

Duplum

A16129E

A. MITT ja J. LANG

FÜÜSIKA

KESKKOOLI X KLASSILE

RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“

TALLINN 1946

2/25132

A-16129 I

Duplum

A. MITT ja J. LANG

FÜÜSIKA

KESKKOOLI X KLASSILE

~~1968~~

RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“

TALLINN 1946



A=16129 I

I. Elektrostaatika.

1. **Elektrilaengute märgid.** Erinevad ained omandavad vastastikusel hõõrdumisel elektrilaenguid. Seda panid tähele (juba vanad kreeklased merivaigu juures, mis hõõrutult villase lapiga tekitas sädemeid. Et merivaigu nimetus kreeka keeles oli „elektrón“, siis hakati vastavaid nähtusi edaspidi nimetama elektrinähtusteks ja nende nähtuste põhjust elektriks (Gilbert, a. 1600). Hiljem selgus, et elektrit esineb kahte liiki, mida kokkuleppe järgi hakati nimetama positiivseks (+) ja negatiivseks (—) elektriks (Lichtenberg, a. 1777). Positiivne elekter tekib näiteks klaasi pinnal, kui seda hõõruda amalgaamitud nahaga, kuna negatiivne tekib amalgaamitud nahal. Samuti tekib negatiivne elekter eboniitpulgale, kui seda hõõruda villase lapiga, positiivne elekter seejuures tekib villasel lapil. Üldiselt kogunebki kahe isesuguse keha hõõrdumisel ühele kehale positiivne, teisele aga negatiivne elektrilaeng.

Samanimelised elektrilaengud tõukuvad üksteisest eemale, isenimelised aga tõmbuvad üksteise poole.

Ajaloo st. Esimesed andmed elektri kohta pärinevad kreeka filosoofilt Thaleselt Miletose linnast (640 — 550 a. e. m. a.) Väike-Aasias.

Üle 2000 aasta püsisid elektrinähtused täiesti uurimata ja alles XVII sajandi algul juhtis inglise arst Gilbert oma raamatus „De Magnete“ (1600. a.) tähelepanu magnetismi

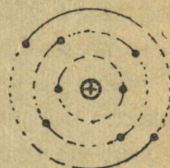
ja elektri nähtuste erinevusele. Otto Guericke ehitas esimesena väävelkuuliga hõõrdumiselektrimasina 1663. a. ja pani tähele tõuketunge elektrilaengute vahel (tal oli kasutada samanimeline laeng). Aastal 1729 märkas inglane Gray, et ühed ained juhvivad ja teised ei juhi elektrit, ühtlasi avastas ta elektrostaatilise induksiooni. 1734. a. tõestas prantslane du Fay, et elektrit on olemas üldse kahte liiki; ühte nimetas ta klaasielektriiks ja teist vaiguelektriiks. Ameeriklane Franklin tõestas 1752. a. välgu elektrilist olemust ja juhtis tähelepanu piksevarda ehitamise võimalusele. 1777. a. hakati Göttingeni professor Lichtenbergi ettepanekul klaasielektrit nimetama positiivseks (+) ja vaiguelektrit negatiivseks (—). Laengute vastastikust mõju uuris Pariisi akadeemik Coulomb (1736—1806), kes sõnastas temanimelise seaduse.

Aastal 1745 ehitas sakslane Kleist nn. leideni purgi, kus sisekattteks oli purkivalatud vesi ja väliskattteks peopesa, millel purk seisis, kuid tuttavaks sai selline kondensaator alles hollandlase, Leiden'i ülikooli professori Muschenbroek'i kaudu, mille tõttu viimast tihti peetakse leideni purgi konstruktoriks. Sakslane Waitz kasutas 1747. a. siidniitide otsa riputatud kaht õhukest metallpleki tükikest esimese elektrooskoobina.

2. **Elektrilaengute tekkimine.** Elektrilaengute tekkimise kohta on olemas terve rida vaateid. Neist kõige tõenäosem on aine aatomi elektrilise ehituse teooria. Selle teooria kohaselt koosneb aine aatom positiivselt laetud üliväikesest ainekübemesest, tuumast, mille ümber tiirlevad ligikaudu elliptilisi orbiite mööda negatiivsed alglengud, nn. **elektronid**.

Piltlikult võrreldes sarnaneb elektronide liikumine ümber tuuma teataval määral planeetide tiirlemisega ümber Päikese. Elektronide arv aatomis sõltub aimest. Kõige

vähem elektrone on vesiniku aatomis ja nimelt üks. Elektronide tiirlemist põhjustab isenimeliselt laetud tuuma tõmbe-
 betung (nagu planeetide tiirlemist põhjustab Päikese tõmbe-
 betung). Elektronide negatiivne laeng kogusummas tasakaalustab — neutra-
 liseerib tuuma positiivse laengu mõju, nii et aatom normaalolukorras on elekt-
 riliselt neutraalne. Mida kaugemal tuu-
 mast elektron liigub, seda nõrgem on
 tuuma mõju temasse, ja mõningatel
 põhjustel, nagu näiteks aatomite vas-
 tastikusel pörkumisel kahe keha hõõr-
 dumise juures, kistakse mõned kaugemad
 elektronid aatomi küljest ära. Et aga seega on ära viidud
 osa aatomi koosseisu kuuluvatest elektronidest, siis aatomi
 elektriline tasakaal kaob ja tema ülejäänud osa on posi-
 tiivne. Ärakistud elektronid liituvad aga teiste aatomite
 külge ja nii koguneb nendesse negatiivset elektrit rohkem
 kui neutraalses aatomis vajalik on. Need aatomid muutu-
 vad negatiivse elektri üleoleku tõttu negatiivseteks. Klaas-
 pulga hõõrumisel amalgaamitud nahaga kistakse klaaspulga
 aatomite küljest osa elektrone ära, mis kogunevad nahale —
 seetõttu muutub nahk negatiivselt laetuks, klaas aga elekt-
 ronide puudujäägi tõttu — positiivselt laetuks.

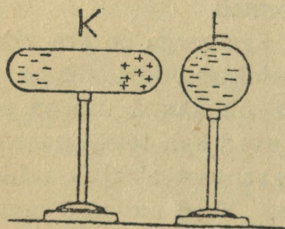


Joon. 1. Hapniku
 aatomi ehitus.

Et elektronid on väga väikese massiga, siis just negatiiv-
 sed laengud on liikuvad, positiivne elekter seevastu, olles
 seotud suuremammassilise tuumaga, ei ole liikuv. Positiivse
 elektri liikuvusest võib rääkida ainult vedelikkudes ja gaa-
 sides, tahketes kehaes positiivsetel laengutel liikuvust ei ole.

3. Juhid ja isolaatorid. Negatiivselt laetud kehale kogu-
 nenud elektronid püüavad sealt vastastikuse eemaletõuku-
 mise tõttu laiali valguda, sest nad on kõik samanimelised.
 Positiivse laenguga keha püüab endale puuduvaid elektrone

juurde saada. Ühendame isenimeliselt laetud kehad omavahel mingi aine abil, siis selgub, et mõned ained võimaldavad elektronide üleminekut hõlpsasti. Need on **juhid** (metallid, inimese keha, niiske puu, mitte täiesti puhas vesi jne.). Teised ained võimaldavad elektronide üleminekut pikaldaselt, need on **pooljuhid** (kuiv puu, paber, nöör jne.), ja mõningad ei võimalda peaaegu üldse, need on mittejuhid ehk **isolaatorid** (merivaik, portselan, eboniit, mitmesugused kunstlikud isoleerained: troliid, bakeliit jne. Kuid ükski aine ei ole absoluutne mittejuht; ka parimad isolaatorid juhivad elektrit, kuigi ülivähesel määral.



Joon. 2. Mõjuelekttri laengute tekkimine.

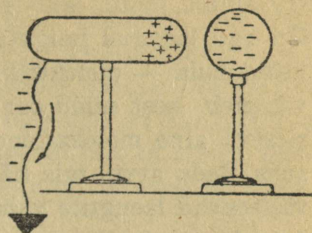
4. **Mõjuelekter.** Olgu antud mingi neutraalne konduktor K (maast isoleeritud juht). Lähendame temale näiteks negatiivselt laetud keha L, siis arvestades laengute vastastikust mõju, võime järeldada, et osa konduktori elektronidest eemaldub laetud kehast kaugemal asuvasse konduktori otsa; laetud keha lähemas otsas tekki-

nud elektronide arvu kahanemise tõttu ilmneb aga positiivne laeng. Kui laetud keha konduktorist eemale viia, siis valguvad elektronid tagasi ja konduktor muutub uuesti neutraalseks (joon. 2).

Maandame konduktori, kui laetud keha viibib veel tema läheduses, siis valguvad vastasotsa kogunenud elektronid maasse, sest nad püüavad samanimelisest laengust võimalikult kaugemale eemalduda. Katkestame maaühenduse ja viime laetud keha eemale, siis elektronide puudujäägi tõttu (osa neist juhtisime maasse) on konduktor positiivselt lae-

tud. Tema neutraliseerimiseks on tarvis puuduvate elektronide asemele ümbruskonnast uusi juurde juhtida (joon. 3).

Elektronide eraldumist aatomitest, laetud kehade läheduses olevates juhtides, nimetatakse elektrostaatiliseks induktsiooniks ja tekkinud laenguid mõjuelektri laenguiks.



Joon. 3. Konduktori laadimine elektrostaatiliselt induktsiooni teel.

Indutseeritud laeng on suuruselt alati vähem kui teda indutseeriv laeng. Samuti sõltub tema suurus ka keskkonnast, milles katse toimub.

5. Elektrihulga ühik. Coulombi seadus. Elektrilaengute suuruse määramisel tarvitatakse põhiühikuna absoluutset elektrostaatilist laengu ühikut, lühendatult — laengühikut (LÜ); 1 LÜ on niisugune laeng, mis teist samasuurt laengut tühjuses 1 cm kaugusel 1-düünilise tungiga mõjutab. Ühe elektroni laeng on $4,805 \cdot 10^{-10}$ LÜ, seega 1 LÜ suuruse laengu saamiseks on vaja $\sim 2,1 \cdot 10^9$ elektroni. Praktilisest seisukohast lähtudes on 1 LÜ väga väike elektrihulk. Suuremaks mõõduühikuks on 1 kulon (1 C).

$$1 \text{ C} = 3 \cdot 10^9 \text{ LÜ.}$$

Laengute vastastikust mõju uuris Coulomb (loe kuloon), kes leidis, et kaks laengut mõjustavad teineteist tungiga, mis on võrdeline laengute suurustega ja pöördvõrdeline laengutevahelise kauguse ruuduga, s. o.

$$f = \frac{e_1 \cdot e_2}{r^2}.$$

f tähistab siin düünide arvu, kui e_1 ja e_2 on mõõdetud LÜ-tes ja r cm-tes. Sellisel kujul on Coulomb'i seadus keh-
 tiv ainult juhul, kui laengute vahel on täiesti tühi ruum. On aga laengud paigutatud mingisugusesse mittejuhtivasse
 keskkonda — **dielektrikusse**, siis nende vastastikune mõju
 väheneb, sest nüüd osa laengute energiast kulub neid ümb-
 ritseva aine molekulides olevate elektrilaengute mõjustami-
 seks. Seda arvu, mis näitab, mitu korda antud keskkonnas
 vähenevad laengute vahel mõjuvad tungid võrreldes tühja
 ruumiga, nimetatakse selle aine **dielektriliseks konstan-
 diks** (ϵ).

Nii omandab Coulombi seadus, juhul kui laengud asuvad dielektrikus, järgmise kuju:

$$f = \frac{1}{\epsilon} \frac{e_1 \cdot e_2}{r^2},$$

kui ϵ on selle aine dielektriline konstant. Aine dielektrilise konstandi väärtus sõltub selle aine molekulide elektrilistest omadustest ja ruumiühikus olevate molekulide arvust. Järg-
 nevas tabelis on antud tähtsamate ainete dielektrilised kon-
 standid.

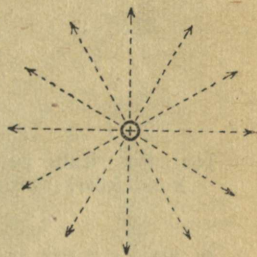
Aine	ϵ	Aine	ϵ
Õhk	1,00059	Jää	2,85
Süsihappe-gaas	1,00097	Teemant	16,5
Eboniit	2—3	Portselan	6,5
Parafiin	~ 2	Glütseriin	56,2
Vilgukivi	6—8	Vesi	81,7
Klaas	4—10	Piiritus	25,7

Et õhu $\epsilon \approx 1$, siis võib Coulombi seadust, kui laenguteva-
 heliseks dielektrikuks on õhk või teised gaasid, kasutada
 kujul:

$$f = \frac{e_1 \cdot e_2}{r^2}.$$

6. Elektriväli. Elektrilaengu ümber olevat piirkonda, mida see laeng veelmärgatavalt mõjustab, nimetatakse selle laengu elektriväljaks. Elektrivälja uurimine on analoogiline magnetivälja uurimisega, kuid sisuliselt on ta siiski lihtsam, sest magnetivälja korral tuleb alati arvestada vähemalt kahe pooluse mõju korraga.

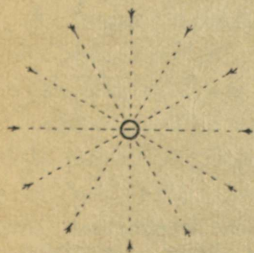
Olgu paigutatud positiivselt laetud kerakonduktori lähedusse vaba positiivne LÜ (aine kübemeke, mille laeng on +1 LÜ), siis tõukub ta konduktori raadiuse pikendust mööda sirgjoonelisel eemale — elektrivälja tõuketung on suunatud kerakonduktorist radiaalselt eemale. Negatiivselt laetud konduktori korral püüaks vaba + LÜ tõmbuda sirgjoonelisel konduktori poole —



Joon. 4. Positiivse konduktori elektriväli.

elektrivälja tõmbetung on suunatud radiaalselt kerakonduktori poole. Analoogiliselt magnetiväljaga nimetatakse elektrivälja tungjoonteks jooni, mis näitavad igas väljapunktis mõjuvate elektri-

tungide suunda. Vaba + LÜ liigub väljas tungjooni mööda positiivse konduktori juurest negatiivse poole ja seetõttu ongi kokku lepitud, et tungjooned väljuvad positiivselt laetud kehast ja suubuvad negatiivselt laetud kehasse.

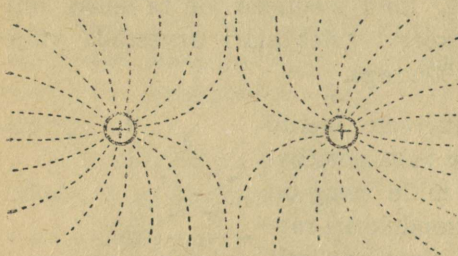


Joon. 5. Negatiivse konduktori elektriväli.

Kerakonduktori ümber on tungjooned radiaalsed sirged. Kahe laengu ühi-

ses väljas asuvasse LÜ-sse mõjuvat resultanttungi leiame selles väljas asuva vaba + laengusse mõjuvate tungide liitmise teel. Joonisel 6-a ja 6-b on kujutatud kahe ühetugevusest laetud kerakonduktori ühine väli.

Elektrivälja tungjoonte demonstreerimisel kasutatakse harilikult õliga (riitsinus) täidetud klaasvanni, mille kahest

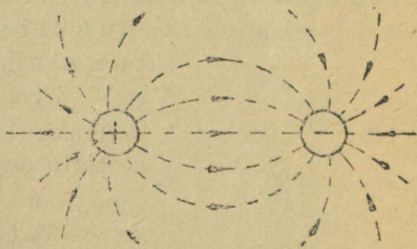


Joon. 6-a. Kahe positiivselt laetud kondukatori ühine elektriväli.

vastasseinast ulatuvad õlisse metallplaadid. Laeme plaadid näiteks isenimeliselt ja puistame õli pinnale kipsipulbrit, siis korraldub pulber aeglasel põhjavajumisel plaatide vahel ahelatesse, mis näitavad selle välja tungjooni.

7. Elektrivälja potentsiaali mõiste töö seisukohalt. Olgu antud positiivselt laetud kerakonduktor. Meie teame, et teda ümbritseb teoreetiliselt lõpmatusse ulatuv elektriväli. Kui tuua selle kondukatori lähedusse + 1 LÜ, siis peame lähendamisel ületama väljas + 1 LÜ suhtes valitseva tõuketungi, seega peame tegema tööd.

Laseme LÜ mingis välja-punktis lahti, siis tõukab väli teda lõpmatusse tagasi, tehes seejuures samuti tööd. Järelikult välja iga punkt omab teatud potentsiaalset energiat. Elektrivälja potentsiaali antud

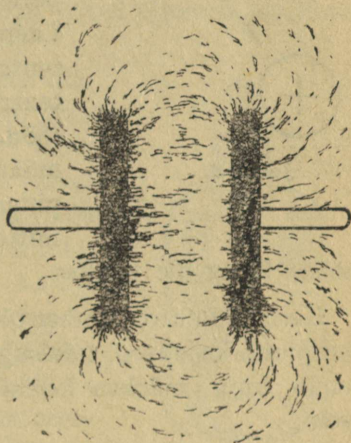


Joon. 6-b. Kahe isenimeliselt laetud kondukatori ühine elektriväli.

punktis mõõdetakse selle tööhulgaga, mis kulub samanimelise laenguühiku toomiseks lõpmatuses kuni selle punkti.

Absoluutne elektrostaatiline potentsiaaliühik (1 PÜ) on välja niisugune potentsiaal, mille puhul absoluutse elektrostaatilise laenguühiku toomiseks lõpmatusest väljaantud punkti kulub 1 erg tööd. On välja potentsiaal 1 volt, siis kulub 1 kuloni toomiseks lõpmatusest antud punkti 1 J tööd. Võrreldes neid ühikuid omavahel, leiame, et $1 \text{ V} = \frac{1}{300} \text{ PÜ}$.

Tõepoolest, kui välja potentsiaal on 1 PÜ, siis temasse 1 LÜ toomiseks lõpmatusest kulub 1 erg tööd, 1-kulonilise laengu toomiseks kuluks siis $3 \cdot 10^9$ korda enam, s. o. $3 \cdot 10^9$ ergi = $300 \cdot 10^7$ ergi = 300 J. Et aga 1-voldise välja potentsiaali korral kulub 1 kuloni toomiseks lõpmatusest temasse ainult 1 J tööd, siis näeme, et $1 \text{ V} = \frac{1}{300} \text{ PÜ}$.

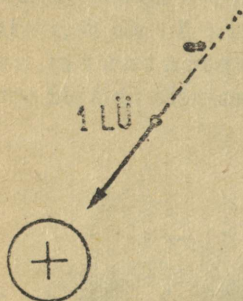


Joon. 7. Elektri tungjooned.

8. Isopotentsiaalsed pinnad. Iga konduktori ümber

olevas elektriväljas leiame punkte, millel on üks ja sama potentsiaal. Olgu antud konduktori K ümber oleva elektrivälja punkti A potentsiaal 5 V, siis võime selles väljas näidata veel palju punkte, kus valitsev potentsiaal on 5 V; kõik need punktid asuvad ühel pinnal, mida nimetatakse isopotentsiaalseks ehk sama potentsiaaliga pinnaks. Väheema potentsiaaliga pinnad asuvad konduktorist kaugemal ja suurema potentsiaaliga pin-

nad konduktorile lähemal. Maksimaalne potentsiaal on konduktori pinnal (mispärast?), mis ise kujutab üht isopotentsiaalpinda.



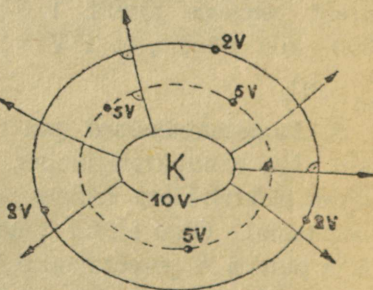
Joon. 8.

Matemaatiline arutus näitab, et isopotentsiaalsed pinnad on risti elektrivälja tungjoontega, seetõttu mingi laengu liigutamiseks antud elektrivälja isopotentsiaalpinda mööda tööd ei kulu. Laengu üleviimisel ühest isopotentsiaalpinna teise suurema potentsiaaliga pinna tuleb teha tööd, kusjuures tehtud tööhulga määrab ainuüksi see, missugusest pinnast missuguseni viidi laeng üle, mitte aga sellest, missugust teed

mööda laeng üle viiakse.

Kerakonduktori ümber olevad isopotentsiaalsed pinnad on kerapinna kujulised, teistsuguste konduktorite juures on aga nende kuju märksa keerulisem.

9. Elektroskoop. Elektroskoopideks nimetatakse riistu, mis võimaldavad näidata laengu olemasolu kehal. Elektroskoop koosneb kuulikesega varustatud (milleks?) metallvardast, mille alumise otsa küljes ripuvad kaks õhukest siidpaberist või mõnest muust kergest aine



Joon. 9. Isopotentsiaalpinnad.

ribast. Metallvarb läbib eboniidist või me-

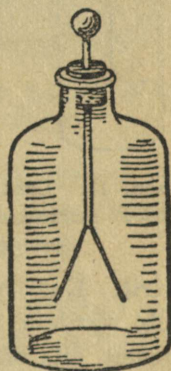
rivaigust korgi, mis suleb purgikuulise klaasanuma kaela. Purgi ülesandeks on kaitseda õrnu lehekesi väliste mõjude eest: juhuslik puudutamine või tuuletõmbus võib lehekesi purustada.

Kui puudutada elektroskoobi varrast neutraalse kehaga, siis ei märka me midagi, sest nii kehal kui ka vardal on elektronide ja tuumade laengud tasakaalustatud ja mingit elektronide üleminekut kehast vardale ega ka vastupidises suunas ei teki. Puudutame aga elektroskoobi varrast näiteks negatiivselt laetud kehaga, siis lehekestele üeläinud samanimeliste laengute tõukuva mõju tõttu lähevad lehekesed laiali.

Tugevalt laetud kehaga ei ole otsarbekohane elektroskoobi varrast puudutada, sest lehekesed võivad laiali minnes järsu tugeva tõukumise tõttu rebeneda (tundlikkude elektroskoopide korral). Laengu olemasolu kehal võib kindlaks teha ka seda keha elektroskoobile lähendades. Lähendame elektroskoobi vardale näiteks positiivselt laetud keha, siis elektrostaatilise induktsiooni mõjul (§ 4) osa vardas olevatest elektronidest lahkub aatomitest ja koguneb varda ülemisse otsa, kuna alumisse otsa ja lehekestesse jääb positiivne laeng, mille mõjul lehekesed laiali lähevad (joon. 11).

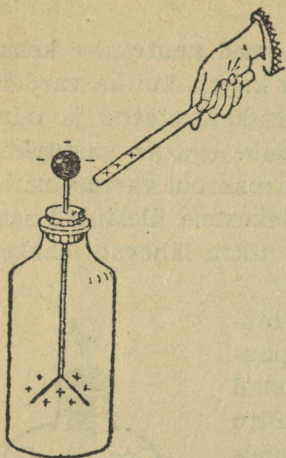
Elektroskoobi abil võib peale laengu olemasolu veel kindlaks teha:

1) Keha laengu märki. Laeme elektroskoobi näiteks negatiivselt ja lähendame temale negatiivselt laetud keha, siis vastastikuse tõukumise tõttu koonduvad var-



Joon. 10. Elektro-
skoop.

das olevad elektronid alumisse otsa ja lehekestesse, mille tõttu viimased veel rohkem laiali lähevad. Positiivse keha lähendamisel negatiivselt laetud vardale tõmbuvad elektronid varda ülemisse otsa, lehekeste laeng kahaneb ja nad langevad koomale. Üldiselt samanimeliselt laetud keha lähendamisel elektroskoobi vardale lähevad lehekesed laiali, isenimelise laengu lähendamisel langevad lehekesed kokku.



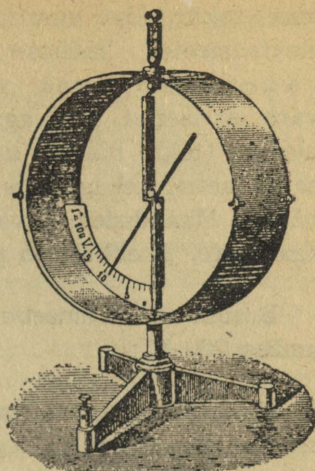
Joon. 11. Laengu olemasoleku määramine elektroskoobiga.

2) Ainete elektrijuhtivust. Maandame elektroskoobi varda mingi uuritava aine, näiteks metalltraadi, abil — laeng kaob. Siit järeldame, et traat juhib elektrit. Kui maandamisel laeng ikkagi jääb elektroskoobi vardale, siis antud aine on isoleaator. Kaob laeng aeglaselt, siis on uuritav aine pooljuht.

3) Et kõikide isenimeliste kehade vastastikusel hõõrdumisel elektriseeruvad mõlemad kehad (juhtivad kehad kinnitada enne isoleeriva käepideme külge!).

4) Võrdsed, kuid isenimelised laengud neutraliseeruvad. Ühendame kaks isenimeliselt samatugevalt laetud ühesugust elektroskoopi isoleeriva käepideme külge kinnitatud metalltraadiga — lehekesed langevad mõlemas elektroskoobis kokku, s. t. laengud neutraliseerusid.

10. **Elektromeeter.** Skaalaga varustatud elektroskoopi nimetatakse **elektromeetriks**. Koolides tarvitatakse katsete korraldamisel sageli Brauni-tüübilist elektromeetrit. Läbi rõngasarnase metallsilindri läheb kerest eboniidi või merivaiguga isoleeritud varb, mille alumine ots kannab skaalat. Keskkohas on varb kaks korda täisnurkselt murtud ning läbi varva lõigatud ava ripub horisontaalvõllile kinnitatud kerge alumiinium toruke, mis on osuti. Raskuse mõjul asetub toruke laadimata olukorras vertikaalselt ja tema alumine ots seisab 0-punkti kohal. Laetult tõukub toruke varvast eemale (tundide paar). Osuti kõrvalekaldumise ehk hälve suuruse loeme skaalalt.



Joon. 12. Brauni elektromeeter.

Anneme kahele isesuursele konduktorile võrdsed positiivsed laengud, siis on väiksemal konduktoril potentsiaal kõrgem kui suuremal. Selle tõendamiseks ühendame Brauni elektromeetri kord suurema kord väiksema konduktoriga, selgub, et osuti annab suurema hälve siis kui ühendus oli väiksema konduktoriga. See tähendab, et **elektromeeter ei mõõda elektrihulka**, mis kehal asub (laengud olid võrdsed), vaid sellel kehal oleva laengu potentsiaali.

Paigutame elektromeetri isoleeritud alusele ja ühendame tema varva laetud kehaga. Osuti annab hälve. Ühendame nüüd sama kehaga ka elektromeetri kere — hälve kaob. Maandame seejärel varva, puudutades laetud kehaga ainult

kere, tekib hälve uuesti. Sellest katsest tuleb järeldada, et elektromeeter mõõdab tegelikult potentsiaalide vahet ehk pinget varva ja kere vahel. Nimelt kui varb on laetud, kere aga mitte, siis on nende vahel pinge olemas (tekib hälve), kui aga kere ja varb on ühenduses sama laetud kehaga, siis nende vahel pinget ei ole (puudub hälve). Maandades varva kõrvaldame temast laengu, kerelt aga mitte, järelkult on pinge jälle olemas (tekib hälve).

Brauni elektromeetri skaala üks jaotusvahemik vastab umbes 200 V.

Maa potentsiaali loetakse kokkuleppe põhjal nulliks, sest nii positiivselt kui ka negatiivselt laetud elektromeeter kaotab maandatult oma laengu. Järelikult peab maa potentsiaal olema positiivse ja negatiivse potentsiaali vahepealne, s. t. 0. Faktiliselt on Maal teatav negatiivne laeng, mida võib otsustada mitmesuguste atmosfäärilise elektri nähtuste põhjal, kuid selle laengu potentsiaali elektromeetriga mõõta ei saa (mis põhjusel?). Et ei tekiks lahkuminekut mõõtmisviisides, siis katsete korraldamisel maandatakse elektromeetri kere, nii et elektromeeter mõõdab pinget Maa ja laetud keha vahel.

11. **Mahtuvus.** Katse näitab, et kehale laengu andmisel tõuseb kõrgemaks ta potentsiaal. Seda nähtust võime võrrelda soojendatava kehaga: mida rohkem soojust talle anname, seda suuremaks tõuseb ta temperatuur. Kehade soojendamiseks 1°C võrra kulub mitmesugune soojuse hulk, mis sõltub keha ainst ja aine hulgast. Soojuse hulk, mis tõstab keha temperatuuri 1°C võrra, näitab keha soojuse mahtuvust.

Analoogiliselt näitavad katsed ka seda, et mitmesuguste kehade laadimiseks ühe ja sama potentsiaalini on tarvis

neile anda mitmesugused elektri hulgad. Seega erinevatel kehadel on erinev elektrimahtuvus.

Keha elektrimahtuvust mõõdetakse elektri hulgaga, mis kulub keha potentsiaali tõstmiseks 1 voldi võrra (soojusmahtuvus on analoogiline mõiste soojusõpetuses).

Kui konduktori elektrimahtuvus on C , siis tähendab see, et selle konduktori potentsiaali tõstmiseks 1 voldi võrra kulub elektrilaeng, mille suurus on C kulonit. Et keha potentsiaal on võrdeline tema laengu suurusega, siis sama keha potentsiaali tõstmiseks 2 voldi võrra kulub laeng $2C$ kulonit, 3 voldi võrra $3C$ kulonit jne. Potentsiaali muutmiseks U voldi võrra kulub laeng, mille suurus on $C U$. Tähistades konduktori laengu suuruse Q -ga, saame eelmise põhjal:

$$Q = C \cdot U$$

Sellest valemist näeme, et konduktori laengu suurus on võrdeline konduktori elektrimahtuvusega ja potentsiaaliga. Samast valemist võime tuletada järgmise:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Juhul, kui $Q = 1$ ja $U = 1$, siis on ka $C = 1$, millest järeldame, et konduktori mahtuvuse ühikuna tuleb mõista niisuguse konduktori mahtuvust, mille potentsiaal muutub ühe potentsiaaliühiku võrra, kui talle antakse laeng üks elektrilaengu ühik.

Mahtuvuse tehniliseks ühikuks on 1 farad (**F**). 1 F on niisugune konduktori mahtuvus, mille potentsiaali muutmiseks 1 V võrra kulub

1 kulon elektrit. See on väga suur ühik. Kui tahaksime valmistada kerakonduktori mahtuvusega 1 F, siis selle kera raadius peaks olema ~ 23 kordne Maa ja Kuu vaheline kaugus. Tegelikult tarvitatakse ühikuna $1 \mu F = 0,000001 F$ (Maakera mahtuvus on $\sim 700 \mu F$).

Absoluutse elektrimahtuvuse ühiku all mõistetakse niisuguse konduktori mahtuvust, mille potentsiaalmuutub ühe absoluutse potentsiaaliühiku võrra, kui temale paigutada 1 absoluutne laenguühik (LÜ).

Teoreetilised ja katselised uurimised näitavad, et elektrimahtuvuse 1 absoluutset ühikut omab kera, mille raadius on 1 cm. Seda elektrimahtuvuse ühikut nimetatakse seetõttu ka cm. Edasi on leitud, et kerakujulise keha elektrimahtuvus on võrdeline kera raadiusega. Seega keral, mille raadius r cm, on ka elektrimahtuvus r cm. Elektrimahtuvuse absoluutne ühik on seotud tehnilise mahtuvuse ühikuga 1 farad järgmiselt:

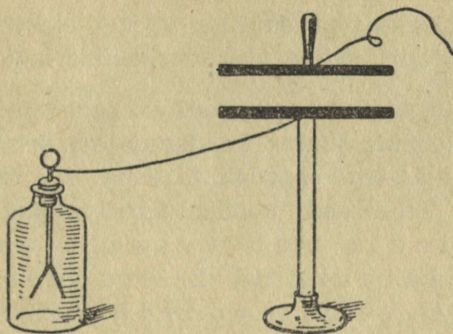
$$1 \text{ kulon} = 3 \cdot 10^9 \text{ abs. laenguühikut}; 1 \text{ volt} = \frac{1}{300} \text{ abs. ping-}$$

$$\text{ühikut, järelikult } 1 \text{ farad} = \frac{\text{kulon}}{\text{volt}} = \frac{3 \cdot 10^9}{\frac{1}{300}} =$$

$$= 9 \cdot 10^{11} \text{ cm.}$$

12. Kondensaator. Ühendame plaatkonduktori elektrooskoobiga ja anname talle näiteks negatiivse laengu, siis elektrooskoop näitab potentsiaali konduktori pinnal. Lähendame nüüd laetud konduktorile teise maandatud konduktori, siis näeme, et elektrooskoobi leheke langeb allapoole. Seda nähtust tuleb seletada elektrostaatilise induktsiooniga. Maandatud konduktoril tekib positiivne laeng sellel pinnal, mis on negatiivsele konduktorile lähemal (isenime-

line), kuna negatiivne laeng tekib vastasosal (samanime-line). Ühtlasi seovad osaliselt teineteist maandamata konduk-tori negatiivne ja maandatud konduk-tori positiivne laeng, nii et maandamata konduk-tori laeng ei suuda enam avaldada endist välismõju ja tema potentsiaal langeb. Maandatud konduk-tori negatiivne laeng valgub aga maasse.



Joon. 13. Kondensaator.

Et maandamata konduk-tori potent-siaali tõsta endisele tasemele, tuleb tema negatiivset laengut suurendada; see tähendab, et tema elektrimahtuvus on suurenenud.

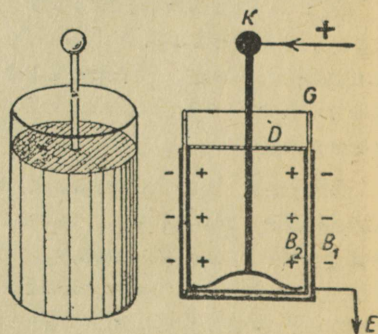
Üldiselt iga konduk-tori mahtuvus suureneb, kui tema lähedusse paigutada teine maandatud konduk-tor. Nii-sugust süsteemi, mis koosneb kahest ligistikku asuvast, teineteisest isoleeritud maandamata ja maandatud konduk-torist, nimetatakse kondensaatoriks. Kondensaatori mahtuvus sõltub plaatide pinna suuruselt, plaatidevahelisest kaugusest ja plaatide vahel olevast dielektrikust.

$$\text{Plaatkondensaatori mahtuvus } C = \frac{\varepsilon \cdot S}{4 \pi \delta},$$

kus C on konduktori mahtuvus cm-tes , S plaatide pindala $\text{cm}^2\text{-tes}$, δ plaatide kaugus cm-tes ja ε plaatidevahelise dielektriku konstant.

Sellest valemist näeme, et kondensaatori mahtuvus on võrdeline plaatide pinnasuurusega ja dielektriku konstandiga ning pöördvõrdeline plaatidevahelise kaugusega.

Eespoolkirjeldatud kondensaatorit tarvitatakse peamiselt demonstratsioonide juures kondensaatori printsiibi selgitamiseks, tehnikas teda ei tarvitata tema liiga väikese mahtuvuse tõttu. Tehnilised kondensaatorid jaotatakse kahte liiki: 1) kindla mahtuvusega ehk plokk-kondensaatorid ja 2) muudetava mahtuvusega ehk pöördkondensaatorid. Plokk-kondensaatoreid valmistatakse kõige sagedamini järgmiselt: võetakse kaks pikka riba tinapaberit (stannioli) ja isoleeritakse nad teineteisest parafineeritud paberiga, rullitakse nad kõik kokku ja paigutatakse metallist kaitsetorusse. Üks tinapaberi ribadest ühendatakse kaitsetoru seinaga (maandamine) ja teise külge kinnitatakse ühendus, mis isoleeritult väljub kaitsetorust maandamata. Et tinapaberi pindala on võrdlemisi suur, nendevaheline

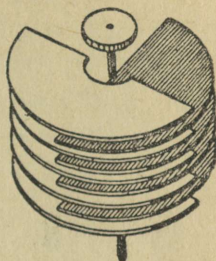


Joon. 14. Leideni purk.

kaugus aga väike ja parafineeritud paber dielektrikuna avaldab mahtuvusele suurendavat mõju, siis niisuguste kondensaatorite mahtuvused on kaunis suured (mõni μF). Pinge plaatide vahel ei tohi olla suur, sest vastasel korral

lööb säde parafineeritud paberi läbi, ja kondensaator on rikutud. Kondensaatori kaitsetorule on märgitud ülim pinge, mida ta kannatab, harilikult on see 500—700 V.

Katsete juures, kus pole tarvis saavutada eriti suurt mahtuvust, küll aga peab olema suur plaatidevaheline pinge (kümneid tuhandeid volte), tarvitatakse Leideni purki. See on klaaspurk, mis nii seest kui ka väljast on $\frac{2}{3}$ kõrguseni kaetud tinapaberiga. Väliskate maandatakse, kuna sisekattele antakse laeng.



Joon. 15.
Pöördkondensaator.

Muudetava mahtuvusega kondensaatoreid nimetatakse pöördkondensaatoriteks. Nad koosnevad kahest paralleelsete plaatide süsteemist, millest üks on liikumatu, teine aga võlli abil pööratav. Liikumatud plaadid on omavahel ühendatud, samuti on omavahel ühendatud ka liikuvad plaadid. Mahtuvuse suurendamisel pööratakse liikuv süsteem liikumata süsteemi plaatide vahele (plaadid kokku ei puutu), mistõttu vastamisi seisev plaatide pindala suureneb, ühtlasi sellega suureneb pidevalt ka kondensaatori mahtuvus. Pöördkondensaatori dielektrikuks on tavaliselt kas õhk või mõni õli.

II. Elektrodünaamika.

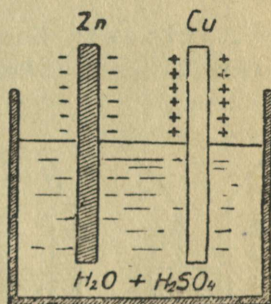
Elektrivool ja selle omadused.

13. Tuntuimad galvaani elemendid. Elektrostaatikas vaatlesime elektri laenguid ja nende omadusi. Nägime muuseas, et kahe erisuguse potentsiaaliga konduktori ühendamisel tekkis elektri laengu liikumine ehk voolamine ühelt konduktorilt teisele. Sellisel teel tekitatud elektrivool on lühikesteline, ainult mõni murdosa sekundist. Siis ühtlustuvad potentsiaalid mõlematel konduktoritel ja elektri voolamine lõpeb. Pideva elektrivoolu saamiseks tuleks konduktorite pinget kehtvalt alal hoida. Seda võimaldavad mitmesugused seadised, milledest sagedamini kasutatavad on galvaani elemendid.

Pistame lahjendatud väävelhappega täidetud purki mingi metallpulga, näit. tsingi, mida hape keemiliselt mõjustab. Tekib keemiline reaktsioon, mille füüsikaliseks kaasnähtuseks on elektrilaengute ilmumine. Nimelt selgub tundliku elektromeetriga uurides, et tsinkplaat on laetud negatiivselt, vedelik aga positiivselt. Parema ühendusvõimaluse loomiseks asetatakse vedelikku mingi teine juhtiv plaat, mida hape keemiliselt kas üldse ei mõjusta (süsi) või mõjustab väga nõrgalt (vask) — sellele plaadile koguneb positiivne

elekter. Tarvitades vedelikuna väävelhapet, positiivse elektroodina ehk **anoodina** vaskplaati, negatiivse elektroodina ehk **katoodina** tsinkplaati, saame nn. volta elemendi; tema elektroodide pinget on umbes 1 V. Kui ühendame elektroodid omavahel, tekib kestav elektrivoolamine, sest vahetpidamata toimuva keemilise reaktsiooni tõttu eraldub elektrit küllaldasel määral, et pinget elektroodide vahel pidevalt alal hoida. Praktiliselt seda elementi ei kasutata mitmesuguste puuduste tõttu.

Eriti sagedasti tarvitatakse lekklanšee elemente, sest need suudavad alal hoida võrdlemisi ühtlast pinget ega sisalda vedelikuna happeid, mis nahale või riietelega sattudes põletavalt mõjuvad. Lekklanšee elemendi katoodiks on tsink; anoodiks on süsi, mis on ümbritsetud mangaanülilihapendi kihiga; vedelikuks on salmiaagi (NH_4Cl) lahus. Pinget on 1,4—1,5 volti. Praktikas tarvitatakse teda sageli „kuivelemendina“, näit. telefoni aparaatide või kolmekaupa järjestikku lülitatult taskulambi patareides jne.



Joon. 16. Volta element.

Et tsink elementides kauem vastu peaks, selleks amalgaamitakse tema pinda, hõõrutakse tsingi külgpinnale õhuke elavhõbeda kiht peale, mis võimaldab vedelikul ühineda tsingiga ainult tema alumise otsa kaudu.

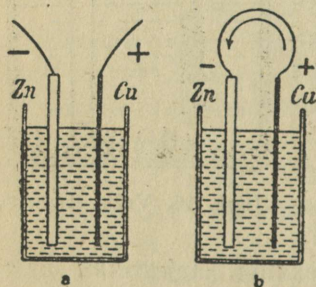
Kui elemendist voolu ei võeta, s. t. elektroodid on omavahel ühendamata, siis öeldakse, et element on avatud, on aga elektroodid omavahel ühendatud, siis on meil tegemist suletud elemendiga. Kontrollides voltmeetriga avatud ja suletud elemendi pinget, selgub, et avatud elemendi pinget on

suletud elemendi pingest suurem. Tavaliselt nimetatakse avatud elemendi pinget **elektromotoorseks** jõuks ja suletud elemendi pinget **klemmide pingeks**.

Elemendi pinge ei olene tema suurusest, vaid tema koosseisu kuuluvatest ainetest ja lahuse kontsentratsioonist.

1. Mida nimetatakse elemendi poolusteks?
2. Milliseid lülitusviise tarvitatakse elementide ühendamisel patareiks?

Ajaloo st: Esimese galvaani elemendi ehitas 1800. a. paiku füüsika professor Alessandro Volta Itaalias.



Joon. 17. Avatud ja suletud element.

14. **Voolu suund. Voolu tugevus.** Elektronide liikuvusest (§ 2) me teame, et elektrivoolamise tegelik suund elemendi pooluste ühendamisel juhtmega on katoodilt (—) anoodile (+), s. o. elektronide liikumise suund, kuid tehnikas kasutatakse nn. konventsionaalset (kokkuleppe) voolusuunda, mis tegeliku elektrivoolamise suunaga

on just vastupidine, s. t. anoodilt (+) katoodile (—). Selline ebaõnnestunud kokkulepeteostus mõningate ekslikkude kaalutluste alusel üle saja aasta enne seda, kui sai selgeks aatomi ehitus ja ühes sellega lahenes ühtlasi ka laengute liikumise küsimus. Ka käesolevas õpikus peetakse kinni konventsionaalsest voolusuunast, sest üleminek mitmesuguste küsimuste käsitlemisele, lähtudes tege-

likust voolusuunast, on nii kaua ebaotstarbekohane, kuni tehnikas peetakse kinni konventsionaalsest voolusuunast.

Veevoolu tugevust torus mõõdetakse veehulga järgi, mis 1 sekundis toru läbib, näiteks kuupmeetrites või liitrites 1 sekundi kohta.

Veevoolu tugevus on seejuures kõigis toruosades üks ja sama, sest vastasel korral peaks kuhugi vett kogunema. Samuti võime rääkida gaasivoolu tugevusest. Analoogiliselt mõistetakse elektrivoolu tugevuse all elektrihulka, mis 1 sekundi kestel juhett läbib.

Voolutugevuse ühikuks on amper (A). Kui juhtme ristlõiku läbib 1 sekundi kestel 1 kulon elektrit, on voolutugevus 1 amper. Seega voolutugevus

$$I = \frac{e}{t} \text{ (amprit),}$$

kui e on t sekundi kestel juhtmest läbi voolanud elektrihulk kulonites. Väiksema ühikuna tarvitatakse milliamprit (mA); $1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A}$.

Nagu veevoolamise, nii ka elektrivoolu puhul on voolu tugevus kõikides vooluahela juhtme ristlõikudes üks ja sama. Seda näitavad ka ahela mitmesugustesse osadesse lülitatud voolutugevuse mõõtjad — ampermeetrid.

15. Eritakistus. Elektrivoolu metallides tekitavad elektronid, mis liiguvad seal pingel toimel. Liikumisel metalli aatomite ja molekulide vahel põrkavad elektronid nendega kokku ja kaotavad osa oma liikumisenergiast. Selle elektronide liikumiseenergia kao tulemuseks ongi juhtme takistus.

Juhtme takistus sõltub mitmesuguseist tegureist, peamiselt aga juhtme ainest, pikkusest ja tema ristlõigu pindalast.

Takistuse mõõduühikuks on $1 \text{ oom } (\Omega)$. See on niisuguse juhtme takistus, milles ühe voldine pinge tekitab ühe ampri tugevusega voolu. Praktiliselt annab sellise takistuse $106,3 \text{ cm}$ pikkune 1 mm^2 ristlõike pindalaga elavhõbedasamas 0° juures. (Elavhõbe on valitud seepärast, et teda võib saada täiesti puhtalt destillatsiooni abil).

1 miljon oomi on 1 megoom ($1M\Omega$).

Erinevaist aineist juhtmete takistust iseloomustab aine eritakistus (ρ). Eritakistuse all mõistetakse 1 m pikkuse 1 mm^2 ristlõike pindalaga traadi takistust oomides. Järgnevas tabelis on antud mõningad eritakistused (18° temperatuuril).

Aine	ρ	Aine	ρ
Hõbe	0,016	Nikeliin	0,4
Vask	0,017	Kroomnikkel	1,1
Alumiinium	0,027	Väävelhape (30%)	13520
Raud	0,15	—,— (20%)	15000
Tina	0,15	—,— (5%)	48000
Elavhõbe	0,96	Keedusoola lahus (20%)	50000
Grafiit	0,4	Vasevitriooli lahus (18%)	220000

Selles tabelis esitatud eritakistused on õiged ainult keemiliselt puhta aine jaoks. Igasugused lisandid võivad olu-

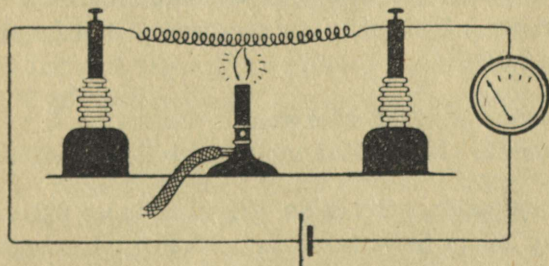
liselt muuta eritakistuse väärtust. Aine eritakistuse pöördväärtust nimetatakse erijuhtivuseks ja tähistatakse tähega κ . Seega $\kappa = \frac{1}{\rho}$. Huvitavaks nähtuseks on see, et ainete erijuhtivused ja soojusejuhtivused on omavahel teatavas seoses, nimelt: hea soojusejuhtivusega ained on ka head elektriühid ning ümberpöörduvalt.

16. **Juhtmetakistusi.** Juhtmetakistus on võrdeline aine eritakistusega ja juhtme pikkusega, kuid pöördvõrdeline juhtme ristlõike pindalaga; matemaatiliselt väljendatakse see seos valemiga

$$R = \rho \frac{l}{q}$$

kui R on antud oomides, l m-tes ja q mm²-tes.

Vähemal määral mõjustab juhtme takistust ka temperatuur. Tavaliselt temperatuuri tõustes metallide eritakistus



Joon. 18. Takistuse olenevus temperatuurist.

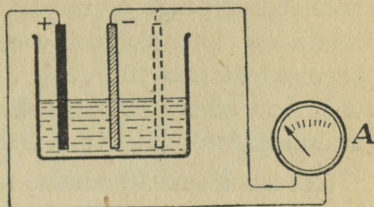
suureneb ($\sim 0,3 - 0,5\%$ tema väärtusest 0°C juures soojenemisel 1° võrra). Seda omadust kasutatakse väga täpsete termomeetrite ehitamisel (piromeetrid täpsusega

0,001°). Temperatuuri langedes absoluutse nulli lähedusse muutuvad mõned metallid (näit. tina) ülijuhtideks, s. t. nende eritakistus kahaneb nullini. Sõe ja vedelikkude eritakistused kahanevad temperatuuri kasvamisel. Mõningate ainete, näiteks vismuti, eritakistus suureneb magnetiväljas. Vismuttraadist spiraali takistuse muutumist magnetiväljas kasutatakse seepärast välja tugevuse mõõtmiseks. Selleeni eritakistus kahaneb tema valgustamisel. Rõhumise suurenedes mõningate metallide (manganiin) eritakistus suureneb. Seda omadust kasutatakse väga suurte rõhumiste mõõtmisteks.

1. Kui suur on elektrikõlisti vaskjuhtme takistus, kui tema pikkus on 20 m ja läbimõõt 1 mm?
2. Leida raudtraadi takistus, kui tema pikkus on 100 m ja läbimõõt 0,2 mm.
3. 120-oomise reostaadi valmistamiseks tarvitati 0,8 mm jämedust ümmargust manganiintraati ($\rho = 0,42$). Kui pikk traat tuli selleks võtta?
4. Ruudulise ristlõikega nikeliintraadi jämedus on 0,3 cm. Kui pikk on see traat, kui tema takistus on $0,6\Omega$?
5. Poolile keritud vasktraadi pikkus on 1 km ja tema takistus 120Ω . Kui suur on selle traadi diameeter?
6. Metallpaela pikkus on 120 mm, laius 0,2 cm ja pakusus 20μ , tema takistus on $0,15\Omega$. Kui suur on tema eritakistus?
7. Akumulaatori plaatide pindade suurus on $2,4 \text{ dm}^2$ ja plaatide vastastikune kaugus 1 cm. Kui suur on plaatide vahel oleva 20%-se väävelhappe kihi takistus?

8. Kui palju kaalub alumiiniumist traat ($\rho = 0,03$), mille läbimõõt on 0,12 cm ja takistus 60Ω ($e = 2,7 \text{ G/cm}^3$)?

17. **Sise- ja välistakistus.** Võtame pikerguse klaasvanni, valame temasse $\frac{1}{3}$ kõrguseni salmiaagi lahust ja asetame sinna teineteise lähedusse söe ja tsinkplaadi: saame lekklansee elemendi. Ühendame elemendi poolused ampermeetriga, siis näitab see teatavat voolu tugevust.



Joon. 19. Sisetakistus.

Kui tsinkplaat söeplaadist viia eemale (joon. 19), siis vedelikusammas plaatide vahele pikeneb ja me paneme tähele, et ampermeeter näitab nõrgemat voolu. Et juhtmestiku takistus ja elemendi pinge jäid katse kestel endiseks, siis põhjustas voolu nõrgenemist nähtavasti vedelikusamba takistuse suurenemine samba pikendamise tõttu.

Jätame nüüd elektrodid paigale ja valame salmiaagi lahust juurde. Siis lahusesse ulatuv elektrodide pindala suureneb ja elektrivool tugevneb. Sellest järeldame, et vedelikusamba läbilõike suurenemisel tema takistus väheneb.

Nii näeme, et ka vooluallikas endas on takistus, mida nimetatakse ahela sisetakistuseks. Juhtmete takistus aga on välistakistus. Ahela kogutakistus võrdub sise- ja välistakistuse summaga: $R = R_s + R_v$. Mõningatel vooluallikatel, näiteks akumulaatoritel, on sisetakistus peaaegu null, sest plaadid asetsevad teineteisele väga lähedal (0,5 — 1 cm) ja vedelikusamba läbilõike on suur (akumulaatori sisetakistust praktiliselt ei arvestata). Sisetakistuse arvutamiseks kasutame samuti valemit

$$R_s = \rho \frac{l}{q}$$

18. **Ohmi seadus.** Olgu antud väga väikese sisetakistusega vooluallikas. Selleks on sobiv tina-akumulaator. Tema elektroodide pinge on 2 volti. Ühendame ta ampermeetriga, kasutades ühendamisel kordamööda kindlate takistustega juhtmeid, näiteks 10Ω , 5Ω , 2Ω ja 1Ω . Juhul, kui sisetakistus R_s on võrreldes välistakistusega R_v tähtsusetult väike (akumulaator), siis võib teda arvestamata jätta.

Kui kasutame 10-oomise takistusega juhet, näitab ampermeeter voolu tugevust 0,2 amprit, 4-oomise takistuse korral on voolu tugevus 0,5 A. 2-oomise takistuse korral 1 A ja 1-oomise takistuse puhul 2 A.

Elektrivoolu tugevust vooluallika pinge ja ahela takistuse muutumisel uuris analoogiliselt kirjeldatud katsega saksa füüsik Ohm, kes leidis, et voolu tugevus ahelas on võrdeline pingega ja pöördvõrdeline ahela kogutakistusega. Sümbolsest märgime seda nõnda:

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

kus I on väljendatud amprites, kui U on voltides ja R oomides.

Kui sisetakistus R_s ei ole tunduvalt väiksem välistakistusest R_v , siis tuleb ka seda arvestada ja Ohmi seadus omandab järgmise kuju:

$$I = \frac{U}{R_v + R_s}$$

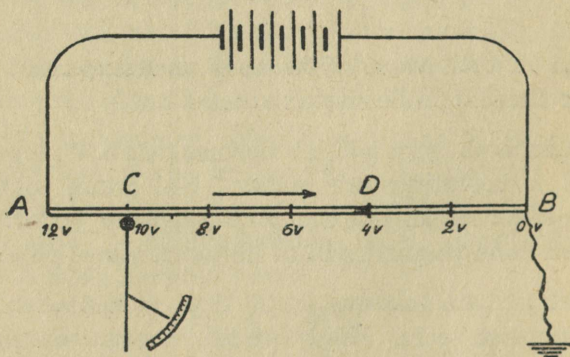
Juhul, kui vooluahela välisosas on mitu takistust R_1 ; R_2 ; R_3 ; R_n lülitatud järjestikku, siis kogu välistakistus võrdub üksikute osade takistuste summaga $R_v = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$.

Ajalooost: G. S. Ohm, saksa füüsik, avastas tema nime kandva seaduse aastal 1826.

1. Kui suur on taskulambi pirni hõõgniidi takistus, kui ta tarvitab normaalseks hõõgumiseks 4,5-voldise pinge juures 0,2-amprist voolu?
2. Elemendi sisetakistus on $0,8 \Omega$ ja juhtmete takistus $4,8 \Omega$, voolu tugevus ahelas on $0,35 \text{ A}$. Kui suur on elemendi pinge?
3. Elemendi pinge on $1,5 \text{ V}$ ja sisetakistus $2,1 \Omega$. Tema poolused on ühendatud 10 m pikkuse, $0,5\text{-mm}^2$ ristlõike pindalaga traadi abil. Kui tugev vool läbib ahelat?
4. Kui tugevat voolu võiks anda maksimaalselt leklansee element, mille sisetakistus on 2Ω ?
5. Taskulambi pirn hõõgub normaalselt 5 V pinge korral $0,2 \text{ A}$ voolutugevuse juures. Kui suure takistusega reostaat tuleks lülitada pirni ahelasse järjestikku, et pirn linna valgustusvõrku lülitatult läbi ei põleks?
6. Elektririista takistus on 20Ω ja ta kannatab ülimalt 5-amprist voolu. Kui suure takistusega reostaat tuleb ühendada ahelasse järjestikku, et riist läbi ei põleks, kui ta lülitada valgustusvõrku?

19. Potentsiaali langus juhtmes ja Ohmi seaduse rakendamise üksikute ahela osade kohta. Olgu 12-voldise patarei elektroodid omavahel ühendatud ühtlase jämedusega metalltraadi abil, mille takistus on 6Ω . Maandame patarei katoodi. Siis tema potentsiaal on 0 V ja anoodi potentsiaal $+12 \text{ V}$. Uurides tundliku elektromeetriga ühendusjuhtme potentsiaale mitmes kohas, selgub, et $\frac{1}{6}$ juhtme pikkusel, lugedes anoodilt punktis C, potentsiaal on 10 V ; juhtme keskkohas on 6 V ; $\frac{2}{3}$ pikkusel punktis D on potentsiaal 4 V . Sellest näeme, et potentsiaal langeb piki juhett ja et ühtlases juhtmes on potentsiaali langus ühtlane.

Määrame voolutugevuse ahelas: $I = \frac{12}{6} = 2$ A. Voolutugevus peab olema ahela igas osas ühesugune. (§ 14). Seda võime ka näidata antud juhul järgmise arutlusega: Takistus punktide A ja C vahel peab olema $\frac{1}{6} \cdot 6 = 1 \Omega$ (ühtlane juhe). Pinge samade punktide vahel on aga $12 \text{ V} - 10 \text{ V} = 2 \text{ V}$. Järelikult on voolutugevus $\frac{4}{2} = 2$ A. Ühtlasi näeme, et Ohmi seadus on kehtiv mitte ainult terve ahela,



Joon. 20. Potentsiaali langus juhtmes.

vaid ka ahela iga osa kohta. See tähendab, et me võime voolutugevust ahelas kätte saada sel teel, et möödame voltmeetri abil pinge ahela kahe punkti vahel ja jagame selle ahela osa takistusega.

Võrdleme potentsiaali langust punktide D ja B, siis C ja D vahel; D ja B vahel on ta 4 V, C ja D vahel 6 volti, teiselt poolt, takistus D ja B vahel on 2Ω ; C ja D vahel 3Ω . Siit järeldame, et **potentsiaali langus ahela osades on võrdeline nende osade takistusega**. Nii siis mitteühtlases juhtmes langeb juhtme potentsiaal selles osas rohkem, mille takistus on suurem.

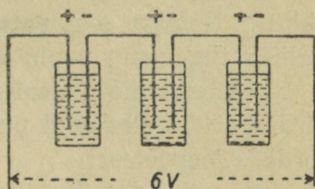
Niiviisi selgub, et vooluallikast elektrikasutamise aparaatide juurde viivad juhtmed peavad olema võimalust mööda väikese takistusega, et potentsiaali langus nendes ei oleks tunduv.

Harjutusi:

1. Voolutugevus ahelas, mille välistakistus $3,75\Omega$, on $0,5$ amprit. Kui ahelasse lisada järjestikku veel 1Ω takistus, siis voolutugevus on $0,4$ amprit. Kui suur on vooluallika pinge ja tema sisetakistus?
2. Elemendi sisetakistus on $0,5\Omega$, tema poolused on ühendatud omavahel 5Ω traadi abil, kusjuures elemendi klemmide pinge on $1,5$ V. Kui suur on elemendi emj.?
3. Kui elemendi pooluseid ühendava juhtme takistus oli $1,75\Omega$, siis tema klemmide pinge oli $1,7$ V. Kui ahelasse lülitada järjestikku veel 2Ω takistus, siis klemmide pinge tõusis $1,85$ voldile. Kui suur on elemendi emj. ja sisetakistus?

20. **Elementide ühendamise patareiks.** Omades ühesuguseid elemente, võime neid ühendada patareiks. Järjestikku ühendatud elementidest koostatud patarei (jadalülitus) pinge võrdub üksikute elementide pingete summaga; aga ka patarei sisetakistus võrdub üksikute elementide sisetakistuse summaga, sest vedelikusamba pikkus, millest elekter läbi peab voolama, suureneb. Kõrvuti ühendatud samasugustest elementidest koostatud patarei pinge on võrdne ühe elemendi pingega ja patarei sisetakistus on ühe elemendi sisetakistusest nii mitu korda väiksem, mitu elementi on kõrvuti ühendatud, sest vedelikusamba läbilõige suureneb, pikkus aga jääb endiseks.

Nüüd tekib küsimus: kuidas on kasulikum elemente



Joon. 21. Jadalülitus.

ühendada — kas kõrvuti või järjestikku, et saavutada maksimaalse tugevusega voolu. Kui välistakistus on võrreldes elemendi sisetakistusega tunduvalt suurem, siis on kasulikum ühendada järjestikku, sest voolutugevuse suurenemine on võrdeline pinge suurenemisega. Sisetakistuse juurdekasv ei avalda aga suure välistakistuse juures ahela kogutakistusele olulist mõju.

Olgu antud n elementi, igaihe pinge on U ja sisetakistus R_s ; ahela välistakistus olgu R_v , kusjuures $R_v \gg R_s$. Voolutugevus ühe elemendi kasutamise korral oleks $I = \frac{U}{R_v + R_s} \approx \frac{U}{R_v}$ (R_s ei muuda oluliselt murru väärtust). Kui aga ühendada patareiks järjestikku n elementi, siis sama välistakistuse korral voolutugevus oleks $I_n = \frac{nU}{R_v + nR_s} \approx \frac{nU}{R_v} = nI$. Näeme, et voolutugevus kasvab ligikaudu n korda.

On aga välistakistus palju väiksem, võrreldes sisetakistusega, $R_s \gg R_v$, siis järjestikku ühendamisel voolutugevus

ahelas ei suurene. $I = \frac{U}{R_v + R_s} \approx \frac{U}{R_s}$.

Järjestikku n elemendi ühendamisel

$$I_n = \frac{nU}{R_v + nR_s} \approx \frac{nU}{nR_s} = \frac{U}{R_s} = I, \text{ s. o. } I_n \approx I.$$

Siit näeme, et voolutugevus on jäänud ligikaudu muutmatuks. Antud juhul tuleb kasutada elementide kõrvustikku lülitamist, sest patarei sisetakistus väheneb, mis võimaldab tugevama voolu läbimineku ahelast.

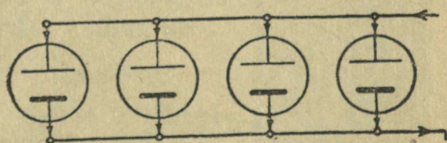
Kui ühendame n elementi kõrvuti, siis jääb patarei pinge võrdseks ühe elemendi pingega, sisetakistus väheneb aga n korda. Tõepoolest:

$$I_n = \frac{U}{R_v + \frac{R_s}{n}} \approx \frac{U}{\frac{R_s}{n}} = \frac{nU}{R_s} = nI, \text{ s. o. } I_n \approx nI$$

Matemaatiline arutus näitab, et maksimaalset voolutugevust ahelas võime saavutada, kui patarei sisetakistus võrdub ahela välistakistusega. Loomulikult ei ole võimalik seda nõuet alati täpselt täita, kuid peab siiski püüdma valida niisugune ühendus, mille sisetakistus minimaalselt erineb välistakistusest. Seda on tihti võimalik saavutada elementide segaühenduse abil. Ühendame elemendid a kaupa kõrvuti rühmadesse, saame näiteks b rühma; saadud rühmad ühendame järjestikku. Iga rühma pinge on sama suur kui ühe elemendi oma (U), sisetakistuse aga $\frac{R_s}{a}$: ühendades b rühma järjestikku, saame patarei, mille pinge on $b \cdot U$ ja sisetakistus $b \cdot \frac{R_s}{a}$.

1). Patarei koosneb kolmest järjestikku ühendatud grupist. Igas grupis on 4 kõrvuti ühendatud elementi; iga elemendi pinge on 2 V ja sisetakistus $1,6\Omega$. Kui suur on patarei pinge ja sisetakistus? Kuidas oleks kõige kasulikum ühendada antud elemendid, kui välistakistus on 20Ω ?

2). Mitu danjeli elementi vähemalt tuleb ühendada järjestikku, et nad paneksid tööle telegraafiaparaadi, mille takistus on



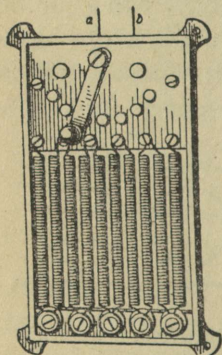
Joon. 22. Kõrvuti ühendatud patarei.

700Ω , liinitakistus on 600Ω ja aparaat töötab minimaalselt 10 m A vooluga? Iga elemendi pinge on 1,1 V ja sisetakistus 8Ω .

21. **Reostaadid.** Et voolutugevus oleneb vooluahela takistusest, siis tarvitatakse tehnikas voolutugevuse reguleerimiseks sageli erilisi riistu, mis lülitatakse järjestikku vooluahelasse ja mille takistust tarbekorral võib muuta.

Neid riistu nimetatakse reostaatideks. Reostaatide valmistamiseks tarvitata v traat peab olema võimalust mööda suure eritakistusega (miks?) ja see ei tohi sõltuda temperatuurist, sest vastasel korral traatide soojenemisel reostaadi takistus muutuks. Niisuguseid nõudeid täidavad, vähemalt teatavas temperatuuride vahemikus, mõningad sulamid, nagu nikeliin (vaske 56%, niklit 31% ja tsinki 13%) mille $\rho = 0,40$, manganiin (84% vaske, 4% niklit, 12% mangaani) mille $\rho = 0,42$, konstantaan (60% vaske, 40% niklit), mille $\rho = 0,40$, kroomnikkel $\rho = 1,1$.

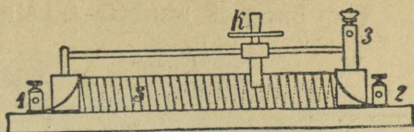
Tarvitatakse peamiselt kolme tüüpi reostaate. Joonisel 23 on kujutatud väntreostaat. Isoleerivale plaadile kinnitatud vasest vänt libiseb vasknuppude peal, mis on omavahel ühendatud spiraali keeratud takistustraadidega (ruumi kokkuhoid). Väнда pöörämisel muutub ahelasse lülitatava takistustraadi pikkus, sellega koos muutub ka ahela takistus. Väntreostaadi paheks on asjaolu, et temaga pole võimalik takistust muuta pidevalt.



Joon. 23.
Väntreostaat.

Pidevamat takistuse muutmist võimaldab liukat reostaat (joon. 24). See koosneb spiraalina isoleerivale silindril keritud takistustraadist. Takistustraadi üks ots on ühendatud klemmiga 1, teine ots lõpeb silindri vastasotsas isolatsiooni sisse. Liikuv kontakt K, mis võib spiraalide peal edasi-tagasi libiseda, on ühendatud klemmiga 2. Voolujuhtme üks ots kinnitatakse klemmi 1 külge, teine ots aga klemmi 2 külge. Libiseva kontakti eemaldamisel klemm 1-st suureneb takistustraadi keerdude arv, mida vool peab läbima, seega suure-

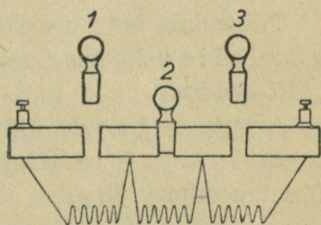
neb ühtlasi ka reostaadi takistus. Mõned lükatreostaadid võimaldavad takistuse täiesti pidevat muutmist.



Joon. 24. Lükatreostaat.

Sageli tarvitatakse reostaadina nn. takistuskaasti. Paksem vaskplaat puuritakse läbi ja saetakse puuritud aukude kohal risti läbi. Saadud plaadi osad kinnitatakse isoleeriva plaadi peale, nii et nad omavahel kokku ei puutu. Nüüd ühendatakse plaadiosad üksteisega kindla takistusega, näit. 1Ω , 2Ω , 3Ω , 5Ω ja 10Ω . Nii peab elektrivool selleks, et pääseda läbi reostaadi, antud juhul läbima 21-oomist takistust. Kui aga pista ühte avausse isoleeriva pidemega vaskpulk, siis pääseb elektrivool ühest vaskplaadi osast teise ilma takistuseta (vaskpulgaga takistus on väga väike) ja reostaadi kogutakistus väheneb selle pooli takistuse võrra, mis ahelast on välja lülitatud. Nii võime vaskpulke avausse pistes saavutada kõiki täisarvulisi takistusi 0 ja 21 oomi piirides (antud näite korral).

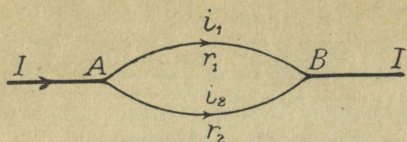
Reostaatidele on harilikult peale märgitud äärmine voolutugevus, mida nad veel kahjuta välja kannatavad.



Joon. 25. Takistuskast.

22. Voolu harunemine. Tavaliselt elektrivoolu tarvitavad aparaadid — hõõglambid, elektritriikraudad, elektrikeeduriistad — lülitatakse vooluahelasse rööbiti, seega on siin tegemist voolu harunemisega. Vaatleme voolutugevust harudes.

Vool hargneb punktis A kaheks haruks 1 ja 2, mis punktis B uuesti ühinevad. Olgu enne harunemist peavoolu tugevus I , haruvoolude tugevused i_1 ja i_2 . Arvestades, et harudesse voolanud elektrihulk võrdub sealt äravoolanud elektrihulgaga, leiame:



Joon. 26. Voolu harunemine.

$$I = i_1 + i_2,$$

s. o. peavoolu tugevus on võrdne haruvoolude tugevuste summaga (I Kirchhoffi seadus).

Olgu harude takistused r_1 ja r_2 ja pinge A ja B vahel U , siis Ohmi seaduse järgi võib pinget U avaldada kahel viisil:

$$U = i_1 r_1 \text{ ja } U = i_2 r_2.$$

Siit järgneb:

$$i_1 r_1 = i_2 r_2 \text{ ehk}$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1}.$$

Tähendab, haruvoolude tugevused on pöördvõrdelised harude takistustega (II Kirchhoffi seadus).

Arvutame harude üldtakistuse. Et pinge U harunemispunktide A ja B vahel on kõikide harude puhul sama, siis Ohmi seaduse järgi

$$i_1 = \frac{U}{r_1}; \quad i_2 = \frac{U}{r_2}$$

Eelmise põhjal:

$$I = i_1 + i_2 = \frac{U}{r_1} + \frac{U}{r_2}.$$

Kujutleme, et harud on asendatud ühe juhtmega üldtakistusega R , siis läbib seda takistust vool

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

Siit järgneb:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{r_1} + \frac{U}{r_2} \quad \text{ehk} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} .$$

Harude üldtakistuse pöördväärtus on võrdne üksikute harude takistuste pöördväärtuste summaga. Sama reegel kehtib ka siis, kui harude arv on suurem kui 2:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots$$

Tõestada seda!

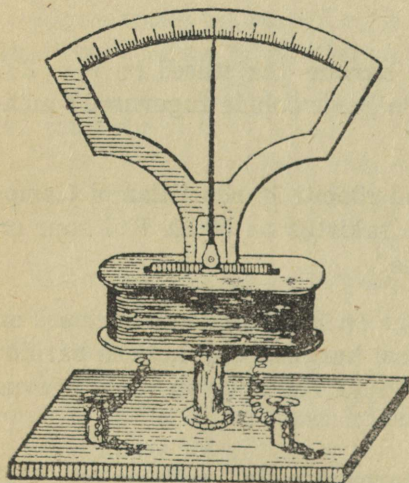
Ajaloo st: Voolu *harunemise* seadused sõnastas saksa õpetlane Kirchhoff 1845. a.

1. Peavoolu tugevus on $4A$, harude takistused on $r_1 = 2 \Omega$ ja $r_2 = 3 \Omega$. Kui suured on haruvoolude tugevused? määrata harude üldtakistus?
2. Vooluahelasse on lülitatud rööbiti 10 söeniitlampi (lampreostaat), millede igaühe takistus on 500Ω . Kui suur on nende lampide üldtakistus?
3. Vooluallika klemmide pinge on $20 V$. Sellesse ahelasse on lülitatud takistus 5Ω . Edasi hargneb vool kaheks haruks, millede takistus on 4Ω ja 10Ω . Kui suur on voolutugevus ja välisahela üldtakistus?

23. Galvanomeeter, ampermeeter ja voltmeeter. Kui ümbritseda teljel pöörduv magnetnõel mähisega, jättes nõelale liikumisruumi, siis voolu läbimisel mähisest pöördub magnetnõel vastavalt Ampère'i parema käe reeglile. Magnetnõela pöördumist võib selgesti nähtavaks teha, kinnitades tema külge osuti. Saadud riista nimetatakse galvanoskoobiks. Tema abil on võimalik kindlaks teha voolu olemasolu ahelas kui ka voolu suunda (selle järgi, kuhu-

poole osuti kaldub). Kui galvanoskoop varustada skaalaga, siis saab ahelas esinenud voolu tugevusi omavahel võrrelda. Niisugust skaalaga varustatud galvanoskoopi nimetatakse galvanomeetriks. Et galvanomeetri abil saaks eriti nõrku voolusid mõõta (suur tundlikkus), peab mähise keerdu arvu olema suur. Selleks tuleb kasutada võimalikult peenikest traati. Pika ning peenikese mähise tõttu on galvanomeetril suur takistus ja tema abil ei ole võimalik tugevamaid voolusid mõõta.

Tugevamate voolude mõõtmisel tarvitatakse ampermeetreid. Galvanomeetrist saab teha ampermeetri, lülitades paralleelselt mähisega väikese takistusega haruühenduse, nn.



Joon. 27. Vertikaalgalvanomeeter.

osuti kaldub äärmisse asendisse 5 mA voolu mõjul. Teda tahetakse muuta ampermeetriks mõõtmispiirkonnaga kuni 10 A. Kui suure takistusega šunt tuleb selleks võtta? 10 A peavoolu tugevuse korral tohib mähisesse pääseda 5 mA = 0,005 A, s. t. läbi šundi läheks 9,995 A tugevune vool.

Š u n d i, ja valmistades skaala, mis näitaks voolutugevusi amprites. Juhitides ampermeetrisse tugevat voolu, haruneb see nii, et suurem osa läbib šunti ja ainult nõrk haruvool pääseb mähisesse, ilma et ta seda kahjulikult soojendaks. Peavoolu tugevuse üle otsustatakse mähisesse pääsenud haruvoolu kaudu, toetudes Kirchhoffi seadustele.

Olgu meil mingi galvanomeeter, mille mähise takistus on 100Ω ja mille

5 mA voolu mõjul. Teda tahetakse muuta ampermeetriks mõõtmispiirkonnaga kuni 10 A. Kui suure takistusega šunt tuleb selleks võtta? 10 A peavoolu tugevuse korral tohib mähisesse pääseda 5 mA = 0,005 A, s. t. läbi šundi läheks 9,995 A tugevune vool.

Mähise takistus on 100Ω ja šundi takistus olgu $x \Omega$, siis vastavalt Kirchhoffi II-le seadusele

$$\frac{9,995}{0,005} = \frac{100}{x}, \text{ millest}$$

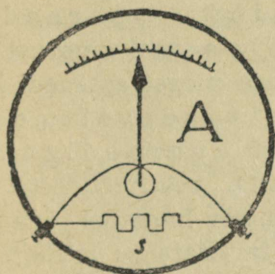
$$9,995 \cdot x = 0,5 \text{ ja}$$

$$x = 0,05$$

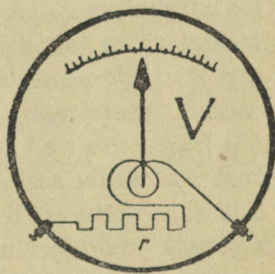
Järelikult šundi takistus peab olema $0,05 \Omega$. Nüüd jääb veel valmistada galvanomeetrile 10 jaotuseline skaala, mis näitab ampreid. Ampermeetri enda kogutakistus R arvutatakse valemi abil:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{1}{100} + \frac{1}{0,05} = \frac{1}{0,05}.$$

Nii näeme, et ampermeetri takistus $R = 0,05 \Omega$ on väga väike. Teistsuguse mõõtmispiirkonna saamiseks tarvitame teistsugust šunti.



Joon. 28. Ampermeeter.

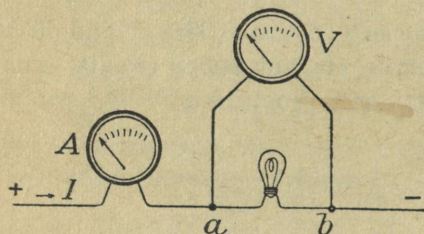


Joon. 29. Voltmeeter.

Toetudes Ohmi seadusele, võime sama galvanomeetri muuta ka voltmeetriks. Olgu nõutavaks mõõtmispiirkonnaks $0-200 \text{ V}$ (200 -voldise pinge korral peab osuti kõrvale kalduma äärmisse asendisse, s. t. mähist läbib sedapuhku 5-mA vool).

Valemist $U = I \cdot R$ võime leida, kui suur peab olema voltmeetri takistus, kui 200 -voldise pinge korral voolutuge-

vus temas oleks 5 mA. Asendades vastavad arvud, saame $200 = 0,005 R$, millest $R = \frac{200}{0,005} = 40000 \Omega$. Mähise enese takistus oli 100Ω , järelkult tuleks temaga järjestikku lülitada veel 39900Ω eeltakistus ja skaala jagada 200 osaks. Teistsuguse mõõtmispiirkonna saamiseks tuleks võtta teistsugune eeltakistus.



Joon. 30. Volt- ja ampermeetri lülitus.

24. **Mõõteriistade lülitamine.** Võtame mingi elektririista, mille töötamise kestel on tarvis pidevalt kontrollida voolutugevust temas ja pinget tema klemmide vahel. Et voolutugevus kogu ahelas on ühesugune, siis lülitatakse a m p e r -

m e e t e r ahelasse järjestikku aparaadiga. Ampermeetri väike takistus ei mõjusta voolutugevust ahelas. Voltmeetri ülesanne on määrata pinget aparaadi klemmide vahel, seepärast lülitatakse voltmeeter klemmide külge paralleelselt aparaadiga; voolutugevust aparaadis see ei mõjusta, sest voltmeetri väga suure takistuse tõttu on temasse minev haruvool väga nõrk. Voolutugevuse reguleerimiseks tarvitatakse riistaga järjestikku lülitatud reostaati.

Voolu soojus.

25. **Joule-Lenz'i seadus.** Igapäevase elu nähtustest teame, et elektri voolamisel juhtmes eraldub soojus, mille mõjul juhtme temperatuur tõuseb. Tugevama voolu puhul võib juhe hõõguma hakata ja isegi ära sulada. Voolu soojuse eraldumise nähtust uuris esimesena Joule, kes leidis

(1841), et voolu juhtmes eraldunud sooju-
sehulk (Q) on võrdeline voolutugevuse (I)
ruuduga, juhtme takistusega (R) ja voolu
kestusega (t). Matemaatiliselt väljendame seda vale-
miga

$$Q = 0,24 I^2 R \cdot t,$$

kus Q tähendab kaloreid, kui I on antud amprites, R — oomi-
des ja t sekundites.

Joule'i seadusele andis Lenz, lähtudes Ohmi seadusest
($I = \frac{U}{R}$), teisendatud kuju, nimelt

$$Q = 0,24 I^2 R t = 0,24 I \cdot I \cdot R \cdot t = 0,24 I \cdot \frac{U}{R} \cdot R t = \\ = 0,24 IUt.$$

Voolu soojust kasutatakse mitmesugusteks kasulikkudeks otstarveteks, näiteks valgustamisel, majapidamises jne. Et hoiduda elektrienergia kadudest soojuseks muutmise näol juhtmetes, tuleb juhtmed ehitada küllalt jämedad, et nad voolu mõjul tunduvalt ei soojeneks.

Ajaloo st: Voolusoojuse seaduse avastasid iseseisvalt inglise õpetlane Joule (1841. a.) ja vene füüsik Lenz, kes ühtlasi näitas juhtmete takistuse sõltuvust temperatuurist (1844. a.).

1. Kui palju soojust tekib 1 tunni kestel hõõglambis, mis 220 V pingele juures tarvitab 0,25 A?
2. Reostaadi takistus on 44Ω . Kui palju soojust tekib reostaadis 20 minuti kestel, kui voolutugevus on 5 A?
3. Takistustraadist spiraal, mille takistus on 6Ω , on asetatud vette. Veehulk on 500 g, algtemperatuur 16° . Kui suur on spiraali läbiva voolu tugevus, mis soojendab selle vee 10 minuti kestel 100° -ni, kusjuures soojusekadu on 25%?

4. Elektripeeduriist tarvitab 220 V pinge juures 4,1 A. Kui pika aja kestel soojeneb selles 2 l vett 14°-st kuni 100°, kui soojusekadu on 30%?
5. Leida traadi takistus, milles 5-amprine vool tekitab 15 minuti kestel 10 kcal soojust?

26. **Elektrihõõglamp.** Igapäevases elus kasutatakse voolusoojust valgustamiseks elektrihõõglambis.

Hõõglamp koosneb õhutühjast või mitteaktiivse gaasiga täidetud klaaspirnist, millesse on paigutatud raskestisulavast metallist peenike hõõgniit. Hõõgniidi üks ots on ühendatud jämeda tugitraadi abil pirni kaela ümbritseva kruvitaolise vaskkestaga ja teine ots kaela külge isoleeritult kinnitatud vaskkettakesega. Tarvitamisel kruvitakse lambi kest mutritaolisse metallpessa, nn. edisonipessa, mille põhjas on pesa seintest isoleeritud metallketas. Üks voolujuhe on ühendatud pesaga ja teine kettakesega. Kui lamp on täiesti sisse kruvitud, s. t. tema kaelal olev metallketas satub kontakti pesa põhjas oleva kettakesega, siis läbib vool hõõgniiti ja paneb selle hõõguma.

Kaugelt suurem osa elektrienergiast muundub seejuures soojuseks ja ainult väike osa valguseks (1—2%). Vahekord muutub seda enam valguse kasuks, mida kõrgem on niidi temperatuur hõõgumisel. Seepärast valmistatakse hõõgniidid väga raskesti sulavatest metallidest ja nende sulamitest, nagu osmium (2700°), tantal (2800°) ja eriti volfram (3400°). Tegelikult õhutühjades pirnides ei ole võimalik volframniitigi kuumutada üle 2200°, sest kõrgemal temperatuuridel algab hõõgniidi lendumine (vanad hõõglambid on seest kaetud tuhmi lendunud metallikihiga). Lendumise takistamiseks täidetakse hõõglambid uuemal ajal niisuguse gaasiga, mis hõõgniidi metalliga kõrges temperatuuris keemiliselt ei ühine ja on halva soojuse juhtivusega

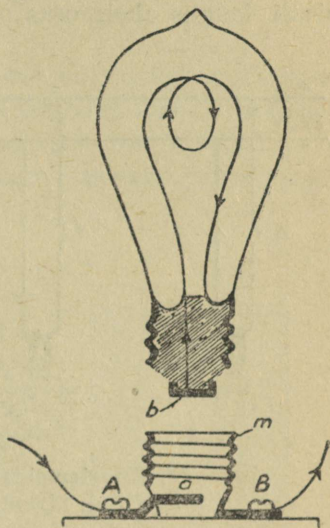
(et hõõgniit ei jahtuks asjatult), nagu lämmastik, argon, või eriti krüpton. Täitegaas võimaldab hõõgniiti kuumendada kuni 2700° . Hõõgniit ise keeratakse tihedaks spiraaliks (~ 15 keerdu 1 mm peale), et tema hõõguvat pinda suurendada ja soojusekadusid vähendada.

Gaasitäitega lampe nimetakse vahel poolvattlampideks, sest 1 HK valgustugevuse saavutamiseks peab hõõgniit saama $\sim 0,6 - 0,8$ W võimsusega voolu. Vanematel metallniidiga, õhutühjade pirnidega lampidel oli voolukulu suurem ($1,1$ W/HK) ja eriti suur oli ta esimestes müügile ilmunud söeniitlampides (~ 3 W/HK).

Hõõglambi keskmiseks põlemiskestuseks on 1000 tundi. Hõõglambid on kõlblikud normaalseks tarvitamiseks ainult sellise pinge korral, mis neile peale on märgitud, näiteks toa valgustamise lampidel tavaliselt 220 V, taskulaterna lampidel 3—4 V, autoprožektoril lampidel 6 V või 8 V, jne. Kõr-

gema pingel puhul kuumeneks hõõgniit liiga tugevasti ja lamp põleks ruttu läbi, madalama pingel ei põleks ta kuigi heledalt. Lambi hõõgniidi takistus külmalt on väiksem, hõõgudes aga palju suurem (v. § 16). Näiteks tavaliselt toa valgustamiseks tarvitatava 40-W lambi hõõgniidi takistus on külmalt 110Ω ja hõõgumisel $\sim 1000 \Omega$.

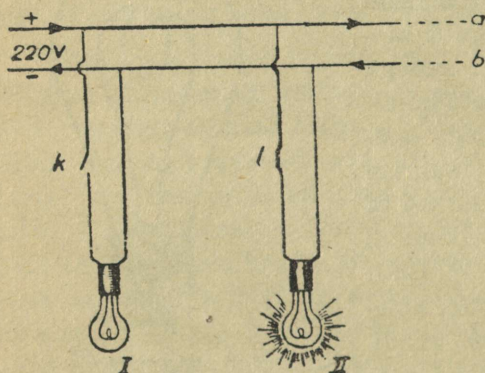
Laboratoriumides on näidatud, et hafniumi ja tantali karbiidide segust valmistatud hõõgniiti võib kuumendada



Joon. 31. Hõõglamp.

kuni 3370°, kuid et ta on liig habras, siis ei saa teda veel praktiliselt tarvitada.

Valgustusseadmetes kasutatakse tavaliselt mitut lampi. Neid lülitatakse vooluahelasse kas järjestikku või paralleelselt. Järjestikku lülitades peame meeles pidama, et potentsiaali langus ahela osas on võrdeline selle osa takistusega,



Joon. 32. Hõõglampide lülitus.
k ja l on lülitid.

s. t. kui 220 V voolu võrku lülitada järjestikku 2 ühesugust hõõglampi, siis potentsiaali langus kummaski oleks 110 V ja me peaksime tarvitama sel korral 110-V lampe. Lülitades neile veeli 2 samasugust lampi järjestikku juurde, oleks potentsiaali langus igaühes $220 : 4 = 55$ V, s. t. 110 V lambid ei

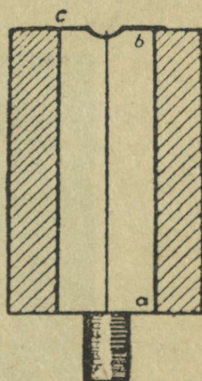
hakkakski hõõguma — tuleks võtta 55 V lampe. Nii näeme, et järjestikku lülitus on kasutamisel tülikas: lampide juurdepanekul ja äravõtmisel peaks lampe vahetama ja pealegi kustuvad ühe lambi kustutamisel ka kõik teised lambid, sest voolu katkemisel ahela ühes kohas katkeb vool kogu ahelas. Järjestikku lülitamist tarvitatakse vahel reklaamkastide valgustamisel, kui 220 V võrku lülitatakse järjestikku näit. 22 kümnevoldist hõõglampi.

Hõõglampe lülitatakse vooluahelasse paralleelselt. Nagu joonisel 32 näha, ei sõltu ühegi lambi põlemine või kustumine teistest lampidest, sest iga lamp saab pealiini suhtes oma-

ette haruühenduse. Iga lamp laseb ainult vähe voolu läbi, seevastu elektri jaam saadab dünamomasinast peajuhtmetesse niivõrd suuri elektrihulki, et need hoiavad pinget pealiinis kogu aeg peaaegu konstantsena, vaatamata põlevate lampide arvule. Niisiis on võimalik tarvitada ühesugusele pingele kohandatud lampe väga suurel hulgal.

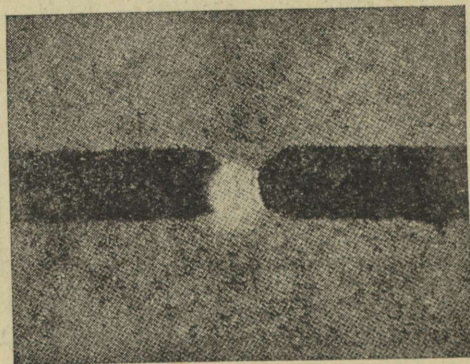
Ajaloo st: Venemaal esimene hõõglamp on ehitatud Lodõgin'i poolt 1873. a. Laiemas ulatuses kasutamiskõlblikuks arendatud Ameerika elukutselise leiduri Edison'i poolt 1879. a. Esimene elektrikeskjaam ehitati New-Yorgis 1882. a. samuti Edison'i poolt.

27. Lühiühendus. Kaitse. Vooluseadmete valmistamisel kasutatakse isoleeritud traati, et hoiduda elektrivoolu otsesest üleminekust ühelt traadilt teisele, ilma et ta enne läbiks vooluringis olevat elektririista. Isolatsioon ühtlasi takistab ka traatides eralduva soojuse äraminekut. Traadid tuleb valida niivõrd jämedad, et nendes normaalse voolutugevuse korral üldse kuigipalju soojust ei teki. Pealegi peab vool näitelks hõõglambis läbima mitmesajaoomist takistust, mille tõttu tema tugevus on võrdlemisi nõrk ega põhjusta juhtmetes suuremate soojusehulkade tekkimist. Mõnikord aga juhtub, kas juhtmete isolatsiooni läbikulumise tõttu või mõnel muul põhjusel, et voolujuhtmed siiski otseselt kokku puutuvad — tekib nn. lühiühendus. Nüüd pääseb vool ühelt juhtmelt teisele ilma vahepealse takistuseta. Ta tugevus kasvab väga suureks,



Joon. 33. Kaitsekork.

juhtmed lähevad tuliseks ja võivad põhjustada tulekahju. Õnnetuste vältimiseks juhitakse korteritesse tulev vool kõigepealt läbi kaitsekorgi. Selleks on portselantoruke, mille ühes otsas on metallnupp ja teises metallkettake. Viimased on omavahel ühendatud nn. kaitsetraadiga, mille jämedus on valitud nii, et korteris tarvitatava normaalse voolu puhul ta ainult soojeneb, kuid voolu tugevnemisel üle kaitsekorgile märgitud määra (näit. lühiühenduse puhul) sulab läbi, katkestades voolu kogu korteris ja vältides seega lühiühenduse hädaohtlikke tagajärgi. Et kaitsekorgis eneses ei tekiks kaarleeki, mis juhuks voolu edasi, selleks täidetakse torukese õõnsus peenikese liivaga. Kaitsetraadi üks ots on ühendatud vahetult metallnupuga, teine ots aga läbi avause väikese vedru abil värvilise metall nõõbikesega. Vedru tõmbab nõõ-



Joon. 34. Voltaleek.

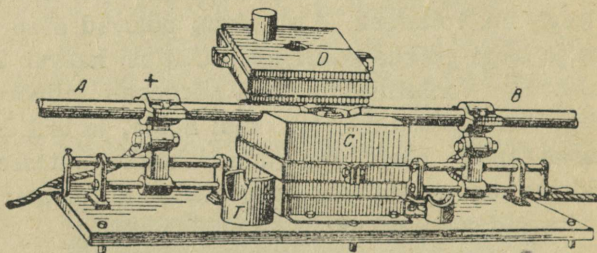
bikest tihedalt metallketta vastu, võimaldades voolu läbiminekut, kuid kaitsetraadi läbipõlemisel kukub nõõbike eest ära ja see hõlbustab, eriti hulga kaitsekorkide olemasolu korral kindlaks teha, missugune neist on läbi põlenud. Kait-

sekorgid lülitatakse vooluseadmetesse, kruvides nad eriliste kestade abil edisonipessa.

28. **Elektrileeklamp.** Viime kokkupuutesse kaks tugeva vooluallikaga ühendatud tugevasti kokku pressitud retort-söe otsa. Puutekoha takistus on suur, võrreldes söepulkade eneste takistusega (kontaktefekt), ja süte otsad hakkavad hõõguma. Kui tõmmata otsad teineteisest veidi eemale, siis vool ei katke, sest hõõguv õhk koos kõrge kuumuse tõttu lendunud söekübemekestega annavad otste vahel juhtiva leegi, nn. voltaleek. Ajajooksul põlevad söed järjest lühemaks ja leegi pikkus suureneb. Ühtlasi kasvab kiiresti leegi takistus; voolutugevus aga nõrgeneb niivõrd, et ei suuda leegi temperatuuri enam alal hoida, ja leek kustub. Süütamiseks tuleb söepulgad uuesti kokkupuutesse viia. Leegi pikkuse reguleerimiseks kasutatakse automaatselt või käsitsi töötavaid regulaatoreid.

Söed ei lühene hõõgumisel ühtlaselt, nimelt põleb positiivne süsi umbes kaks korda kiiremini, sest tema temperatuur tõuseb normaalrõhu juures kuni 4000° -ni, negatiivse oma aga kõigest 2800° -ni (25 at rõhu juures on positiivse söe temperatuur $\sim 5600^{\circ}$). Süte ühtlase lühenemise saavutamiseks põlemise kestel võetakse positiivne süsi ligikaudu 2 korda suurema ristlõikega. Hõõgumisel põleb negatiivne süsi teravaks, kuna positiivsesse tekib õõnsus ehk kraater. 85% kogu leeklambi poolt kiirguvast valgusehulgast annab positiivse söe kraater, 10% negatiivse söe teravik ja kõigest 5% sütevaheline leek. Et just kraater annab rõhuva osa kaarleegi valguse tugevusest, siis püütakse tema tekkimist soodustada, nimelt: positiivne süsi täidetakse piki tema telge pehme (vähese pressitud) ruttupõleva söemassiga, mis on leegi juhtivuse tõstmiseks mõnikord metallisooladega läbi imbutatud. Kasutamisel püütakse kraater alati valgustava ruumi poole pöörata.

Elektrileeklambi kasutamisel alalisvoolu puhul peab pinge olema vähemalt 40 V ja voolutugevus 3—4 A. Vahelduva voolu tarvitamisel töötab leklamp juba 30 V pingega, kuid ühe ja sama voolutugevuse korral annab ta ~ 30% vähem valgust kui alalisvoolu kaarleek, ja mõlemad söed lühenevad ühtlaselt. Tavaliste ruumide valgustamiseks leklampi ei tarvitata. Teda kasutatakse seal, kus on tarvis punktitaolist väga tugevat valguseallikat, nagu kinopro-



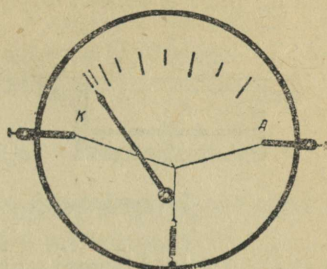
Joon. 35. Kaarleegiahi.

jektiooniaparatuurides (15000 HK), prožektorites, tuletornides (~ 100 000 HK). Merekindlustuste ja lennujaamade prožektorite leklampide valgustugevus ulatub mitme miljardi HK-ni. Kaarleegi kõrget temperatuuri kasutatakse kaarleegiahjudes raskestisulavate metallide sulatamiseks.

Ajaloo st: Esimesena sai kaarleegi süte otste vahel vene õpetlane Petrov 1803. a. Elektri kaarleegi tänavavalgustus seati sisse esmakordselt vene õpetlase Jabločkovi poolt Pariisis aastal 1876.

29. **Joule'i soojuste kasutamise võimalusi.** Viimasel ajal on hakatud laialdaselt kasutama elektrivoolu soojust majapidamises elektrikeeduriistade, elektripliitide, triikraudade,

soojenduspatjade, elektriahjude, tinutamisvasarate, liimipot- tide ja mitmesuguste teiste majapidamistarvete soojendamiseks. Nende riistade kuumendamiseks tarvitatakse sissemonteeritud küttekehasid, milleks on viigukiviplaadi ümber keritud kroomnikkeltraat, mis elektrivoolu läbimisel kuumeneb. Selle traadi pikkus ja jämedus on nii valitud, et ta riistale märgitud pingega voolu tarvitamisel kuumeneb paraja temperatuurini. Mõningates riistades on tarvis pikemat aega hoida alal kindlat temperatuuri (termostaadid, inkubaatorid). Soovitavat temperatuuri saavutatakse voolutugevuse reguleerimisega reostaadi abil.



Joon. 36. Termiline mõõteriist.

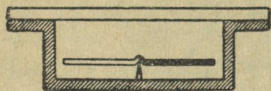
Elektrileegi kõrget temperatuuri kasutatakse keevitamiseks ja raskestisulavate metallide sulatamiseks.

Ex libl. univ. Tart.

Et elektrivoolu poolt tekitatud soojuse hulka ei mõjusta voolu suund, siis võib vahelduva voolu tugevuse ja pinget mõõtmiseks hea eduga tarvitada nn. termilisi mõõteriistu. Elektrivoolu läbimisel kahe klemmi vahele pingule tõmmatud traat soojeneb ja pikeneb. Traadi pikkuse muutumist võib skaalal nähtavaks teha osuti abil. Skaala kaliibritakse voltidest või amprites mõne normaalriista järgi.

30. **Termovool.** Eelmises paragrahvis märgiti, et elektrienergia võib otseselt muutuda soojuseks, kuid ümberpöörduvalt on võimalik ka soojuse otsene muundumine elektrienergiaks. Kui kahe erineva metallplaadi jootekohta kuumutada, siis voolavad elektronid soojuse mõjul ühest metallist teise, nii et üks plaat omandab positiivse

ja teine negatiivse laengu ning plaatide vahel tekib nõrk pinge (0,001—0,01 V). Ühendades lahtised otsad omavahel, saame pideva elektrivoolu, nn. termovoolu. Seesugust kokku-

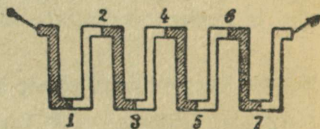


Joon. 37. Termoelement.

joodetud metallplaatidest koosnevat riista nimetatakse termoelemendiks. Termoelemendi pinge on väga nõrk ja sõltub kokkujoodetud metallidest, samuti temperatuuride vahest kokkujoodetud ja lahtiste otsade

vahel. Kõige kõrgema pinge annavad vismut ja antimon, kuigi ka ainult 100 μ V jootekoha soojendamisel 1° võrra. Jootekoha jahutamisel tekib vastassuunaline termovool.

Suurema pinge ja voolutugevuse saamiseks ühendatakse järjestikku õige palju väikesi termoelemente. Saadud termopatareid nimetatakse termosambaks. Termosambaid kasutatakse ühenduses tundliku galvanomeetriga temperatuuride mõõtmisel neis piirkondades, kus tavalised termomeetrid ei kõlba. Samuti võib nende abil mõõta üliväikesi temperatuuride erinevusi (kiirgava energia uurimisel.) Teisteks otstarveteks termovoolu kasutamine ei ole tasuv.



Joon. 38. Termopatarei.

Ajalooost: Termovoolu avastas sakslane Seebeck 1821. a.

31. Alalisvoolu võimsus ja töö. Elektrivool on mitmeti sarnane veevooluga. Muuseas on elektrivoolu võimsuse arvutamise mõttekäik analoogiline veevoolu võimsuse arvutamisega. Näiteks kose veevoolu võimsus on võrdeline sekundis allalangeva vee hulgaga ja langemise kõrgusega. Samuti on elektrivoolu võimsus võrdeline sekundis juhtmest läbi voolanud elektri hulgaga ja pingega. Kui voolutuge-

vus amprites korrutada pingega voltides, saame elektri-
voolu võimsuse $N = UJ$ ühikutes, mida nimetatakse volt-
ampriteks. Võrdleme uut saadud võimsuse mõõduühikut
voltamprit seni tundma õpitud võimsuse ühikutega. Lähte-
kohaks võtame Joule-Lenzi seaduse:

$$Q = 0,24 \text{ IUt.}$$

Väljendame sekundis eraldunud soojuste hulga kalorites 1A
voolutugevuse ja 1 V pingega korral ning teisendame saaduse
kilokaloriteks, kGm-teks ja džaulideks.

$$Q = 0,24 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \text{ cal} = 0,24 \text{ cal} = \frac{0,24}{1000} \text{ kcal} =$$

$$= \frac{0,24 \cdot 427}{1000} \text{ kGm} = \frac{0,24 \cdot 427 \cdot 9,81}{1000} \text{ I} = 1 \text{ J.}$$

Järelikult vool, mille tugevus on 1 A ja pingega 1 V, s. t. võim-
sus 1 voltamper, võib teha 1 sekundis 1 J tööd. Nii siis:

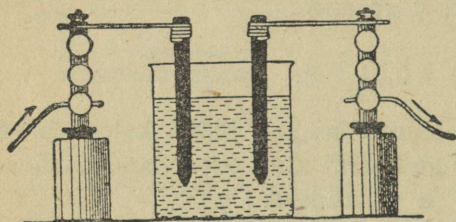
$$1 \text{ voltamper} = 1 \text{ J/sek} = 1 \text{ W.}$$

Elektrivoolu töö mõõtmiseks varustatakse voolutarvita-
jad voolumõõtjatega, mis näitavad kulutatud elektrienergia
hulka kilovatt-tundides (kWh). Tavalistes mõõtjates pöör-
leb ketas, mille kiirus on võrdeline vooluvõimsusega ja teh-
tud pöörete arv võrdeline äratarvitatud elektrienergia hul-
gaga. Pöörlev ketas paneb liikuma numbreid kandvad si-
lindrid, mis näitavadki tarvitatud elektrienergia hulka kilo-
vatt-tundides.

Elektrolüüs.

32. Vasevtrioli elektrolüüs. Metallilised juhid, kui neid
läbib vool, keemiliselt ei lagune. Juhte aga, mis voolu
läbimineku keemiliselt lagunevad, nimetatakse elektro-
lüütideks, ja juhtiva aine keemilist lagunemist —

elektrolüüsiks. Elektrolüütide hulka kuuluvad peamiselt hapete, aluste ja soolade vesilahused (elektrolüütlike juhtivusega on seletatav ka mõningate soolade elektri juhtivus sulas olekus).



Joon. 39. Vasevitrioli elektrolüüs.

Asetame anumasse vasevitrioli vesilahusega kaks söepulka, ja ühendame nad voluallika poolustega. Siis märkame katoodi katutumist vasega, kuna anoodil eraldub hapnik. Teostades elektrolüüsi pikemat aega,

leiame, et katoodil muutub vasekiht järjest paksemaks ja vedeliku kontsentratsioon väheneb, ning me võime kindlaks teha väävelhappe tekkimist lahuses. Kui sama katset korraldada nii, et katoodiks jätame söepulga, anoodiks aga võtame vaskpulga, siis leiame, et nüüd elektrolüüsi kestel vedeliku kontsentratsioon ei muutu, kuid anood muutub kaalult just niipalju kergemaks, kuipalju katood eraldunud vase arvel raskeneb.

33. Ioonide teooria algmõisteid. Elektrolüüsi nähtuste mõistmiseks selgitame vasevitrioli (CuSO_4) molekuli ehitust. Vasevitriol tekib vase (Cu) ja väävelhappe (H_2SO_4) ühinemisel. Vask asendab väävelhappe vesinikku, ühinedes väävelhappe jäägiga SO_4 . Ühinemisel läheb vase aatomist 2 elektroni üle SO_4 molekulile. Et nüüd vase aatomil on normaalsest arvust 2 elektroni vähem, siis muutub ta positiivselt laetuks. Sellist laenguga aatomit nimetatakse iooniks (ionos, kreeka keeli — rändav). Vase ioon on positiivne. Seevastu SO_4 molekulile vase aatomilt läinud 2 elektroni muudavad teda negatiivseks iooniks. Erinevate

laengute tõmbumise tõttu hoiduvad vase ja SO_4 ioonid koos vasevitrioli neutraalse molekulina. Kui lahustada vasevitrioli vees, siis vastavalt Coulombi seadusele üldkujul ($f = \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{e_1 \cdot e_2}{r^2}$) molekuli moodustavate ionide vahelised elektri tõmbetungid nõrgenevad üle 80 korra (vee $\epsilon = 81,7$) ja mõningate välismõjude tõttu (näit. radioaktiivsete ainete kiirgused, soojus, kosmiline kiirgus) osa molekulide dissotseerub (laguneb) ioonideks. Kui suur osa molekulide dissotseerub, see on tingitud lahuse kontsentratsioonist ja temperatuurist. Nii tekib vedelikus neutraalsete molekulide kõrvale nii positiivseid kui ka negatiivseid ioone, mõlemad muidugi ühepalju, mis nagu molekulidki on alatises liikumises. Kui isenimelised ioonid kokku põrkuvad, liituvad nad jällegi neutraalseks molekuliks (molisatsioon). Tekkimise ja taasühinemise tõttu püsib vedelikus ionide arv ühtlasena (liikuv tasakaal).

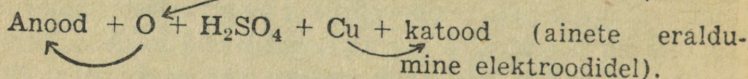
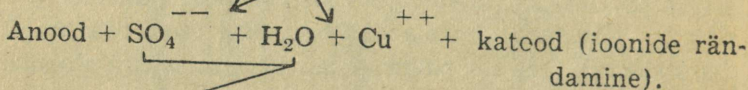
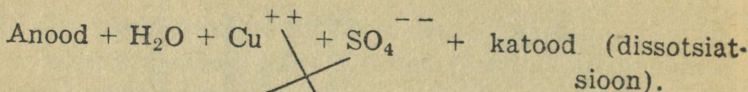
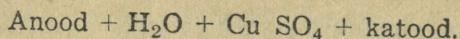
Kui paigutada vedelikku elektrodid, siis tõmbuvad positiivsed ioonid katoodile (katioonid) ja negatiivsed anoodile (anioonid), liikudes seejuures võrdlemisi väikese kiirusega (murdosa mm sekundis). Nii seletubki tõsiasi, miks mõned ained eralduvad ainult katoodil, teised seevastu anoodil.

Katoodile jõudes saab vase iga positiivneioon endale 2 elektroni, muutub neutraalseks aatomiks ja jääb katoodile püsima. SO_4 ioon jõudes anoodile (olgu see söest) annab ära oma 2 liigset elektroni, muutudes samuti neutraalseks, kuid oma väga suure keemilise aktiivsuse tõttu ühineb ta otsekohe vees oleva vesinikuga väävelhappeks H_2SO_4 ja vabastab seega vees oleva hapniku, mis eraldubki anoodil.

Kui anood teha vasest, siis SO_4 ühineb peale neutraliseerumist anoodil vasega, moodustades uuesti vasevitrioli molekuli.

Happejääk (SO_4) anoodil neutraliseerudes ühineb vees oleva vesinikuga väävelhappeks H_2SO_4 , vabaks jäänud vask

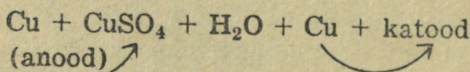
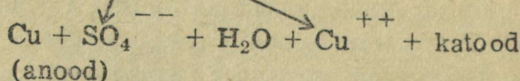
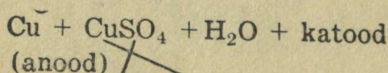
Vaatleme lähemalt keemilisi reaktsioone kirjeldatud katsetes:



(Cu) neutraliseerudes eraldub katoodil ja hapnik (O) anoodil. Vasevitrioli lahuse kontsentratsioon kahaneb.

Kui anoodiks on vaskpulk, siis väävelhappejääk ühineb anoodi vasega uuesti vasevitrioliks.

Selle protsessi juures vasevitrioli lahuse kontsentratsioon ei muutu.



34. **Vee elektrolüüs.** Puhas vesi on isolaator, ta elektrolüüs ei ole võimalik. Kuid isegi destilleeritud vesi ei ole elektrolüütilises mõttes absoluutselt puhas, sest hoitult näiteks klaaspurgis ühineb ta klaasis oleva ränikahelishapendiga, andes tublisti lahjendatud ränihappe H_2SiO_4 , mis siiski suu-

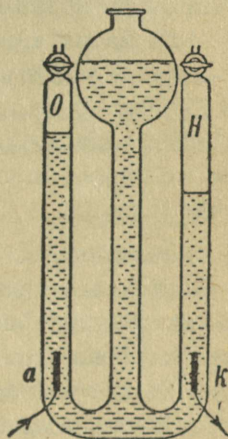
dab vett muuta juhtivaks (või ühineb õhus oleva süsihappegaasiga, andes nõrga süsihappe H_2CO_3).

Korraldame elektrolyüsi, tarvitades plaatina elektroode ja elektrolyüdina vett, millele on juurde lisatud paar tilka väävelhapet. Siis märkame elektroodidel gaaside eraldumist. Kui gaase koguda eraldi katseklaasidesse, siis selgub, et katoodil eraldub vesinikku, ja nimelt ruumalaliselt 2 korda rohkem kui anoodil sama aja kestel hapnikku. Nii tekib mulje, nagu oleks teostatud vee elektrolyüs. Tegelikult toimub siiski väävelhappe elektrolyüs, kus H_2SO_4 laguneb H_2 ja SO_4 ioonideks; H_2 kui positiivneioon eraldub katoodil, negatiivne SO_4 ioon ühineb aga neutraliseerudes anoodil vee vesinikuga uuesti väävelhappeks. Vabaneb vee hapnik, mis eraldub anoodil.

35. Faraday seadused. Ampri tehniline definitsioon. Uurides elektrolyüsi nähtusi, sõnastas Faraday kaks seadust. a) Faraday I seadus: Elektrolyüsi kestel elektroodidel eraldunud ainete hulgad on võrdelised voolu tugevusega ja kestusega, s. o.

$$M = k.J.t$$

Võrdtegurit k nimetatakse aine elektrokeemiliseks ekvivalentiks. See on aine hulk milligrammides, mida eraldab elektrolyüdist 1 sekundi kestel 1-amprine vool. Igal ainel on oma kindel elektrokeemiline ekvivalent, näiteks hõbedal 1,118; ühevalentsel vasel 0,659; kahevalentsel vasel 0,3294; tinal 1,072; vesinikul 0,01044; elavhõbedal 2,072, jne.



Joon. 40. Vee elektrolyüsi riist.

Tehnikas defineeritakse amprit kui ühtlast voolu tugevust, mis 1 sekundi kestel hõbedasoola lahusest eraldab 1,118 mg hõbedat. b) Faraday II seadus: Sama vool eraldab ühe ja sama aja kestel aine hulga, mis on võrdelised ainete ekvivalentkaaludega (aine ekvivalentkaalu all mõistetakse selle aine aatomikaalu jagatist valentsiga).

Sellest seadusest järgneb, et elektrolüüsi kestel eraldunud ainehulk sõltub ühe ja sama aine korral sellest, mitmevalentsena see aine esines antud keemilises ühendis. Näiteks 1-amprine vool eraldab 1 sekundi kestel vasekloriidi lahusest 0,659 mg puhast vaske, seevastu vasevitrioli lahusest (CuSO_4) ainult $\frac{1}{2}$ sellest ainehulgast ja nimelt 0,329 mg, sest esimeses ühendis on vask ühevalentne, teises aga kahevalentne.

Selle nähtuse füüsikaliseks põhjuseks on asjaolu, et ühevalentse vase ioonis puudub üksainuke elektron, võrreldes neutraalse vase aatomiga, kahevalentse vase ioonis puudub aga kaks elektroni. Nii siis sama elektrihulk võib neutraliseerida ja eraldada elektroodil aatomi tema kaks korda rohkem ühevalentse vase ioone, võrreldes kahevalentse vasega.

A ja loost: Vee elektrolüüs teostati esmakordselt aastal 1800. Faraday sõnastas käesolevas paragrahvis käsitatud seaduse 1833. a.

36. Elektrolüüsi tehniline kasutamine. Kui tahetakse mõnd eset katta metalliga (odavast metallist eset katta väärismetalli kihiga), siis paigutatakse see ese katoodina anumasse, kus elektrolüüdiks on eseme katmiseks valitud metalli soola lahus ja anoodiks metall ise. Kui ese on mittejuht, siis muudetakse tema välispind juhtivaks sel teel, et hõõrutakse ta kokku grafiidipulbriga. Nõrga voolu tarvitamisel eraldub metall eseme pinnal ühtlase kihina, mis mõnikord

poleeritakse läikivaks. Eraldunud kihi paksuse määrab elektrolüüsi kestus. Tugeva voolu korral eraldub metall poorse puruna. Sellist esemete elektrolüütilist metallitamist nimetatakse galvanosteegiaks.

Edasi kasutatakse elektrolüüsi metallide rafineerimisel. Tavalised maakidest saadud metallid ei ole kunagi keemiliselt täiesti puhtad, ikka leidub neis suuremal või väiksemal määral mõnda lisandit. Kui niisugune keemiliselt mittepuhas metall panna sama metallisoola lahusesse anoodiks, siis koguneb katoodile keemiliselt peaaegu täiesti puhas metall.

Ka tarvitatakse elektrolüüsi metallide saamiseks sulatatud maakidest, kui maagi sulatamist toimetatakse elektrivoolu abil (alumiiniumi saamine boksiidist).

Galvanoplastikas tarvitatakse elektrolüüsi reljeefsete esemete paljundamiseks. Kui soovitakse odavasti paljundada mingit reljeefset eset (kuju), siis hõõrutakse tema pind grafiidiga elektrit juhtivaks ja kaetakse ta elektrolüütilisel teel tugeva vasekihiga. Nii saadakse vasest negatiivkoopia, mida tarvitatakse paljundamiseks vormina (valamiseks või pressimiseks). Ka võib asja negatiivkoopia valmistada kipsist või parafiinist ja teha see siis grafiidi abil juhtivaks, hiljem võib temast valmistada positiivkoopiaid elektrolüütilisel teel.

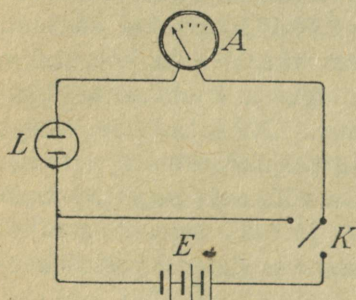
Ajalooost: Galvanoplastika leiutajaks oli vene akadeemik Jacoby 1837. a. (Jacoby oli ka Tartu ülikooli professoriks.)

37. Polarisatsioonvool. Teostame lühikest aega lahjendatud väävelhappe elektrolüüsi ja katkestame siis ühenduse vooluallikaga. Kui nüüd elektrolüüsi riist ühendada ampermeetriga, siis näitab see voolu, mille suund on elektrolüüsi põhjustanud voolule vastupidine. Seda voolu nimetatakse

polarisatsioonvooluks ja teda põhjustavad elektrolüüsi riistas elektroodidel eraldunud gaasid. Kirjeldatud katses polarisatsioonvoolu kestus on lühike ja tema pinge on umbes 2 V. Polarisatsioonvoolu uuesti saamiseks peame jällegi teostama elektrolüüsi.

Polarisatsioonvoolu tekkimise tõttu peab elektrolüüsi põhjustava voolu pinge olema suurem kui vastupidi mõjuva polarisatsioonvoolu pinge, s. t. suurem kui 2 V.

Galvaani elementides tekib vooluvõtmisel samuti elektrolüüs. § 29 nägime, et vesiniku ioonid rändavad (konventsionaalse) voolu suunas (anoodilt katoodi poole). Voolu võtmisel elemendist on välisahelas voolu suund anoodilt katoodile, elemendis eneses aga katoodilt anoodile, s. t. samas suunas liiguvad elemendis ka vesiniku ioonid, mis tekkisid katoodi aine, näit. tsingi ja elemendis oleva vedeliku (näit. H_2SO_4), keemilisel ühinemisel SO_4 ioonid annavad oma



Joon. 41. Polarisatsioonvool.

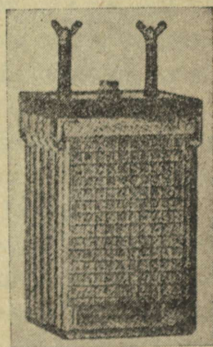
negatiivse laengu katoodi tsingile, ise viimasega keemiliselt tsinkvitrioliks ühinedes. H_2 ioonid lähevad aga anoodile üle ja annavad sellele positiivse laengu, hoides niiviisi alal pinget elektroodide vahel. Kuid anoodi kattumisel vesinikuga tekib elemendi voolule vastupidine polarisatsioonvool, mis võib kahandada elemendi voolu

nullini. Vesiniku eraldumise ärahoidmiseks anoodil püütakse teda keemiliselt siduda mingi ainega, millega anood ümbritsetakse. Näiteks leklanšee elemendis on anoodi sõe ümber mangaanülihapendi kiht (MnO_2), mis põhjustab järgmist keemilist reaktsiooni $2MnO_4 + H_2 \rightarrow Mn_2O_3 + H_2O$. Nii ei eraldu vesinik anoodil ega teki polarisatsioonvoolu, ja elemendi pinge ei kahane.

Polarisatsiooni nähtuse kõrvaldamist elemendis nimetakse **depolarisatsiooniks** ja selliseid elemente **jäävateks elementideks**.

38. **Akumulaatorid.** Polarisatsiooni nähtust kasutatakse akumulaatorites (akudes) elektrivoolu saamiseks. Eelmises paragrahvis kirjeldatud katses polarisatsioonivoolu kestus oli lühike, sest elektroodidel püsima jäänud gaaside hulk on väike. Kestva voolu saamiseks seotakse eralduvad gaasid keemiliselt elektrootodide ainega. Parimaid tulemusi annavad oksüüditud seatina plaadid lahjendatud väävelhappes.

Oksüüditud seatinaplaatide asetamisel lahjendatud väävelhappesse (~28%) muutub seatinaoksuüd seatinasulfaadiks ($\text{PbO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{PbSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$). Kui nüüd teostada elektrolüüs, siis katoodil eralduvad vesiniku ioonid, ühinedes seatinasulfaadi happejäägiga SO_4 väävelhappeks, kuna katoodi pinnakiht muutub poorseks seatinaks, omandades halli värvuse ($\text{PbSO}_4 + \text{H}_2 \rightarrow \text{Pb} + \text{H}_2\text{SO}_4$). Anoodil elektrolüüsi tõttu eralduvad SO_4 ioonid muudavad anoodi pinnakihi pruuniks seatinaülihapendiks. Selle reaktsiooni kestel suureneb väävelhappe hulk elektrolüüdis, nii et happe kontsentratsioon tõuseb. Aku elektrootodide omavahelisel ühendamisel toimub just vastupidine reaktsioon ja me võime saada kestvat elektrivoolu.



Joon. 42. Seatina-akumulaator.

Tegelikult valmistatakse seatina-akude plaadid restitaolistena, nende vahed täidetakse pressitud seatinasoolade kitiga, mis peamiselt sisaldavad seatinasulfaati. Seatina-akude laadimisel kui ka tühjendamisel ei tohi tarvitada tugevat voolu, muidu on keemiline reaktsioon liiga kiire ja plaatide

restides olev aine võib välja pudeneda (maksimaalne voolutugevus, mida aku kannatab, on akudele märgitud). Väikese sisetakistuse tõttu ($\sim 0,01\Omega$) ei tohi aku elektroode lühiühendada. Laadimise lõpuks võib seatina-aku pinge tõusta 2,7 V-ni, kuid laadimise lõppemisel langeb see otsekohe 2,1 V-ni. Vooluvõtmisel on tema pinge 2 V, mis alaneb õige aeglaselt kuni 1,8 V-ni, siis aga kiiresti langeb 0-ni. Tühjendamisel ei tohi pingel lasta langeda alla 1,8 V; samuti ei ole lubatav akut hoida laadimata üle kuu aja isegi siis, kui teda ei tarvitata (sisetühjenemise tõttu). Ka tugevaid põrutusi ei kannata seatina-akud. Kui akut ei tarvitata pikemat aega, siis tuleb ta laadida, väävelhape välja valada, puhta veega loputada ja siis kuivalt säilitada. Ettevaatliku käitlemise puhul võib aku püsida üle 10 aasta.

Akude mahtuvust mõõdetakse ampertundides (Ah), näiteks 100-Ah aku võib anda 100 tundi 1-amprist või 50 tundi 2-amprist voolu jne. Akud annavad tagasi 60—75% energia hulgest, mida nende laadimiseks kasutati. Tarvitatakse akusid mootorsõidukeis (valgustamiseks ja käivitamiseks), allveelaevades (allveesõidu energiaallikana), raadiovastuvõtjate energiaallikana jne.

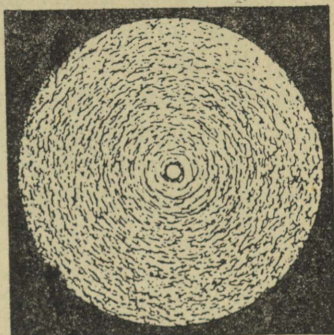
Seatina-akudest vastupidavamateks (ei karda laadimata seismist, tugevat voolu ega põrutusi) on raudnikkel-akud (nife), millede auklikud soolaga täidetud raud- ja nikkelplaadid on 21%-ses sööbekaaliumi vesilahuses. Nende pinge on $\sim 1,2$ V.

Ajaloost: Tina-akumulaatori tehniliselt vastuvõetaval kujul ehitas prantslane Planté 1860. a.; raudnikkel-akumulaatori leiutas Edison aastal 1903.

Elektromagnetism.

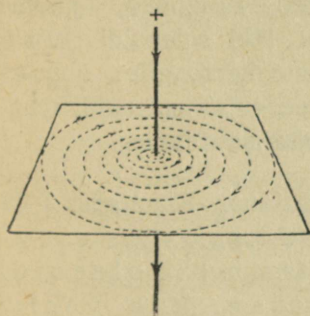
39. **Voolu magnetiväli.** Voolu mõjust magnetväljasse peame järeldama, et juhett, mida läbib elektrivool, ümbritseb magnetiväli. Sirge voolujuhtme ehk nn. sirg voolu mag-

netivälja lähemaks selgitamiseks korraldame järgmise katse. Tõmbame risti läbi papitüki jämeda vasktraadi, papitükile puistame rauapuru ja traadist juhime läbi elektri-voolu. Kui nüüd papitükile nõrgalt koputada, siis asetub rauapuru traadi ümber kontsentriliste ringidena, millede keskpunktis on voolujuhe. See katse näitab, et voolu ümbritseb magnetiväli, mille tungjooned asetuvad suletud ringidena ümber voolu. Neid magnetitungjooni võib jälgida ka tundliku magnetnõelaga. Magnetnõela abil võime määrata ka tungjoonte suunda. Joon. 44 kujutab magnetitungjoonte käiku ümber voolu. Tungjoonte suunda võime määrata järgmise reegli abil: Voolusuunas vaadates lähevad tungjooned kellaosuti liikumise suunas (päripäeva) (joon 44).



Joon. 43. Voolu magnetiväli.

Joon. 44 kujutab magnetitungjoonte käiku ümber voolu. Tungjoonte suunda võime määrata järgmise reegli abil: Voolusuunas vaadates lähevad tungjooned kellaosuti liikumise suunas (päripäeva) (joon 44).



Joon. 44. Tungjoonte suund.

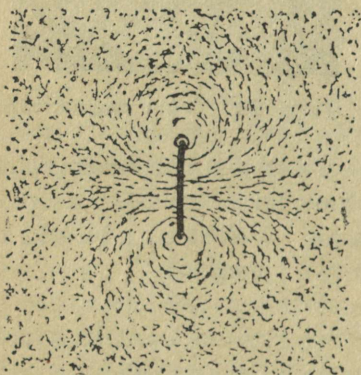
Samaks otstarbeks võib kasutada ka nn. Maxwelli kruvireeglit: Kui kruvi keeramisel kruvi edasinihkumise suund ühtib voolu suunaga, siis kruvi pööramise suund näitab tungjoonte suunda.

Rauapuru abil nähtavaks tehtud magnetiväljas leiame, et otse voolujuhtme lähedal on magneti tungjooned selgemini nähtavad, kaugemal nõrge-

mini. See tähendab, et magnetiväli nõrgeneb kaugusega voolujuhtmest.

Võtame sirgvoolu asemel ringiks keeratud voolujuhtme ja tõmbame ta läbi kartongi, nii et üks pool sellest oleks ülalpool, teine allpool kartongi. Puistame kartongile rauapuru ja ühendame voolu. Kartongile koputades teeme nähtavaks magneti tungjooned. Nüüd näeme, et magneti tungjooned väljuvad ringvoolu ühest otsast ja suubuvad teise otsa. Ringvool sarnaneb seega väga lühikese magnetiga.

Ajaloo st: Elektromagnetismi nähtused avastas taani füüsik Ørsted aastal 1820.



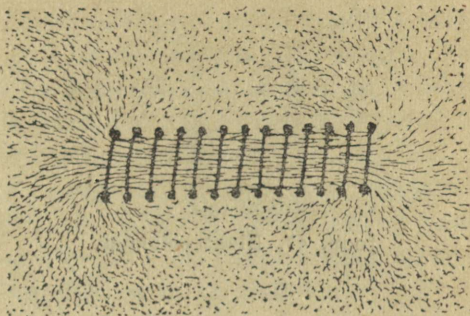
Joon. 45. Ringvoolu magnetiväli.

40. Solenoidi magnetiväli. Eriti suure tähtsusega on spiraali keeratud voolujuhe, mida nimetatakse ka solenoidiks. Selle magnetivälja lähemaks uurimiseks tõmbame traadi läbi kartongi, nagu kujutatud joonisel 46. Puistame kartongile rauapuru, juhime voolu läbi solenoidi ja koputame kartongile: koputamisega tuleb solenoidi magnetiväli nähtavale.

Magnetiväli solenoidi sees on ühtlane. Kasutades § 39 antud reeglit, võime määrata magneti tungjoonte suuna solenoidi, samuti ka ringvoolu puhul järgmiselt: Solenoidi põhjapoolus on selles otsas, kus voolusuund on vastupidine kellaosuti liikumise suunale, ja lõunapoolus selles otsas, kus voolusuund ühtib kella osuti

liikumise suunaga. Nõnda sarnaneb solenoid magnetiliste omaduste poolest hariliku sirge magnetiga.

Seda sarnasust võime näidata ka katse teel. Riputame solenoidi traatide otsa, millede kaudu võime juhtida voolu solenoidi, ja tasakaalustame ta nii, et ta võib pöörelda vertikaalse telje ümber. Kui lähendame ühele või teisele solenoidi poolusele magneti-pooluse, siis järgneb



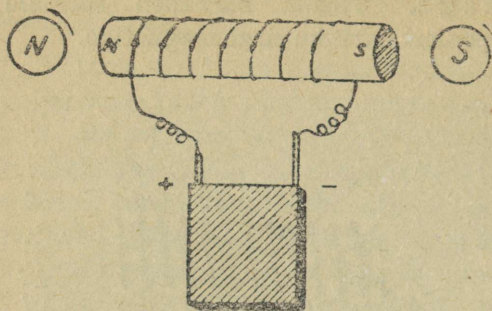
Joon. 46. Solenoidi magnetiväli.

sellele kas eemaletõukamine või lähemaletõmbamine, vastavalt pooluse märgile. Ka võime katse teel näidata kahe solenoidi mõju teineteisesse.

Samuti näitab katse, et solenoid, mida läbib vool, tõmbab nagu magnetki rauda lähemale ja püüab koguni rauda enda sisse tõmmata.

41. Elektromagnet. Solenoidi mitmekordset traatmähist nimetatakse **pooliks**. Asetame poolisse raudpulga, see muutub tugevaks magnetiks, kui pooli mähisest juhime läbi elektrivoolu. Seesugust raudsüdamikuga pooli nimetatakse **elektromagnetiks**. Elektromagneti pooluste asukoha määrab voolu suund, nagu solenoidiski.

Raudpulk poolis (elektromagneti raudsüdamik) jääb niikauaks magnetiliseks, kuni kestab vool. Voolu katkestamisel kaotab raud peaaegu kõik oma magnetilised omadused.



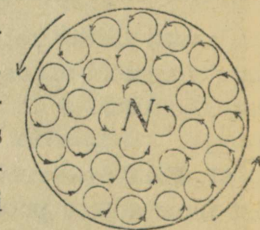
Joon. 47. Elektromagnet.

suured harilikud magnetid. Kuju poolest on elektromagnetid väga mitmesugused: sirged, hobuseraua-
kujulised jjt.

Elektromagnetit tarvitatakse laialdaselt mitmesuguste riistade ja masinate ehitamisel, nagu elektrikõlisti, telegraaf, telefon, elektrimootor jtm.

Ampère'i molekulaarmagnetismi teooria. Ring, samuti ka solenoid, mida läbib elektrivool, sarnaneb magnetiga. See sarnasus viis Ampère'i mõttele seletada raua, terase, nikli jtt. kehade magnetilisi omadusi elektrivooluga. Ampère oletas, et neis aineis esinevad molekulide ümber elektrivoolud, nii et neid võib vaadelda kui solenoidi või ringikujulisi magneteid.

Elektrivoolu molekulide ümber nimetatakse **molekulaarvooludeks**. Magneetimata rauas ja terases on molekulaarvoolud asetatud korrapäratult ja nende väline magnetiline kogumõju on null. Magneetimisel muutuvad molekulaarvoolud paralleelseiks ja see-



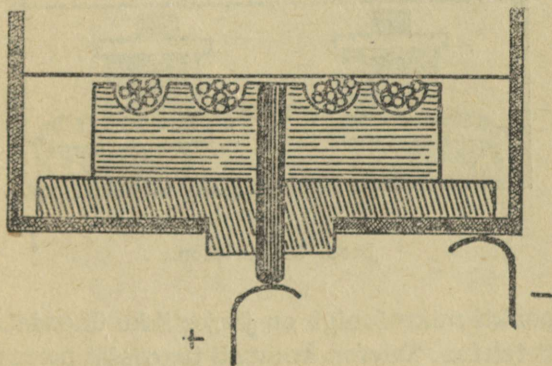
Joon. 48. Ampère'i voolud.

Samal viisil magneeditud teras aga säilitab oma magnetilised omadused, muutudes magnetiks. Mõnikord toimubki kunstlikkude magnetite magneetimine sel viisil.

Elektromagnetid on märksa tugevamad kui niisama

tõttu nende kogu välismõju pole enam null, vaid on teatava suurusega.

Ampère'i oletused viivad järeldusele, et erilist magnetilist ainet pole olemas, nii et pole ka võimalik täiesti eraldada ühte poolust teisest, s. o. saada näiteks põhjapoolus üksikult. Ampère'i oletus on kooskõlas ka meie kujutelmaga aatomi ehitusest, mille järgi aatom koosneb positiivselt laetud tuumast ja selle ümber tiirlevaist elektronidest. Et ainult vähesed ained on tugevalt magnetilised, seletatakse sellega, et elektronide teede paigutus ümber tuuma tavaliselt pole sümmeetriline. Seetõttu on nende väline magnetiline kogumõju null. Erandiks on raud, nikkel jt.

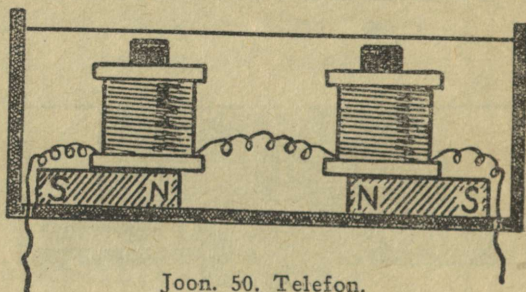


Joon. 49. Mikrofon.

42. **Mikrofon ja telefon.** Mikrofoni ja telefoni ülesandeks on edasi anda häält kaugema vahemaa taha. Mikrofon muudab helivõnked alalise voolu võngeteks, mida telefon omakorda muudab helivõngeteks.

Mikrofoni väliseks osaks on metallkarbide, mille põhja on kinnitatud pressitud söest õõntega plaat. Selle plaadi õõntesse paigutatakse väikesi söekuulikesi või sötolmu ja

kaetakse siis söest valmistatud õhukese membraaniga. Söeplaat on metallkarbikesest isoleeritud. Voolujuhtmed ühendatakse nii, et üks juhe ühendatakse söeplaadiga ja teine membraaniga. Niiviisi läheb vool läbi membraani ja söepulbri plaadile (või ümberpöörduvalt). Kõneldes mikrofoni ees, me tekitame helilaineid, milledes vahelduvad õhu tihendused ja hõrendused. Õhu tihendus, langedes membraanile, surub seda tugevamini söepulbri vastu; takistus kokkupuute kohtadel kahaneb ja vool ahelas tugevneb. Õhu hõrendus aga teeb membraani kontakti halvemaks ja voolutugevus ahelas nõrgeneb.



Joon. 50. Telefon.

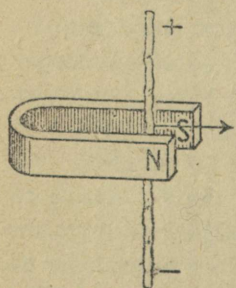
Kõnepunkti mikrofoni on järjestikku ühendatud kuulamispunkti telefon. Telefon koosneb tugevaist permanentseist magneteist, mille samanimeliste pooluste külge on kinnitatud elektromagnetid. Elektromagnetite südamikkuude lahiste otste kohal ($\frac{1}{2}$ mm kaugusel) asetseb õhuke terasmembraan. Voolu tugevnemine ahelas muudab tugevamaks permanentse magnetivälja ja terasmembraan telefonis tõmbub elektromagnetite südamikkuudele lähemale. Voolu nõrgenemisel eemaldub terasmembraan elastsuse tungide mõjul elektromagneti südamikkuudest. Nii näeme, et telefoni membraan võngub ja paneb enda ümber oleva õhu võnkuma täpselt sama sagedusega nagu mikrofoni membraan, ja niiviisi

me kuuleme sama kõrgusega hääli, nagu seda mikrofoni ees tekitatakse.

Ajaloo st: Telefoni idee andjaks oli prantsuse telegraafiametnik Bourseul: leiutist arendas ja täiendas Reis 1861. a. Tegelikult tarvitamiskõlbliku telefoni ehitas ameeriklane Bell 1877. a. Telegraafi eelkäija, nn. elektrokeemiline telegraaf, on esmakordselt ehitatud sakslase Sömmeringi poolt 1809. a. Morse ehitas tänapäevani püsiva elektromagnetilise telegraafi tüübi 1835. a.

III. Voolu ja magnetivälja vastastikune toime.

43. **Magnetivälja mõju voolujuhtmesse.** Et vool mõjustab magnetnõela, siis vastupidi — magnet mõjustab ka voolu. See vastastikune mõju tuleb sellest, et mõlemat ümbritseb magnetiväli. Magneti mõju voolusse saame selgitada, kui tarvitada painduvat elektrijuhet (lametti). Riputame niisuguse painduva voolujuhtme hobuserauakujulise magneti pooluste vahele (joon. 51), mille magneti tungjooned on horisontaalsed. Siis voolu läbimisel püüab voolujuhe liikuda risti magneti tungjoontele kas magnetipooluste vahelt välja või ümberpöördult. Voolu suuna muutmisel muutub ka voolujuhtme liikumise suund.



Joon. 51. Voolujuhe magnetiväljas.

Selle liikumise suuna võib määrata järgmise nn. Flemmingi vasaku käe reegli alusel: Kui hoida vasak käsi voolujuhtme sihis nii, et magneti tungjooned langevad peopessa ja sõrmed on asetatud voolu suunas, siis näitab põial voolujuhtme liikumise suunda.

44. **Voolude vastastikune mõju.** Riputades kaks painduvat voolujuhet kõrvuti (joon. 52),

võime leida, kuidas paralleelsed voolud üksteisesse mõjuvad. Päriparalleelsed voolud tõmbavad üksteist lähemale, kuna vastuparalleelsed voolud tõukavad üksteist eemale.

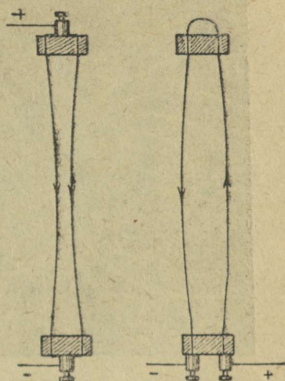
Pole sirgvoolud paralleelsed, vaid moodustavad omavahel nurga, siis püüavad nad asetuda üksteise suhtes päriparalleelselt.

1. Kuidas seletada, miks painduv juhe, mida läbib elektrivool, kerib end magneti ümber?

2. Missuunaliselt kerib end magneti ümber eelmises küsimuses tähendatud juhe?

45. **Maamagnetism.** Magnetnõel võtab Maakera igas kohas alati kindla sihi (põhi-lõuna). Sellest järeldame, et Maa ümber on olemas magnetväli, mida tekitab Maakera ise. Nii võime vaadelda Maad suure kerakujulise magnetina, mille magnetiline lõunapoolus asub geograafilise põhjapooluse läheduses (magnetnõela põhjapoolus pöörduv põhja poole — järelikult selles suunas peab asuma magnetiline lõunapoolus) ja magnetiline põhjapoolus geograafilise lõunapooluse läheduses.

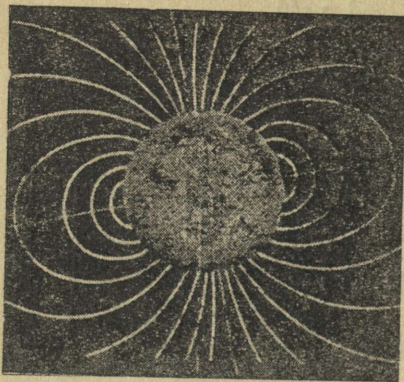
Tõepoolest näitavad täpsemad uurimused, et magnetiline lõunapoolus asub Põhja-Ameerikas Boothia Felix'i poolsaarel (69° p. l ja 96° l. p. Gr), magnetiline lõunapoolus aga Lõuna-Jäämeres lõuna pool Uus Hollandit (72° l. l. ja 154° l. p. Gr). Et geograafilised ja magnetilised poolused täpselt ei ühti, siis ei näita magnetnõel ka täpselt geograafilist põhja-lõuna sihti (meridiaani), vaid kaldub sellest kõrvale, näidates magnetiliste pooluste poole. Nii tekib nurk põhja-lõuna sihi ja magnetnõela



Joon. 52.

Päriparalleelsete ja vastuparalleelsete voolude magnetiväljad.

vahel, mida nimetatakse deklinatsiooniks ehk käändeks (Kolumbus a. 1492).



Joon. 53. Maakera magnetiväli.

Deklinatsioon võib olla kas idapoolne või läänepoolne, seejärgi, kas magnetnõela põhjapoolus kaldub N-S suunast ida või lääne poole. Tarvitades kompassi peab täpse põhjalõuna suuna määramisel arvestama ka deklinatsiooni.

Maakera magnetivälja tungjoonte sihtide määramisel tarvatakse magnetnõela, mis ruumis võib igas

sihis pöörduda (kaldenõel). Selleks paigutatakse magnetnõel hargi vahele telje külge, mis võimaldab talle pöörlemist vertikaaltasapinnas; hark koos nõelaga riputatakse peenikese niidi otsa, mis laseb magnetnõelal pöörduda ka horisontaalpinnas. Niisugune kaldenõel võib ruumis võtta iga võimaliku sihi.

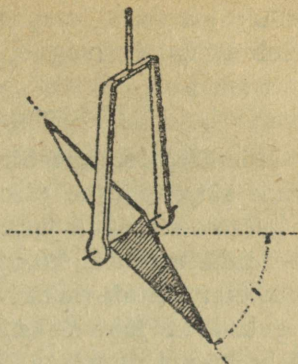
Vaatlustel selgub, et kaldenõel moodustab horisontaalpinnaga teatava nurga, mis magnetilistele poolustele lähenemisel järjest suureneb, magnetilise ekvaatori poole liikumisel aga väheneb. Et kaldenõela siht ühtib Maa magnetiliste tungjoonte sihiga, siis võib nurka Maa magnetiliste tungjoonte ja horisontaalpinnaga vahel nimetada selle koha kaldeks ehk inklinatsiooniks. Magnetilistel poolustel on inklinatsioon 90° ja magnetilisel ekvaatoril 0° .

Et saada ülevaadet deklinatsiooni ja inklinatsiooni väärtustest kogu Maakera kohta, selleks ühendatakse Maa kaardil kõik sama deklinatsiooniga kohad pidevate kõverjoontega, mida nimetatakse isogoonideks, ja sama inklinatsiooniga kohad kõverjoontega, mida nimetatakse isokliinideks. Kuid nii deklinatsioon kui ka inklinatsioon pole antud kohas püsivad suurused, vaid nad muutuvad aja jooksul. See muutumine on osalt perioodiline. Üks periood näiteks on ööpäevane, teine aga langeb ühte päikeselaikude muutumise perioodiga. Peale nende on olemas veel teisigi perioode. Samuti esinevad juhuslikud muutused, mida põhjustavad tugevad magnetilised tormid Maakeral. Viimased on tavaliselt seoses kas virmalistega või mõningate nähtustega Päikese pinnal, nagu protuberantsid või erakordselt suured laigud.

Juhuslikud deklinatsiooni ja inklinatsiooni muutused kaovad koos nende põhjuste kadumisega. Rauamaagi lademetel läheduses võivad deklinatsioon ja inklinatsioon tugevasti erineda selle ümbruskonna normaalsest väärtusest. Nõnda võib kindlaks teha rauamaakide olemasolu maa sügavuses (näit. VNSV-s Kurski oblastis, Jõhvi piirkonnas ENSV-s).

ENSV-s on praegu deklinatsioon ligikaudu 0° , s. t. magnetnõel normaalselt näitabki põhja-lõuna sihti. Inklinatsioon on $\sim 70^\circ$.

Terasvarb (ka kõvem raudvarb) muutub magnetiliseks, seistes pikemat aega Maa magnetiväljas. Eriti hästi võib

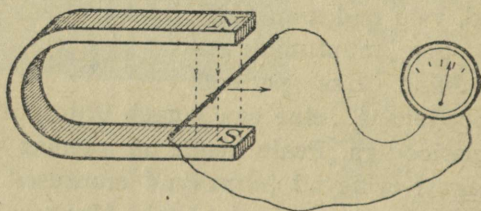


Joon. 54. Kaldenõel.

selline loomulik magneetumine ilmnedä juhul, kui varb asub ligikaudu magnetiliste tungjoonte sihis.

Elektromagnetiline induktsioon.

46. Elektromagnetilise induktsiooni põhinähtused. Ühendame sirge juhtme (joon. 55) tundliku galvanomeetriga ja liigutame siis seda juhet magnetipooluste vahel nii, et traat läbistaks magneti tungjooni. Siis paneme tähele, et galvanomeeter näitab elektrivoolu, mis kestab niikaua, kuni juhe liigub. Jäab juhe seisma, siis galvanomeeter voolu ei näita. Mida kiiremini traati liigutame, seda tugevamat voolu gal-



Joon. 55. Induktsioonvool.

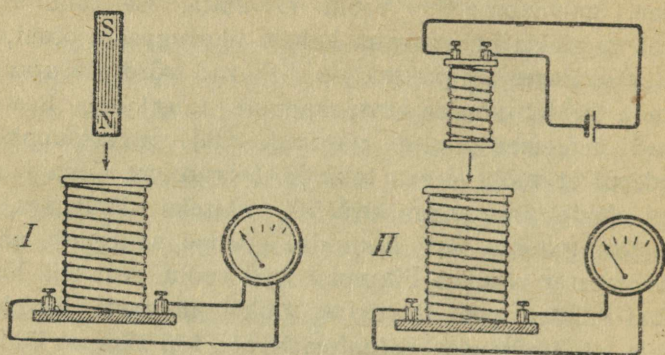
vanomeeter näitab. Liigub traat vastassuunas, siis näitab galvanomeeter ka vastassuunalist voolu. Samuti näitab katse, et vool on siis tugevam, kui juhe liikumisel lõikab rohkem magneti tungjooni. Kui traadiotsad pole ühendatud, siis tekib traadiotstes ainult pinge. Kirjeldatud nähtust nimetatakse **elektromagnetiliseks induktsiooniks**, tekkinud voolu indutseeritud ehk **induktsioonvooluks** ja induktsioonvoolu põhjustavat pinget **indutseeritud pingeks**. Kui liigutada aga juhet magnetiväljas juhtme enda või magneti tungjoonte sihis, siis galvanomeeter voolu ei näita. Järelikult tekib juhtmes induktsioonvool ainult siis, kui juhe lõikab magneti tungjooni.

Samad nähtused ilmnevad, kui vaatleme mõne suletud juhtme, näiteks ühekordse ristküliku või ringikujulise

juhtme silmuse liikumist magnetiväljas. Ühendanud juhtmesilmuse tundliku galvanomeetriga, märkame, et kui silmus liigub risti magneti tungjoontega ühtlases magnetiväljas, galvanomeeter voolu ei näita. Sel juhul võime silmust vaadelda koosnevana kahest ühesugusest osast, mis liikudes ühtlases magnetiväljas löikuvad võrdsete ajavahe-mikkude kestel võrdse arvu magneti tungjooni. Seetõttu tekivad mõlemas pooles võrdsed, kuid vastassuunalised pinged, nii et voolu ei saa tekkida. Liigub aga sama juhtme silmus ebaühtlases magnetiväljas, näiteks niisuguses, kus magnetitungjoonte arv liikumise suunas suureneb, näitab galvanomeeter silmuse liikumise ajal voolu, sest siis löikab kumbki silmuse pool isesuguse hulga magneti tungjooni. Nii siis tekib silmuses induksioonvool, kui silmust läbivate magneti tungjoonte arv muutub. Lähem uurimine näitab, et indutseeritud pinge on võrdeline ajaühiku kestel läbilõigatud tungjoonte arvuga.

47. Induksioonvool poolis. Ühekordse voolusilmuse liikumisel magnetiväljas tekkinud induksioonvool on üldiselt nõrk. Induksioonvoolu tugevdamiseks tarvitame pooli, mis koosneb suurest hulgast õõnsale rullile kihtidena üksteise peale keritud isoleeritud vasktraadi keerdudest. Ühendame pooli traadiotsad galvanomeetriga ja asetame nüüd poolisse magnetpulgad (joon. 56). Poolis tekib magnetpulga liikumisel induksioonvool, sest pooli traadikeerud löikavad magnetpulga pooluse vihutaoliselt hajuvaid magneti tungjooni. Poolis tekkinud induksioonpinge on märksa suurem kui ühekordse voolusilmuse puhul sama magnetivälja läbistamisel. Tõepoolest, sel juhul tekib indutseeritud pinge pooli igas keerus ja poolis tekkinud kogupinge on võrdne kõikides keerdudes indutseeritud pingete summaga. Magnetpulga poolist väljavõtmisel aga näitab galvanomeeter vastassuunalist voolu. Kui asetame poolisse või võtame poolist välja magnetpulga teise pooluse, siis te-

kivad poolis magnetpulga liikumise ajal induktsioonvoolud, millede suunad on vastupidised esimesel juhul tekkinud induktsioonvoolu suundadega.

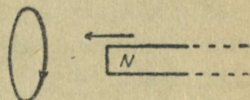


Joon. 56. Induktsioonvool poolis.

48. **Lenzi reegel.** Induktsioonvoolu suunda võib määrata mitme reegli abil, milledest lihtsaim on Lenzi reegel: Induktsioonvoolu suund on selline, mis takistab induktsioonvoolu tekitavat liikumist. Lähendame poolile või silmusele näiteks magneti põhjapooluse, tekib poolis induktsioonvool, mille suund on niisugune, et magneti põhjapooluse poole pööratud pooliotsas on põhjapoolust eemale tõukav poolus, s. o. samuti põhjapoolus. Induktsioonvoolu suund on sel juhul vastupidine kellaosuti liikumise suunale. Ümberpöörduvalt, kui eemaldame silmusest magneti põhjapooluse, on induktsioonvoolu suund samasuunaline kellaosuti liikumise suunaga. Magnetipoolusele lähemas pooliotsas on siis lõunapoolus, mis takistab magnetipooluse eemaldamist.

Magnetipulga asemel võime tarvitada ka teist pooli, mida läbib elektrivool. Kui seda pooli lähendame või eemaldame esimesest poolist, tekib selles induktsioonvool, mille suunda võib määrata Lenzi reegli järgi. Nimetame indutseerivat

voolu **primaarseks vooluks** ja pooli, mida see vool läbib, **primaarseks pooliks**, indutseeritud voolu **sekundaarseks vooluks** ja vastavat pooli **sekundaarseks pooliks**. Induktsioonvool tekib sekundaarses poolis ka siis, kui seda pööratakse primaarse pooli sees. Seejuures pole tähtis, kumb pool paigal seisab ja kumb liigub. Tähtis on ainult nende suhteline liikumine, nagu seda võib näha ka magnetpulga ja pooli puhul. Asetame nüüd ühe pooli teisesse, näiteks sekundaarse pooli primaarsesse pooli, siis sekundaarses poolis tekib induktsioonvool, kui ühendada või katkestada primaarne vool. Samuti tekib sekundaarses poolis induktsioonvool, kui suurendame või nõrgendame primaarset voolu. Kõik need katsed näitavad, et poolis tekib alati induktsioonvool, kui teda läbivate magnetitungjoonte arv muutub. See tähendab, et induktsioonvoolu tekitab pooli läbiva magnetivälja tugevuse muutus.



Joon. 57.
Lenzi reegel.

Juhtme liigutamisel magnetiväljas teeme tööd, sest Lenzi reegli järgi on induktsioonvoolu suund niisugune, et ta induktsioonvoolu tekitab liikumist takistab. Juhtme liigutamisel me peame ületama selle takistustungi. Tehtud mehaanilise töö kulul tekib elektrienergia induktsioonvoolu kujul.

49. **Pöörivoolud.** Induktsioonvool ei teki ainult juhtmes, vaid ka massiivseis metallkehades. Võtame massiivse vaskketta ja liigutame teda tugeva elektromagneti pooluste vahel; vaskketta liikumisel tekivad temas induktsioonvoolud. Lenzi reegli järgi on induktsioonvoolude suund säärane, et need takistavad induktsioonvoole tekitab liikumist, seetõttu tunnemegi, et vaskketta liikumine magnetipooluste vahel on tugevasti takistatud. Massiivseis metallkehades tekkinud induktsioonvoolu, mida põhjustab neid

lõikavate magneti tungjoonte arvu muutumine, nimetatakse pööris- ehk Foucault' vooludeks.

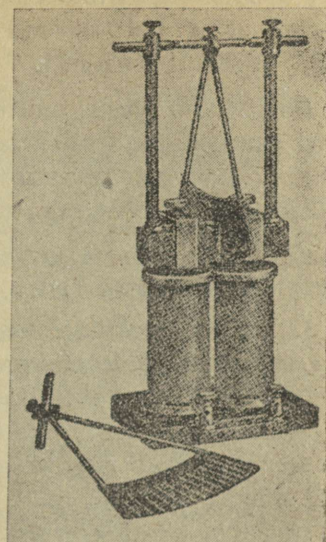
Eriti hästi võib näha pöörisvoolude takistavat mõju metallimasside liikumisel magnetiväljas Waltenhofeni pendli abil. Kahe tugeva elektromagneti pooluste vahel ripub massiivsest vaskplaadist koosnev pendlikeha, mis võib liikuda ainult pooluste-vahelise ruumi tasapinnas (joon. 58). Kui paneme pendli võnkuma ja elektromagnetist voolu läbi ei lase, vaibub pendli võnkumine aeglaselt. Kui aga pendli võnkumise ajal elektromagnetist vool läbi lasta, jääb pendel kohe seisma, niipea kui ta elektromagneti pooluste vahele jõuab. Käega pendlit liigutades tundub, nagu liiguks ta püdelas vedelikus, näiteks siirupis. Kui aga vaskplaati lõigata pilud, nagu joonisel kujutatud, pole säärase pendli liikumine magnetiväljas takistatud, sest siis pöörisvoolu tekkida ei saa.

Pöörisvoolud tekitavad keha sees soojust, mida võib näidata lihtsa katse varal. Kui paksuseinaline vasksilinder täita veega ja siis tugeva elektromagneti pooluste vahel pöörlema panna, hakkab vesi silindris vähe aja pärast keema.

Pöörisvoolude summutavat toimet võnkuvaisse keha sisse kasutatakse praktikas elektrimõõteriistade, elektrilugejate jt. juures. Summutavaks osaks on neis liikuva süsteemiga kindlalt seotud, tavaliselt alumiiniumist plaat, mis liigub tugeva magneti pooluste vahel. Pöörisvoolud tekitavad ka dünamo, elektrimootori ja transformaatori raudsüdames. Nende vältimiseks valmistatakse raudsüdamed mitte massiivsest rauast, vaid raudtraatidest või õhukestest raudplekkidest.

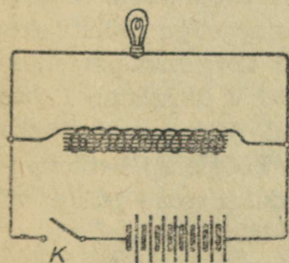
50. **Eneseinduktsioon.** Solenoidi läbiv elektrivool tekitab solenoidis magneti tungjooni; nende arv on seda suurem, mida suurem on voolutugevus. Solenoidis tekib induktsioonvool iga kord, kui teda läbivate magneti tungjoonte arv muutub. Siit järgneb, et solenoidi läbiva voolu ühendamisel

või voolutugevuse suurendamisel tekib solenoidis indutseeritud pinge. Lenzi reegli järgi on see indutseeritud pinge vastassuunaline primaarse voolu pingega. Kui aga solenoidi läbiva voolu tugevust vähendada või katkestada, siis seetõttu, et nüüd magneti tungjonte arv väheneb, tekib solenoidis indutseeritud pinge, mis on samasuunaline primaarse voolu pingega. Nähtust, et primaarne vool tekitab juhtmes endas induksioonvoolu, nimetatakse **eneseinduksiooniks** ja tekkinud indutseeritud pinget **eneseinduksiooni pingeks**.



Joon. 58. Waltenhofeni pendel.

Juhtme eneseinduksiooni võime võrrelda keha inertsusega. Nagu keha inertsus takistab keha ühtlase sirgjoonelise liikumise või paigaloleku muutumist, nii takistab eneseinduksioon voolu tugevuse muutumist või selle tekkimist.



Joon. 59. Induktiivsuse demonstreerimine.

Pooli või mõne teise juhtme eneseinduksiooni suurust nimetatakse pooli **induktiivsuseks** ehk lihtsalt **eneseinduksiooniks**.

Induktiivsuse tehniliseks ühikuks on henri (**H**). Juhtme induktiivsus on 1 henri, kui voolu muutudes 1 A võrra sekundis tekib eneseinduksiooni pinge 1 V. Et henri on väga suur ühik, siis

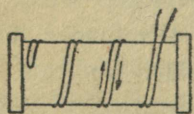
tarvitatakse sageli induktiivsuse ühikuna temast 1000 korda väiksemat ühikut — **millihenrit**: 1 millihenri (mH) = 0,001 henrit.

Pooli induktiivsus suureneb pooli keerdude arvuga, samuti suureneb ta, kui asetada pooli sisse raudsüdamik, sest sellega suureneb muutuva magnetivälja tugevus. Kõige väiksema induktiivsusega on sirge juhe.

Eneseinduktsiooni tõttu tekkinud elektrivoolu nimetatakse **ekstravooluks**.

Lülitame vooluahelasse suure induktiivsusega pooli, s. o. suure keerdude arvuga ja raudsüdamikuga pooli. Voolu ühendamisel Lenzi reegli järgi on ekstravoolu pinge, seega ka voolu suund, vastupidine primaarsele voolule, nii et voolutugevus kasvab aeglaselt. Voolu katkestamisel aga mõlemad pinged liituvad, mille tulemuseks on nn. **katkestamissäde**. Katkestamissädet võib tähele panna igal pool, kus vooluahelasse on lülitatud suur induktiivsus, näiteks elektromagnetis, elektrikõlistis, elektrimootoris jm. Katkestamissäde rikub kontakte (tekib voltaleek), seepärast tarvitatakse suurte voolude katkestamiseks erilisi **kangkatkestajaid**, kus kaugus kontaktide vahel suureneb kiiresti erilise vedru abil.

Voolu katkestamisel tekkinud ekstravoolu võib demonstreerida, kui lülitada näiteks elektromagnetiga rööbiti elektrihõõglamp (joon. 59), mis tarvitab kõrgemat pinget, kui see on antud vooluallikal, näiteks 220 V hõõglamp 110-voltdise pinge puhul. Kiirel voolu katkestamisel hakkab hõõglamp hetkeks põlema. Suure induktiivsuse puhul võib hõõglamp isegi läbi põleda.



Joon. 60. Bifilaarne mähis.

Raadiotehnikas kasutatakse muutliku induktiivsusega poole, mida nimetatakse **variomeetrikeis**. Vario-

meeter koosneb kahest järjestikku lülitatud poolist, milledest ühte võib teise sisse pöörata. Variomeetri induktiivsus on siis maksimaalne, kui voolud poolides on samasuunalised, minimaalne, kui need on vastasuunalised.

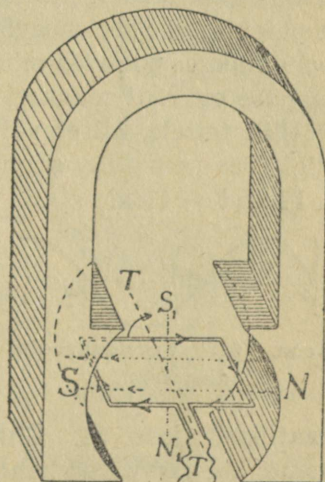
Induktiivsusvabade poolide saamiseks keritakse traat neile bifilaarselt, s. o. nii, et kahes kõrvutiolevas keerus voolu suund on vastupidine (joon. 60). Induktiivsusvabu poole tarvitatakse mõõtreaastaatide ehitamisel.

Generaatorid ja mootorid.

51. **Alalisvoolu dünamo.** Tehnikas tarvitatakse kahte liiki elektrivoolu: alalis- ja vahelduvvoolu. Alalisvool on niisugune elektrivool, mille suund ei muutu, kuna vahelduvvoolu suund muutub perioodiliselt. Sellele vastavalt kasutatakse vooluallikatena ehk **generaatoritena** kas alalisvoolu või vahelduvvoolu masinaid. Nende mõlemate tegevus põhineb induksioonvoolul.

Alalisvoolu generaatori ehk, nagu seda tavaliselt nimetatakse, **alalisvoolu dünamo** tegevuse selgitamiseks korraldame järgmise katse.

Paigutame kahe tugeva isenimelise magnetipooluse vahele isoleeritud traadist ristküliku-kujulise silmuse, mis võib pöörelda silmuse tasapinnas oleva telje ümber (joon. 61). Pöörates seda traatsilmust teda ümbritsevas magnetiväljas, tekib temas indutseeritud

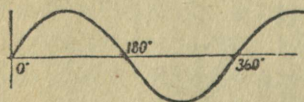


Joon. 61. Dünamo printsip.

pinge, sest mõlemad traadipooled löikavad magneti tungjooni, ja silmusest läbiminevate magneti tungjoonte hulk alatasa muutub.

Iga kord, kui silmuse tasapind osutub risti magneti tungjoontele, muutub indutseeritud pinge suund, mis järgneb Lenzi reeglist. Nii siis, kui ühendada silmuse traadiotsad välisjuhtmega, tekib selles vahelduvvool, s. o. vool, mille suund ja tugevus muutub perioodiliselt. Silmuse pöörlemisel tekkinud pinge muutust ühe täispöörde ehk perioodi kestel kujutab graafiliselt joon. 62, kus rõhtteljel on näidatud pöördenurga suurus, püstteljel pinge. Samasuguse kõvera saame ka voolutugevuse muutumise kohta.

Et saada alalisvoolu, seks varustatakse see pöörlev silmus järgmise seadisega. Silmuse pöörlemisteljeks on võll, mis on varustatud kahe teineteisest isoleeritud metallsegmentiga ehk lamelliga. Lamellid on ühendatud silmuse traadiotstega. Neid metall-lamelle puudutavad sõest harjad, millede kaudu juhatakse vool välisahelasse. Lamellid on paigutatud pöörlemisvõllile nii, et iga kord, kui muutub voolu suund pöörlevas silmuses ja nimelt siis, kui silmuse tasapind on risti magneti tungjoontele, libiseb hari ühelt lamellilt teisele, nii et välisahelas voolu suund ei muutu, kuigi see muutub silmuses. Seda seadist nimetatakse **kollektoriks**.



Joon. 62. Vahelduvvoolu diagramm.

Sel viisil saame nn. pulseeriva voolu, s. o. voolu, mille suund küll ei muutu, kuid mille tugevus muutub 0 ja maksimaalse väärtuse vahel. Pulseerivat voolu ühe pöörleva silmuse puhul kujutab

graafiliselt joon. 64. Ühtlasema pinge ja voolutugevuse saame, kui tarvitame kahte või rohkem silmust. Pulseerivat voolu, mille annab kaks järjestikku lülitatud silmust, kujutab graafiliselt joon. 65.

Alalisvoolu dünamo peaosad on seega järgmised:

Traatmähis, mis pannakse pöörlema magnetiväljas ja milles tekibki induksioonvool. Seda liikuvat osa nimetatakse **ankruks**.

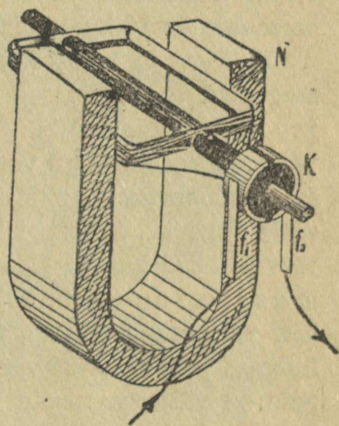
Magnetid, mis annavad tugeva magnetivälja, kus ankur pöörleb.

Kollektor ja harjad, millede kaudu juhitakse vool liikuvalt ankrult välisahelasse.

Praktiliselt ehitatakse ankur mitmest mähisest, iga mähis aga koosneb hulgast traatsilmustest või keerdudest. Igale mähisele vastab üks paar lamelle kollektoril. Suure arvu mähiste puhul on vool peaaegu muutumatu. Et koondata võimalikult palju tungjooni mähistesse, on mähised varustatud raudsüdamikudega, mis pöörisvoolude vältimiseks on valmistatud raudplekist. Kuigi need raudplekid üksteist puudutavad, takistab pöörisvoolude tekkimist nende pinnal leiduv oksüüd.

Nüüdisaegsetes dünamomasinates tarvitatakse nn. trumm-ankruid, mida kujutab joon. 67. Üksikud mähised on selles lülitatud järjestikku.

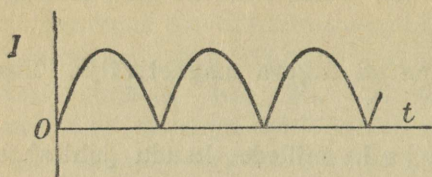
Dünamo magnetitena ehk, nagu neid harilikult nimetatakse, väljamagnetitena tarvitatakse peamiselt elektromagneteid, harva, väga väikeste masinate ehitamisel, ka terasmagneteid. Väljamagnetid on nii paigutatud, et vastasnimelised poolused on üksteise vastas ja nende vahel pöörleb ankur. Suurtel dünamo-



Joon. 63.

Alalisvoolu kollektor.

tel on rohkem kui üks paar väljamagneteid. Säärastelt masinate kollektoritelt võetakse vool niisama suure arvu harjade kaudu.



Joon. 64. Pulseeriv vool.

Et väljamagnetite raudsüdamikud on alati eelmisest magnetimisest pisut magnetilised, tekib ankru pöörlemisel temas nõrk induksioonvool, mis annabki tõuke dünamo-elektrilise printsiibi nime all.

Et väljamagnetite raudsüdamikud on alati eelmisest magnetimisest pisut magnetilised, tekib ankru pöörlemisel temas nõrk induksioonvool, mis annabki tõuke dünamo-normaalseks töötamiseks.

53. Pea- ja haruvoolumasinad. Selle järgi, kuidas väljamagnetid vooluahelasse lülitatakse, eristatakse peavoolu- ja haruvoolumasinaid. Peavoolumasinates läbib väljamagneteid kogu vool (joon. 68). Koormatuse vähenemisel väheneb ka magnetite vool ning ühes sellega magnetivälja tugevus. Seetõttu langeb ka pinge. Peavoolumasinaid tarvitatakse harva. Enamasti kasutatakse haruvoolumasinaid (joon. 69). Siin juhitakse väike osa peavoolust väljamagnetitesse, millede mähised on tehtud suurest hulgast peenikestest vasktraadi-keerdudest. Haruvoolumasinais on väljamagnetite vool rööbitine välisahela vooluga. Sellesse harru on lülitatud veel reostaat, mis võimaldab ka muutliku voolu tarviduse puhul hoida ergutusvoolu, seega ka magnetivälja tugevust konstantsena. See omalt poolt võimaldab hoida konstantsena ka pinget. Vooluenergia kulu on seejuures väga väike, sest väljamagnetite mähiste takistus on suur.

52. Siemensi printsiip. Väljamagneteid läbivat elektrivoolu nimetatakse **ergutusvooluks**.

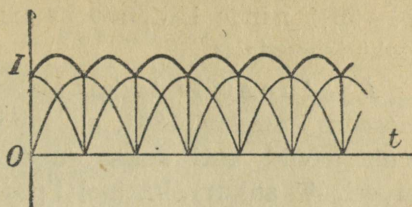
W. Siemensi järgi võetakse väljamagne-

te samalt masinalt. Seda printsiipi tuntakse elektrotehnikas **Siemensi ehk dünamo-**

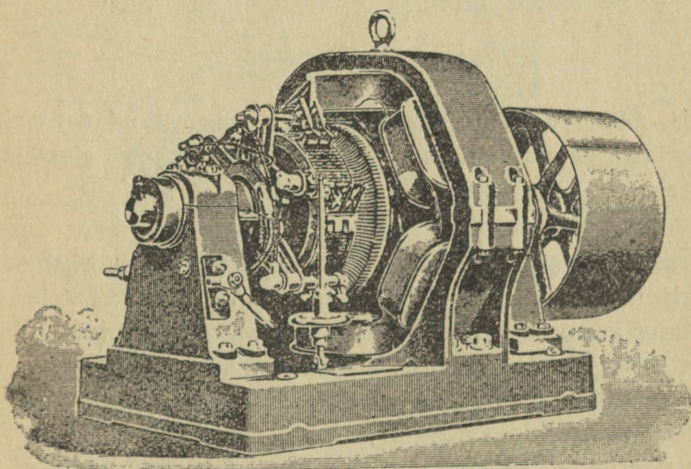
Kolmas lülitusviis on segalülitus. Selles lülituses on ühendatud mõlemad lülitusviisid.

Ankru käitamiseks tuleb kulutada tööd, sest Lenzireegli järgi on induksioonvoolu suund

säärane, et ta seda liikumist takistab. Niiviisi muundub dünamos mehaaniline töö elektrienergiaks. Kui dünamost voolu ei võeta, on teda kerge ümber ajada, sest puudub induksioonvoolu takistav mõju. Mida rohkem dünamot koor-



Joon. 65. Pulseeriv vool kahe silmuse pöörlemisel.

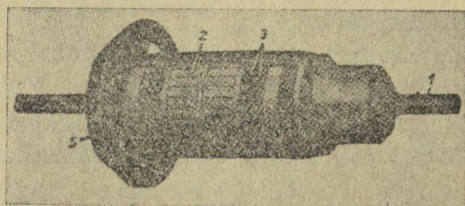


Joon. 66. Alalisvoolu dünamo.

mame, s. o. mida suurema voolu temalt võtame, seda rohkem peame tema ümberajamisel tööd tegema, sest seda suurem on induksioonvoolu takistav mõju. Dünamod muundavad

70—95% nende käitamiseks kulutatud mehaanilisest tööst elektrienergiaks.

Ajaloo st: Lihtsaima alalisvoolu generaatori ehitas esimesena Faraday 1831. a., kuid kasutamiskõlblikud konstruktsioonid anti saksa inseneri Siemens'i poolt 1856. a. (topelt -T- ankur), Pacinotti poolt 1860. a. ja Gramme'i poolt 1870. a. (nn. Gramme'i rõngas).



Joon. 67. Trummankur.

54. Alalisvoolu mootor. Masinaid, mis muundavad elektrienergiat mehaaniliseks tööks, nimetatakse elektrimootoriteks.

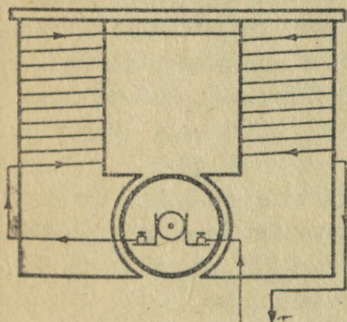
Kui juhtida harjade kaudu voolu alalisvoolu dünamo ankrusse, samuti väljamagneti mähisesse, siis hakkab ankur pöörlema. Et see nii peab olema, selgub järgmisest katsest. Asetame kahe tugeva pooluse vahele juhtmest silmuse (§ 51). Varem nägime, et juhtmesse, mida läbib elektrivool, mõjub magnetiväljas tung, mis on risti magneti tungjoontele ja voolule (Flemmingi reegel). Selle tungi mõjul hakkab silmus pöörlema. See pöörlemine on pidev, sest vastaval momendil muutub voolu suund silmuses, nii et pöörlemisuund jääb endiseks. Voolu suund muutub ankrus sel teel, et parajal momendil libisevad harjad ühelt lamellipaarilt teisele.

Elektrimootori töötamisel läbistavad mootori ankrumähiste traadid magneti tungjooni, ja ankrus tekib indutseeri-

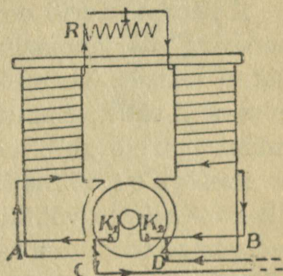
tud pinge. Niiviisi töötab mootor samaaegselt dünamomasinana. Indutseeritud pinge on vastassuunaline mootoris juhitud voolu pingele ja seda suurem, mida kiiremini ankur pöörleb. See nähtus on suure tähtsusega. On mootor vähem koormatud, pöörleb ta ankur kiiremini ja vastassuunaline indutseeritud pinge on siis kõrgem.

Järeldus: Mida rohkem on mootor koormatud, seda tugevamat voolu ta tarvitab. Tühjalt jooksev mootor praktiliselt voolu ei tarvita.

Iga alalisvoolu dünamomasin võib töötada mootorina, ja mootori peaosad ongi samad mis dünamol.



Joone 68. Peavoolumasin.



Joone 69. Haruvoolumasin.

Nagu dünamomasinad, nii jagatakse ka elektrimootorit vastavalt sellele, kuidas väljamagnetid on lülitatud vooluahelasse: peavoolu-, haruvoolu- ja segavoolumootoriteks.

55. Käivitaja. Elektrimootorit läbiv elektrivool on kõige tugevam, kui mootor seisab, sest siis on indutseeritud vastupinge null. Et ankru mähise takistus on väga väike, siis võib voolu juhtimisel mootoris voolutugevus väga suureks tõusta, nii et ankru mähised võivad läbi põleda. Sellepärast ei anta mootorile algul täit pinget, vaid lülitatakse vooluahelasse reostaat, mida tavaliselt nimetatakse käivi-

t a j a k s. Kui mootori pöörete arv on tõusnud küllalt suureks, siis lülitatakse käivitaja aegamööda välja.

Elektrimootoreid ehitatakse väga mitmesuguses suuruses, 0,1 ja isegi vähemast hobusejõust kuni mitme tuhande hobusejõuni. Tavaliselt märgitakse elektrimootori võimsus kilovattides.

Elektrimootoreid tarvitatakse nüüdisajal laialdaselt igapäevases majapidamises, eriti aga tehnikas. Nii pannakse elektrimootori abil käima elektritramm, vabrikutes ja tehastes mitmesugused masinad jne. Majapidamises tarvitatakse elektrimootoreid ka evupumba, õhuvентиляatori, õmblusmasina käimapanemiseks jne.

Elektrimootorid omavad suuri paremusi, võrreldes teiste mehaaniliste jõumasinatega. Neisse energia juhtimine on lihtne (ainult juhtmed), pole tarvis suuri ja raskeid transmissiooni-võlle, rihmu jne. Samuti tarvitavad nad vähe ruumi ega ole ohtlikud.

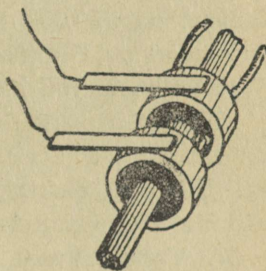
Pealegi on võimalik elektrimootorite abil iga masinat üksikult seisma või käima panna, vaatamata sellele, kas teised samas tööstuses leiduvad masinad käivad või mitte. See võimaldab suurt kokkuhoidu energia kulus.

1. Elektrimootori võimsus on 3 kW. Mitu HJ see on?
2. Masinate käitamisel teeb elektrimootor tööd võimsusega 2,2 HJ, tarvitades 220 V pinget juures 8,5 A voolu. Leida elektrimootori kasutegur!

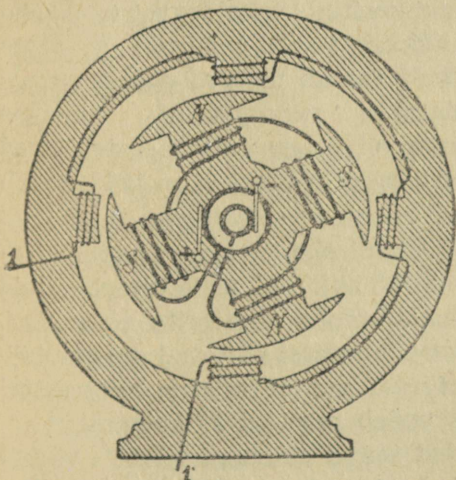
56. Vahelduvvoolu generaator. Traatsilmuse pöörlemisel magnetiväljas tekib traatjuhtme otstes vahelduv pinget (§ 46). Et liikuvalt silmuselt võtta elektrivoolu, seks ühendatakse silmuse traadiotsad pöörlemisvõllil oleva kahe metallrõngaga, mida puudutavad pidevalt harjad. Harjade kaudu juhitakse vool välisahelasse. Säärast kollektorit nimetatakse rõngaskollektoriks ja teda kujutab joon. 70. Silmuse pöörlemisel tekib seega ka välisahelas vahelduvvool.

Kirjeldatud põhimõttel ongi ehitatud vahelduvvoolu andvad masinad, s. o. vahelduvvoolu **generaatorid**.

Generaatoris tekitatakse vahelduvvoolu praktiliselt mitte ühes traatsilmuses, vaid raudsüdamikuga varustatud mähistes, mis liiguvad tugevate elektromagnetite pooluste lähedalt mööda. Et tehnikas ehitatakse vahelduvvoolu generaatorid tavaliselt kõrge pinge jaoks, siis pöörlevad neis väljamagnetid, mähised aga seisavad paigal. Niiviisi välditakse kõrge pinge masina liikuvates poolides. Pöörlevat osa nimetatakse **rootoriks**, paigalseisvat osa **staatoriks**. Rootoriks on mitu väljamagnetit, samuti koosneb ka staator mitmest järjestikku lülitatud mähisest. Ka vahelduvvoolu generaatori väljamagnetite ergutamiseks on tarvilik alalisvool. See saadakse väiksemast alalisvoolu dünamost. Tavaliselt on selleks mootoriga samal teljel pöörlev dünamo.



Joon. 70.
Rõngaskollektor.



Joon. 71. Vahelduvvoolu generaator.

Lähenevad kaks naaberpoolust mähistele, siis tekivad neis vastassuunalised voolud. Et neid voole liita, on ka staatori kaks naaberpooli keritud vastassuunaliselt. Vool on maksimaalne, kui elektromagnetite poolused on staatori mähiste ees.

Elektrivoolu generaatoreid kasutatakse laialdaselt elektrivoolu andjatena elektrijaamades jm. Praegusajal ehitatakse generaatoreid kuni saja tuhande kilovattise võimsusega (Leningradis „Elektrosila“ tehastes).

Elektrijaamades pannakse generaatorid käima auru, vee jne. jõul. Traatide kaudu juhitakse elektrivool sealt tarvitajale.

Nõukogude Liidu suurima elektrijoujaama Dneprogressi võimsus on 560 000 kW ehk 800 000 HJ. Teised võimsad joujaamad on Stalinogorskis (100 000 kW), Sviril (96 000 kW), Volhovil (56 000 kW).

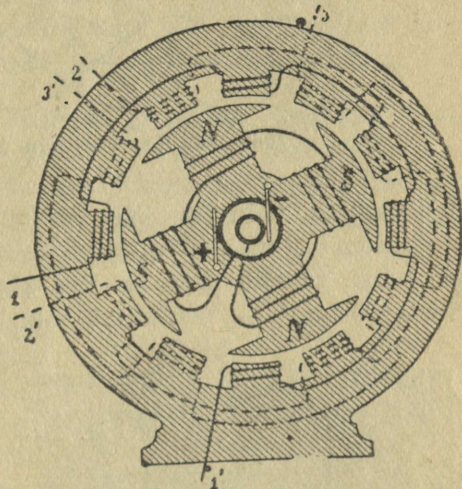
ENSV tähtsamaid elektrijoujaamu on Ulila elektrijaam, mis varustab elektrienergiaga Tartu linna ja ENSV lõunaosa, Ellamaa elektrijaam, mis varustab elektrienergiaga Tallinna ümbruskonda, Tallinna linna elektrijaam jt.

57. Vahelduvvool. Vahelduvvoolu faas. Kolme faasine vool. Ajavahemikku, mille möödumisel hakkab korduma vahelduvvoolu muutus tugevuses ja suunas, nimetatakse vahelduvvoolu perioodiks. Üksiku mähise täispöörde kestus ühtib mähises indutseeritud vahelduvvoolu perioodiga, sest uue pöördega hakkab voolu tugevuse ja pinge muutus korduma. Järelikult vastab periood pöördenurgale 360° . Seepärast avaldatakse vahelduvvoolu tehnikas faasi, s. o. voolu tugevuse või pinge arenemisastet antud hetkel, nurgakraadides. Nii näiteks faasi vahe 120° vastab $\frac{1}{3}$ perioodile.

Vahelduvvool on valgustamiseks ja elektriliste soojendusriistade jaoks niisama kõlblik kui alalisvoolgi. Kuid suuri raskusi tekib vahelduvvoolu mootorite ehitamisel. Vahelduvvoolu generaatori põhimõttel ehitatud mootor töötab ainult siis, kui ta pöörete arv on võrdne generaatori pöörete arvuga. See raskendab mootori käimapanekut.

Raskusest on üle saadud seega, et on tarvitusele võetud mitme faasine, peamiselt kolme faasine vool.

Joon. 72 kujutab kolmefaasise ehk keerlev-
 voolu generaatori skeemi. Selle staatoris on kolm üks-
 teisest eraldatud mähist või mähise süsteemi, mis on nii
 paigutatud, et rootori pöörlemisel tekivad neis induksioon-
 voolud, kuid mitte üheaegselt, vaid faasivahega 120°
 ehk $\frac{2}{3}\pi$. Joonisel on
 iga faasi mähisejuhe
 eriliselt joonestatud
 (pidev, katkeline,
 punktjoon), nii et
 neid on kerge üks-
 teisest eraldada. Roo-
 tori pöörlemisel lii-
 gub elektromagneti
 poolus kolme indukt-
 sioonipooli ees, teki-
 tades neis induktssi-
 onvoole faasi vahe-
 ga 120° .



Joon. 72. Keerlevvoolu generaator.

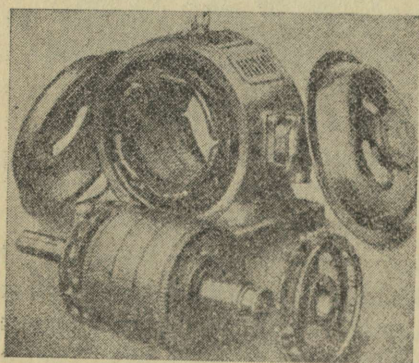
Keerdväli. Kui
 ühendada kolmefaa-
 sisest generaatorist
 tulevad voolujuht-
 med samasuguse ehitusega masina kolmest mähisest ühe
 otstega, teised otsad aga ühendada omavahel, siis tekitavad
 esimesest generaatorist tulevad voolud teise masina staato-
 ris keerleva magnetivälja. Siit ongi saanud 3-faasine vool
 keerlevvoolu nimetuse. Kui asetada keerlevasse magneti-
 välja silmusekujuline suletud metallraam, siis hakkab raam
 seal pöörlema. Pöörlemine tuleb sellest, et muutlik magne-
 tiväli tekitab suletud silmuses induksioonvoolu, mille keer-
 lev magnetiväli paneb pöörlema. See järgneb ka Lenzi sea-
 dusest. Sellel nähtusel põhjeneb keerlevvoolu nn. asünk-
 roomootori tegevus. Niisuguse mootori ankur koosneb

silindrile tõmmatud jämedatest vasktraatidest, millede otsad on ühendatud vaskrõngastega. Suureks paremuseks on siin asjaolu, et ankrusse pole tarvis väljastpoolt voolu juhtida, seepärast puuduvad tal kollektor ja harjad ning ta on ehituselt väga lihtne. Seesugust ankrut nimetatakse ka



Joon. 73. Keerlevvoolu diagramm.

lühühenduse ankruks. Keerlevvoolu mootori pöörete arv on väiksem kui magnetivälja pöörete arv. Nagu alalisvoolu mootorilgi, tarvitatakse ka siin algul, voolu ühendamisel, erilist reostaati — käivitajat, mis lülitatakse vooluahelast



Joon. 74. Keerlevvoolu mootor.

välja, kui mootori pöörete arv on tõusnud normaalsele tasemele. Iga faas vajab seejuures omaette reostaati.

Kolmefaasise keerleva voolu generaatori staator omab, nagu eespool kirjeldatud, kolme mähist ehk pooli ja tal on kolm paari klemme: 1,1', 2,2', 3 ja 3', millede kaudu toimub vooluvõtmine generaatorist.

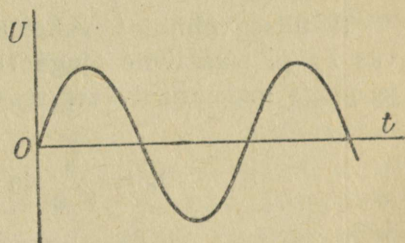
Et voolujuhtmete arvu vähendada, ühendatakse omavahel klemmid 1', 2' ja 3'; peale selle ühendatakse nad maaga, tähendab, nende klemmide pinge on alaliselt 0. Säärast lülitusviisi nimetatakse tähtlülituseks. Voolu edasisaatmiseks on sel juhul tarvis kolme juhet (faasijuhtmed) ja neljas nn.

nulljuhe. Voolutarvitavad riistad lülitatakse ühe faasi-juhtme ja nulljuhtme vahel. On faasijuhtme ja nulljuhtme vahel vahelduv pingeline 220 V, siis kahe faasijuhtme vahel on pingeline kõrgem, nimelt 380 V.

Ajaloost: Kolmefaasise voolu rakendamise idee on välja arendatud vene õpetlase Dolivo-Dobrovolski poolt. Tema juhtimisel ehitati Saksamaal Lauffeni ja Frankfurdi vahel kõrgepingeliin 16 000 voldi jaoks pikkusega 175 km.

58. **Vahelduvvoolu tugevus ja pingeline.** Tehnilise vahelduvvoolu puhul voolab elekter 1 sekundi kestel 50 korda ühes ja 50 korda vastassuunas. Voolusagedus ehk **frekvents** on seejuures 50 perioodi ehk hertsi (Hz). Vahelduvvoolu põhjustab samasagedusega vahelduv pingeline.

Vahelduvvoolu voolutugevuse käiku kujutab graafiliselt joon. 75, kus püstteljel on näidatud voolutugevus, rõhtteljel aeg. Nagu joonisest 75 näha, langeb 50-perioodise vahelduvvoolu pingeline ja voolutugevus 1 sek kestel 100 korda nullini, samuti 100 korda omavad nad 1 sek



Joon. 75. Vahelduvvoolu diagramm.

kestel maksimaalväärtuse. Pöördpooli mõõteriista osuti liikumise suund sõltub voolu suunast. Juhtides läbi pöördpooli mõõteriista vahelduvvoolu, peaks pöördpooli liikuv osa ühes osutiga liikuma kord ühele, kord teisele poole. Seda ei jõua liikuv süsteem oma inertsuse tõttu teha ning seetõttu jääb ta paigale. Järelikult pöördpooli mõõteriist ei näita vahelduvvoolu. Teisiti on lugu kuumtraat- ehk termilise mõõteriistaga. Selles riistas põhjustab osuti liikumist kuumtraadi pikenemine traadi soojenemise tõttu. Voo-

lusoojust aga ei mõjusta voolu suund. Nii viisi võib kuumtraat-mõõteriistaga mõõta nii alalis- kui ka vahelduvvoolu pinget ja voolu tugevust.

Et vahelduvvoolu tugevus perioodiliselt muutub nulli ja maksimaalväärtuse vahel, on arusaadav, et kuumtraat-mõõteriist vahelduvvoolu läbimisel ei näita vahelduvvoolu tugevuse maksimaalväärtust, vaid vähem. Et voolude võrdlemisel võrreldakse peamiselt nende võimsusi, siis võrreldakse ka vahelduvvoolu alalisvooluga, millel on niisama suur võimsus.

Säärast alalisvoolu tugevust, mis 1 sekundis ühesuuruse takistusega juhtmes niisama palju soojust tekitab kui vahelduvvool, nimetatakse vahelduvvoolu **efektiivseks voolutugevuseks**. Samas mõttes räägitakse ka vahelduvvoolu **efektiivsest pingest**.

Tavalise tehnilise vahelduvvoolu efektiivne voolutugevus I_e ja efektiivne pinge U_e arvutatakse voolutugevuse ja pinge maksimaalväärtustest I_0 ja U_0 järgmiselt:

$$I_e = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \text{ ja } U_e = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

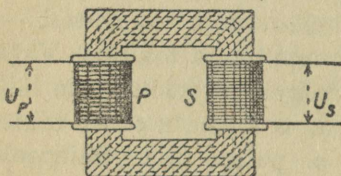
Alalisvoolu tugevus sõltub Ohmi seaduse järgi ainult voolu pingest ja juhtme takistusest, sellele vaatamata, kas juhtmes on eneseinduktsiooni või mitte. Sageli nimetatakse juhtme takistust alalisvoolu suhtes **oomiliseks takistuseks**. Vahelduvvoolu tugevus aga sõltub peale pinge ja oomilise takistuse ka juhtme eneseinduktsioonist. Selle nähtuse lähemaks tundmaõppimiseks korraldame järgmise katse. Lülitame vahelduvvoolu ahelasse järjestikku hõõglambi ja elektromagneti pooli, millest raudsüdamik välja võetud. Kui ühendame voolu, siis põleb hõõglamp enam-vähem normaalselt (heledasti). Nüüd suurendame pooli eneseinduktsiooni seega, et pistame pooli raudsüdamikku.

Kohe nõrgeneb voolutugevus, mida näeme sellest, et hõõglambi heledus väheneb tunduvalt ja lamp võib isegi kustuda. See katse näitab, et juhtme takistus vahelduvvoolule on seda suurem, mida suurem on juhtme eneseinduktsioon. Seda nähtust seletame järgmiselt: et vahelduvvoolu tugevus poolis muutub perioodiliselt, tekib poolis eneseinduktsiooni pinge, mis Lenzi reegli järgi on alati vastassuunaline eneseinduktsiooni tekitava, s. o. primaarse voolu muutusele. Et eneseinduktsiooni pinge on seda suurem, mida kiiremini muutub primaarne vool, siis järgneb sellest, et pooli vahelduvvoolu takistus sõltub ka vahelduvvoolu sagedusest — mida suurem on sagedus, seda suurem on ka takistus. Väga suure induktiivsusega pool praktiliselt vahelduvvoolu läbi ei lase. Säärast vahelduvvoolu suhtes lõpmatu suure takistusega pooli nimetatakse **kägi- e. paispooliks**. Paispoole tarvitatakse tehnikas vahelduvvoolu takistusena, eriti aga suursagedusega voolude ärahooldmiseks.

Alalisvool kondensaatorist läbi ei lähe — alalisvoolu ahelasse lülitatud kondensaator mõjub voolu katkestavalt. Lülitame aga vahelduvvoolu ahelasse kondensaatori ja sellega järjestikku hõõglambi, siis näeme, et hõõglamp „põleb“, kuigi nõrgemini kui ilma kondensaatorita. Sellest võime järeldada, et vahelduvvool läbib kondensaatori. Kondensaatori takistus vahelduvvoolule väheneb, kui suureneb kondensaatori mahtuvus ja vahelduvvoolu frekvents.

59. Transformaator. Transformaator on seadis, mis võimaldab muuta vahelduvvoolu pinget peaaegu energiakao-tuseta. Transformaator koosneb suletud raudsüdamikust, millele on keritud kaks mähist, *p r i m a a r n e* ja *s e k u n d a a r n e*. Need mähised võivad olla keritud teineteise kõrvale või peale. Kui juhtida läbi primaarse mähise vahelduvvool (primaarne vool), siis vastavalt voolutugevuse muutustele tekib mähises, seega ka raudsüdamikus, muutlik

magnetiväli. Et samale südamikule on keritud ka sekundaarne mähis, muutub ka selles magnetiväli, tekitades seal induksioonvoolu. Nii indutseerub sekundaarses mähises sekundaarne vahelduvvool, kui primaarsest mähisest läbi juhtida primaarne vahelduvvool. On transformaatori sekundaarse mähise keerdude arv suurem kui primaarse mähise keerdude arv, siis on ka sekundaarse voolu pinge kõrgem, ja überpöördult. Niiviisi võimaldab transformaator muuta vahelduvvoolu pinget; sekundaarse voolu pinge suureneb või väheneb nii mitu korda, kui suur on primaarse ja sekundaarse mähise keerdude arvu suhe z . Seda suhet nimetatakse transformaatori ülekandearvuks. Näiteks tarvitatakse raadiotehnikas transformaatoreid ülekande-suhtega 1:4, s. o. sekundaarse mähise keerdude arv on neli korda suurem primaarse mähise keerdude arvust.



Joon. 76. Transformaator.

Olgu primaarse voolu pinge U_p ja voolutugevus I_p sekundaarse voolu pinge U_s ja voolutugevus I_s , siis on primaarse voolu võimsus $U_p I_p$ ja sekundaarse voolu võimsus $U_s I_s$. Kui vooluenergia kadu transformaatoris ei esine, siis energia jäävuse lause põhjal on mõlemad võimsused võrdsed: $U_p I_p = U_s I_s$. Siit saame:

$$U_p : U_s = I_s : I_p.$$

Järelikult väheneb pinge tõstmisega niisama palju kordi ka voolutugevus. Tegelikult esineb transformaatoris energiakadu ning $U_s I_s$ erineb $U_p I_p$ -st 2—5% võrra.

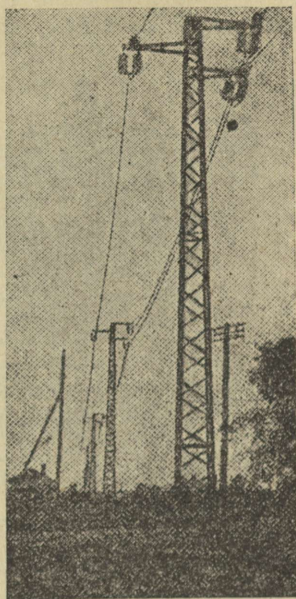
Ajalooost: Esimese transformaatori ehitas vene elektrotehnik Ussagin.

60. Transformaatori rakendamine elektrienergia edasiandmisel. Transformaatoreid kasutame elektri edasiandmisel suurtele kaugustele.

Elektrijaamad ehitatakse sinna, kus generaatori käitamiseks vajalik energia on turba, kivisöe jne. näol odav — soojusjõujaamad. Eriti aga võimaldab säärane elektrijaama asukoht koskede jõu ärakasutamist — hüdroelektrijõujaamad. Elektrijaamades tekitatakse generaatorite abil elektrivool pingega 1000—5000 V. See elektrivool muudetakse elektrijaamas transformaatorite abil kõrgepingevooluks pingega kuni 100 000 V ja enamgi. Elektrijaamast juhitakse elektrienergia tarvitamiskohtadele traatide kaudu.

Kõrgepingevooluks transformeeritakse elektrivool sellepärast, et kõrgepinge puhul võib peenemaid traate tarvitada, mis on majanduslikult kasulik. Elektrienergia edasisaatmisel traatide kaudu esineb paratamatu energiakadu juhtmete soojenemise tõttu. Joule'i seaduse järgi on voolu toimel tekkinud soojusehulk võrdeline voolutugevuse ruuduga ja juhtmete takistusega. See energiakadu juhtmetes tekkinud soojuse kujul on kõrgepinge puhul väiksem, sest sama vooluvõimsuse $N = UI$ puhul pinge suurenemisel väheneb voolutugevus.

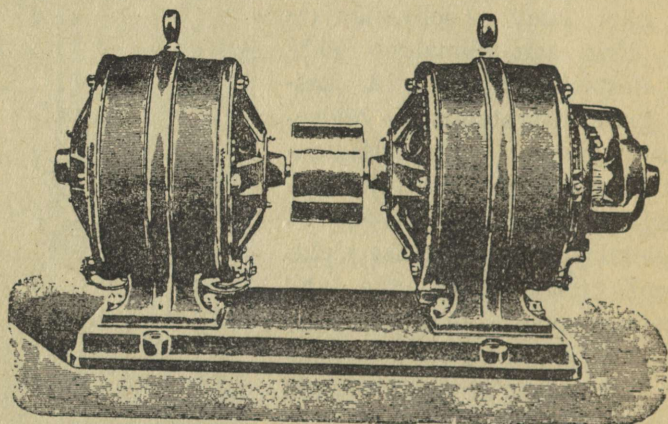
Kõrgepingevool juhitakse eriliste, kõrgepinge-isolaatori abil isoleeritud juhtmete kaudu tarvitamiskohtadele, kus



Joon. 77. Kõrgepingejuhtmed.

ta vastava transformaatoriga transformeeritakse madalapingeliseks, tavaliselt 220 või 110 V vooluks.

Kõrgepingejuhtmete puudutamine on surmav. Ka kaudne, näiteks puuteiba, nõõri jne. kaudu kõrgepinge puudutamine on elukardetav. Et vahelduvvoolu pinget on transfor



Joon. 78. Umformer.

maatori abil hõlpus muuta, mis võimaldab teda kõrgepingelisena suurtele kaugustele juhtida (kuni 500 km), siis eelistatakse tehnikas vahelduvvoolu alalisvoolule.

61. **Umformer ja alaldaja.** Tehnikas on sageli tarvilik alalisvool. Teda saadakse vahelduvvoolust *umformer*i abil. Umformer koosneb tavaliselt ühele alusele kinnitatud ja alalisvoolu dünamoga sidestatud vahelduvvoolu mootorist, mis dünamot käitab. Peale umformerit võib vahelduvvoolu muuta alalisvooluks nn. *alaldaja* abil. Alaldaja muudab vahelduvvoolu pulseerivaks alalisvooluks seega, et ta laseb voolu läbi ainult ühes suunas, teises suunas aga mitte. Seega töötab alaldaja kui ventiil, mis ühel poolperi-

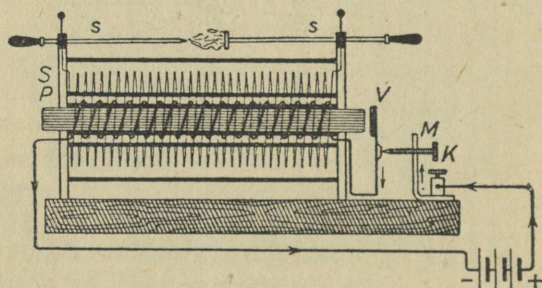
oodil laseb voolu läbi, teisel mitte. Nn. kuivalaldajana tarvitatakse vaskplaati, mis on kaetud vaskoksüüduga (Cu_2O). Säärane plaat laseb voolu läbi ainult suunas vask—oksüüdul. Vastavalt pingele lülitatakse neid mitu tükki järjestikku.

Parima alaldajana töötab elektronitoru (§ 80).

1. Elektri jaamas transformeeritakse vahelduvvool 3000 voldist 150 000 voldile. Transformaatori võimsus on 3200 kW. Kui suur on voolutugevus primaarses ja sekundaarses ahelas?
2. Transformaatori abil muudeti vahelduvvoolu pinget 220 voldilt 8 voldile. Milline on transformaatori ülekandearv?
3. Mispärast ei valmistata transformaatori ja sädeinduktori südamikke massiivsest pehmest rauast?

62. **Sädeinduktor** on seadis, mis muudab madalapingelise alalisvoolu kõrgepingevooluks. Sädeinduktor koosneb raudsüdamikust, millele on keritud mõnest üksikust jämedast vasktraadist koosnev primaarne mähis ja selle peale suurest hulgast keerdudest koosnev sekundaarne mähis. Primaarset mähist läbiva voolu ühendamise ja katkestamisega tekitatakse raudsüdamikus muutlik magnetiväli ja see mõjustab induksioonvoolu tekkimise sekundaarses mähises. Sädeinduktori üheks tähtsamaks osaks on katkestaja. Ruhmkorffi ehitatud elektromagnetilise katkestajaga sädeinduktori skeemi ja lülitust kujutab joon. 79, kus P on primaarne, S sekundaarne mähis. Primaarse voolu perioodiline katkestamine ja ühendamine saavutatakse seega, et vool, läbides primaarse mähise, muudab raudsüdamiku magnetiliseks ja see tõmbab rauatükikesega varustatud

vasara V külge. Sellega katkeb ühendus vasara V ja kontaktkruvi M vahel ning katkeb ka vool. Nüüd surub vedru vasara uuesti kontaktkruvi vastu, mille läbi vool ühendatakse ja nähtus kordub. Niiviisi toimub siin voolu ühendamine ja katkestamine automaatselt nagu elektrikõlistis. Primaarse voolu ühendamisel tekib sekundaarses mähises vastassuunaline ja primaarses katkestamisel samasuunaline elektromotoorne jõud. Et aga primaarne vool suureneb



Joon. 79. Sädeinduktor.

ühendamisel eneseinduktsiooni tõttu aeglaselt, katkestamine aga on palju kiirem, siis on katkestamisel tekkinud pinge sekundaarses mähises ka palju kõrgem. Kui sekundaarse mähise otsad ühendada sädemikuga, mille pikkus on küllalt suur, siis võib selles tekkida säde ainult primaarse voolu katkestamisel, mil pinge on kõrgem. Nii võib saada sädeinduktori abil kõrgepingelist katkendilist alalisvoolu. Sekundaarse voolu pinge on seda kõrgem, mida suurem on sekundaarse mähise keerdude arv, võrreldes primaarse mähise keerdude arvuga, nagu transformaatoriski. Seepärast ongi primaarse mähise keerdude arv väike, kuna sekundaarse mähise keerdude arv on mitukümmend tuhat ja rohkemgi, kuid traat on siis vastavalt ka peenem. Primaarse voolu katkestamisel tekib vasara ja kontaktkruvi vahel ahela eneseindukt-

siooni tõttu säde. Et säde aeglustab voolu katkestamist, siis selleks, et vool katkeks kiiresti, lülitatakse vasaraga ja kontaktkruviga rööbiti kondensaator, millega välditakse sädeme tekkimine.

Sädeinduktoreid tarvitatakse kõrgepinge saamiseks. Varemini kasutati neid ka röntgeniaparatuuride juures, kuid praegusajal tarvitatakse seks otstarbeks kõrgepinge transformaatoreid.

IV. Elektrivool hõrendatud gaasides.

63. **Õhk kui isolaator.** Normaalrõhu ja mitte kõrge temperatuuri juures on õhk samuti kui iga teinegi gaas hea isolaator. Sellega seletub nähtus, et õhus olev elektriliselt laetud ja maast isoleeritud keha hoiab kauemat aega alal oma laengu.

Ainult väga kõrge pinge puhul, näiteks elektrimasina konduktorite vahel, tekib elektrivool läbi õhu s ä d e m e n a.

64. **Hõrendustoru.** Hoopis paremini juhivad elektrit hõrendatud gaasid.

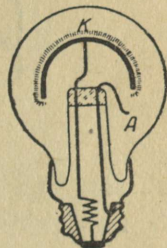


Joon. 80. Hõrendustoru.

Et uurida elektrivoolu hõrendatud gaasides mitmesugustel rõhkudel, seks tarvitatakse umbes 50—80 cm pikkust klaastoru, millest

õhk välja pumbatakse toru keskel oleva haru kaudu. Mõlemad elektroodid selles torus asetsevad toru otstes. Ühendades säärase hõrendustoru elektroodid sädeindukti (säde-me pikkus umbes 5 cm) sekundaarse mähise klemmidega, ei märka me torus mingit elektrivoolu, kui torust pole õhku välja pumbatud. Hõrendame nüüd torus olevat õhku pumbatahil. Rõhu langedes umbes 40 mm-le Hg tekib torus elekt-

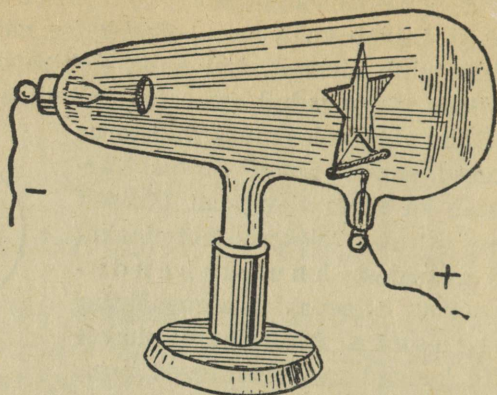
roodide vahel punakas valguspael. Öhu hõrenedes valguspael laieneb ja täidab kogu toru. See katse näitab, et hõrendatud õhk juhib elektrit, kui anda elektrootodidele vajalik pinge. Selle pinge puhul atmosfäärirõhuline õhk elektrit ei juhi. Rõhu vähenedes muutuvad torus valgusnähtused, samuti nende värvus. Värvust mõjustab ka torus olev gaas. Üldiselt nimetatakse säärast elektri läbimineku hõrendatud gaasidest huumlahenduseks ja torus esinevaid valgusnähtusi huumvalguseks. Rõhu juures umbes 0,02 mm Hg kaovad valgusnähtused torus täielikult, kuid siis fluoresteerub (helendub) rohekalt katoodi vastas olev klaassein. Kui õhurõhku hõrendustorus veelgi vähendada (alla 0,000001 mm Hg), lõpeb elektri läbimineku viimaks täielikult.



Joon. 81.
Huumlamp.

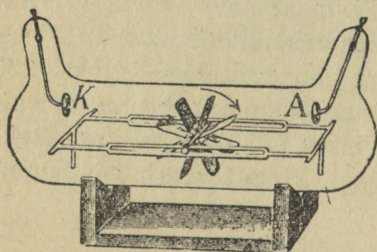
Huumvalgust kasutatakse huumlampides, mida tarvatakse tehnikas signaal-, eriti aga reklaamlampidena. Praegusajal ehitatakse huumlampe normaalpinge jaoks 220 ja 110 V. Neoniga täidetud huumlamp annab punaka valguse, naatriumiauruga täidetud lamp — kollase valguse. Reklaamtehnikas kasutatakse sageli kirjatähekujulisi huumlampe.

65. Katoodkiired. Kui hõrendustorus õhurõhu vähenemisel õhk torus voolu mõjul enam ei helendu, vaid helendub ainult katoodi vastas oleva toru klaassein, siis järeltame sellest, et katood kiirgab silmale nähtamatuid kiiri, mis toru seinale langedes panevad selle fluorestseeruma. Neid kiiri nimetatakse katoodkiirteks. Katoodkiired levivad torus sirgjooneliselt, sest nad annavad terava varju. Asetame näiteks katoodi ette katoodkiirte teele metallist viisnurga, siis näeme selle teravat varju toru klaasseinal, kuhu



Joon. 82. Katoodkiirte vari.

katoodkiired langevad. Katoodilt lähtuvad need kiired risti katoodi pinnale, sellele vaatamata, kuhu on paigutatud anood. Rohkem kui kahe elektroodiga torus jääb voolu läbi-

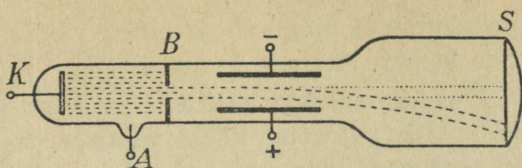


Joon. 83. Katoodkiirte mehhaaniline toime.

misel katoodi vastas olev fluorestseeruv laik ikka samale kohale püsima, ka siis, kui vahetame anoodi. Kui anda katoodile nõguspeegli kuju, koonduvad katoodkiired ühte punkti, nõguspeegli keskpunkti. Kui paigutada sinna tüki platinaplekki, siis hakkab see katoodkiirtes hõõguma. Järelikult võivad katoodkiired tekitada soojust.

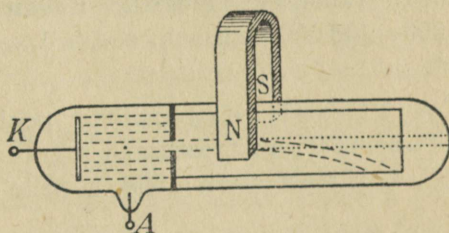
Kui asetame katoodtorusse katoodkiirte tee kerge, telje ümber pöörleva labida-kujuliste tiibadega rattakese, hakkab see katoodkiirte mõjul pöörlema.

Eriti tugevasti fluorestseeruvad katoodkiirtes mitmesu-
gused mineraalid. Seda katoodkiirte omadust kasutatakse



Joon. 84. Katoodkiirte paindumine
elektriväljas.

nende käigutee nähtavaks tegemiseks. Katoodi ette sea-
takse kitsas pilu, mis laseb läbi peenikese kiirtekimbu. Pilu
taha on paigutatud
katoodkiirte suhtes
pisut kaldu fluorest-
seeruva ainega kae-
tud ekraan. Voolu
läbimisel torust on
näha ekraanil helen-
dud sirge joon, mis
kujutab katoodkiirte
käiku.



Joon. 85. Katoodkiirte paindumine
magnetiväljas.

Langevad katood-
kiired torru asetatud
kolmandale elektrodile, mis on ühendatud elektrooskoobiga,
siis omandab see katoodkiirtelt negatiivse laengu.

Edasi — katoodkiired painduvad elektriväljas. Kui
juhtida katoodkiired läbi kahe plaadi vahelise ruumi, andes
seejuures plaatidele pinge, painduvad kiired positiivselt lae-
tud plaadi poole, mis näitab samuti, et katoodkiirtel on
negatiivne elektrilaeng.

Katoodkiired painduvad ka magnetiväljas. See paindu-
mine on samasugune nagu voolujuhtme puhul, mida läbib
katoodkiirte suunaga vastupidine elektrivool.

Kõik need katsed näitavad, et katoodkiired koosnevad kiiresti liikuvaist negatiivselt laetud osakestest.

Nende paindumisest magneti- ja elektriväljas võib määrata ka nende laengu suurust ja massi.

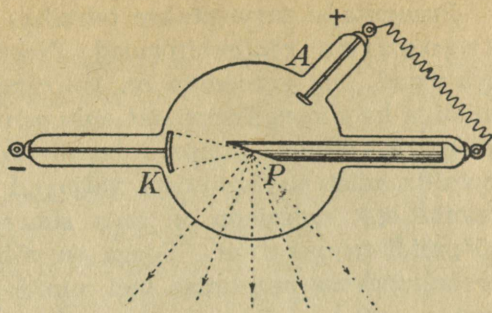
On leitud, et katoodkiirte osakeste mass on $\frac{1}{1850}$ vesiniku aatomi massist, mis on kõige väiksem meile tuntud mass. Need osakesed kannavad negatiivset elektrilaengut, mis on võrdne elektri elementaarlaenguga, ja nimelt $4,805 \cdot 10^{-10}$ LÜ. Neid vabu negatiivse elektri algosakesi nimetasime elektronideks (vt. § 2). Nii siis on katoodkiired vaba negatiivse elektri vool.

Katoodkiirte kiirus on üldiselt suur, sõltudes katoodi ja anoodi vahelisest pingest. Keskmiselt on nende kiirus 20 000—100 000 km/sek, seega $\frac{1}{10}$ kuni $\frac{1}{3}$ valguse kiirusest.

Ajalooost: Katoodkiirte poolt põhjustatud katoodi vastasseina fluorestseerumist märkas saksa õpetlane Plücker 1859. a. Hittorf andis 1869. a. selle nähtuse põhjenduse.

66. Röntgenikiired. Uurides suure hõrendusega katooditorus esinevaid nähtusi, avastas saksa füüsik K. W. Röntgen aastal 1895, et katoodi vastas olev klaassein, kuhu langevad katoodkiired, kiirgab silmale nähtamatuid, sirgjooneliselt levivaid kiiri, millede olemasolu võib sel teel nähtavaks teha, et nende toimel fluorestseeruvad mitmed ained. Avastatud kiiri nimetas Röntgen ise **x-kiirteks**, kuid praegusajal tuntakse neid rohkem **röntgenikiirte** nime all. Peale fluorestsentsi muudavad röntgenikiired õhu elektrit juhtivaks ja mõjuvad fotoplaadisse tuhmistavalt. Kuid kõige tähelepanuväärsemaks röntgenikiirte omaduseks on nähtus, et nad enam-vähem kõikidest, ka läbipaistmatuist kehadest läbi tungivad. Nii näiteks on puu, papp ja alumiiniumplekk röntgenikiirte suhtes peaaegu läbipaistvad.

Röntgenikiirte saamiseks tarvita- takse erilise ehitu- sega, suure hõendu- sega katoodtorusid. Ühte säärast lihtsat röntgenitoru kujutab joonis 86. Selles on katoodiks nõgusapinnaline alu- miiniumpeegel. Ka- toodi ees, umbes to- ru keskkohas on



Joon. 86. Röntgenitoru.

platinast või volframplekist valmistatud nn. antikato- ood, kuhu langevad katoodilt väljunud katoodkiired. Et katodi pind on nõgus, siis on katoodkiirte kimp koonduv.

Katoodkiirte langemisel antikatoodile muutub suurem osa katoodkiirte energiast soojuseks, teise osa arvel teki- vad röntgenikiired. Röntgenikiirte allikaks on seega anti- katood, ja just see koht, kuhu langevad katoodkiired. Mõne- des röntgenitorudes on ka eraldi anood torusse toodud, mis ühendatakse antikatoodiga.

Röntgenikiirte tekitamiseks on tarvilik kõrge pinge, mõ- nikümmend tuhat ja enam volti. Varemini tarvitati seks vooluallikadena sädeinduktoreid, uuemal ajal kasutatakse selleks kõrgepinge transformaatoreid.

Seesuguses röntgenitorus tekivad katoodkiired sel teel, et torus olevad positiivselt laetud õhuioonid, kokku põrgates katoodiga, purustavad tema aatomeid ja paiskavad neist elektrone välja. Siin on katoodkiirte tekkimiseks tarvilik õhuioonide olemasolu. Sääraseid röntgenitorusid nimeta- takse seepärast ka ioontorudeks.

Praegusajal tarvitatakse tehnikas rohkem nn. hõõgkatoodiga röntgenitorusid. Need on õhutühjad röntgenitorud, kus katoodiks on volframtraat või tooriumoksiidiga kaetud volframtraat, mis pannakse elektrivoolu abil hõõguma. Kõrge temperatuurini kuumutatud hõõguvast metalltraadist (hõõgniidist) väljuvad elektronid, nende väljumine ehk emissioon on seda suurem, mida kõrgem on hõõgniidi temperatuur. Seega on võimalik hõõgniiti läbiva voolu tugevuse muutmise teel muuta ka katoodkiirte tugevust.

Elektronide väljumine kuumutatud metallidest on füüsikas tuntud **Richardson'i efekti** nime all.

Röntgenikiired läbivad erinevaid kehi mitmesugusel määral. Õhuke puulaud, papp, riie, nahk ja alumiiniumplekk ei neela märgatavalt röntgenikiiri: need on röntgenikiirte suhtes läbipaistvad. Paks kiht puud või pappi annab juba märgatava absorptsiooni. Kuid juba õhuke kiht seatina ei lase enam röntgenikiiri läbi. Üldiselt on kerged metallid, nagu alumiinium, naatrium, samuti orgaanilised ained, röntgenikiirtele rohkem läbitavad, seevastu aga rasked metallid — raud, nikkel, vask, eriti aga seatina ja baarium — läbitamatud. Kuidas üks või teine keha röntgenikiiri läbi laseb, seda näitab järgmine katse: hoiame röntgenitoru ees anti-katoodi kohal papist ekraani, mille üks pind, ja nimelt torust eemal olev pind, on kaetud fluorestseeruva ainega (näit. platinabaariumtsüanüüriga). Röntgenikiirtes fluorestseerub see ekraan. Hoides röntgenitoru ja fluorestseeruva ekraani vahel mitmesuguseid kehi, võime kindlaks teha, kui suurel määral need kehad röntgenikiiri läbi lasevad. Vaadeldes niiviisi näiteks sirklikasti, näeme, et puukast ei anna ekraanil peaaegu mingit varju, küll aga tulevad selgesti nähtavale kastis olevate metallesemete varjud, sest viimased ei lase röntgenikiiri läbi.

Kui hoida toru ja fluorestseeruva ekraani vahel kätt, tulevad ekraanil nähtavale käe luude ja lihaste varjud. Et luud röntgenikiiri vähem läbi lasevad, siis eralduvad luude varjud lihaste varjudest.

Et röntgenikiirte toimetel fotoplaat tuhmub, siis võib fluorestseeruva ekraani asemel tarvitada ka fotoplaati, millel pärast ilmutamist ja kinnistamist jäädvustub varjupilt. Nii võime röntgenikiirte abil varjupilti ka fotograafida.

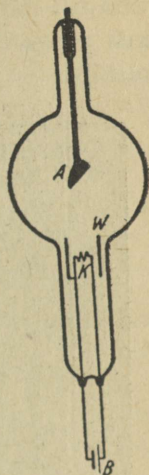
Arstid kasutavad röntgenikiiri, et nende abil fotografeerides kindlaks teha näit. luumurdeid või kehasse sattunud võõrkeha (kuuli) asukohta.

Kõik röntgenikiired ei läbi kehi ühte viisi.

Röntgenikiiri, millede läbitungivus on suur, nimetatakse kalkideks röntgenikiirteks, kuna kiiri, millede läbitungivus on väike, nimetatakse pehmeteks kiirteks. Katsed näitavad, et röntgenikiired on seda kalgimad, mida kõrgem pingega anda röntgenitorule. Hariliku röntgenitoru abil tekitatud röntgenikiired pole aga ühtlased, vaid sisaldavad mitmesuguse läbitungivusega röntgenikiiri.

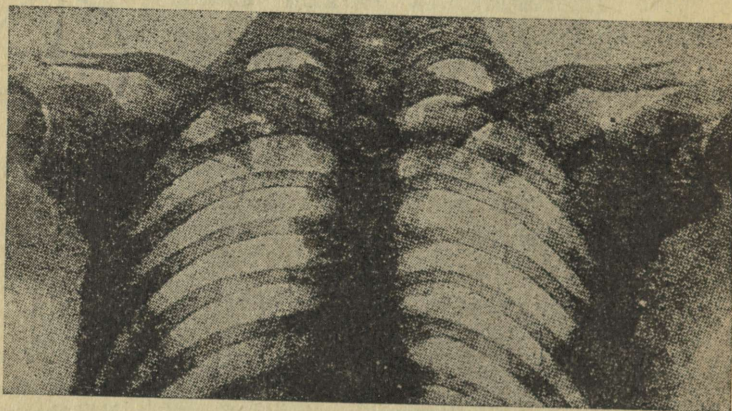
Ka tehnikas kasutatakse röntgenikiiri läbipaistmatute kehade uurimiseks, et avastada neis esinevaid pragusid, samuti õhumulle valatud metallosades. Eriti laialt tarvitatakse röntgenikiiri säärase masinaosade läbivaatamiseks, milledele nõutakse suurt tugevust ja vastupidavust, nagu aurukatelde, lennukite jt. masinate tähtsamad osad.

Inimese kehasse mõjuvad röntgenikiired kahjustavalt, hävitades kudesid ja tekitades raskesti paranevaid haavu. See kahjulik mõju on seda suurem, mida kauemini kiired mõjuvad ja mida intensiivsem on kiirgus.



Joon. 87.
Höögkatoodiga röntgenitoru.

Röntgenikiirtega töötajad kaitsevad endid selle mõju vastu, kandes seatina sisaldavaid rõivaid ja toimetades vaatlusi läbi seatinaklaasi. Ruumi seinad, laed ja põrandad, kus pidevalt töötatakse röntgenikiirtega, kaetakse seatinaplekiga.



Joon. 88. Röntgeniülesvõte.

Röntgenikiirte kahjulikku mõju inimese keha kudedesse kasutab arstiteadus võitluses pahaloomuliste kasvajate vastu, näiteks vähktõve hävitamiseks (röntgenteraapia).

Röntgenikiired levivad sirgjooneliselt ega kaldu elektriring magnetiväljas kõrvale. Sellest järeldas juba Röntgen ise, et need kiired ei koosne liikuvaist elektrilaengut kandvaist osakesist nagu katoodkiired. Röntgen oletas, et tema poolt avastatud kiired on nagu valguskiiredki lainetuse iseloomuga, kuid veel lühema lainepikkusega kui valguskiired. Seda oletust ei suutnud Röntgen katseliselt tõestada. Igale lainetusele on iseloomulik interferents, kuid kaua aega ei suudetud röntgenikiirte interferentsi näidata. Alles aastal 1912 avastas M. Laue meetodi, kuidas võib tõestada rönt-

genikiirte lainetuse iseloomu ja määrata sel teel nende lainepikkuse. Laue soovitas seks tarvitusele võtta kristallid, milledes aatomid on oletatavasti paigutatud kindlate kihtidena kindlal kaugusel üksteisest. Laue meetod on liiga keerukas, et seda siin lähemalt seletada.

Vastavad mõõtmised on näidanud, et röntgenikiirte lainepikkus on 0,005 kuni 60 $m\mu$; pehmed kiired on suurema, kalgid lühema lainepikkusega.

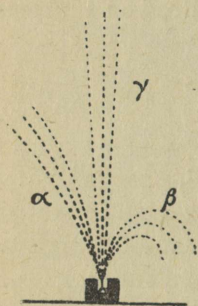
Radioaktiivsus.

67. **Radioaktiivsed kehad.** Aastal 1896, seega varsti pärast röntgenikiirte avastamist, pani prantsuse füüsik H. Becquerel tähele, et uraani sisaldavad ühendid kiirgavad silmale nähtamatuid kiiri, mis nagu röntgenikiiredki tuhmistavad fotoplaati, ioniseerivad õhku ja tungivad mitmetest kehast läbi. Hiljemini õnnestus abielupaaril Pierre ja Marie Curie'l eraldada maagist, millest saadakse uraani, uusi tundmatuid aineid, **polooniumi** ja **raadiumi**, mis neid nähtamatuid kiiri palju rohkem kiirgavad. Nii näiteks on raadiumil see omadus umbes miljon korda suurem kui niisama suurel hulgal uraanil. Seda uraani, raadiumi jt. kehade omadust — anda nähtamatuid kiiri — hakati kutsuma **radioaktiivsus**eks ja kehi endid **radioaktiivseiks**. Raadiumi leidub uraani sisaldavas maagis — pigiläikes vähe: selle 1 tonnist saadakse vaevalt 10 mg raadiumi.

Elektri- või magnetiväljas lahutuvad radioaktiivsete kehade kiired 3 liiki kiirteks, mida tuntakse nüüd α -, β - ja γ -kiirte nime all.

α -kiired. Nagu katoodekiirte puhul võib ka α -kiirte lähemaks määramiseks kasutada nende paindumist elektri- ja magnetiväljas. Uurimised on näidanud, et α -kiired koosnevad kiiresti liikuvaist positiivselt laetud aineosakestest,

nn. α -osakekestest. α -osakese mass on võrdne 4 vesinikuaatomi massiga ja laeng 2 elementaarlaenguga. Sellest järeldatakse, et α -osake on kahe elementaarlaenguga laetud heeliumiaatom. Lähemad uurimised näitasidki, et raadiumipreparaat eraldab gaasi, mis spektraaltorus osutus heeliumiks. α -kiirte kiirus on 5—20% valguse kiirusest, kuid nende läbitungivus kehadest pole suur. Kogu oma teel α -kiired ioniseerivad õhku.



Joon. 89. Radioaktiivsed kiired.

Suure kineetilise energia tõttu on üksik α -osake võimeline tekitama efekti, mis on nähtav paljale silmale. Langeb α -osake näiteks tsinksulfiidiga kaetud ekraanile, siis tekitab ta sellel kohal helenduse, mida võib pimedas näha isegi palja silmaga. Säärast nähtust nimetatakse **stsintillatsiooniks**.

α -kiirte stsintillatsiooni kasutatakse pimedas nähtavate kellade juures: neil kelladel on numbrid numbrilaual joonistatud tsinksulfiidiga või mõne teise fluorestseeruva ainega, millesse segatud pisut radioaktiivset ainet (tooriumi). Tooriumi α -kiirte toimel helen-dub tsinksulfiit seal kohal, kuhu langeb α -osake. Nõnda muutuvadki tsinksulfiidi seguga kaetud numbrid pimedas nähtavaiks. Luubi all vaadeldes koosneb see helendus üksikutest mikroskoopilistest plahvatustest.

α -osakeste stsintillatsiooni kasutatakse nende loendamiseks. Niiviisi on leitud, et 1 g raadiumi kiirgab 1 sekundi kestel $3,7 \cdot 10^{10}$ α -osakest.

β -kiired. β -kiirte paindumise suunast ja suurusest magneti- ja elektriväljas tuleb järeldada, et need kiired koosnevad liikuvaist elektronidest, kannavad seega nega-

tiivset laengut ja on samased katoodekiirtega, ületavad aga neid kiiruselt: β -kiirte kiirus on 30—99% valguse kiirusest. Ka β -kiired ioniseerivad õhku, kuigi väiksemal määral kui α -kiired. Võrreldes α -kiirtega on aga β -kiirte läbitungivus kehadest suurem.

γ -kiired ei paindu elektri- ja magnetiväljas, millest järeldatakse, et need ei koosne elektriliselt laetud osakekestest. γ -kiirte suur läbitungivus kehadest viib oletusele, et need kiired on sarnased röntgenikiirtega, kuid on veelgi lühema lainepikkusega. γ -kiired mõjuvad samuti kahjustavalt elava organismi rakkudesse. Seda viimast γ -kiirte omadust kasutatakse nagu röntgenikiirtegi puhul arstiteaduses võitluseks pahaloomuliste kasvajate vastu.

Radioaktiivsete ainete kiirgust ei mõjusta ükski füüsikaline protsess, näiteks kõrge temperatuur. Samuti ei sõltu see kiirgus sellest, kas radioaktiivne aine on see või teine keemiline ühend. Täheandab, ka keemilised protsessid ei mõjusta seda kiirgust.

Radioaktiivse aine üheks eriliseks omaduseks on see, et ta pidevalt tekitab soojust. Nii näiteks 1 g raadiumi annab 1 tunni kestel 118 cal soojust.

68. **Emanatsioon.** Raadiumi ümbritsev õhk on tugevasti ioniseeritud.

Kui radioaktiivne preparaat ära viia ja kõrvaldada õhust ioonid, siis mõne aja pärast tekivad ioonid uuesti.

Sellest võime järeldada, et raadium eraldab gaasitaolist ainet, mis samuti on radioaktiivne. Seda gaasi nimetatakse *emanatsiooniks*, ta aatomikaal on 222. Hiljem õnnestus emanatsiooni eraldada teistest gaasidest ja teda isegi veeldada.

Emanatsioon on inertne gaas nagu heeliumgi ega anna mingeid keemilisi ühendeid.

69. Lagunemise teooria. Abielupaar Curie'd avastasid aastal 1899, et kehad, mis radioaktiivse preparaadiga olid ühes ruumis, muutusid ise ka radioaktiivseks. Hiljem pandi tähele, et see nn. indutseeritud radioaktiivsus tekib ainult siis, kui keha puutub kokku emanatsiooniga. Sellest oletatakse, et indutseeritud radioaktiivsuse põhjuseks on mingi nähtamatu aine, mis sadestus kehale. Veel pandi tähele, et indutseeritud radioaktiivsus mõne aja pärast kaob.

Kõigile neile nähtustele tõi selguse nn. radioaktiivsete kehade lagunemise teooria, mille esitasid füüsikud Rutherford ja Soddy. Selle teooria järgi radioaktiivse aine aatom, mis üldiselt on suure aatomikaaluga, pole püsiv, vaid laguneb, paisates välja heeliumi ioone ja elektrone. Nii näiteks radium (aatomikaal 226), kiirates heeliumi (He aatomikaal on 4) ja elektrone, muutub emanatsiooniks (Em aatomikaal 222). See lagunemine toimub aeglaselt. Näiteks lagunevad pooled radiumi aatomid 1580 aasta jooksul. 1580 aastat on radiumi poolustusiga. Emanatsioon on veelgi vähem püsiv, ta poolustusiga on 3,85 päeva. Nii kestab lagunemine edasi. α -osakese kiirgamisel väheneb aatomikaal 4 võrra, kuna β -osakese kiirgamisel ta aatomikaal ei muutu. Lõpuks tekib aine, aatomikaaluga 206, mis osutub mitte-radioaktiivseks aineks. See aine on seatina. Seatina on seega radioaktiivse lagunemise lõppsaadus.

On kindlaks tehtud, et mitte radium pole aine, millega see lagunemine algab, vaid selleks on uraan (aatomikaal 238). Uraan on seega teiste radioaktiivsete ainete esiema. Peale uraani perekonna tuntakse veel kahte radioaktiivset perekonda (aktiiniumi ja tooriumi perekond).

V. Elektrivõnkumised ja elektromagnetilised lained. Raadiotelegraaf ja -telefon.

70. Fedderseni katse. Elektrivõnkumine. Aastal 1858 näitas Feddersen, et leideni purk tühjeneb võnkuvvooluna ehk ostsillatoorselt, s. o. kondensaator ei tühjene ühe sädemena, vaid elektrilaeng tühjenemisel võngub ühelt plaadilt teisele.

Feddersen tarvitas selle nähtuse avastamisel pöörlevat peeglit, mille abil ta pildistas kondensaatori tühjendamissädet nii, nagu võib pildistada liikuvat eset ülikiiresti liikuvale fotolindile.

Ühte sel teel saadud tühjenemissädeme ülesvõtet kujutab joonis 90. Nagu sellest näha, koosneb kondensaatori tühjenemissäde hulgast üksteisele järgnevaist vahelduva suunaga sädemeist.

Kondensaatori tühjenemist perioodilise elektrivõnkumisenäga võime võrrelda vedeliku kõrguste vahe tasandumisega U-torus. Joonis 91 kujutab vedeliku olekut U-torus võnkumise alguses: paremas harus on vedeliku tase kõrgem, seega omab seal olev vedelik teatud hulga potentsiaalset energiat. $\frac{1}{4}$ perioodi pärast on vedeliku tase mõlemas anumas ühekõrgune, kuid selles olekus voolamine veel ei lõpe, sest vedelik omab nüüd kineetilist energiat: inertsuse tõttu voolab vedelik edasi ja on $\frac{1}{2}$ perioodi pärast tõusnud vasakus harus kõr-

gemale kui paremas. Ühtlasi on vedeliku energia muutunud uuesti potentsiaalseks energiaks. Nüüd kordub nähtus uuesti. Ühe perioodi pärast on pilt nagu algul, ainult et vedeliku kõrguste vahe on pisut väiksem. Nii võngub siin vedelik, kuni ta lõpuks hõõrdumistakistuse tõttu vaibub.

Samasugune nähtus ilmneb kondensaatori tühjenemisel.

Joonisel 91 on kujutatud ka kondensaatori tühjenemine läbi eneseinduktsiooni. Viimane on kujutatud sümboliseeritult spiraalina. Võnkumise alguses on kondensaatori ülemine plaat laetud positiivselt, alumine negatiivselt, nende vahel on elektriväli. Voolu ei ole.



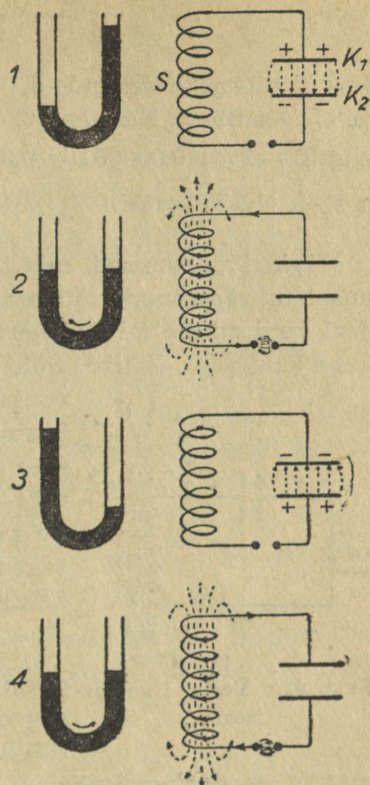
Joon. 90. Fedderseni katse.

Läbi sädemiku andub edasi elektrisäde. Kondensaator hakkab tühjenema, $\frac{1}{4}$ perioodi pärast on voolutugevus maksimumaalne, plaatide-vaheline pinge on null, kuid eneseinduktsioonipoolis on tekkinud magnetiväli. Vool kestab edasi, sest magnetivälja kadumisega tekib samasuunaline ekstravool. Seetõttu laeb kondensaator enda uuesti, kuid nüüd omandab alumine plaat positiivse, ülemine negatiivse laengu. Elektrivälja suund nende vahel on nüüd vastupidine. Magnetiväli nõrgeneb, $\frac{1}{2}$ perioodi pärast muutub see nulliks.

Nähtus kordub. Elektriväli plaatide vahel kaob, selle asemel tekib eelmisele vastassuunaline magnetiväli, sest nüüd on ka voolu suund vastupidine. Ühe perioodi pärast on algseis uuesti saavutatud.

Seda nähtust iseloomustavad vaheldumisi tekkivad elektri- ja magnetiväljad — kondensaatorile antud energia muutub vaheldumisi elektri- või magnetivälja energiaks. Analoogiliselt muutub U-torus olevale veele antud energia vaheldumisi potentsiaalseks ja kiineteiliseks energiaks: vesi võngub. Niisugune ostsillaatorne elektrivool tekib ka siis, kui kondensaator tühjeneb läbi keeratud traadi (tühjendaja), sest ka siis tekib juhtme ümber magnetiväli.

Vooluahelat, mis koosneb mahtuvusest (kondensaatorist) ja eneseinduksioonist (poolist), nimetatakse võnkeringiks ehk võnkeahelaks.



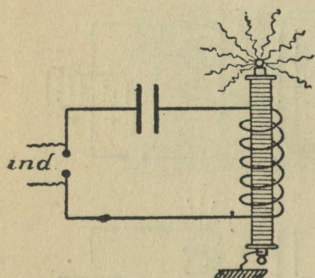
Joon. 91. Võnkumise faasid.

71. **Thomsoni valem.** Fedderseni katse abil võime määrata, kuidas sõltub elektri võnkesagedus, seega ka periood, võnkeahelasse lülitatud mahtuvusest ja eneseinduksioonist. Vastavad mõõtmised näitavad, et kui mahtuvust või induktiivsust suurendada näiteks 4 korda, siis periood suureneb 2 korda. Teoreetilisel teel tuletas W. Thomson valemi, mis annab seose võnkeperioodi T , mahtuvuse C ja induktiivsuse L vahel:

$$T = 2\pi \sqrt{LC}$$

kus T tähendab sekundeid, kui L on väljendatud henrides ja C faradites. Näiteks: $C = 1$ mikrofarad ja $L = 1$ henri, siis $T = 2\pi \sqrt{0,000001} = 0,0063$ sek. Võnkesagedus on siis $n = \frac{1}{T} = 159$ hertsi.

Elektrivõnkumised, mis tekivad leideni purgi tühjenemisel, on väga suure võnkesagedusega: mõnest sajast tuhandest kuni mitme miljoni hertsini; vastavalt sellele on võnkeperiood väga lühike. Sääraseid väga lühikese perioodiga võnkumisi nimetatakse raadiotehnikas suur- ehk kõrge sagedusega võnkumisteks, vastandina väike- ehk madal sagedusega võnkumistele, mille võnkesagedus langeb kuuldava hääle võnkesageduse piirkonda.



Joon. 92. Tesla transformator.

72. Tesla transformator. Leideni

purgi tühjenemisel tekkinud suursagedusvoolu võib nagu tavalistki vahelduvvoolu transformatori abil muuta kõrgepingeliseks suursagedusega vooluks. Selleks tarvitatakse ungarlase N. Tesla leiutatud **transformaatorit**, mille skeem on antud joonisel 92. Selle transformatori sekundaarseks mähiseks on suure keerdude arvuga pool. Kui ühendame selle pooli ühe traadiotsa maaga, hakkab elektrit teise otsa kaudu kõrgepinge tõttu õhku voolama, tekivad tugevad elektrisädemed. Tesla suursagedusega vool ei avalda inimese kehale füsioloogilist toimet, nii et teda võib vabalt kehast läbi lasta.

Katsed ja arvutused näitavad, et suursagedusega vool levib ainult mööda juhtmete pinda.

Lähendades Tesla transformaatori sekundaarsele poolile elektroodita hõrendustoru, näeme, et see hakkab juba kauget helendama: suursagedusega kõrgepingeline vool indutseerib torus elektrivoolu.

Suursagedusega voolu tarvitatakse sageli arstide korraldusel soojuse tekitamiseks inimese kehas.

Miks ei või harilikku elektrivoolu tarvitada kehas soojuse tekitamiseks?

73. Elektri resonants. Riputame ühise raami külge kaks eripikkust pendlit. Paneme ühe neist võnkuma. Teine pendel selles katses ei hakka esimesega kaasa võnkuma. Teeme mõlemad pendlid ühepikkuseks, millega muutuvad ühesugusteks ka nende võnkeperioodid, ja paneme siis ühe neist võnkuma. Nüüd kandub võnkumisenergia ühelt pendlilt teisele. Seda nähtust nimetatakse **r e s o n a n t s i k s** ja pendlite kohta öeldakse: nad on resonantsis.

Samuti näitab katse, et võnkumisenergia kandub ka ühelt helihargilt teisele, kui nende võnkekestused on võrdsed, s. o. kui nad on resonantsis.

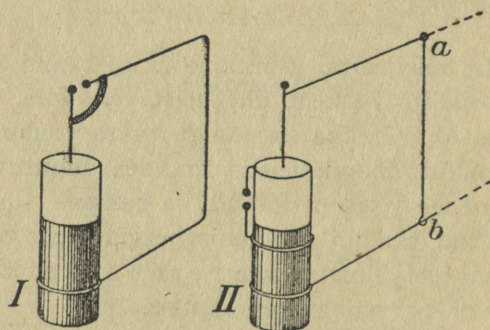
Samasugune resonantsinähtus esineb ka elektri võnkumistel. Ka elektrienergia kandub ühelt võnkeringilt üle teisele võnkeringile, kui need on resonantsis, s. o. kui nende võnkekestused on võrdsed.

Elektri resonantsi võib demonstreerida kahe ühesuguse leideni purgiga.

Leideni purk I ja lookapainutatud traat moodustavad ühe võnkeahela, teiseks võnkeahelaks on samasugune leideni purk II traatjuhtmega, kuid selle juhtme pikkust, seega ka eneseinduktsiooni võib muuta traadi liikuva osa *ab* edasi-tagasi nihutamisega. Purgid asetatakse teineteise kõrvale

nii, et nende välisjuhtmed oleksid paralleelsed. Mõlemad võnkeringid on varustatud sädemikuga. Kui nüüd ühte lei-
deni purki laadida sädeinduktoriga, siis tekib sädemiku kuu-
lide vahel säde, mille kaudu lei deni purk tühjeneb ostsilla-
toorselt.

Teise purgi välisjuhtme liikuvat osa edasi-tagasi nihuta-
des leiame sellise asendi, mille puhul ka teises purgis teki-



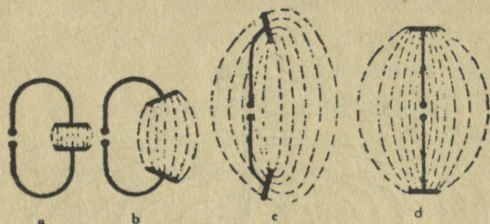
Joon. 93. Elektri resonants.

vad väikesed sädemed. See näitab, et ka teises võnkeahelas
tekib elektri võnkumine. Järelikult kandus võnkumisener-
gia ühelt võnkeahelalt teisele. Kaasavõnkumise puhul on
mõlemad võnkeringid teineteisega resonantsis. Nihutame
liikuvat juhtmeosa kohalt ära — kohe kaob ka säde, võnke-
ahelad pole enam resonantsis.

Võnkumisenergia ülekandmist ühelt võnkeahelalt teisele
seletame sellega, et esimese võnkeahela võnkuvvool tekitab
teises võnkeahelas võnkumise induksiooni teel, ja see võn-
kumine on märgatav ainult resonantsi puhul.

Et võnkumisenergia ühelt võnkesüsteemilt teisele üle
kanduks, selleks peab nende vahel mingi side olema ehk,
nagu öeldakse, nad peavad olema sidestatud. Kahe

pendli puhul oli selleks ühine alus, mille kaudu võnkumisenergia kandus ühelt pendlilt teisele. Elektri resonantsi puhul kirjeldatud katses kandus elektrienergia ühelt võnkeahelalt teisele induksiooni teel magnetivälja kaudu. Seepärast nimetatakse seda sidestusviisi induktiivseks. Peale induktiivse sidestusviisi tuntakse veel teisi sidestusi. Näiteks kapatsitiivse ehk mahtuvuse sidestuse annab võnkeahelate ühine mahtuvus.



Joon. 94. Suletud võnkeahela üleminek avatud võnkeahelaks.

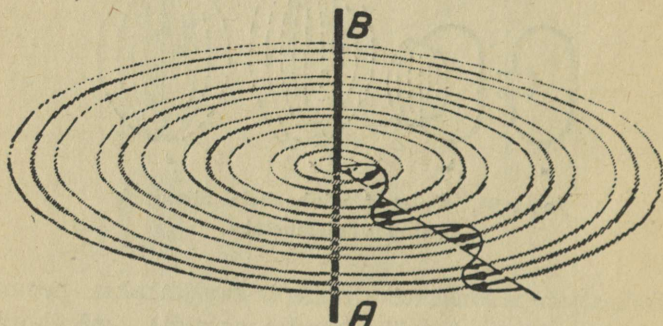
Võnkeahela resonantsi viimiseks tarvitatakse peamiselt muutlikku mahtuvust (pöördkondensaatorit), mõnikord ka muutlikku induktiivsust (variomeetrit).

74. Elektrilained. Suletud ja avatud võnkeahel. Võnkeahelat, mis koosneb kondensaatorist ja juhtmest, nimetatakse suletud võnkeahelaks, sest elektri tungjooned leiduvad peamiselt ainult kondensaatori plaatide vahel. Elektri ja magneti tungjooni kiirgab välja ainult avatud võnkeahel, mille saame, kui kondensaatori plaadid paigutame traadi otsesse. Sel juhul on elektri tungjooned keskmises osas ligikaudu paralleelsed. Magnetit tungjooned aga on risti voolujuhtmele, seega risti ka elektri tungjoontele. Joonisel 94 on kujutatud suletud võnkeringi üleminek avatud võnkeringiks.

Lihtsamaks avatud võnkeahelaks on kaks sirget traati, mis sädemikuga on teineteisest eraldatud. Mõlemad pooled

on ühendatud sädeinduktoriga, mille abil laetakse võnkeahel. Kondensaatori plaadid on siin asendatud kahe traadiotsaga, millede mahtuvus, samuti ka induktiivsus on väga väike. Säärast avatud võnkeahelat nimetatakse Hertzi vibraatoriks ehk ostsillaatoriks. Niisuguse vibraatori võnkesagedus on väga suur.

Laeme vibraatori sädeinduktori abil, kuni pinge tõuseb traatide vahel nii kõrgele, et tekib säde elektrivõnkumisenä.



Joon. 95. Elektromagnetilised lained.

Sädeme kaudu saavad vibraatori pooled kokku sirgeks juhtmeks, milles elektrilaeng võngub ühest otsast teise. Hetkel, mil vibraatori ülemine ots on laetud positiivselt, alumine negatiivselt, lähevad elektritungjooned ülalt alla. Potentsiaal on vibraatori ülemises otsas maksimaalne, alumises minimaalne, keskel null. Nüüd hakkab elekter ülalt alla liikuma suureneva vooluna, tekitades keskel sädeme. Ühtlasi hakkavad elektri tungjooned ära kaduma. Samal ajal tekiavad elektrivoolu ümber ringikujulised magneti tungjooned. Voolutugevus on maksimaalne vibraatori keskkohal, otstes on ta null. Magneti tungjooned on seejuures vibraatori si-

hile risti, seega risti ka elektri tungjoonte. Magnetivälja tugevus on maksimaalne $\frac{1}{4}$ perioodi pärast, siis kui voolutugevus on samuti maksimaalne ja vibraator ilma laenguta. Sellest hetkest alates hakkavad magneti tungjooned kaduma, kuid eneseinduktsiooni tõttu kestab vool edasi ja $\frac{1}{2}$ perioodi pärast on vibraatori otsad võrreldes endisega vastupidiselt laetud, samuti on ka vastupidine elektritungjoonte suund. Nüüd hakkab elekter voolama eelmisele vastassuunaliselt, tekitades ka eelmisele vastassuunalise magnetivälja. Niiviisi elektrivõnkumisel avatud vibraatori ümber tekivad perioodilised elektri ja magneti tungjooned ja need levivad valgusekiirusega ruumis. Säärast energia levimist nimetatakse elektromagnetiliseks lainetuseks. Elektromagnetiline lainetus on ruumis leviv võnkuv elektri- ja magnetiväli. Et elektromagnetiline lainetus on ristlainetus, on võnkuvad elektri ja magneti tungjooned risti laine levimissuunale. Nagu nägime on ka elektri tungjooned risti magnetiväljale.

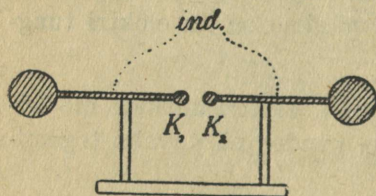
Levides ruumis, tekitavad nad elektrijuhtides induktioonvoolu, mida võib kasutada nende nähtavaks tegemiseks.

75. Lainepikkus. Iga täisvõnke kestel tekib üks laine. Analoogiliselt vee ja õhu lainetusega loetakse lainepikkuseks kaugust mõnest tungjoonte tihedaimast kohast järgmise samasuunaliste tungjoonte tihedaima kohani (joon. 95). Tähistades lainepikkuse λ , võnkesageduse n ja levimiskiiruse c -ga, võime kirjutada järgmised võrrandid: $c = n\lambda$ ja $n = \frac{1}{T}$, kus T on periood. Elektromagnetilisi laineid kasutatakse teadete, kõne ja muusika traadita edasisaatmiseks läbi ruumi nn. **r a a d i o** teel. Lainepikkus, mida seks otstarbeks tarvitatakse, ulatub mõnest meetrist mõneteistkümne tuhande meetrini.

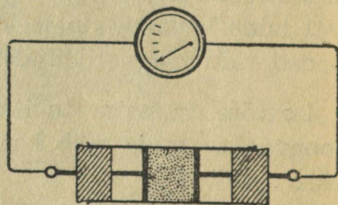
Iga raadiosaatejaam töötab kindlal lainepikkusel, mis üldiselt antakse teada raadioteadetes.

1. Lainepikkus on 425 m. Kui suur on sellele vastav võnkesagedus?
2. Thomsoni valemi järgi $T = 2\pi\sqrt{CL}$. Leida seos lainepikkuse ja võnkeahela mahtuvuse C ning induktiivsuse L vahel.

76. **Hertzi katsed.** Elektrilained avastas saksa füüsik H. Hertz 1888. a., mispärast elektrilaineid, eriti neid, millede lainepikkus vastab Hertzi poolt kasutatud lainepikkusele, nimetatakse **hertsi laineteks**. Ta tarvitas seejuures elektrilainete tekitamiseks vibraatorit, mis on kujutatud joonisel 96. Nende vastuvõtmiseks kasutas ta traatrõngast sädemikuga. Paremini võib elektrilaineid nä-



Joon. 96. Hertzi vibraator.



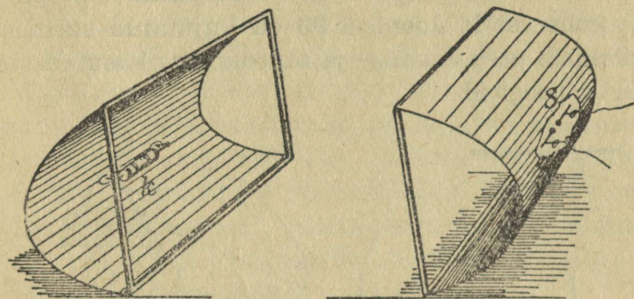
Joon. 97. Koheerer.

tavaks teha koheereri abil (joon. 97). See koosneb klaastorust, milles metallektroodide vahe on täidetud raua- või niklipuruga.

Et puruosakesed puudutavad üksteist nõrgalt, on toru takistus võrdlemisi suur. Kui lülitada säärane koheerer elektrielemendi vooluahelasse järjestikku galvanomeetriga, siis galvanomeeter voolu ei näita. Langevad koheererile aga elektrilained, siis väheneb koheereri takistus seevõrra, et galvanomeeter näitab voolu. Lainete kustumisel kaotab

koheerer oma juhtivuse siis, kui temale koputada. Galvano-meetri asemel võib tarvitada ka elektrikõlistit.

Sel teel võib ikatseliselt näidata, et elektromagnetilised lained peegelduvad metallipinnal ja murduvad iso-laatorites ning polariseeruvad.



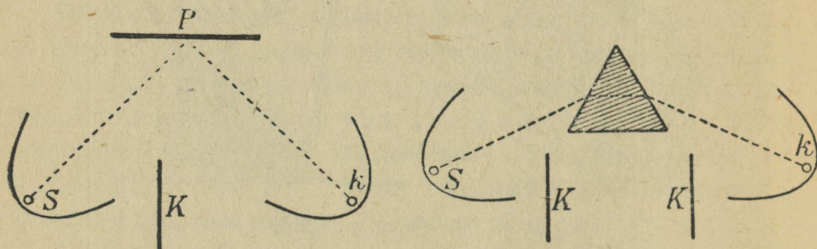
Joon. 98. Herts'i peeglid.

Uurimised on tõestanud, et ka valguse lained on elektromagnetilised lained. Herts'i avastatud elektrilainetest erinevad valguse lained ainult lainepikkuse poolest. Valguse lainepikkus on väga väike, elektrilainete lainepikkus aga on suur.

Allpool esitatud tabelis on toodud mõnede kiirte (lainete) liikide lainepiirkonnad.

Röntgenikiired	0,005 m μ	kuni	60 m μ .
Ultravioletsed kiired	20 m μ	kuni	0,4 μ .
Nähtavad valguskiired	0,4 μ	kuni	0,75 μ .
Ultrapunased kiired	0,75 μ	kuni	0,3 mm.
Elektrilained	0,3 mm	kuni	∞ .

77. **Hertsi peeglid.** Eriti hästi võib näidata elektrilainete peegeldumist ja murdumist, samuti ka polarisatsiooni nn. hertsi peeglite abil (joon. 98). Hertsi peegel on kõveraks painutatud metallplekk, mille läbilõige on parabool. Saateaparaadi peegli fookuses on hertsi vibraator S, mida laetakse sädeinduktoriga, vastuvõtuaparaadi peegli fookuses on koheerer k. Joonisel 99 on kujutatud skemaatiliselt elektrilainete peegeldumist ja murdumist, kasutades seejuures hertsi peegleid.



Joon. 99. Elektrilainete peegeldumine ja murdumine.

Vibraatorist S kui fookusest väljunud elektromagnetilised lained levivad hertsi peeglit paralleelsete kiirte kimbuna, peegelduvad tasaselt plekkplaadilt P ja langevad teisele paraboolsele peeglile, kus nad koonduvad koheererile k. Katsetamisel selgub, et elektromagnetiliste lainete peegeldumine allub samadele seadustele nagu valguse peegeldumine.

Kasutades suurt parafiinist prisma võib näidata ka elektromagnetiliste lainete murdumist parafiinis. Ka elektromagnetiliste lainete murdumine on analoogiline valguse murdumisele.

78. **Traadita telegraaf summutatud lainetega.** Kroonlinna merekooli füüsika lektor A. S. Popov oli esimene, kes Hertzi avastatud elektrilaineid kasutas signaalide edasi-
saatmiseks, pannes seega aluse raadiotehnikale (1895. a.). Popov tarvitas elektrilainete saatjana nn. a-

tenni, mis moodustab vibraatori ühe poole, kuna teiseks pooleks on Maa. Antennis tekitatakse summutatud elektrivõnkumisi sädeinduktori abil. Antenn kui avatud võnkeahel omab head kiirgamisvõimet, kuid tugevaid võnkumisi on temas raske tekitada. Seepärast sidestati hiljemini antenn suletud võnkeahelaga, milles on võimalik tekitada tugevaid elektrivõnkumisi. Viies mõlemad võnkeahelad näiteks pöördkondensaatori abil resonantsi, on võimalik tekitada tugevaid elektrilaineid. Elektri tungjooni antenni ümber kujutab joonis 100, kuna saatejaam on kujutatud joonisel 101.

Elektrilainete vastuvõtjana tarvitatakse samasugust antenni, mis elektrilainete vastuvõtmisel viiakse resonantsi vastuvõetavate lainetega. Vastuvõtuantennis tekkinud võnkumised tehti algul kindlaks koheereri abil, hiljem võeti tarvitusele kristalldetektor.

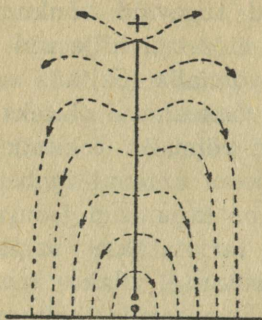
Võnkuvool, nagu seda raadiotehnikas tarvitatakse, on väga suure sagedusega vahelduvvool, mistõttu telefoni-membraan seda võnkumist edasi ei anna. Et seda võnkumist telefoni kuuldetorus kuuldavaks teha, seks tarvitatakse nn. **detektorit**.

Kristalldetektoriks on metalltraadi ja kristalli (püriit, karborund, tinaläige jne.) puutekoht, mis laseb läbi ainult ühesuunalist elektrivoolu. Seetõttu muudab kristalldetektor muutliku amplituudiga vahelduvvoolu, mis indutseeritakse vastuvõtuaparaadi antennis, pulseerivaks alalisvooluks.

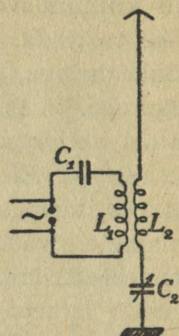
Joonis 102 kujutab sel põhimõttel töötavat vastuvõtuaparaati. Nagu saatejaamaski, nii ka siin ei lülitata detektorit otseselt antenni ahelasse, vaid sellega sidestatud suletud võnkeahelasse. Joonisel 103 L_2 C_2 on antenniga sidestatud suletud võnkeahel (L_2 — induktiivsus, C_2 — pöördkondensaator, D — kristalldetektor ja C_3 nn. plokk-kondensaator, millega on rööbiti telefon).

Sädeinduktor tekitab summutatud võnkumist, mis koosneb üksikuist võnkumiste rühmadest. Igale säde-

mele vastab üksik võnkumiste rühm (joon. 104). Samasugused summutatud võnkumiste rühmad tekivad vastuvõtuantennis ja sellega sidestatud suletud võnkeahelas. Et kris-

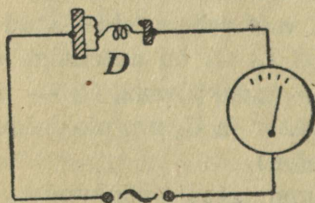


Joon. 100.
Elektri tungjooned
antenni ümber.

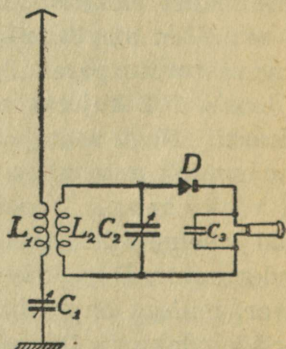


Joon. 101.
Saatejaam.

talldetektor laseb läbi ainult ühesuunalist voolu, siis selles ahelas tekib rühma arvuga võrdne arv pulseerivaid voolutõukeid. Telefonimembraan ei järgne igale suursagedusega võnkumisele, vaid paindub iga voolutõuke puhul ainult üks kord. Seega tuleb telefonis kuuldavale toon, mille võnke-



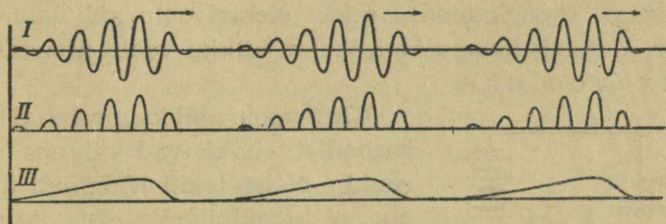
Joon. 102. Kristalldetektor.



Joon. 103. Vastuvõtuojaam.

sagedus on võrdne voolutõugete arvuga. Sel teel võib signaale edasi saata morsetähestiku kujul.

Telefoniga rööbiti on lülitatud nn. **plokk-kondensaator**, mille ülesanne on läbi lasta detektoriahelasse pääsenud elektrivõnkumised. Teiseks muudab ta telefoni juhitud pulseriva voolutõuke pidevaks voolutõukeks.



Joon. 104. Võnkumiste rühmad.

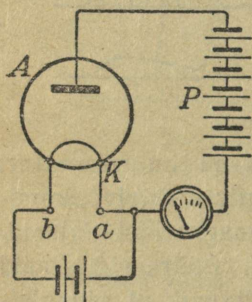
79. **Pinna- ja ruumilained.** Et antenn on vibraator, mille teine pool on asendatud maaga, siis elektrivõnkumised antennis tekitavad ruumis elektromagnetilisi laineid, millede elektritungjooded on maaga risti. Sääraseid laineid nimetatakse **pinnalaineteks**. Katsed näitavad, et pinnalained levivad mööda maapinda, jälgides ka selle kõverusi. Niiviisi võivad elektrilained ümber Maa levides saatejaama uuesti tagasi tulla. Pinnalainetena levivad peamiselt raadiotehnikas tarvitatavad pikad elektrilained.

Osa energiat kiirgab antenn õhku **ruumilainetena**. Raadiotehnikas tarvitatavad lühilained (lainepikkus mõni m), mis levivad peamiselt ruumilainetena, levivad üllatavalt kaugele.

See nähtus seletub ruumilainete peegeldumisega umbes 100 km kõrgusel oleva nn. Heaviside'i kihil, mis on päikesekiirte toimel tugevasti ioniseeritud ja peegeldab elektrilaineid nagu metallipind.

80. **Elektrontoru.** Pöördelise tähtsuse raadio ja traadita telegraafi tehnikasse tõi **elektrontoru** leiutamine (Lieben, de Forest, Langmuir). Elektrontoru põhineb nähtusel,

et metallidest, eriti aga tooriumoksüüdiga kaetud metallidest, mis kuumutatud hõõgumiseni, hakkavad väljuma elektronid. Vaatleme algul kahe elektroodiga elektronitoru. See koosneb õhutühjast klaaspirnist, kuhu on paigutatud kaks teineteisest isoleeritud elektroodi, katood K ja anood A (joon. 105). Katoodiks on tooriumoksüüdiga kaetud volframtraat (hõõgkatood), mida elektrivoolu abil kuumutatakse. Katoodi kuumutamiseks vajalikku voolu nimetatakse küttevooluks.



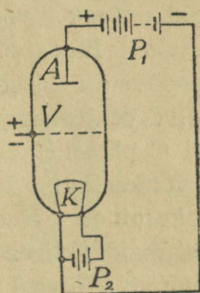
Joon. 105. Kahe elektroodiga elektronitoru.

Küttevoolu abil kuumutatud hõõgkatoodist hakkavad väljuma elektronid. Neist tekib hõõgniidi ümber nn. elektronipilveke, mis takistab edasist elektronide väljumist hõõgkatoodist. Ühendades anoodi nn. anoodpatare'i positiivse poolusega ja katoodi (küttepatarei pooluse) negatiivse poolusega, hakkavad elektronid anoodi ja katoodi vahelise pinge mõjul liikuma katoodilt anoodile, tekitades seega nende vahel elektronide voolu, nn. anoodvoolu. Kui pooluseid vahetada, tõukab anood kütteniiti ümbritsevad elektrone eemale, mistõttu elektronitorus ei teki mingit anoodvoolu.

Niiviisi töötab elektronitoru nagu täiuslik ventiil, lastes läbi ainult ühesuunalist voolu. Ühendades A ja K vahelduvvoolu allikaga, laseb elektronitoru ühe poolperioodi kestel voolu läbi, teise poolperioodi kestel mitte. Seega mõjub elektronitoru siin kui vahelduvvoolu alaldaja ja selleks teda elektrotehnikas kasutataksegi.

81. **Kolme elektroodiga elektronitoru.** Elektronitoru omandas alles siis suure tähtsuse, kui paigutati elektron-

torru kolmas, võreks nimetatud elektrood. Võre asetseb anoodi ja katoodi vahel ning tavaliselt antakse talle katoodi ümbritseva spiraali kuju. Mõlemaid ümbritseb silindrikujuline anood. Ühendame anoodi anoodipatarei (u. 100 V) positiivse poolusega, katoodi selle negatiivse poolusega. Katoodist väljunud elektronid liiguvad läbi võre anoodile, tekitades seega anoodvoolu. Ainult väike osa elektrone jääb peatuma võrele, andes talle negatiivse laengu ja nõrgendades anoodvoolu tugevust. Anname võrele väljastpoolt nõrga negatiivse potentsiaali, ühendades ta nn. võrepatarei vastava poolusega, siis nõrgeneb anoodvool veelgi. Pisut suurema negatiivse võrepotentsiaali puhul muutub anoodvoolu tugevus koguni nulliks. Anname võrele aga positiivse laengu, siis suureneb anoodvoolu tugevus. Nõnda kutsuvad võrepotentsiaali väikesed võnkumised esile juba suuri anoodvoolu tugevuse võnkumisi.

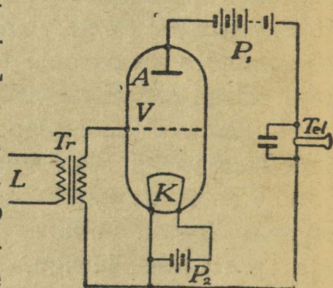


Joon. 106. Kolme elektroodiga elektritoru.

82. **Elektritoru kui võimendaja.** Kolme elektroodiga elektritorul on suur tähtsus võnkuvaelektrivoolu võimendajana. Sääraste nõrkade vooludega on tegemist kõne edasisaatmisel telefoni kaudu, eriti aga raadiotehnikas. Võimendatav nõrk vahelduv või võnkuv elektrivool juhitakse läbi transformaatori (joon. 107, Tr) primaarse mähise. Transformaatori sekundaarse mähise üks ots on ühendatud elektritoru võreaga, teine katoodiga. Nõrk võnkuvvool, läbides primaarse mähise, tekitab potentsiaali võnkumisi võrel, millega rütmis võngub ka anoodvoolu tugevus. Nii võib primaarse voolutugevuse võnkumiste amplituudi mitmekordselt suurendada. Võimendades näiteks telefonikõne juures tekkinud võnkuvat elektrivoolu telefoni lülitamisega anoodvoolu ahelasse, võime kõnet

kuulda palju tugevamini. Lülitades telefoni asemel teise transformaaatori, võime neid vooluvõnkumisi veel kord võimendada.

83. **Elektrontroru kui suursagedusega voolu generaator.** Parimaks summutamata suursagedusega voolu allikaks on elektrontroru-generaator. Joon. 108 kujutab suursagedusega elektrontroru lülitusskeemi. Anoodvoolu ahelasse on lülitatud suletud võnkering LC, milles pool L on induktiivselt sidestatud teise elektrontroru võre ja katodi vahele lülitatud pooliga L_1 . Anoodvoolu sisselülitamisel tekib pooli L otstes, seega ka kondensaatori C plaatide vahel nõrk pinge ja võnkeringis LC nõrk elektrivõnkumine. Need võnkumised kustuksid kiiresti, kui pool L_1 puuduks. Nõrgad võnkumised võnkeahelas LC indutseerivad poolis L_1 samasugused võnkumised, mis annavad elektrontroru võrele vaheldumisi positiivse ja negatiivse potentsiaali. Võre potentsiaali võnkumiste tagajärjel hakkab võnkuma ka anoodvoolu tugevus võnkeringile LC omase võnkesagedusega. Seetõttu suureneb ka elektrivõnkumine LC võnkeringis, mis omalt poolt suurendab potentsiaali võnkumist võrel.



Joon. 107. Võimendaja.

Arusaadav, et võnkumise intensiivsus ei saa ahela oomilise takistuse tõttu kasvada piiramatult ja võnkumised suurenevad niikaua, kuni tekib võnkeringis teatav püsiva amplituudiga summutamatu võnkumine, mille tugevus ja sagedus sõltuvad elektrontroru ja võnkeringi omadustest.

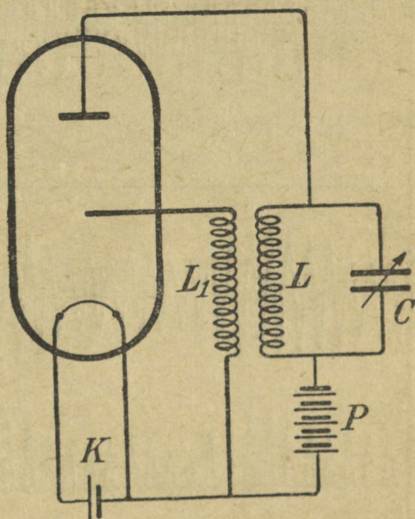
Niisiis muutub säärase lülitusviisiga elektrontroru summutamata võnkumiste generaatoriks. Valides vastava mah-

tuvuse C ja induktiivsuse L , võib võnkesagedust muuta väga suurtes piirides.

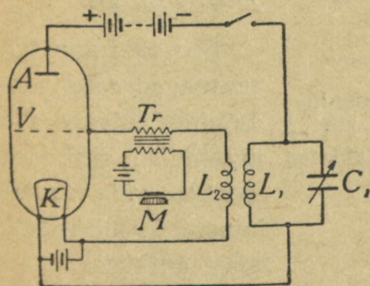
Elektronitoru abil tekitatakse niiviisi võnkumisi sagedusega 1 kuni 1 000 000 ja rohkem hertsi.

Raadio.

84. **Kõne ja muusika saatmine ning vastuvõtmine elektrilainete abil.** Kõne ja muusika edasisaatmine elektrilainetena on võimalik ainult summutamata võnkumiste abil. Summutamata võnkumiste generaatorina tarvitatakse seejuures elektronitoru, mille lülitusskeemi vaatlesime eespool. Joon. 109 kujutab sedasama lülitusskeemi, kuid võreahelasse on lülitatud veel transformaatori sekundaarne mähis, mille primaarne mähis on ühendatud järjestikku mikrofoni ja vooluallikaga.



Joon. 108. Generaator.

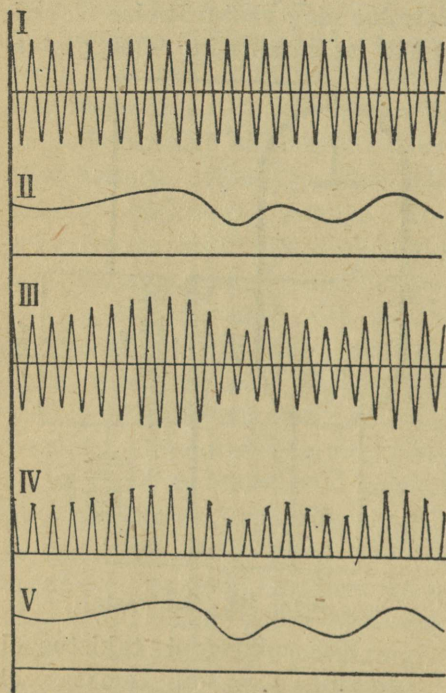


Joon. 109. Modulatsioon.

Tr — transformator, M — mikrofon.

Kui mikrofoni takistus ei muutu, s. o. kui temasse ei mõju häälelained, siis tekitab toru generaator suursagedusega võnkumisi, millede amplituud on muutumatu (joon. 110, I). Seda suursagedusega võnkumist nimetatakse ka põhivõnkumiseks. Kui mikrofoni ees tekitada he-

li, näiteks võnkesagedusega 500, siis transformatori Tr kaudu kandub see võrele pingevõnkumisena, mille tagajärjel võngub ka anoodvool. Mõlemad anoodvoolu võnkumised, suursagedusega ja väikesagedusega võnkumine, liituvad. See



Joon. 110. I — summutamata võnkumine; II — mikrofoni voolu kõikumine; III — moduleeritud võnkumine; IV — alaldatud vool; V — vool telefonis.

tõttu on suursagedusega võnkumiste amplituud igas sekundis 500 korda maksimaalne, ja nimelt siis, kui võre on laetud positiivselt, samuti on ta igas sekundis 500 korda minimaalne. Samasugused, kuigi mitte nii korrapärased põhilaine amplituudi kõikumised tekivad, kui laulda või kõnelda mikrofoni ees. Säärast nn. moduleeritud võnkumist kujutab joon. 110, III.

See moduleeritud suursagedusega võnkumine antakse üle antennile, kust see elektri- või raadiolainete kujul ruumi edasi antakse.

Need lained võetakse vastu nagu summutatud võnkumistegi puhul vastava antenni ja vastuvõtuaparaadi abil.

Joon. 110, IV on näha vastuvõtuaparaadis moduleeritud suursagedusega võnkumine, mis detektori abil alaldatud. Joon. 110, V kujutab telefonimembraani väikesagedusega võnkumist, mis säärane alaldatud vool tekitab.

Tavaliselt tarvitatakse nn. lamp-vastuvõtuaparaatides detektorina elektrontoru erilises lülituses, sest ka elektrontoru alaldab voolu (§ 80).

On vastuvõetavate lainete energia liiga nõrk, siis võib neid elektrontoru abil võimendada.

Detektorina tarvitatav elektrontoru, samuti võimendaja-elektrontoru ühes vastavate pöördkondensaatoritega resonantsi viimiseks, koos induksioonipoolidega jne. ongi **r a a - d i o v a s t u v õ t u - a p a r a a t.**

SISUKORD.

I. Elektrostaatika.

	Lk.
1. Elektrilaengute määrgid	3
2. Elektrilaengute tekkimine	4
3. Juhid ja isolaatorid	5
4. Mõjuelekter	6
5. Elektri hulga ühik. Coulombi seadus	7
6. Elektrivälja	9
7. Elektrivälja potentsiaali mõiste töö seisukohalt	10
8. Isopotentsiaalsed pinnad	11
9. Elektroskoop	12
10. Elektromeeter	15
11. Mahtuvus	16
12. Kondensaator	18

II. Elektrodünaamika.

Elektrivool ja selle omadused.

13. Tuntuimad galvaani elemendid. Elektri voolamise suund	22
14. Voolu tugevus ja voolu suund	24
15. Eritakistus	25
16. Juhtmetakistus	27
17. Sise- ja välistakistus	29
18. Ohmi seadus	30
19. Potentsiaali langus juhtmes ja Ohmi seaduse rakendamine üksikute ahela osade kohta	32
20. Elementide ühendamine patareiks	33
21. Reostaadid	35
22. Voolu harunemine	37
23. Galvanomeeter, ampermeeter ja voltmeeter	39
24. Mõõteriistade lülitamine	42

Voolu soojus.

25. Joule—Lenz'i seadus	42
26. Elektrihõõglamp	44
27. Lühiühendus. Kaitse	47
28. Elektrileeklamp	49
29. Joule'i soojuse kasutamise võimalusi	50
30. Termovool	51
31. Alalisvoolu võimsus ja töö	52

Elektrolüüs.

32. Vasevitrioli elektrolüüs	53
33. Ioonide teooria algmõisteid	54
34. Vee elektrolüüs	56

35. Faraday seadused. Ampri tehniline definitsioon	57
36. Elektrolüüsi tehniline kasutamine	58
37. Polarisatsioonvool	59
38. Akumulaatorid	61
Elektromagnetism.	
39. Voolu magnetiväli	62
40. Solenoidi magnetiväli	64
41. Elektromagnet	65
42. Mikrofon ja telefon	67
III. Voolu ja magnetivälja vastastikune toime.	
43. Magnetivälja mõju voolujuhtmesse	70
44. Voolude vastastikune mõju	70
45. Maamagnetism	71
Elektromagnetiline induktsioon.	
46. Elektromagnetilise induktsiooni põhinähtused	74
47. Induktsioonvool poolis	75
48. Lenzi reegel	76
49. Pöörivoolud	77
50. Eneseinduktsioon	78
Generaatorid ja mootorid.	
51. Alalisvoolu dünamo	81
52. Siemensi printsip	84
53. Pea- ja haruvoolumasinad	84
54. Alalisvoolu mootor	86
55. Käivitaja	87
56. Vahelduvvoolu generaator	88
57. Vahelduvvool	90
58. Vahelduvvoolu tugevus ja pinge	93
59. Transformaator	95
60. Transformaatori rakendamine elektrienergia edasiandmisel	97
61. Umformer ja alaldaja	98
62. Säteinduktor	99
IV. Elektrivool hõrendatud gaasides.	
63. Ohk kui isolator	102
64. Hõrendustoru	102
65. Katoodkiired	103
66. Röntgenikiired	106
Radioaktiivsus.	
67. Radioaktiivsed kehad	111
68. Emanatsioon	113
69. Lagunemise teooria	114
V. Elektrivõnkumised ja elektromagnetilised lained.	
Raadiotelegraaf ja -telefon.	
70. Fedderseni katse. Elektrivõnkumine	115
71. Thomsoni valem	117
72. Tesla transformator	118

73. Elektri resonants	119
74. Elektrilained. Suletud ja avatud võnkeahel	121
75. Lainepikkus	123
76. Hertzi katsed	124
77. Hertsi peeglid	126
78. Traadita telegraaf summutatud lainetega	126
79. Pinna- ja ruumilained	129
80. Elektronтору	129
81. Kolme elektrodiga elektronтору	130
82. Elektronтору kui võimendaja	131
83. Elektronтору kui suursagedusega voolu generaator	132

R a a d i o.

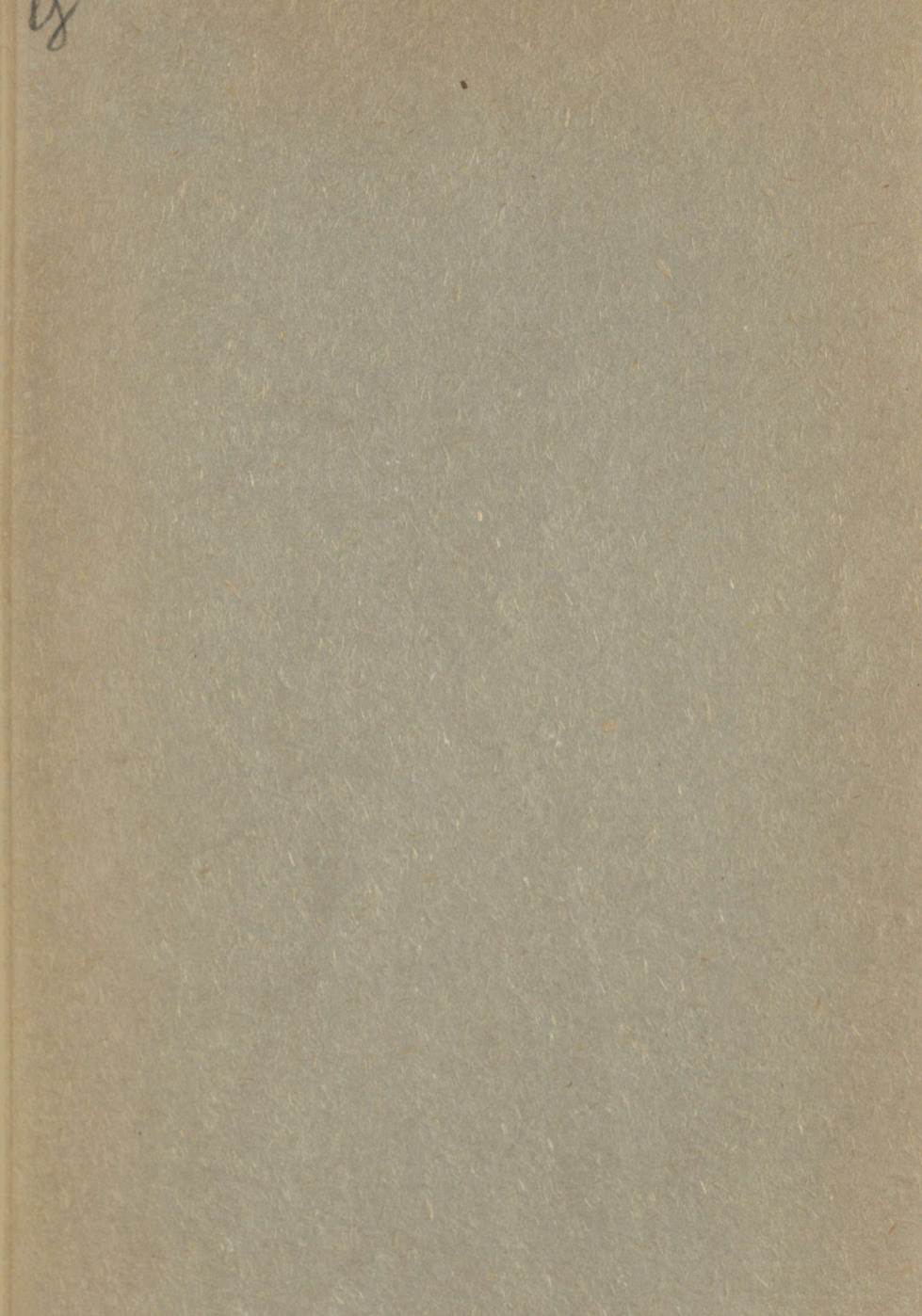
84. Kõne ja muusika saatmine ning vastuvõtmine elektrilainete abil	133
--	-----

Vastutav toimetaja M. Usai.

Ladumisele antud 18. III 1946. Trükkimisele antud 27. VIII 1946. Trükiarv 9200 eks. Paber 56×79, $\frac{1}{16}$. Trükipoognaid 8,75. Trükitähti trükipoognas 33 408. Arvutuspoognaid 7,2. MB 05487. Tellimise nr. 900. Trükikoda „Tartu Kommunist“, Tartu, Ühikooli 21/23.

На эстонском языке.

А. Митт, И. Ланг. Физика для X класса.



Rbl. 7.—

A-16129_I

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00423590 1

Rbl. 7.—

A-16129_I

A. MITT ja J. LANG — FÜÜSIKA KESKKOOLI X KL.



A 16129 I
A. MITT ja J. LANG

FÜÜSIKA

KESKKOOLI X KLASSILE

RR

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“
TALLINN 1946