrata kindlaks elektrikeetja soojuse-loovutus.**

Riistad ja abinõud: vooluallikas — linna vool; elektrikeetja; ampermeeter, voltmeeter; lüliti; juhtmed; kell; kaalud väiksemate vihtidega; kalorimeeter; termomeeter.

Soojendaja soojuse-loovutuseks nimetatakse vee soojendamiseks kulutatud soojusehulga suhet äratarvitatud elektrienergia hulgaga.

$$\eta = \frac{Q_1}{0{,}24\ IVt},$$

kus η on keetja soojuse-loovutus.

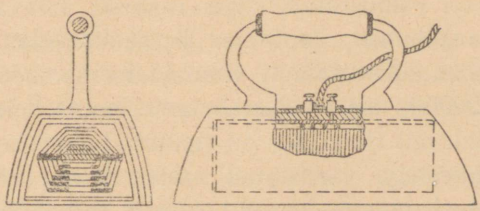
Vett soojendame temperatuurist T kuni keemiseni (100°).

Voolu tugevus I	Pinge V	Voolu läbilaskmise aeg t	t sekundi jooksul eraldunud soojus $Q = 0{,}24\ IVt$	Vee hulk m	Vee algtemperatuur T°C	Vee poolt saadud soojuse hulk $Q_1 = m\,(100-T)$ gramm-kal.

$$\eta = \frac{m\,(100-T)}{0{,}24\ IVt}.$$

56. **Soojendusriistad.** Juhtme soojenemist voolu abil kasutatakse mitmesugusteks tehnilisteks otstarveteks.

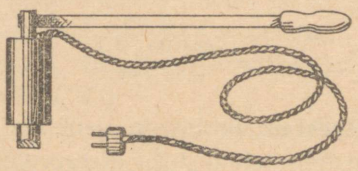
On olemas terve rida soojendusriistu, mis töötavad juhtme soojenemise tagajärjel voolu abil, alates keetjast klaasi vee jaoks ja lõpetades elektripliitidega toiduvalmistamiseks. Selliste riistade olulisemaks osaks on suure takistusega traat, mis on asetatud riista sisemusse (joon. 60).



Joon. 60. Elektritriikraud.

Soojenedes voolust, soojendab see traat kas riista ennast või tema sisu. Võimalus voolu tugevuse muutmisega täpselt reguleerida riistadesse tulevat soojuse hulka lubab valmistada isegi inkubaatoreid lindude väljahaudumiseks. Joonisel 61 on kujutatud elektrijootekolb, mida soojendatakse vooluga, mis läbib jootekolbis olevat traatpooli.

Mäetööstuses ja sõjaasjanduses kasutatakse voolu soojustoimet miinide lõhkema panemiseks. Miini sütik koosneb kahest paljast traadist, mis on ühendatud peenikese traadikesega. Soojenedes voolust, süütab peenike traadike süütelaengu. Selline miinide lõhkemapanemise viis annab võimaluse teostada lõhkemist vajalikul momendil ja seejuures, kui tarvis, üheaegselt mitut lõhkemist paljudes kohtades korraga.



Joon. 61. Elektrijootekolb.

57. **Hõõglamp.** Voolust hõõguma pandud juhtmete helendamine on ära kasutatud elektrihõõglampides.

Õhutühi lamp koosneb peenikesest «niidist» — traadikesest, mis on valmistatud väga raskesti sulavast metallist: volframist, osmiumist, tantaalist ja nende sulameist. Nende metallide kõrge sulamispunkt võimaldab viia hõõgumistemperatuuri üle 2000°, mis soodustab lambi suurt helendust.

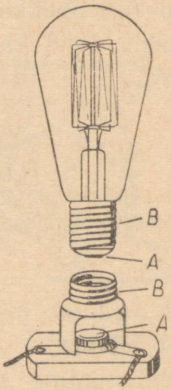
Lambi pikk niit (joon. 62) on riputatud üksteisest isoleeritud metallkonksukestega varustatud spetsiaalsesse varna. Vetruvad traadikesed, pingutades niiti, ei lase teda hõõgumise ajal, millal niidi pikkus on suurenenud, konksudelt vabaneda.

Õhus põleks hõõgniit läbi momentaanselt. Et seda ei juhtuks, asetatakse niit klaaspirni, millest õhk hoolikalt välja pumbatakse.

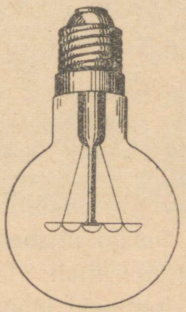
Elektrilambi niidi otsad on joodetud kahe traadi külge, mille välised otsad on joodetud lambi metallosa külge.

Üks traat on joodetud metallosa A, teine — vindikeermiku B külge.

Lambi lülimiseks võrku kruvitakse ta spetsiaalsesse p a d r u n i s s e. Padruni sisemine osa (joon. 63) koosneb portselankehast, millele on kinnitatud kaks metallosa: metalne sam-



Joon. 62 ja 63. Elektrilamp ja padrun.



Joon. 64. Gaasitäidisega lamp.

bake A, mis puudutab lambi metallosa, kui see on keeratud padrunisse, ja vindikeermik, mis sobib lambi vindikeermikuga. Mõlemad osad omavad klemmi, mille külge kinnitatakse võrgu juhtmed.

Teist liiki lambid, mida kasutatakse käesoleval ajal, on g a a s i t ä i d i s e g a lambid (joon. 64). Neis lampides on volframniit, mis soojuse kiirgamise vähendamise otstarbel on

keeratud väikseks spiraaliks, asetatud klaaspirni, mis on täidetud põlemist mittesoodustava gaasiga — lämmastikuga või argoniga. Gaasi olemasolu pirnis takistab hõõgniidi lendumist ja lubab hõõgniidi temperatuuri tõsta kuni 2900°-ni.

Iga lambi metallosal või klaasil on rida arve, mis näitavad, millise pinge jaoks on arvestatud antud lamp ja millist võimsust ta seejuures tarvitab.

Esimese hõõglambi leiutas 1873. a. vene teadlane L o d õ g i n.

E d i s o n, kes lahendas praktiliselt valgustusküsimuse elektrilampide abil, kasutas hõõgniidina süsiniiti, aga et see niit hõõgudes läbi ei põleks, pumbati õhk pirnist hoolikalt välja. Edisoni süsiniidiga lamp on väga vastupidav, kuid tarvitades palju voolu, annab võrdlemisi vähe valgust.

Küsimusi.

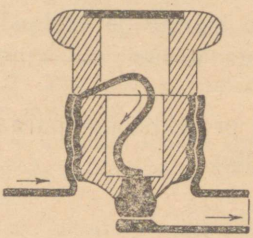
1. Miks õõslampidest pumbatakse õhk välja?
2. Miks kasutatakse lampides traate raskesti sulavaist metallest?
3. Miks gaasiga täidetavaid lampe täidetakse lämmastiku või argoniga?

57-a. **Sulavkaitsmed.** Elektrivõrgu juhtmed on arvestatud vastavalt suurimale voolule, mis neid peab läbima.

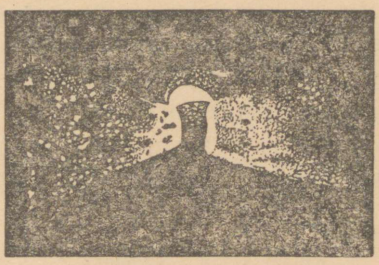
Kuni juhtmeid läbiv vool ei ületa antud juhtme suurimat lubatud koormust, soojeneb juhe vähe. Kuna soojuse hulk, mida vool eraldab juhtmes, on võrdeline voolu tugevuse ruuduga, siis juhtme igasugune ülekoormatus vooluga kutsub esile tunduva soojenemise. Suure tugevusega voolu juures võib ka jäme juhe niivõrd soojeneda, et isolatsioon hakkab põlema ja kogu võrk läheb rikki, või mis veel halvem, põlev isolatsioon kutsub esile tulekahju. Isolatsiooni riknemise korral võib vool suureneda kümneid tuhandeid kordi, mis võib rikkuda kogu liini. Et vältida liini soovimatuid ülekoormatusi ja sellega seoses olevaid katastroofe, asetatakse igasse üksikusse liini spet-

siaalsed kaitsmed, mille ülesandeks on — lülida liin automaatselt välja, kui selles vool suureneb üle lubatud määra.

Liini iga juhe on katkestatud ja katkemise kohta on asetatud kaitsepadrun. Kaitsepadrun koosneb portselantoosist ja selles, nagu harilikus padruniski, on metalne keermetis ja varb, kuhu on toodud katkestatud juhtme otsad. Sellesse padrunisse asetatakse portselanist kehake — k o r k, mille sisse paigutatakse seatinast traat (joon. 65); traadi üks ots on kinnitatud metallvarva külge korgi põhjas, aga teine — metallkeermetisele, mille abil kork keeratakse padrunisse. Juhtme vool läbib ka seatinatraadi. Niipea kui vool ületab lubatud normi, sulab



Joon. 65.



Joon. 66. Voltakaar.

seatinatraat ja juhe, mille otsi ta ühendas, on katkestatud. Vool katkeb. On vaja leida põhjus, mis kutsus esile korgi läbipõlemise, kõrvaldada see põhjus ja asetada kohale uus kork. Võrk töötab taas korralikult.

Kaitsmeid on kujult mitmesuguseid, kuid igasuguste kaitsmete peamiseks osaks on juhe, millel on märksa väiksem läbilõige kui liini juhtmetel. Liini iga ülekoormatuse korral sulab eelkõige kaitsme peenike juhe, mis lülib automaatselt välja liini korrast ära oleva juhtme.

58. **Voltakaar**. Eriti heleda valgustuse annab v o l t a k a a r.

Vene õpetlane Petrov lülis 1802. a. kõrgepingega ahelasse kaks söekest. Söekeste vahel tekkis silmipimestav leek (joon. 66).

Voltakaare tekkimist seletatakse järgmiselt.

Süte takistus on eriti suur kohas, kus nad puutuvad teineteisega kokku vähestes punktides. Süte kokkupuute kohas — Joule-Lenzi seaduse põhjal — tekib vastava voolu juures määratu hulk soojust.

Õhk, mis on süte vahel, hakkab hõõguma, ja muutub hõõguvas olekus ise juhiks. Süte eemaldamisel väikesele kaugusele läheb vool läbi õhu. Süte hõõguvad otsad annavad pimestavat valgust ja temperatuuri kuni 4000°C. Selle temperatuuri juures muutuvad peaaegu kõik ained auruks. Sedamööda, kuidas söed põlevad, suureneb nendevaheline kaugus ja et hoida alal parajat kaugust, tuleb seda reguleerida käsitsi või automaatsete regulaatorite abil.

Voltakaart kasutatakse valgustuseks projektsiooniaparaatides, filmimisel, tuletornides ja prožektorites.

Küsimusi.

1. Kuidas tekib voltakaar?
2. Miks voltakaare puhul on aheļas vool, kuigi söed ei puuduta teineteist?

59. **Elekterkeevitamine.** Soojuse abil, mida annab vool, võib keevitada metalle. Selleks juhitakse keevitatavaisse metallitükkidesse tugev vool. Keevitatavate tükkide ühinemise kohas on ahela suurim takistus halva kontakti tõttu; vastava voolutugevuse juures tekib siin selline soojusehulk, mis sulatades metallid, keevitab kaks tükki kokku.

Küsimusi.

1. Miks keevitamise juures tekib suur soojusehulk just keevitatavate metallide ühinemise kohas, mitte aga teistes kohtades?
2. Miks juhtmete ühendamisel neid mitte ainult ei keerata kokku, vaid ka joodetakse?

Ülesandeid V peatüki juurde.

1. Kaks traati — nikeliin- ja vasktraat — ühesuguse läbilõike ja pikkusega on järjestikku lülitud ühte ja samasse ahelasse. Milline neist soojeneb tugevamini? Mispärast?

2. Kaks traati — nikeliin traat pikkusega 1 m ja läbilõikega 2 mm² ja raudtraat pikkusega 2 m ja läbilõikega 0,5 mm² — on lülitud järjestikku samasse ahelasse. Millises traadis tekib rohkem soojust?

3. Miks elektriahju või triikraua mähised, vaatamata soojuse katkestamatule tekkimisele, ei põle läbi?

4. Soojendusriist, mis koosneb nikeliinspiraalist, on pandud veega täidetud anumasse. Millise maksimaalse temperatuurini võib soojeneda spiraal? Miks?

5. Kui soojendusriist võtta veest välja, ilma et ta oleks varem vooluahelast välja lülitud, siis põleb ta kiiresti läbi. Miks?

6. Kuidas seletada, et voolu läbiminekul juhtmest ja elektrilambi niidist viimane kuumeneb hõõgumiseni, kuna juhtmed peaaegu ei soojenegi, kuigi voolu tugevus juhtmes ja lambi niidis on ühesugune?

7. Mispärast tarvitatakse vooluahela kaitsmena traate kergesti sulavaist metallest?

8. Kuipalju soojust eraldub elektrisoojendajas kahe minuti jooksul, kui soojendaja takistus on 20 oomi ja sellest läbimineva voolu tugevus on 6 amprit?

9. Kuipalju soojust eraldab elektriahi, mis on lülitud 110-voldise pingega võrku, ühe minuti jooksul, kui ahju takistus on 30 oomi?

10. Milline soojusehulk tekib ühe minuti jooksul meetripikkuses nikeliintraadis, mille lõikepind on 0,45 mm², kui traati läbib 4-amprine vool?

11. 40-oomise takistusega elektrisoojendaja lülitakse algul 120-voldise pingega võrku, siis 240-voldise pingega võrku. Millises võrgus ja mitu korda rohkem soojust tekib soojendajas?

12. Kui pika ajaga võib 1 l vett soojendada 20°-st kuni keemiseni, kui sellesse lasta juhe takistusega 10 oomi, mille otste pinge on 110 volti?

13. Määrata elektrikeetja traadi takistus, kui see keetja, lülitud 110-voldise pingega võrku, ajab 20°-se klaasi vett (200 g) keema 1 minuti jooksul?

14. Kui palju soojust eraldub tunnis elektritriikrauast, mille takistus on 24 oomi ja mida toidetakse 5-amprise vooluga?

15. Kui suur soojusehulk eraldub elektrilambi niidis ühe tunni jooksul, kui lamp 110-voldise pinge juures tarvitab 1-amprist voolu?

16. Petrooleumi nõusse on pandud nikeliinspiraal. Mitme kraadi võrra soojeneb liiter petrooleumi 10 minuti jooksul, kui spiraalist lasta läbi 2-voldise pinge juures 2-amprise tugevusega vool? (Petrooleumi erisoojus — 0,5).

17. Millise tugevusega vool läbib elektriteekannu mähist, kui teekannus aetakse 2 l 20°-st vett keema 10 minuti jooksul? Võrgu pinge — 120 volti.

18. Kaks 60-voldist lampi, esimene takistusega 400 oomi, teine — 100 oomi, lülitakse vaheldumisi võrdseks ajaks 60-voldise pingega võrku. Millises lambis eraldub rohkem soojust?

19. Arvutada 2 mm² läbilõikega nikeliintraadi pikkus, mis on vajalik soojendusriista valmistamiseks, millega võiks 1 l vett soojendada 20°-st kuni keemiseni 5 minuti jooksul. Voolu pinge on 120 volti. Soojuse kaotust mitte arvestada.

20. Elektrirongi vaguni kütmiseks peab vool andma tunnis 2000 suurt kalorit. Võrgu pinge on 200 volti. Milline voolu tugevus läheb kütmiseks? Millega võrdub soojendusriista takistus?

21. Arvutada välja teekannu kasutegur, kui on teada, et 5-amprise voolutugevuse ja 100-voldise pinge juures võib selles 8 minuti jooksul ajada keema 600 g vett algtemperatuuriga 12°.

VI peatükk.

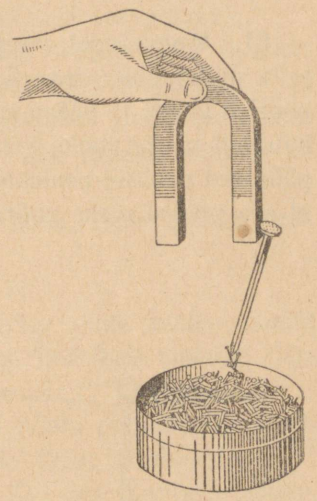
ELEKTROMAGNETIVÄLI.

60. **Magnetilisi põhinähtusi.** Juba vanast ajast oli teada, et mõned rauamaagid omavad võimet tõmmata külge rauda. Sellist maaki nimetati magnetikiviks ehk magnetiks, sest selle maagi suured lademed asetsesid Väike-Aasias Magneesia linna läheduses.

Puudutades raudnaelaga magnetit, me võime näha, et nael muutub magneti juuresolekul ise magnetiks (joon. 67). Ta tõmbab külge väikesi raudnaelakesi, milledest võib saada üsna pika ketikese. Niipea kui magnet rauast eemaldada, kaotab raud magnetilise jõu.

Täpselt samuti magnetiseeritakse magneti juuresolekul terast, kuid magneti eemaldamisel jääb karastatud teras magnetiseerituks, seepärast võib karastatud terasest valmistada alalisi magneteid.

Asetame magneti laual laialipuistatud rauapurule; tõstnud magneti laualt, märkame, et rauapuru on jäänud tihedamini magneti otste külge. Mida lähemale keskkohale, seda nõrgem on magneti külgetõmbejõud (joon. 68).



Joon. 67.

Magneti need kohad, kus ilmnevad magneti suurimad mõjud, nimetatakse p o o l u s t e k s.

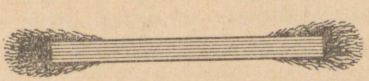
Sirget, mis ühendab pooluseid, nimetatakse magneti t e l j e k s.

Raua külgetõmbamine magneti poolt ilmneb ka neil juhtudel, kui magneti ja raua vahel on õhukesed klaas-, kartong- ja puuplaadikesed.

Kui magneti poolus asetada karpi, kus asub raua- ja vasepuru, siis magnet tõmbab külge ainult rauapuru. Tähendab, magnet ei tõmba külge iga metalli.

Tähelepandavamaid magnetilisi omadusi evivad teras ja raud, mida ka kasutatakse tehnikas magnetiliste materjalidena.

Et magnetiseerida teras-sukavarrast või -sulge on küllalt, kui neid mööda libistada mõned korrad magneti poolust. Suuri terasetükke magnetiseeritakse elektrivoolu abil.

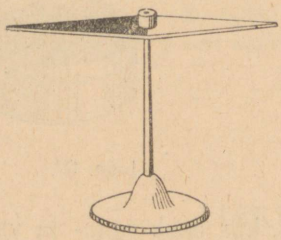


Joon. 68. Magneti poolused.

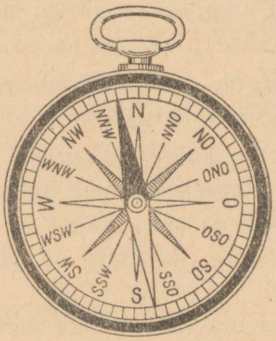
Küsimusi.

1. Mida nimetatakse magneti poolusteks?
2. Kuidas magnetiseerida väikest teras-eset?
3. Töökoja põrandal segunesid raua- ja valgevasepuru. Kuidas neid teineteisest eraldada?

61. **Magnetnõel.** Magnetiseerime terasnõela ja paigutame selle mingi aluse teravikule (joon. 69). Magnetiseeritud nõel pöörleb alusel ja võtab siis asendi nii, et üks poolus näitab ligikaudselt põhja poole, teine lõunasse. Märgime ära põhja poole pööratud pooluse pealekleebitud paberiga ja pöörame nõela nii, et see poolus oleks pööratud lõunasse. Kuidas me ka püüak-



Joon. 69. Magnetnõel.



Joon. 70. Kompass.

sime muuta nõela asendit, pöörab ta end lõppude-lõpuks ikkagi nii, et märgitud poolus on pöördud põhja poole, aga teine poolus — lõunasse.

Nimetame edaspidi poolust, mis on pööratud põhja poole, magnetiliseks põhjapooluseks ja märgime ta ära tähega N (algustäht sõnast Nord, mis tähendab «põhi»). Lõunasse pööratud pooluse tähistame tähega S (algustäht sõnast Süd, mis tähendab «lõuna»).

Sihti, millele jääb peatuma liikuva magnetnõela telg, nimetatakse magnetiliseks meridiaaniks.

Vertikaalset tasapinda, mis läheb läbi magnetilise meridiaani, nimetatakse magnetilise meridiaani tasapinnaks.

62. **Kompass.** Vabalt ülesriputatud magnetnõela omadus asetuda kindlas sihis oli hiinlastele teada 4000 aastat tagasi, ja selliseid nõelu kasutasid nad pikkadel reisidel suuna määramiseks. Hiinlaste kaudu nähtavasti tutvusid magnetnõelaga ka teised rahvad.

Magnetnõel on k o m p a s s i — riista, mille abil määratakse ilmakaari, — peamine osa.

Kompassi ehitus on näha joonisel 70.

Skaala keskkohta on asetatud telg, mille otsas pöörleb magnetnõel. Nõela põhjapoolne ots on harilikult siniseks värvitud.

On kompassikarp pööratud nii, et nõela põhjapoolus ühtib skaala punktiga N, määratakse skaala järgi ilmakaari.

63. **Pooluste vastastikune mõju.** Kui magnetnõela põhjapoolusele järgimööda lähendada mingi magneti poolused, siis märkame, et nõela põhjapoolus tõukub magneti põhjapoolusest eemale ja tõmbub lõunapooluse poole. Nõela lõunapoolus tõukub eemale magneti lõunapoolusest ja tõmbub põhjapooluse poole. Selle nähtuse alusel võib teha järelduse: **isenimelised magnetipoolused tõmbuvad, ühenimelised tõukuvad.**

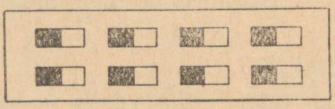
Küsimusi.

1. Kuidas mõjuvad teineteisele magneti poolused?
2. Kas näitab kompassinõel põhjast lõunasse, kui nõelale lähendada magnet?
   Kas muutub kompassinõela suund, kui nõelale lähendada rauatükk?
3. Mõningates maakohtades, eriti mäeahelike läheduses, mis sisaldavad rohkesti rauda, kaldub nõel meridiaanist tugevasti kõrvale. Üks selliseid tugevamaid kõrvalekaldumisi on märgatav meie Liidus Kurski läheduses (Kurski anomaalia). Millele osutab Kurski anomaalia?

64. **Magneti ehitus.** Sukavarda magnetiseerimisel tekkisid varda otstes erinevad poolused. Proovime, kas pole võimalik magnetit saada ühe poolusega?

Magnetiseerime vineerisae tera ja proovime pärast magnetiseerimist sae mõlemaid otsi. Selgub, et magnetiseeritud sae otstes kujunesid mõlemad poolused. Asetades sae rauapurusse, märkame, et poolused on tõmmanud rauapuru külge eriti palju, kuna keskel külgetõmbunud puru ei olegi.

Murrame sae pooleks. Kas ei lähe korda sel juhul eraldada üht poolust teisest?



Joon. 71.



Joon. 72.

Proovinud järele sae tükid, märkame, et meil pole ka sel kombel läinud korda eraldada ühte poolust teisest.

Kumbki tükk kujutab enesest tervet magnetit, mille ühes otsas on põhja-, teises aga lõunapoolus.

Kumbagi tükki võib veel kord katki murda ja taas saame ühe asemel kaks tervet magnetit, milledel on mõlemad poolused.

See annab põhjust oletada, et magneti molekulid kujutavad enesest nagu väga väikesi magnetikesi, mis on asetatud nii, et nende ühenimelised poolused on suunatud samas suunas (joonis 71.).

Kui magnetikeste asend muutub ja nad asetuvad üksteise suhtes korratult, siis keha tervikuna osutub mittemagnetiseerituks (joon. 72).

Kuumutame teras-sukavarda tulipunaseks ja laseme jahtuda. Pärast jahtumist osutub sukavarras mittemagnetiseerituks. Soojendamisest oli küllalt, et rikkuda molekulaarsete

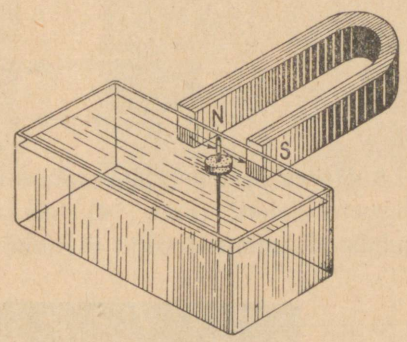
magnetikeste asendit. Täpselt samuti kaotavad magnetid magnetivõime rappumisel ja löökide all, sest rappumisel on molekulidel kergem oma asendit muuta.

Küsimusi.

1. Kas on võimalik saada ühe poolusega magnetit?
2. Milline ehitus on magnetil?
3. Mispärast soojenemisel ja põrumisel magnet kaotab magnetivõime?

65. **Magnetiväli.** Magnetiseerime õmblusnõela ja torganud selle läbi väikese korgi, paneme ta ujuma veeanumasse. Nõel on vaja torgata korgisse nii, et nõel ujuks vees vertikaalses asendis (joon. 73) ja et tema põhjapoolus oleks ülalpool.

Lähendades nõela põhjapoolusele hobuserauakujulise magneti põhjapooluse, märkame, et nõela põhjapoolus hakkab kõverjoont mööda liikuma hobuserauakujulise magneti põhjapooluse poolt lõunapooluse poole.



Joon. 73. Magneti pooluse liikumine magnetiväljas.

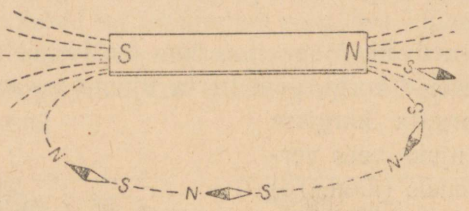
Joont, mida mööda liigub magnetipoolus, nimetatakse tungjooneks.

Asetades nõela hobuserauakujulise magneti lähedusse mitmesse kohta, näeme, et magneti pooluste läheduses on nõela igal asendil oma eri tungjoon. Teiste sõnadega öeldes, poolustelähedases ruumis võib tõmmata väga palju tungjooni.

Magnetit ümbritsevat ruumi, kus ilmnevad magneti tungjooned, nimetatakse magnetiväljaks.

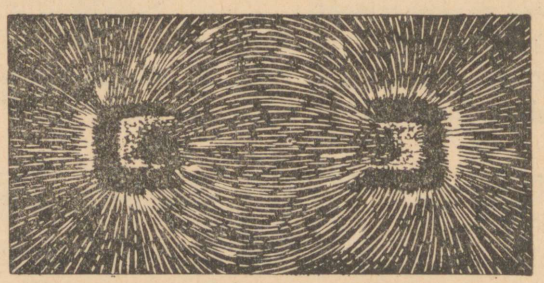
On lepitud kokku võtta tungjoonte suunaks see suund, mida mööda magnetiväljas liigub magneti põhjapoolus. Tähendab, tungjooned väljuvad põhjapooluses ja suunduvad lõunapoolusesse.

Magnetnõel, mis on paigutatud magnetivälja teatud kohta, jääb antud kohas seisma tungjoone puutuja suunas.



Joon. 74. Magnetnõela asend magnetiväljas.

Asetades magnetivälja mitmesugustesse kohtadesse väikesi magnetnõelakesi (joon. 74), me võiksime jälgida tungjoonte suunda. Toimime teisiti: asetame lauale magneti ja paneme

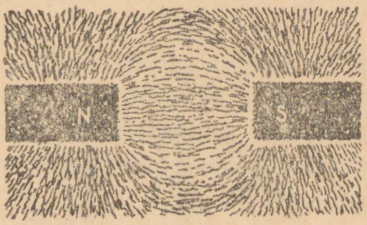


Joon. 75. Magneti spekter.

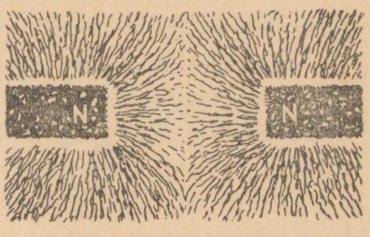
selle peale kartongilehe. Riputanud kartongile ühtlase kihina veidi rauapuru ja raputanud kartongi, näeme, et puru on asetunud omapäraste joontena, mis suunduvad ühest poolusest teise (joon. 75).

Rauapuru, olles magneti läheduses, muutus ise väikesteks magnetiteks. Raputades kartongi, anname rauapurule võimaluse vabaneda hõõrdumisest vastu kartongi ja võtta seda asendit, mida nad magneti mõju all võtma pidid. Rauapurust moodustunud pilti magnetiväljas nimetatakse magnetiliseks spektriks.

Joonisel 75 on kujutatud sirgjoonelise magneti spekter. Joonisel 76 on kujutatud magneti spekter kahe isenimelise poo-

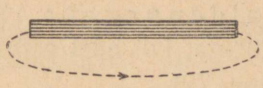


Joon. 76. Magneti spekter isenimeliste pooluste vahel.



Joon. 77. Magneti spekter ühenimeliste pooluste vahel.

luse vahel. Tungjooned N ja S vahel nagu püüaksid lühendada, mis on võimalik ainult sel tingimusel, kui magnetid üksteisele lähenevad. Joonisel 77 on kujutatud magneti spekter kahe ühenimelise pooluse vahel. Tungjooned nagu suruksid üksteisele peale. Me teame, et antud juhul magnetid tõukavad teineteist eemale.



Joon. 78.

Küsimusi.

1. Mida nimetatakse magneti tungjooneks?
2. Mida nimetatakse magnetiväljaks?
3. Magneti tungjoonte suund on näidatud noolega (joon. 78). Määrake kindlaks poolused.

66. **Maa magnetiväli.** Katsed magnetnõelaga, mis asetub kindlas sihis, ja kompassi kasutamine reisidel on selle tõenduseks, et meie asume, magnetiväljas, mis ümbritseb Maad. Kuna magnetnõelu kasutati reisidel, mida kaubanduse tekkimise ja arenemise ajajärgul võeti ette selleks, et avastada uusi maid, uusi kaubaturge, siis on täiesti arusaadav, et magnetnõela usaldusväärseks kasutamiseks oli vaja uurida selle nõela omadusi ja õppida valmistama häid magnetnõelu.

Üks esimesi magnetiliste nähtuste uurijaid oli meremees ja kompassimeister Norton.

Vaadeldes magnetnõela asetust, me ütleme, et nõela põhjaots näitab põhjasuunas. See pole täiesti õige. Magnetilise meridiaani siht ei ühti geograafilise meridiaani sihiga. Nurka geograafilise ja magnetilise meridiaani vahel nimetatakse *käände- ehk deklinatsiooninurgaks*.

Kolumbus märkas, et käändenurgal on erinevates kohtades eri suurused. Tähendab, magnetilised poolused ei ühti geograafiliste poolustega. Peale selle on pandud tähele, et isegi ühes ja samas kohas ei jää käändenurk samaks, vaid muutub aeglaselt aastast aastasse.

Kui Maa magnetivälja uurimiseks kasutada magnetinõela, mis võib pöörelda mitte üksnes vertikaaltelje, vaid ka horisontaaltelje ümber, siis näeme, et nõel moodustab nurga horisontaaltasapinnaga. Nurka nõela telje ja horisontaaltasapinna vahel nimetatakse *kaldenurgaks*. See nurk on keskmistes laiustes võrdne 70°-ga, kui nõel pöörleb magnetilise meridiaani tasapinnas (joon. 79).

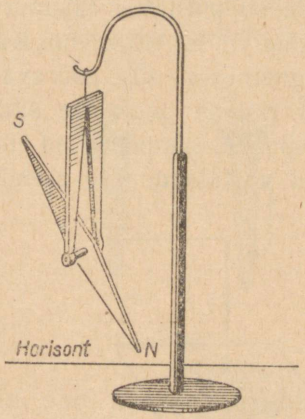
Maa magnetilistel poolustel on kaldenurk 90°, magnetilisel ekvaatoril aga on kaldenurk võrdne 0°.

Magnetnõel, mis võib vabalt pöörelda igas suunas, asetub tungjoonte sihis. Teades, kuidas asetusid magnetnõelad, võime määrata kindlaks Maa magnetivälja tungjoonte sihte.

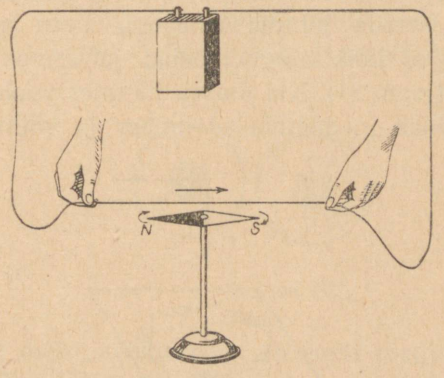
Asetsedes magnetiväljas, mis on tekitatud mingi lähedal asetseva magneti poolt, magnetiseerub iga rauatükk.

Täpselt samuti magnetiseeruvad raudkepp, rööpad ja laeva teraskorpus, mis asetsevad Maa magnetivälja tungjoonte sihis.

Laeva korpuse raud- ja terasosade lähedalolek ja nende magnetiseerumine mõjutavad muidugi kompassnõela õiget näitamist, kui laev muudab oma asendit Maa magnetivälja tungjoonte suhtes.



Joon. 79.



Joon. 80. Voolu magnetiväli.

Et vältida seda mõju, asetatakse laevakompassile täiendavaid magneteid ja koostatakse laeva mitmesuguste asendite korraks kompassinõela näitajate jaoks paranduste tabel.

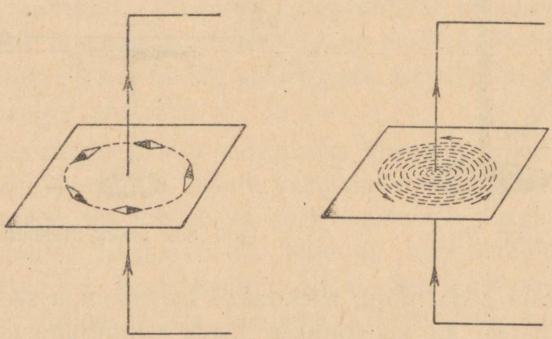
Küsimusi.

1. Milline magnetiline poolus asetseb Maa põhja-poolkeral?
2. Mida nimetatakse magnetnõela käände- ja kaldenurgaks?
3. Raudrööbas asetati maa peale põhja-lõuna suunas. Miks magnetiseerub selline rööbas iseenesest?

67. **Voolu magnetiväli.** Esialgsel tutvumisel elektrivooluga nägime, et voolu läbiminekuga juhtmest kaasnevad magnetilised nähtused. Asetame juhtme kohale paralleelselt magnetnõela ja laseme sellest voolu läbi (joon. 80). Me näeme, et magnetnõel kaldub endisest asendist kõrvale. Niipea kui vool katkeb, võtab magnetnõel esialgse asendi.

Kuna magnetnõel kaldub kõrvale voolu tõttu, siis nähtavasti tekib voolu läbiminekul juhtmest juhtme ümber magnetiväli.

Uurime magnetivälja. Lastes voolu läbi jämeda traadi, mis on torgatud läbi kartongi ja millele on puistatud rauapuru (joon. 81), näeme, et puru asetub juhtme ümber ringidena. Kui asetada juhtme lähedusse mitu magnetnõela, siis pööravad end kõik magnetnõelad ja asetuvad ringide puutujate sihis (joon. 81). Kui muuta juhtmes voolu suunda, siis pööravad end kõik magnetnõelad ümber ja võtavad vastassuunalise asendi.



Joon. 81. Sirgjoonelise voolu magnetiväli.

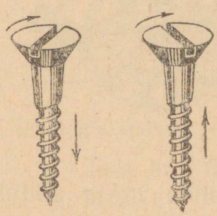
Sirgjoonelise voolu magnetivälja tungjooned on kontsentrilised ringjooned, mis asetsevad voolu sihiga ristiseisval tasapinnal.

Et määrata kindlaks magneti tungjoonte suunda, kasutatakse «kruvi reeglit».

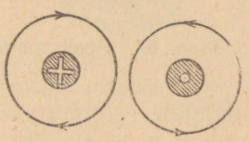
Tungjooned on suunatud nii, nagu liigub kruvipea, kui vool on suunatud nii, nagu liigub kruvi ise (joon. 82).

See reegel jääb kergesti meelde. Et keerata kruvi puusse, tuleb seda pöörata kellaosuti liikumise suunas. Vool, mis eemaldub meist, annab magnetivälja, milles magneti põhjapoolus liigub kellaosuti suunas.

Ütleme, et voolukandva juhtme läbilõige on ringikujuline. Kui selle ringi keskele teeme punkti, siis tähendab see, et vool tuleb meie suunas (nagu näeksime lendava noole teravikku).



Joon. 82.



Joon. 83.

Kui vool juhtmes eemaldub meist, teeme ringi ristikese (nagu näeksime lendava noole saba). Võtnud vastu need tingimused, võime kujutada magnetivälja suunda juhtme ümber, milles on vool, nii nagu kujutatud joonisel 83.

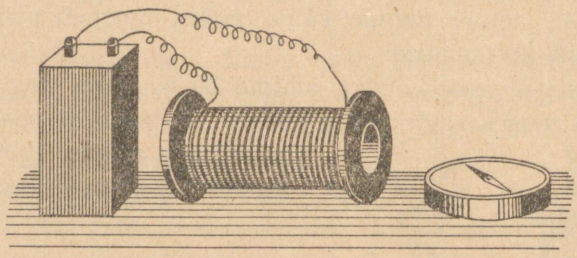
Küsimusi.

1. Mida kujutavad endast sirgjoonelise voolu magnetilised tungjooned?
2. Milles seisab kruvi reegel?

68. **Magnetismi elektriline olemus.** Kui mähkida pliiatsile mitu keerdu kellatraati, siis saame spiraali, mis voolu läbi lastes ilmutab magnetilisi omadusi. Eriti tugevasti ilmnevad mag-

netilised omadused elektrivooluga poolis, kui sellesse paigutada raudsüdamik.

Uurime järele, millistest põhjustest sõltuvad elektrivooluga pooli magnetilised omadused. Eemaldanud vooluga pooli magnetnõelast sellisele kaugusele, kus ta mõju magnetnõelale pole märgatav, suurendame voolu tugevust. Seejuures märkame, et pool mõjutab magnetnõela (joon. 84).



Joon. 84. Pooli magnetiliste omaduste järeleproovimine.

Tähendab, vooluga pooli magnetiline mõju sõltub pooli läbiva voolu tugevusest.

Jättes muutmata pooli kauguse magnetnõelast, asendame antud pooli uue pooliga, millel on rohkem keerdusid, ja suurendades järk-järgult voolu tugevust, määrame, millise voolu puhul ilmneb pooli magnetivälja märgatav mõju.

Selgub, et suurema keerdude arvuga pooli juures on nõela märgatavaks mõjutamiseks vaja väiksemat voolutugevust.

Tähendab, pooli magnetiline mõju sõltub ka pooli läbiva voolu tugevusest ja pooli keerdude arvust.

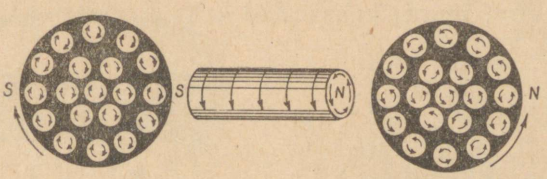
Pooli magnetiline mõju on võrdeline amper-keerdude arvuga, s. o. voolutugevuse (ampreis) ja keerdude arvu korrutisega.

5-amprine vool, mis läbib 20 keeruga pooli, avaldab samasugust mõju nagu 1-amprine vool, mis läbib 100 keeruga pooli.

Kui poolisse asetada raudsüdamik, siis tema magnetiline mõju suureneb tunduvalt.

Raudsüdamiku viimine pooli mõjub samuti nagu amper-keerdude arvu suurendamine.

See tähelepanek lubab oletada, et raudsüdamikus, mis on asetatud voolu all olevasse pooli, tsirkuleerivad samasuunalised ringvoolud nagu pooliski. Need ringvoolud suurendavadki raudsüdamikuga pooli amper-keerdude arvu.



Joon. 85. Molekulaarsed ringvoolud magnetis.

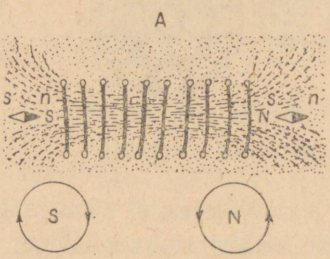
1820. a. prantsuse füüsik A m p è r e oletas, et keha magnetilised omadused kutsutakse esile elektri ringvooludega, mis ümbritsevad keha osakesi. Kuni raud pole asetatud magnetivälja, omavad kõik need molekulaarsed ringvoolud kõige mitmekesisemaid suundi. Niipea kui raud asetatakse magnetivälja, võtavad molekulaarsed voolud kindla suuna, mistõttu raud muutub magnetiks ja tema magnetiväli liitub voolu magnetiväljaga (joon. 85.).

Rauatükk, mis on asetatud magnetivälja, muutub magnetiks, kuid ainult seni, kui raud asetseb magnetiväljas. Kui raud magnetiväljast eemaldatakse, siis tema molekulaarsete voolude asendid muutuvad uuesti kaootiliseks, ja ainult tähtsuseta osa molekulaarsetest vooludest säilitab magnetiväljas saadud suuna.

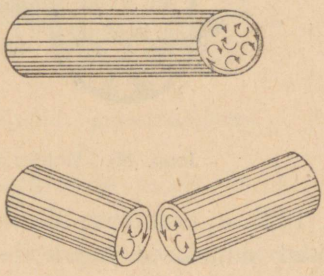
Järelikult rauas ilmneb järelmagnetism. Samu nähtusi täheldatakse ka terase magnetiseerimisel, kuid ainult selle vahega, et **terase järelmagnetism on püsivam kui raua oma.**

Olenedes molekulaarsete voolude suunadest, saame magneti otsas ühe või teise pooluse. Magneti see koht, kust tungjooned magnetist väljuvad, on põhjapoolus. See koht, kuhu tungjooned sisenevad — lõunapoolus.

Voolu all oleva pooli magnetiline spekter on kujutatud joonisel 86. Selles spektris on näha, et tungjooned jätkuvad ka pooli sees. See katse seletab ka seda asjaolu, et magnetit katki murdes saame murde kohas alati kaks poolust.



Joon. 86.



Joon. 87. Molekulaarsete voolude suund murde kohas.

Ringvoolud, mis kulgevad ühes suunas kogu magnetis, omavad murde mitmesugustes tükkides sellist suunda (joon. 87), et ühe magnetitüki tungjooned väljuvad murde kohast ja sisenevad teise tükki.

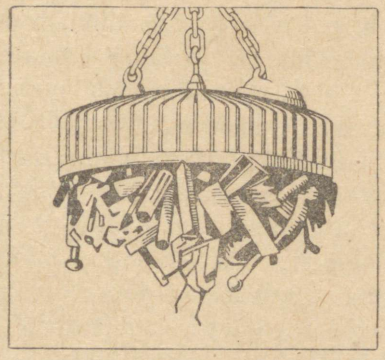
Käesoleval ajal teatakse, et molekulaarsed ringvoolud pole midagi muud kui elektronide liikumine molekulis.

Küsimusi.

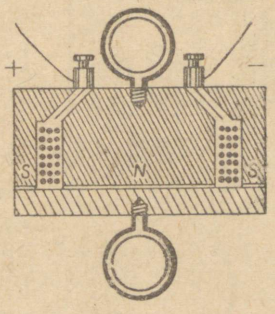
1. Milline on magnetismi olemus?
2. Milline vahe on raua ja terase magnetiseerimisel vooluga?

69. **Elektromagnet.** Olenevalt läbiva voolu tugevusest, keerdude arvust ja magneti kujust, võib valmistada väga tugevaid elektromagneteid, mis on võimelised kandma oma kaalust tunduvalt suuremat koormust (joon. 88).

Elektromagneti lihtsaim kuju on raudsüdamik, mis on asetatud isoleeritud traadist pooli (joon. 89). Kui pooli läbib vool, ilmutab südamik magnetilisi omadusi. Niipea kui vool katkeb, kaotab südamik magnetilised omadused peaaegu täiesti.



Joon. 88. Elektromagnet tõstekraanal.



Joon. 89. Elektromagneti ehituse skeem.

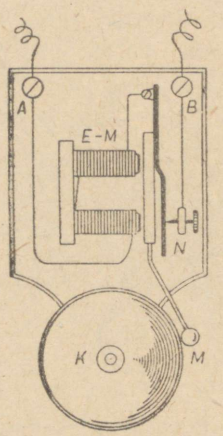
Joonisel 88 on kujutatud elektromagnet tõstekraanal. Viies sellise kraana raudesemete juurde, lülitakse vool sisse; seejuures elektromagneti raudsüdamik magnetiseerub ja tõmbab külge raudesemeid. Ülestõstetud esemete kuhi viiakse teise kohta ja vool lülitakse välja. Elektromagnet kaotab magnetilisuse, raud jääb kohale, aga kraana suunatakse uue koormuse järele.

Suuremat mõju avaldavad hobuserauakujulised magnetid, seepärast kasutatakse neid ka mitmesuguste riistade valmistamiseks. Tõstekraana elektromagnet kujutab enesest hobuserauakujulist magnetit (joon. 89).

Küsimusi.

1. Mis vahe on terasmagneti ja elektromagneti vahel?
2. Millest sõltub elektromagneti tõstejõud?

70. **Elektrikõlisti.** Elektrikõlisti on kujutatud skemaatiliselt joonisel 90. Võtnud kõlistilt katte, näeme hobuserauakujulist elektromagnetit E—M, mille mähise üks ots on kinnitatud kõlisti sisseviiva klemmi A külge.



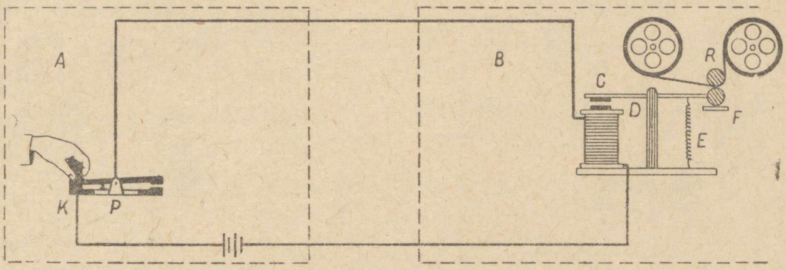
Joon. 90. Elektrikõlisti.

Vool, tulles klemmi A, läheb algul elektromagneti ühte pooli mööda teise, satub sealt vedrusse N, mis tõmbab eemale rauast «ankrut» ja läheb kontaktkruvikese kaudu, mis ühendab metallplaadikest teise klemmiga, vooluvõrku. Voolu läbiminekul tõmbub ankur vastu elektromagnetit ja kuulike M, mis on ühendatud ankruga, annab löögi vastu kellakausikest K. Elektromagneti poolt külgetõmmatud ankur eemaldub kontaktkruvist, mille tagajärjel vool katkeb ja elektromagnet lakkab ankrut külge tõmbamast. Niipea kui vool katkes, tõmbab vedru ankru vastu kontaktkruvi, kusjuures ahelas tekib automaatselt vooluühendus, elektromagnet tõmbab ankru uuesti külge, uuesti katkeb ahelas vool, ja see kordub niikaua, kuni vajutatakse kella juhtme nupule. Ankru igal lähenemisel elektromagnetile lööb kuulike vastu kella ja kuna voolu ühendus ja katkestus kordub, kõliseb kell kogu aja kuni vajutatakse nupule.

Elektrikõlistite abil teostatakse signaliseerimist tulekahju puhul ja igasugustel teistel hädakorra juhtudel abi väljakutsumiseks. Võib seada sisse automaatselt tekkivaid hoiatussignaale. Automaatseid elektromagnetilisi signaale kasutatakse tihti raudteel.

71. **Morse telegraaf.** Telegraaf kujutab enesest seadist, mille abil võib mitte üksnes anda signaale kauguste taha, vaid neid signaale võib ka üles kirjutada. Sõna telegraaf koosneb kahest sõnast: *tele* — kaugel ja *grafo* — kirjutan. Seega on telegraafi-seadeldis määratud signaalide edasiandmiseks kauguste taha ja nende üleskirjutamiseks.

Telegraafi ehitus on järgmine: saatejaamas A on elementide patarei ja eriline voolulüliti P, mida nimetatakse telegraafi võtmeks (joon. 91).



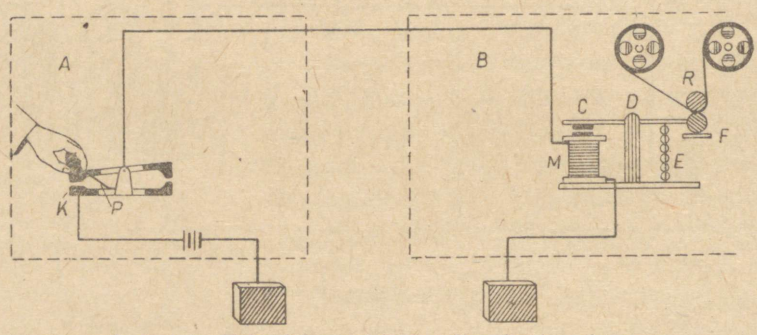
Joon. 91. Morse telegraaf.

Vastuvõtujaamas B on elektromagnet, mille pooluste kohal liikuva kangi õla D külge on kinnitatud raudplaadike C. Kangi teisel õlal, mida kisub eemale vedru E, on rattake F, mis on kaetud värviga. Vastuvõtu- ja saatejaam on ühendatud juhtmega. Telegraafi võti on varustatud vedruga, mis lahutades metallkangi kontaktist K, lülib ahela välja. Et sulgeda ahelat, peab vajutama kangile ja viima selle ühendusse kontaktiga. Voolu sisselülimisega jaamas A tõmbab elektromagnet jaamas B külge raudankru, mis sunnib rattakest F puudutama silindrikest R, mille ümber liigub eri mehhanismi abil pabeririba. Puudutades paberit, jätab rattake sellele jälje — kriipsukese, mille pikkus oleneb sellest, kui kaua vajutati võtmele

jaamas A. Võtme lühikesed vajutused annavad punkte, kestvamad vajutused — kriipse.

Kombineerides kriipse ja punkte võib nende abil koostada leppemärkide tabeli, mille märgid vastavad alfabeedi tähtedele, numbritele ja kirjavahemärkidele.

Joonisel 92 on kujutatud sama skeem, mis joonisel 91, kuid ainult selle vahega, et liiniks jäi üks juhe. Patareist väljuv juhe ja elektromagnetist väljuv juhe pole teineteisega ühendatud metalli abil, vaid on juhitud maasse. Sellise ühenduse puhul osutub teine juhe üleliigseks.



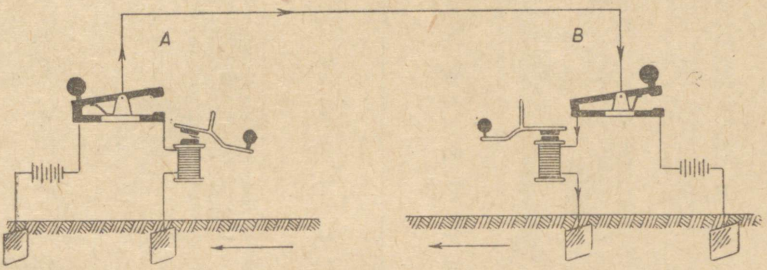
Joon. 92. Kahe telegraafijaama ühendamise skeem.

Joonistel 91 ja 92 on kujutatud telegraafi-seadeldise lihtsaim skeem, mille abil on võimalik telegrammide üleandmine jaamast A jaama B, kuid pole võimalik vastupidine üleandmine. Et oleks võimalik telegrammide vahetus jaamade vahel, on tarvilik, et igaühes neist oleks telegraafi aparaat ja võti.

Ühendusskeem kahele jaamale, mis annab neile võimaluse omavahel ühendust pidada on kujutatud joonisel 93. Siin näeme, et mõlemas jaamas on telegraafi aparaadid ja võtmed. Joonisel 93 on kujutatud kangide asendid juhuks, millal annab üle jaam A, aga jaam B võtab vastu. Vool patareist, mille üks poolustest on maandatud, läheb jaamas A allavajutatud

võtmesse, võtmest juhtmesse, mis ühendab liini, kust satub jaama B võtmesse, mille kaudu suundub elektromagnetisse ja maandub.

Olgu tähendatud, et toodud skeemid on lihtsaimad skeemid, mis selgitavad telegrafeerimise printsiipi. Praeguste telegraafiaparaatide ehitus on märksa keerukam.



Joon. 93. Jaam B võtab vastu telegrammi, mida annab jaam A.

Küsimusi.

1. Kuidas on ehitatud Morse telegraaf?
2. Mis on signaalide edasiandmisel telegraafi teel tagasitulevaks juhtmeks?

72. **Mikrofon ja telefon.** Lihtsaim telefoni-seadeldis koosneb mikrofonist[1], saatejaama patareist ja telefonist[2] vastuvõtte jaamas. Kui koostada ahel järjestikku sisselülitatud mikrofonist, telefonist ja patareist, siis läheb ahelat mööda vool, mille tugevus sõltub patarei pingest ja ahela takistusest.

Nüüdisaja mikrofon (joon. 94) kujutab enesest ümmargust metallkarbikest A ühes õhukese söest kaanega — membraaniga C. Karbis A asetseb söeplaadike B. Plaadikese B ja membraani C vahele on pandud söepulbrit. Plaadikesest B ulatub välja metallvarb D, mis on isoleeritud karbist A ja membraanist C. Mikrofonist tulev vool läheb läbi söeterakeste kihi, mis oma ebatiheda ühenduse tõttu kujutab enesest suurt takistust. Kui membraani ees tehakse mõnesuguseid hääli, siis õhu võnkumised pane-

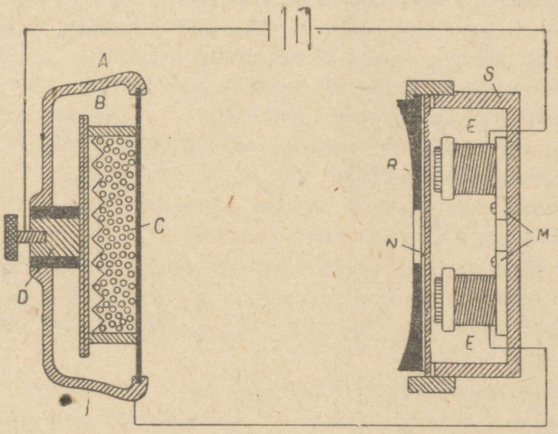
[1] Kreekakeelsed sõnad: *mikros* — väike, *fone* — hääl.
[2] Kreekakeelsed sõnad: *tele* — kauge, *fone* — hääl.

Morse tähestik.

Vene tähestik	Telegraafi-märk	Rahvus-vaheline tähestik	Vene tähestik	Telegraafi-märk	Rahvus-vaheline tähestik
А	.–	A	Р	.–.	R
Б	–...	B	С	...	S
В	.––	W	Т	–	T
Г	––.	G	У	..–	U
Д	–..	D	Ф	..–.	F
Е, Э	.	E	Х	....	H
Ж	...–	V	Ц	–.–.	C
З	––..	Z	Ч	–––.	Ö(Õ)
И	..	I	Ш	––––	CH
Й	.–––	J	Щ	––.–	Q
К	–.–	K	Ъ,Ь	–..–	X
Л	.–..	L	Ы	–.––	Y
М	––	M	Ю	..––	Ü
Н	–.	N	Я	.–.–	Ä
О	–––	O	.	.....	.
П	.––.	P	,	.–.–.–	,

1	.––––	6	–....
2	..–––	7	––...
3	...––	8	–––..
4	....–	9	––––.
5	.....	0	–––––

vad võnkuma membraani C. Membraani võnkumisel surutakse söepulbrile kord tugevamini kord nõrgemini, mille tagajärjel söepulbri takistus ja ühes sellega ka kogu ahela voolu tugevus kõigub järsult. Ahelat läbib muutuva tugevusega vool.



Joon. 94. Mikrofon ja telefon.

Telefonitorusse S on paigutatud permanentne (alaline) magnet M, mille poolustele on pandud peenikesest isoleertraadist poolid E. Magneti pooluste ette on asetatud raudplaadike — telefoni membraan N.

Ahelast tulev vool läbib telefoni poole E.

Voolutugevuse kõikumisel telefoni ahelas muutub membraani külgetõmme magneti poolt. Telefoni membraan võngub täpselt samuti nagu mikrofoni membraan, mistõttu kuuleme telefoni teel edasiantavat kõnet.

Muutuva tugevusega voolud panevad valjuhäälduajas liikuma väikese raudplaadikese, mis on ühendatud suure paberist membraaniga — «difuusoriga». Plaadikese võnkumine paneb võnkuma difuusori, mille tulemusena saadakse valjud hääled.

Mikrofone ja telefone kasutatakse mitte ainult kõnelusteks juhtmete abil ja ilma juhtmeteta (raadio). Mikrofon, mis on lastud vette, lubab kuulatada suure kauguse tagant müra, mida tekitavad vees allveelaevade ja laevade kruvid. On olemas aparaate vaenlase patarei suuna ning kauguse määramiseks ja aparaate lennukite otsimiseks õhus.

Ülesandeid VI peatüki juurde.

1. Üks kahest väliselt täiesti ühesugusest teraspulgakesest on magnetiseeritud. Kuidas saada teada, milline pulgakene on magnetiseeritud, omamata käepärast mingisuguseid teisi esemeid peale nende pulgakeste?

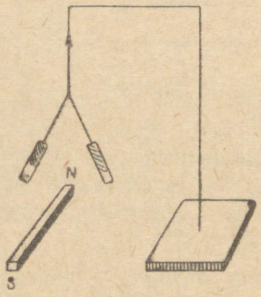
2. Magnetnõela põhjapoolusele lähendati rauatükk, mistõttu nõel pöördus rauast kõrvale. Kuidas antud nähtust seletada?

3. Miks rauapuru, tõmbununa magneti pooluse külge, moodustab üksteisest eemaletõukuvaid tupsusid (joon. 68).

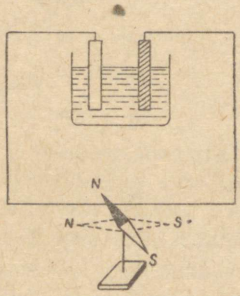
4. Miks raudplaadikesed, mis ripuvad niidi otsas kõrvuti, eemalduvad, kui neile lähendada magnet (joon. 95).

5. Magnetil pole näidatud pooluste nimetust. Kuidas võib kindlaks määrata, milline magneti poolus on põhjapoolus?

6. Kui kelladele lähendada tugev magnet mitu korda, siis muutuvad pärast seda kellade ajanäitamised märgatavalt ebaõigeks ja mõnikord saavad nad tagasi õige käigu alles mitme päeva pärast. Kuidas võib seda nähtust seletada?



Joon. 95.



Joon. 96.

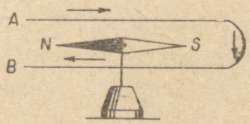
7. Vooluga juhe on asetatud magnetnõela kohale. Millises suunas kaldub kõrvale nõela põhjapoolne ots, kui vool läheb põhjast lõunasse?

8. Pärast voolu lülimist ahelasse kaldus magnetnõel esialgsest seisust kõrvale (joonisel kujutatud punktiiriga) ja võttis uue asendi. Määrata voolualliika poolused.

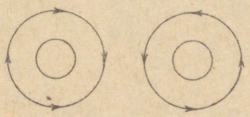
9. Juhe AB (joon. 97) kujutab aasa, millesse on asetatud magnetnõel. Kas liigub magnetnõel, kui lasta vool juhtmesse A-st B suunas, kui jaa, siis kuhu poole kaldub nõela põhjapoolne ots?

10. Määrata voolu suund juhtmeis, mis on kujutatud joonisel 98, kus väikesed ringid kujutavad juhtmete läbilõiget, aga suured ringid noolte tega — magnetiliste tungjoonte suunda.

11. Elektromagnet koosneb 200 traadikeerust, mida läbib 2-amprine vool. Mitu keerdu traati tuleb võtta, et magnetil oleks samasugune mõju kui 16-amprise voolu läbilaskmisel?



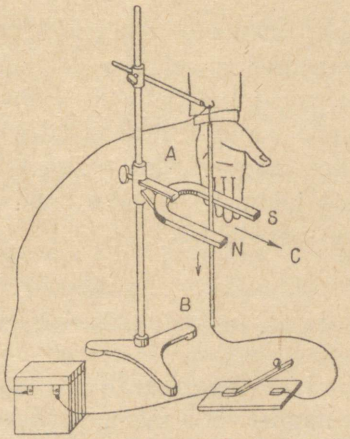
Joon. 97.


Joon. 98.

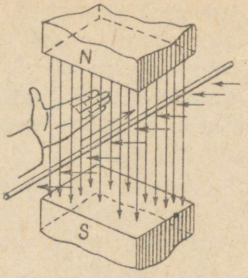
VII peatükk.

ELEKTRIENERGIA MUUNDUMINE MEHAANILISEKS ENERGIAKS.

73. **Vooluga juhtmete liikumine magnetiväljas.** Kui sulgenud ahela (joon. 99), laseme voolu läbi traadi, mis on hobuse-



Joon. 99. Vooluga juhtme liikumine magnetiväljas. Nool B näitab voolu suunda; nool C — juhtme liikumise suunda; tungjoonte suund — N-ist S-i poole.



Joon. 100. Vasaku käe reegel.

rauakujulise magneti magnetiväljas, siis hakkab vooluga juhe magnetiväljas liikuma, lõigates seejuures välja tungjooni.

Muutes voolu suunda või magnetivälja suunda, märkame, et muutub ka juhtme liikumissuund. Vooluga juhtme liikumissuunda magnetiväljas võib määrata järgmise vasaku käe reegliga (joon. 100):

kui asetada vasak käsi nii, et magneti tungjooned suunduksid peopessa, aga väljasirutatud sõrmed näitaksid voolu suunda, siis näitab kõrvale pööratud pöial vooluga-juhtme liikumise suunda.

Vooluga-juhtme läheduses tekib magnetiväli, mille tungjooned on kontsentrilised ringid. Kui vooluga-juhe on asetatud magnetivälja, siis voolu magnetiväli, asetudes magneti magnetivälja peal, annab magnetilise spektri, mis on kujutatud joon. 101. Seal, kus magneti tungjooned kulgevad tihedamalt, nad nagu rõhuksid juhtmele, surudes teda välja sellesse ossa, kus tungjooned on hõredamalt.

Küsimus.

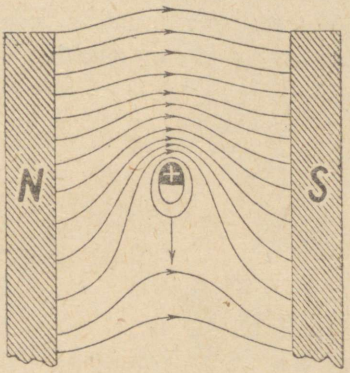
Milles seisab vasaku käe reegel ja milleks seda kasutatakse?

74. **Vooluga raam magnetiväljas.** Asetame hobuserauakujulise magneti magnetivälja täisnurkselt koolutatud traadi — täisnurkse raami — ja laseme voolu raami (joon. 102).

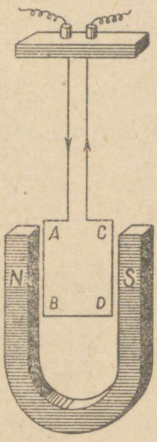
Raami AB ja CD osades läheb vool erinevais suundades, mistõttu need osad liiguvad magnetiväljas erinevalt. Raam

pöördub ja asetub nii, et magneti tungjooned tungivad läbi ta tasapinna.

Kasutades vasaku käe reeglit, võib määrata, mis suunas raam pöördub.



Joon. 101. Magneti ja voolu magnetiväli.



Joon. 102. Vooluga raam magnetiväljas.

Harjutusi.

1. Kasutades vasaku käe reeglit, määrata voolu suund juhtmes, mis on kujutatud joonisel 101.

2. Millises suunas liigub raam (joon. 102), kui vool raamis läheb A-st C-sse?

75. **Elektrimootor.** Vooluga-juhtme liikumine magnetiväljas on leidnud kasutamist elektrimootoreis elektrienergia muundamisel mehaaniliseks energiaks.

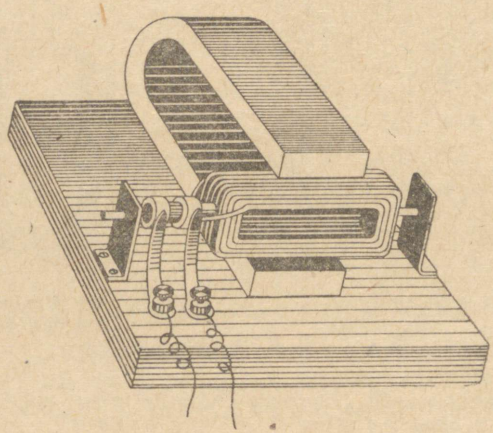
Asetame pooli hobuserauakujulise magneti magnetivälja nii, et selle keerdude pind ühtiks tungjoonte suunaga (joon. 103), ja lülime sisse voolu[1].

[1] Vool juhitakse pooli (joon. 103) kahe vaskrõnga abil, mis on asetatud teineteisest ja teljest isoleerituna pooli teljele; rõngaste külge on joodetud mähise otsad.

Pool pöördub ja jääb pärast teatud kõikumist seisma sellises asendis, et selle keerdude pind on perpendikulaarne tungjoonte suunaga.

Voolu suuna muutmisel poolis pöörab viimane end magnetiväljas 180° võrra ja läheb esialgu tasakaalu-asendist kaugemalegi.

Et pooli pöörata veel 180° võrra, peab muutma voolu suunda poolis sel momendil, kui ta on tasakaalu-asendist üle

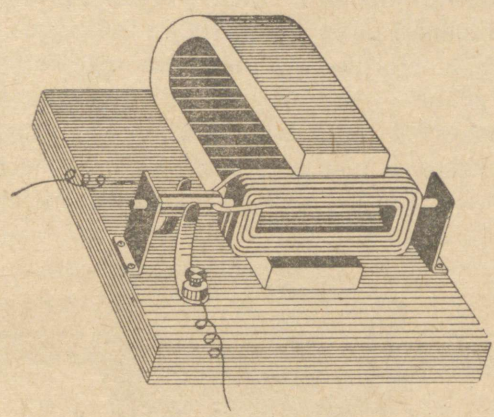


Joon. 103.

läinud. Tähendab, kui läheks korda mõelda välja selline seadeldis, mille abil oleks võimalik vajalikel momentidel muuta poolis voolu suunda, siis hakkaks pool magnetiväljas liikuma kogu aja, kuni temasse antakse voolu.

Voolu suuna automaatseks muutmiseks lastakse vool pooli kahe p o o l r õ n g a abil, mis asetsevad samal teljel, millel on pool. Vool lastakse poolrõngaisse kahe plaadikese (h a r j a k e s t e) abil, mis neid puudutavad. Pooli pöörlemisel pöörlevad temaga koos ka teljele kinnitatud poolrõngad (joon. 104).

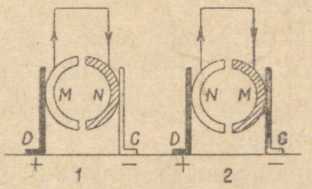
Kui asendis 1 (joon. 105) harjakesele D läheneb poolrõngas M, siis vool poolis läheb M-st N-le ja pool pöörab end 180°



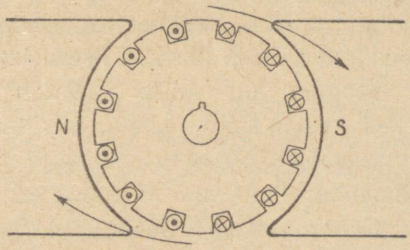
Joon. 104. Elektrimootori skeem.

võrra. Selle pöördega (asend 2, joon. 105) läheneb harjakesele D poolrõngas N, ja vool poolis läheb N-lt M-le, mistõttu pool teeb uue 180°-lise pöörde jne. Tekib katkestamatu pöörlemine.

Magnetiväli mõjutab pooli suurima jõuga sel juhul, kui pooli keerdude tasapind on asetatud magnetivälja tungjoontega pikuti. Kui pooli pind on välja tungjoontega risti, siis pöörleb pool ainult inertsi mõjul. Pooli pöörlemine toimub tõugetega.



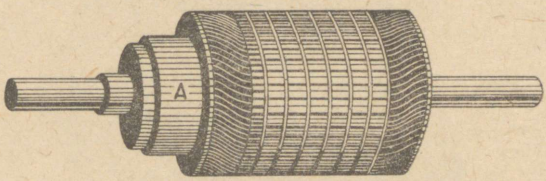
Joon. 105.



Joon. 106. Vooluga-juhtmete asetus tehnilise mootori ankrus.

Et muuta pöörlemist ühtlasemaks, võib võtta mitte ühe pooli vaid kaks, asetades neid teineteisega risti või, nagu seda tehakse tehnilises mootoris, asetada keerud mitte ühele tasapinnale, vaid silindri peale (joon. 106).

Tehnilistes mootorites magnetiväljas pöörlev mootori osa (joon. 107), ankur — koosneb silindrist, mis on moodustatud üksikuist õhukestest raudrõngastest. Silindri välispinnasse on lõigatud kanalikesed mähise üksikute osade — või nagu neid tehnikas nimetatakse — *sektsioonide* mahutamiseks.



Joon. 107. Mootori ankur.

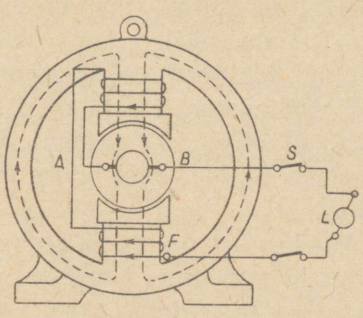
Ankru ühtlaseks liikumiseks on vajalik, et ankru ühe poole keerdudes voolu suund oleks kogu aja vastupidine voolu suunale teise poole keerdudes, nagu see on kujutatud joonisel 106. Tähendab, ankru juhtmete liikumisel magnetiväljas peab vool neis vahelduma. Suuna vaheldamine toimub *kollektori* abil. Tehniliselt kujutab kollektor enesest silindrit, millele on kinnitatud üksteisest isoleeritud vaskplaadid ja mille külge on joodetud mähise üksikud osad (joon. 107 A).

Magnetiväli, milles pöörleb ankur, tekitatakse tugeva *elektromagnetiga*, mis saab voolu samast allikast kui ankru mähiski. Ankru mähise ja elektromagneti üks võimalikke ühendamise skeeme on kujutatud joonisel 108.

Generaatorist L läheb vool elektromagneti mähisesse F, siis harjasse A, kust kollektori plaadikese kaudu satub ankru mähisesse ja kollektori teise plaadikese kaudu harjasse B.

Harjast B läheb vool lüliti S plaadikese kaudu vooluallikasse tagasi.

Ankur pöörleb kuni tuleb voolu. Asetanud ankru teljele rihmaratta või ühendanud ankru telje mingi masina teljega, võime ankru pöörlemist edasi anda igale masinale ja panna seda liikuma.



Joon. 108.

Ankru pöörlemise kiirust reguleeritakse ankru mähisesse mineva voolu reguleerimisega. Pöörlemise suuna vahetamiseks on vaja muuta voolu suunda kas ankru mähises või elektromagneti mähises.

Küsimusi.

1. Millistest peamistest osadest koosneb elektrimootor ja milline on iga osa ülesanne?
2. Milleks on kollektor?
3. Kuidas antakse voolu mootori ankru mähisesse?

76. **Laboratoorne töö nr. 5.** Töö eesmärk. **Koostada valmisosadest elektrimootori mudel ja proovida ta tööd.**

Abinõud: hobuserauakujuline magnet; traadist pool, mis on kinnitatud teljele koos kollektoriga; puualus selle külge kruvitud laagritega ankru telje jaoks ja harjakestega; elementide patarei; ühendustraate.

1. Koostada riist vastavalt joonisele 104.
2. Lülides voolu sisse, panna riist tegevusse.

Kui pool ei hakka liikuma, on vaja leida selle põhjus ja see kõrvaldada. Riista kollektor võib teljel pöörelda. Pöörates kollektorit, on tarvis leida mootori töötamiseks vajalik kollektori asend pooli asendi suhtes magnetiväljas.

77. **Elektrimootorite rakendamine.** Elektrimootorid omavad võrreldes soojusmootoritega rea eeliseid.

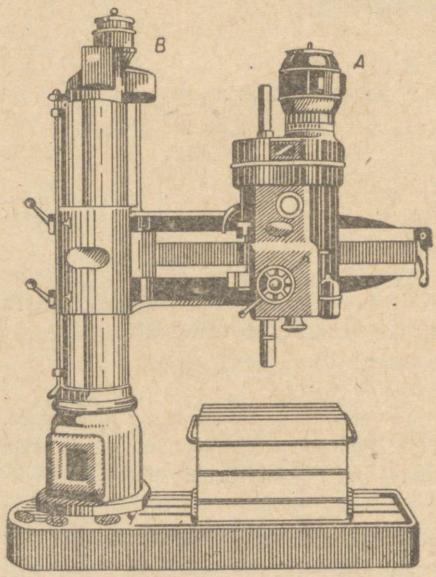
Elektrimootorit võib valmistada igasuguse võimsusega,

olenevalt neist eesmärkidest, milleks teda määratakse, alates väikesist mootoreist puurmasina käivitamiseks, mida kasutavad hambaarstid, kuni võimsate puurimisinstrumentideni, mis töötavad söekaevandustes.

Elektrimootor ei vaja erilist hooldamist: ta on alati valmis tööks. Mootori käivitamine ja seismapanemine toimub lüliti lihtsa sisse- ja väljalülimise teel või erilise käivitamisseadise abil.

Mootori käivitamist ja seismapanemist võib toimetada igast kohast ja isegi suure kauguse tagant. Lülitit, millega voolu sisse lastakse, võib asetada igasse kohta. Lifti mootorit näiteks, mis asetseb väljaspool lifti kabiini, juhitakse kabiinist.

Iga elektrimootor võtab väga vähe ruumi, töö juures ei erita mingisuguseid gaase, suitsu ega auru. Teda võib paigutada igasse ruumi, igale masinale, ühendades teda sageli vahetult masinaga (joon. 109).



Joon. 109. Mootor puurmasinal.

Elektrimootorite ehituse lihtsus teeb neid töös usaldatavaiks ja valmistamisel odavaks.

Elektrimootorite kasutegur tõuseb võimsate mootorite juures kuni 98%-ni, mida ei saavuta ükski teine mootor.

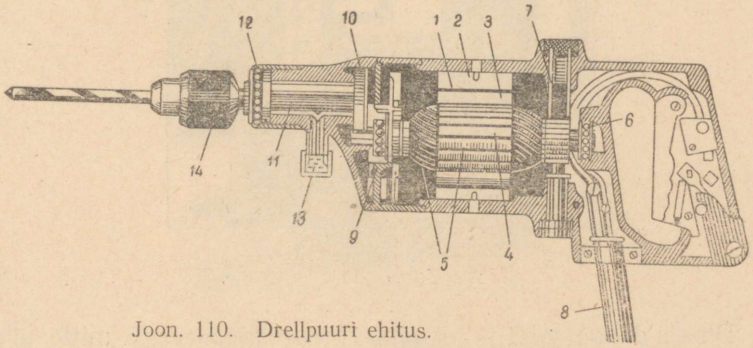
Eelised, mida annavad üksikud spetsiaalselt iga masina jaoks kalkuleeritud mootorid, viivad

rihm- ja hammasülekannete järk-järgulise väljatõrjumiseni vabrikutest ja tehastest ning nende asendamiseni elektrimootoritega.

Elektrimootorid, mis on üles seatud igale üksikule tööpingile, päästavad vabrikud liikuvate rihmade võrgust, võimaldavad energia ratsionaalset ärakasutamist ja kadude vähendamist.

Elektrimootor kulutab energiat ainult siis, kui ta paneb käima tööpinki.

Energia kohaleviimine elektrijuhtme abil lubab mehhaniseerida rea töid, mis vabrikuis, kus on tarvitusel aurujõumasinad,



Joon. 110. Drellpuuri ehitus.

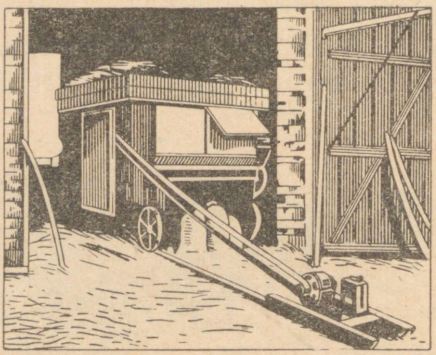
1 — drellpuuri mootor; 2 — elektromagneti südamik; 3 — elektromagneti kingakesed; 4 — ankur; 5 — ankru mähis; 6 — kollektor; 7 — harjakesed; 8 — voolu sisselülitus; 9 — ankru võll; 10 — hammasratas-ajam; 11 — drellpuuri spindel; 12 — kuullaager; 13 — õlik; 14 — drellpuuri padrun.

sooritatakse käsitsi. Drellpuur, milles puur pannakse liikuma väikese mootori abil, on töölise kätes väikeseks puurmasinaks, mis on võimeline puurima igas suunas ja igas kohas, kuhu ainult puuriga juurde pääseb (joon. 110).

Elektrimootorid, mis on asetatud sildkraanale, viivad edasi kraanat ennast ja tõstavad raskusi. Mitmesuguse võimsusega mootorid panevad käima vabriku ventilatsiooni.

NSV Liidu tööstus oli 1932. a. elektrifitseeritud 69%-liselt. Lähemal ajal on kavatsus elektrifitseerida tööstust 100%-liselt.

Võimsaid elektrimootoreid kasutatakse meil põllumajanduses elektriatrade, pumpade, viljapeksumasinate, tuulajate, hekslimasinate ja sortimismasinate käitamiseks (joon. 111); väiksema võimsusega mootoreid võib kasutada koorelahutamisel, võitegemisel ja isegi lehmalüpsmisel.



Joon. 111.

D r e a d n o u g h t — sõjalaev, veeväljasurvega mitte alla 25 000 t, kannab enesel suurt koormust, mis koosneb kahurväest, soomusest, laskemoonast, masinaist ja määratu suurest komandost — üle 1000 inimese. Laeva raskekahurvägi asub erilistes broneeritud tornides.

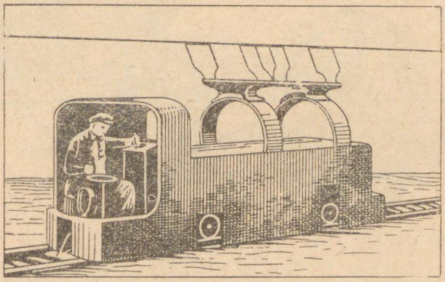
Tulistamise korral peavad tornid end pööṛama, suunates kahurid märgi poole. Peale raskete kahurite on laeval hulgaliselt kergeid 6-tolliseid kahureid, mis on paigutatud dreadnoughti keskmisse ossa.

Tornide sisemuses asetsevad elektrimootorid ühes mehhanismidega torni pööramiseks, kahurite tõstmiseks ja kallutamiseks, samuti ka laengute ja mürskude kätteandmiseks. Erilised

elektrivintsid toimetavad mürske padrunite keldreist, mis asetsevad all, ülalasetsevate kahurite juurde.

Juhtides torni ja kahureid, mis pannakse liikuma elektrimootorite abil, võib torni komandör väga kergesti suunata kõik kahurid ettenähtud märgi poole, kusjuures samaaegselt toimub ka laadimine. On küllalt ühest vajutusest nupule, et märgitud sihi suunas anda kogupauku kõigist kahureist korraga.

Vee all ujumise ajal on allveelaeval elektrimootorid, mida toidetakse akumulaatorite patareidega, ainsaiks võimalikeks jõumasinaiks.



Joon. 112. Kaevanduse elektrivedur.

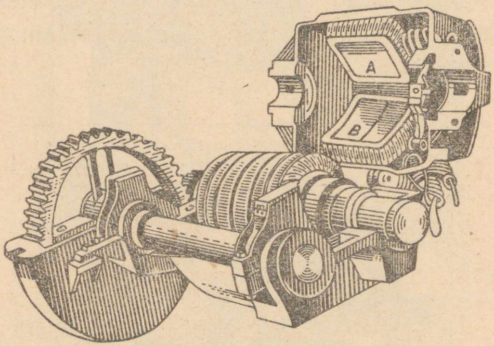
Vee peal pannakse allveelaev liikuma diiselmootori abil. Vee alla laskumisel lõpetab diiselmootor töö, ja tegevust alustab elektrimootor.

Suurtes raudteejaamades ja mitmesugustes töökodades võib tihti kohata terveid ronge väikesi laetud vagonette, mida veab elektrimootoriga varustatud elektrivagonet. Voolu annab mootorile akumulaatorite patarei, mis asetseb mootor-vagonetil.

Joonisel 112 on näha elektrimootori rakendamist kaevanduse elektriveduris, mida kasutatakse maagivagunite veoks. Selles elektriveduris ei ole akumulaatorpatareid. Vool

tuleb mootorisse ülemist juhet kaudu ja läheb rööbastesse. Täpselt samuti leiab elektrimootor kasutamist trammis, elektriraudteedel ja maa-alustel elektriraudteedel metropolitäänis.

Mootorid, mis panevad liikuma trammivaguni, asetsevad vaguni all iga telje läheduses. Joonisel 113 on kujutatud üks vaguni telgi ühes sellele paigutatud mootoriga.



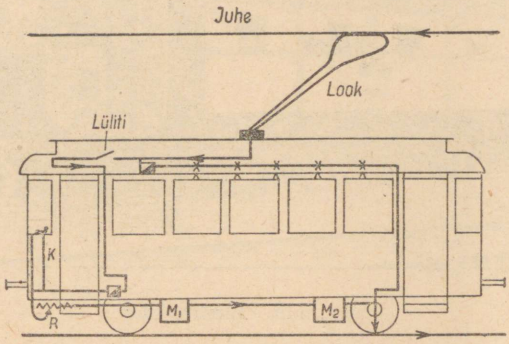
Joon. 113. Trammi mootor.
Mootor on avatud. Ankru teljel on näha väike hammasratas kokkuhaagituna suure hammasrattaga, mis on ühendatud vaguniratastе teljega. Magnetiväli tekitatakse nelja poolusega. Tagasipööratud osas on näha kaks poolust A ja B.

Vool juhitakse vagunisse looga abil, mis on paigutatud vaguni katusele ja mis puudutab ühte juhet, ning sealt läheb vool rööbastesse. Voolu teekond on järgmine: ülemisest juhtmest läheb vool looka mööda vagunijuhi poolt käideldavasse erilisse aparaati, nn. kontrollerisse K[1], kust satub mootorite M ühte kollektori harjakesse; läbinud ankru ja elektro-

[1] Kontrolleri abil on vagunijuhil võimalus reguleerida mootorisse tuleva voolu tugevust, mootorit võrku sisse ja välja lülida ning muutes voolu suunda ankru mähises, muuta ankru pöörlemise suunda.

magnetite mähise, läheb vool vaguni teljesse, kust rataste kaudu läheb trammitee rööbastesse.

Voolu teel on rida kaitsmeid ja automaatseid voolukatkestajaid, mis lülivad mootori vooluvõrgust välja, niipea kui vool mõnesugusel põhjusel saab kardetavaks mootori mähisele.



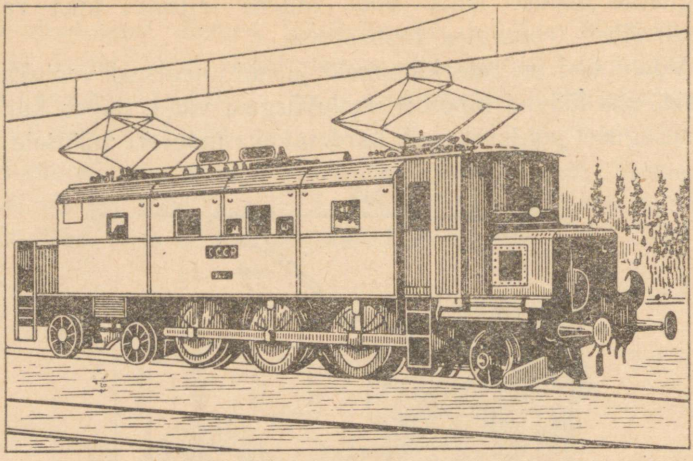
Joon. 114. Voolu tee trammivagunis.
Joonisel on vool mootorist välja lülitud. Valgustusvõrk on sisse lülitud.

Võimalus saavutada igasugust liikumiskiirust, energia kaotuse puudumine seisakute ajal, ja trammi suur keskmine kiirus, vaatamata sagedastele peatustele, — lubavad talle kätte võita üha suuremat tähtsust transpordis.

Mootori suur kasutegur, võimalus kasutada madalasordilise kütuse odavat energiat või hüdrojaama energiat, omavad liikluse elektrifitseerimisel elektriraudteede abil erilist tähtsust (joon. 115).

Küsimusi.

1. Milliseid eeliseid omab elektrimootor.
2. Kuidas kasutatakse elektrimootorit vabrikus, põllumajanduses, sõjaasjanduses ja transpordis?
3. Kuidas on ehitatud tramm?
4. Milline paremus on elektriveduril, võrreldes auruveduriga?



Joon. 115. Elektrivedur.

Ülesandeid VII peatüki juurde.

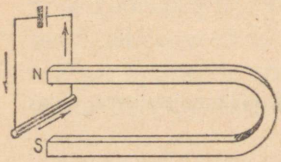
1. Mis suunas hakkab liikuma juhe joonisel 116? Voolu suund selles on näidatud nooltega.

2. Magnetite (joon. 117) pooluste vahele on asetatud neli vooluga-juhet. Kuidas neist liigub igaüks?

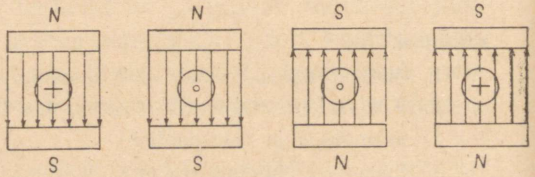
Juhatus. Märk ⊙ tähendab, et vool tuleb meie poole, märk ⊕ vool eemaldub meist.

3. Joonisel 118 on kujutatud neli vooluga-juhet, mis asuvad magnetiväljas. Näidata noolega kuidas liigub iga juhe.

4. Magnetite pooluste vahele on riputatud kaks raami (joon. 119). Voolude suund neis on näidatud nooltega. Kuidas hakkab liikuma igaüks neist?



Joon. 116.



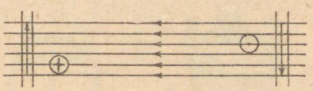
Joon. 117.

5. Määrata voolu suund raamis (joon. 119), mis liigub magnetväljas nagu kella osuti.

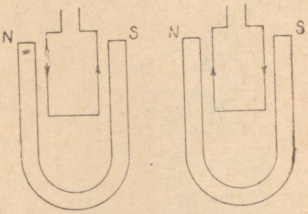
6. Vooluga raam on asetatud hobuserauakujulise magneti pooluste vahele nii, et ta pind on risti tungjoontega. Kas raam hakkab pöörlema?

7. Mootorit toidetakse 100-amprise vooluga 500-voldise pinge juures. Milline on mootori võimsus, kui kasutegur on 90%?

8. Milline peab olema voolu tugevus 440-voldise pingega mootoris, kui mootori võimsus peab olema 40 HJ? (Energia kaotust ülesande lahendamisel ei arvestata.)



Joon. 118.



Joon. 119.

VIII peatükk.

ELEKRTOMAGNETILINE INDUKTSIOON.

78. **Induktsioonivool.** Voolu läbiminekul juhtmest tekib juhtme ümber magnetiväli.

Faraday tegeles vastupidise küsimusega: kas ei saa juhtmes voolu kutsuda esile magneti abil. Ta korraldas 1831. a. rea katseid, mille tulemused said nüüdisaja elektrotehnika aluseks.

Traatpool on ühendatud tundliku galvanomeetri klemmidega. Galvanomeetri osuti ei kaldu kõrvale; tähendab poolis pole voolu.

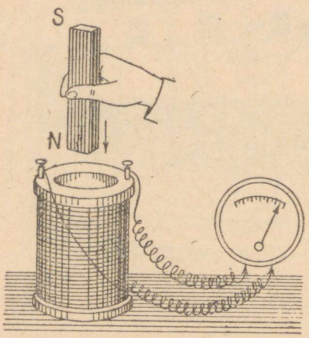
Kui pooli asetada magnet, siis kaldub osuti kõrvale; järelikult poolis on vool (joon. 120).

Niipea kui magneti liikumine jääb seisma, katkeb ka vool (joon. 121).

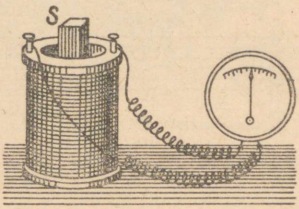
Magneti liikumisel suletud poolis tekib poolis vool.

Voolu, mis tekib poolis, nimetatakse induktsioonivooluks.

Analoogiline nähtus saavutatakse, kui magneti asemele asetada pooli elektromagnet, või jättes magneti paigale, liigutada selle peal pooli.



Joon. 120.



Joon. 121.

Juhtmes tekib elektrivool, kui panna juhe liikuma magnetiväljas.

Olgu tähendatud, et mitte igasugusel juhtme liikumisel magneti väljas ei teki voolu. Kui juhet liigutada piki tungjooni, siis voolu ei teki.

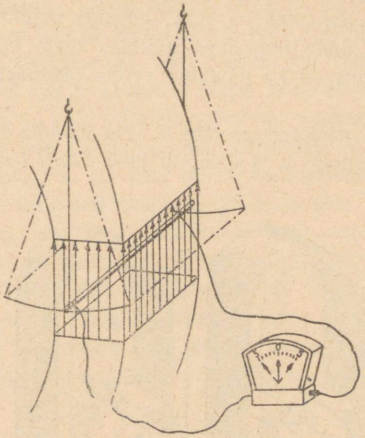
Liigutades juhet (joon. 122), mis on kinnitatud tundliku galvanomeetri klemmide külge, tugeva elektromagneti pooluste vahele, märkame, et

induktsioonivool tekib juhtmes ainult sel juhul, kui juhe oma liikumisel lõikab magneti tungjooni.

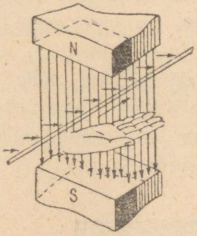
Voolu suund juhtmes muutub juhtme liikumise suuna muutumisega (joon. 122).

Juhtme liikumisel magnetiväljas tekib juhtme otstes pinge. Mehaaniline energia muundub elektrienergiaks.

Induktsioonivoolu suuna määramiseks võib kasutada järgmist parema käe reeglit.



Joon. 122.



Joon. 123. Parema käe reegel.

Asetame parema käe magnetiväljasse nii, et magneti tungjooned tuleksid peopessa (joon. 123); kui juhe liigub pöidla suunas, siis induktsioonivoolu suund ühtib nelja väljasirutatud sõrme suunaga.

Nagu näitab katse, sõltub magnetiväljas liikuva juhtme otste pinge ühes sekundis lõikuvate tungjoonte arvust.

Voolu tekkimist juhtmes, mis lõikab magneti tungjooni, nimetatakse elektromagnetiliseks induktsiooniks.

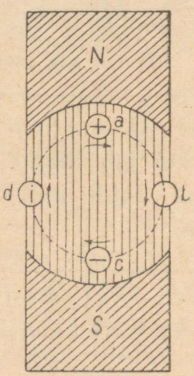
Küsimusi.

1. Millistel viisidel võib saada voolu magneti abil?
2. Millist voolu nimetatakse induktsioonivooluks?
3. Millise reegliga määratakse suunda induktsioonivoolul, mida saadakse juhtme liikumisega magneti väljas?

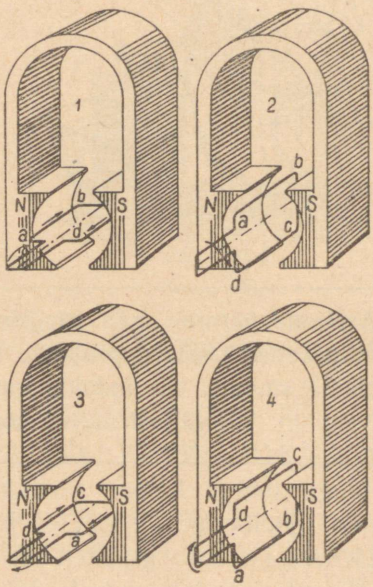
79. **Vahelduva pinge saamine.** Liikugu magnetiväljas juhe, mille otsad on ühendatud galvanomeetriga. Juhtme asendid märgime ringikestega a, b, c, d (joon. 124). Nool ringikeste juures tähistab suunda, milles antud momendil asetseb juhe magnetiväljas. Seisundis a juhe, liikudes magnetiväljas risti tungjoontele, lõikab neid, mille tagajärjel juhtmes tekib vool, mis juhet mööda eemaldub meist, mis on ka näidatud ringis tähendatud lõikuvate joonekestega.

Kui juhe liigub nii, nagu see on näidatud asendis c, siis parema käe reegli järgi tuleb vool meie poole. Asendeis b ja d liigub juhe pikuti tungjooni neid lõikamata, mille tagajärjel neis asendeis juhtmes voolu ei teki.

Järelikult, kui juhe teeb magnetiväljas täispöörde, muutub voolu suund selles kaks korda.



Joon. 124.



Joon. 125.

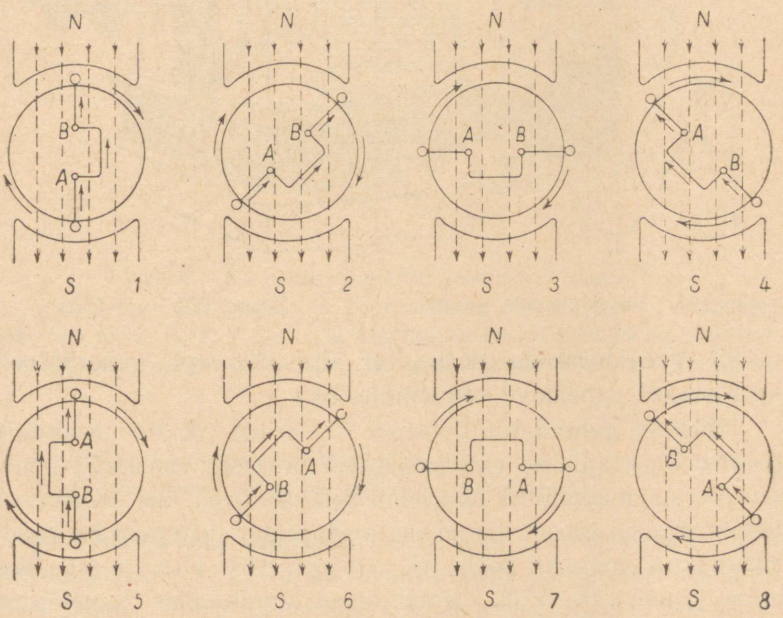
Voolu, mille suund perioodiliselt muutub, nimetatakse vahelduvvooluks.

Oletame nüüd, et magnetiväljas pöörleb kellaosuti suunas juhe (joon. 125), mis on paigutatud ristkülikuks abcd. Asendis 1 osa juhet ab lõikab

tungjooni, liikudes üles, aga cd lõikab neid jooni, liikudes alla. ab mööda vool eemaldub meist, aga cd mööda tuleb meie poole, mis ka nooltega on näidatud. Teisiti öeldes, juhtme liikumisel antud seisundis, või nagu öeldakse, antud faasis läheb vool ristkülikus abcd suunas.

Oletame, et juhe pööras end 180° võrra ja liigub nagu näidatud joonisel 125 3. Esimesel pilgul näib, et joonis 125 3 on täpne koopia joonisest 125 1, kuid tähelepanelikumal vaatlemisel on näha, et osa cd liigub üles, aga osa ab liigub alla. Tähendab, vool läheb nii, nagu näitab nool, dcba suunas, s. o. vool läheb vastupidises suunas. Juhtme liikumisel asendist, mis näidatud joonisel 125 1 joonise 125 3 asendisse muutis vool juhtmes oma suuna vastupidiseks. See muutus võis tekkida ainult sel juhul, kui juhtme liikumisel oli moment, millal vool võrdus nulliga. Sellised momendid on kujutatud joonisel 125 2—4. Neil juhtudel liigub juhe piki tungjooni ja voolu juhtmes ei ole.

Täpsemalt võib jälgida voolu juhtmes abcd tabelis (joon. 126), kus on kujutatud kaheksa mitmesugust juhtme asendit magnetiväljas. Täisnurk-

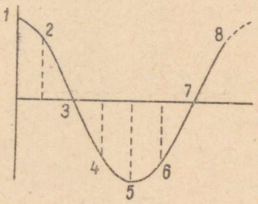


Joon. 126.

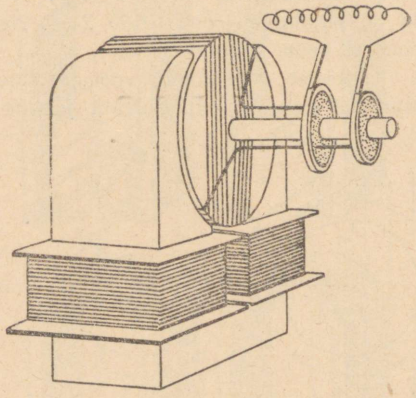
selt painutatud juhtme osa, mis on punkti A ja B vahel, vastab väljalatuva juhtmeosale joonises 125. Kui juhe on asendis 1, siis ta oma liikumisel risti tungjoontega lõikab suuremat arvu tungjooni, mille tagajärjel temas tekib tugevam vool. Asendis 2 lõikab juhe sama liikumise kiiruse juures vähemat arvu tungjooni, sest et ta liigub kallakuti tungjoonte suunaga: vool jääb vähemaks. Asendis 3 liigub juhe piki tungjooni: ta neid ei lõika; tähendab, voolu ei ole. Liikudes asendisse 4, hakkab juhe taas lõikama magnetilisi jooni, kuid tema liikumine magnetiväljas on teistsugune kui asendis 2; tähendab, vool muudab oma suunda. Asendis 5 saavutab läbilõigatud tungjoonte arv maksimumi ning vool saadakse kõige suurem jne.

Voolu muutumine on kujutatud graafiliselt joon. 127.

Suletud silmuse liikumisel magnetiväljas tekib silmuses vahelduvvool.



Joon. 127. Vahelduvvoolu graafik.



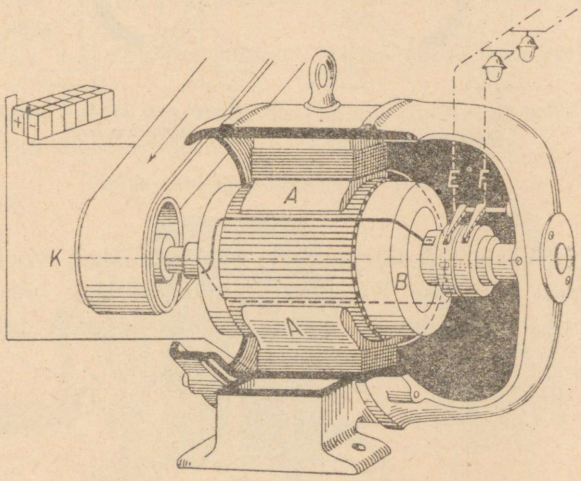
Joon. 128.

80. **Vahelduvvoolu generaator.** Vahelduvvoolu generaatoritkasutatakse vahelduvvoolu saamiseks.

Lihtsaim generaator koosneb isoleeritud traatpoolist, mis pöörleb tugevajõulise elektromagneti pooluste vahel. Et kontsentreerida magnetilisi tungjooni sellesse ossa, kus sooritavad liikumist pooli moodustavad juhtmed, mässitakse pool ise raudsüdamikule, magneti poolustele aga pannakse otsa rauast „kingad» (joon. 128—129). Pooli otsad kinnitatakse teineteisest isoleeritud vaskrõngastele, mis on pandud sama teljele, mille

peal on raudsüdamik. Rõngad puudutavad harju, millele kinnitatakse välisahela klemmid.

Vahelduvvool, mis saadakse pooli pöörlemisel magnetiväljas, juhitakse harjakeste abil välisossa. Generaatori pöörlevat osa, mis koosneb südamikust ja sellele mähitud poolist, nimetatakse a n k r u k s.



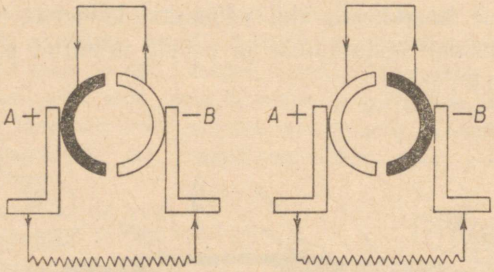
Joon. 129. Vahelduvvoolu generaatori skeem.
A — elektromagneti kingad; b — generaatori ankur; sellel on tõstetud esile üks mähe; E ja F — voolu ärajuhtivad harjad puudutavad kollektori rõngaid; K — ankru rihmaratas; L — alalisvoolu allikas elektromagneti poolide toitmiseks.

Küsimusi.

1. Milline vool saadakse ankru mähises?
2. Kuidas läheb vool ankru mähisest välisahelasse?

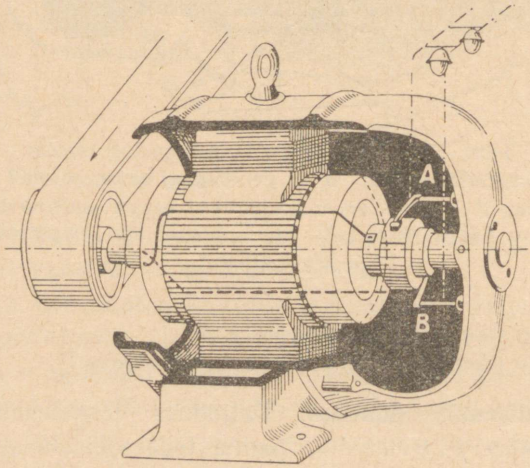
81. **Alalisvoolu dünamo.** Paljudeks eesmärkideks tuleb vahelduvvoolu a l a l d a d a, panna teda välisahelas voolama ühes suunas. Voolu alaldamine toimub kollektori abil, mis koosneb kahest nii teineteisest kui ka teljest isoleeritud vask-pool-

rõngast (joon. 130). Surugu hari A (joon. 130) vastu musta poolrõngast, millesse antud momendil tuleb vool, hari B aga surugu vastu valget poolrõngast, millest läheb vool. Välisahelat mööda



Joon. 130. Kollektori tegevuse skeem.

läheb vool harjast A harjasse B. Mähises läheb vool valgest poolrõngast mustasse. Kui pool pöörab end 180° võrra, muutub mähises voolu suund: valgesse poolrõngasse tuleb vool,



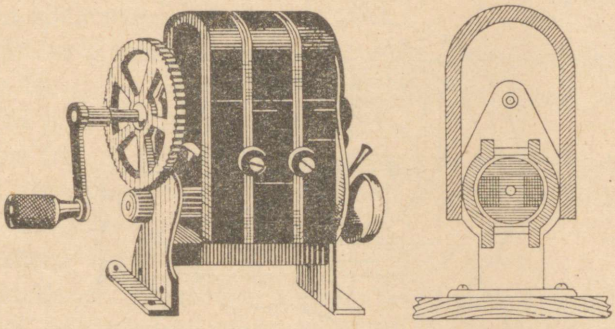
Joon. 131. Alalisvoolu dünamo skeem.
A ja B — harjad, mis puudutavad kollektori poolrõngaid.

aga mustast läheb. Selles asendis surub vastu valget poolrõngast hari A, vastu musta aga hari B ja välisahelas läheb vool endises suunas — A-st B-sse. Nii saadakse alalisvoolu generaator, mida nimetatakse dünamomasinaks või lihtsalt dünamoks (joon. 131).

Küsimusi.

1. Kuidas on ehitatud kollektor vahelduvvoolu muutmiseks alalisvooluks.
2. Milline vool on ankru mähises, kui välisahelas on alalisvool.

82. **Generaatori magnetiväli.** Generaatori magnetivälja võib tekitada kas elektromagneti või terasmagnetitega.



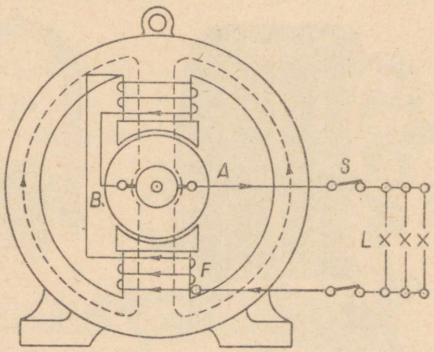
Joon. 132. Magneeto (väline vaade ja läbilõige).

Generaatoreid, kus magnetiväli on tekitatud terasmagnetitega, nimetatakse magneetodeks. Neil on väike võimsus ja neid kasutatakse plahvatusmootoreis sädemete tekitamiseks ja telefoni lühiliinidel signaliseerimiseks (joon. 132).

Suure võimsusega dünamomasinate magnetiväli tekitatakse elektromagnetitega. Kust aga saab elektromagnet magneetimiseks voolu? Alalisvoolu dünamomasinais toidab elektromagneteid vooluga masin ise. Dünamomasina elektromagnetid, kui

neid ei läbi vool, on ikkagi nõrgalt magnetiseeritud. Isegi kõige pehmem raud hoiab alal järelmagnetismi, kui teda kordki on magnetiseeritud. Sellest nõrgast magnetilisest olekust on küllalt selleks, et ankru mähisest selle pöörlemisel läheks läbi nõrk vool. Lasknud selle nõrga voolu elektromagneti mähisesse, saavutame tugevama magnetiseerituse; see omakorda kutsub esile tugevama voolu ankrus jne., kuni masin annab maksimaalse voolu.

Joonisel 133 on kujutatud üks dünamomasina ühendusskeeme. Vool läheb harjast A välisahelasse, sealt elektromagneti mähise ja teise harja kaudu ankrumähisesse. Sellist ühendust nimetatakse järjestikku-ühenduseks.



Joon. 133. Dünamo ühendusskeem.

Vahelduvvoolu generaatoreis annab elektromagnetite ergutamiseks voolu eri alalisvoolu-dünamomasin, mis on seatud generaatoriga ühisele võllile.

83. **Dünamomasina pööratavus.** Alalisvoolu dünamomasin, kui tema ankur pannakse liikuma, kulutades selleks mingit energiat, on elektrienergia allikaks — generaatoriks — ja muudab mehaanilise energia elektrivoolu energiaks.

Vastupidi, kui lasta dünamomasina mähistesse elektrivool,

siis dünamo ankur hakkab liikuma ja seda ankru liikumist võib ära kasutada ühe või teise töö sooritamiseks. Seega võib dünamomasinat kasutada kui mootorit.

Alalisvoolu dünamomasina omadust muuta mehaanilist energiat elektrienergiaks ja vastupidi — elektrienergiat mehaaniliseks energiaks, nimetatakse p ö ö r a t a v u s e k s .

84. **Elektrienergia edasiandmine.** Vool, minnes juhet mööda, soojendab seda. Soojusehulk, mida eritab vool igas sekundis, sõltub juhtme takistusest ja voolu tugevusest juhtmes.

Joule-Lenzi seaduse järgi on voolu poolt eritatud soojusehulk võrdne $Q = 0{,}24\ RI^2t$, kus R on juhtme takistus, I — voolu tugevus juhtmes ja t — aeg. Et elektrienergia edasiandmine oleks tehniliselt kasulik, on vaja juhtmete soojendamiseks minevat kadu vähendada.

Joule-Lenzi valem näitab tee kadude vähendamiseks.

Üks tee on — vähendada liini R takistust, mida võib teha, kui võtta suure läbilõikega juhtmed.

Teine tee — vähendada edasiantava voolu tugevust I, kusjuures, vähendades voolu tugevust ainult 10 korda, vähendame kadu 100 korda.

Vaatleme neid teid.

Elektrijaam, mis asetseb energia tarvitamise kohast 130 km kaugusel, annab edasi voolu võimsusega 33 000 kW. Milline peab olema juhe selle energia edasiandmiseks 110-voldise pinge juures?

Et saata edasi 33 000 kW võimsust 110-voldise pinge juures, peab juhtmes voolu tugevus olema:

$$\frac{33000 \cdot 1000}{110} \text{ 300 000 A.}$$

Kui juhtme läbilõik on 1000 mm², siis selle läbilõike juures on lubatud koormatus ainult 1250 A.

Juhet läbilõikega 1000 mm² võib valmistada 10 cm laiuse ja 1 cm paksuse vask-latina. Üks meeter sellist latti kaalub

ligi 8,8 kg. 300 000-amprise voolu jaoks tuleks koostada juhe 240 sellisest paralleelsest vasklatist — 2400 cm² läbilõikega vasklatist. Selle lati paksus võib 60 cm laiuse juures olla 40 cm.

Kahejuhtmelise ahela ehitamiseks on vaja 260 km sellist latti, üldise kaaluga üle 500 000 t puhast vaske.

On selge, et sel viisil energia edasiandmine on praktiliselt võimatu. Antud ülesandele tuleb otsida teist lahendust: on vaja leida viis, kuidas edasiantavat võimsust vähendamata, vähendada edasiande-ahelas voolu tugevust.

Ühte ja sama võimsust võib saada mitmesuguste voolutugevuste ja pingetega. Oletame, et antud eesmärgiks on vajalik võimsus 100 W. Seda võimsust võib anda 10-amprine vool 10-voldise pingega, või 5-amprine vool 20-voldise pingega, või 1-amprine vool 100-voldise pingega jne.

Lühidalt, kui vool pingega V annab samasuguse võimsuse, kui vool I_1 pingega V_1, siis nende suuruste vahel peab olema järgmine sõltuvus:

$$VI = V_1I_1 \text{ või } \frac{J}{J_1} = \frac{V_1}{V}.$$

Teisiti öeldes:

kui on vaja vähendada voolu tugevust, jättes muutmata võimsuse, siis on tarvis tõsta pinget.

Nii toimitakse energia edasiandmisel.

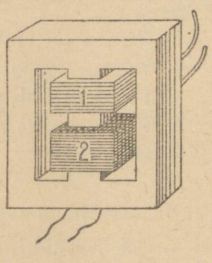
NSV Liidus antakse voolu edasi suurte kauguste taha pingega 115 000 V ja üle selle; voolu edasiandmisel lähema vahemaa peale kasutatakse 6000-voldist voolu.

Ühe nõukogude elektrijaama energia antakse edasi pingega 115 000 V; võimsus 33 000 kW; edasiandeahela vool on ligi 280 A ja seda voolu võib anda edasi 120 mm² läbilõikega juhet mööda. Sellest jaamast läheb kuni tarvitajani 2 edasiandeliini, kusjuures igas liinis on 95 mm² läbilõikega juhtmed. Iga sellise liini takistus on ligi 50 Ω.

280 A voolu edasiandmisel juhet mööda takistusega 50 Ω läheb võimsusest kaduma $W = RI^2 = 50 \times 280^2 = 3920$ kW, mis moodustab ligi 12% edasiantavast võimsusest. 12% kaotus pole liiga suur ja seda peetakse tehniliselt täiesti lubatuks. Võttes jämedamad juhtmed, võib edasiantava võimsuse kaotust vähendada, ent juhtmete läbilõike suurendamine tõstab tunduvalt liini enda maksumust.

85. **Transformaator.** Riistu, mille abil mingi pingega vahelduvvool muudetakse teistsuguse pingega vahelduvvooluks, nimetatakse transformaatoreiks.

Tehniline transformaator (joon. 134) koosneb suletud raudsüdamikust, millele on paigutatud 2 isoleeritud traadist pooli. (1 ja 2) erinevate keerdude arvudega. Vahelduvvool, minnes läbi pooli 1, magnetiseerib kogu aja vahelduvalt südamikku, mille tagajärjel poolis 2 tekib vahelduv pinge.



Joon. 134.
Transformaator.

Mitu korda on transformaatori pooli 2 keerdude arv suurem pooli 1 keerdude arvust, niimitu korda on pooli 2 klemmide pinge suurem pooli 1 klemmide pingest.

Transformaatori abil on võimalik pinget mitte üksnes suurendada, vaid ka alandada, milleks suurema pingega vool on vaja tuua suurema keerdude arvuga pooli klemmidesse; väiksema keerdude arvuga pooli klemmides saame sel juhul alandatud pingega voolu.

Tehnikas kasutatakse transformaatoreid nii pinge alandamiseks kui ka tõstmiseks, kusjuures on kindlaks tehtud, et **kadude puudumisel voolu võimsus, mis saadakse transformaatori sekundaarsest poolist, on võrdne voolu võimsusega, mis**

saadetakse primaarsesse pooli. See tähendab: **kui me transformaatori abil pinget tõstame, siis me vähendame sama palju korda voolu tugevust.**

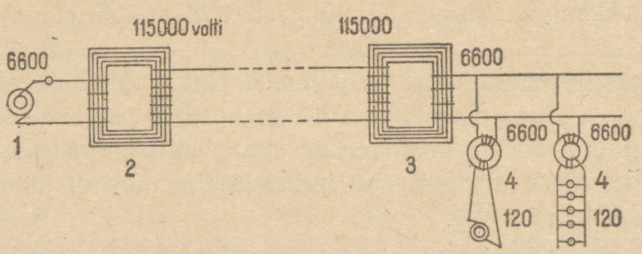
Sõna *transformaator* tähendab eesti keeles ümberkujundaja.

Transformaatorit kasutatakse selleks, et muuta pinget ja voolu tugevust, jättes muutmata võimsuse.

Küsimusi.

1. Kuidas on ehitatud transformaator?
2. Kuidas lülida sisse transformaator, kui teda soovitakse kasutada pinge tõstmiseks?
3. Kas transformaatori abil on võimalik pinget alandada ja kuidas seda teha?

86. **Voolu tee jaamast tarbijani.** Elektrijaamas generaatorite poolt töödeldud vool läheb juhtmeid mööda erilistele jämedaile vasklattidele, mis on kinnitatud portselanist isolaatoreile; neid latte nimetatakse k o g u m i s l a t t i d e k s. Need koguvad voolu kõigist generaatoreist (joon. 135), mis jaamas olemas, ja annavad selle transformaatoreile 2, milles tõstetakse



Joon. 135. Kõrgepingeliini skeem voolu andmiseks kauge maa taha. 1 — generaator; 2 — pinge tõstmise transformaator elektrijaamas; 3 — madaldav transformaator energia tarbimiskeskuses; 4 — madaldavad transformaatorid voolutarvitajate juures.

pinget. Kuna harilikult vool läheb transformaatoreisse 6600 V pingega, lahkub aga 115 000 V pingega, siis on enesestki mõistetav, et sisse- ja väljaviivad juhtmed on hoolikalt isoleeritud. Transformaatorist läheb vool *paljaid õhujuhtmeid mööda*, mis on kinnitatud kõrgete postide külge hoolikalt valmistatud portselanisolaatorite abil. Tarbimiskeskuses läheb vool *madaldavasse alljaama*, kus on seatud üles transformaatorid 3, mis alandavad pinget kuni 6600 V. Edasi, rajooni transformaatoreis 4 alandatakse vool kuni 120 või kuni 220 V. See vool läheb toitejuhtmeisse, mille kõrvaljuhtmed lähevad tarbijate voolumõõtjaisse.

Küsimusi.

1. Miks voolu andmisel kauge maa taha isegi madaldavast alljaamast kuni rajooni alljaamani kasutatakse kõrgendatud pingega voolu?
2. Joonestage energiaandmise skeem elektrijaamast tarbijani

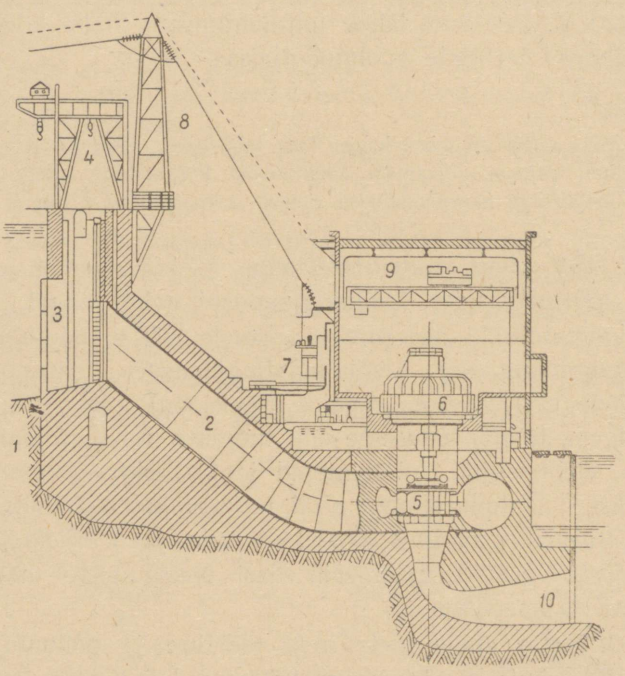
87. **NSV Liidu elektrifitseerimine.** Elekter leiab kasutamist kõigis tööstusharudes, põllumajanduses (elektrikünd, elektrilüps, loomatoitude sileerimine, lindude väljahaudumine, loomade pügamine jne), kommunaalmajanduses, transpordis ja sides (telegraaf, telefon, raadio, televisioon). Elekter on hakanud tugevasti igapäevasesse ellu tungima (elektriköögid, valgustus, elektriahjud, tolmuimejad jne). Elektrienergia annab võimaluse kasutada ökonoomselt ja kasulikult kohalikke kütteaineid (turvas, pruunsüsi, põlevkivi, puu jne.). Elektrienergia on energia vormiks, mida võib edasi anda kauge maa taha hõlpsasti ja kasulikult.

V. I. Lenin andis meie maa tööstuse ja põllumajanduse elektrifitseerimisele väga suure tähtsuse. Lenin ütles, et «kommunism on nõukogude võim pluss kogu maa elektrifitseerimine».

1920. a. loodi elektrifitseerimisplaani väljatöötamiseks spetsiaalkomisjon, lühendatult ГОЭЛРО (Государственная

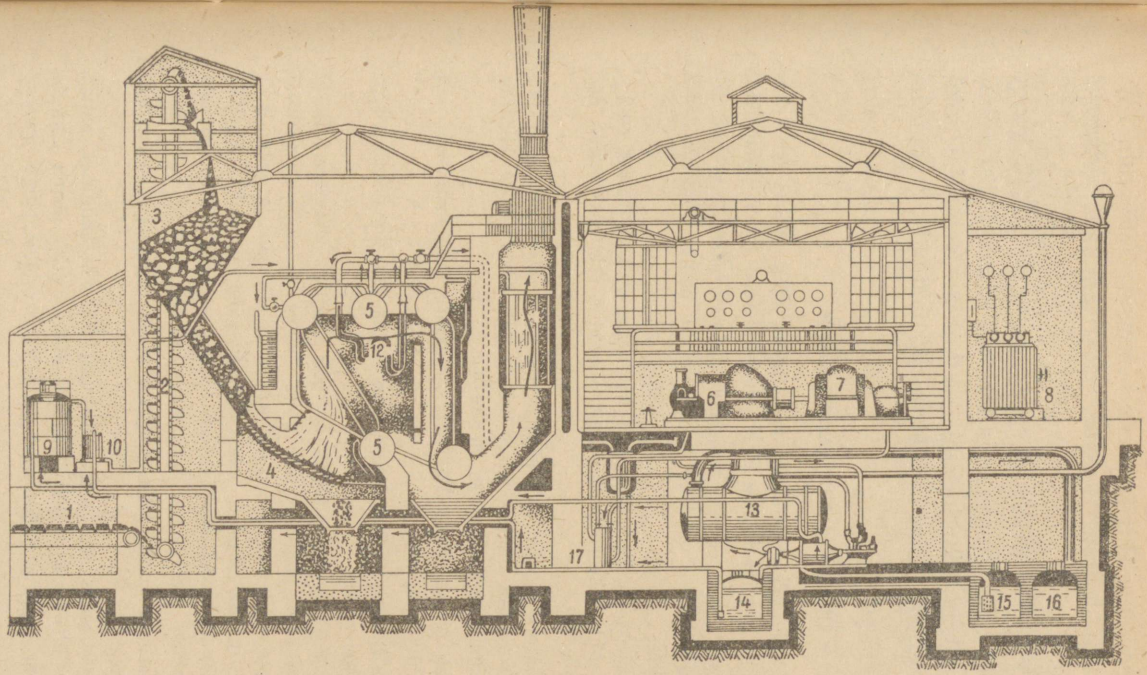
комиссия по электрификации России — Venemaa Elektrifitseerimise Riiklik Komisjon).

ГОЭЛРО plaani järgi kavatseti ehitada 10—15 a. jooksul 30 rajooni elektrijaama üldise võimsusega 1,5 milj. kW. Lenin ei elanud üle oma ideede täielikku kehastumist meie maa elektrifitseerimisel. Kuid Lenini töö suure jätkaja, meie partei juhi seltsimees Stalini juhtimisel on NSV Liidu elektrifitseerimisplaan mitte ainult teostatud, vaid ka ületatud. Juba 1932. a.



Joon. 136. Hüdroelektrijaam.

1 — tamm; 2 — juurdevoolutoru; 3 — vesivärav, mis suleb vee pääsu juurdevoolutorusse; 4 — vesiväravate tõstekraana; 5 — turbiin; 6 — vahelduvvoolu generaator, mis on ühendatud turbiiniga; 7 — pinget tõstvad transformaatorid; 8 — elektri edasiandepostid; 9 — sildkraanad masinate paigalepanemiseks; 10 — äravoolutoru.



Joon. 137. Soojusjõu-elektrijaama skeem.

1 — kütuse edasiandmine jaama; 2 — elevaator kütuse tõstmiseks; 3 — punker; 4 — küttekolle; 5 — veetorukatel; 6 — auruturbiin; 7 — generaator; 8 — pinget tõstev transformaator; 9 — veepuhastaja; 10 — veekoguja; 11 — ekonomaiser vee eelsoojendamiseks heitgaasidega; 12 — auru-ülekuumuti; 13 — aurukondensaator; 14 — kast kondensatsiooni-vee jaoks; 15 — vesi kondensaatori jahutamiseks; 16 — soojavee äravool; 17 — õlijahutaja.

moodustas rajoonide elektrijaamade võimsus 2866 tuh. kW. Teise viisaastaku jooksul kasvas elektrijaamade võimsus 8116 tuh. kW-ni.

Üleliidulise Kommunistliku (bolševike) Partei XVIII kongressil võeti vastu otsus suurendada elektrijaamade üldist võimsust kolmanda viisaastaku jooksul 2,1 korda. Neljandal viisaastakul suureneb üksi hüdroelektrijaamade võimsus 7 milj. kW-ni.

Ülesandeid VIII peatüki juurde.

1. Arvutada voolu võimsuse kadu vasktraadis, mille pikkus on 5 km ja läbilõige 100 mm² ja mida mööda läheb mootori jaoks 100-amprine vool.

2. Mitu keerdu peab olema madaldava transformaatori sekundaarmähises, kui primaarmähises on 1200 keerdu ja kui pinget peab alandama 120 voldilt 4 voldile?

3. Transformaatori primaarmähis, mis on lülitud 110-voldisesse võrku, omab 550 keerdu. Millist keerdude arvu peab omama sekundaarmähis, kui on vaja saada 440 volti?

4. Transformaatori poolidel on: primaarpoolil — 1200 keerdu, sekundaarpoolil — 6000 keerdu. Millise pinge saame sekundaarmähise klemmides, kui primaarmähise klemmides on 80 volti?

5. Milline peab olema pinge 1000 kW võimsuse edasiandmiseks, kui voolu tugevus on 100 amprit?

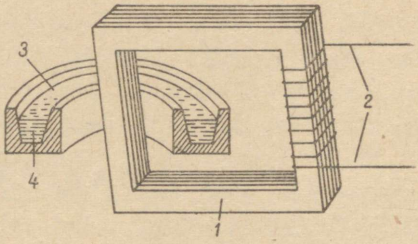
6. Miks elektrienergia edasiandmisel kauge maa taha on ökonoomsem kasutada kõrgepinge voolu?

7. Transformaatori primaarmähisel on 500 keerdu, sekundaarmähisel aga 5000. Primaarmähise pinge on 220 volti. Milline on pinge sekundaarmähises? Milline on voolu tugevus transformaatori primaar- ja sekundaarmähises, kui liini mööda antakse edasi energia võimsusega 11 kilovatti?

8. Kui eelmises ülesandes liini üksikuis osades on vaja pinget alandada 110 voldini, siis milline peab olema transformaatori primaar- ja sekundaarmähise keerdude arvude suhe? Millest oleneb voolu tugevus transformaatori sekundaarmähises?

9. Rajooni elektrijaam, mis asub Moskvast 130 km kaugusel, annab Moskvale voolu võimsusega 48 000 kilovatti. Milline peab olema energia edasiandmisel voolu tugevus 110-voldise ja 115 000-voldise pinge juures?

10. Joonisel 138 on kujutatud induktsiooni-elektrisulatusahju skeem, mis kujutab enesest transformaatorit, kus primaarmähis 2 koosneb paljudest juhtme keerdudest. Sekundaarmähise asemel on transformaatori 1 südamikule pandud rõngastiigel 3 metalliga 4. Voolu laskmisel primaarpooli tõuseb voolu tugevus, mis saadakse tiiglis, sellise kõrguseni, et soojus, mida tekitab vool, sulatab metalli.



Joon. 138.

1) Arvutada, millise soojuse hulga saab metall igas sekundis, kui primaarmähisesse juhitakse vool võimsusega 100 kilovatti ja kui kogu seadeldise kasutegur on 80%.

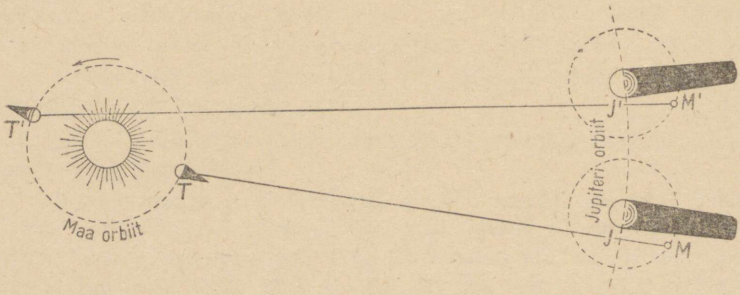
2) Arvutada sekundaarmähise voolu tugevus, kui primaarmähise keerdude arv on 500 ja tema voolupinge on 2000 volti.

VALGUS.

I peatükk.

VALGUSE LEVIMINE.

88. **Valguse kiirus.** Esimeseks asjaoluks, mis tekitas mõtte elektromagnetiliste võnkumiste ja valguse sarnasusest, oli nende levimise kiiruse võrdsus. Valguse kiirus määrati kindlaks veel kaua enne seda, kui õpiti tundma elektrilisi võnkumisi.



Joon. 139. Kauguse muutumine Maa ja Jupiteri vahel Maa pöörlemisel ümber Päikese.

Oli aeg, millal arvati, et valgus levib silmapilkselt. Alles XVII sajandi lõpul taani astronoom Römer leidis valguse kiiruse kindlaksmääramise viisi.

Planeedil Jupiter, mis asub Päikesest enam kui viis korda kaugemal kui Maa, on kaaslasi. Need kaaslased ringlevad ümber Jupiteri korrapäraselt vahelduvate ajavahemike jooksul (joon. 139). Võib välja arvutada, millal kaaslane läheb Jupiteri varju ja lakkab olemast nähtav (toimub kaaslase varjutus). Hoolikamal vaatlusel ilmnes, et need vahemikud pikenesid, kui Maa, käies ümber Päikese, kaugenes Jupiterist, ja lühenesid, kui Maa lähenes Jupiterile. Tundes täpselt Jupiteri kaaslaste pöörlemise perioode, nende kaugust Maast, ja määrates kindlaks Jupiteri kaaslaste varjutuse hilinemisi või ennetamisi, võib arvutada välja aja, mis on vajalik selleks, et valgus käiks ära selle lisatee, mille võrra Maa eemaldus Jupiterist või lähenes temale. Ilmnes, et selleks, et valgus võiks ära käia kauguse, mis on võrdne Maa orbiidi diameetriga, s. o. 300 milj. km, on nõutav 1000 sek.

Järelikult:

valguse kiirus on võrdne 300 000 km/sek-ga.

Valgus võib käia ümber Maa umbes 8 korda sekundis, seepärast niisugustes kaugustes, mida me Maa peal võime haarata pilguga, levib valgus momentaanselt. Ent me näeme mitte ainult maapealseid esemeid.

Tähed, mis on samasugused hõõguvad kehad nagu Päike, on meist niivõrd kaugel, et valgus lähima tähe juurest tuleb meieni ligi 4⅓ aastat, teiste tähtede juurest aga tuleb valgus meieni kümneid, sadu ja tuhandeid aastaid. Tähtedevahelised kaugused on nii suured, et astronoomid kasutavad eri kaugusühikut, mida nimetatakse valgusaastaks. **Valgusaasta — see on selline kaugus, mille valgus läbib ühe aastaga.**

On vaja ära märkida, et mitte igas keskkonnas pole valguse kiirus 300 000 km/sek.

300 000 km/sek. — see on valguse kiirus maailma eetris.

See on suurim kiirus. Valguse kiirus õhus erineb sellest kiirusest väga vähe.

Vees on valguse kiirus ligikaudu ¾ valguse kiirusest õhus. Klaasis on valguse kiirus tunduvalt väiksem kui valguse kiirus õhus.

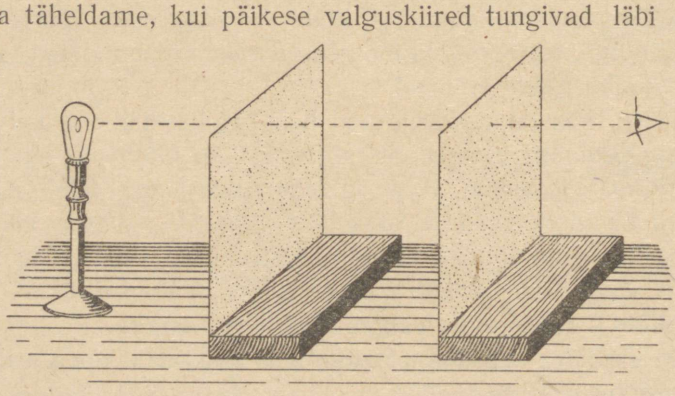
Mida väiksem on valguse levimiskiirus keskkonnas, seda optiliselt tihedamaks nimetatakse keha.

Küsimusi.

1. Kuidas tehti kindlaks valguse kiirus esimest korda?
2. Millele võrdub valguse kiirus eetris? Võrrelge valguse kiirust Maa peal teile tuntud suurimate kiirustega.
3. Kas kõikjal, kus levib valgus, on ta kiirus ühesugune?

89. **Valguse sirgjooneline levimine.** Vaatleme, kuidas levib valgus.

1. k a t s e. Võtame üsna heleda valgusallika (elektri- või petrooleumilambi) ja katame lambi kastiga, milles on väike ava. Avausest tulevate kiirte teele laseme suitsu. Me näeme selgesti, et suitsu valgustavate kiirte tee on sirgjooneline. Sama täheldame, kui päikese valguskiired tungivad läbi alla-

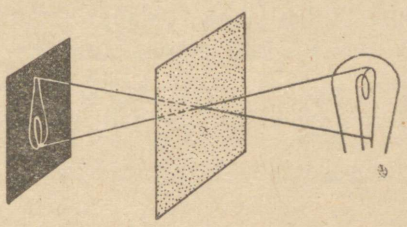


Joon. 140. Valguse sirgjooneline levimine.

lastud kardinate augukeste ja valgustavad oma teel toa õhus leiduvaid tolmukübemeid.

2. k a t s e. Võtame kaks läbitorgatud augukestega kartongi ja asetame need teineteisele paralleelselt silma ja mingi hästi valgustatud eseme, näiteks akna või lambi vahele. Me näeme eset läbi kahe ava ainult siis, kui silm, mõlemad avad ja ese asetsevad ühel sirgel (joon. 140).

3. k a t s e. Asetame väikese avaga kartongi lambi lähedale, selle taha aga teatud kaugusele paberilehe või kartongi; saame ekraanil mitte lihtsa valguse laigu, vaid valgustatud eseme kujutise (joon. 141). Kuidas seda seletada? Vaatleme



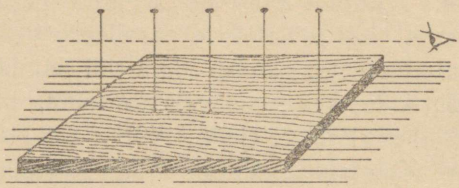
Joon. 141. Kujutise saamine väikese ava abil.

valguse kiirte käiku eseme kõigist punktidest. Igast valgustatud punktist saadakse oma täpike, ja kõik täpikesed asetsevad nii, et annavad eseme kujutise. Pole raske näha, et kujutis on vastupidine. Kui avaus on küllalt suur, siis ühtede punktide täpid katavad teisi ja ähmastavad kogu kujutise. Mida väiksem on ava, seda selgem on kujutis, kuid see-eest kahvatum, sest läbi väiksema ava läheb vähem valgust.

4. k a t s e. Asetame kartongi lauale ja torkame sellesse üksteise järele teatud kaugusele nööpnõelad nii, et asetades silma esimese nööpnõela ette, näeksime, et ülejäänud nööpnõelad kattuvad esimesega (joon. 142).

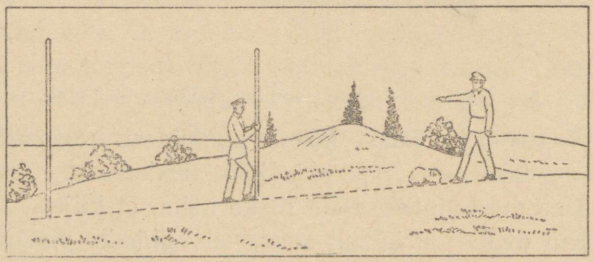
Asetanud joonlaua tähendatud nööpnõeltele, veendume, et kõik nad asetsevad ühel sirgel. Samal viisil tähistatakse sirg-

jooni maapinnal maamõõdu-tööde juures (joon. 143), asetades järjest üksteist katvaid latte.



Joon. 142. Sirgjoone tähistamine nööpnõelte abil.

Kõige vaadeldu alusel võime öelda, et **valgus levib sirgjooneliselt.** Seejuures tuleb silmas pidada, et antud juhul kulgeb valgus ühes ja samas keskkonnas (näiteks õhus). Edaspidi näeme, et valgus, minnes ühest keskkonnast teise, muudab oma suunda. Seepärast võib täpsemalt öelda nii:



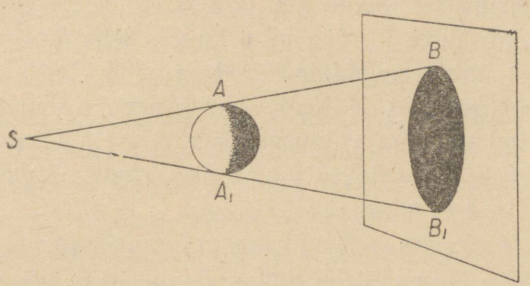
Joon. 143. Sirgjoone tähistamine.

ühtlases keskkonnas levib valgus sirgjooneliselt.

Küsimusi.

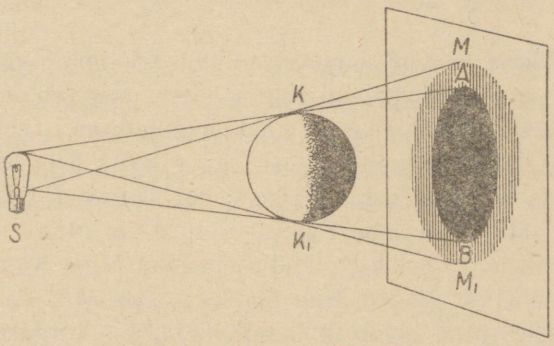
1. Kuidas levib valgus ühtlases keskkonnas?
2. Millel põhjeneb sirgjoonte tähistamise viis maapinnal?
3. Suvel võib näha tee peal tiheda lehestikuga puu all heledaid laike. Millest nad tekivad ja mida nad enesest kujutavad?

90. **Vari ja poolvari.** Kui taskulambist tulevate valguskiirte teele asetada läbipaistmatu kera või ketas (joon. 144), selle taha aga valge kartongileht (ekraan), siis näeme ekraanil tera-



Joon. 144. Varju tekkimine.

valt piiriteldud ümmargust varju. Kui ühe lambi asemel asetada kõrvuti kaks või kui võtta üks harilik elektrilamp (joon. 145), siis näivad varju ääred tunduvalt heledamaina.



Joon. 145. Varju ja poolvarju tekkimine.

See on seletatav valguse sirgjoonelise levimisega. Kui valgusallikas on väga väike, s. o. kui ta kujutab enesest peaaegu helendavat täppi, siis, nagu näitab joonis 144, piiritlevad sirged

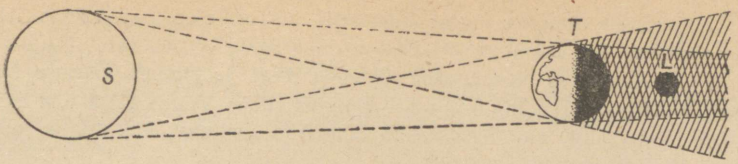
AB ja A_1B_1 valgust varjust järsult. Kui aga valgusallikas ise võtab enda alla teatud ruumi, siis lähtuvad kiired igast tema punktist, ja varjul võib täheldada ainult teatud keskset, tumedamat osa, mis on joonte KA ja K_1B vahel (joon. 145), kuhu ei satu valgusallika ühegi punkti kiired. Selle ümber on kohad, kuhu allika ühtede punktide kiired satuvad, teiste omad aga mitte. Kiirtega KM ja K_1M_1 piiritellakse varju ala. Seega omab teatud pinnaga valgusallika vari alati heledamaid ääri. Keskmist osa nimetatakse varjuks, teda ümbritsevat osa aga poolvarjuks.

Kõik meie valgusallikad pole täpisuurused, seepärast on varju piirides alati järk-järguline üleminek varjust ekraani valgustatud osani.

Küsimusi.

1. Kas saadakse ühesuguse piirjoontega varjud pliiatsist, mida hoitakse hõõglambi niidiga paralleelselt ja risti?
2. Mis alusel võime võrrelda esemete kõrgusi varju pikkuse järgi, mis on nende poolt heidetud Päikese valguses?

91. **Päikese ja Kuu varjutus.** Varju tekkimine valgusallika kiirte langemisel läbipaistmatule esemele selgitab meile selliseid nähtusi nagu päikese- ja kuuvarjutused. Tuleb võtta arvesse, et Päike kiirgab valgust, aga Maa ja Kuu valgust ise ei kiirga ja neid valgustab Päike. Kuu liikumisel ümber Maa võib Kuu sattuda Maa ja Päikese vahele või Maa — Kuu ja Päikese vahele. Et tekiks varjutus, peavad Maa, Kuu ja Päike asetsema ühel sirgel. Kui Kuu liiguks ümber Maa samas tasapinnas, milles Maa liigub ümber Päikese, siis korduksid varjutused iga kuu. Kuid Kuu liikumispind on Maa liikumispinnaga veidi kaldu (5°). Varjutuseks on vaja selline kokkusattumine, et Kuu tuleks nende pindade lõikumisjoonele just noor- või täiskuu momendil. Kuuvarjutuse ajal satub Kuu varju koonusesse, mida heidab Maa (joon. 146), ja kuuvarjutus on nähtav



Joon. 146. Kuuvarjutus.

ühteviisi Maa kõigis kohtades. Päikesevarjutuse ajal satub Kuu poolt heidetud varju koonus Maale. Maa on siis nagu ekraan. Maa neis kohtades, kuhu sattus täisvari, on nähtav Päikese täisvarjutus; poolvarju kohtades kaetakse kinni ainult osa Päikesest ja toimub osaline varjutus, Maa teistes kohtades aga pole üldse mingisugust varjutust näha.

Kuna Maa ja Kuu liikumised on hästi läbi uuritud, siis öeldakse täpselt palju aastaid ette ka varjutuse alguse momendid. Astronoomid kasutavad iga varjutuse saabumist, et kontrollida oma arvutusi ja täpsemalt õppida tundma taevakehade liikumise seadusi. Päikese täisvarjutus pakub haruldast juhust vaadelda Päikese välisosi, mis harilikult pole nähtavad Päikese pinna silmipimestava sära tõttu.

Päikesevarjutused ajasid hirmu peale ebausklikele ja harimatuile inimestele, vaimulikkond aga kasutas seda oma huvides, spekuleerides rahva pimedusega. Varjutuste tõeliste põhjuste tundmine nagu teistegi loodusnähtuste tundmine ja oskus neid seletada annavad meile kätte parima relva võitluses ebausuga.

Küsimusi.

1. Mis on päikese- ja kuuvarjutuse põhjuseks?
2. Mispärast ei nähta Päikese ja Kuu varjutust igal kuul?

Ülesandeid I peatüki juurde.

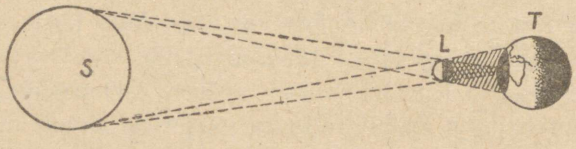
1. Valguse kiirus määrati kindlaks 1675. a. taani astronoomi Rõmeri poolt Jupiteri kaaslaste vaatluste põhjal. Sel ajal, kui Maa eemaldus Jupiterist 40 800 000 km, hilines kaaslase varjutus 2 minuti ja 16 sekundi võrra. Määrata valguse kiirus.

2. Määrata kaugus Maast Päikeseni, kui on teada, et valgus läbib selle vahemaa 8⅓ minutiga.

3. Astronoomias kasutatakse ühikuna Maa ja tähtede vahelise kauguse mõõtmiseks «valgusaastat» — kaugust, mille valgus läbib ühe aasta jooksul. Kui kaugel on Maast lähim täht Alfa Centauri, kui valgus jõuab temalt Maani 4½ aasta jooksul?

4. Kuu on maast keskmiselt 380 000 km kaugusel, Päike — 150 000 000 km kaugusel. Kui kaua tuleb valgus Kuult ja Päikeselt Maani?

5. Vertikaalselt paigutatud 1,5 m kõrgune kepp heidab enesest 2 m pikkuse varju. Vabriku korsten heidab enesest samal ajal 50 m varju. Kui kõrge on vabriku korsten?



Joon. 147.

6. Kui kõrgel on Päike, kui eseme varju pikkus on võrdne eseme kõrgusega?

7. Määrata varju koonuse pikkus, mille heidab enesest Kuu noorkuu ajal, millal Kuu ja Päikese keskkohtade kaugus võrdub ligikaudu 150 000 000 km. Kuu ja Päikese diameetrite suhe on ligikaudu 1 : 400.

8. Kui suur on varju koonuse pikkus, mille tekitab Päikesest valgustatud maakera? Maa raadius $R_1 = 6370$ km. Päikese raadius on $R_2 = 110$ Maa raadiusega. Maa tsentrumi kaugus Päikese tsentrumist moodustab ligi 23 900 Maa raadiust.

9. Läbi luugi väikese ava langevad kiired esemelt, mis asub 40 m kaugusel. Vastasseinas, mis on luugist 7,5 m kaugusel, tekib eseme kujutis. Kujutise suurus on 0,75 m. Määrata eseme suurus.

II peatükk.

VALGUSE TUGEVUS JA SELLE MÕÕTMINE.

92. **Valguse tugevus ja pinna valgustuse tugevus.** Kui tahetakse võrrelda kahte valgusallikat ühe ja sama aja jooksul väljakiiratud valgusenergia hulga järgi, siis öeldakse, et üks omab suuremat valguse tugevust kui teine või et valguse tugevused on võrdsed.

Valguse tugevus on valgusenergia hulk, mis voogab valgusallikast ajaühiku jooksul.

Et otsustada valguse tugevuse üle, on vaja seda mõõta ja järelikult määrata kindlaks mõõduühik.

Varemalt oli valguse ühikuks teatud suurusega küünal, teatud materjalist ja teatud tahiga. Siis hakati valmistama erilisi lampe spetsiaalse põletisvedelikuga.

Käesoleval ajal, millal on laialt levinud elektrivalgustus, on loomulik võtta valgustugevuse ühikuna teatud nõudeile vastav elektrilamp. Nii toimiski valgustusala rahvusvaheline komisjon, kes määras kindlaks valguse tugevuse rahvusvahelise ühiku, mida nimetatakse rahvusvaheliseks küünlaks. Kuigi sõna küünal on siin alale jäänud, võetakse valgusallikana elektrilamp.

Rahvusvaheline küünal, kui valguse tugevuse ühik, võeti meil NSV Liidus tarvitusele 1925. a. ja on muudetud üleliiduliseks standardiks.

Valguse tugevuse ühikuks on rahvusvaheline küünal.

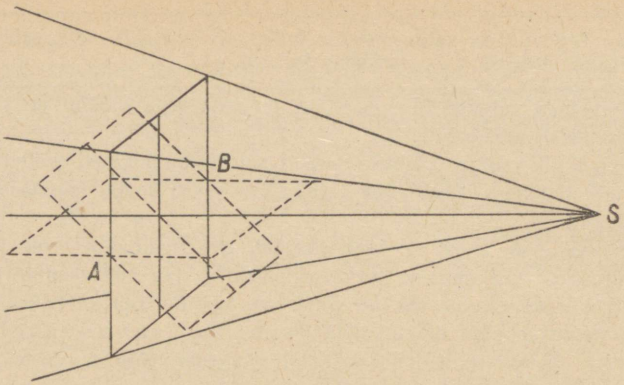
Kõigi toodetavate lampide ja üldse valgusallikate valgustugevus määratakse kindlaks Metroloogia ja Standardiseerimise Instituudis alalhoitavate näidistega (etaloonidega) võrdlemise teel. Kui meil on 25-küünlane lamp, siis tähendab see, et ta helkimise normaaltingimuste juures (selle elektripinge juures, milleks ta on määratud, näiteks 120 V) kiirgab 25 korda rohkem valgusenergiat kui ühe rahvusvahelise küünlane musterlamp sama aja jooksul.

Kui ühes ja samas toas süütame lambid erineva valgustugevusega (näiteks 25-küünlase ja 50-küünlase või stearriinküünla ja petrooleumilambi), siis tuba ja kõik selles asetsevad esemed on valgustatud mitmel viisil; üldine valgustus on suurem tugevama valgusallika juures. Kuid ka ühe ja sama valgusallika juures märkame erinevust mitmesuguste esemete pinna valgustuses: mida kaugemal on ese valgusallikast, seda nõrgemini on ta valgustatud, ja esemeil, mis on ühesuguses kauguses, on mitmesugused küljed valgustatud erinevalt.

Esemete valgustus sõltub sellest, kui suure hulga valguse energiat saavad esemete valgustatud pinna ühikud iga ajaühiku jooksul.

Kuidas levib valgusenergia, mida kiirgab valgusallikas?

Me teame, et valgus tuleb allikast, levides igas suunas. Sooritame järgmise katse.



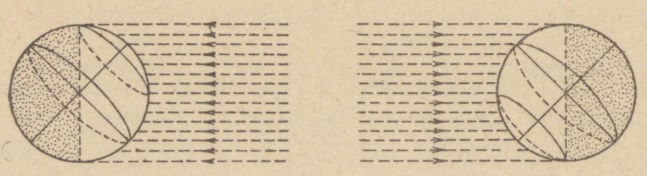
Joon. 148. Valgustuse sõltuvus kiirte kallakust.

Võtame elektritaskulambi ja nelinurkse tiheda valge paberilehe või kartongi. Asetame kartongi pimendatud ruumis näiteks poolteise meetri kaugusele lambist, risti tema kiirtega (joon. 148).

Hoides lehte vastas-äärtest punktides A ja B (joon. 148), pöörame teda. Me näeme, et lehe valgustuse tugevus hakkab nõrgenema sel määral, mil määral väheneb nurk valguskiire keskmise suuna ja lehe tasapinna vahel.

Ei ole raske seletada seda pinnavalgustuse muutumist, kui pöörata tähelepanu sellele, et üks ja sama valguskiirtekimp satub kõigil neil juhtudel erinevas suuruses kartongi pinnale. Suurima hulga energiat 1 sm^2 pinnale saab kartong siis, kui ta pind on risti keskmise kiirega.

Selle kiirgusenergia hulga muutumisega, mis langeb pinnaühikule sõltuvalt kiirte kallakust, seletatakse Maa aastaaegade vaheldumist ja klimaatiliste vöötmete jaotumist. Seda selgitab joonis 149.



Joon. 149. Aastaaegade vahetus.

Hakkame lehte lambist eemaldama. Valgustatus hakkab kiiresti vähenema (joon. 150). Asendis I saab kartong kogu kiirtekimbu, mida hõlmab püramiid, mille aluseks on kartongileht ja tipuks valgusallikas. Olgu asend II lambist kaks korda kaugemal kui esimene. Siis kiirtekimp levides haarab kartongi asendis II, mille küljed on kaks korda suuremad endise ruudu külgedest. Järelikult pinnaühikule asendis II langeb valguskiiri niimitu korda vähem, mitu korda ruut ABCD on väiksem ruudu $A_1B_1C_1D_1$ pinnast, ja see on neli korda.

Samal viisil veendume, et asendis III, kolm korda suurema kaugusega, saab pinnaühik valguskiiri üheksa korda vähem.

Üldiselt võime määrata kindlaks järgmise sõltuvuse valgustuse tugevuse ja valgustatud eseme kauguse vahel valgusallikast.

Valgustuse tugevus on pöördvõrdeline valgusallika kauguse ruuduga.

Seega sõltub pinna valgustuse tugevus valgusallika tugevusest, valgustatud pinna ja langevate kiirte vahelisest nurgast ja eseme kaugusest valgusallikast.

Et oleks võimalik võrrelda valgustatuse mitmesuguseid järke, selleks on valgustatuse mõõtmiseks kindlaks määratud ühik.

Valgustatuse ühikuna on võetud tarvitusele valguskiirtega risti seisva pinna valgustatus 1 m kaugusel valgusallikast, mille tugevus on üks rahvusvaheline küünal.

Selle valgusühiku nimeks on luks.

Et luua teatud kujutlust valgustuse tugevusest, mida mõõdetakse luksidega, võib tuua järgmisi andmeid: valgustuse tugevus heledal päikesepaistelisel päeval ulatub lahtises kohas kuni 100 000 luksini, langeb pilves ilma puhul kuni 10 000 luksini ja ei ole selgel kuupaistel mitte üle ¼ luksi.

Küsimusi.

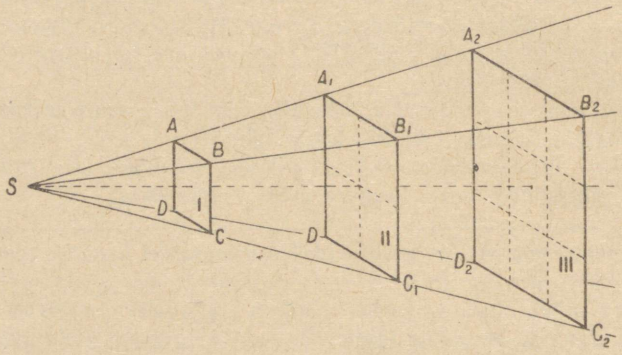
1. Mida nimetatakse valgusallika tugevuseks?
2. Selgitage, mis vahe on valgustugevuse ja valgustuse tugevuse vahel.
3. Kuidas nimetatakse valgustugevuse ühikut ja kuidas seda kindlaks määratakse?
4. Mida nimetatakse valgustuse tugevuse ühikuks ja kuidas seda kindlaks määratakse?

Harjutusi.

1. Kui suur on valgustuse tugevus 50-küünlasest lambist 2 m kaugusel?

2. Millises kauguses tuleb hoida raamatut ristі 25-küünlase lambi kiirtega, et valgustuse tugevus oleks 100 luksi?

3. 100-küünlane elektrilamp ripub laua kohal 1,5 m kõrgusel. Määrata laua valgustuse tugevus.



Joon. 150. Valgustatuse sõltuvus eseme kaugusest valgusallikani.

93. **Valgustuse tähtsus tehnikas ja ühiskondlikus elus.** Suure liikumise juures võib linnades tänavate valgustuse puudulikkus kutsuda esile palju õnnetusjuhtumeid. Nägemise vähenemine tuleneb enamikul juhtudel mitteküllaldasest ja ebaõigest valgustusest.

Määratut tähtsust omab õige valgustus tööstuses. On kindlaks tehtud, et nõrk valgustus alandab tööproduktiivsust ja kutsub masinail töötamisel sageli esile õnnetusjuhtumeid. Kunstlik valgustus ei suuda küll veel täielikult asendada päikese valgust, kuid ikkagi on valgustustehnika elektrivalgustuse kasutusele võtmisega saavutanud väga palju. Päevavalgus elamuis, kooli- ja tööstushooneis oleneb suurelt osalt nende hoonete ehitusest, asetusest, akende pinnast jne. Meie nõukogude elamute ja tööstushoonete ehitusettevõtted pühendavad sellele küsimusele suurt tähelepanu. Meie tehased, uusehitised ja sotsialistlikud linnad paistavad silma suure valgustuspinna poolest nii akende arvu kui ka nende suuruse järgi.

On olemas väljatöötatud valgusnormid, mis määravad kindlaks tarviliku valguse mitmesuguste tööliikide jaoks. Toome meil rakendatud mõningaid tähtsamaid valgusnorme:

Õpperuumide jaoks:

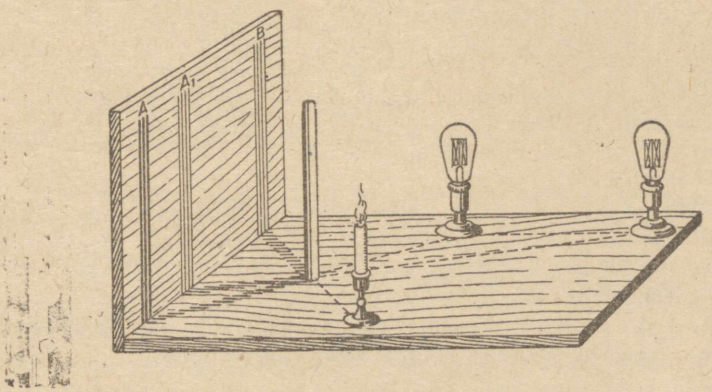
laboratooriumides, töökohtades	50— 75 luksi
joonistamistöödel	75—100 „
puhke- ja võimlemisruumides	20— 30 „
koridorides, riietusruumides	15 „

Vabrikute ja tehaste normid erinevad liikide järgi, olenevalt tingimustest, kuid üldiselt võib neid kokku võtta järgmiselt:

peentööde jaoks	75—120 luksi
keskmiste tööde jaoks	40— 60 „
jämedate tööde jaoks mitte alla	20 „

94. **Kahe valgusallika tugevuse võrdlemine.** Teades, kuidas muutub valgustuse tugevus valgusallika eemaldamisega valgustatavast pinnast, leiame mitmesuguste valgusallikate tugevuste võrdlemise viisid.

K a t s e. Asetame valge ekraani ette temaga paralleelselt läbipaistmatu varva (joon. 151). Varvast mõnevõrra kaugemal ja küljepool asetame kahele poole kaks erineva tugevusega valgusallikat, näiteks küünla ja 25-küünlase elektrilambi. Me näeme ekraanil kahte varva varju. Kui mõlemad valgusallikad on ekraanist ühesugusel kaugusel, siis on varjud erinevad. Vari A tekkis lambist, kuid teda valgustab küünal. Vari A on tunduvalt tumedam kui vari B. Jättes küünla paigale, hakkame lampi



Joon. 151. Kahe valgusallika tugevuse võrdlemine Rumfordi fotomeetri abil.

ekraanist eemaldama; märkame, kuidas vari B hakkab järk-järgult tumenema ja lõpuks mõlemad varjud — A_1 ja B muutuvad ühtemoodi tumedaks, õigemini — ühtemoodi valgustatuks.

Meie poolt võetud valgusallikate juures — 1 küünal ja 25 küünalt — sünnib see siis, kui lamp eemaldatakse ekraanist 5 korda kaugemale kui küünal.

Tõepoolest, kui me eemaldaksime küünla ekraanist 5 korda kaugemale, siis varju A valgustuse tugevus väheneks 25 korda. Et valgustada varju A endiselt, oleks vaja võtta 25 korda tugevam valgusallikas.

Sel kombel võime saavutada kahelt erinevalt valgusallikalt ühesuguse valgustustugevuse, muutes nende kaugust valgustatud esemest. Mõõtes neid kaugusi igaühe jaoks ühesuguse valgustatuse korral ja võttes arvesse, et valgusallikaist on see tugevam, mida meil tuli ekraanist kaugemale asetada, me võime arvutada, mitu korda omab üks valgusallikas suuremat valgustugevust kui teine järgmise reegli järgi: kahe valgusallika tugevused on võrdelised nende kauguste ruutudega esemest, mida nad valgustasid ühesugusel määral.

Tähistades valgusallikate tugevused K_1 ja K_2-ga ja nende kaugused valgustatud esemest R_1 ja R_2-ga, saame:

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{R_1^2}{R_2^2}.$$

Selle alusel toimub ükskõik millise valgusallika tugevuse kindlaksmääramine valgusallika võrdlemisega, mille valgustugevus on meile tuntud. Selleks valmistatakse riistu, mida nimetatakse fotomeetriteks, valgustugevuse mõõtmist aga nimetatakse fotomeetriaks[1].

Katse seadis joon. 151 on Rumfordi lihtsaimaks fotomeetriks. Märkame, et eriliigiliste valgusallikate varjud tekivad erisuguste värvivarjunditega. Seepärast on valgustuse tugevust raske kindlaks määrata. Kõige kohasem on võrrelda samaliigilisi valgusallikaid.

Küsimusi ja harjutusi.

1. Millel põhjeneb erinevate valgusallikate tugevuse võrdlemine?

2. Lauda valgustatakse 25-küünlase lambiga. Kui kõrgele laua kohale peab riputama 100-küünlase lambi, et laua valgustuse tugevus oleks sama?

95. **Laboratoorne töö nr. 1. Valgustugevuse määramine fotomeetri abil.** Töö eesmärk. **Omades tuntud küünalde arvuga hõõglampi, leida teise, tundmatu küünalde arvuga lambi valgustugevus.**

[1] Kreekakeelne sõna *fotos* tähendab 'valgus', *metron* — 'mõõt'.

Vajalikud abinõud: fotomeeter, mõõtjoonlaud, kaks lampi (tuntud ja tundmatu küünalde arvuga).

1. Asetada mõlemad valgusallikad ja fotomeeter nii, et ühte valgusallikaist või fotomeetrit ümber asetades, oleks võimalik muuta valgustuse tugevust fotomeetril ja teha seda võrdseks mõlema valgusallika poolt.

2. Teinud fotomeetril kindlaks mõlema valgusallika poolt täiesti ühesuguse valgustatuse, mõõta vastavad kaugused.

3. Teha otsitava valgusallika valgustugevuse arvutus, teades mitu küünalt omab antud valgusallikas, järgmise valemi järgi:

$$K_2 = \frac{K_1 R_2^2}{R_1^2},$$

kus K_1 ja K_2 on antud ja otsitava valgusallika valgustugevused, R_1 ja R_2 — nende kaugused fotomeetri valgustatud pinnast.

4. Sooritada katse kolm korda, muutes valgusallikate esialgset kaugust fotomeetrist. Iga katse puhul sooritada samad mõõtmised ja arvutused.

5. Leida kolme arvutuse keskmine.

Ülesandeid II peatüki juurde.

1. Kui kaugel peab hoidma raamatut risti 36-küünlase lambi kiirtega, et valgustuse tugevus oleks 4 luksi?

2. Kui tugevalt valgustab 50-küünlane lamp 2 m kauguselt?

3. Majakale on paigutatud kaarlatern, mille valgustugevus on 2 500 000 küünalt. Määrata valgustuse tugevus, mida see latern annab 5 km kaugusel.

4. Maapinna valgustatus suvisel päeval on 100 000 luksi. Määrata kunstliku allika valgustugevus, mis annab samasuguse valgustatuse 100 m kauguselt.

5. 32-küünlased valgusallikad valgustavad ristiseisvate kiirtega kahte pinda, mille kaugused valgusallikast on 4 cm ja 16 cm. Leida nende pindade valgustuse tugevus.

6. Kui kaugel laua kohal peab olema 50-küünlane lamp, et laual tekiks 50-luksine valgustuse tugevus?

7. Ekraani ette on asetatud kepike, mida valgustavad kaks elektrilampi ja mis annavad ekraanil kepist ühesuguse tumedusega varjud. Lampide kaugus ekraanist on 20 cm ja 40 cm. Kuidas suhtuvad omavahel valgusallikate tugevused?

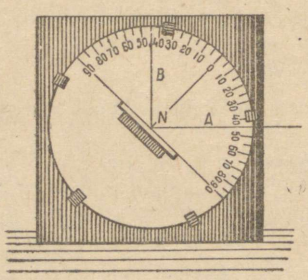
8. Kaks lampi, 16- ja 32-küünlane, on asetatud ekraanist 4 m kaugusele. Leida valgustuse tugevus, mida annab kumbki lamp ekraanile.

9. Töötamiseks lukussepa-töökojas peetakse normaalseks valgustuseks 50 luksi. Määrata, kas on küllaldane pihtide valgustatus, mida valgustab pihtidest 120 cm kõrgusel olev 32-küünlane lamp.

III peatükk.

VALGUSE PEEGELDUMINE.

96. **Valguse peegeldumise seadused.** Langedes peeglile või muudele läbipaistmatuile esemetele, valgus peegeldub. Me näeme päikesest valgustatud paberit igast küljest, sest temale langevad kiired viskuvad igale poole. Me võime peeglile langevaid kiiri sagedasti ka mitte näha, kuna nad pärast peegeldumist lähevad täiesti kindlaks määratud suunas.



Joon. 152. Valguse peegeldumine tasapeeglilt.

Et selgitada, kuidas toimub valguse peegeldumine, sooritame katse.

Võtame tasapinnalise klaaspeeglikese ja kinnitame ta külge ristiseisva osuti ON (joon. 152). Hoides selle peeglikese kartongi juures kiirte teel nii, et kiired langeksid peeglile ristjoone aluse N juures, pöörame tähelepanu sellele, kuidas peegeldub kiir peeglilt.

Võrdleme nurki, mida moodustavad langevad ja peegelduvad kiired ristjoonega.

Langeva kiire ja kiire langemiskohas peeglile püstitatud ristjoone vahel olevat nurka (ANO) nimetatakse langemisnurgaks. Peegelduva kiire ja sama ristjoone vahel olevat nurka (BNO) nimetatakse peegeldumisnurgaks.

Peab tähendama, et kõik kolm suunda — langeva kiire, peegli ristjoone ja peegelduva kiire oma — asuvad ühel tasapinnal. Sooritades katset mitu korda, veendume, et iga langemisnurga muutumisel, muutub ka peegeldumisnurk. Mõõtnud alati ühte ja teist nurka, me võime kindlaks teha, et nad on alati teineteisega võrdsed.

Niisiis, valguse peegeldumine toimub järgmiste seaduste järgi:

1. Langevad ja peegeldunud kiired asuvad ühes tasapinnas kiire langemispunktis peeglipinnale püstitatud ristjoonega.

2. Langemisnurk võrdub peegeldumisnurgaga.

Harjutusi.

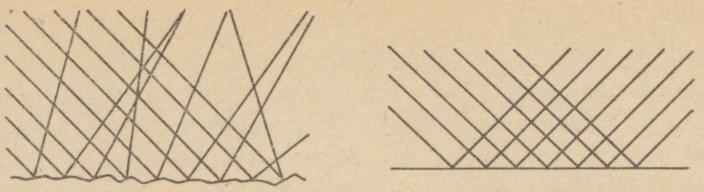
1. Kuidas peegeldub kiir, mis langeb peeglile risti?

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

3. Langemisnurk on 60°. Milline on nurk langeva ja peegeldunud kiire vahel? — Langemisnurk on 80°. Kui suur on sel juhul nurk langeva ja peegeldunud kiire vahel?

97. **Hajuv peegeldumine.** Teades, kuidas toimub kiirte peegeldumine tasapeeglilt, võib selgitada, mispärast krobeliselt pinnalt kiired hajuvad igale poole. Krobeline pind oma muhkude ja nõgudega peegeldab kiiri igas võimalikus suunas. Joonisel 153 on ta kujutatud suurendatud kujul. Eriti selgesti on näha, kuidas sellelt pinnalt kiired hajuvad, kui langevad paralleelsed kiired.

Kõik kehad, mis on valgustatud mingist allikast, saavad nähtavaks ainult nende poolt hajutatud valguse tõttu. Kui peegelduv pind on täiesti sile, näiteks hea peegel, siis siin kii-



Joon. 153. Valguse hajumine ja peegeldumine peeglilt.

red igalt pinna osalt igale poole ei haju ja me näeme mitte peeglit, vaid valgusallikat.

98. **Läbipaistvad ja läbipaistmatud kehad.** Asetanud enda ette hariliku klaasi, näeme selles asjade peegeldusi, mis asetsevad selle taga. See tähendab, et klaas peegeldab osa kiiri, tunduva osa aga laseb läbi. Kehi, mis lasevad kiiri läbi, nimetatakse läbipaistvaiks. Kui me hoiaksime klaasi küünla lähedal, siis veenduksime, et klaas soojeneb. See osutab sellele, et klaas neelab osa temale langevaid kiiri ja muudab need soojuseks. Seega:

Klaasile langevad kiired osalt peegelduvad, osalt lähevad klaasist läbi ja osalt neelduvad.

Pole olemas täiesti läbipaistmatuid kehi; läbipaistmatud kehad lasevad valgust läbi küllalt õhukesest kihist. Selles on kerge veenduda, vaadates läbi mitmesuguse paksusega paberi üsna heledat lampi. Mitmesuguste kehade võimet lasta valgust läbi osaliselt kasutatakse selleks, et nende läbi vaadata liiga heledat, silmipimestavat valgust; tumedaid ja värvilisi prille kasutatakse valukodades, autogeensel keevitamisel jm.

Nagu kehad lasevad valgust läbi mitmesugusel määral, samuti mitmesugusel määral nad peegeldavad ja neelavad teda. Et toas oleks valgem, värvitakse seinu valge värviga, sest esemeid toas valgustatakse mitte üksnes vahetult neile langevate kiirtega, mis tulevad lambist või aknast, vaid ka

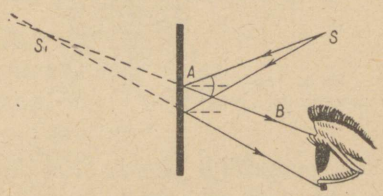
seintelt hajuvate kiirtega. Mida tumedam on sein, seda rohkem neelab ja vähem peegeldab ta kiiri. Keha, mis neelab täielikult kõik temale langevad kiired, on täiesti ehk absoluutselt must. Tõeliselt polegi absoluutselt musti kehi, sest ka kõige mustem pind peegeldab kiiri, kuigi väikest osa.

Küsimusi.

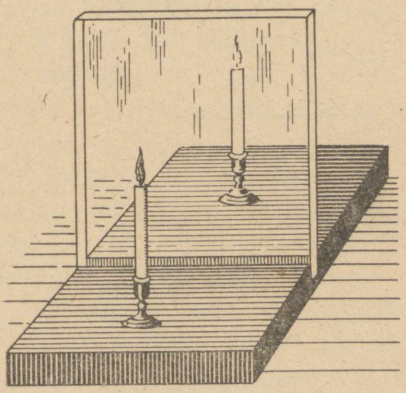
1. Mispärast me näeme valgustatud esemeid?
2. Võrrelge valguse peegeldumist valgelt kuivatuspaberilt peegeldumisega tasapeeglilt. Mida võib eemalt kergemini näha, kas paberit või peeglit ja mispärast?

99. **Tasapeegel ja selle kasutamine.** Mispärast näeme peeglis asja kujutist, kuigi tõeliselt seda eset peegli taga pole?

Langegu peeglile kiired (joon. 154), mis peegeldudes sealt, satuvad meie silma. Kiir SA, peegeldudes peeglilt, läheb AB suunas. Vaadates kiire suunas, näeme valgusallikat mitte punktis S, vaid punktis S_1, mis asub peegli taga. See punkt ei ole tõeline punkt, kust valgus lähtus. Seepärast nimetatakse seda punkti kujutiseks ja seejuures ebakujutiseks.

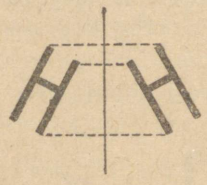


Joon. 154. Valguspunkt ja selle kujutis tasapeeglis.


Joon. 155. Küünla peegeldumine klaasis.

Kinnitame alusele vertikaalses asendis tasapinnalise klaasi ja asetame selle ette põleva küünla (joon. 155). Näeme selle küünla

peegeldust klaasil. Võtame nüüd teise samasuguse, kuid süütamata küünla ja asetame teispoole klaasi. Nihutades seda klaasile lähemale ja klaasist kaugemale, leiame sellise asendi, kus ka teine küünal näib olevat süüdatud. See tähendab, et süütamata küünal asetseb samas kohas, kus näeme põleva küünla kujutist. Mõõtnud küünalde kauguse klaasist, veendume, et kaugused on ühesugused.

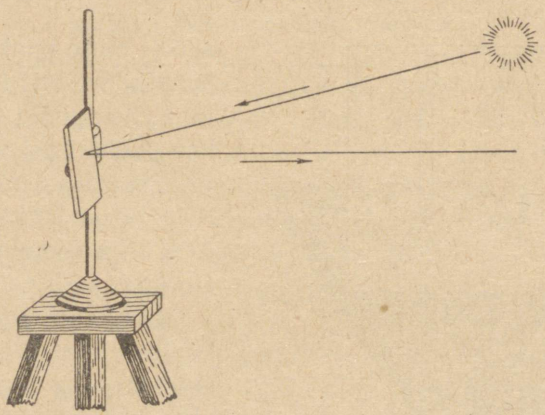


Joon. 156. Eseme peegeldumine peeglis.

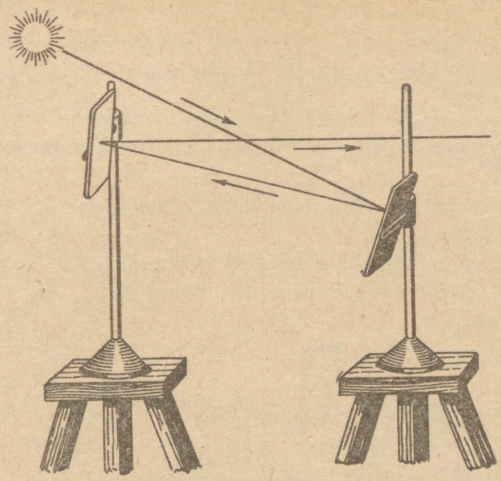
Eseme kujutis tasapeeglis näib asetsevat peegli taga samal kaugusel, nagu ese ise on peegli ees.

Et moodustada eseme kujutist tasapeeglis, on vaja igast tema punktist lasta ristjoon peeglile ja pikendada seda samasugusele kaugusele peegli taha (joon. 156).

Seistes peegli ees ja vaadates oma kujutisele, veendume, et meie keha iga osa peegeldub peeglis ristjoone sihis samal kaugusel, millisel ta tõeliselt on peegli ees. Siit tulenebki, et meie vasak käsi sai peeglikujutises paremaks käeks ja parem käsi sai vasakuks.



Joon. 157. Heliograaf.



Joon. 158. Heliograaf.

s. o. kujutis kujutab enesest eset 180° võrra pööratuna.

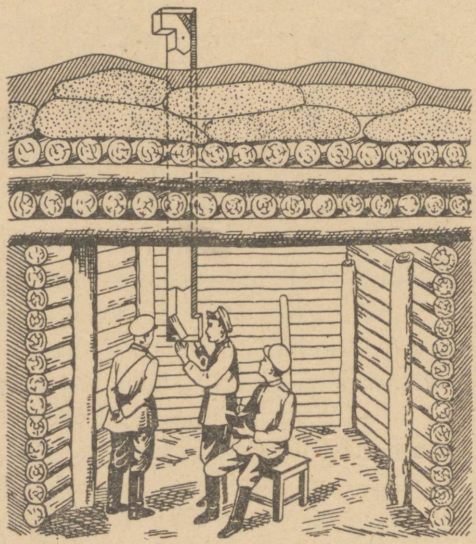
Peeglit kasutatakse laialt mitmesuguste riistade ehitamisel, millede abil saab muuta kiirte käiku soovitud suunas. See on näiteks ära kasutatud signaalide andmisel kauge maa taha. Riista, mis sel otstarbel on ehitatud liikuvaist peegleist, nimetatakse heliograafiks ja seda kasutatakse sõjaasjanduses. Ta koosneb kahest pöörlevast peeglist, mis paigutatakse kolmjalale. Kui päike on signaali vastuvõtja pool, siis on küllalt ka ühest peeglist (joon. 157). Kui päike on signaali saatja pool siis on tarvilik omada kahte peeglit; ühe peegliga võetakse päikesekiir vastu ja lastakse teisele peeglile, teise peegliga aga suunatakse kiir signaali vastuvõtjale (joon. 158).

Teine väga tähtis peegli kasutamise viis leiab aset riistas, mida nimetatakse periskoobiks. Periskoobi abil võib vaenlast jälgida kaevikust või mõnest muust varjendist sealt välja tulemata. Periskoobi abil võib allveelaevast näha, mis

tehakse merepinnal. Periskoop lihtsamal kujul koosneb 2 peeglist, mis on asetatud 45° nurga all horisondile teineteisega paralleelselt erinevatel kõrgustel ja on suletud torusse (joon. 159).

Küsimusi.

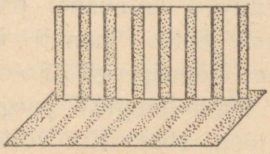
1. Miks väljapoole autot juhi ette kinnitatakse teatud nurga all tasapeegel?
2. Kas võib peeglis näha oma kukalt? Kuidas seda teha kahe peegli abil?
3. Kuidas on ehitatud ja milleks on heliograaf?
4. Kuidas on ehitatud ja milleks on periskoop?



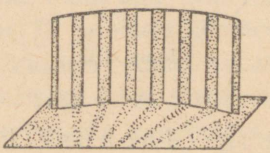
Joon. 159. Varjendi periskoop.

100. **Peegeldumine nõguspeegleilt.** Võtame läikiva plekiriba, millele on tehtud põigitisuunas musta värviga ühesugused sirged vöödid, või tumeda kartongiriba, millele on kinnitatud kitsad peegliribad (joon. 160).

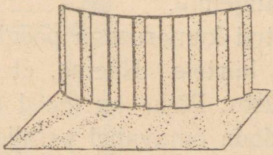
Asetame sel kombel valmistatud tasapinnakujulise plekktahvli nii, et ribad oleksid suunatud vertikaalselt. Kui seda valgustada otse eest, siis peegelduvad läikivailt värvimata ribadelt paralleelsed kiired. See tuleb ilmsiks laual nähtavate heledate ribadena, mis tulevad plekilt kui tasapeeglilt (joon. 160).



Joon. 160.



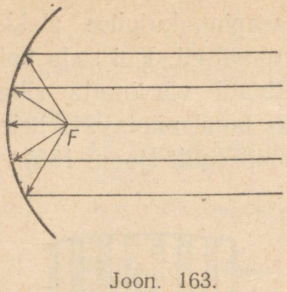
Joon. 161.



Joon. 162.

Hakkame nüüd oma plekki koolutama, tehes selle nõgusaks. Näeme, kuidas heledad ribad, mis peegelduvad plekilt, hakkavad pöörduma, koondudes ja lõikudes ligikaudu ühes punktis (joonis 161). Vastupidi, lehe kumera kuju korral kiired hajuvad (joon. 162). Seda nähtust pole raske seletada. Iga kitsast peegliriba võib vaadelda kui tasapeeglit. Kõik need peeglid omavad nüüd eri suunda, erimoodi on neile suunatud perpendikulaarid ja järelikult ka peegelduvad kiired omavad eri suundi.

Vaatlesime nõgusat ja kumerat silindrilist peeglit. Esimene peegel kogub kiiri, teine hajutab. Eriti suurt tähtsust omab sfääriline nõguspeegel, mille pind kujutab enesest kera sisepinda. Selline peegel kogub tema pinnale igast küljest langevaid kiiri.



Joon. 163.

Nihutades valgusallika peeglist kaugemale või lähemale, näeme, et peegeldunud kiirte lõikepunkt kaugeneb või läheneb peeglile. Võib leida sellise valgusallika asendi, kus peegeldunud kiired muutuvad omavahel paralleelseteks. Sellist punkti F nimetatakse nõguspeegli f o o k u s e k s, tema kaugust peeglist aga f o o k u s e k a u g u s e k s (joon. 163). Kui võtta peeglid mitmesuguse kumerusega, siis näeme, et suurema kumeruse puhul on fookus peeglile lähemal, vähema kumeruse puhul aga peeglist kaugemal.

Märkinud ära antud kumerusega peegli fookuse, suuname peegli vastu päikese kiirtele. Näeme, et peegeldunud päikese kiired lõikuvad fookuses. Päike on meist nii kaugel, et sealt tulevaid kiiri võib pidada omavahel paralleelseiks.

Seega:

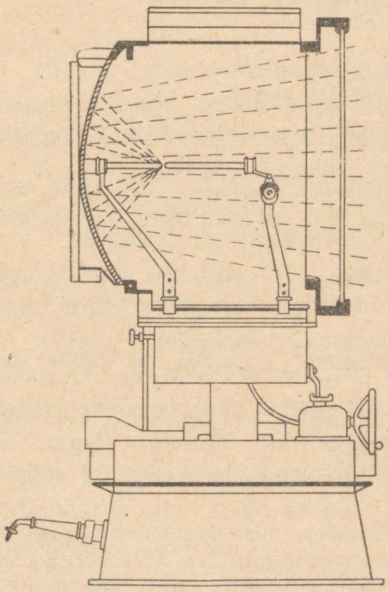
Nõguspeegli fookus on selline punkt, kuhu koonduvad kõik peeglile paralleelselt langenud ja sealt peegeldunud kiired. Asetanud valgusallika fookusesse, saame peegeldunud kiired paralleelse kimbu näol.

Viimane asjaolu leiab kasutamist kõigis valgustajais, mis on määratud selleks, et suunata valgus teatud üksikkohta ilma valguse tunduva nõrgendamiseta. Nii ehitatakse valgustajaid autolaternais (esilaternais), projektsiooni-, tasku- jm. laternais. Igaühes neist on valgusallika taga nõguspeegel ehk, nagu seda nimetatakse, r e f l e k t o r[1].

[1] *Reflektor* tähendab 'peegeldaja'.

Eriti suurt tähtsust omab see sõjaasjanduses võimsate prožektorite ehitamisel (joon. 164). P r o ž e k t o r koosneb kahest peamisest osast: võimsast valgusallikast (harilikult võimsast kaarlambist) ja suurest nõguspeeglist, mis on asetatud nii, et valgusallikas oleks peegli fookuses. Sellise asetuse juures suunatakse valguskiiri peaaegu paralleelse kimbuna. Suur prožektor võib valgustada 10—12 km ruumala, näha aga võib seda silmaga, mis on suunatud kiirtele vastu, 75 ja enam kilomeetri kauguselt. Seepärast kasutatakse prožektoreid kahel eesmärgil: suurte kauguste valgustamiseks, näiteks öises taevas lennukite otsimisel jne., aga ka signaliseerimiseks kaugustesse.

Signaliseerimise otstarbel ehitatakse ka spetsiaalseid v a l-



Joon. 164. Prožektor.



Joon. 165. Signaallamp ühenduses binokliga.

1 — signaallamp, 2 — binokkel, 3 — juhtmed, 4 lambipatarei.

gussignaallampe. Nende ehitus põhjeneb samuti nõguspeeglite kasutamisel.

Selliseid signaallampe ehitatakse mõnikord binoklile. Nupule vajutamisega võib seda kustutada ning süüdata ja sel kombel signaliseerida. Seejuures võib kasutada Morse tähestikku, andes lühikesi ja pikemaid valgussignaale (joon. 165).

Eriti suuri prožektoreid kasutatakse mereasjanduses nii alaliste kui ka vilkuvate majakate ehitamisel.

Küsimusi.

1. Kuidas peegelduvad valguskiired nõgus- ja kumerpeeglelt?
2. Kuidas seletada kiirte käiku nõguspeeglis, tuginedes peegeldumisseadustele?
3. Mida nimetatakse peegli fookuseks ja mida fookuse kauguseks?
4. Kuhu tuleb paigutada valgusallikas, et nõguspeeglilt peegeldunud kiired kulgeksid üksteisele paralleelselt?
5. Kuidas on ehitatud prožektor?

Ülesandeid III peatüki juurde.

1. Missuguselt paberilt on parem lugeda kirja, kas läikivalt või mattpaberilt? Seletage, mispärast?

2. Mispärast, vaadates päeval tänavalt toaaknasse, on raske näha toas leiduvaid esemeid, samal ajal kui toas on hästi näha, mis toimub tänaval?

3. Millega seletada, et inimese nägu, mis vaatab läbi tiheda võrgu, pole näha, samal ajal kui inimene ise näeb läbi võrgu kõiki esemeid hästi?

4. Mispärast lumi sätendab?

5. Mispärast ümbritsetakse elektrilampe eluruumis tumevalge abažuuriga?

6. Mispärast on klaas harilikult läbipaistev, aga niipea, kui teda hõõruda smirgliga, muutub ta läbipaistmatuks?

7. Tõendada, et helendav täpp ja selle kujutis tasapeeglis on peeglist võrdsel kaugusel.

8. Joonisel 159 on kujutatud periskoop, mida kasutatakse sõja ajal vaenlase vaatlemiseks varjendist. Joonistada valguskiirte käik periskoobis.

9. Kahe paralleelse tasapeegli vahel on helendav täpp. Mitu kujutist tekib sellest täpist peegleis?

10. Nõguspeegli fookuses asub täpitaoline valgusallikas. Joonestada peegelduvate kiirte käik.

11. Kuhu peab asetama prožektori voltakaare, et prožektoriga oleks võimalik valgustada kaugeid esemeid?

12. Kumerpeeglile langeb kimp paralleelseid valguskiiri. Joonestada, kuidas need kiired peegelduvad. Kus näeb silm peegli ees asetseva punkti kujutist?

13. Kui selgel suvisel päikesepaistelisel päeval suunata nõguspeeglilt peegeldunud kiired paberile, siis hakkab paber põlema. Millele see osutab?

14. Kasutades suurt nõguspeeglit, võib päikesekiirte abil sulatada plaatinat. Kuhu kohta peegli lähedale peab asetama plaatinatükikese, et seda ajada sulama?

IV peatükk.

VALGUSE MURDUMINE.

101. **Valguse murdumise mõiste.** Seni vaatlesime kiiri, mis levisid ühtlases keskkonnas. Vaatame, kuidas levivad kiired, minnes ühest keskkonnast teise.

Teelusikas klaasis, milles on tee, näib olevat murdunud (joon. 166). Samuti murdunud näib olevat pliiats, mis on pandud veeklaasi, kui vaadata pliiatsi suunas või klaasi külje poolt. Osa pliiatsit, mis on vees, oleks nagu klaasis kerkinud, pliiats nagu oleks vee ja õhu piirjoonel murdunud.

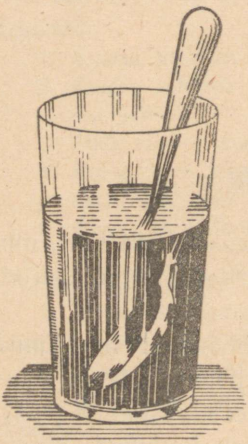
Võtame nelinurkse klaasnõu või tasaste külgedega pudeli. Ühele küljele kleebime õlitatud paberi, vastasküljele — musta paberi, mille keskele teeme kitsa vertikaalse pilu (joon. 167). Kui musta paberiga külje poole paigutada elektrilamp nii, et valgus langeks anuma tahule kaldu, siis saame õlitatud paberil valgustatud riba, mille asendi järgi võib otsustada, kuidas valgus kulgeb anumas.

Valanud anumasse poolest saadik vett, märkame, et alumine valgusriba, kus valgus läheb läbi vee, on oma endisest asendist nihkunud teisale, lähenedes tahu keskkohale.

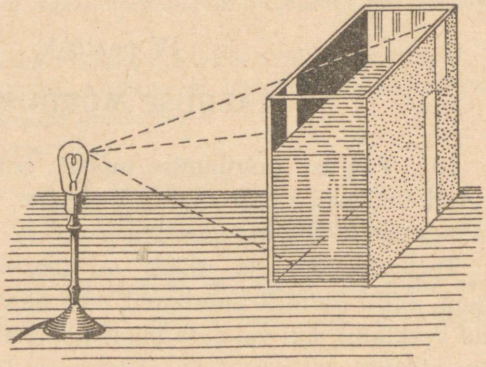
Need vaatlused tõendavad, et minnes ühest keskkonnast

teise ei jää kiir sirgeks, vaid murdub kahe keskkonna piirjoonel.

Eriti hästi võib vaadelda kiirte käiku, kui kasutada riista, mis on kujutatud joonisel 168. Riista ülemises osas läheb kiir läbi õhu, alumises aga läbi vee. Piirjoonel, mis eraldab õhku veest, peegeldub kiir osaliselt, osaliselt läheb vette, muutes järsult oma suunda.



Joon. 166.

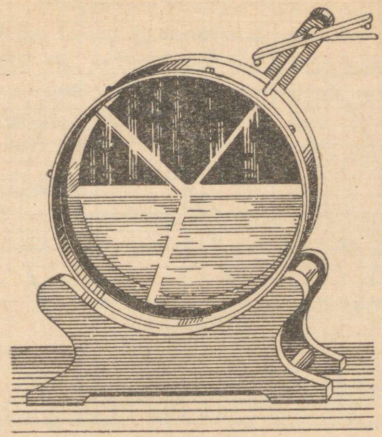


Joon. 167.

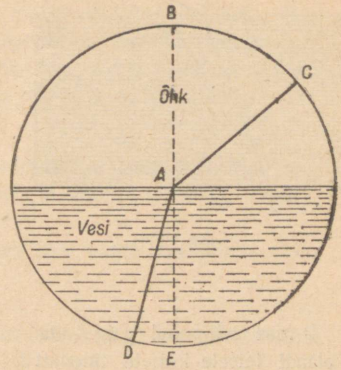
Kui punktis A (joon. 169) kujutella enesele sirget, mis on risti veepinnaga, siis ilmneb, et valguskiir CA muudab üleminekul õhust vette suunda, lähenedes ristjoonele (kiir vees).

Nurka CAB langeva kiire AC ja ristjoone AB vahel nimetatakse langemisnurgaks. Nurka DAE murdunud kiire AD ja sama ristjoone pikenduse AE vahel nimetatakse murdumisnurgaks.

Valguskiire üleminekul õhust mingisse muusse optiliselt tihedamasse keskkonda on murdumisnurk langemisnurgast väiksem.



Joon. 168.



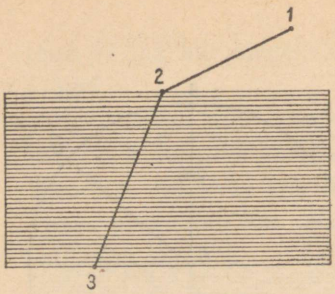
Joon. 169.

102. **Laboratoorne töö nr. 2.** Töö eesmärk. **Uurida, kuidas muutub murdumisnurk sõltuvalt langemisnurgast.**

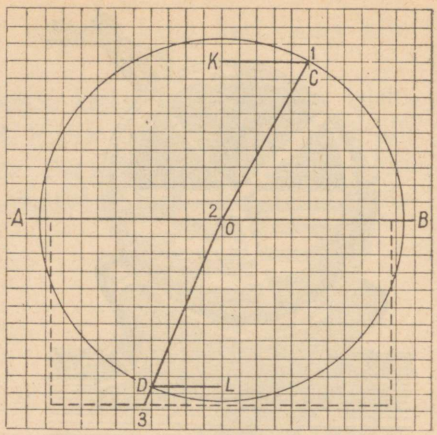
Esialgseid juhtnööre. Kui asetada lauale millimeetripaber, paigutada sellele vertikaalne ekraan piluga, selle ette elektrilamp nii, et läbi pilu langeks paberile valguskiir, ja kiire teele paigutada paks klaasplaat, siis võib täheldada, et kiir murdub plaadi tahus.

Et oleks võimalik täpselt kindlaks määrata kiire suunda, kasutame nööpnõelu. Kaks nööpnõela, 1-se ja 2-se asetame langeva kiire suunas (joon. 170), 3-nda nööpnõela asetame plaadi vastasküljele kiire väljumiskohta. Kui vaadata 1-se ja 2-se nööpnõela suunas, siis koik kolm nööpnõela peavad üksteist katma. Eemaldanud plaadi, näeme, et sirged, mis ühendavad 1-st nööpnõela 2-sega ja 2-st 3-ndaga, mis kujutavad kiire suunda õhus ja klaasis, moodustavad omavahel nurga. Kiirte käigu kindlaksmääramine nööpnõelte abil võimaldab küllaltki täpselt tähistada kiirte suunda.

Töökäik. 1. Joonestada millimeetripaberil ringjoon raadiusega 5 cm. Ringi keskkohta paigutada nööpnõel 2 (joon. 171). Tihedalt vastu nööpnõela diameetrit AB asetada paberile paks klaasplaat. 1-ne nööpnõel paigutada kuskile ringjoonele nii, et 1-se ja 2-se nööpnõelaga moodustatud raadiuse ja diameetri AB vahel oleks teravnurk.



Joon. 170.



Joon. 171.
Laboratoorse töö nr. 2 juurde.

3-mas nööpnõel paigutada plaadi teisele küljele tihedalt vastu plaati. Läbi klaasi vaatamisel peavad kõik kolm nööpnõela üksteist katma. Piiritlenud terava pliiatsiga plaadi asendi, võtta see paberilt ja tähistada kiired: langev kiir OC (1-se ja 2-se nööpnõelaga) ja murdunud kiir OD (2-se ja 3-nda nööpnõelaga).

2. Langemis- ja murdumisnurga iseloomustamiseks mõõta ristjooned CK ja DL, mis on tõmmatud ringjoone punktidest C ja D diameetrile, mis on risti diameetriga AB, kirjutada saadud resultaadid tabelisse ja arvutada CK ja DL suhe.

Tabel.

Katse nr.	CK	DL	CK : DL

Tuleb sooritada mitu katset (4—5), asetades iga kord 1-se ja 2-se nööpnõela eri nurga all diameetrile AB.

2-ne ja 3-mas nööpnõel tuleb asetada tihedalt vastu plaadi tahku, sest jooned, mis lähevad läbi nende nööpnõelte, tähistavad kiire suunda, mis kulgeb läbi plaadi.

Et määrata kindlaks plaadist väljuva kiire suunda, on vaja asetada veel 4-jas nööpnõel eemale plaadi selle külje pool, kus on paigutatud 3-mas, kuid nii, et kõik neli nööpnõela vaatlemise juures üksteist kataksid. Joonestanud väljuva kiire, veendume, et ta on paralleelne plaadile langeva või plaadisse siseneva kiirega. See on ka arusaadav: kuivõrd kiir, sisenedes plaati, lähenes ristjoonele, niivõrd ta kaugenes ristjoonest, väljudes plaadist.

Küsimusi.

1. Kuidas muutub murdumisnurk, kui suurendada langemisnurka?
2. Kas muutub suhe CK : DL langemis- ja murdumisnurga muutumisega?
3. Kas muutub kiire suund, kui ta langeb risti kahte keskkonda lahutavale pinnale?

Sooritatud katsete alusel võib määrata kindlaks järgmised valguse murdumisseadused.

1. Üleminekul ühest keskkonnast teise kaldub kiir oma esialgsest suunast kõrvale, kui kiir langeb lahutuspiirile kaldu.

2. Kiire üleminekul optiliselt vähem tihedast keskkonnast suurema optilise tihedusega keskkonda, on murdumisnurk langemisnurgast väiksem, ja vastupidi, üleminekul optiliselt tihedamast keskkonnast optiliselt hõredamasse keskkonda eemaldub murdunud kiir ristjoonest, mis on lastud kahe keskkonna lahutuspiirjoonele.

Langemis- ja murdumisnurkade muutumiste korral jääb suhe CK : DL, mis iseloomustab nende nurkade suurust, antud kahele keskkonnale muutumatuks suuruseks. See suhe kannab murdumisnäitaja nimetust.

Iga kahe keskkonna jaoks on murdumisnäitajal teatud kindel suurus. Õhu ja klaasi murdumisnäitaja võrdub 1,5-ga; õhu ja vee murdumisnäitaja 1,3-ga; õhu ja teemandi murdumisnäitaja 2,5-ga. Mida optiliselt tihedam on keskkond, seda tugevamini murdub temasseminev valguskiir. Teiselt poolt teame, et optiliselt tihedam on see keha, kus valguse kiirus on väiksem. On kindlaks tehtud, et iga keskkonna murdumisnäitaja on arvuliselt võrdne õhu ja antud keskkonna valguse kiiruse suhtega.

Valguse kiirus õhus on 300 000 km/sek; valguse kiirus vees — ligi 230 000 km/sek; siit järgneb, et murdumisnäitaja vee ja õhu suhtes on

$$\frac{300\,000}{230\,000} = 1{,}3$$

Allolevas tabelis on toodud mitmesuguste keskkondade murdumisnäitajad eetri suhtes (peaaegu samad on nad ka õhu suhtes).

Murdumisnäitajad.

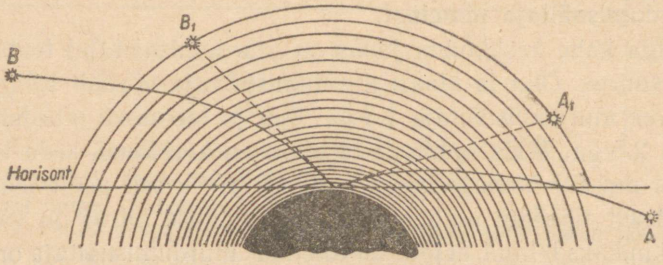
Vesi	1,3	Klaas (kroonklaas)	1,5
Piiritus	1,4	Klaas (räniseatinaklaas)	1,7—1,9
Tärpentiin	1,5	Teemant	2,5

Küsimusi.

1. Millistel tingimustel läheb kiir läbi kahe keskkonna murdumata?
2. Määrata valguse kiirus teemandis.
3. Valguskiir läheb veest klaasi; arvutada klaasi murdumisnäitaja vee suhtes.

103. **Optilisi nähtusi atmosfääris.** Õhu optiline tihedus sõltub nii õhu temperatuurist kui rõhumisest. Õhu kihid, mis on maapinnale lähedasemad, omavad suuremat optilist tihedust kui atmosfääri ülemised kihid.

Valguskiir, mis tuleb mõnelt tähelt, jõuab maapinnale, olles läbinud Maa atmosfääri kogu paksuse. Tulles läbi mitmesuguste atmosfääri kihtide, valguskiir murdub, muutub kõveraks ja täht näib vaatlejale olevat kõrgemal, kui ta on tõeliselt (joon. 172). Seda valguskiire kõverdumist nimeta-



Joon. 172. Refraktsioon.

takse refraktsiooniks[1]. Mida lähemal on täht horisondile, seda rohkem valguskiir kõverdub.

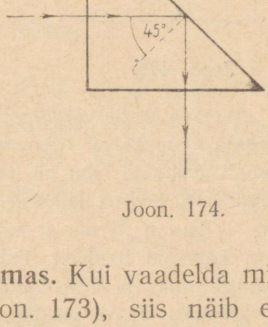
Joonisel 172 on näha, et täht A on juba läinud horisondi taha, kuid vaatleja näeb seda veel punktis A, ülalpool horisonti.

Atmosfääri refraktsioon avaldab mõju päeva pikkusele. Refraktsiooni tõttu võib päikest näha ülalpool horisonti, kuigi ta tõeliselt on juba laskunud allapoole horisonti või pole veel tõusnudki.

Ajame mingi metallplaadi lambi peal tulikuumaks. Seejuures tekivad plaadi kohal tõusvad õhuvoolud. Kui vaadata läbi selliste tõusvate õhuvoolude kaugel olevale esemele, siis näib nagu kõiguks või väriseks vaadeldav ese. Seda kaugete esemete värisemist võib täheldada suvel palava maapinna lähedal, päikese poolt palavaks aetud katuste ja suitsukorstnate kohal, kui neilt tõuseb palav õhk. Öösel on näha tähtede vilkumist. Need kõikumised kutsutakse esile valguskiirte murdumise muutumise tõttu mitmesuguse temperatuuriga õhuvoolude liikumise tagajärjel.



Joon. 173. Valguskiirte läbiminek kolmetahulisest prismast.



Joon. 174.

104. **Murdumine kolmetahulises prismas.** Kui vaadelda mingit eset läbi kolmetahulise prisma (joon. 173), siis näib ese nihutatud olevat nurga tipu poole, mis on moodustatud tasapindadest, mida läbib kiir.

See nähtus on seletatav kiirte läbiminekuga prismast.

Esemelt A tulev valguskiir, langedes prismale punktis B, murdub ja kulgeb prismas BC suunas. Jõudnud prisma teise tahuni, murdub kiir veelkordselt, kaldudes prisma aluse poole,

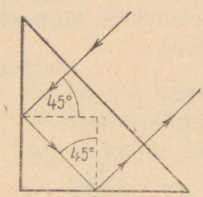
[1] *Refraktsioon* tähendab 'murdumine'.

mille tagajärjel vaatlejale näib, nagu tuleks kiir punktist A_1, mis asetseb kiire CD pikendusel.

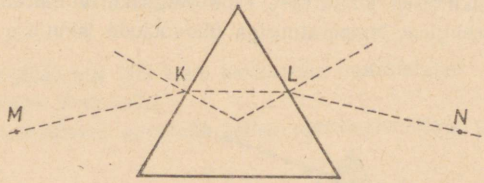
Kui valguskiir langeb risti kolmetahulise täisnurkse võrdhaarse klaasprisma mingile tahule (joon. 174), siis, nagu nähtub katsest, ta ei kaldu kõrvale, vaid sattudes prisma seesmisele tahule 45° nurga all, peegeldub temalt nagu tasapeeglilt. Jooniseil 174—175 on kujutatud kiirte käik prismas.

Valguskiire käigu suuna muutmine prismade abil on ära kasutatud mitmesuguste optiliste instrumentide ehitamisel.

105. **Laboratoorne töö nr. 3.** Töö eesmärk. **Uurida kiire käiku prismas ja võrrelda prismasse siseneva kiire suunda prismast väljuva kiire suunaga.**



Joon. 175.



Joon. 176.

Asetada lauale valge paberileht ja panna selle keskele prisma (joon. 176). Torgata nööpnõelad: esimene N — prismast pisut eemale, teine L — vastu prismat. Suunata silm nii, et üks nööpnõel kataks teist, ja torgata kolmas nööpnõel K prisma lähedale teisel küljel, neljas aga prismast pisut kaugemale — punkti M nii, et nööpnõelte vaatamisel läbi prisma kõik neli nööpnõela kataksid üksteist. Esimesed kaks nööpnõela näitavad langeva kiire suunda, 3-mas ja 4-jas nööpnõel väljuva kiire suunda.

Piiritella terava pliiatsiga prisma ja eemaldada see, puudutamata nööpnõelu. Asetada joonlaud esmalt 1-se ja 2-se nööpnõela juurde, siis 3-nda ja 4-nda juurde, joonestada siseneva ja prismast väljuva kiirte suund. Mida näitab joon, mis ühendab nööpnõelu K ja L? Kuidas kaldub kõrvale kiir, mis väljub prismast — kas prisma laieneva või kitseneva osa poole?

Valguskiir, minnes läbi prisma, kaldub prisma aluse poole ja kaldumine on seda suurem, mida suurema nurga all on prisma tahud teineteise suhtes. Seda nurka nimetatakse prisma murdvaks nurgaks.

106. **Läätsed.** Läätsedeks nimetatakse mitmekujulisi klaase, mida kasutatakse igasuguste optiliste instrumentide valmistamiseks. Sagedamini esinevaid läätsi on suurendusklaasid. Suurendusklaasi kuju, piiratud kahe sfäärilise pinnaga [1], meenutab väga läätseterade kuju, mispärast optilisi klaase üldiselt nimetataksegi läätsedeks (joon. 177).

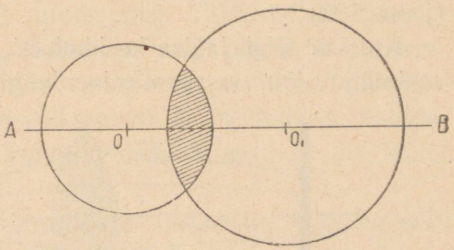
Kui läätse piirav pind on kera välispinnaks, siis nimetatakse seda pinda k u m e r a k s. Kui läätse piirav pind on kera sisepinnaks, siis nimetatakse läätse pinda n õ g u s a k s. Mõni-



Joon. 177. Mitmesugused läätsed.

kord on üks läätse pindadest tasapind. Kuna igal läätsel on kaks pinda ja igaüks neist võib olla kas kumer, nõgus või tasapind, siis esineb ka läätsi mitmesuguseid: kaksikkumeraid, kaksinõgusaid, tasakumeraid, tasanõgusaid, kumernõgusaid, nõguskumeraid (joon. 177).

Joont AB, mis läbistab läätse piiravate sfääriliste pindade keskpunkte O ja O_1, nimetatakse läätse o p t i l i s e k s t e l j e k s (joon. 178).



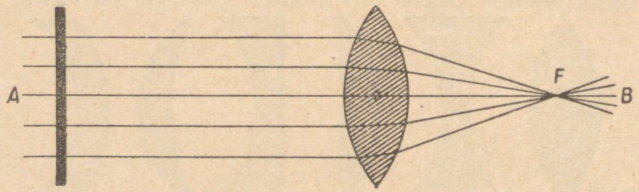
Joon. 178.

Et jälgida, kuidas kiir läbib silindrilist läät-

[1] Sfääriline pind — kera pind.

se, kasutame läätse, mis pole ümbritsetud kerapindadega, vaid silindriliste pindadega.

Kinnitanud kaksikkumera silindrilise läätse valge mattpaberiga kaetud lauale, laseme läätsele kimbu kiiri, mis on paralleelsed läätse optilise teljega. Näeme, et kiired, minnes läbi läätse, ei jää paralleelseiks vaid murduvad ja koonduvad läätse optilisel teljel ühte punkti (joon. 179). Nimetame punkti F, kuhu koonduvad optilisele teljele paralleelsed kiired pärast läätsest läbiminekut, läätse peafookuseks.

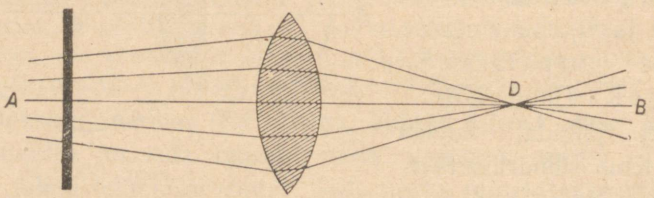


Joon. 179.

Kaugust läätse keskpunktist kuni peafookuseni nimetatakse fookuse kauguseks.

Laseme läätsele mõned kiired, mis pole läätse teljega paralleelsed ja tulevad peafookuse taga asetsevast valgusallikast. Need kiired murduvad läätsest läbi minnes täpselt samuti ja koonduvad punkti D, mis ei ühti läätse peafookusega (joon. 180).

Kui kiir läbib läätse keskkohast, siis murdub ta nii, et läätsest väljuv kiir on paralleelne langeva kiirega. On lääts õhuke,

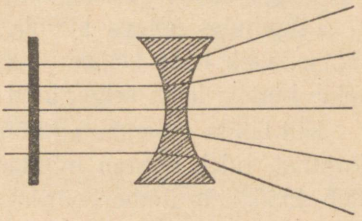


Joon. 180.

siis võib ligikaudu öelda, et läätse keskkohta läbiv kiir ei murdu.

Kiirte läbiminekul nõguslääatsest näeme teistsugust pilti.

Milline ka oleks nõguslääatsele langevate kiirte suund, läätsest väljudes on nad h a j u v a d (joon. 181). **Kumerläätsi nimetatakse kogujaiks läätsedeks; nõguslääatsi — hajutavaiks läätsedeks.**



Joon. 181.

Kõiki katseid, mida tegime silindriliste läätsedega, võib sooritada ka sfääriliste läätsedega.

Laseme päikeselt langevad kiired läbi kumerläätse. Läätse teisel küljel tekib hele, kuid väga väike päikese kujutis, mis asub läätse fookuses. Sel kombel kogutud päikesekiirtega võib süüdata paberi, eriti siis, kui kiired pole tulnud läbi akna klaasi ja kui valge paberi asemel võtta must.

Mõõtnud kauguse läätse keskkohast kuni ekraanini, millele on kogutud päikesekiired, määrame läätse fookuse kauguse. Märgime selle kauguse üles ja võrdleme seda teise kumerläätse fookuse kaugusega.

Selgub, et erinevail läätsil on erinevad fookusekaugused, kusjuures ühest ja samast materjalist valmistatud läätsede fookusekaugused sõltuvad läätse piirava pinna kõverusest.

Mida kumeram lääts, mida väiksemad on läätsi piiravate kerapindade raadiused, seda väiksem on läätse fookuse kaugus.

Mida lühem fookuse kaugus, seda suuremad on läätse murdvad omadused.

Mitmesuguste läätsede murdvate omaduste võrdlemiseks kasutatakse eriühikut — d i o p t r i a t.

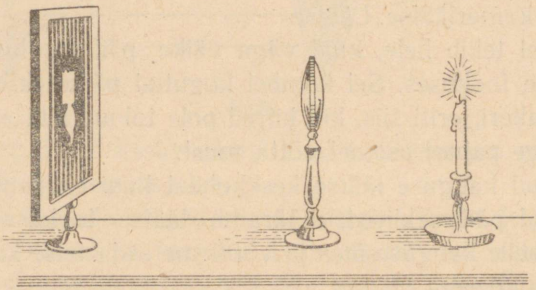
Läätse, mille fookuse kaugus on 1 m (100 cm) nimetatakse ü h e d i o p t r i a l i s e k s l ä ä t s e k s. Mida väiksem foo-

kuse kaugus, seda rohkem dioptriaid omab lääts. Poolemeetrilise fookusekaugusega lääts omab 2 dioptriat, 20 cm ($^1/_5$ m) fookusekaugusega lääts omab 5 dioptriat; vastupidi 2-meetrise fookusekaugusega lääts omab 0,5 dioptriat jne.

Kaksikkumera läätse abil võib saada ekraanil helendavate või valgustatud esemete kujutisi.

Liigutades põleva küünla ja ekraani vahel kaksikkumerat läätse, võib leida sellise läätse asendi, mille juures ekraanil tekib küünla leegi selge, kuid ümberpöördud kujutis (joon. 182).

Kui läätse lähendada küünlale, siis, et saada ekraanil küünla kujutist, tuleb ekraan nihutada edasi. Kujutis seejuures suureneb, kuid jääb ümberpöörduks.



Joon. 182.

Mida lähemale paneme läätsele küünla, seda kaugemale tuleb viia ekraan ja seda suurem tekib kujutis.

Olgu tähendatud, et küünla suurendatud kujutiste saamiseks ei või küünalt lähendada läätsele piiramatus ulatuses. Kui küünal asetseb kaugusel, mis on väiksem kui läätse fookuse kaugus, siis ei saa me ekraanil mingisugust kujutist, kui kaugele me ekraani ka ei lükkaks.

Vastupidi, nihutades läätse küünlast eemale, saame ekraanil üha väiksemaid kujutisi, kusjuures ekraani tuleb asetada läät-

sele ikka ligemale, ent minemata üle kauguse, mis on väiksem läätse fookuse kaugusest.

Küünla kujutist ekraanil võib saada iga kumerläätse abil, kuid küünla ja ekraani kaugused läätsest olenevad läätse fookuse kaugusest.

On kindlaks tehtud, et küünla kauguse (a), ekraani kauguse (b) ja läätse fookuse kaugu̇se (F) vahel on olemas sõltuvus, mida väljendatakse järgmise valemi abil:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}.$$

107. **Laboratoorne töö nr. 4.** Töö eesmärk. **Uurida kujutist, mis saadakse kumerläätse abil.**

Abinõud: kaksikkumer lääts; mastaap; ekraan; elektritaskulamp, jaotistega mattklaasi ja kinnise siibriga, millesse on lõigatud täht.

1. Muutes lambi mattklaasi kaugust läätsest, asetada ekraan nii, et sellel tekiks sisselõigatud tähest selge kujutis. Kaugused läätsest lambini (a) ja kaugus läätsest ekraanini (b) kirjutada tabelisse.

Läätse fookusekaugus F = . . .cm			
Kaugused		Eseme suurus A	Kujutise suurus B
ese läätsest a	ekraan läätsest b		

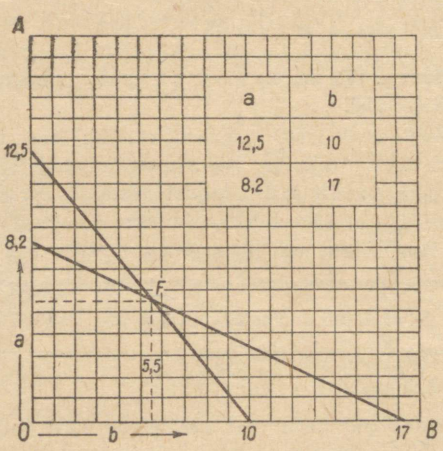
Mõõta sisselõigatud tähe suurus A ja tema kujutise suurus B ja võrrelda suhteid $\frac{A}{B}$ ja $\frac{a}{b}$.

Küsimusi.

1. Kas kaksikkumera läätse abil saadakse päripidised või ümberpöördud kujutised?
2. Missugusel tingimusel lääts ei anna kujutist?

3. Millega võrdub uuritava läätse fookuse kaugus?
4. Kas vastab valem $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$ katse andmetele?
5. Tõmmake ruudulisele paberile koordinaatteljed AO ja OB, millele märkige iga katse jaoks a ja b kaugus. Ühendades joonlõikude a ja b otsad sirgetega, saate nende sirgete lõikepunkti F. Punkti F kaugus koordinaattelgedest OB või OA on läätse fookuse kaugus (joon. 183).

Graafikul 183 on antud lahendus järgmiste andmete järgi: a = 8,2 m, b = 17 cm, a_1 = 2,5 cm, b_1 = 10 cm, F = 5,5 cm.



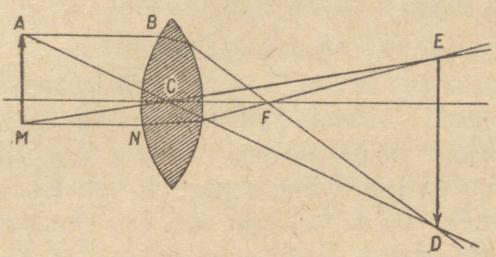
Joon. 183. Graafik töö juurde.

108. **Kujutiste geomeetriline ehitamine.** Me nägime: 1) et kiir, mis langeb läätsele paralleelselt optilise teljega, läheb murdudes läbi läätse peafookuse; 2) läätse keskkohta läbivat kiirt, võib pidada mittemurduvaks.

Punkti, mida kiir läbib murdumata, nimetatakse läätse optiliseks tsentriks.

Oletame, et helendava eseme punktist A langeb läätsele kiirte kimp (joon. 184). See kimp hajuvaid kiiri kogutakse läätse poolt teatud punkti. Et leida seda punkti geomeetrilise ehitamise abil, eraldame kimbust kaks kiirt. Optilise teljega paralleelne kiir AB läbib läätse peafookuse F murdudes. Teine kiir AC läbib läätse optilise tsentri C murdumata. Need kaks

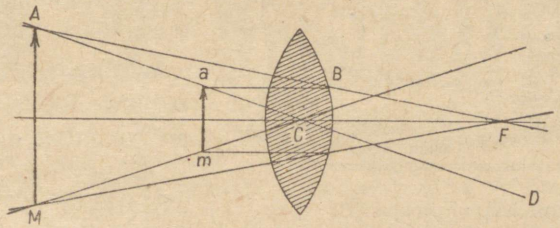
kiirt lõikuvad punktis D. Selles punktis jooksevad kokku ka kõik teised kiired, mis tulevad punktist A, tähendab, punktis D saame punkti A kujutise. Täpselt samuti võib, konstrueerides punktist M kaks kiirt MN ja MC, saada punkti E punkti M kujutisena. Punktide E ja D vahel tekivad eseme AM ülejäänud punktide kujutised. Nagu nähtub joonisest, tekkis ümberpöördud kujutis.



Joon. 184. Kujutiste geomeetriline ehitamine.

Joonestame kiirte käigu juhuks, millal ese am asetseb fookusekaugusest lähemal (joon. 185).

Teljega paralleelne kiir aB läbib punkti F. Kiir aC läbib läätse murdumata. Läätsest väljuvad kiired BF ja CD hajuvad; tähendab, kuskilgi läätse taga me punktist a kujutist ei saa. Vastupidi, kui vaadata eset läbi läätse, siis on näha, et kiired ei tule mitte punktist a, vaid punktist A. Punkti A nimetatakse punkti a e b a k u j u t i s e k s. Analoogiliselt leiame punkti M — punkti m ebakujutise. Läätse taga näeme eseme am päripidist suurendatud ebakujutist AM.



Joon. 185.

109. **Luup.** Luubiks nimetatakse kaksikkumerat läätse või läätsede süsteemi, mille abil vaatleme väikesi esemeid suurendatud kujul.

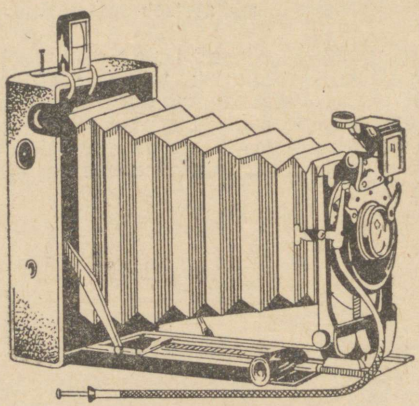
Et ese oleks nähtav suurendatud kujul, on vaja teda asetada peafookuse ja läätse vahele.

Luubi suurenduseks nimetatakse kujutise ja eseme suuruste suhet.

Mida lühem on fookuse kaugus, seda suurema kujutise annab luup.

Luubi suurenduse kindlaksmääramiseks võib võtta ruudulise paberilehe ja asetanud poole paberit lauale, lähendada teist luubile, läbi mille vaadata ruudukesi parema silmaga. Lugenud vasaku silmaga nähtavate ruudukeste arvu, mida katab üks ruut, mis on nähtav läbi luubi parema silmaga, määrame luubi suurenduse.

110. **Fotoaparaat.** Moodne fotoaparaat on kujutatud joonisel 186. Aparaadi esiosas, mis on pööratud eseme poole, millest soovime saada kujutist, on objektiiv[1]. Aparaadi tagaseinas on mattklaas. Läätse või objektiivi nihutamise abil võib seada objektiivi aparaadi mattklaasist sellisele kaugusele, et mattklaasil tekib terav ümberpöördud kujutis esemest millele on suunatud objektiiv.



Joon. 186. Fotoaparaat.

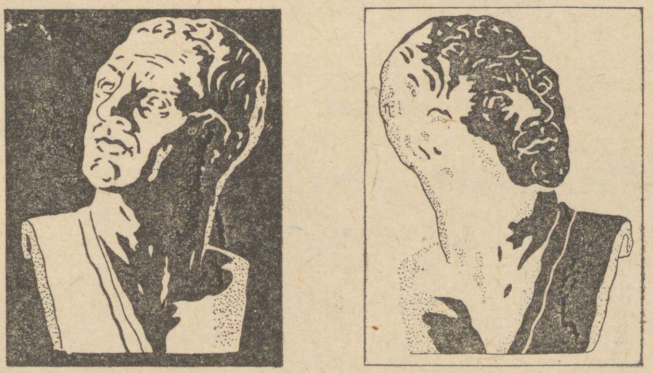
Ülesvõtte tegemisel asetatakse aparaati mattklaasi asemele lame kaanega kastike — kassett, milles on valgustundliku kihiga kaetud plaat.

[1] *Objektiiviks* optilistes riistades nimetatakse läätsede süsteemi, mis on pööratud objektile — esemele.

Kui avada aparaadisse paigutatud kasseti kaas, siis kujutis ülesvõetavast esemest, mis enne saadi mattklaasil, tekib nüüd valgustundlikul kihil.

Valguse mõjul muutub valgustundlikus kihis olev broomhõbe, kuigi me, võtnud plaadi kassetist, mingit muutust ei märka.

Et broomhõbeda muutumist teha nähtavaks, on vaja plaati i l m u t a d a, milleks teda viiakse edasisele keemilisele ümbertöötamisele pimekambris. Plaat paigutatakse erilisse lahusesse — i l m u t i s s e; siis saadakse valgustundlikus kihis must kujutis, mis koosneb metalsest hõbedast. Broomhõbe, mida val-



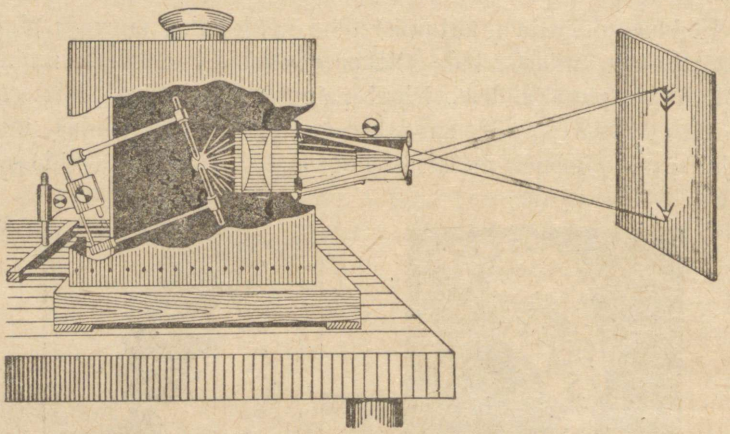
Joon. 187. Negatiiv ja positiiv.

gus ei mõjutanud, ei taandu ja eemaldatakse kihilt sulatamisega h ü p o s u l f i t i-l a h u s e s. Pärast sellist töötlemist pestakse plaat puhta veega ja kuivatatakse. Pärast kuivamist saadakse edasiseks töötlemiseks valmis n e g a t i i v, kus eseme heledad kohad on tumedad, aga tumedad kohad — heledad (joon. 187).

Et saada p o s i t i i v i, s. o. pilti, kus tumedad ja heledad

kohad oleksid jaotatud õigesti, asetatakse negatiivile paber ehk plaat, mis on kaetud valgustundliku kihiga. Valgustades seda plaati läbi negatiivi, saadatakse positiiv, s. o. selline kujutis, millel tumedad ja heledad kohad vastavad pildistatud esemele.

111. **Projektsiooniaparaat.** Projektsiooni aparaat[1] (joon. 188) kujutab enesest nagu fotokaamera vastandit.



Joon. 188. Projektsiooniaparaat.

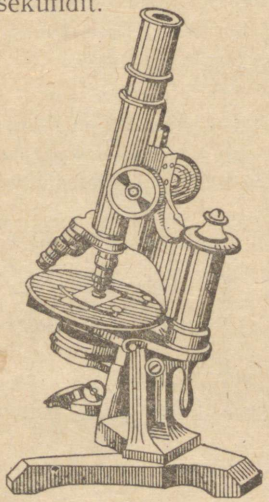
Fotoaparaadi mattklaasil saame kauge eseme vähendatud kujutise. Vastupidi, projektsiooniaparaadi abil saame aparaadist eemal seisval ekraanil väikestest, heledasti valgustatud piltidest suurendatud kujutised. Läbipaistev pilt — d i a p o s i t i i v — asetatakse objektiivi taha kaugusele, mis on fookusekaugusest veidi suurem. Pildi taga asetseb valgusallikas, mille kiired, minnes läbi läätsede süsteemi, mida nimetatakse k o n d e n s o r i k s[2], valgustavad ühtlaselt projitseeritava pildi kogu pinda. Ekraanil tekib suurendatud ümberpöördud kujutis.

[1] Projektsioon tuleb ladinakeelsest sõnast *projicere,* mis tähendab 'viskama', 'heitma'.

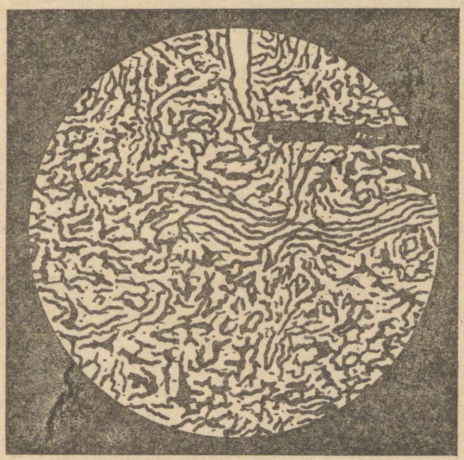
[2] *Condensare* ladina keeles tähendab 'tihendama'.

112. **Kino.** Kinopildid, milledel näeme liikuvaid esemeid, tekitatakse ekraanile samasuguse projektsiooniaparaadiga nagu liikumatuid piltegi, ainult selle vahega, et üksiku pildi kujutis jääb ekraanile väga lühikeseks ajaks. 1 sekundi jooksul vahetub ekraanil ligi 20 pilti, milledes igaühes liikuvad esemed võtavad uue, eelmisest vähe erineva asendi. Iga pildi vahetuse juures objektiiv suletakse, nii et ekraan jääb pimedaks. Viibides kinos, meie ei märka ei pildi vahetust ega momente millal ekraan on pime; mulje ülesvõtteist vaheldub pidevalt, nii et meie tajume esemete vahetpidamatut liikumist.

See nähtus on seletatav sellega, et nägemisergu ärritus, mille tekitab heledasti valgustatud ese, hoidub alal 0,1 sekundi jooksul pärast seda, kui pilt kadus. Selle tagajärjel näeme ekraanil pilti veel 0,1 sekundi jooksul, kuigi seda pilti ekraanil enam ei ole, ja see on jõudnud vahetuda uuega. Iga pilt jääb ekraanile ligi 0,04 sekundiks. Piltide vahetus vältab 0,02 sekundit.



Joon. 189. Mikroskoop.

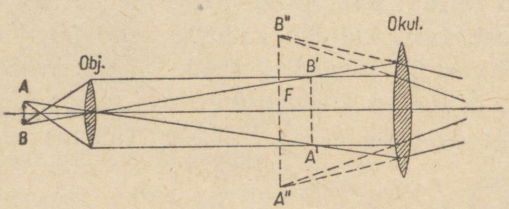


Joon. 190. Damaskuse terase ehitus mikroskoobis.

13. **Mikroskoop.** Väga väikeste esemete vaatlemiseks kasutatakse mikroskoopi (joon. 189), mille abil võib saada mitmesaja-kordse suurenduse. Praegusel ajal on mikroskoope, mis suurendavad kuni 2500 korda.

Tänu mikroskoobile rikastus teadus uute teadmistega. Mikroskoobiliste uurimuste kaudu avastati rida haigustetekitajaid ja leiti seejärel nende tekitajate vastu võitlemise viisid. Metallide mikroskoobilised uurimused omavad m e t a l l u r g i a s väga suurt tähtsust, andes võimaluse vaadelda metalli ehituse erinevusi sõltuvalt selle koosseisust ja töötlemisviisist (joon. 190).

Mikroskoop koosneb kahest läätsede süsteemist. Uks süsteem on suunatud vaatlusobjektile, seda nimetatakse o b j e k t i i v i k s, teist läätsede süsteemi nimetatakse o k u l a a r i k s[1]. See läätsede süsteem on pööratud vaatleja silma poole.



Joon. 191. Kiirte käik mikroskoobis.

Kiirte käik mikroskoobis on kujutatud joonisel 191. Ese AB on paigutatud lühifookuselise objektiivi fookuse- ja kahekordse fookusekauguse vahele, mistõttu mikroskoobi torus tekib suurendatud ja ümberpöördud eseme kujutis A^1B^1.

Seda kujutist vaadeldakse läbi okulaari, mis on kujutisest A^1B^1 väiksemal kaugusel, kui fookusekaugus, mistõttu, nagu luubiga vaatlemiselgi, näeme suurendatud ebakujutist A"B".

114. **Laboratoorne töö nr. 5.** T ö ö e e s m ä r k. **Mikroskoobi koostamine.**

Vahendid: väga lühikese fookusekaugusega lääts 1—1,5 cm; lääts fookusekaugusega 3—4 cm; mattklaasiga latern ühes klaasi peale tehtud võrguga; ekraan.

1. Seada üles latern, lühifookuseline lääts ja ekraan nii, et ekraanil tekiks laterna võrgu suurendatud kujutis.

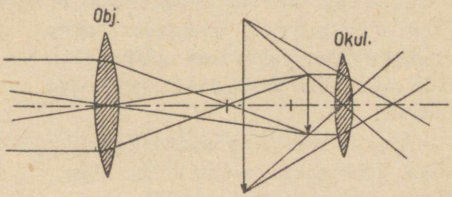
[1] Okulaar tuleneb ladinakeelsest sõnast *oculus* — silm.

2. Asetada pikafookuseline lääts ekraani ette sellisele kaugusele, et läbi läätse, nagu läbi luubigi oleks võimalik ekraanil näha võrgu kujutist suurendatud kujul.

3. Jättes kohalt liigutamata laterna ja läätse, kõrvaldada ekraan.

Vaadates läbi pikafookuselise läätse kui läbi mikroskoobi okulaari, näeme laterna võrgu suurendatud kujutist.

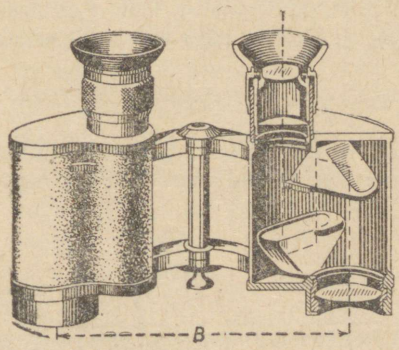
115. **Teleskoop.** Kaugete esemete vaatlemiseks ehitatakse instrumendid, mida nimetatakse teleskoopideks[1]. Täpselt samuti nagu mikroskoopki omab teleskoop kahte läätsede süsteemi. Objektiiv (joon. 192) annab teleskoobi sisemuses esemest ümberpöördud vähendatud kujutise mida vaadeldakse läbi okulaari.



Joon. 192. Kiirte käik teleskoobis.

Et kujutised kaugelolevaist esemeist saaksid nii suuremad kui ka selgemad, tehakse teleskoobi objektiiv suure objektiivikauguse ja suure diameetriga, et haarata võimalikult rohkem kiiri. Okulaar aga tehakse lühifookuseline, et saada suuremat suurendust.

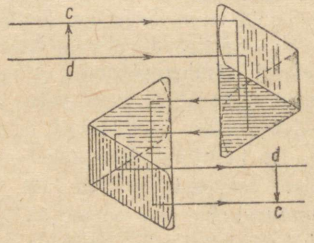
Teleskoopi kasutatakse astronoomias. Mitmesuguseid riistu kaugelolevate esemete vaatlemiseks kasutatakse sõjaasjanduses. Optilised sihikud kuulipildujail lubavad väga täpselt suunata kuulipildujaid märgile; kahuripanoraamid, mis kujutavad enesest keerukaid riistu, ühendavad eneses nii pikksilma kui täpse nurgamõõtja instrumendi; stereokiikrid on vaenlase vaatlemiseks varjatud kohast. Kõigis neis riistades on peale objektiivi ja okulaari prismad kiirte käigu suuna muutmiseks ja kujutiste ümberpööramiseks, mis harilikus teleskoobis on vastupidised.



Joon. 193. Prismabinokkel.

[1] *Tele* — kaugel, *skopeo* — näen.

116. **Binokkel.** Usna levinud optiliseks riistaks on prismabinokkel (joon. 193). Binokkel kujutab enesest kahte paralleelselt ühendatud pikksilma. Objektiivist (joon. 194) läbiläinud kiired langevad järgemööda kahele prismale, kus nad igaühes peegelduvad kaks korda, enne kui satuvad okulaari. Tänu prismadele kujutis pööratakse ümber (joon. 194), ja riist ise omab väiksemat mõõtu kui teleskoop. Harilikus binoklis on okulaariks kaksikkumer lääts, mille tõttu saadakse esemest päripidine kujutis.



Joon. 194.

117. **Laboratoorne töö nr. 6.** Töö eesmärk. **Kasutades kahte kogujat läätse, valmistada optiline riist, mille abil võib vaadelda kaugelolevaid esemeid.**

Abinõud ja materjalid: suure fookusekaugusega lääts alusel; väikese fookusekaugusega lääts alusel; küünal; ajaleht (kuulutuse osa); nuplid; mastaap; alusel olev ekraan (joon. 195).

Töö algus toimub pimendatud toas.

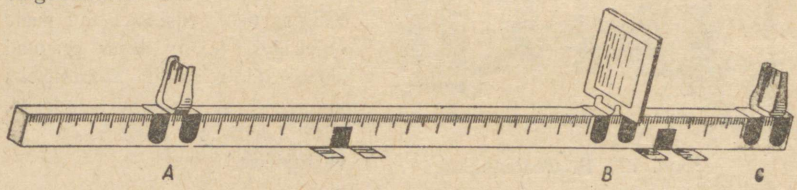
1. Töölauast võimalikult kaugemal, laboratooriumi kaugemale seinale kinnitada laua kõrgusele ajaleht.

2. Töölauale paigutada suure fookusekaugusega lääts A (joon. 195) ja saavutada ekraanil B küünla kujutis, mida hoida ajalehe läheduses.

3. Ekraani tagumisele küljele on pliiatsiga kirjutatud täht. Paigutada teine lääts (väikese fookusekaugusega) nii, et oleks näha tähe suurendatud kujutis.

4. Mõõta läätsede ja ekraani vaheline kaugus ja võrrelda seda läätsede fookusekaugusega.

5. Eemaldada ekraan ja vaadates läbi kahe läätse, püüda saavutada ajalehe selge kiri. See osa tööst sooritatakse ajalehe võimalikult tugevama valgustamise abil.



Joon. 195. Laboratoorse töö nr. 6 juurde.

6. Kas tähed on nähtavad päri- või vastupidiselt?

7. Kui on-võimalus, avada aken ja püüda läbi avatud akna vaadelda mõningaid kaugemaid esemeid, kasutades valmistatud teleskoobi mudelit.

8. Asendada teine lääts (okulaar) kaksiknõgusa klaasiga ja korrata sellega samu katseid. Kas selles hariliku binokli mudelis näeb tähti päripidiselt või ümberpöördult?

Küsimusi.

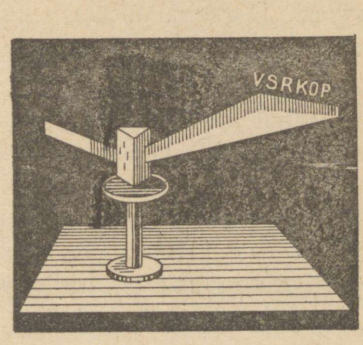
1. Milleks on teleskoobis suure fookusekaugusega lääts?
2. Mispärast on teleskoobiga vaadeldavad kujutised ümberpöördud?

V peatükk.

VALGUSE DISPERSIOON.

118. **Valge valguse lahutamine värvusteks.** Vaadeldes läbi prisma esemeid, näeme eseme äärtel värvilist palistust. Vaatleme läbi prisma kitsast valget pabeririba, mis on kleebitud mustale kartongile. Kitsa valge riba asemel täheldame võrdlemisi laia heledate värvidega värvitud riba.

Laseme prismale läbi kitsa pilu kimbu päikesekiiri nii, et prisma murdjaserv oleks piluga paralleelne. Lasknud prisma läbinud kiirtekimbu ekraanile, märkame, et kiir pole üksnes kaldunud prisma aluse poole, vaid annab ekraanil kitsa valge riba asemel laia värvilise riba (joon. 196). Murdjanurga tipule lähimal on punane riba, sellele järgneb oranž, siis kollane, roheline, sinine ja lõpuks prisma alusele lähimal olev — violetne.



Joon. 196.

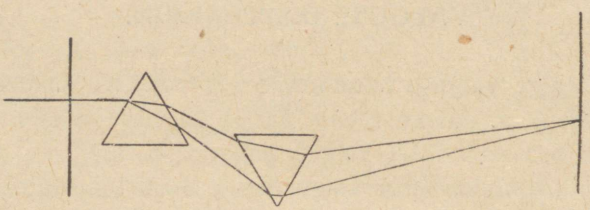
Läbides prismat, kaldub kiir seda rohkem aluse poole, mida

suurem on murdumisnäitaja. Kõige rohkem kalduvad prismas kõrvale violetsed kiired kõige vähem — punased. Tähendab, valge valguskiir, läbides prisma, jaguneb mitmesuguste värvustega kiirteks, mis omavad erisugust murduvust.

Mitmevärvuslist riba, mis tekkis ekraanil, nimetatakse s p e k t r i k s[1], valguse lahutamise nähtust ennast nimetatakse aga d i s p e r s i o o n i k s.

Sellist valguse dispersiooni näeme looduses v i k e r k a a r e kujul; prisma osa mängivad siin vihmapiisad.

Loetledes spektri värvuse ribasid, nimetasime kuut värvust. Tegelikult on ühelt värvilt teisele üleminek järk-järguline: on



Joon. 197.

raske öelda, kus algab üks ja lõpeb teine värvus. Iga väga kitsas riba spektris erineb teisest samasugusest naabruses olevast ribast. Täpsemalt öeldes — spekter koosneb hulgast värvustest mitmesuguste varjunditega.

Kui vaadelda läbi prisma kitsast värvilist pabeririba, mis on kleebitud mustale kartongile, või kui teha ekraanisse pilu ja lasta läbi selle pilu teisele prismale spektri ühte värvilist kiirt, siis võib täheldada, et värviline spektrikiir, murdudes teises prismas, muudeks värvilisteks kiirteks enam ei jagune.

Laseme prisma abil saadud spektri värvilised kiired läbi teise prisma, mis on asetatud esimese vastu (joon. 197); saame ekraanil valge pilu kujutise.

[1] Ladinakeelne sõna *spectrum* tähendab 'kujutis'.

Neist katseist järgneb:

Valge kiir laguneb värvilistest kiirtest koosnevaks spektriks; vastupidi: kui juhtida ühte kohta kokku kõik spektri värvilised kiired, siis tekib valge kiir.

Värvilised kiired, milledeks jaguneb valge kiir, omavad mitmesuguseid murdumisnäitajaid: suurimat murdumisnäitajat evivad violetsed kiired, väikseim murdumisnäitaja on punaseil kiiril.

Küsimusi.

1. Milline spektri kiir, läbides kolmetahulist prismat, murdub rohkem, milline vähem?
2. Näidake värvuste asetuse järjekord spektris.

119. **Kehade värvused.** Lastes läbi prisma valge kiire asetame kiirte teele, mis väljuvad prismast, värvilise läbipaistva plaadi, näiteks punase. Saame ekraanil värvilised ribad, kus on valdavamaks värvuseks punane. Kui lasta lahutatud kiired läbi rohelise plaadi, siis saame ekraanil rohelise riba ja kaovad peaaegu kõik kiired, mida laskis läbi punane plaat.

Selle katse põhjal võib teha järelduse, et läbipaistva plaadi värvus määratakse tema poolt läbilastavate spektri kiirtega.

Valgustame valget paberilehte mitmesugust värvust kiirtega; näeme paberit kord punasena, kord sinisena, kord rohelisena, sõltuvalt kiire värvusest, mis langeb paberile ja peegeldub sealt. Tekitanud spektri valgele ekraanile, asetame sellele tükikese punast riiet; märkame, et see on must spektri kõigis osades, ainult punane osa spektris näib meile olevat valgustatud. See tähendab, et punane riie, millele langesid kõik kiired, peegeldas ainult punaseid, ülejäänud aga neelas ära.

See katse seletab, mispärast värvilist pinda valge valgusega valgustamisel näeme värvilisena. Valge kiir, langedes värvitud pinnale, peegeldub, kaotades seejuures mõningaid kiiri. Peegeldunud kiired, moodustades ainult osa valgest kiirest, on värvilised kiired.

Iga keha värvus sõltub mitte üksnes tema pinna omadustest, vaid ka neist kiirtest, millega ta on valgustatud. Kui valgustada punast pabeririba rohelise valgusega, siis näeme riba mustana. See on ka täiesti arusaadav: punane pind neelab rohelised kiired ja ei peegelda mingisuguseid. Samal põhjusel omandavad helerohelised taimed päikese loojangu ajal musta varjundi. Samuti muudavad oma varjundit õhtuses valguses kirjud riided.

Hoopis teist nähtust märkame *värvide segunemisel*.

Kahe või mitme värvi segamisel saadakse teise värvusega värvid, kui olid need, mida segati. Kollase ja sinise värvi segamisel saadakse roheline värv, punase ja sinise värvi segamisel — lilla jne. Võib saada mitmesuguseid värvi varjundeid, kui valida värve segamiseks sobivalt.

Et saada värvilisi trükipilte, kasutatakse mõnikord niinimetatud *kolmevärvitrükki*.

Kolmevärvitrükiks nimetatakse seda seepärast, et selle viisi juures saadakse valgel paberil, kasutades ainult kolme värvi, heledaid värvilisi kujutisi. Selle trükiviisi jaoks võetakse järgmised värvid: kollane, punane ja sinine. Värvilise pildi saamiseks valmistatakse kolm erinevat klišeed[1], üks klišee iga värvi jaoks. Nende klišeede abil tehakse ühes ja samas kohas põhivärvidega kolm jäljendit. Selles kohas, kus jäljendus ainult põhivärv, tekib üks põhitoone. Kohas, kus jäljendus kaks värvi, tekib see või teine segatoon. Kolme värviga jäljendatud kohad annavad pildi musti kohti; kohad, kuhu värv ei sattunud, jäävad valgeks.

Küsimusi.

1. Miks punast paberit, mis on valgustatud valge valgusega, näeme punasena?
2. Millistel tingimustel näeme valget paberit punasena?

[1] Klišee on pildi negatiivne kujutis metallis, puus või muus materjalis.

3. Millist keha nimetame valgeks? Millist keha nimetame mustaks?
4. Miks valge keha näib rohelisena, kui seda vaadelda läbi rohelise klaasi?

120. **Spektraalanalüüs.** Spekter, mis saadakse elektrilambi hõõguvalt niidilt, voltakaarelt, küünla leegilt ja muudelt kuni hõõgumiseni kuumendatud tahkeilt ja vedelailt kehadelt, kujutab enesest pidevat riba, mis koosneb kõigist katkestamatult üksteise üleminevaist värvustest. Sellist spektrit nimetatakse pidevspektriks.

Hoopis teine spekter tekib, kui lasta läbi prisma helendava auru või gaasi valgust. Võtame näiteks keedusoola, paneme selle piirituslambi leegisse ja laseme valguse läbi prisma. Me näeme nüüd mitte pidevspektrit, vaid heledat kollast joont. Tõeliselt ei ole siin üks joon, vaid kaks, mis asetsevad teineteisele nii lähedal, et neid võib eraldada ainult väga keerukate riistade abil. See on kiirte spekter, milliseid tekitavad keedusoolas leiduva naatriumi helendavad aurud.

Iga aur või gaas annab oma eri joonspektri: vesiniku spekter koosneb oranžist, rohelisest ja helesinisest joonest; heeliumi spekter koosneb üheksast joonest, mis asetsevad spektri mitmesugustes osades, jne. (vt. tabelit: spektrid 2, 3, 4).

Seega koosneb spekter, mida tekitavad helendavad aurud ja gaasid, üksikuist värvilistest joontest, mis on üksteisest eraldatud tumedamate vahedega, — joonspekter.

Mitmesuguste aurude ja gaaside spektreid uuritakse hoolikalt. On olemas spektrite fotograafilisi ülesvõtteid, nii et uurides mingi auru ehk gaasi poolt tekitatud spektrit, on alati võimalik täpselt kindlaks määrata, millisele ainele kuulub antud spekter.

Aine olemuse keemilist uurimist selle spektri järgi nimetatakse spektraalanalüüsiks. Spektraalanalüüsi abil on võimalik kindlaks teha mitmesuguste keemiliste ainete olemasolu milligrammi miljondikes osades.

Kui vaadelda päikese spektrit läbi spetsiaalriista — spektroskoobi, mida kasutatakse spektrite vaatlemiseks, siis võib spektri pidevas ribas täheldada rida tumedaid põikjooni[1] mitmesugustes osades. Et saada aru nende tekkimisest, võib teha järgmise katse. Lambi hõõgniidist või voltakaarest tulevate kiirte teele asetame piirituslambi leegi,

[1] Esimesena uuris neid tumedaid jooni saksa füüsik Fraunhofer, mispärast neid hakati hüüdma fraunhoferi joonteks.

milles hoitakse naatriumitükikest. Näeme, et pidevspektrile tekivad tumedad ribad just neis kohtades, kus peab olema naatriumi kollane joon. See tähendab seda, et naatriumi aurud neelasid just need kiired, mida nad ise välja saadavad. Kui valgete valguskiirte teel on mitmesuguste ainete aurud, siis igaüks neist neelab ära oma kiired. Sel teel saadud spektrit nimetatakse neeldumisspektriks. Järelikult päikese spekter on neeldumisspekter. See osutab sellele, et päikese pinnalt tulevad kiired läbivad aure ja gaase, mis moodustavad päikese atmosfääri. Uurides tumedaid jooni päikese spektris, võime saada selge kujutelma päikese atmosfääri koosseisust. See uurimine on näidanud, et Päikesel on üldiselt samad ained, mida leiame Maa peal. Sel teel saame spektraalanalüüsi kaudu teada taevakehade keemilise koosseisu.

121. **Spektri nähtamatud osad.** Kuumendatud keha värvuse järgi võib otsustada ta temperatuuri üle. Uurides spektreid, mida saadakse kuumendatud traadi abil, tehti kindlaks, et saadud spekter muutub kooskõlas temperatuuri tõusuga. Algul ilmub spektri punane osa, siis liituvad sellele oranž, kollane, roheline jne. Lõpuks valgel hõõgumisel ilmub nähtavale ka violetne riba. Esimesed jäljed spektri punasest osast ilmuvad nähtavale 500° C temperatuuri juures. 1500° temperatuuri juures on nähtav täisspekter.

Kas võib arvata, et spekter algab punasest osast ja lõpeb violetsega? Algab ju traadi kiirte väljasaatmine mitte üksnes 500° temperatuurist. Kiirte levitamist võib täheldada ka väiksema temperatuuri juures. Spektri uurimised tegid kindlaks, et spekter ei piirdu nähtava osaga. Spektri punase ja violetse osa taga on ribad, mida meie ei näe, kuna kiired, mis neid ribasid annavad, meie silma ei mõjuta, kuid neid võib kindlaks teha teiste meetoditega. Kiiri, mis asetsevad spektri punase osa taga, nimetatakse infrapunasteks (infra tähendab ‚madalam'). Need kiired avaldavad, võrreldes teiste kiirtega, tunduvalt suuremat soojusmõju. Neid tehakse ilmsiks, tuues spektri infrapunasesse ossa riistu, millede abil võib täheldada isegi nõrka soojust. Spektri infrapunane osa on ligikaudu 10 korda pikem kui spektri kogu nähtav osa.

Spektri nähtamatu osa, mis järgneb violetseile kiirtele, moodustavad ultravioletsed kiired (ultra — kõrgem). Becquerel (l. bekrêl) leidis 1842. a., fotografeerides spektrit, et ülesvõttel suurenes spekter kuni kolm korda. Ultravioletsed kiired ilmutavad keemilist toimet.

122. **Valguse keemiline toime.** On teada, et taimede rohelistes osades päikese kiirte mõjul toimub õhust võetud süsihapu gaasi lagunemine süsinikuks ja hapnikuks. Süsinik läheb taime kudede ehitamiseks, hapnik aga eritatakse taime poolt taas õhku, mistõttu on nii kerge hingata põldudel ja metsas.

Värviline riie, mis on kaua päikese kiirte mõju all, pleegib. Nii pleegitatakse linast riiet, laotades seda heleda päikesevalguse kätte.

Need näited on selle tõenduseks, et päike võib kutsuda esile keemilisi nähtusi. Kui värviline riie pleegib, siis nähtavasti toimuvad värvis mõnesugused keemilised muutused. On pandud tähele, et valge fosfor läheb päikesekiirte mõjul punaseks. Tsinnoober — punane kristalne pulber — musteneb valguse toimel ja muutub amorfseks. Mitmesugused liigid värvituid klaase muutuvad vähehaaval värvilisteks, omandades kollase, rohelise või violetse varjundi.

Suvine päevitus, valulised põletishaavad nahal, mis tekivad päikese kestvast toimest, puuviljade eredad värvused — kõik need on näited päikese kiirte keemilisest toimest. Päikese kiirtel on suur tähtsus sanitaar- ja hügieenialal, sest nende mõjul hävivad bakterid ja pannakse seisma haigust põhjustavad moodustised organismis.

Valguse keemilist toimet kasutatakse fotograafias.

Et uurida, kuidas mõjuvad keemiliselt mitmesuguse värvusega kiired, võib sooritada sellise katse.

Asetame kopeerimisraami negatiivi asemele klaasi, millele on tõmmatud mitmesuguste värvustega ribad, ja vaatame, millist mõju avaldavad mitmevärvilised kiired fotopaberile.

Ilmneb, et osa paberit, mis oli punase riba all, jääb valgeks, osa paberit, mis oli kollase riba all, on nõrgalt tumenenud; kõige märgatavam on tumenemine sinise ja violetse riba all.

Laboratooriume, kus toodetakse valgustundlikke plaate ja paberit ning kus valmistatakse pilte, valgustatakse punase valgusega, sest kõige nõrgemat keemilist toimet avaldavad punased kiired. Mida lähemal on kiirte värvus spektri violetsele äärele, seda tugevam on kiirte keemiline toime. Veel tugevamat keemilist toimet avaldavad ultravioletsed kiired.

123. **Kiirte energia muundumine teisteks energia liikideks. Päike energia allikana Maa peal.** Peaaegu kõikide energialiikide allikaks Maa peal on kiirte energia, mis tuleb meile Päikeselt ja muundub Maa peal soojuse, keemilise ja muudeks energia liikideks. On vaja vaid kujutella, mis toimuks Maa peal, kui päike ei valgustaks Maad igapäev. Me tunneme selliseid kohti Maa peal kaugel teispool polaarjoont põhjas, kus päike ei näita end mitme kuu jooksul. Seal on igavene jää ja lumi.

Kõikjal Maa peal näeme päikesekiirte töö jälgi. Tänu Päikesele puhuvad tuuled, kogunevad pilved, täituvad veega ja voolavad jõed, töötavad vee- ja tuulemootorid. Ümbermuudetud päikese-energiat kasutavad hüdroelektri-jaamad.

Päikese kiirte mõjul aurustub merede, järvede ja jõgede vesi, tõuseb üles, tiheneb seal pilvedeks, kantakse tuulest Maa kõigisse kohtadesse ja langeb alla sademete kujul, toites seega Maad niiskusega ja andes alguse arvukaile jõgedele, mis kannavad vee meredesse ja järvedesse. Nii toimub vee pidev ringkäik päikese kiirte energia mõjul. Ent päikese kiirte osa ei piirdu sellega. Me teame, kuivõrd taimede ja loomade elu sõltub valgusest ja päikese kiirte soojusest. Taimedes toimub Päikese poolt levitatud kiirte energia muundumine keemiliseks energiaks. Seda taimede keemilist energiat kasutame meie ära, tarvitades taimi toiduks või põletades neid kui kütteainet. Kivi-

süsi, olles meie energeetilistest ressurssidest[1] üheks olulisemaks, kujutab enesest jäänuseid metsadest, mis kunagi täitsid Maa peal suuri maa-alasid. Peaaegu meie silme all kujunevad soodes kõdunevaist taimedest turbakihid, mis annavad suurt kütte-tagavara.

Taimedest toituvate loomade energia ja inimese energia — kõige selle allikaks on Päikese kiirte energia.

Kui suur on kogu see võimsus, mida toovad Maa peale päikese kiired? Selle võimsuse arvestus andis tohutu arvu: üle 200 biljoni hobujõu, või ligi 150 biljonit kilovatti. See võimsus võrdub 2 miljoni sellise elektrijaama võimsusega, nagu seda on Volhovi jaam või 300 tuhandele sellisele jaamale nagu Dnepri jaam, kui lugeda Dnepri jaama täisvõimsuseks ümmarguselt 500 tuh. kilovatti.

Katsed on näidanud, et iga ruutsentimeeter maakera pinda, mis on risti päikese kiirtega, saab minutis 2 väikest kalorit (kui mitte arvestada atmosfääri neelamist).

See tähendab, et 1 m^2-le langevate päikese kiirte võimsus ületab poolteist hobujõudu ehk on üle ühe kilovati. Kui võiksime ära kasutada kas või 1% sellest päikese energiast, mis langeb meie linnade katustele, siis kataksime küllaga oma elektrienergia kogu tarviduse.

Elektrienergia peamisteks allikateks tehnikas on kütte-tagavarad (kivisüsi, nafta, turvas). Kütte-tagavarad, mida loodus on kogunud palju aastaid, vähenevad iga päevaga ja isegi iga tunniga. Seepärast omistatakse nüüdsel ajal päikesekiirte energia vahetule kasutamisele suurt tähelepanu.

[1] *Ressurss* — tagavara.

VASTUSEID KÜSIMUSTELE JA HARJUTUSTELE.

§	Nr.	Vastused.
44	2.	Ei ole ühesugused.
45	7.	0,13 oomi.
50	1.	Võrdsed.
50	2.	Vähem.
50	3.	Ühe juhi takistus.
51	1.	55 vatti.
51	2.	0,8 kW
51	3.	0,9 amprit.
63	2.	Mitte alati. Muutub.
64	1.	Ei või.
66	3.	Maa magnetivälja mõjul.
69	2.	Mähise amperkeerdude arvust.
71	2.	Maa.
74	2.	AB — meie suunas. CD — meist eemale.
80	1.	Vahelduv.
81	2.	Vahelduv.
88	3.	Ei ole
89	3.	Päikese kujutised.
90	1.	Ei ole.
92	1.	12,5 luksi.
92	2.	50 cm.
92	3.	44,4 luksi.
94	2.	Kaks korda kõrgemale.
96	2.	45°
96	3.	120°, 160°.
98	2.	Paberit.
100	4.	Peafookuses.
102	2.	120 000 km/sek.
102	3.	1,15 (kroonklaas).
Juhis.		Valguskiirus klaasis jagada valguskiirusega vees.
107	1.	Vastupidised.
119	2.	Punase valgusega valgustamisel.

VASTUSEID ÜLESANDEILE.

Elekter.

III peatükk.

Nr.

2. Positiivset.
9. 7 000 kulonit.
10. Hõbedat eraldub rohkem.

IV peatükk.

1. Raudne $\approx$ 7,4 korda.
2. 0,875 oomi.
3. 0,65 oomi.
4. 91,4 m.
5. Ligikaudu 571 m, 77 m, 22 m, 312 m.

6. ≈ 3,7 mm².
7. 2,25 mm².
8. 70,7 oomi.
9. Ligi 90 m.
10. 0,25 oomi.
11. 1,75 oomi.
12. ≈ 1,1 kg.
14. Ligikaudu 6730.
15. 0,52 mm².
16. 0,00025 mm².
17. 0,11 mm².
19. Õiged.
20. 500 volti.
21. 8,1 oomi.
22. Ei ole.
23. Vasktraati mööda: pinge on traadi otstes võrdne, kuid vasktraadi takistus on väiksem.
24. 1 000 oomi.
25. 4 volti.
26 3 volti.
27. 1,375 amprit.
28. 40 amprit.
29. 480 oomi.
30. 7,36 kilovatti.
31. 6 kilovatt-tundi.
32. 40 kilovatti.
33. ≈ 8,4 amprit.
34. Ligikaudu 417 amprit.
35. ≈ 27,6 oomi.
36. Ligikaudu 9813 amprit.
37. 1 rbl. 20 kop.
38. 3 amprit.

V peatükk.

1. Nikeliintraat.
2. Raudses.
4. Kuni 100°
8. 20,736 kilokalorit.
9. 5 808 cal.
10. 230,4 cal.
11. 240-voldise pingega võrgus eraldub 4 korda rohkem soojust.
12. 4 min. 35 sek.
13. 10,89 oomi.
14. 518,4 kcal.
15. ≈ 95 kcal.
16. Umbes 1,2°.
17. ≈ 9,3 amprit.
19. 56,76 m.
20. ≈ 17,2 oomi;
≈ 11,6 amprit.
21. ≈ 91,7%.

VII peatükk.

7. 45 kilovatti.
8. Umbes 67 amprit.

VIII peatükk

2. 40 keerdu.
3. 2 200 keerdu.
4. 400 volti.
5. 10 000 volti.
7. 2 200 volti; 50 amprit; 5 amprit.
8. 1:2. Voolu tugevus sõltub transformaatori sekundaarse mähise koormatusest.
9. ≈ 436 000 amprit;
≈ 417 amprit.
10. a) 19,2 kcal. b) 20 000 amprit.

Valgus.

I peatükk.

1. 300 000 km/sek.
2. 150 000 000 km.
4. ≈ 1,3 sek; 8⅓ min.
5. 37,5 m.

6. 45° nurga all.
7. ≈ 376 000 km.
8. ≈ 1 397 000 km.
9. 4 m.

II peatükk.

1. 3 m.
2. 12,5 luksi.
3. 0,1 luksi.
4. 1 000 milj. küünalt.
5. 20 000 luksi; 1 250 luksi
6. 1 m.
7. 1:4.
8. 1 luks ja 2 luksi.
9. Ei ole küllaldane.

III peatükk.

9. Väga palju.
12. Peegli peafookuses.
14. „ „

SISUKORD.

Elekter.

I peatükk.

		Lk.
Sissejuhatus		3
1.	Teatmeid elektri ajaloost	3
2.	Elekter rahvamajanduses	5
3.	Elekter sõjaasjanduses	5

II peatükk.

Algteadmisi elektrist.

4.	Elektriseerimine	6
5.	Kahte liiki laengud	7
6.	Laengute vastastikune mõju	8
7.	Coulomb'i seadus	10
8.	Elektroskoop	11
9.	Juhid ja isolaatorid	12
10.	Elektri jaotumine juhtmeil	15
11.	Aine elektriline ehitus	17
12.	Elektriseerumisnähtuse seletus aine elektroniteooria alusel	18
13.	Elektriseerimine mõju läbi	18
14.	Elektrimasin	21
15.	Elektriväli	22
16.	Kondensaator	24
17.	Elektrilisi nähtusi atmosfääris	27
18.	Piksevarras	29
19.	Laengute liikumine juhis	30
20.	Elektriahel	32
21.	Elektrivool	33
22.	Elektrivoolu suund	35
23.	Elektrivoolu ahelate näiteid	36
24.	Laboratoorne töö nr. 1. Ülesandeid	37 37

III peatükk.

Elektrienergia muundumine keemiliseks energiaks ja vastupidi.

25.	Elektrivool metallides	38
26.	Elektrolüüs	39
27.	Väävelhapu vase lahuse elektrolüüs	42
28.	Lahjendatud väävelhappe elektrolüüs	43
29.	Elektri hulk. Kulon	44
30.	Volta element	45
31.	Grenet' element	46
32.	Leklanšee element	46
33.	Akumulaatorid	48
34.	Akumulaatori kasutamine tehnikas	48
35.	Elektrolüüsi kasutamine tööstuses	49
36.	Vase rafineerimine	49
37.	Alumiiniumi saamine	50
38.	Galvanoplastika	51
39.	Galvanosteegia	52
	Ülesandeid	53

IV peatükk.

Elektrivoolu seadused.

L

40. Voolu tugevus . . . 54
41. Voolutugevuse ühik . 55
42. Ampermeeter 55
43. Laboratoorne töö nr. 2. 57
44. Juhtmete takistus . . 58
45. Juhtmete takistuse arvestus 59
46. Reostaadid 61
47. Pinge 62
48. Pinge mõõtmine voltmeetriga 63
49. Ohmi seadus 65
50. Laboratoorne töö nr. 3 67
51. Voolu töö ja võimsus 68
52. Elektrivoolu tööühikud 69
Ülesandeid 70

V peatükk.

Elektrienergia muundumine soojusenergiaks.

53. Voolu soojustoimed . . 72
54. Joule'i ja Lenzi seadus 73
55. Laboratoorne töö nr. 4 74
56. Soojendusriistad . . . 75
57. Hõõglamp 76
57-a. Sulavkaitsmed . . . 78
58. Voltakaar 79
59. Elekterkeevitamine . . 80
Ülesandeid 81

VI peatükk.

Elektromagnetiväli.

60. Magnetilisi põhinähtusi 82
61. Magnetnõel 84
62. Kompass 85
63. Pooluste vastastikune mõju 85
64. Magneti ehitus . . . 86
65. Magnetiväli 87
Lk.
66. Maa magnetiväli . . 90
67. Voolu magnetiväli . . 92
68. Magnetismi elektriline olemus 93
69. Elektromagnet . . . 97
70. Elektrikõlisti 98
71. Morse telegraaf . . . 99
72. Mikrofon ja telefon . . 101
Ülesandeid 104

VII peatükk.

Elektrienergia muundumine mehaaniliseks energiaks.

73. Vooluga juhtmete liikumine magnetiväljas . . 105
74. Vooluga raam magnetiväljas 106
75. Elektrimootor 107
76. Laboratoorne töö nr. 5 111
77. Elektrimootorite rakendamine 111
Ülesandeid 118

VIII peatükk.

Elektromagnetiline induktsioon.

78. Induktsioonivool . . . 119
79. Vahelduva pinge saamine 122
80. Vahelduvvoolu generaator 124
81. Alalisvoolu dünamo . . 125
82. Generaatori magnetiväli 127
83. Dünamomasina pööratavus 128
84. Elektrienergia edasiandmine 129
85. Transformaator . . . 131
86. Voolu tee jaamast tarbijani 132
87. NSV Liidu elektrifitseerimine 133
Ülesandeid 136

Valgus.

I peatükk.

Valguse levimine.

Lk

88. Valguse kiirus . . . 138
89. Valguse sirgjooneline levimine 140
90. Vari ja poolvari . . . 143
91. Päikese ja Kuu varjutus 144
Ülesandeid 145

II peatükk.

Valguse tugevus ja selle mõõtmine.

92. Valguse tugevus ja pinnavalgustuse tugevus . 146
93. Valgustuse tähtsus tehnikas ja ühiskondlikus elus 150
94. Kahe valgusallika tugevuse võrdlemine . . . 151
95. Laboratoorne töö nr. 1 152
Ülesandeid 153

III peatükk.

Valguse peegeldumine.

96. Valguse peegeldumise seadused 154
97. Hajuv peegeldumine . . 155
98. Läbipaistvad ja läbipaistmatud kehad . . . 156
99. Tasapeegel ja selle kasutamine 157
100. Peegeldumine nõguspeegleilt 160
Ülesandeid 164

IV peatükk.

Valguse murdumine.

Lk

101. Valguse murdumise mõiste 165
102. Laboratoorne töö nr. 2 167
103. Optilisi nähtusi atmosfääris 170
104. Murdumine kolmetahulises prismas 171
105. Laboratoorne töö nr. 3 172
106. Läätsed 173
107. Laboratoorne töö nr. 4 177
108. Kujutiste geomeetriline ehitamine 178
109. Luup 179
110. Fotoaparaat 180
111. Projektsioonaparaat . . 182
112. Kino 183
113. Mikroskoop 184
114. Laboratoorne töö nr. 5 184
115. Teleskoop 185
116. Binokkel 185
117. Laboratoorne töö nr. 6 186

V peatükk.

Valguse dispersioon.

118. Valge valguse lahutamine värvusteks . . . 187
119. Kehade värvused . . 189
120. Spektraalanalüüs . . . 191
121. Spektri nähtamatud osad 192
122. Valguse keemiline toime 193
123. Kiirteenergia muundumine energia muudeks vormideks. Päike energiaallikana Maa peal . 194
Vastuseid küsimustele ja harjutustele 196
Vastuseid ülesandeile . . . 196

Tõlkinud A. Ilves.

Vastutav toimetaja M. Usai.

Keeleline toimetaja J. Pedari.

Ladumisele antud 10. VII 1948. Trükkimisele antud 13. IX 1948. Trükiarv 8500. Paber 56x79, 1/16. Trükipoognaid 12,75. Arvutuspoognaid 11,75. Trükitähti trükipoognas 36860. MB-03761. Tellimise nr. 2350. Trükikoda „Kommunist", Tallinn, Pikk tän. 2.

На эстонском языке.

Г. И. Фалеев и А. В. Перышкин. Физика. II часть.
Для VII класса.

Rbl. 4.—