

ERLEMANN-LANG

FÜÜSIKA
KESKKOOLILE

IV

Magnetism ja elekter

Teine trükk

Tartu, 1930

Autoriilt

V. ERLEMANN JA J. LANG

FÜÜSIKA

ÕPPERAMAT KESKKOOLILE

IV

Magnetism ja elekter humanitaarharu IV kl.
ja reaalharu V kl. ulatuses

Teine trükk



Autori kirjastus — Tartu, 1930

Haridusministeeriumi kooliraamatute komisjoni poolt esimeses
trükis keskkoolidele tarvitamiseks soovitatud.

FÜÜSIKA

ÕPPERAAMAT KESKKOOLILE

IV

Tähekesega () märgitud §§ on määratud ainult reaalharu jaoks.
Väikese trükiga ja ilma märgita §§ võib humanitaarharus välja
jätta, kui selleks sunnib ajapuudus.*

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

ARHIIVKOGU

33120213

Magnetism.

1. **Loomulik magnet.** Kastame raudkivi Fe_3O_4 rauapurusse, siis näeme, et puru talle habemena külge jääb, eriti aga kahes vastupidises kohas (1. joon.). Riputame kivi peene niidi (juukse) külge või paneme ta lauakese pääle vee pinnal ujuma, siis ta asetub kindlas sihis, millesse ta tagasi tuleb, kui me teda sellest seisust välja viime. (Tähendame kivi pääl ära põhja poole sihitud otsa punase värviga.)



1. joon. Loomulik magnet.

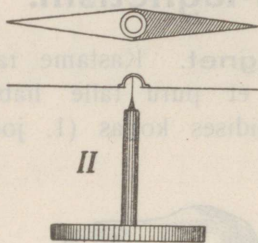
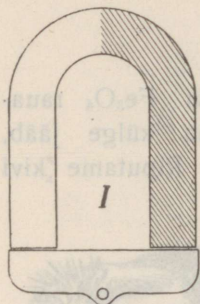
Kehad, mis rauda (terast, malmi, nõrgemalt ka niklit ja koobalti) ligi tõmbavad ja vaba pöörlemise võimaluse juures kindlas ilmakaare sihis asetuvad, nimetatakse **magnetiteks**. Magnetite nimetatud omaduste põhjust nimetatakse **magnetismiks**. Raudkivi, mis seda magnetilist omadust avaldab, nimetatakse loomulikuks magnetiks.

Sama keemilise koosseisu juures (Fe_3O_4) on mõned kivi tükid magnetilised, teised aga mitte.

2. **Kunstlik magnet.** Puudutame terasvardaga (sukavardaga) loomulikku magnetit (punaseks värvitud otsa) või tõmbame loomuliku magnetiga pikuti mööda terasvarrast. Kastame nüüd varda rauapurusse, siis jääb puru varda otsadele rippuma. Kinnitame varda nii, et ta võiks vabalt pöörduda horisontaalpinnas, siis ta asetub kindlas (põhja-lõuna) sihis. Näeme, et terasvardal on samad omadused, mis loomulikul magnetil, ta on magneeditud. Me nimetame terasest magnetit **kunstlikuks magnetiks**. Kirjeldatud

katses loomulik magnet ei nõrgene, samuti mõlemate kehade kaalud ei muutu.

Kunstlikud magnetid võivad olla palju tugevamad kui loomulikud (kui magneetimist toimetada elektrivoolu abil), ka võib neile anda mistahes kuju. Nimetatud põhjustel tarvitatakse tegelikult ainult kunstlikke magneteid.



2. joon. Hobuserauakujuline magnet rauast ankruga ja magnetnõel.

sega kaetud auguga (2. joon., II); niisugune teraviku otsa asetatud magnetnõel võib pöörduda kergesti horisontaalpinnas.

3. Magnetipoolused. a. Kastame magnetipulga rauapurusse. Rauapuru jääb otsade ligidal niitidena rippuma (3. joon.).



3. joon. Rauapuru magnetvarda küljes.

Rauapuru niitide sihid näitavad, et tõmbevõime on koondatud iseäranis kahte magneti otsade ligidal olevasse kohta (P), mida nimetame magneti **poolusteks**. Poolusi ühendavat sirget (PP) nimetame magneti teljeks ja magneti keskmist piirkonda, mis magnetilist mõju ei avalda, — magneti **neutraalvööks**. Mõlemad poolused tõmbavad rauda samatugevuselt ligi.

Poolused on ettekujutatud punktid, millesse on koondatud magneti tõmbetung samuti kui keha gravitatsioonitung on koondatud keha raskuspunkti. Pika

peenikese magneti poolused asuvad tema otsadel, jämedamate, lühemate magnetite poolused on otsadest kaugemal (kuni $\frac{1}{6}$ magneti pikkusest).

b. Riputame magnetvarda peenikese niidi külge nii, et ta võib pöörduda horisontaalpinnas, siis ta asetub põhja-lõuna sihis. Alati näitab sama (punaseks värvitud) ots põhja ja teine lõuna poole. Sama nähtust paneme tähele magnetnõela ja magnetkivi juures. Järelikult poolused on isesugused. Poolust, mis näitab põhja poole, nimetame põhjapooluseks (N, n), lõuna poole näitavat poolust lõunapooluseks (S, s). Käesoleva raamatu joonistes on magnetite põhjapoolsed otsad viirutatud.

Loomuliku magneti asetumist kindlas sihis kasutasid taevakaarte määramiseks hiinlased juba ~ a. 1000 e. Kr. reiselid mannermaal. Samaks otstarbeks hakati Lõuna-Euroopas tarvitama terasmagneteid ~ a. 1300 p. K. merireisidel (kompass).

c. Lähendame magnetnõelale või rippuvale magnetvardale rauatüki, siis raud tõmbab poolusi ligi, tähendab, m a g n e t i ja raua mõju on vastastikune. Võime ka tähele panna, et see mõju ei muutu, kui me magneti ja raua vahele asetame käe, paberi, puu või mõne muu keha, millesse magnet ei avalda mõju; küll aga muudab seda mõju vaheleasetatud raud või teras. Veel paneme tähele, et vastastikune mõju nõrgeneb magneti ja raua vahelise kauguse suurenemisel.

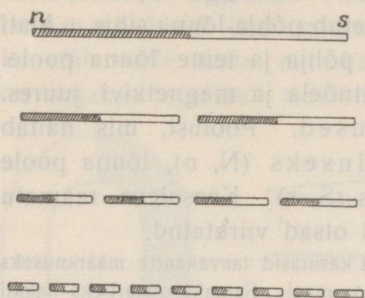
4. Pooluste vastastikune mõju. Lähendame magnetnõela või rippuvalt (ujuvalt) kinnitatud magnetvarda poolusele teise magneti tuntud pooluse, siis paneme tähele, et **samanimelised poolused tõukuvad, isenimelised poolused tõmbuvad.** Pooluste vastastikust mõju ei muuda nende vahele asetatud keha, millesse magnet ei mõju (käsi, raamat jne.); vastastikuse kauguse suurenemisel nõrgeneb mõju.

1. Kuidas võiks magnetnõela abil (N- ja S-poolus tähistatud) kindlaks teha, kas mõni terasvarb on magneeditud ja kuidas tundmatu magneti poolusi kindlaks määrata?

2. Olgu antud kaks terasvarrast. Kuidas võiks kindlaks teha ilma magnetita, kas kumbki varb ei ole magneeditud või üks või mõlemad on magneeditud?

5. Magnetiga jagatavus. Murrame magnetvarda (sukavarda, 4. joon.) pooleks. Murdumiskohad tõmbavad rauapuru külge. Magnetnõela abil võime näidata, et magneti mõlemad pooled on täielikud magnetid kahe isenimelise poolusega. Paneme pooled murtud kohtadega kokku, siis isenimelised kokku-

pandud poolused seovad teineteist ja ei avalda välismõju, nii et saame endise magneti.

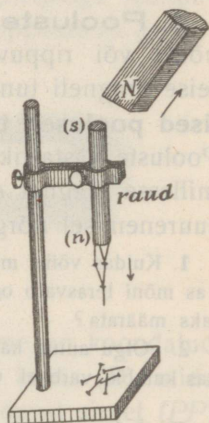


4. joon. Magnet jagatavus.

Magneti osade poolitamist jätkates saame ikka väiksemad kahe poolusega magnetid, mille samanimelised poolused on sihitud ühele poole. Kokkupandud osad moodustavad ikka kahe poolusega magneti. Katses järeltame: **magneti osad on täielikud kahe poolusega magnetid**; ei ole võimalik pooluseid teineteisest eraldada ja saada ühe ainsa poolusega magnetit.

6. Magnetiline induktsioon. Asetame pehmest rauast pulgakese tugeva magnetipooluse lähedusse. Raud tõmbab siis raudnaelu ligi, järelikult ta on magneeditud (5. joon.). Magneti eemaldamisel langevad aga naelakesed maha, tähendab, raud on oma magnetismi kaotanud. Kordame sama katset kõvema rauaga, siis näeme, et mõned väiksemad naelad ka pärast magneti eemaldamist rippuma jäävad. Kordame sama katset karastatud teraspulgaga (sukavardaga), siis paneme tähele, et ta nõrgalt magneetub. Pörutame teda aga vasaraga, siis ta magneetub tugevamini. Pärast magneti eemaldamist jäävad naelad teraspulga külge rippuma. Kui me aga magneeditud teraspulka vasaraga pörutame või kuumendame, siis ta nõrgeneb ja võib oma magnetismi ka täiesti kaotada. Kirjeldatud raud või terase magneetumist magneti läheduses nimetame **magnetiliseks induktsiooniks**.

Järele katsudes indutseeritud teraspulga poolusi magnetnõela abil ja võrreldes neid indutseeriva magneti poolusega leiame, et **magneti pooluse läheduses indutseeritud terase (raua) lähemas otsas tekib isenimeline ja kaugemas otsas samanimeline poolus**. Võib näidata, et sama reegel on maksev ka raua kohta.



5. joon. Magnetiline induktsioon.

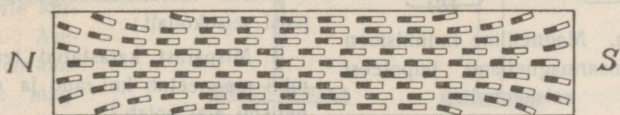
Katsetest selgub, et **ainult terasest võib valmistada kunstlikke magneteid**, sest terase magnetism on püsiv (pehme raua oma ajutine). Kunstliku magneti tugevus oleneb tema suurusest, magneetamise viisist ja ka terase sordist ja karastamisest.

Katsete puhul paneme tähele, et induktiooni mõju nõrgeneb kauguse suurenemisel, et aga pooluse ja raua või terase vahele asetatud käsi või raamat nähtust ei muuda.

1. Seleta magneti ja raua vastastikust tõmbumist joonise abil induktiooniga (indutseeritud lähema isenimelise pooluse tõmbumine on suurem kui kaugema samanimelise pooluse tõukumine).

2. Magnetipooluse küljes rippuva raudnaela külge võime riputada teise raudnaela, selle külge veel kolmanda jne. (kui magnet on tugev). Seleta nähtust joonise abil induktiooni põhjal.

7. Molekulaarmagnetismi hüpotees. a. Magnet jagamist (§ 5) võib mõttes jätkata kuni aine väiksemate osakesteni, molekulideni. Oletades, et magneti poolitamisel leitud reegel



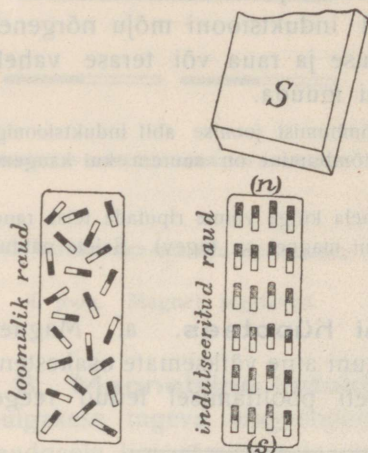
6. joon. Magnet ehitus molekulaarmagnetismi hüpoteesi seisukohalt.

sellejuures ikka maksma jääb, seadis Weber üles molekulaarmagnetismi hüpoteesi: **magneti molekulid on täielikud magnetid**, n. n. **molekulaarmagnetid**; magnetis on molekulaarmagnetid korraldatud ridadesse või ahelatesse nõnda, et samanimelised poolused on sihitud ühele poole.

Magneti ehitust kujutame Weberi hüpoteesi järele nii, nagu näitab 6. joon. Molekulaarmagnetite ahelad on magneti neutraalvöö piirkonnas paralleelsed, painduvad aga otsade juures laiali, sest ahelate samanimelised (mitte seotud) otsapoolused tõukuvad üksteisest. Magnet poolused ei ole millegagi fikseeritud; nad on ahela otsapooluste tungide resultanttungide rakenduspunktid. Magnet küljes rippuva rauapuru niidid (3. joon.) moodustavad molekulaarahelate pikendusi.

b. Kui Weberi järele oletada, et raua ja terase molekulid on loomulikud magnetid ja võivad enam-vähem vabalt

pöörduda, siis võib magneti induksiooni järgmiselt seletada: magneetimata rauas või terases seisavad molekulaarmagnetid korraldult läbiseigi, mille tõttu nad tunduvat välismõju ei avalda. Magnetipooluse lähendamisel nad pöörduvad ja korralduvad nii, et tekivad molekulaarmagnetite ahelad ning selle tõttu ka magnetilised omadused (7. joon.).



7. joon. Magnetiline induksioon molekulaarmagnetismi hüpoteesi seisukohalt.

Molekulaarmagnetismi hüpoteesi seisukohalt on magneetimine molekulaarmagnetite korraldamine.

Molekulaarmagnetismi hüpoteesil ei ole tähtsust teaduses; ta on meil kasulik selles mõttes, et aitab magnetismi nähtusi elementaarsel kujul rahuldavalt seletada ja ette kujutada.

Seleta molekulaarmagnetismi hüpoteesi seisukohalt:

1. Mispärast karastatud teras raske-
mini magneetub kui raud ja oma magnetismi alal hoiab?

2. Mispärast teras pörutamisel kergemini magneetub ja terasmagnet pörutamisel või kuumendamisel nõrgeneb?

3. Mispärast võib antud terasvarrast ainult kuni teatava maksimaalse tugevuseni (küllastuseni) magneetida?

4. Mispärast paistab, et tugev magnetipoolus ligidal oleva nõrga samanimelise pooluse tõmbab?

8. Pooluse tugevus. Coulombi seadus. Magnetipoolused võivad olla tugevamad või nõrgemad. Magnetipooluse tugevuse mõõtmiseks tarvitatakse üksusena n. n. **üksuspoolust**, s. o. poolust, mis sama tugeva pooluse 1 cm kaugusel 1 düüni tugevusest kas eemale tõukab või ligi tõmbab (harilikude magnetnõelade tugevused on 3 kuni 12 üksuspoolust).

Katsetes oleme tähele pannud, et magnetipooluste vastastikune mõju oleneb pooluste tugevustest ja nende kaugusest üksteisest. Coulomb leidis selle olenevuse kohta (~a. 1875) järgmise seaduse: **kahe magnetipooluse vastastikune mõju on võrdeline poo-**

luste tugevuste korrutisega ja pöördvõrdeline nende vastastikuse kauguse ruuduga. Matemaatilisel kujul avaldub see Coulombi seadus järgmiselt:

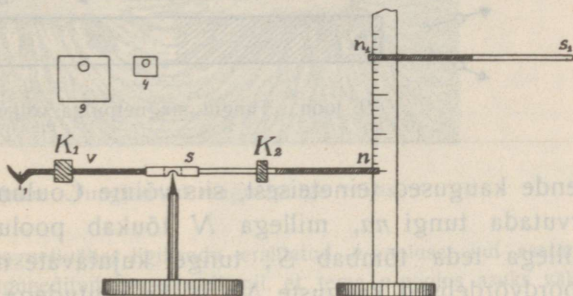
$$f = \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ (düüni),}$$

kus f tähendab tõmbe või tõuke suurust düünides, m_1 ja m_2 pooluste tugevusi üksuspoolustes ja r nende kaugust cm-tes.

Mõjuvad näit. kahe üksuspooluse asemel teineteisesse poolused tugevustega 3 ja 5, siis on arusaadav, et vastastikune mõju suureneb 3 ja veel 5 korda, tähendab 15 korda.

Tõmbumise või tõukumise suuruse olenevust kaugusest võib demonstreerida 8. joon. kujutatud kangisarnase riistaga. Ta koosneb terava serva päälle asetatud vasktorukesest,

millesse on pistetud magneeditud sukavarras ns ja haagiga varustatud vasktraat v . Tasakaalustame riista horisontaalses seisus liikuvate korvide K abil. Asetame näit. 15 cm kaugusele teise magneti $n_1 s_1$ ja tasakaalustame pooluse n_1



8. joon. Coulombi seaduse demonstreerimine.

mõju poolusesse n haagi külge riputatud paberist ruudu abil. Kui vähendame kaugust nn_1 2 või 3 korda (vst. 7,5 või 5 cm), siis peame tasakaalustamiseks haagi külge riputama 4 või 9 korda suurema samast paberist ruudu. — Magneti $n_1 s_1$ mõju poolusesse s on selles katses kõrvaldatud, kui s asub telje lähedal. Siiski ei või katse resultaat olla täpne, sest ka poolus s_1 avaldab nõrka mõju poolusesse n .

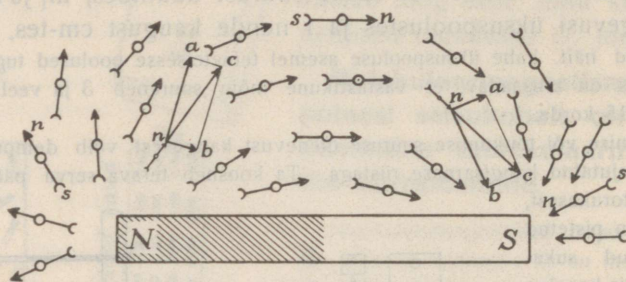
1. Mitme düüni tugevuselt mõjuvad teineteisesse 15 cm kaugusel kaks magnetipoolust, 10 ja 20 üksust?

2. Kui kaugusele tuleb asetada 15 magnetipooluse üksust 6-st üksusest, et nende vastastikune mõju oleks 100 düüni?

3. Eespool-kirjeldataud katses (8. joon.) tasakaalustab kangi magnetipoolus n_1 , mille tugevus on 10 üksuspoolust, kui kaugus $nn_1 = 4$ cm. Sama paberist ruudu puhul teine tundmatu poolus n_2 tasakaalustab kangi, kui kaugus $nn_2 = 6$ cm. Leia pooluse n_2 tugevus.

9. Magnetiväli ja tungjooned. Nägime, et magnet avaldab mõju tema läheduses olevasse rauasse või teise magnetisse. Magnetit ümbritsevat ruumi, milles magneti mõju avaldub, nimetame magnetiväljaks.

a. Magnetpulga väli. Katsume suurema magnetpulga NS väljas määrata tunge, mis mõjuvad väikese magneti ns poolustesse. Vaatame esialgu väljamagneti NS mõju poolusesse n (9. joon.). On teada pooluste N , S ja n tugevused ning



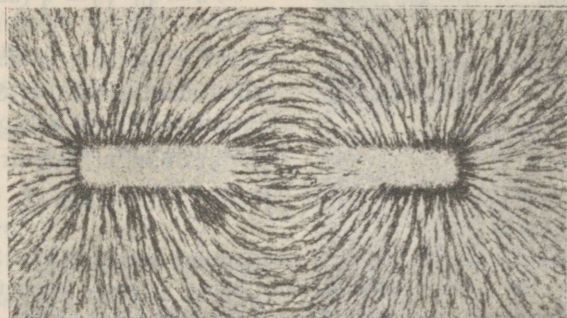
9. joon. Tungid magnetpulga väljas.

nende kaugused teineteisest, siis võime Coulombi seaduse põhjal arvutada tungi na , millega N tõukab poolust n , ja tungi nb , millega teda tõmbab S ; tunge kujutavate noolte pikkused on pöördvõrdelised kauguste Nn ja Sn ruutudega. Leiame magnetiväljas asuvasse poolusesse n mõjuva resultanttungi (nc) suuruse ja sihi graafiliselt tungide liitmise teel.

Asub välja samas kohas pooluse n asemel poolus s , siis mõjub temasse sama suur, kuid vastupidi sihitud resultanttungi. Sinna kohta asetatud lühike magnetnõel pöörduv mõlemasse poolustesse mõjuvate resultanttungide (tungide paar) tõttu sihti nc , kusjuures tema s -poolus on sihitud N poole. Järelikult võime leida magnetiväljas asuvasse poolusesse mõjuva resultanttungi sihi väikese magnetnõela abil.

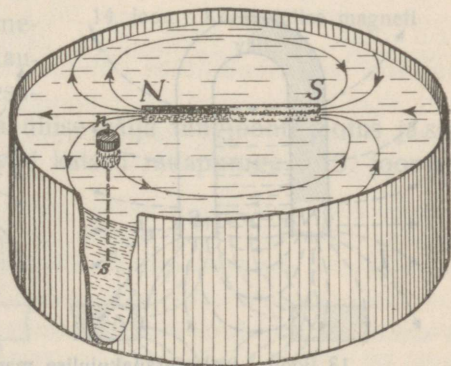
Horisontaalses pinnas mõjuvate resultanttungide sihte võime hõlpsasti nähtavaks teha rauapuru abil. Selleks katame horisontaalse magneti (valge) paberiga, riputame paberile rauapuru ja koputame paberit. Välja piirkonda langedes magnetub puru iga osake ja puruosakesed nagu väikesed magnetnõelad korralduvad isenimeliste pooluste vastastikuse mõju tõttu ahelatesse (10. joon.), mida **tungjoonteks** hüütakse; nad näitavad magnetiväljas mõjuvate tungide sihte (paberi pinnas).

Kujutame enesele mingisuguses välja kohas vaba pooluse, näit. s -poolusest täiesti eraldatud vaba n -pooluse. Vaba poolus liigub magnetiväljas tungjoont mööda (mispärast?). **Tungjoone sihiks loetakse vaba n -pooluse liikumissiht** (N -poolusest välja, S -poolusesse sisse).



10. joon. Tungjooned magnetpulga väljas.

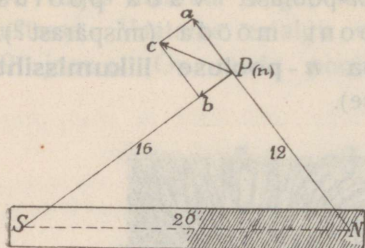
Tegelikult saame magnetiväljas ligikaudu eraldatud n -pooluse, kui asetame magnetivälja pika magneeditud terastraadi nii, et tema n -poolus asuks välja-magneti ligidal ja s -poolus kaugel. Et seda n -poolust teha vabaks, selleks võime traadi riputada pika niidi külge või ujuma panna korgi abil, nagu näitab 11. joonises kujutatud katse, kus poolus n liigub tungjoont mööda.



11. joon. Vaba pooluse liikumine magnetiväljas.

Magnetiväli on teada, kui teame igas punktis resultanttungi sihi ja suuruse (vektoriaalne suurus). Välja antud punktis asuvasse üksuspoolusesse mõjuva resultanttungi suurust (düünides) nimetame **välja tugevuseks** selles punktis. Tugevust antud kohas võib arvutada Coulombi seaduse põhjal. Graafiliselt kujutab välja tugevust antud kohas tungjoonte relativne tihedus selles kohas.

Näide: Olgu väljamagneti pooluste S ja N vastastikune kaugus 20 cm (12. joon.), nende tugevus 192 üksuspoolust ja põhja üksuspooluse P kaugused väljamagneti poolustest $NP = 12$ cm ning $SP = 16$ cm. Leida välja tugevus kohas P .



12. joon.

Üksuspoolusesse mõjuvad tungid on

$$Pa = \frac{192 \cdot 1}{12 \cdot 12} = \frac{4}{3} \text{ (düüni) ja}$$

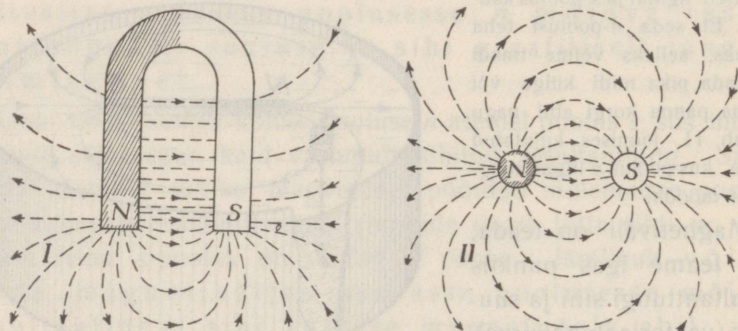
$$Pb = \frac{192 \cdot 1}{16 \cdot 16} = \frac{3}{4} \text{ (düüni).}$$

Et antud juhul $\sphericalangle SPN = 90^\circ$ ($12^2 + 16^2 = 20^2$), siis välja tugevus ehk resultanttungi Pc suurus

$$Pc = \sqrt{Pa^2 + Pb^2} = \sqrt{\left(\frac{4}{3}\right)^2 + \left(\frac{3}{4}\right)^2} = 1,5 \text{ (düüni).}$$

1. Väljamagneti pooluste N ja S vastastikune kaugus $NS = 15$ cm, nende tugevused on 144 üksuspoolust ja välja kohas L asuva lõuna-üksuspooluse kaugused väljamagneti poolustest $LS = 9$ cm ning $LN = 12$ cm. Leida välja tugevus kohas L .

b. Hobuserauakujulise magneti väli. 13. joonis kujutab hobuserauakujulise magneti välja tungjooni kahes pinnas.



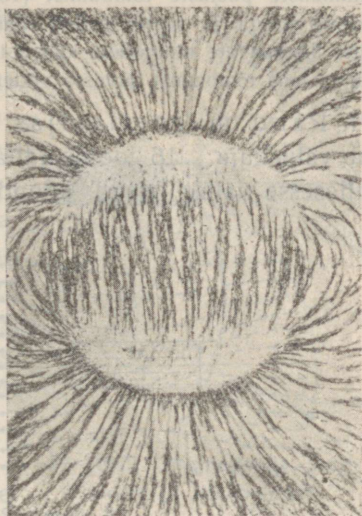
13. joon. Hobuserauakujulise magneti välja tungjooned.

Pooluste vahel on tungjooned paralleelsed ja nende tihedus on ühesugune (välja tugevus selle välja kitsamas osas ühesuurune). Niisugust välja osa nimetame ühtlaseks (homogeenseks).

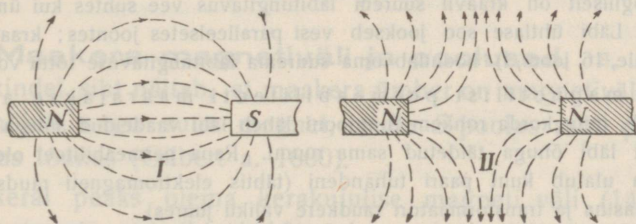
c. Kerakujulise magneti väli. Asetame teraskera hobuserauakujulise magneti pooluste vahele ja pörutame vasa-raga, siis ta magneetub. Paneksime keramagneti pooleni pabe-

risse lõigatud avause sisse nii, et magneti telg asuks paberi pinnas, siis võiksime rauapuru abil nähtavaks teha paberi pinnas asuvaid tungjooni. Sama välja läbilõike pildi saame ka õhukese magneeditud terasketta abil, kui teda katame paberiga ja selle pääle riputame rauapuru (14. joon.). Pooluste juures on tungjooned ketast piiravale ringile risti; neutraalvöö poole vähevad ringi ja tungjoonte moodustatud nurgad ja neutraalvöö juures on tungjooned ringiga paralleelsed.

d. Kahe magneti ühine väli. Asetame teineteise lähedusse kaks magnetit NS ja N_1S_1 , siis mõjub nende ühises väljas asuvasse s - või n -poolusesse 4 tungi (mõlemate magnetite poolused). Resultanttungi suurus ja siht oleneb väljamagnetite pooluste tugevustest ja kaugustest ja võib olla mitmesugune, järelikult ka võib olla ühise välja tungjoonte jaotus ja siht mitmesugune. Seda tõendavad katsed rauapuruga. 15. joonises



14. joon. Kerakujulise magneti väli.



15. joon. Kahe magnetipulga ühine väli.

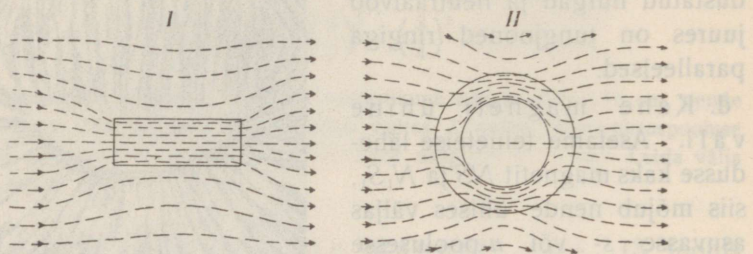
on kujutatud ühise välja osad samatugevate ise- ja samanimeliste pooluste vahel.

e. Tungjoonte omadused. Tungjoonte teooria looja Faraday oletas, et magnetit ümbritsevas eetris tekivad mingisugused muudatused, mille taga-

järjel tungjooned püüavad kokku tõmbuda sarnaselt pinevil olevate kumminõõridega ja ühtepidi sihitud tungjooned püüavad külje sihis teineteisest eemale tõukuda.

Nende omaduste põhjal võib seletada magnetismi põhinähtusi, näiteks isenimeliste pooluste tõmbumist (15. joon., I) poolusi ühendavate tungjoonte pikipinevusega ja samanimeliste tõukumist (15. joon., II) ühesihiliste poolusi mitte ühendavate tungjoonte küljeti tõukumisega. Samuti võib seletada magneti ja raua tõmbumist, arvesse võttes, et rauas on indutseerunud poolused.

f. Raud magnetiväljas. Pehme raud magnetiväljas muudab välja kuju. 16. joonis näitab raudpulga (I) ja — rõnga (II) mõju ühtlasesse välja. Raud koondab magneti tungjooni, ta tõmbab



16. joon. Raud magnetiväljas.

neid osalt enese sisse, osalt ligemale, tal on suurem **magnetiline permeabiliteet** (läbitungitavus) kui õhul. Raud magnetiväljas indutseerub; põhjapoolus tekib sääl, kus tungjooned lähevad rauast välja, lõunapoolus sääl, kus tungjooned lähevad raua sisse.

Analoogiliselt on kraavil suurem läbitungitavus vee suhtes kui ümbritseval soomaal. Läbi ühtlase soo jookseb vesi paralleelsetes joontes; kraav (vastab raudpulgale, 16. joon., I) koondab oma suurema läbitungitavuse tõttu voolu jooni.

* Aine magnetilist permeabiliteeti määratakse arvuga, mis näitab, mitu korda rohkem tungjooni läheb läbi vaadeldud ainega täidetud ruumi kui läbi õhuga täidetud sama ruumi. Raua permeabiliteet oleneb raua sordist ja ulatub kuni paari tuhandeni (tähtis elektromagnetite raudsüdamikute, dünamomasinate ja transformaatore raudkere valiku juures).

***10. Magnetivälja potentsiaal.** Toome n -pooluse (17. joon.) lõpmatusesse välja antud punkti A , siis kulutame selleks tööd; laseme n -pooluse punktis A lahti, siis tõukab väli teda eemale kuni lõpmatuseni ja teeb selle juures tööd. Nii siis valitseb välja antud punktis A teatav potentsiaalne energia.

Teoreetiliselt füüsikas vaadeldakse magnetivälja töö seisukohalt ja mõõdetakse magnetivälja antud punkti potentsiaali suurust töö hulga, mida tuleb kulutada, et viia samanimelist üksuspoolust lõpmatuseni kuni välja vaadeldud punkti.

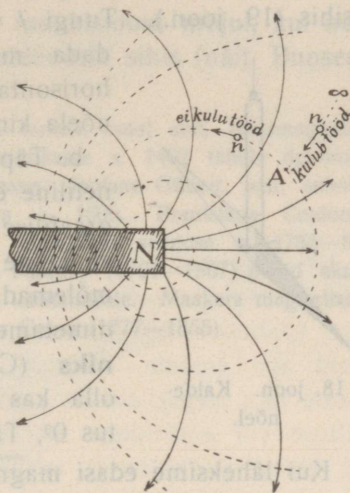
Nihutame aga pooluse edasi risti tungjoontega, 17. joonises punkteeritud joont mööda, siis me tööd ei tee; võib näidata, et selle punkteeritud joone igas punktis on sama potentsiaal. Välja minnes punktist A võime ehitada niisuguseid jooni mitte ainult paberi pinnas, vaid igas teises läbi punkt A minevas pinnas ja kõik need kõverjooned asuvad teataval kõveral pinnal, mida nimetame **nivoopinnaks**.

Nii siis **ei kulu tööd pooluse liikumisel magnetiväljas nivoo- pinda mööda**, kus potentsiaalid on igal kohal ühesuurused, küll aga **kulub tööd pooluse üleviimiseks ühest nivoo- pinnast teisele**.

*Analoogiliselt võib rääkida maakera gravitatsiooni väljast (tungjooned on sihitud maakera poole ja nivoo- pinnad on ligikaudu kontsentriilsed kerapinnad) ning gravitatsiooni potentsiaalid.

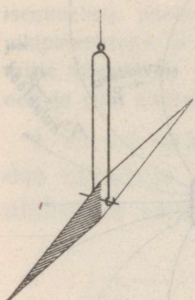
11. Maakera magnetiväli ja poolused. a. Magnet- nõela kindel siht näitab, et maakera ümber on magnetiväli. Maake- ra mõjub nagu suur magnet, mille S -poolus asub põhjas ja N -poolus lõunas (Gilbert a. 1600).

Maakeral peaks olema kerakujulise magneti väli (14. joon.). Jälgides tungjoonte sihte kaldenõelaga (nõel võib pöörduda igas sihis, 18. joon.) näeme, et kaldenõel tõelikult moodustab horison- taalpinnaga nurga, mida nimetame **kaldeks** ehk **inklinatsiooniks**. Tartus oli kalle a. 1908 68° , Tallinnas 70° (võrdl. suur vahe seletub sellega, et maakera ei kujuta korrapärast magnetit). Üldiselt pooluse poole kalle suureneb, ekvaatori poole väheneb.



17. joon. Magnetivälja tung- jooned ja nivoo- pinnad.

Hariliku horisontaalpinnas püsivas tasakaalus oleva magnetnõela poolustesse mõjub maakera välja tung J kaldenõela sihis (19. joon.). Tungi J vertikaalne komponent V ei või avaldada mõju niisuguse nõela sihisse, kuna horisontaalne komponent $H = J \cos i$ hoiab nõela kindlas sihis.

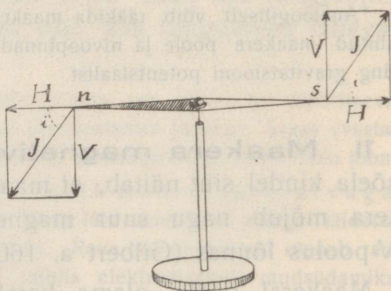


18. joon. Kaldenõel.

b. Täpsemad mõõtmised näitavad, et magnetiline ekvaator (kalle 0°) ei lange ühte geograafilise ekvaatoriga. Ka magnetnõela siht ei lange harilikult ühte põhja-lõuna sihiga; mõlemad sihid moodustavad nurga, mida nimetame käänananguks ehk **deklinatsooniks** (Columbus a. 1492). Käänang võib olla kas ida- või läänepoolne (a. 1908 Tartus 0° , Tallinnas 3° läänepoolne).

Kui lähemsime edasi magnetnõela sihis, siis jõuaksime viimaks maakera magnetpooluse juurde (kalle 90°). Maakera lõunamagnetipoolus asub Põhja-Ameerikas $\sim 70^\circ$ p. l. (kapten Ross a. 1831) ja põhjamagnetipoolus Lõuna-Viktoorias $\sim 72^\circ$ l. l. (Shackletoni ekspeditsioon a. 1909).

Vaatlused näitavad, et aja jooksul muutuvad deklinatsiooni, inklinatsiooni ja maakera välja tugevuse suurused. On tähele pandud perioodilisi muutusi ja silmapilkseid võnkumisi. Viimased (n. n. magnetilised tormid) on harilikult üheaegsed virmalistega või sündmustega päikese pinnal (protuberantside või suuremate plekkide tekkimine). Valmistatakse isesuguseid kaarte, kus on ühesuguste deklinatsioonidega kohad ühendatud joontega, n. n. isogoonidega (Halley \sim a. 1700); igale isogoonile on juurde kirjutatud deklinatsiooni suurus ja siht.



19. joon. Maakera magnetismi mõju magnetnõelasse.

c. Maakera väljas avaldub magnetiline induktioon kõige tundavamalt siis, kui raud- või terasvarb asub ligikaudu kaldenõela sihis. Hoiame raudvarba kaldenõela sihis, siis tekib meil alumises otsas põhjapoolus (mispärast?); varva

ümberpööramisel vahelduvad ka tema poolused (kui raud ei ole küllalt pehme, siis aitab pöörutamisest). Ka kõvemad rauasordid ja isegi teras magnetuvad maakera induktiooni mõjul, kui nad pikemat aega asuvad ligikaudu kaldenõela sihis (näit. Bunseni statiiv).

Ajaloo st. Loomulikud magnetid olid tuntud vanal ajal, terasmagnetid XIV aastasajal. Columbus pani sõidul Ameerikasse a. 1492 tähele deklinatsiooni; inklinatsiooni leidis mehaanik Hartmann. Inglise Gilbert, arst, seletas magnetnõela seisu maakera magnetismiga a. 1600. Prantslane Coulomb (ohvitser) leidis ja tõendas tema nimega nimetatud seaduse a. 1785—89. Coulomb ja tungijonte teooria looja inglase Faraday (1791—1867) panid aluse magnetismi teaduslikule ja matemaatilisele käsitamisele. Maakera magnetismi uuris põhilikult Göttingeni ülikooli professor Gauss (1777—1855).

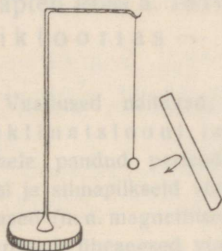
Elektrostaatika.

12. Elektri tekkimine hõõrumisel. Kui hõõrume kirjalaki-pulka villase riidega, siis pulk tõmbab kergesti liikuvaid kehi ligi (paberiraasukesi, korgipuru), pärast kokkupuutumist tõukab neid aga eemale. Puudutame hõõrutud pulka käega (või tõmbame läbi leegi), siis ta kaotab tõmbevõime. Sama omadus on villase või siidriidiga hõõrutud eboniitpulgal, merivaigul, väevil, klaasil (flintklaasil), tsellofaanil (autoaknad) jne.

Katset tehes n. n. elektripendliga, s. o. siidniidi küljes rippuva kerge kehakesega (paberossikestast kleebitud silindrike, lodjapuu südamest kuulike, 20. joon.), paneme tähele, et pendlil on pärast kokkupuutumist sama külgetõmbe omadus; ta kaotab selle omaduse puudutamisel käega.

Katsed elektripendliga näitavad, et ühed kehad pärast hõõrumist mõjuvad tugevamini kui teised ja et sama keha mõju on sellest, millega teda hõõrume. Võrdlemisi tugevasti mõjub villase riidega hõõrutud eboniit ja amalgaamitud nahaga hõõrutud flintklaas. Tõmbe ja tõuke tugevus väheneb kehade vastastikuse kauguse suurenemisega. Pimedas ruumis paneme veel tähele, et sõrme lähenedes hõõrutud kehale sõrme päälle hüppavad sädemekesed; sellejuures kuuleme nõrka raginat.

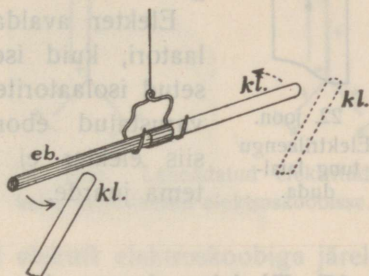
Kirjeldatud nähtusi nimetame elektrinähtusteks (kreeka-keelse merivaigu nime elektron järel, Gilbert a. 1600), elektrinähtuste põhjust **elektriks**, kehi, mis neid nähtusi avaldavad, elektrituteks ehk laetuteks ja kehi, mis elektrilist mõju ei avalda, elektriliselt neutraalseteks.



20. joon.
Elektripendel.

Elektritud ja neutraalse keha tõmbumine on vastastikune (kuidas seda näidata el. pendliga?).

13. Positiivne ja negatiivne elekter. Ühendame eboniitpulga ja flintklaasist pulga lühikese toru abil, laadime mõlemad pulgad hõõrumise teel vst. villase riidega ja amalgaamitud nahaga ning asetame riista magnetnõela sarnaselt teraviku otsa (elektrinõel) või riputame ta niidi otsa, nagu näitab 21. joonis. Lähendame riista ühele ja teisele otsale hõõrutud klaaspulga, siis näeme, et klaas tõmbab eboniiti ja tõukab klaasi. Vastupidist mõju avaldab hõõrutud ja lähendatud eboniitpulk. Järelikult on klaasi ja eboniidi elektrid isesugused.



21. joon. Elektritud kehade vastastikune mõju.

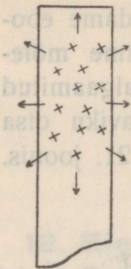
Teisi kehi järele katsudes leiame, et ühed (merivaik, kirjalakk) mõjuvad kui eboniit, teised (portselan) kui klaas; neist kahest mõjust erinevat mõju meie ei tunne. Järelikult **on ainult kaks liiki elektrit**. Amalgaamitud nahaga hõõrutud klaasil tekkinud elektrit nimetame (Lichtenbergi järele a. 1777) **positiivseks (+)**, villase riidega hõõrutud eboniidil tekkinud elektrit **negatiivseks**.

Viimastest katsetest järeldame veel, et **sanimelise elektriga laetud kehad tõukuvad ja isanimelise elektriga laetud kehad tõmbuvad**.

1. Millega seletada pendli tõukumist pärast kokkupuutumist el. kehaga?

14. Elektri tung laialduda. Isolaatorid. Elektritud kehade tugevam või nõrgem mõju näitab, et laengud võivad olla suuremad või väiksemad. Siit järeldame, et **laeng koosneb üksikutest elektriosakestest** ja et neid osakesi ühes elektritud kehas võib olla rohkem kui teises. Samanimeliste osakeste tõukumise tõttu aga on elektrilaengul **tung laialduda** (22. joon.). Seda tõendab laengu osa üleminek kokkupuutumisel laetud kehast elektri pendlisse ja laengu kadumine käega puudutatud kohast (elekter läheb läbi keha maasse).

Katsed elektripendliga näitavad aga, et eelmistes katsetes elektritud kehal (klaas, eboniit jne.) ei lagune elekter keha mööda laiali (mõju avaldavad ainult hõõrutud kohad). Kehi, mis elektri laialilagunemist takistavad, nimetame mittejuhtideks ehk **isolaatoriteks**. Isolaatorite hulka kuuluvad ka õhk ja siid (millest seda järelname?), parafiin, portselan, õlid, kuivad gaasid harilikudel tingimustel, tühi ruum.



22. joon.
Elektrilaengu
tung laial-
duda.

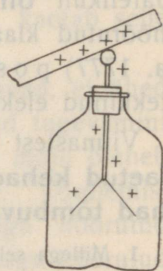
Elekter avaldab tõmbe- ja tõukevõimet läbi isolaatori, kuid ise läbi ei pääse. On keha ümbritsetud isolaatoritega, isoleeritud (näit. õhuga, varustatud eboniidist alusega või käepidemega, siis elekter ei lähe temast kaduma ega pääse tema juurde.

15. Elektroskoop ja selle tarvitamine. a) Elektri- nähtuste paremaks tundmaõppimiseks tarvitame elektripendli asemel **elektroskoopi**, see on lihtsamal kujul klaaspurk eboniidist korgiga, millest läbi läheb metallvarb (23. joon.). Varva ülemises otsas on metallkuulike, alumises otsas ripuvad kaks kerget paberilehekest (paberossi-kesta ribad).

Elektroskoobiga võime: 1. Näidata, et kehal on elektrilaeng: tõmbame mööda kuulikest laetud kehaga, siis lähevad lehekesed laiali (mispärast?); laengu märk jääb aga kindlaks tegemata.

2. Keha laengu märki kindlaks teha, kui elektroskoop on laetud tuntud elektriga. Katsed näitavad, et samanimeliselt elektritud keha lähendamisel lähevad lehekesed veel rohkem laiali, langevad aga isenimiselt laetud keha lähendamisel kokku (seleta nähtust 24. joonise abil tõmbe- ja tõuketungide põhjal).

3. Kehade elektrijuhtivust uurida. Ühendame laetud elektroskoobi antud keha kaudu maaga. Kaob laeng silmapilkselt, siis on keha hea juht; kui laeng ei kao, siis on keha isolaator. Kaob laeng aegamisi, siis nimetame keha



23. joon.
Elektroskoop.

pooljuhiks. Head juhid on näit. metallid, soolade ja hapete lahused, inimese keha jne. Pooljuhid on näit. taimede kiud (paber, harilik nõör, puu), marmor, piiritus jne. Teeme aga paberi või nõöri märjaks, siis ta juhib kauris hästi. Sellest järeldame, et elektririistade isoleerivad alused peavad olema puhtad ja kuivad (aitab soojendamisest).

4. Näidata, et isenimeliste kehade hõõrumisel mõlemad kehad elektruvad samatugevuselt, kuid isenimeliselt. Selleks tuleb juhtiv keha (amalgaamitud nahk, villane riie, metallvarb) varustada isoleeriva käepidemega ja tekkinud elektrit elektroskoobiga järele katsuda.

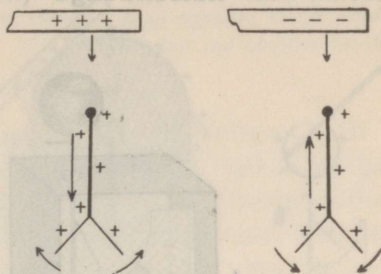
5. Näidata, et ühetugevuselt isenimeliselt laetud kehade elektrid hävivad ühinemisel (neutraliseeruvad). Selleks ühendame kaks ühesugust ühetugevuselt ja isenimeliselt laetud elektroskoopi isoleeriva käepidemega varustatud traadiga. Ühendamisel kaovad mõlemad laengud.

6. Näidata, et kõik kehad elektruvad hõõrumisel. Selleks tuleb juhid varustada isoleeriva käepidemega ja tarbekorral võtta iseäranis tundlik elektroskoop (lehekõsed õhukesest alumiiniumist).

7. Näidata, et hõõrutud keha elektrimärk on hõõruvast kehast. Näiteks elektrub eboniit positiivselt hõõrumisel amalgaamitud nahaga.

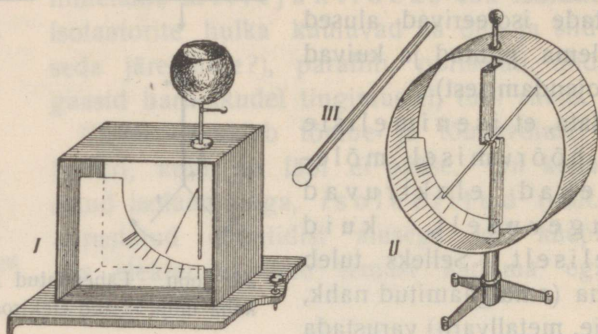
b) Elektroskoopide tüübid on väga mitmesugused. 25. joonis., I näitab neljakandilist klaasist esi- ja tagaseinaga riista (Kolbe tüüp, projektsiooni jaoks) ühe ainsa lehega, mis laadimisel varvast eemale tõukub. 25. joonis., II kujutab ümmargust (Brauni) tüüpi, milles varva külge kinnitatud nõela kui telje ümber kergesti pöörduv pulgake (paberossikestast kleebitud silinder) laadimisel varvast eemale tõukub.

On elektroskoop varustatud astmikuga, siis nimetame teda elektromeetriks. Tundlikkudes elektromeetrites tehakse



24. joon. Lähendatud elektritud keha mõju laetud elektroskoobisse.

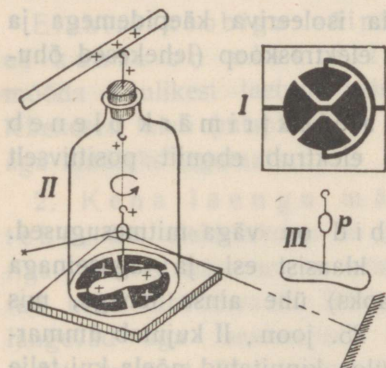
lehekeseid õhukesest alumiiniumist; nad on siis kerged, kuid õrnad ja rebenevad katki tugevama laengu juures. Tahame uurida tugevamalt laetud keha elektrit niisuguse riistaga, siis puudutame laetud keha **katsekuuliga** (isoleerivale eboniitpulgale kinnitatud



25. joon. Elektromeetrid.

metallkuulike, 25. joon., III) ja siis puudutame katsekuulikesega elektromeetrit. Sellega oleme ainult väikese laengu osa üle viinud elektromeetrile.

* c. Iseäranis tundlikud on n. n. **kvadrantelektromeetrid**, mille lihtsama tüübi kujutab 26. joon. Eboniidist alusele (I) on kleebitud neli juhtivat stanniool-



26. joon. Kvadrantelektromeeter.

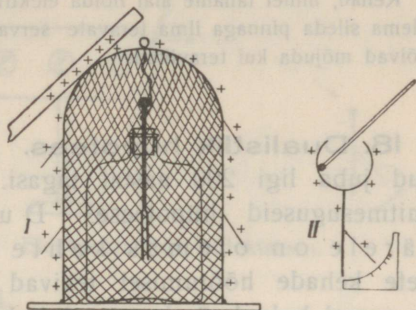
kvadrantide mõjul pöörduv ühele või teisele poole. Asetame veel pimedas toas valgusallika nii, et peegeldunud kiired sünnitavad valgusetäpi kaugel seinal, siis kaldub täpp ka nõrgemate laengute juures tunduvalt kõrvale.

16. Elektrilaengu asukoht. Laengu osakesed kui samanimelised püüavad asuda teineteisest võimalikult kaugemale ja kogunevad keha välispinnale. Nii siis **asub tasakaalu korral elektrilaeng keha välispinnal.** Samanimelistel osakestel on aga ka välispinnal tung teineteisest kaugemale minna ja selle tõttu tekib n. n. elektrostaatiline rõhumine risti välispinnaga.

Elektrostaatilistes katsetes tarvitame sagedasti isoleerivale alusele asetatud metallkehasid, n. n. konduktoreid; nad on harilikult õõnsad (misparast?).

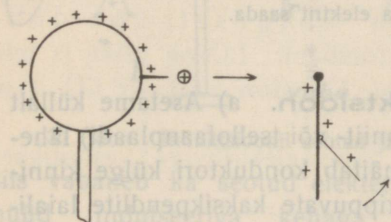
Asetame isoleerivale alusele traatkupli (27. joon., I), kupli alla elektrooskoobi, mille nupu ühendame kupliga juhi kaudu, ning laeme kupli. Elektrooskoobilehekese ja kupli sisepinna külge kleebitud paberilehekese jäädvõtmiseks endiselt paigale, kuna välispinnale kleebitud paberiribad tõusevad.

Puudutame elektrooskoobi nuppu laetud katsekuuliga, siis ei anna kuulike oma laengut täielikult ära. Varustame aga elektrooskoobi nupu asemel õõneskeraga (27. joon., II) ja puudutame õõneskera katsekuulikesega seestpoolt, siis annab kuulike laengu täielikult ära. Sellepärast tarvitatakse täpsemate mõõtmiste juures õõneskeraga varustatud elektromeetrit.



27. joon. Laengu jaotumine keha välispinnal.

17. Teraviku mõju. Asetame teravikuga varustatud konduktori lähedusse laadimata elektrooskoobi, nagu näitab 28. joon.,



28. joon. Teraviku mõju.

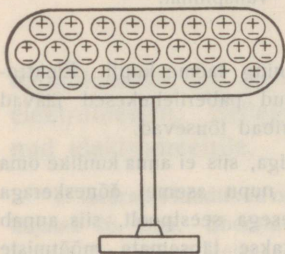
ja laeme konduktori, siis tõusevad ka elektrooskoobi lehekese. Elektrooskoop saab samanimelise laengu. Nähtavasti on elektrostaatiline rõhumine teraviku kohal võrdlemisi suur ja **teravikust voolab elekter kergesti välja.** Teravikust läheb väljatõrjutud elektriosake õhuosakese päale, mis nüüd eemale tõukub ja puudutamisel elektrooskoobi laeb; sama nähtus kordub teise elektriosakesega, mis kadunud osakese asemel teraviku otsa tungib jne.

Teraviku mõju võib seletada ka järgmiselt: teraviku otsas asuvasse elektriosakesse mõjuvad naaberosade tõuketungid enam-vähem ühelt poolt ja liituvad kui samasihilised; teistes kohtades nad mõjuvad enam-vähem vastassihis ja tasakaalustuvad.

Kehad, millel tahame alal hoida elektrit (konduktorid, elektrooskoobid) peavad olema sileda pinnaga ilma teravate servadeta (mispärast?). Ka tolmukübemed võivad mõjuda kui teravikud.

18. Dualistlik hüpotees. Elektri põhinähtused olid tuntud juba ligi 200 aastat tagasi. Nende seletamiseks tarvitati mitmesuguseid hüpoteese. Dualistliku hüpoteesi järele on olemas kahte liiki elektrit. Neutraalsete kehade hõõrumisel tekivad alati mõlemad elektrid korruga ja samal hulgal, ümberpöörduvalt ka isenimeliste elektrite võrdsed hulgad neutraliseeruvad; selle põhjal oletati (Sümmer 1759), et

neutraalse keha igas kohas on olemas mõlemad elektrid samal hulgal, kuid seotud olekus (29. joon.), mille tõttu nende välismõju tasakaalustub. Kehade hõõrumisel lahutub osa seotud (neutraalsest) elektrist, mille tõttu kehad elektruvad vastupidiselt ja ühetugevuselt. Neutraliseerumisel isenimelised elektrid ei hävi, vaid seovad teineteist ja ei avalda selle tõttu välismõju.



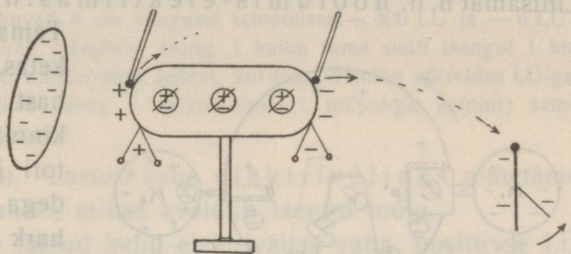
29. joon. Neutraalne keha dualistliku hüpoteesi seisukohalt.

Oletati, et igas kehas peitub piiramatu hulk seotud elektrit, sest samast kehast võib aastate jooksul piiramatu hulga elektrit saada.

19. Elektrostaatiline induktsioon. a) Asetame küllalt tugevasti laetud suurema keha (eboniit- või tsellofaanplaadi) lähedusse konduktori (30. joon.), siis näitab konduktori külge kinnitatud juhtiva niidi (lametta) otsas rippuvate kaksikpendlite laialimine, et konduktori otsadel on tekkinud elekter. Laengu märgi teeme kindlaks proovikuulikese ja kaugele asetatud laetud elektrooskoobi abil (kuidas?). Katsetest järeldame: laetud keha läheduses olevas juhiskivad elektrilaengud, lähemas otsas isenimeline ja kaugemas samanime-

line laeng. Seda nähtust nimetame **elektrostaatiliseks induktsiooniks**. Laetud keha eemaldamisel kaovad indutseeritud laengud.

Indutseeritud elektri hulgad on alati väiksemad kui indutseeriva elektri hulk. Indutseeritud isenimelised elektri hulgad on võrdsed. Induktsiooni mõju kasvab kehade lähenemisel.

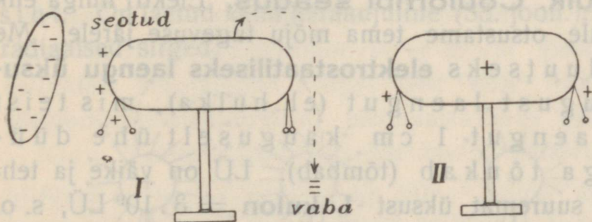


30. joon. Elektrostaatiline induktsioon.

Induktsiooni mõju avaldub läbi igasuguse isolaatori (kuid mitte ühetugevuselt), selle tõttu nimetatakse isolaatoreid dielektrikuteks (silp dia tähendab kreeka keeles läbi). Indutseeriva ja indutseeritud keha vahele asetatud juht (metallplaat) takistab aga induktsiooni mõju, kui ta on ühendatud maaga.

Induktsiooninähtus seletub dualistliku hüpoteesi seisukohalt järgmiselt: laetud keha mõjul lahutub neutraalses juhis osa seotud elektrist, kusjuures isenimeline elekter tõmbetungi tõttu ligineb ja samanimeline tõuketungi tõttu kaugeneb; laetud keha eemaldamisel ühinevad lahutatud isenimelised elektrid.

b) Puudutame indutseeritud konduktorit käega, siis langevad pendlikesed kaugemas otsas kokku (31. joon., I), sest eemal-



31. joon. Induktsioonil seotud ja vaba elekter. siis vabaneb ka seotud elekter ja laguneb laiali; konduktor on nüüd indutseeriva kehaga võrreldes isenimeliselt laetud (31. joon., II).

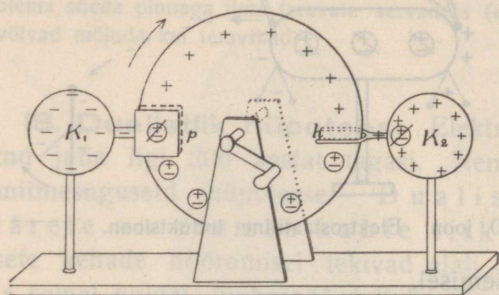
1. Kuidas võib elektritud kehaga laadida elektroskoopi isenimeliselt?

2. Seleta induktsiooni abil:

a) elektritud ja neutraalse keha tõmbumist;

b) § 15 pkt. 2 kirjeldatud nähtust.

20. Elektrimasin. Katsete juures tarvitatakse mitmesuguseid elektrimasinaid, mille abil võib saada elektrit vahetpidamata. Lihtsamat n. n. hõõrumis-elektrimasinat kujutab 32. joon.



32. joon. Hõõrumis-elektrimasin.

Tema pääosad on: klaasketas, amalgaamitud nahast padjad (p), mis on kinnitatud ühe kondukatori külge, ja teravikkudega varustatud metallhark (h), mis on kinnitatud teise kondukatori külge. Ketas läheb hargi vahelt vabalt läbi. Ümberajamisel patjade vahel hõõrdues elektrub ketas positiivselt, patjadega ühendatud konduktor negatiivselt. Positiivse ketta induksiooni mõjul ilmub hargiga ühendatud konduktoril positiivne elekter, kuna indutseeritud negatiivne elekter teravikkudest välja voolab ja ketast neutraliseerib.

Ketta ümberajamisel võime elektrit saada vahetpidamata mõlematest konduktoritest. Kasutame ainult üht konduktorit, siis tuleb teine ühendada maaga.

21. Elektri hulk. Coulombi seadus. Elektri hulga ehk laengu suuruse üle otsustame tema mõju tugevuse järele. Me nimetame absoluutseks **elektrostaatiliseks laengu üksuseks (LÜ)** niisugust laengut (el. hulka), mis teist sama suurt laengut 1 cm kauguselt ühe düünilise tungiga tõukab (tõmbab). LÜ on väike ja tehnikas tarvitatakse suuremat üksust 1 **kulon** = $3 \cdot 10^9$ LÜ, s. o. 3000 miljonit LÜ.

Coulomb leidis (a. 1785), et kahe elektrihulga vastastikuse mõju kohta on maksev seadus

$$f = \frac{e_1 e_2}{r^2} \text{ (düüni),}$$

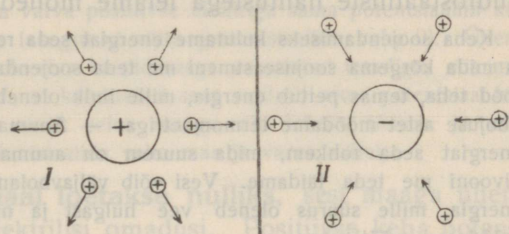
kus f tähendab tõmbe või tõuke tungi suurust düünides, e_1 ja e_2 tähendavad laengute tugevusi LÜ-tes ja r nende kaugust teineteisest cm-tes (väljenda seadust sõnadega analoogiliselt Coulombi seadusega magnetismis).

Täpsemad mõõtmised näitavad, et elektrihulkade vastastikune mõju oleneb veel vaheloleva dielektriku ainest. Ka induksioonil lahutatud elektrihulgad on pöördvõrdelised indutseeriva ja indutseeritud keha vastastikuse kauguse ruuduga.

1. Kui tugevasti tõmbuvad 8 cm kaugusel teineteisest + 400 LÜ ja - 6 LÜ?
2. Kui tugevasti tõukab (tõmbab) laeng 1 kulon sama suurt laengut 1 km kauguselt? Vastus annab ettekujutuse sellest, kui suur on kulon võrreldes LÜ-ga.
3. Kui tugevasti tõukab laeng 1 mikrokulon (1 miljondik kulonit) sama suurt laengut 1 cm kauguselt?

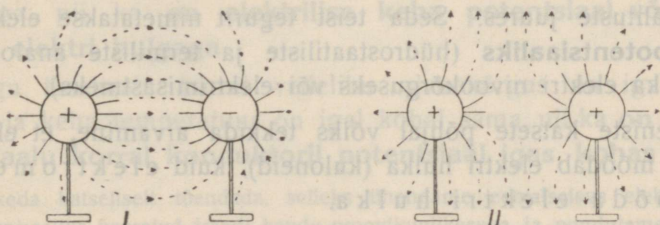
22. Elektriväli. Laetud keha elektriväljaks nimetame keha ümbritsevat ruumi, milles avaldub laengu mõju.

Kujutame enesele laetud keha elektriväljas vaba positiivse LÜ (analoogiliselt vaba põhja üksuspoolusele magnetiväljas, § 9). Selle + LÜ-esse välja iga punktis mõjuvat tungi, s. o. välja tugevust antud punktis, võib arvutada Coulombi seaduse põhjal, kui on teada keha laengu suurus ning selle laengu ja LÜ-e vastastikune kaugus.



33. joon. Laetud kera elektriväli.

Vaba laeng liigub elektriväljas mööda tungjoont, mille sihiks loetakse positiivse laengu liikumissiht. On laetud keha kerakujuline (33. joon.), siis on tungjooned radiaalsed sirged.



34. joon. Laetud kerade ühine elektriväli.

Kahe laengu ühise välja antud punktis asuvasse LÜ-esse mõjuvat resultanttungi võib leida liitmise teel analoogiliselt magnetiväljas mõjuvale resultanttungile (9. joon.). 34. joon. kujutab niisuguse välja tungjooni lihtsamal juhul (konduktõrid kerakujulised ja laengud ühesuurused). Tungjoonte sihti laengu lähemas

ümbruskonnas võib näidata konduktori külge kleebitud paberossi-kestast narmastega, mis painduvad tungjoonte sihte mööda.

Elektritüd kehade tõmbumist või tõukumist võib seletada ka välja tungjoonte pikipinevusega ja küljeti eemale rõhumisega (analoogiliselt vastavate magnetinähtustega), ning elektrostaatilist induksiooni sellega, et elektriväljas asuvas juhis tekib + laeng sääl, kus tungjooned lähevad juhi sisse, ja — laeng sääl, kus tungjooned lähevad juhist välja.

Laetud kera elektriväli on täiesti analoogiline maakera gravitatsiooni väljaga.

23. Elektrilise keha potentsiaal. Potentsiaalide vahe ehk pinge. a. Elektrilisi nähtusi võrreldes soojuse ja hüdrostaatiliste nähtustega leiame mõned analoogiad.

Keha soojendamiseks kulutame energiat seda rohkem, mida suurem on keha ja mida kõrgema soojuseastmeni me teda soojendame. Soojendatud keha võib tööd teha, temas peitub energia, mille hulk oleneb soojuse hulgast ja astmest. Soojuse astet mõõdame termomeetriga. — Anuma täitmiseks veega kulutame energiat seda rohkem, mida suurem on anuma lõikepind ja mida kõrgema nivooni me teda täidame. Vesi võib väljavoolamisel tööd teha, temas peitub energia, mille suurus oleneb vee hulgast ja nivookõrgusest. Nivookõrgust mõõdame mõõtlauaga.

Keha elektrimiseks kulutame energiat, mis ei või kaduma minna energia jäävuse tõttu. Laetud keha võib tööd teha, ta võib näit. teisi kehi ligi tõmmata või eemale tõugata ja elektrometri-lehekest üles tõsta. Temas peitub energia, mille suurus oleneb tema elektri hulgast ja veel teisest tegurist, mis vastab temperatuurile soojusenähtuste juures ja nivookõrgusele hüdrodünaamiliste nähtuste juures. Seda teist tegurit nimetatakse elektrilise keha **potentsiaaliks** (hüdrostaatiliste ja termiliste analoogiate põhjal ka elektri nivookõrguseks või elektrimisastmeks).

b. Seniste katsete põhjal võiks tekkida arvamine, et elektromeeter mõõdab elektri hulka (kuloneid), kuid elektromeeter ei mõõda elektri hulka.

Seda näitab järgmine katse. Ühendame elektrometri kord väiksema ja teine kord suurema konduktoriga ja laeme konduktorid sama elektrihulgaga (puudutades hõõrutud eboniitpulgaga ühepalju kordi), siis leheke ei tõuse sama jaotuskriipsuni. Nagu sama vedelikuhulga puhul nivoo kitsamas anumal (väiksem ruumimahtuvus) rohkem tõuseb ja sama soojusehulga puhul temperatuur väiksemas kehas (väiksem soojamahtuvus) rohkem tõuseb, nii tõuseb ka elektrometri ühendamisel väiksema konduktoriga (väiksem elektrimahtuvus) sama elektrihulga juures leheke rohkem.

Elektromeeter mõõdab elektriliste nähtuste juures vedeliku nivookõrgusele või soojusastmele vastavat suurust, ta mõõdab elektrilise keha potentsiaali. Õieti elektromeeter mõõdab potentsiaalide vahet tema anuma seinte ja sellest isoleeritud varva vahel (analoogiliselt mõõdab mõõtlaud vedeliku nivoo ja nullnivoo vahet, termomeeter mõõdab keha temperatuuri ja nulltemperatuuri vahet).

Seda näitavad järgmised katsed: Võtame elektromeetri juhtivate seintega (traatvõrk või klaasanuma külge kleebitud stannioolribad), asetame ta isoleerivale alusele ja laeme anuma seinad näit. positiivse elektriga. Leheke tõuseb, sest seinte ja varva vahel on tekkinud potentsiaalide vahe. Lähendame varvale positiivselt laetud keha, siis langeb leheke alla, nagu oleks ta laetud negatiivse elektriga. — Laeme ka varva positiivse elektriga sama potentsiaalini kui seinte oma, siis elektromeeter laengut ei näita (potentsiaalide vahe 0). Ühendame nüüd varva ja seina isoleeriva käepidemega varustatud traadiga, siis midagi ei muutu, millest järgneb, et konduktori sees valitseb sama potentsiaal kui välispinnal. Ühendame aga ainult seina maaga, siis leheke tõuseb ja riist näitab positiivset laengut (potentsiaalide vahe maa ja varva vahel).

c. **Maakera potentsiaal loetakse nulliks**, sest maaga ühendatud kehad ei näita elektrilisi omadusi. Positiivse keha potentsiaal loetakse positiivseks, negatiivse oma negatiivseks. Laetud kehaga ühendatud elektromeeter mõõdab laetud keha ja maakera potentsiaalide vahet, kui tema anum on ühendatud maaga.

Nagu vedeliku nivookõrgus (silindrilises anum) on võrdeline vedeliku hulgaga ja keha temperatuur võrdeline tema soojuse hulgaga, nii ka **on elektrilise keha potentsiaal võrdeline tema elektri hulgaga**.

Nagu tasakaalu korral vedeliku nivookõrgus on igal kohal sama ja keha temperatuur on igal kohal sama, nii ka **on elektri tasakaalu korral konduktoril potentsiaal igas kohas sama**.

Et seda katseliselt tõendada, selleks ühendame eemalseisva elektromeetri varva spiraaliks keeratud traadi kaudu proovikuulikesega ja puudutame proovikuulikesega laetud konduktorit mitmel kohal; lehekese kalle ei muutu.

d. Nagu vee voolamise põhjuseks on nivoode vahe, soojuse levimise põhjuseks temperatuuride vahe, nii ka elektri ülemineku põhjuseks ühest kehast teisele või sama keha ühest kohast teisele on potentsiaalide vahe ehk **pinge**.

Ühendame laetud kondukatori teiste konduktoritega juhtme kaudu, siis voolab elekter kõrgema potentsiaaliga konduktorist madalama potentsiaali poole, kuni potentsiaalid on ühesuurused. Elektri hulgad üksikutes konduktorites ei ole aga lõpuks ühesuurused (hulgad olenevad konduktorite elektrimahtuvusest).

Analoogia: Kujutame enesele veega täidetud reservuaari, mida ühendame teiste anumatega torude kaudu (järve, ühendatud tiikidega kraavide kaudu). Vesi voolab siis kõrgema nivooga reservuaarist madalama nivoo poole, kuni nivood on ühesugused. Vee hulgad üksikutes anumates (tiikides) ei ole lõpuks ühesuurused (nad olenevad anumate või tiikide mahutavustest).

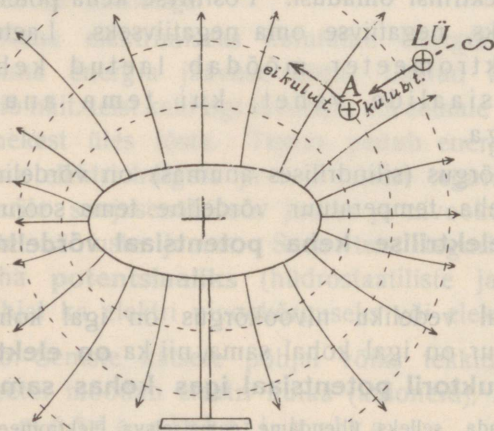
Ühendame soojendatud keha soojusejuhi kaudu teiste kehadega. Soojus levib kõrgema temperatuuriga kehast madalama temperatuuri poole, kuni temperatuurid on ühesugused. Soojuse hulgad üksikutes kehades ei ole lõpuks ühesuurused (nad olenevad kehade soojamahtuvustest).

e. Tehnikas tarvitatakse potentsiaali (ja pinge) mõõtmisel üksusena **volti (V)**, see on 1 cm raadiusega kera potentsiaal, mille laeng on $\frac{1}{300}$ LÜ. Hõõrutud kehade potentsiaalidega võrreldes on volt väga väike üksus.

Näiteks tõuseb flintklaasil potentsiaal hõõrumisel amalgaamitud nahaga mitmekümne tuhande voldini. Õhus tekib kahe keha vahel 1 mm või 1 cm

pikkune säde, kui pinge on vst. 1000 või 30 000 V.

Eespoolkirjeldatud elektromeetritest ainult kvadrantelektromeeter näitab väiksemat voltide arvu. 25. joonises, I kujutatud elektromeetri alumiiniumist leheke tõuseb ühe jaotuskriipsu võrra, kui potentsiaal tõuseb ~ 200 V võrra. Et tema astmiku jaotuskriipsude vahed ei ole võrdsed, see on arusaadav, sest mida kõrgemale leheke on tõusnud, seda rohkem takistab lehekese raskus edaspidist tõusmist ja selle tõttu tõuseb leheke potentsiaali samal suuremisel seda vähem, mida kõrgem on potentsiaal; ka kõige suurema potentsiaali juures ei või leheke ikkagi horisontaalse seisuni tõusta.



35. joon. Elektrivälja tungjooned ja nivopinnad.

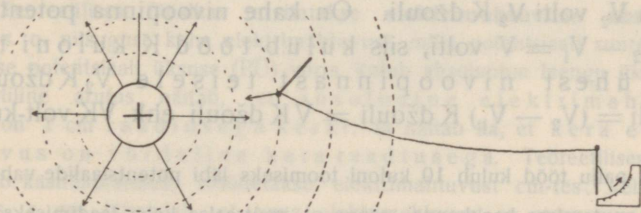
*24. Elektrivälja potentsiaal töö seisukohalt.

a. Toome laengu üksuse (LÜ, 35. joon.) vastu väljas mõjuvat

tungi välja punkti A , siis kulutame selleks tööd; laseme LÜ lahti punktis A , siis tõukab väli teda eemale kuni lõpmatuseni ja teeb selle juures tööd. Välja punktis A on teatav potentsiaalne energia. **Elektrivälja antud punkti potentsiaali suurust mõõdetakse töö hulga**ga, mis kulub, et tuua samanimelist laengu üksust lõpmatusest kuni välja antud punktini.

Võrreldes elektrilist potentsiaali vedeliku nivoo kõrgusega, võiks analoogiliselt ka vedeliku nivoo kõrgust arvuliselt mõõta vedeliku tõstmiseks kulutatud töö hulga.

Viime laengu üksuse õõneskonduktori välispinnalt konduktori sisse, siis selleks tööd ei kulu, sest konduktori sees puudub tungide vastumõju; järelikult on konduktori sees potentsiaal sama kui tema välispinnal. Liigub laeng elektriväljas risti välja tungjoontega, siis selleks tööd ei kulu; nagu magnetiväljas (§ 10) on ka elektriväljas olemas **nivoo pinnad**, millede potentsiaalid on ühesuurused ja mida



36. joon. Laetud kera välja tungjooned ja nivoo pinnad.

mööda laengu liikumine sünnib ilma töö kuluta. Nivoo pindade hulka kuulub ka laetud keha pind.

Näitame potentsiaali muutumist ja nivoo pindu kera väljas (lihtsam juht) järgmiselt: Laadime siidniidi küljes rippuva kera (36. joon.). Tema välja tungjooned on radiaalsed sirged ja nivoo pinnad antud keraga kontsentriilsed kerapinnad. Ühendame kaugelseisva elektromeetri peene spiraaliks keeratud traadi kaudu proovipulgakese kuuliga; elektromeeter näitab siis proovikuulikesse potentsiaali. Lähendame proovikuuli laetud kerale, siis näitab elektromeeter potentsiaali tõusu. Liigutame proovikuuli mööda keraga kontsentriilist kerapinda või laetud kera välispinda mööda, siis potentsiaal ei muutu; ta ei muutu ka, kui viime proovikuulikesse õõneskonduktori sisse.

b. Potentsiaali tehniliseks üksuseks, s. o. **voldiks (V)** nimetame välja niisuguse punkti potentsiaali,

millesse ühe kuloni (laengu tehnilise üksuse) toomiseks lõpmatuses kulub tööd üks džoul (töö tehniline üksus).

Absoluutseks elektrostaatiliseks potentsiaali üksuseks (PÜ) nimetame välja niisuguse punkti potentsiaali, millesse absoluutse elektrostaatilise laengu üksuse (LÜ) toomiseks lõpmatuses kulub üks erg (absoluutne tööüksus).

Matemaatiline arutus näitab, et

$$1 \text{ V} = \frac{1}{300} \text{ PÜ},$$

et absoluutne potentsiaali üksus on 1 cm raadiusega keral, millel asub absoluutne laengu üksus ja et § 23 antud voldi definitsioon on kooskõlas käesolevas § antud voldi definitsiooniga.

c. Laengu liikumiseks elektriväljas kulutatud tööd võib arvutada. Nägime, et ühe kuloni toomiseks lõpmatuses nivoopinnani potentsiaaliga 1 V kulub 1 džoul. Järelikult kulub K kuloni toomiseks lõpmatuses nivoopinnani potentsiaaliga V_1 volti tööd $V_1 K$ džouli ja tema toomiseks lõpmatuses nivoopinnani potentsiaaliga V_2 volti $V_2 K$ džouli. On kahe nivoopinna potentsiaalide vahe $V_2 - V_1 = V$ volti, siis kulub tööd K kuloni toomiseks ühest nivoopinnast teisele $V_2 K$ džouli — $V_1 K$ džouli = $(V_2 - V_1) K$ džouli = VK džouli ehk VK volt-kuloneid.

1. Kui palju tööd kulub 10 kuloni toomiseks läbi potentsiaalide vahe 2 volti?

2. El. neutraalses keskkonnas asuva el. neutraalse keha laadimiseks V voldini kulub K kulonit elektrit. Tõenda, et laadimiseks kulutatud töö (laengu energia) on $\frac{1}{2} VK$ džouli (jagame antud laengu üksikuteks osadeks, ja toome nad üks-teise järele lõpmatuses keha pinnale; selle juures on keha potentsiaal alul 0, lõpul V).

25. Elektrimahtuvus (kapatsiteet). a. Ühendame elektromeetriga kord suurema, teine kord väiksema kondukatori ja laeme nad mõlemal korral sama potentsiaalini, siis näeme, et suurema kondukatori laadimiseks sama potentsiaalini kulub rohkem elektrit. Nii siis suuremal konduktoril on suurem elektrimahtuvus. Keha **elektrimahtuvust** (kapatsiteeti) mõõdame elektri hulgaga, mis kulub keha potentsiaali tõstmiseks ühe potentsiaaliüksuse võrra.

Tähistame keha soojendamiseks temperatuurini t kulutatud soojuse hulga Q -ga, tema soojamahtuvuse C -ga, siis

$$C = \frac{Q}{t} \text{ ehk soojamahtuvus} = \frac{\text{soojuse hulk}}{\text{temperatuur}}$$

Tähistame keha laadimiseks potentsiaalini P kulutatud elektri hulga E -ga, elektrimahtuvuse C -ga, siis

$$C = \frac{E}{P} \text{ ehk elektrimahtuvus} = \frac{\text{elektri hulk}}{\text{potentsiaal}}$$

b. On $E = 1$ ja $P = 1$, siis $C = 1$, järelikult keha elektrimahtuvus on üks, kui tema potentsiaali suurenemiseks potentsiaali üksuse võrra kulub elektri hulga üksus. Tehnikas tarvitatakse elektrimahtuvuse üksusena n. n. **faradit (F)**; farad on niisuguse keha elektrimahtuvus, mille potentsiaali suurenemiseks ühe voldi võrra kulub üks kulon elektrit, ehk

$$\text{farad} = \frac{\text{kulon}}{\text{volt}}$$

Tegelikult tarvitatakse üksusena harilikult mikrofaradit (μF) $= \frac{1}{1\,000\,000} \text{F}$, sest farad on suur (maakera mahtuvus on ümmarguselt 700 μF).

* c. Teoreetilises füüsikas tarvitatakse **elektrimahtuvuse absoluutset üksust**, s. o. niisuguse keha elektrimahtuvust, mille potentsiaali suurenemiseks absoluutse potentsiaali üksuse (PÜ) võrra kulub absoluutne laengu üksus (LÜ). Matemaatiline arutus näitab, et absoluutne elektrimahtuvuse üksus on 1 cm raadiusega keral; ta näitab ka, et kera elektrimahtuvus on võrdeline kera raadiusega. Teoreetilises füüsikas (ka radio käsiraamatutes) mõõdetakse elektrimahtuvust cm-tes; keha elektrimahtuvus r cm tähendab, et tema elektrimahtuvus on sama suur kui r cm raadiusega kera oma.

* 1. Matemaatiline arutus näitab, et elektrimahtuvus üks F on keral, mille raadius on 9 000 000 km (~ 23 -kordne maakera kaugus kuust).

a) Leida maakera elektrimahtuvus mikrofaradites ($r = 6\,370$ km).

b) Kui palju kuloneid kulub maakera laadimiseks 20 000 voldini?

26. Mõned katsed elektrimasinaga. Elektrisäde.

a. Ühendame masina konduktorid elektromeetritega, mis võimaldavad suurte potentsiaalide mõõtmist. Ketta ümberajamisel tõusevad ühes konduktorite laengutega ka nende potentsiaalid, kuid ainult kuni teatava piirini, mis oleneb masina materjalist ja ehitusest. Edaspidine ümberajamine tekitab ainult veel soojust. On näit. konduktorite potentsiaalid $+$ ja $-$ 15 000 V, siis on nende potentsiaalide vahe ehk pinge 30 000 V.

Ühendame aga tiirutamisel ühe (+ või —) kondukatori maaga (potentsiaal 0), siis tõuseb sama tiirutamise kiirusel teise kondukatori potentsiaal kuni — või + 30 000 voldini, kui välised tingimused (näit. õhu niiskus) on samad. Nii siis on samadel tingimustel sama elektrimasina konduktorite maksimaalne pinge jääv, antud juhusel 30 000 V.

b. Olgu mõlemad konduktorid isoleeritud. Lähendame konduktorile sõrme, siis tekib teataval kaugusel (~ 1 cm) kondukatori ja sõrme vahel **säde**. Sädeme tekkimist tuleb seletada sellega, et kondukatori el. ja sõrmes indutseeritud isenimelise el. ühinemise tung ületab õhu takistuse ja elektrid ühinevad läbi õhu, kusjuures õhk ühinemise teel kuni hõõgumiseni kuumeneb.

Et see tõelikult nii on, seda näitavad spektraalanalüütilised vaatlused. Õhus tekkinud sädeme kiirgamisspektris näeme peaaegaltikult lämmastiku spektraaljooni, vesinikus tekkiva sädeme spektris vesiniku jooni jne. Sädeme spektris paneme tähele ka kondukatori metalli auru spektraaljooni: järelikult muutuvad sädeme tekkimisel ka kondukatori aineosakesed hõõguvaks auruks.

Sama konduktor annab pikemaid sädemeid, kui ühendame teise kondukatori maaga. Sellest järeldame, et sädeme pikkus on oleneb sõrme ja kondukatori vahelise pinge suuruselt (mispärast?).

Sädeme pikkus antud pinge puhul on ka gaasi ainest (on näit. vesinikus suurem kui õhus) ja rõhumisest (on hõrendatud gaasis suurem) ning kondukatori kumerusest antud kohas (on suurem kumeramal kohal suurema elektrootaatilise rõhumise tõttu, § 16).

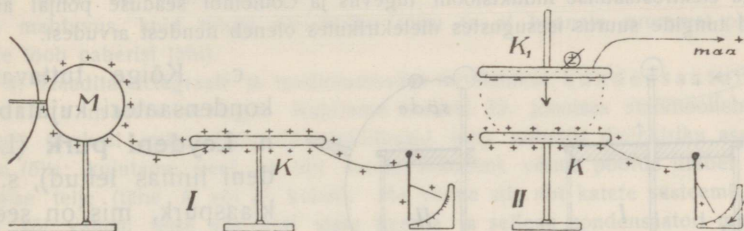
c. Ühendame ühe kondukatori maaga ja suurendame teise kondukatori elektrimahtuvust. Selleks asetame inimese isoleerivate jalgadega pingile ja laseme teda puudutada konduktorit käega. Me saame siis ketta ümberajamisel inimese kehast sädemeid. Sädemete pikkus on endine, kuid sädemed on jämedamad, tugevamad. Me järeldame, et sädeme tugevus on oleneb neutraliseeruva elektrihulgast (mispärast?). Pikema sädeme puhul paneme tähele, et ta on kõverjooneline ja okslik, välgu-taoline. Välg ongi elektrisäde, mis tekib laetud äikesepilve ja indutseeritud maakera pinna või teise pilve vahel (Franklini katse lohemaoga a. 1752, Franklini leitud piksevarras).

d. Säde avaldab soojuselist mõju (võib süüdata näit. eetrit, bensiini, paukgaasi), füsioloogilist mõju (tun-neme pistet, tugeva sädeme juures põrutust liigestes), mehaa-

nilist mõju (lööb paberist, klaasist läbi) ja keemilist mõju (lahutab õhus oleva hapniku ja tekitab osooni). Seejuures sünnib laetud konduktori potentsiaalse elektrienergia muundumine teist liiki energiaks.

27. Kondensaator. a. Ühendame laperguse konduktori K (metallist ketas) masina konduktoriga M (37. joon., I) ja väikse tundlikkusega elektromeetriga. Konduktori K potentsiaal tõuseb kuni kondaktor M potentsiaalini; seejuures voolas kondaktor K -sse teatav elektri hulk. Suuremat elektri hulka antud tingimustel kondaktor K mahutada ei saa.

Katkestame nüüd ühenduse masinaga, siis potentsiaal ei muutu; lähendame aga kondaktor K -le maaga ühendatud konduktoriga K_1 (37. joon. II), siis langeb K -ga ühendatud elektrometrileheke,



37. joon. Kondensaatori printsiip.

tähendab kondaktor K potentsiaal väheneb, kuid laeng jääb samaks. Nähtust võib seletada ainult sellega, et juhised K_1 indutseeritud isenimeline elekter sidus osa kondaktor K laengust ja et ainult ülejäänud vaba osa mõju avaldab. Mida ligemale K -le asetame K_1 , seda rohkem langeb K potentsiaal (elektrometri-leheke), sest indutseeritud neg. el. hulga suurenemisega suureneb ka seotud pos. el. hulk.

Ühendame nüüd kondaktor K uuesti M -ga, siis tõuseb tema potentsiaal endise suuruseni, sest seotud elektri asemele voolab masinast elektrit juurde. Kondaktor K laeng sama potentsiaali juures suurenes seotud elektri hulga võrra. Me järeltame, et isoleeritud **konduktoriga elektrimahtuvus suureneb teise maaga ühendatud juhi läheduses.**

Kaks teineteise ligidal seisvat ja isoleeriva vahetõhiga (dielekt-rikuga) eraldatud kondaktorit, milledest üks on ühendatud maaga,

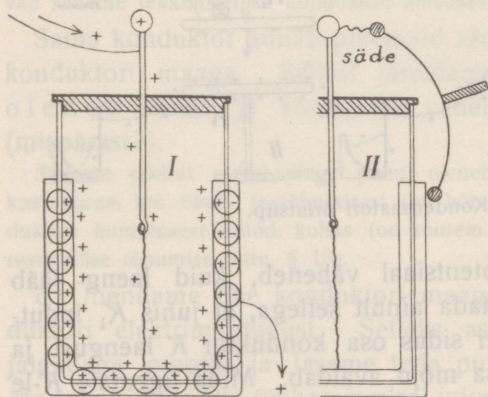
moodustavad **kondensaatori** (tihendaja), — riista, mida tarvitatakse suurema elektrihulga kogumiseks. Kondensaatori mahutuvus kasvab tema pinna suurenemisega ja vaheloleva dielektriku kihi paksuse vähenemisega (mispärast?); ta on aga ka dielektriku ainest ja on näiteks klaasi puhul mitu korda suurem kui õhu puhul.

*b. Tähendame õhk-dielektrikuga kondensaatori elektrimahtuvuse arvuga 1, siis näitab järgmine tabel mahtuvust teiste dielektrikute juures:

õhk	1	šellak	~ 3
parafiin	~ 2	kirjalakk	4,3
eboniit	2—4	petrooleum	2
paber	2,5	riitsinusõli	4,7
klaas	4—10	alkohol	25
väävel	~ 4	gaasid	~ 1

Tabelis toodud arvud nimetatakse ainete **dielektriku jäävateks**.

Ka elektrostaatilise induktsiooni tugevus ja Coulombi seaduse põhjal arvatud tungide suurus isesugustes dielektrikutes on nendest arvudest.



38. joon. Leydeni purk.

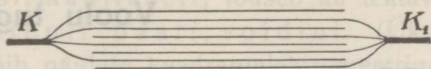
Puuduks väliskate, siis kujutaks klaasiga isoleeritud sisekate hari-likku konduktorit. On aga purk kaetud ka väliskattega, siis ta mõjub kui kondensaator, sest suurema jao sisekatte päale voolanud elektrist seob väliskattes indutseeritud elekter ja purki võib nüüd suurt hulka elektrit koguda (kuni paarsada korda rohkem kui ilma väliskatteta).

Purgi tühendamiseks tarvitatakse tühendajat (38. joon., II), s. o. isoleeriva käepidemega metallvarba. Tühenemisel tekkiv

c. Kõige tuttavama kondensaatori kujutab n. n. **Leydeni purk** (Leydeni linnas leitud), s. o. klaaspurk, mis on seest- ja väljastpoolt kaetud stanniooliga kuni $\frac{2}{3}$ oma kõrgusest (38. joon., I on stannioolkatted tehtud paksud, et + ja — märke tähistada). Sisekattega ühendatud metallvarb ühendatakse laadimisel masinaga, väliskate maaga.

säde ei ole pikem kui masina konduktorist saadav säde, ta on aga tugevam (mispärast?). Puudutades ühe käega nõrgalt laetud purgi väliskatet ja lähendades teist kätt nupule tunne elektrilühinemisel läbi keha tugevat elektrilööki (peab ettevaatlik olema!). Mitu purki, millede välis- ja sisekatted on isekeskis ühendatud, moodustavad Leydeni patarei. Niisugusel ühendamisel on patarei mõju samasugune kui ühe ainsa, kuid suuremate katete pindadega purgi oma (suurem elektrimahtuvus).

Teine tuntud kondensaatori tüüp koostub suuremast hulgast stannioollehtedest, mis on isoleeritud üksteisest parafiinitud paberiga (39. joon., paber ei ole joonistatud). Paarisarvuliste lehtede otsad on ühendatud ja moodustavad ühe katte (K), samuti moodustavad ka paarita-arvulised lehed teise katte K_1 . Suure pinna tõttu on kondensaatoril suur mahtuvus, kuid nõrga dielektriku tõttu ta ei kannata suuremat pinget (säde lööb paberist läbi).



39. joon. Lehtkondensaator.

*d. Traadita telegraafi ja raadiojaamades tarvitatakse kondensaatoreid muutuva mahtuvusega. Kujutame enesele 39. joonises stannioollehtede asemel õhuke siidplekiribasid ning paberist dielektriku asemel õhku (õli); kujutame veel, et üht katete süsteemi võime pöörda ümber vertikaalse telje (tähe K või K_1 kohal). Me võime siis üht katete süsteemi rohkem või vähem teise süsteemi sisse keerda ja sellega kondensaatori mahtuvust suurendada või vähendada (pöördkondensaator).

Ajalooost. Merivaigu elektrilised omadused olid tuntud vanal ajal. Gilbert (1540—1603) leidis, et ka teised kehad hõõrumisel elektruvad. Esimese elektrimasina ehitas Otto von Guericke Magdeburgis a. 1670; ta pani ka esimesena tähele elektritud kehade tõukumist.

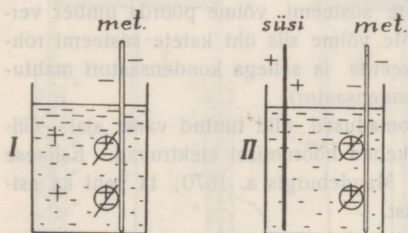
Alles a. 1729 hakati vahet tegema juhtide ja mittejuhtide vahel, a. 1733 ka isesuguste elektrite vahel. Leydeni purgi leiutasid a. 1745 professor Muschenbrock Leydenis ja preester von Kleist Pommernis.

Franklin (1706—90) näitas, et hõõrumisel tekivad mõlemad elektrid, seletas aga elektrinähtusi unitaarse hüpoteesi põhjal: On olemas üks elekter; neutraalne keha sisaldab normaalse elektrilühulga, positiivse keha elektrilühulk on normaalsest suurem, negatiivse oma neutraalsest vähem. Inglise Summer seadis üles a. 1759 dualistliku elektrihüpoteesi. Alles a. 1777 hakati tarvitama nimetusi positiivne ja negatiivne elekter (Lichtenberg). Coulomb võimaldas elektrinähtuste matemaatilist arutamist tema järele nimetatud seaduse põhjal (a. 1785) ja Faraday (1791—1867) pani aluse elektrivälja teooriale.

Elektrodünaamika.

Vooluallikad. Elektrivoolu tekkimise tingimused. Voolu tugevus.

28. Galvani element. Asetame metallplaadi elektrit juhtivasse vedelikku, mis avaldab keemilist mõju plaadisse, siis omandab metall negatiivse ja vedelik positiivse laengu. Dualistliku hüpoteesi seisukohalt lahutub keemilise mõju tõttu metalli ja vedeliku kokkupuutumispinnal seotud elekter, kusjuures — el. tungib metalli ja + el. vedelikku (40. joon., I). Asetame vede-



40. joon. Galvani element.

likku veel juhtiva söeplaadi (gaasivabriku retordi söepurust pressitud), mille pääle + el. vedelikust üle kandub, siis saamen n. n. **galvani elemendi** (40. joon., II). Galvani ja Volta olid esimesed teadlased, kes seda elektri tekkimisviisi ~ a. 1790 uurima hakkasid.

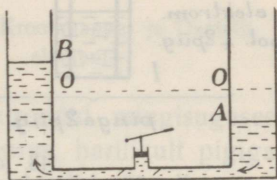
Niisugune galvani element koosneb lihtsamal kujul juhtivast vedelikust, metallplaadist, millel on keemiline sugulus vedelikuga, ja teisest juhtivast plaadist (süsi), millesse vedelik tunduvat keemilist mõju ei avalda. Positiivse elektriga laetud plaat nimetatakse **anoodiks**, negatiivse elektriga laetud plaat **katoodiks**, mõlemad aga elemendi **elektroodideks**. Elementi nimetatakse lahtiseks, kui elektroodid ei ole ühendatud juhtmega, ja kinniseks, kui elektroodid on ühendatud juhtmega.

Me kujutame enesele ette, et elektri lahutamise põhjuseks on metalli ja vedeliku kokkupuutumise kohal mõjuv jõud, n. n. **elekt-**

romotoorne jõud (emj.), mis $+$ ja $-$ elektrit lahutab ja nende ühendamist takistab, tähendab plaatide vahel potentsiaalide vahet ehk pinget tekitab ja alal hoiab. Elektromotoorse jõu suurust tuleb mõõta potentsiaalide vahega, tähendab voltides.

Elektrimasinas sünnib elektrit lahutamine neutraalsest olekust mehaanilise energia kulul, galvani elemendis keemilise energia kulul. Elektrimasinas tekib pinge konduktorite, galvani elemendis elektrootide vahel. Elektrimasinas tõuseb pinge aegamisi ketta ümberajamisel kuni teatava piirini, mis ulatub kuni mitmekümne tuhande voldini; galvani elemendis tõuseb pinge metalli ja vedeliku kokkupuutumisel silmapilkselt, tõuseb ka teatava piirini, mis aga ulatub ainult paari voldini. (Üksikute elektrootide laenguid võib näidata kvadrantelektrometriaga, vaevalt ka kondensaatoriga varustatud elektrometriaga.)

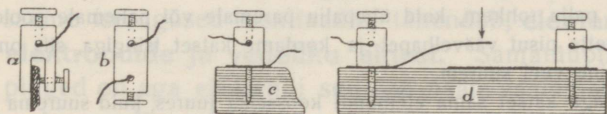
Hüdrostaatiline analoogia. Kujutleme kaht toruga ühendatud anumad (41. joon.), mis on täidetud veega teatava kõrguseni (nullnivoo) ja torus veemootorit, näit. surujat pumpa, mille abil ajame vett ühest anumast teise ja tekitame nivoovahet. Teatava nivoovahe juures tasakaalustab tõstetud vee rõhumine töötava tungi rõhumi ja nivoovahe antud tungi juures rohkem ei tõuse (millest oleneb nivoovahe suurus?). On pumbakannu läbilõige väike, siis võime minutis vähe vett läbi ajada, nivoovahe tõuseb aegamisi, on aga viimaks võrdlemisi suur (vastab elektrimasinalle). On kannu läbilõige suur, siis võime minutis palju vett läbi ajada, nivoovahe tõuseb kiiresti, on aga lõpuks võrdlemisi väike (vastab galvani elemendile).



41. joon. Veemotoorne jõud tekitab nivoovahet.

29. Isolatsioon. Juhtmete ühendamine ja katkestamine.

Elemendist saadud elektrit juures võib isolaatoritena tarvitada pooljuhti (puu, harilik niit jne.), sest väikese pingetõttu ei tungi elekter pool-



42. joon. Klemmid, katkestaja.

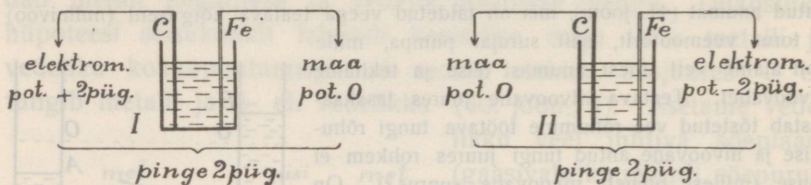
juhist läbi. Ka teraviku mõju ei ole tunduv väikese pinget puhul. Elektrit edasi juhtimiseks tuleb siin aga häid juhtmeid tarvitada (metallid) ja juhtmete ühendamine peab olema kindel.

Juhtmete ühendamiseks tarvitatakse n. n. klemmisid (42. joon. a—c), millede külge kruvitakse ühendatavad juhtmed (traadid, plaadid).

Küireks ühendamiseks ja katkestamiseks tarvitatakse mitmesuguseid katkestajaid ehk lülitajaid (võtmed). On näiteks võtme (42. joon., d) isoleerivale alusele kinnitatud klemmid ühendatud elektrodiga ja riistaga, siis pääseb elekter ainult siis ja niikaua võtmest läbi, kui vetruvad metalliribad kokku surutakse.

Kui edaspidi katsetes kasutame elektrit valgustusjuhtmetest, siis peame tarvita paremat isolatsiooni, sest valgustusjuhtmete pinget tekitab elektrijaamas n. n. dünamomasina abil ja on elemendi pingega võrreldes suur, harilikult 220 V.

*** 30. Galvani elemendi üldomadused.** Elektrodide laengute määramiseks asetame kvadrantelektromeetri kindlale alusele (seinale) ja kinnitame lemniskaadi varva külge peenikese spiraaliks keeratud isoleeritud traadi, mille ots ulatub katselauani. Katselaua juures olgu metalline ühendus maaga (gaasitoru). Elektrometrijuhtme ühendame maaga (pot. 0) ja asetame vastasseinale astmikulaua nii, et valgusetäpp langeks astmiku keskkohale (nullseis). Olgu, et valgusetäpp kaldub paremale poole elektromeetri (lemniskaadi) positiivse laengu juures.



43. joon. Galvani elemendi pinge.

Asetame veega täidetud anumasse raudplekiriba (traadi) ja söeplaadi (pulga), ühendame raua maaga (pot. 0) ja elektrometrijuhtme söega. Valgusetäpp kaldub paremale poole, näit. 2 pügala võrra; järelkult söe laeng on positiivne (43. joon., I). Ühendame aga söe maaga (pot. 0) ja raua elektrometriga, siis kaldub täpp 2 pügala võrra pahemale poole; järelkult raua laeng on negatiivne (43. joon., II). Mõlematest katsetest järeldame, et antud elemendi pinge on jääv, meie astmiku järele 2 pügalat.

Asetame anumasse raua asemel tsingi ja kordame samu katseid, siis kaldub valgusetäpp palju rohkem, kuid ühepalju paremale või pahemale poole.

Valame vette pisut väävelhapet ja kordame katset tsingiga, siis on valgusetäpi kaldumine veel suurem.

Kordame aga katset sama elemendi koosseisu juures, kuid suurema vedeliku hulga ja suuremate elektrodidega, siis täpi kaldumise suurus ei muutu.

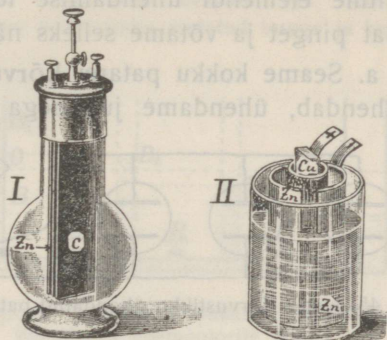
Katsetest järeldame: **Galvani elemendil on püsiv elektromotoorne jõud, mille suurus ei olene elektrodide suuruselt, kuid oleneb vedeliku ja elektrodide ainest.** Pinge on võrdlemisi suur tsingi ja väävelhappelahuse vahel.

Kvadrantelektrometriga võib tõendada ka allpool § 32 ja 35 toodud reegleid patarei pinget ja potentsiaali langemise kohta.

31. Tuttavamad galvani elemendid. Esimesel galvani elemendil, n. n. Volta elemendil (tsink ja vask väävelhappelahuses) ei ole praktilist tähtsust (põhjus vaata § 62).

Tegelikult tarvitatakse mitmesuguseid galvani elemente, mis erinevad üksteisest pinge suuruse, vastupidavuse ja odavuse poolest.

Tuttavate elementide hulka kuuluvad järgmised: kroomhappe-element (44. joon., I, tsink ja süsi kroomhappes, pinge $\sim 1,9$ V), Leclanché element (süsi mangaan-ühilapendiga kotikeses ja tsink, mõlemad salmiaagusulatises, pinge $\sim 1,4$ V), Danielli element (44. joon., II, poorse vaheseinaga eraldatud ühes anuma osas tsink nõrgas väävelhappes ja teises osas vask vasevitrioolilahuses, pinge $\sim 1,1$ V), n. n. kuiv element (elektroodid mingisuguses teatava vedelikuga leotatud aines, näit. saepurus, harilikult pigiga suletud), a k k u m u l a t o r (isesugused tinaplaadid väävelhappes, pinge ~ 2 V).



44. joon. Kroomhappe- ja Danielli element.

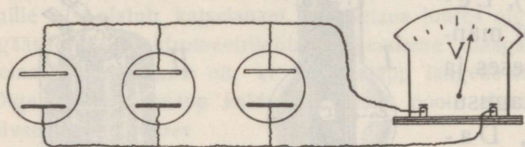
Elemendi pinge mõõtmiseks kasutame juba siin (kui ka edaspidi elektrodünaamikas) isesugust riista, n. n. **voltmeetrit**, olgugi et tema ehitust kirjeldame allpool (§ 46). Ühendame voltmeetri klemmid juhtmete abil elemendi elektrodidega, siis kaldub voltmeetri näitaja nullseisust kõrvale ja näitab astmikul elektrodide pinget voltides. Mõõtes voltmeetriga mitmesuguste elementide pingeid, saame isesugused resultaadid, tähendab, **elemendi emj. oleneb elektrodide ja vedeliku aimest**. Samatüübiliste elementide pinged on aga elemendi suuruse pääle vaatamata samad, tähendab, **elemendi emj. ei olene elektrodide suuruselt**.

Asetame voltmeetriga ühendatud elemendi isoleerivale alusele ja laeme ta mõnest teisest elektriallikast (ühendame ühe elektroodi kas Leydeni purgiga või elektrimasina konduktoriga), siis voltmeetri näitaja kaldumine ei muutu; tähendab **elemendi emj. on püsiv**.

On antud juhul emj. näit. 1 V (sõe pot. 1 V võrra kõrgem kui tsingi oma) ja laeme tsingi potentsiaalini +1000 V, siis tõuseb sõe potentsiaal +1001 V päälle (vahe 1 V); laeme sõe potentsiaalini -200 V, siis langeb tsingi potentsiaal -201 V päälle (vahe 1 V).

32. Elementide ühendamise patareiks. Katsume mitme elemendi ühendamise teel n. n. patareiks saada suuremat pinget ja võtame selleks näit. kolm ühesugust elementi.

a. Seame kokku patarei **kõrvustikku** ühendatud elementidest, tähendab, ühendame juhtmega isekeskis tsingist elektroodid ja

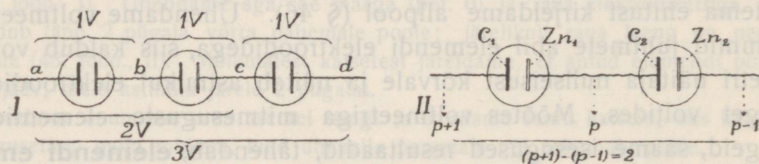


45. joon. Kõrvustikku ühendatud patarei pinge.

isekeskis sõest elektroodid, nagu näitab 45. joon. Ühendame nüüd ühise tsingijuhtme ühe voltmeetri klemmiga ja ühise sõe-

juhtme teise voltmeetri klemmiga, siis näitab voltmeeter sama emj., mis ühe ainsa elemendi puhul. Tähendab, **kõrvustikku ühendatud elementidest koosneva patarei emj. on sama suur kui ühe elemendi oma.** See on ka arusaadav, sest niisugune patarei mõjub nagu üks element suuremate elektroodidega.

b. Seame kokku patarei **järjestikku** ühendatud elementidest, s. o. ühendame iga eelmise elemendi tsingi järgmise elemendi sõega, nagu näitab 46. joon. I. Olgu iga elemendi emj. volt-



46. joon. Järjestikku ühendatud patarei pinge.

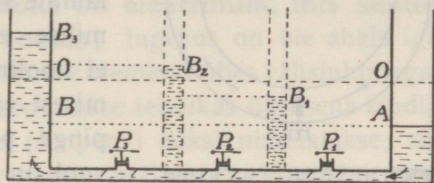
meetriga mõõdetuna 1 V. Ühenduses a ja c-ga näitab aga voltmeeter pinget 2 V ning ühenduses a ja d-ga 3 V. Me järeldame: **Järjestikku ühendatud elementidest koosneva patarei emj. võrdub üksikute elementide emj.-de summaga.**

Pinge tõusmine järjestikku ühendamisel seletub järgmiselt: Traadiga ühendatud elektroodide C_2 ja Zn_1 (46. joon. II) potentsiaalid peavad olema samad, näi-

teks p , sest nende vahel pole vedelikku ning selle tõttu puudub emj. Olgu üksiku elemendi emj. 1 V , siis on elementides mõjuvate elektromotoorsete jõudude tõttu Zn_2 potentsiaal 1 V võrra väiksem kui C_2 oma, tähendab $(p-1)\text{ V}$ ja C_1 pot. 1 V võrra suurem kui Zn_1 oma, tähendab $(p+1)\text{ V}$. Järelikult Zn_2 ja C_1 vahel on pinge $(p+1)\text{ V} - (p-1)\text{ V} = 2\text{ V}$. Samuti seletub edaspidine pinge tõusmine kolmanda jne. elemendi juurdelisamisel.

Hüdrostaatiline analoogia. Kujutleme eespool (41. joon.) kirjeldatud kaht anumad ühendatuna mitme kõrvustikku asetatud toruga ja igas torus veemootori (pumba), mis võib nivoovahet näit. 1 m alal hoida. Ka mitme mootori üheaegsel töötamisel nivoovahe üle 1 m ei tõuse (mispärast?).

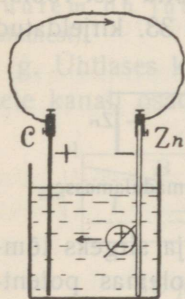
On aga anumad ühendatud toruga, milles töötavad mitu niisugust veemootorit järjestikku (47. joon.), siis tekib nende koosmõjul suurem nivoovahe (mispärast?). Kui varustada ühendustoru veel ülvalt lahtiste püsttorudega (joonises punkteeritud), siis on nivoovahe tõusmine üksikute mootorite mõjul otsenäha (pump P_1 pumpab A -st B_1 -sse, pump P_2 pumpab B_1 -st B_2 -sse jne.).



47. joon. Nivoovahe tõusmine järjestikku ühendatud veemootorite juures.

On aga anumad ühendatud toruga, milles töötavad mitu niisugust veemootorit järjestikku (47. joon.), siis tekib nende koosmõjul suurem nivoovahe (mispärast?). Kui varustada ühendustoru veel ülvalt lahtiste püsttorudega (joonises punkteeritud), siis on nivoovahe tõusmine üksikute mootorite mõjul otsenäha (pump P_1 pumpab A -st B_1 -sse, pump P_2 pumpab B_1 -st B_2 -sse jne.).

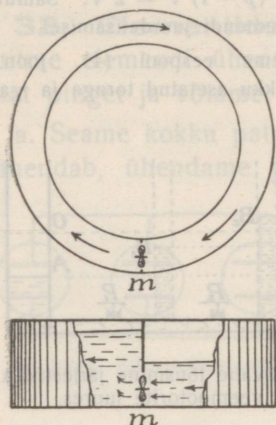
33. Elektrivoolu tekkimise tingimused. On kaks konduktoorit ühendatud juhtmega, siis voolab elekter läbi juhtme ühest konduktooriga teise ainult siis, kui konduktooriga potentsiaalid on isesugused. **Voolu tekkimise tingimuseks on juhtmes valitsev pinge.** Analooiliselt võib mõnes vett juhtivas kanalis vee voolamine ainult siis tekkida, kui on olemas nivoovahe (veemotoorne jõud), ja voolamine lõpeb, kui nivood on ühesugused. Elektrostaatikas oli meil tegemist ainult silmapilksete vooludega. Tahame juhtmes pikema-ajalist kestvat voolu saada, siis peame selleks laaditud konduktooriga asemel tarvitama mingisugust elektriallikat, mis kiire elektritekitamise tõttu pinget vahetpidamata alal hoiab; niisugune elektriallikas on näiteks galvani element.



48. joon. Kestev elektrivool juhtmes.

Ühendame elemendi elektroodid juhtmega (48. joon.), siis saame n. n. kinnise (suletud) ahela, milles tekib elektrivool. Allpool-

kirjeldatud nähtustest selgub, et elekter voolab läbi terve juhtme läbilõike nagu vesi torus, mitte juhtme välispinnal. **Voolu sihiks loetakse + elektri liikumissuht.** Nii siis voolab elekter



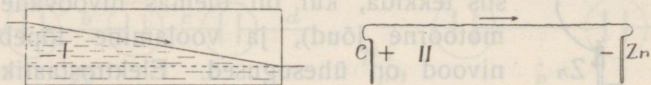
49. joon. Kestev veevool kanalis.

välisjuhtmes elemendi anoodist katoodile (söest tsingile); ta voolab aga ka elemendis (tsingist söele) läbi vedeliku, sest elektri lahutamise sünnib elemendis tsingi pinnal. Elektri lahutamise sünnib galvani elemendis keemilise energia mõjul nii ülikiiresti, et hoolimata kiiresti elektrite ühendamisest välisjuhtme kaudu elektroodide pinge palju ei lange ja selle tõttu vool on kestev.

Analoogiliselt tekib 49. joonises kujutatud ringitaolises kanalis kestev vee vool, kui vaheseinas asuv veemootor (m) jõuab nivoo vahet kogu aeg alal hoida (joonise lihtsustamise mõttes on eespooltarvitatud surujapumba asemele võetud mootor propelleriga).

34. Elektrodünaamilised ja hüdrodünaamilised analoogiad. Potentsiaali lang vooluahelas. Voolu tugevus; amper.

a. Kujutame § 33. kirjeldatud kanali läbi lõigatuna mootori kohal ja sirgeks tõmmatuna (50. joon., I). Kanali otsade vahel on olemas nivoo vahe, mille tõttu vesi voolab kõrgemast nivooast madalamasse. — Kujutame § 33. kirjeldatud



50. joon. Voolamine kõrgemast nivooast (potentsiaalid) madalamasse.

juhtme elemendiga elemendi kohal läbi lõigatuna ja sirgeks tõmmatuna (50. joon., II); juhtme otsade vahel on olemas potentsiaalide vahe, mille tõttu elekter voolab kõrgemast potentsiaalid madalamasse.

b. Suleme kanali ühes kohas, siis kaob vee vool terves kanalis ja sulgemiskohas on sama nivoo vahe kui mootori juures. Katkestame juhtme ühes kohas, siis kaob elektrivool

terves juhtmes ja katkestamiskohas on sama pinge kui elemendi juures.

c. Vee vool võib teha tööd, näiteks veemootori liikuma panna. — Elektrivool võib teha tööd, näit. elektromootori liikuma panna.

d. Vee voolu tugevuse mõõduks on vedeliku hulk, mis sekundis kanali läbilõikest läbi voolab; tugevus on üle kanali igal kohal ühesuurune (mispärast? ära sega tugevust töövõimsusega). — **Elektrivoolu tugevuse mõõduks on elektrihulk, mis sekundis juhtme läbilõikest läbi voolab**; tugevus on üle ahela igal kohal ühesuurune (ahelaks nimetame elementi ühes välisjuhtmega). Voolu tugevuse mõõtmiseks tarvitatakse tehnikas üksusena kindlat voolu tugevust, mida **ampriks** (Ampère'i auks) nimetatakse; see on niisuguse voolu tugevus, milles sekundis läbi ahela läbilõike voolab 1 kulon elektrit:

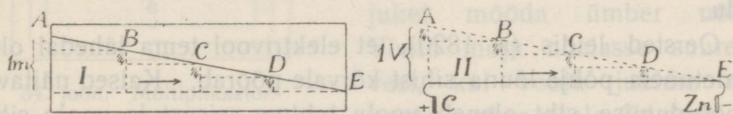
$$\text{amper} = \frac{\text{kulon}}{\text{sek.}}$$

Käesoleva raamatu elektrodünaamika-osas tarvitame ainult tehnilist mõõdusüsteemi (üksused volt, kulon, amper jne.); teoreetilises füüsikas tarvitatakse veel teist mõõdusüsteemi (n. n. elektromagnetilises mõõdusüsteemis on üksus 1 weber = 10 ampr.).

e. Vee vool on seda tugevam, mida suurem on nivoovahe. — Elektrivool on seda tugevam, mida suurem on potentsiaalide vahe (pinge, emj.).

f. Vee vool on seda nõrgem, mida suurem on kanali takistus (kitsas või pikk kanal, rohi kanalis). — Elektrivool on seda nõrgem, mida suurem on juhtme takistus (peenike või pikk traat, traat halvast juhtmest).

g. Ühtlases kanalis langeb vee nivoo ühtlaselt, tähendab, võrdsete kanali osade kohta ühevõrra. On nivoovahe kanali kahe

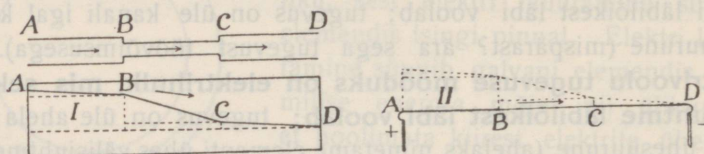


51. joon. Nivoo (potentsiaali) lang ühtlases kanalis (juhtmes).

punkti vahel 1 m (51. joon., I), siis langeb nivoo näiteks iga $\frac{1}{4}$ selle vahe pikkuse kohta $\frac{1}{4}$ m võrra. — **Ühtlases juhtmes langeb potentsiaal ühtlaselt**, s. o. võrdsete juhtme osade

kohta ühevõrra. On pinge juhtme kahe punkti vahel 1 V (51. joon., II), siis langeb potentsiaal näiteks selle vahe iga $\frac{1}{4}$ pikkuse kohta $\frac{1}{4}$ V võrra. Katseliselt võime seda tõendada, mõõtes voltmeetriga pingeid üksikute juhtme neljandikkude vahel.

h. Mitteühtlases kanalil langeb nivoo kanali kitsamas osas järsku (suurem takistus, 52. joon., I), s. o. kanali sama pika osa kohta



52. joon. Nivoo (potentsiaali) langemine mitteühtlases kanalil (juhtmes).

rohkem kui kanali laiemas osas. — **Mitteühtlases juhtmes langeb potentsiaal juhtme peenemas osas suuremal määral** (suurem takistus, 52. joon., II), tähendab, sama juhtmeosa pikkuse kohta rohkem kui juhtme jämedamas osas. Katseliselt tõendame seda voltmeetriga.

1. Too näiteid selle kohta, et vee- ja elektrivoolu analoogia ei ole täieline.
2. Viie minuti jooksul voolab läbi juhtme 450 kulonit elektrit. Kui tugev on elektrivool?
3. Voolu tugevus on 12 amprit. Kui palju elektrit voolab läbi ahela 20 minuti jooksul?

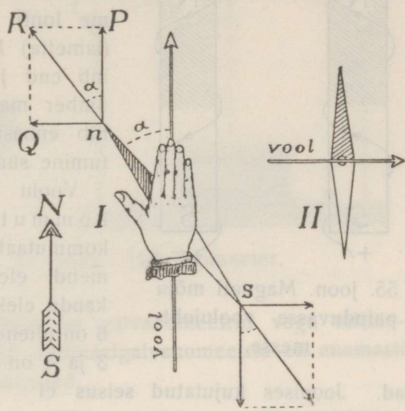
Voolu magnetiline tegevus. Galvanomeeter.

35. Voolu mõju magnetnõelasse. Multiplikaator. Elektrivoolu ennast me ei näe; ta avaldub ainult kõrvalnähtuste kaudu.

a. Oersted leidis (a. 1820), et elektrivool tema lähedal oleva magnetnõela põhja-lõuna sihist kõrvale pöörab. Katsed näitavad, et pöördumise siht oleneb voolu juhtme seisust ja voolu sihist. Pöörmissihti määrab n.n. parema käe reegel: **kui parem käsi hoida juhtme pääl nii, et sõrmed näitavad voolu sihti ja peopesa on pöördud nõela poole, siis nõela põhjapoolus kaldub kõrvale pöidla sihis** (*S*-poolus vastas-sihis, 53. joon., I). Vool püüab magnetnõela voolu sihile risti pöörduda, mis järgneb sellest, et vool

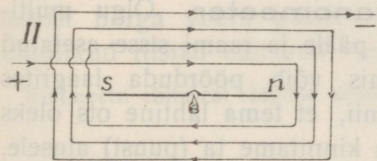
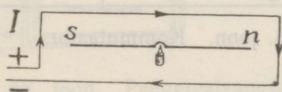
nõela ei pööra, kui me teda ristjoones ida-lääne sihis üle nõela juhime, nagu näitab 53. joon., II.

Olgu vool juhitud lõuna-põhja sihis üle nõela ja nõela kõrvalekaldumis-nurk α (53. joon., I). Põhjapoolusesse mõjub tung P lõuna-põhja sihis (maakera mõju) ja tung Q risti voolu sihile (voolu mõju). Mõlemate tungide koosmõjul asetub nõel resultanttungi R sihis. Voolu tugevuse (komponendi Q) suurenemisega kasvab kaldumisnurk α , kuid mitte võrdeliselt voolu tugevusega ($\tan \alpha = \frac{Q}{P}$); ka ülitugeva voolu puhul on kaldumisnurk ikkagi väiksem kui 90° ($\tan \alpha = \frac{Q}{P}$ on $< \infty$).



53. joon. Voolu mõju magnetnõelasse.

Magnetnõela kaldumise põhjal võime tunda, kas juhtmes voolab elekter, ja võime ka parema käe reeglit kasutades voolu sihi kindlaks määrata.



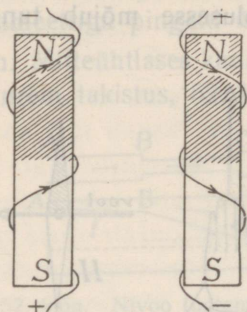
54. joon. Multiplikaator.

ta on näit. 10-ne keeru juures 10 korda suurem kui ühe keeru juures. Niisugust magnetnõela ümbritsevat keerdude süsteemi isoleeritud traadist nimetatakse **multiplikaatoriks**.

On näiteks voolu tugevus 2 (või 3) amprit ja keerdude arv 20 (või 50), siis mõjuvad nõelasse $2 \cdot 20 = 40$ (või $3 \cdot 50 = 150$) ampere-keerdude (voolu tugevuse ja keerdude arvu korrutis).

b. Kui nõrga voolu puhul nõela kaldumine ei ole tunduv, siis juhime voolu ümber nõela (54. joon., I), mille tõttu nõela kaldumine suureneb, sest üksikud voolu osad pööravad nõela samas sihis (tõenduseks nihutame parema käe reeglile vastavalt juhet mööda ümber nõela). Voolu mõju nõelasse suureneb veel, kui voolu juhime mitu korda ümber nõela (54. joon., II);

Voolu mõju magnetnõelasse kasvab voolu tugevuse ja keerdude arvu suurenemisega, tähendab amper-keerdude arvu suurenemisega.

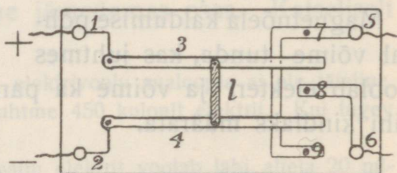


55. joon. Magneti mõju painduvasse voolujuhtmesse.

Et voolu ja magneti mõju on vastastikune, seda näitab järgmine katse: hoia me lonti rippuva kergesti painduva voolujuhtme (lametta) küljes magnetpulka (55. joon.), siis mähib end juhe voolu läbimisekul spiraalitaoliselt ümber magneti. Voolu sihi muutumisel ta mähib ennast ümber pulga vastassihis. Tema asetumine sünnib vastavalt parema käe reeglile.

Voolu sihi kiireks muutmiseks tarvitatakse kommutaatoreid. 56. joon. kujutab lihtsat kommutaatorit. Klemmid 1 ja 2 ühendatakse elemendi elektrodidega, kuna klemmide 5 ja 6 kaudu elektrit edasi juhitakse. Klemmidega 5 ja 6 on ühendatud vaseribad vasknuppudega 7, 8 ja 9. 3 ja 4 on isoleeriva liistuga l ühendatud vaskvändad.

Joonises kujutatud seisus ei puutu vändad nuppude ega vaseribade külge ja klemmide 5 ja 6 ühendus elektrodidega on katkestatud. Pöörame vändad nuppude 7 ja 8 päälle, siis saame klemmist 5 positiivset ja klemmist 6 negatiivset elektrit. Samadest klemmidest saame vastupidist elektrit, kui pöörame vändad kontakti nuppudega 8 ja 9.



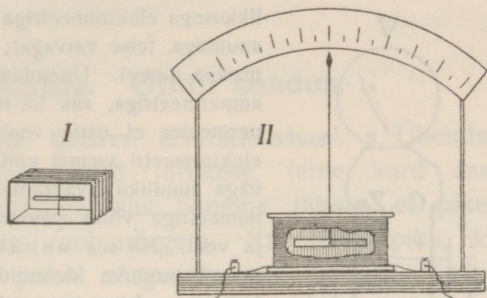
56. joon. Kommutaator.

36. Galvanoskoop. Galvanomeeter. Olgu multiplikaatoris mähitud traat raamikese pääle ja raami sisse asetatud teljega varustatud magnetpulk, mis võib pöörduda laagrites (57. joon, I). Asetame raamikese nii, et tema lahtine ots oleks pöördud ülespoole (57. joon., II) ja kinnitame ta (puust) alusele, siis voolu läbimisekul pöördub magnet vertikaalpinnas ja ühes temaga magneti külge kinnitatud pikk kerge näitaja, mille ots raamikesest välja ulatub. Multiplikaatori traadi otsad ühendame alusesse kravitud klemmidega, millede kaudu riist lülitatakse vooluahelasse. Niisugune riist näitab, kas ahelas on voolu või mitte, ja nimetatakse **galvanoskoobiks** (vertikaalgalvanoskoobiks).

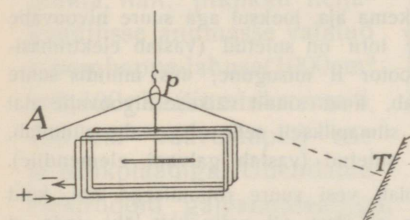
Kuhupoole kaldub näitaja, see oleneb voolu sihist. Kui oleme kindlaks teinud näitaja kaldumissihhi pahema klemmi ühendami-

sel anoodiga ja parema ühendamisel katoodiga, siis võime näitaja kaldumissihi põhjal määrata voolu sihti ahelas. Ka võime kaldumise suuruse põhjal võrrelda voolude tugevusi. On niisugune riist varustatud astmikuga, siis teda nimetatakse **galvanomeetriks**. Näitab galvanomeeter voolu tugevust amprites, siis nimetame teda **ampermeetriks**.

Magnetiga galvanomeetrid ei ole väga täpsed; on olemas teissugused täpsemad tüübid. Kuju poolest on galvanomeetrid väga mitmesugused, harilikud katselauale asetatavad vertikaalgalvanomeetrid on enamasti neljakandilised, seinale riputatavad ümmargused.



57. joon. Galvanomeeter.



58. joon. Peegelgalvanomeeter.

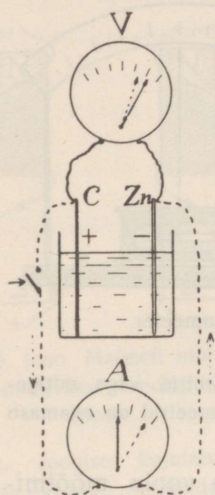
Väga nõrga voolu mõõtmiseks tarvitatakse peegelgalvanomeetrit. Lihtsamas peegelgalvanomeetris ripub peegliga varustatud väike magnetpulgake (58. joon.) multiplikaatori sees läbi raami tõmmatud peenikese niidi küljes. Väiksemat magneti kal-

dumist nõrga voolu puhul näitab valgusetäpi liikumine seinal (tundlikud riistad näitavad veel 10^{-11} A).

Voltmeetri ehitusest räägime allpool (§ 46).

37. Klemmide pinge. Galvani element ja elektrimasin. a. Ühendame elemendi elektroodid voltmeetriga (V 59. joon.); voltmeeter näitab selle lahtise elemendi elektroodide pinget. Ühendame pääle selle elektroodid teiste juhtmete abil (joonises punkteeritud) ampermeetriga, siis saame kinnise elemendi ja suletud ahela; ampermeeter näitab voolu, kuid elektroodide pinge on nüüd väiksem. Lahtise elemendi elektroodide pinget nimetasime varemalt elektromotoorseks jõuks; kinnise elemendi

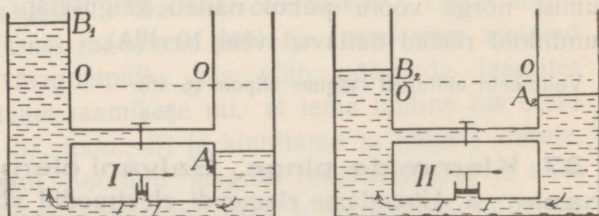
elektroodide pinget nimetame **klemmide pingeks**. Klemmide pinge on väiksem kui elemendi emj.



59. joon. Lahtise elemendi emj. ja kinnise elemendi klemmide pinge.

Avame I juures teise toru, siis voolab vesi suure rõhumisega läbi, kuid ainult väga lühikest aega, sest mootor ei jõua nii palju vett läbi ajada, et nivoovahet alal hoida, ja vahe langeb kiiresti peaaegu nullini. Avamismomendil tekib ainult voolu

tõuge, mis võiks teise torusse asetatud turbiini pürustada; siis jääb aga vool koguni nõrgaks (elektrimasina vool). — Avame II juures teise toru, siis väheneb ka nivoovahe, kuid mitte ligi nullini, sest mootor ajab palju vett läbi. Voolu tõuke asemele tekib teises torus kestev võrdlemisi tugev vool, mis võiks torusse asetatud turbiini ümber ajada (galvani elemendi vool). Nii siis vastab elektrimasina lühiajaline voolutõuge tule-



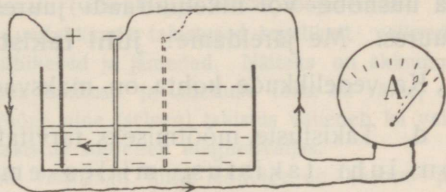
60. joon. Elektrimasina ja galvani elemendi hüdrodünaamiline analoogia.

tõrje-printsist voolavale veejoale, mis võib isegi midagi purustada (väike hulk, suur rõhumine), galvani elemendi vool aga jõe voolule, mis võib alaliselt vesiratast ajada ja tööd teha (suur hulk, väike rõhumine).

Juhi takistus. Ohmi seadus.

38. Juhi takistus. Oom. Eritakistus. a. Ühendame galvanomeetri elemendiga kord lühikese, teine kord samasuguse, kuid pikema traadiga, siis paneme tähele, et pikema ühendustraadi puhul on vool nõrgem. Ka sama pika, kuid peenema ühendustraadi puhul nõrgeneb vool. Nii siis takistavad juhtmed elektri läbivoolamist ja takistus on seda suurem, mida pikem ja peenem on juhe (missugune on hüdrodünaamiline analoogia veevärgis?).

Võtame elemendi, mille elektrodide kaugust võib muuta, näit. piklikku neljakandilisse anumasse valatud kroomhappe-lahuse (1000cm^3 vett, 100g kaaliumbikromaati, 100 cm^3 väävelhapet) sõe ja tsinkplaadiga. Ühendame



61. joon. Elemendi sisetakistus.

elektroodid galvanomeetriga, ja muudame elektrodide kaugust (61. joon.). Elektrodide kaugenemisel nõrgeneb vool. Jätame aga elektrodide kauguse muutmatuks ja valame rohkem vedelikku anumasse, siis tugevneb vool. Järelikult ka vedel juht takistab elektri voolamist ja seda rohkem, mida pikem ja peenem on vedelikusammas. Nii siis, ahela kogutakistus koosneb välistakistusest (välisjuhtmes) ja sisetakistusest (elemendi sees).

b.*) Ühendame galvanomeetri elemendiga raudtraadi abil, mille kogupikkus on näiteks 3 m ; voolu tugevus olgu $1,5\text{ ampr.}$ Võtame samasuguse, kuid kaks kord pikema ühendustraadi, siis on voolu tugevus $0,75\text{ ampr.}$, s. o. kaks kord väiksem; nii siis

*) Järgnevais katseis tarvitame elementi suurte ja üksteise ligidal olevate elektrodidega (akkumulaatorit), mille sisetakistus ei ole tunduv, ja galvanomeetrit mittetunduva takistusega.

on kaks kord pikema traadi takistus kaks kord suurem. Samuti näeme, et pikendades traati 3, 4... korda, takistus suureneb 3, 4... korda. Me järeldame: **juhi takistus on võrdeline tema pikkusega.**

Võtame eespooltarvitatud kolmemeetrilise traadi asemele sama pika, kuid kaks korda suurema läbilõikega ühendustraadi (võib kaks traati kokku keerata), siis on vool kaks kord tugevam, tähendab takistus on kaks kord väiksem. Võtame sama pika, kuid kolm kord suurema läbilõikega traadi, siis on vool kolm kord tugevam jne. Me järeldame: **juhi takistus on pöördvõrdeline läbilõike suurusega.**

c. Tarvitame galvanomeetri ja elemendi ühendamiseks sama pikki ja jämedaid, kuid isesugustest ainetest traate, siis näeme, et vool on vasktraadi puhul palju tugevam kui raudtraadi puhul ja uushõbe- või nikeliintraadi juures veel nõrgem kui raudtraadi juures. Me järeldame: **juhi takistus oleneb juhi ainest.**

Ka vedelikkude kohta on maksivad samad seadused.

d. Takistuste mõõtmiseks tarvitatakse üksusena **oomi** (Ω), see on juhi takistus, milles emj. 1 volt tekitab voolu 1 amper. Sellega kooskõlas defineeritakse tehnikas oomi kui **106,3 cm pikkuse ja 1 mm² läbilõikega elavhõbeda-samba takistust 0^o juures.** Normaaltakistustena tarvitatakse traate (harilikult manganiinist spiraaliks või rulliks mähitud), millel on ülles märgitud takistuse suurused oomides. Takistuste mõõtmistel loeme takistusi võrdseteks, kui me neid eraldi samasse vooluahelasse lülitades saame sama voolutugevuse.

e. Juhi takistuse arvutamiseks on tarvis teada tema aine **eritakistus**, s. o. sellest ainest 1 m pikkuse ja 1 mm² jämeduse traadi takistus (oomides). Järgmises tabelis on antud mõned eritakistused (18^o juures, ümmarguselt)

vask	0,02	manganiin	0,42
alumiinium	0,03	väävelhape (30 ^o /o) .	13 520
raud	~ 0,12	„ (20 ^o /o) .	15 000
elavhõbe	0,96	„ (5 ^o /o) .	48 000
uushõbe	~ 0,30	keedusoola-lahus(20 ^o /o)	50 000
nikeliin	0,40	vasevitriooli „ (18 ^o /o)	220 000

Näide: Leida telegraafiliini raudtraadi takistus, mille pikkus on 15 km ja läbilõige 2 mm².

Pikkus 1 m, läbilõige 1 mm², takistus 0,1 Ω

„ 15 km, „ 2 „ „ x „

$$x = \frac{0,1 \cdot 1500}{2} \Omega = 750 \Omega$$

Juhi takistus R võime arvutada ka valemi põhjal $R = \frac{c1}{q} \Omega$, kus c tähendab juhi aine eritakistust, l tema pikkust meetrites ja q tema läbilõiget mm²-tes.

Arvutamise teel saadud resultaadid ei ole täpsed, sest juhi materjal harilikult ei ole keemiliselt puhas ja väiksemad lisandused muudavad aine eritakistust. Ka muutub eritakistus temperatuuri muutumisega. Kõva metalli takistus suureneb temperatuuri tõusmisega (1^o võrra soojenemisel keskmiselt 0,4^o/o võrra); mõned metallid kaotavad täiesti takistuse absoluutse nulli läheduses. Ainult mõnede sulatiste (näit. manganiini) eritakistused soojenemisel tunduvalt ei muutu ja sellepärast tehakse normaaltakistused niisugustest sulatistest. Vedelikkude eritakistused vähenevad temperatuuri tõusmisel õige tunduvalt (väävelhappe-lahuse soojenemisel 0^o kuni 30^o ~ 70^o/o võrra). Üldse on vedelikkude takistused tegelikult väikesed, sest vedelikusambad on enamasti lühikesed ja jämedad. Näiteks on akkumulaatori sisetakistus elektroodide pinna suuruse ja läheduse tõttu nii väike, et teda harilikult arvesse ei võeta. Mõne aine (seleen) takistus väheneb ka valgustamisel; mõne aine (vismut) eritakistus suureneb magnetiväljas.

1. Elektrikella ahela juhtmeks on vasktraat, mille läbilõige on 0,5 mm² ja pikkus 60 m. Leia juhtme takistus.

2. Leia nikeliintraadi pikkus, mille läbilõige on 0,6 mm² ja takistus 20 Ω.

3. Klaastoru, mille läbimõõt on 1,2 mm ja pikkus 75 cm, on täidetud elavhõbedaga. Leia elavhõbeda-samba takistus.

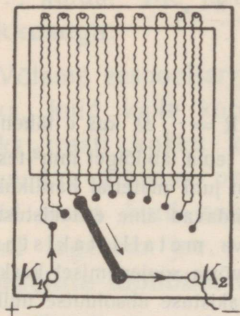
4. Kui palju kaalub raudtraat, mille läbimõõt on 1 mm ja takistus 50 Ω (erikaal 7,8)?

5. Akkumulaatori elektroodide pindade suurused olgu 4 dm² ja nende vastastikune kaugus 1,5 cm. Leia vedeliku (20^o/o väävelhappe) takistus elektroodide vahel.

6. Leia Tartu ja Tallinna vahelise rauast telegraafiliini takistus, mille läbimõõt on 4 mm ja pikkus 191 km. Mitme Ω võrra muutub takistus temperatuuri muutumisel — 30^o C kuni + 40^o C?

39. Reostaat. Reostaadiks nimetatakse riista, mis lülitatakse vooluahelasse takistuse hõlpsaks muutmiseks. Hariliku reostaadi pääosadeks on traat suure eritakistusega ainst, mis on keeratud spiraaliks, et ta vähem ruumi võtaks, ja mingisugune liikuv kontakt, mille abil võib muuta ahelasse lülitatud traadi osa pikkust.

62. joon. kujutab v ä n t r e o s t a a t i. Isoleerivale raamile kinnitatud vasest vânt liigub vasest nuppude pääl; nupud on ühendatud takistustraadiga. Vända pöörmisel muutub ahelasse lülitatud takistustraadi pikkus, tähendab ahela takistus. Nuppude kõrval on harilikult märgitud vastavad takistuste suurused oomides.

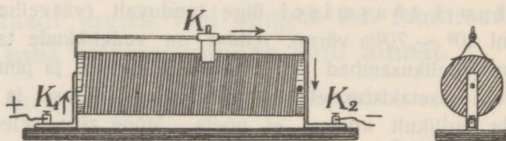


62. joon. Vântreostaat.

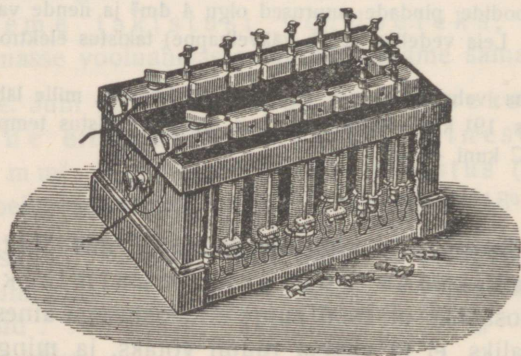
K_1 kuni liikuva kontaktini (K) võib muuta.

64. joon. kujutab takistuskasti, mida tarvitatakse täpsemate mõõtmiste jaoks (eespooltoodud reostaadid tarvitatakse voolu tugevuse reguleerimiseks).

Isoleerivale kaanele on kinnitatud paksemad vaskplaadikesed ja ühendatud vasest pulkade abil. Kõrvuti seisvad plaadid on veel ühendatud kasti sisse paigutatud ja rullideks keeratud takistustraadidega (1, 2, 2, 5, 10, 20, 20, 50 jne. Ω). On kõik pulgad aukudes, siis läheb vool takistamata läbi paksu vase. Takistuste lülitamiseks tuleb välja võtta vastavad pulgad.



63. joon. Rullreostaat.



64. joon. Takistuskast.

Tundmatut takistust mõõdame võrdlemise teel, lülitades tundmatu takistuse asemele samasse vooluahelasse takistus-
kasti ja reguleerides kasti takistust nii, et voolu tugevus oleks
sama. Selleks peab aga võtma kindla pingega vooluallika (akku-
mulaator).

* Takistuse mõõtmise Wheatstone'i silla abil vaata § 45.

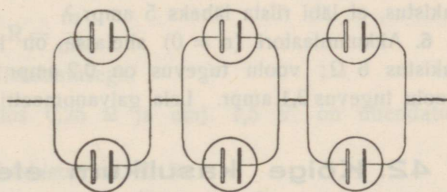
40. Patarei sisetakistus. Olgu n elementi iga sise-
takistus r .

Ühendame järjestikku 2, 3... n elementi (45. joon.), siis
on vedelikusammas, millest elekter läbi voolab, 2, 3... n kord
pikem, järelikult patarei sisetakistus 2, 3... n kord suurem kui
ühe elemendi oma, tähendab, $2r, 3r, \dots nr$.

Ühendame kõrvustikku 2, 3... n elementi (46. joon.), siis ei
muutu vedelikusamba pikkus, millest elekter läbi voolab, kuid
samba läbilõige on 2, 3... n kord suurem, järelikult patarei sise-
takistus 2, 3... n kord väiksem kui ühe elemendi oma,
tähendab $\frac{r}{2}, \frac{r}{3}, \dots \frac{r}{n}$.

Ühendame näiteks 6 elementi nii, nagu näitab 65. joon., paari-
kaupa kõrvustikku gruppidesse ja kolm gruppi järjestikku (sega-
ühendus). Iga grupi sise-

takistus on $\frac{r}{2}$ ja patarei
sisetakistus $3 \cdot \frac{r}{2}$.



65. joon. Segäühendus.

*1. Patarei koosneb kahest jär-
jestikku ühendatud grupist, igas
grupis on kolm kõrvustikku ühen-
datud elementi. Ühe elemendi
emj. ja sisetakistus on vast. 1,5 V
ja 0,75 Ω . Leia patarei sisetakistus ja emj.

2. Antud on 12 elementi, mille sisetakistus on 1,5 Ω ja emj. 1,2 V. Leia
sisetakistus ja emj. mitmesugustes segäühendustes.

41. Ohmi seadus ahelas. Eelmised katsed näitavad, et
voolu tugevus suureneb pinge suurenemisega ja väheneb takis-
tuse suurenemisega. Olenevust uurides leidis Ohm, et **voolu**
tugevus on võrdeline elektromotoorse jõuga ja pöördvõr-
deline ahela kogutakistusega. Tähdame voolu tugevuse

J-ga, elektromotoorse jõu E-ga ja ahela kogutakistuse R-ga, siis väljendub **Ohmi seadus** matemaatiliselt

$$J = k \cdot \frac{E}{R},$$

kus k on võrdetegur, mille suurus oleneb üksuste valikust. Tarvitame üksused amper, volt ja oom, siis tegur k muutub üheks, nii et

$$J \text{ (amper)} = \frac{E \text{ (volt)}}{R \text{ (oom)}}.$$

Vaadeldes vooluallika sisetakistust (r_s) ja ahela välistakistust (r_v) eraldi, siis

$$J = \frac{E}{R_s + R_v}.$$

1. Elemendi emj. on 1,6 V ja ahela kogutakistus 4 Ω . Leida voolu tugevus.
2. Elemendi emj. on 2 V ja voolu tugevus 3 ampr. Leida ahela kogutakistus.
3. Elemendi sisetakistus on 0,5 Ω , ahela välistakistus 0,75 Ω ja voolu tugevus 1,4 ampr. Leida elemendi emj.
4. Tina-akkumulaatori emj. on 2 V; sisetakistus ei ole tunduv. Mitu tina-akkumulaatorit tuleks ühendada patareiks, et välistakistuse 8 Ω juures voolu tugevus oleks 1,5 ampr.?
5. Elektririist, mille takistus on 10 Ω , on ühes reostaadiga lülitatud järjestikku valgustusvõrku, mille pinge on 220 V. Kui suur peab olema reostaadi takistus, et läbi riista läheks 5 ampr.?
6. Akkumulaatori ($r_s = 0$) ahelasse on lülitatud järjestikku ampermeeter ja takistus 6 Ω ; voolu tugevus on 0,2 ampr. Juurde lisades takistuse 11 Ω , on voolu tugevus 0,1 ampr. Leia galvanomeetri takistus ja akkumulaatori emj.

42. Kõige kasulikum elementide ühendamine patareiks. On välistakistus palju suurem kui ühe elemendi sisetakistus, siis ühendame elemendid järjestikku, sest suurem emj. tekitab tugevamat voolu ja võrdlemisi väikse sisetakistuse suurendamine ei avalda suure välistakistuse juures tunduvat voolu nõrgendavat mõju.

On välistakistus palju väiksem kui ühe elemendi sisetakistus, siis me järjestikku-ühendamisega voolu tugevuse suhtes midagi ei võida; ühes emj. suurenemisega suureneb ka võrdlemisi suur sisetakistus (võrdeliselt emj.-ga). Antud juhul on kasulik vähendada võrdlemisi suurt sisetakistust ja selleks ühendatakse elemendid **kõrvustikku**.

Kui välistakistus sisetakistusest väga tunduvalt lahku ei lähe, siis on kasulik segaühendus.

Matemaatiline arutus näitab, et voolu tugevuse suhtes on niisugune elementide ühendus (kõrv., järj. või sega-) kõige kasulikum, mille juures patarei sisetakistus võrdub välistakistusega. Et seda nõuet harilikult ei saa täpselt täita, siis tuleb valida ühendus, mille juures sisetakistus kõige vähem lahku läheb välistakistusest.

*b. Olgu antud n ühesugust elementi; elementi emj. olgu e ja sisetakistus r . Ühendame elemendid kõrvustikku gruppidesse, igas grupis m elementi, ja saadud $\frac{n}{m}$ grupi ühendame järjestikku.

Siis ühe grupi emj. on e ja sisetakistus $\frac{r}{m}$. Patarei emj. on $\frac{n}{m} \cdot e$ ja sisetakistus $\frac{r}{m} \cdot \frac{n}{m} = \frac{rn}{m^2}$. Olgu välistakistus R , siis voolu tugevus

$$J = \frac{\frac{n}{m} e}{\frac{rn}{m^2} + R} = \frac{nem}{rn + Rm^2}$$

Et leida antud elementide ja välistakistuse kohta kõige kasulikum ühendus, selleks võtame J tuletise m järele

$$J' = \frac{(rn + Rm^2) ne - nem \cdot 2Rm}{(rn + Rm^2)^2} = \frac{rn^2e + Rnem^2 - 2Rnem^2}{(rn + Rm^2)^2} = \frac{rn^2e - Rnem^2}{(rn + Rm^2)^2}$$

Diferentsiaalrjutamisest teame, et maksimumi puhul tuletis peab olema null:

$$rn^2e - Rnem^2 = 0$$

$$Rm^2 = rn$$

$$R = \frac{rn}{m^2}$$

s. o. sisetakistus peab võrduma välistakistusega.

1. 6 elementi, millede sisetakistus $0,25 \Omega$ ja emj. $1,5 \text{ V}$, on ühendatud kõrvustikku, vst. järjestikku.

a) Leida voolu tugevus, kui välistakistus on 30Ω .

b) Leida voolu tugevus, kui välistakistus on $\frac{1}{30} \Omega$.

Võrdle saadud neli resultaati.

2. Antud on 12 elementi, millede sisetakistus on $0,5 \Omega$ ja emj. $1,5 \text{ V}$. Leida kõige kasulikum ühendus, kui välistakistus on

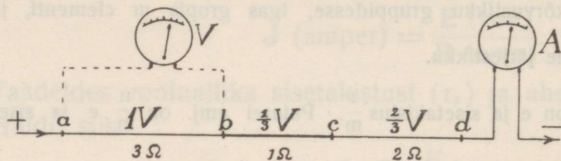
a) $1,2 \Omega$.

b) $0,2 \Omega$.

43. Potentsiaali lang ja Ohmi seadus ahela osades. a. Eespool nägime (§ 34), et ühtlases juhis langeb potentsiaal ühtlaselt, mitteühtlase juhi peenemas osas aga järsku. On arusaadav, et potentsiaali lang juhi osas on seotud

juhi osa takistusega. Mõõtmised näitavad, et ahela osas potentsiaal langeb võrdeliselt selle ahela osa takistusega ehk pinge ahela kahe punkti vahel on võrdeline nende punktide vahelise takistusega.

Tõenduseks juhime voolu läbi ahela (66. joon.), mille osade takistused on näit. a ja b vahel $r_{a-b} = 3 \Omega$, b ja c vahel $r_{b-c} = 1 \Omega$, c ja d vahel $r_{c-d} = 2 \Omega$. Olgu voltmeetriga mõõdetuna pinge a ja d vahel $P_{a-d} = 2 \text{ V}$, siis langeb pinge 6Ω kohta 2 V võrra.



66. joon. Potentsiaali langus olemasjuhi osa takistusest.

Mõõtmised voltmeetriga näitavad, et antud juhul pinged

ahela osade otsade vahel on $P_{a-b} = 1 \text{ V}$, $P_{b-c} = 1/3 \text{ V}$, $P_{c-d} = 2/3 \text{ V}$ ja tõelikult $P_{a-b} : P_{b-c} : P_{c-d} = r_{a-b} : r_{b-c} : r_{c-d} = 3 : 1 : 2$.

b. Ka elemendis langeb potentsiaal voolu võtmisel elemendi vedeliku kui ahela osa takistuse tõttu ja sellepärast ongi kinnise elemendi klemmide pinge (§ 37) väiksem kui lahtise elemendi emj. Potentsiaali langus elemendis on seda suurem, mida väiksem on välisjuhtme takistus võrreldes elemendi sisetakistusega (mispärast?). Nii siis langeb klemmide pinge välistakistuse vähenemisega ja element võib anda maksimaalset voolu $\frac{e}{r_s}$, kui $r_v = 0$.

On lahtise elemendi emj. e , siis voolu tugevus

$$i = \frac{e}{r_s + r_v}$$

$$e = ir_s + ir_v = e_s + e_v,$$

tähendab, emj. voolu võtmisel jaguneb kaheks osaks

$$e_s = ir_s \text{ ja } e_v = ir_v,$$

mis suhtuvad nagu sisetakistus ja välistakistus. Pinge $e_s = e - e_v$ ajab elektrit läbi elemendi vedeliku ($i = e_s : r_s$) ja klemmide pinge e_v ajab sama elektrihulga läbi välisjuhtme ($i = e_v : r_v$).

c. Mõõtmised näitavad, et Ohmi seadus on maksev ahela iga osa kohta, tähendab, me leiame alati õige voolutugevuse, kui ahela osa otsade vahel oleva pinge jagame ahela selle osa takistusega.

Seda tõendab ka matemaatiline arutus. Olgu elemendi sisetakistus r_s , ahela välisjuhtme osade takistused r_1, r_2 jne., potentsiaali langus elemendis e_s ning

välisjuhtme osades vst. e_1, e_2 jne., siis (käesoleva § pkt. a põhjal)

$$e_s : e_1 : e_2 \dots = r_s : r_1 : r_2 \dots$$

Järelikult

$$\begin{aligned} \frac{e_s}{r_s} &= \frac{e_1}{r_1} = \frac{e_2}{r_2} \dots = \frac{e_s + e_1 + e_2 + \dots}{r_s + r_1 + r_2 + \dots} = \frac{e_s + e_v}{r_s + r_v} = \\ &= \frac{\text{emj.}}{\text{kogutakistus}} = \text{voolu tugevus.} \end{aligned}$$

1. Lülitades ahelasse ampermeetri eespool (66. joon.) kirjeldatud katses leiame, et voolu tugevus on $\frac{1}{3}$ ampr. Näita, et see on kokkukõlas Ohmi seaduse maksvusega ahela iga osa kohta.

2. Missugune pinge E tuleb võtta, et leida voolu tugevus valemi $J = E : R$ põhjal, kui R tähendab: a) ahela kogutakistust, b) ahela välistakistust?

3. Antud elektririista takistus on 5Ω ja ta tarvitab normaalseks töötamiseks 4 ampr.

a) Kui suur peab olema pinge riista klemmide vahel normaalsel töötamisel?

b) Kui tugev vool läheks läbi riista ühenduses valgustusvõrguga (ilma reostaadita), mille pinge on 220 V?

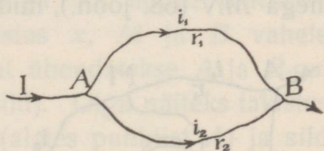
c) Kui suur peaks olema riistaga järjestikku lülitatud reostaadi takistus, et ühendades valgustusvõrguga riista klemmide vahel oleks tarvilik (eespool a leitud) pinge?

d) Kui tugev on vool eelmises küsimuses (c) leitud tingimustel?

4. Mispärast on pinge lambipesas peaaegu sama kui võrgu juhtmete vahel jaama juures?

Voolu harunemine.

44. Haruvool. Kirchhoffi seadused. a. Haruneb voolujuhe punkt A -s (67. joon.) ja ühinevad harud uuesti punkt B -s, siis sünnib ka päävoolu harunemine punkt A -s ja haruvoolude ühinemine punkt B -s (missugune on vastav hüdrodünaamiline analoogia?). Haruvoolude kohta käivad seadused on Kirchhoffi leitud.



67. joon. Voolu harunemine.

Olgu päävoolu tugevus J , haruvoolude tugevused i_1 ja i_2 , siis

$$J = i_1 + i_2 \dots \dots \dots (1)$$

Tähendab, **päävoolu tugevus võrdub haruvoolude tugevuste summaga.** See on iseenesest mõistetav (missugune on hüdrodünaamiline analoogia?).

Olgu harude takistused r_1 ja r_2 ja pinge A ja B vahel V , siis on Ohmi seaduse põhjal

$$i_2 = \frac{V}{r_2}, \quad i_1 = \frac{V}{r_1},$$

järelikult

$$i_1 : i_2 = \frac{V}{r_1} : \frac{V}{r_2} = r_2 : r_1 \dots \dots \dots (2)$$

Tähendab, haruvoolude tugevused on pöördvõrdelised harude takistustega (vastav hüdrodünaamiline analoogia?).

*b. Olgu harunemise kogutakistus (voolu takistus A ja B vahel) R , siis on Ohmi seaduse põhjal ahela osa AB kohta

$$J = \frac{V}{R}$$

ja valemi (1) põhjal

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{r_1} + \frac{V}{r_2}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}.$$

Selle valemi abil võib leida harunemise kogutakistuse, kui on teada üksikute harujuhtmete takistused.

1. Päävoolu tugevus on 6 ampr.; harunemise takistused on $r_1 = 6 \Omega$ ja $r_2 = 9 \Omega$.

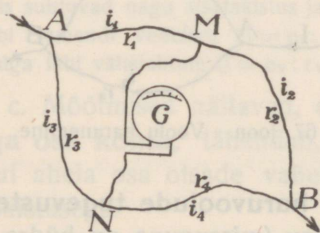
a. Leida haruvoolude tugevused.

*b. Leida harunemise kogutakistus.

2. Päävoolu tugevus on 10 amprit. Ühe haru moodustab raudtraat, mis on 8 korda jämedam ja 2 korda pikem kui teist haru moodustav vasktraat. Leida haruvoolude tugevused.

3. Päävoolu tugevus on 1 amper ja juhtme punktide A ja B vaheline takistus $0,1 \Omega$. Kui suur tuleb valida A ja B ühendava teise haru takistus, et 10 korda tugevama päävoolu juures endises A ja B vahelises juhtme osas voolu tugevus oleks endine?

*45. Wheatstone'i sild. a. Ühendame voolu harud juhtmega MN (68. joon.), mida nimetame sillaks; lülitame silda galvanomeetri, siis galvanomeeter harilikult näitab voolu. Kontaktis M on mingisugune A ja B vaheline potentsiaal. Ka teise haru pääl leidub aga punkt N , milles on sama potentsiaal. Sillas, mis ühendab kaht sama potentsiaalliga punkti, ei või tekkida voolu. Nihutame kontakti N voo-



68. joon. Haruvoolude sild.

luta seisust A poole, siis läheb vool läbi silla sihis NM (mispärast?); nihutame kontakti N vooluta seisust B poole, siis läheb vool läbi silla sihis MN (mispärast? — vastav hüdrodünaamiline analoogia jõe harude juures?).

b. Tähendame voolu tugevused (i) ja takistused (r) üksikutes ahela osades indeksitega 1 kuni 4 ning potentsiaalid (V) punktides A, B, \dots vastavate indeksitega A, B, M, N .

Kui sild on vooluta, siis

$$\frac{V_A - V_M}{r_1} = \frac{V_M - V_B}{r_2}$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{V_A - V_M}{V_M - V_B}$$

$$\frac{V_A - V_N}{r_3} = \frac{V_N - V_B}{r_4}$$

$$\frac{r_3}{r_4} = \frac{V_A - V_N}{V_N - V_B}$$

Et sild vooluta, siis

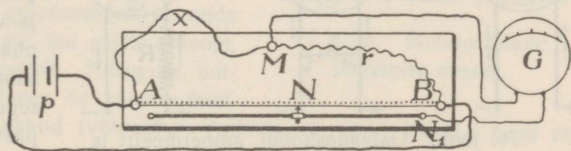
$$V_M = V_N,$$

järelikult

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}.$$

c. Leitud proportsiooni põhjal mõõdetakse takistusi n. n. **Wheatstone'i sillaga**, mille ehituse printsiipi kujutab 69. joon.

Lauale on kinnitatud mm-skaala pääle sirge ühtlane (!) traat AB ja pikitraatiklemmiga N_1 ühendatud liikuv kontakt N (klemmid



69. joon. Wheatstone'i sild.

A, B ja M on mitme auguga ja kruviga või mitme mutriga). A ja M vahele lülitatakse otsitav takistus x , M ja B vahele tuntud takistus (takistuskast) r ; element ühendatakse A ja B -ga, tundlik galvanomeeter N_1 -ga ja M -ga (sild). Olgu näiteks takistus $r = 10 \Omega$, traat AB jagatud 100 osaks (alates punktist A) ja sild vooluta, kui N asub 60-da jaotuskriipsu kohal. Tähendame ρ -ga traadi AB ühe osa takistuse, siis

$$x : 10 = 60 \rho : (100 - 60) \rho$$

$$x = \frac{60}{40} \cdot 10 = 15 (\Omega).$$

Galvanomeetri asemel võib kasutada telefoni, kuid elemendi asemele tuleb siis võtta vahelduva voolu allikas; on sild vooluta, siis telefoni kõrin kaob ära.

1. Wheatstone'i silla traadi pikkus on 1 m; vooluta silla puhul asub liikuv kontakt 40 cm kaugusel klemmist A (69. joon.). Takistuskastis on lülitatud 1 Ω . Leia otsitav takistus x.

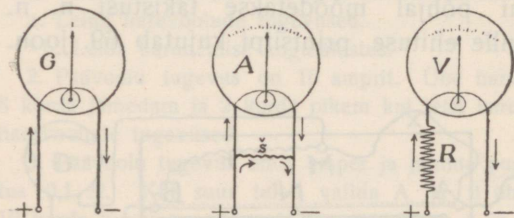
2. Wheatstone'i sild (69. joon.) on vooluta; AN=20 cm ja NB=80 cm. Takistuskasti takistus on 0,1 Ω ja otsitavat takistust x kujutab traat, mille pikkus on 1,6 m ja diameeter 0,5 mm. Leia traadi aine eritakistus.

46. Galvanoskoop. Ampermeeter. Voltmeeter.

a. Galvanoskoop on tundlik voolunäitaja. Et tundlikkus oleks suur, selleks peab multiplikaatoris olema palju keerdusid ja selle tõttu on galvanoskoobil võrdlemisi suur takistus (kuni paarkümmend Ω).

Ampermeetri takistus peab olema väike, et ta mõõdetava voolu tugevusse mõju ei avaldaks.

Iga galvanoskoop (70. joon., G) muutub ampermeetriks (70. joon., A), kui tema klemmid ühendame haruga (š), mida nimetatakse šundiks, ja riista varustada amperastmikuga.



70. joon. Galvanoskoobi, ampermeetri ja voltmeetri skeem.

Mida väiksem on šundi takistus, seda suurem osa päävoolust läheb läbi šundi ja väiksem osa läbi multiplikaatori. Valime näiteks šundi nii väikse takistusega, et alles 10-amprilise päävoolu juures näitaja kaldub kuni äärmise seisuni, mida me märgime kriipsuga astmikulaual ja jaotame näitaja äärmise ja nullseisu vahe kümneks võrdseks osaks (kui riista antud tüübi juures näitaja kaldumine on võrdeline voolu tugevusega), siis võime selle riistaga üksikuid ampreid mõõta kuni 10 amprini.

Voltmeeter on oma ehituse poolest ühesugune galvanoskoobiga, kuid temal on suur takistus, et ta võimalikult nõrka voolu läbi laseks. Voltide astmiku saame, kui ühendame riista vooluallikatega, millede pinged on teada (näit. 1, 2, 3... V) ja vst. näitaja seisud märgime kriipsudega. Ühenduses tundmatu vooluallikaga näitab riist selle pinget ühendustraatide takistuse päale vaatamata õigesti (muutuv ühendustraatide takistus ei avalda riista suure takistuse juures tunduvat mõju).

Ühenduses elemendiga näitab voltmeeter lahtise elemendi elektromotoorset jõudu, olgugi et ahel on õieti kinnine, sest suure välistakistuse ja nõrga voolu tõttu on antud juhul klemmide pinges sama suur kui elektromotoorne jõud.

Galvanoskoop (70. joon., *G*) muutub voltmeetriks (70. joon., *V*), kui me temale juurde lisame suure takistuse *R* ja teda varustame voltide astmikuga. Kui oleme näiteks valinud nii suure takistuse, et ühenduses kümnevo'dilise vooluallikaga näitaja kaldub kuni äärmise seisuni, siis võime eespooltehtud ampriteastmikku tarvitada ka voltide mõõtmiseks kuni 10 voldini.

Suure välistakistuse juures võib valemis $e = ir_s + ir_v$ (§ 43, b) jätta arvesse võtmata ir_s , nii et $e = ir_v$; sellest näeme, et läbi voltmeetri mineva voolu tugevus (*i*) tõelikult on võrdeline lahtise vooluallika elektromotoorse jõuga (*e*).

b. Ampermeeter lülitatakse ahelasse alati järjestikku teiste ahela osadega, voltmeeter aga kõrvustikku.

71. joonises kujutatud katse skeemis mõõdab patarei (*p*) elektrodidega ühendatud voltmeeter (*V*) patarei elektromotoorset jõudu, kui ahel on lahtine, ja patarei klemmide pinget, kui ahel on kinnine.

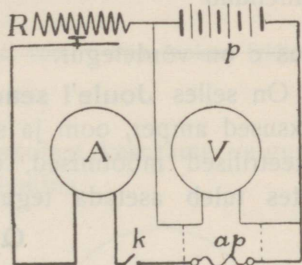
Kinnises ahelas mõõdab ampermeeter (*A*) voolu tugevust. Ühendame voltmeetri aparaadi klemmidega (joonises punkteeritud), siis mõõdab voltmeeter nüüd aparaadi klemmide pinget (osa pingest on neelanud reostaat *R*). Seejuures laseb voltmeeter nii nõrga haruvoolu läbi, et see päävoolu ja teise haruvoolu tugevusse tunduvat mõju ei avalda.

Sagedasti valmistatakse demonstratsiooni otstarbeks isesuguseid galvanomeetreid, mida võib tarvitada soovi järele kui galvanoskoopi, ampermeetrit või voltmeetrit. Niisuguse universaal-galvanomeetri aluses on olemas šunt, takistus ja mitmed kontaktid (võtmed). Tarbekorral võib lülitada šunti või takistust.

*1. Milliampermeetri astmiku mõõdupiir ulatub kuni 20 milliamprini ja tema takistus on 10 Ω. Kui suure takistusega šunt tuleb valida, et riista võiks tarvitada ampermeetrina

- mõõdupiiriga kuni 1 amprini?
- mõõdupiiriga kuni 10 amprini?

*2. Voltmeeril on teatud takistus ja tema astmikul teatud mõõdupiir. Kuidas tuleks muuta riista takistus, et mõõdupiiri suurendada 10 korda?



71. joon. Mõõduriistade lülitamise skeem.

Voolu soojuseline tegevus.

47. Soojuse tekkimine vooluahelas. Joule'i seadus. a. Seame kokku ahela tugevamast vooluallikast,

ampermeetrist, reostaadist, jämedamatest ja peenematest traatidest, siis paneme tähele, et juba nõrgema voolu juures peenemad traadid tunduvalt soojenevad, tugevama voolu juures aga kuumaks lähevad ja viimaks hõõguma hakkavad ja sulavad. Tugevama voolu juures soojenevad ka jämedamad traadid. Rauastraadid soojenevad rohkem kui samajämedad vasktraadid. Nii siis muutub voolu läbiminekul ahelast voolu elektrienergia osalt soojuse-energiaks ja ahela osas tekkinud soojuse hulk oneneb voolu tugevusest ja ahela osa takistusest. Voolu mõjul tekkinud soojust nim. **Joule'i soojuseks** Joule'i auks, kes seda nähtust esimesena uuris. Ta leidis (1841), et **juhi osas tekkinud soojuse hulk (Q) on võrdeline voolu kestusega (t), voolu tugevuse (i) ruuduga ja juhi osa takistusega (r),** tähendab

$$Q = c \cdot i^2 rt,$$

kus c on võrdetegur.

On selles **Joule'i seadust** kujutavas valemis tarvitatud mõõtüksused amper, oom ja sekund, siis näitavad sellekohased kalorimeetrilised mõõtmised, et soojusehulga saamiseks gramm-kalories tuleb asetada tegur $c = 0,24$. Nii siis on voolu soojus

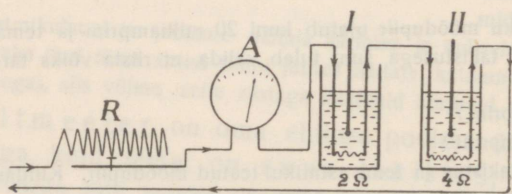
$$Q = 0,24 i^2 rt \text{ gcal.}$$

Et Ohmi seaduse põhjal

$$i = \frac{e}{r},$$

siis

$$Q = 0,24 i e t$$



72. joon. Joule'i seaduse katseline tõendamine.

Katseliselt võib tõendada Joule'i seadust näit. 72. joon. järele ahelasse lülitatud ampermeetri (A), reostaadi (R) ja mitme ühesuguse kalorimeetri (I, II) abil, milledesse on valatud ühepalju vett ja asetatud tuntud isesugused takistused. Joonises tähendatud

takistuste juures leiaksime, et temperatuuri tõus on

5 min. pärast	kalorimeetris	I	10°	II	20°
10 " "	"	I	20°	II	40°
15 " "	"	I	30°	II	60°

Mis sellest järgneb?

Teeme aga voolu reostaadi abil 2 või 3 kord tugevamaks, siis on temperatuuri tõus sama aja jooksul 4 või 9 kord suurem. Mis sellest järgneb?

Sama katse skeem võimaldab ka konstandi c määramist (kuidas seda teha?)

b. Elektrivoolu kasutamisel tuleb soojuse tekkimist ära hoida sääli, kus teda tarvis ei ole, sest muidu läheb elektri energiat kasuta kaduma. Tugevama voolu jaoks peab jämedamat traati võtma. Juhtmed tehakse harilikult vasest ja nii jämedad, et nad tunduvalt ei soojene. Näiteks on valgustusvõrgu vasest juhtmed uulitsal jämedad, harud, mis uulitsalt majadesse lähevad, harilikult peenemad, ja harud, mis majas üksikutesse korteritesse lähevad, veel peenemad (mispärast?).

Reostaadis on kasuta soojuse tekkimine möödapääsemata, sest temal peab olema takistus. Tugevama voolu jaoks tuleb aga takistustraati võtta jämedam (järelikult ka pikem), sest peenem traat läheks tugevama voolu juures liiga kuumaks. Reostaadi ehituse juures tuleb hoolt kanda õhutõmbe eest (mispärast?).

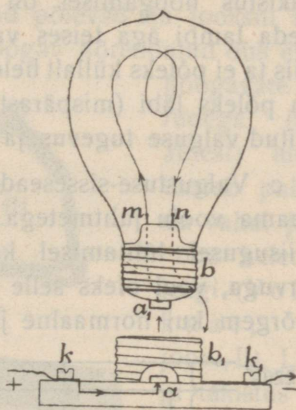
1. 15 ampr. tugev vool läheb 1,5 min. läbi takistuse 12Ω . Kui palju tekib soojust?

2. Leida reostaadi takistus, milles 3-ampriline vool 3 min. jooksul tekitab 1000 gcal soojust.

48. Elektrihõõglamp. Voolu soojust kasutame valgustamiseks elektrihõõglambis ja elektrileklambis.

a. Hõõglambis (73. joon.) on pirnitaolise klaasanuma kaela sisse õhukindlalt sulatatud kaks traadikest ja ühendatud peenikese sõeniidi või metalltraadiga. Üks traat on ühenduses pirni kaela ümbritseva kruvitaolise vaskkestaga, teine isoleeritult kaela otsa kinnitatud vaskplaadikesega. Et kuumendamisel niidi ärapõlemist ära hoida, on pirn õhust tühjendatud või täidetud lämmastikuga. Pirn kruvitakse portselanalusele kinnitatud pesa (Edisoni pesa), mille mutritaoline vaskkest ja isoleeritud vaskplaat pesa põhjas on lülitatud vooluahelasse. Voolu

läbiminekul kuumeneb peenike niit kuni valge hõõgamiseni ja kiirgab valgust. Suurem osa voolu energiast ($\sim 95\%$) muutub ka paremates lampides soojuseks ja ainult väike osa ($\sim 5\%$) valguseks. Nagu valguse õpetuses tähendatud, muutub see vahe-



73. joon. Elektrihõõglamp.

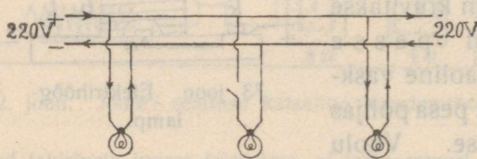
kord kõrgemate temperatuuride juures valguse kasuks; sellepärast tehaksegi niidid raskeltsulavatest metallidest, mis kannatavad kõrget temperatuuri (tantal, osmium, volfram, millede sulamistemperatuurid vst. 2300^o, 2500^o ja ligi 3000^o).

Hõõglampide normaalne põlemise kestus on 600 kuni 1000 tundi; niidid lagunevad hõõgamisel aja jooksul, pirn tumeneb ja viimaks põlevad niidid läbi. Sõeniidid hakkavad lagunema ~ 1700^o juures, volframniidid ~ 2100^o juures. N. n. poolvattlampides (niitralambid, votanlambid) aetakse volframniidid veel kuumemaks kui 2100^o; lagunemist, mis tekiks tühjas pirnis, takistab indifferente gaas, millega täidetakse pirn.

b. Hõõglambid tehakse viiest kuni paari tuhande HK tugevuseni. Valgusetugevamal lambil peab olema niit jämedam ja selle tõttu ta tarvitab niidi kuumendamiseks ka tugevamat voolu. Harilikult lülitatakse hõõglambid jaamavoolu ahelasse; jaamavoolu pinge on suur, näit. 220 V. Niidi takistus (pikkus ja lõikepind) on Ohmi seadusele vastavalt nii valitud, et ta antud pinge juures nii tugeva voolu läbi laseb, kui tarvis on tema normaalseks põlemiseks. Näiteks tarvitab 16-küünlaline metallniidi-lamp 220 voldi juures normaalselt $\sim \frac{1}{12}$ ampr.; sellest järeldame, et tema takistus hõõgamisel on $\sim 12 \cdot 220 \Omega = \sim 2600 \Omega$. Tarvitaksime seda lampi aga teises valgustusvõrgus, mille pinge on väiksem, siis ta ei põleks küllalt heledalt (mispärast?) ja kõrgema pinge juures ta põleks läbi (mispärast?). Elektripirnil on sagedasti üles märgitud valguse tugevus ja pinge, mille juures ta põleb normaalselt.

c. Valgustuse-sisseseade juures tuleb ühendada mitu lampi jaama voolu juhtmetega. Järjestikku lampe lülitada ei või, sest niisugusel lülitamisel kasvaks kogutakistus võrdeliselt lampide arvuga, vool oleks selle tõttu 2 või 3 lampi juures 2 või 3 kord nõrgem kui normaalne ja niidid ei läheks küllalt kuumaks. Küll

võiks 220-voldilise pinge juures lülitada järjestikku kaks 110-voldilist, neli 55-voldilist lampi jne.; nad põleksid siis normaalselt, kuid mitte olenemata

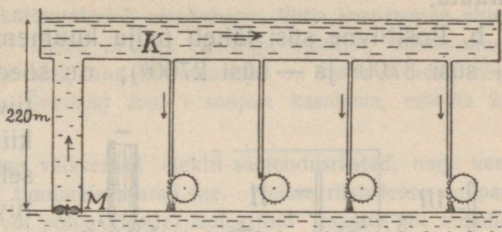


74. joon. Hõõglampide lülitamine.

tult üksteisest; ühe lampi kustumisel kustuksid ka kõik teised. — Hõõglambid ühendatakse kõrvustikku (Edisoni järele), nagu näitab 74. joon.

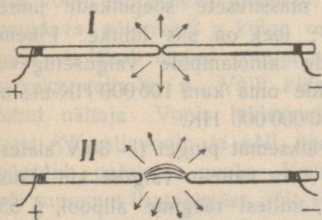
Selle ühenduse juures põleb või kustub iga lamp täiesti iseseisvalt. Iga lamp laseb ainult vähe elektrit läbi, elektri hulk aga, mida jaam välja saadab, on nii suur, et ka suuremal kaugusel jaamast ja mitmesaja lambi taga voolujuhtmete pinge tunduvalt ei lange.

Hüdrodünaamiline analoogia. Kui veemootor *M* (75. joon.) küllalt palju vett kanali *K* üles ajab, mille kõrgus on 220 pikkuseüksust, siis niivoode vahe ka kaugematel kohtadel tunduvalt ei lange, kui tee pääl vesi läbi mitmesaja toru alla voolab, mis kitsa avause tõttu palju vett läbi ei lase.

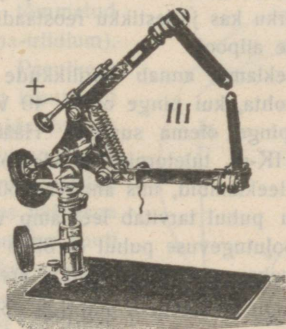


75. joon. Hõõglampide lülitamise hüdrodünaamiline analoogia.

49. Elektrileeklamp. a. Elektrileeklambis on kaks söepulka ühendatud vooluallikaga, mille pinge on vähemalt 40 V ja sellele vastav vool vähemalt 3 ampr. Pulkade kokkupuutmisel hakkavad pulkade otsad suure takistuse tõttu hõõguma ja kiirgavad valgust (76. joon., I). Pulgad põlevad aja jooksul ära, tekib vahe, kuid vool ei katke, sest hõõgav hõrendatud õhk ühes



76. joon. Volta kaar ja elektrileeklambi regulaator.

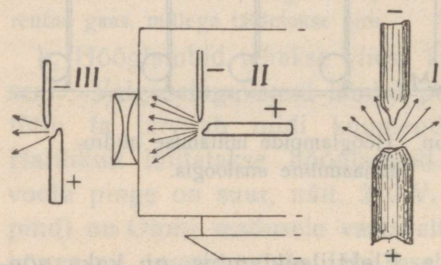


hõõgavate aurudega (sõe ainest) moodustab pulkade vahel juhtiva heleda leegi (Volta kaar, 76. joon., II). Leegi takistus on kaunis suur.

Aja jooksul pikeneb vahe ja leek, mille juures suureneb leegi takistus ja väheneb voolu tugevus. Viimaks ei tekita nõrk vool küllalt soojust ja leek kustub. Lambi põlemasüütamiseks tuleb pulgad uuesti kuni kokkupuutumiseni lähendada. Et lambi põlemist alal hoida, on tarvis söe-

pulkade kaugust reguleerida isesuguse mehhanismi abil, käsitsi või automaatselt. 76. joon., III, näitab leeklambi regulaatori tüüpi, mida sagedasti tarvitatakse projektsioonlaternates. Mitme kruvi abil võib süte kaugust reguleerida ja leegi seisu igas sihis muuta.

b. Positiivne süsi läheb palju kuumemaks kui negatiivne (näit. + süsi 3700° ja — süsi 2700°); on söed ühejämedad, siis positiivne põleb ka ~ 2 korda



77. joon. Kraater positiivsel söel.

kiiremini kui negatiivne; sellepärast võetakse positiivne söepulk kaks korda jämedam kui negatiivne. Kuna negatiivne söe ots põleb teravaks, tekib positiivses õõnsus, n. n. kraater (77. joon., I), mis iseäranis tugevasti valgust kiirgab. Söepulgad asetatakse nii, et kraater oleks pöördud valgustatava ruumi poole (77. joon., II, III).

Vahelduva voolu puhul hõõguvad mõlemate söepulkade otsad ühetugevuselt ja põlevad ka ühteviisi ära.

Leeklamp lülitatakse alalise voolu võrku järjestikku reostaadiga (mispärast?), vahelduva voolu võrku kas järjestikku reostaadiga või tarvitatakse transformatorit, millest räägime allpool.

Alalise voolu leeklamp annab harilikku massiivsete söepulkade juures ~ 100 HK ampri kohta, kui pinge on ~ 40 V; leek on siis lühike. Pikema leegi jaoks peab pinge olema suurem. Hääde kinolampide valgusetugevus ulatub kuni 15000 HK-ni, tuletornide leeklampide oma kuni 100000 HK-ni; on ehitatud prožektorileeklampid, mis annavad 500000000 HK.

Vahelduva voolu puhul tarvitab leeklamp väiksemat pinget (~ 30 V alates), annab aga sama voolutugevuse puhul ~ 30% võrra vähem valgust kui alalise voolu puhul (põhjuseks on väiksem vattide arv, millest räägime allpool, § 55).

Näide: Tarvitagu leeklamp 5 ampriga põlemisel 40 V ja olgu võrgu pinge 220 V. Leida vastav reostaadi takistus R.

Et lamp neelab 40 V, siis peab reostaat neelama 220—40 volti.

Antud voolutugevusele vastavalt leiame takistuse R Ohmi seaduse põhjal ahela osa (reostaadi) kohta.

$$5 = \frac{180}{R}, \text{ kust } R = 36 (\Omega).$$

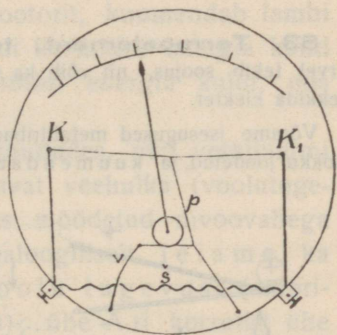
1. Tarvitagu leeklamp 3 ampriga põlemisel 35 volti. Leida reostaadi takistus, kui võrgu pinge on 110 V.

50. Joule'i soojuse kasutamine kütmiseks, keetmiseks jne. Ruumide kütmiseks tarvitatakse elektriahjusid ja kaminaid. Need kujutavad aukudega plekk-kaste, milledesse on asetatud traatspiraalid (takistused). Voolu läbiminekul kuumenevad traadid ja soojendavad õhku. Niisugune elektriga kütmine, kus küttematerjali energia moonduv aurumasina, dünamomasina ja takistuse kaudu uuesti soojuse energiaks, on mitmekordse energiakaotuse tõttu (ligi 90%) palju kallim kui küttematerjali otsekohene lihtis kasutamine ahjus ja tuleb teda luksuseks pidada. Üldse ei ole elektriga kütmine ökonoomne, kuid siiski hakatakse tehnikas säääl, kus küttematerjal on kallid ja odav veejõud käepärast (Skandinaavias, Šveitsis) Joule'i soojust kasutama, näiteks ka aurumasinate kütmiseks.

Laialdast tarvitust leiavad aga väiksemad elektri-soojendusriistad, nagu keedundud, triikraud, liimipotid, tinutamisvasarad jne. Neisse riistadesse on paigutatud (kahekordsete seinte või põhja vahele) isoleeritud traadid või metalliribad, mis voolu läbiminekul soojenevad. Tahame näiteks paar muna keeta ja peame selleks eriti pliiti kütma, siis on keetmine väikeses elektri keedundus ikkagi odavam. — Elektri soojendamiskappides teaduslike töde jaoks (bakterioloogias, keemias) toimub soojendamine sama viisi; soovitavat temperatuuri võib reguleerida voolu tugevuse kaudu reostaadi abil ja pikemat aega muutmata alal hoida.

Volta leegi kõrget temperatuuri kasutatakse raskeltsulavate ainete sulatamiseks elektri sulatamisahjudes, metallosade kokkusulatamiseks jne.

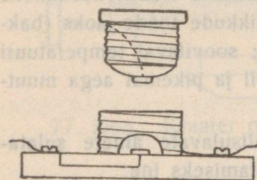
51. Termilised galvanomeetrid. Termilises ampermeetris kasutatakse peenikese traadi pikenemist voolu soojuse mõjul voolu tugevuse mõõtmiseks. Riista ehituse skeemi näitab 78. joon. Klemmide K ja K_1 vahel on tõmmatud sirgeks peenike traat (platina-iriidium), mis voolu läbiminekul pikeneb. Peenikese painduva põiktraadi p külge on kinnitatud niit, mis läheb ümber võlli ja mida tõmbab sirgeks vedruke v . Võlli külge on kinnitatud näitaja. Voolu läbiminekul paindub traat KK_1 allapoole ja võll ühes näitajaga pöörduv paremale poole. Kasutades šunti või suuremat lisatahistust, võib skeemi järele ehitada ampermeetrit või voltmeetrit. Termiliste mõõduriistade skaalad ei ole ühtlased, sest traadi pikenemise ja näitaja kaldumise põhjus, s. o. tekkinud soojuse hulk, on Joule'i seaduse põhjal võrdeline voolu tugevuse ruuduga. Paremas täpses soojusampermeetris kaalub terve liikuv süsteem (traadid, niit, vedru, võll, näitaja) ainult 0,5 g.



78. joon. Termilise galvanomeetri skeem.

Traadi soojenemine ja näitaja kaldumine ei olene voolu sihist; sellepärast võib termilisi mõõduriistu tarvitada ka vahelduva voolu mõõtmiseks.

52. Lühike ühendus. Kaitseja. On korteris näit. kümme 16-küünlalist hõõglampi, mis 220-voldilise pinge juures kokku veel üle 1 ampri voolu ei tarvita, siis valitakse juhtmete jämedus nii, et nad selle voolu juures tunduvalt ei soojeneks. Võib aga juhtuda, et traatide isolatsioon läbi kulub ja traadid kokku puutuvad. Niisuguse „lühikese ühenduse“ juures läheks vool ülitugevaks, sest lambi takistus on kõrvaldatud. Lühikese ühenduse kohal tekiks Volta kaar, juhtmed hakkaksid hõõguma, isolatsioonid rikunduksid ja võiks tekkida tulikahju. Lühike ühendus võib kergesti sündida ka lambipesas ja ühe juhtme ühendusel maaga. Õnnetuste ärahoidmiseks lülitatakse valgustusahelasse lühikesed peenikesed traadid, n. n. kaitsejad (Edison), mille jämedus valitakse nii, et nad tarvitatava normaalse voolu juures ainult soojenevad, tugevama voolu juures aga sulavad ja selle juures voolu katkestavad.

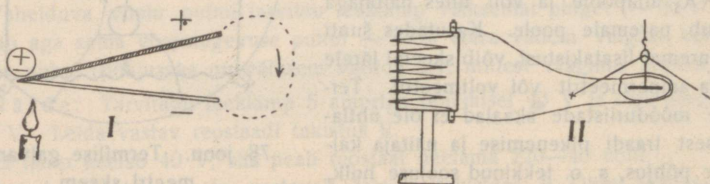


79. joon. Kaitseja.

Et kaitsejate vahetamist hõlbustada, antakse neile näit. 79. joon. tähendatud kuju. Alus on lambipesa sarnane; sissekrüvitav kaitsekork on hõõglambi kaela sarnane, kusjuures hõõglambi niidi aset täidab peenike kaitsetraat. Kaitsekorkidel on üles märgitud maksimaalsed voolutugevused, mida nad kannatavad ilma läbi põlemata.

53. Termoelement; termovool. Nagu kulutatud elektrienergia arvel tekib soojus, nii võib ka ümberpöörduvalt kulutatud soojuse energia arvel tekkida elekter.

Võtame isesugused metalliribad (näit. raud ja konstantaan), mis on otsapidi kokku joodetud, ja kuumendame jootmekoha (80. joon., I), siis lahu-



80. joon. Termoelement ja termosammas.

tub elekter kuumendatud jootmekohas neutraalsest olekust ja metallide vahel tekib pinge, kuid ainult mõni tuhandik või sajandik volti. Pinge suurus oleneb metallide aimest ja suureneb jootmekoha ja lahtiste metalliotsade

temperatuuri vahe suurenemisega. Pinge on võrdl. suur raua ja konstantaani vahel, kuid siiski ainult 53 mikrovolti (miljondikku V) jootmekoha 1^0 võrra soojenemisel. Niisugust otsapidi kokkujoodetud metallipaari nimetame **termoelemendiks**.

Ühendame termoelemendi lahtised otsad juhiga, siis tekib juhis nõrk n. n. **termovool**, mida näitab galvanomeeter. Jootmekoha jahutamisel (näit. lumega) annab termoelement vastupidise pinget ja vastupidi sihitud termovoolu.

Suurema pinget ja tugevama termovoolu saamiseks ühendatakse termoelemendid järjestikku patareiks. Niisugustel termopatareidel ei ole aga tehnilist tähtsust, sest palju soojust läheb kütmisel kasuta kaduma ja nõrk termovool ei tasu kaugelki ära kütmise kulud.

Väikseid termopatareisisid, n. n. **termosambaid** (80. joon., II) ühenduses tundliku peegelgalvanomeetriga tarvitatakse väga väikeste temperatuurivahede kindlaksmääramiseks, näiteks kiirgava soojuse energia uurimisel (infrapunased kiired).

Termoelemente raskelt sulavatest metallidest tarvitatakse kõrgete temperatuuride mõõtmiseks. Näiteks asetatakse niisuguse voltmeetriga ühendatud termoelemendi jootmekoht ahju ja arvutatakse ahju temperatuur pinget suuruse põhjal.

Voolu energia.

54. Voolu võimsus. Vatt. a. Asetame vee vooluteele takistuse (vesiratta), siis ületab vool takistuse ja teeb tööd (tiirutab ratast). Lülitame elektrivoolu ahelasse takistuse, siis ületab vool takistuse ja teeb tööd (tiirutab mootorit, kuumendab lambi niiti). Elektrivoolu töö sünnib elemendi keemilise energia kulul (jaama voolu töö aurumasina või turbiini energia kulul, mis dünamomasinat ümber ajab).

Et mõõta veevoolu võimsust hobusejõududes, näit. veskitammi juures, selleks tuleb sekundis läbivoolavat veehulka (voolutugevust) kilogrammides korrutada meetrites mõõdetud nivoovahega tammi kohal ja jagada 75-ga. Analoogiliselt leiame ka elektrivoolu võimsuse, kui voolu tugevust (amprites) korrutame pingega (voltides); ühe A-ri korrutist ühe V-ga nimetame **voltampriks**.

*b. Me nägime (§ 24, c), et elektri liikumiseks läbi potentsiaalide vahe kulub tööd, mida mõõdetakse volt-kulonites. Sama töö teeb vool (emj.) elektri liikumisel läbi potentsiaalide vahe. Järelikult voolu võimsust mõõdab volt-kulonite arv sekundis, see on aga volt-amprite arv, sest kulonite arv sekundis on amprite arv.

c. Valemist $Q = 0,24$ i et gcal näeme (asetades $i = 1$, $e = 1$, $t = 1$), et võimsus üks volt-amper on ekvivalentne $0,24$ gcal-ga, kui voolu energia täielikult muutub soojuseks. Arvesse võttes soojuse mehaanilist ekvivalenti leiame aga

$$1 \text{ volt-amper} = 0,24 \frac{\text{gcal}}{\text{sec}} = \frac{0,24}{1000} \frac{\text{kcal}}{\text{sec}} = \frac{0,24}{1000} \cdot 427 \frac{\text{kgm}}{\text{sec}} = \\ = \frac{0,24 \cdot 427}{1000} \cdot 9,81 \frac{\text{džauli}}{\text{sec}} = 1 \frac{\text{dž.}}{\text{sec}} = 1 \text{ vatt (W)}.$$

Nii siis **voolu võimsuse üksus**

$$1 \text{ volt-amper} = 1 \text{ vatt (W)}.$$

Harilikult nimetataksegi volt-amprit lühidalt vatiks; suurema üksusena tarvitatakse kilovatti; $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$.

d. Tuletame meelde mehaanikast, et

$$1 \text{ kg-tung} = 981 \text{ 000 düüni}$$

$$1 \text{ kgm} = 98 \text{ 100 000 ergi} = 9,81 \cdot 10^7 \text{ ergi} = 9,81 \text{ džau!}$$

$$1 \text{ HP} = 75 \frac{\text{kgm}}{\text{sec}}$$

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{dž.}}{\text{sec}}$$

Selle põhjal leiame, et

$$1 \text{ HP} = 736 \text{ W}$$

On tähtis meeles pidada viimast vahekorda, et elektrimasinate võimsust (üles märgitud vattides) võrrelda aurumasina võimsusega (üles märgitud hobusejõududes),

55. Voolu töö arvutamine ja mõõtmine. a. Et jämedates valgustusjuhtmetes pinge tunduvalt ei lange, siis ei ole ka tunduv voolu töö juhtmetes. Tööd teeb vool elektripirn, kus pinge järsku langeb ja tekib soojus. On pinge lambipesas 220 V ja laseb näit. pingele vastav 16 -küünaline metallniidilamp normaalsel põlemisel $1/12$ ampr. voolu läbi, siis tarvitab lamp põlemisel $220 \cdot 1/12 \text{ W} = \sim 18 \text{ W}$. Samatüübiline 16 -küünaline lamp tarvitaks ka teise pinge puhul sama palju energiat normaalseks põlemiseks, millest järgneb, et ta näiteks 110 -voldilise keskpinge puhul 2 kord tugevamat voolu tarvitab ($110 \cdot 1/6 \text{ W} = 18 \text{ W}$). Iga küünla kohta ta tarvitab $18/16 \text{ W} = \sim 1,1 \text{ W}$. Söeniidiga lamp tarvitab küünla kohta $\sim 3 \text{ W}$, leeklamp ja uuemal ajal ilmunud n. n. poolvatt-lamp ainult vähe rohkem kui $1/2 \text{ W}$. Põleb eespool-nimetatud lamp 1 tund, siis on tarvitatud elektrienergia hulk $18 \text{ vatt-tundi (Wh)}$.

Näide: Korteris põlesid pidu ajal 12 metallniidi-lampi, kokku 300 küünalt, 8 tundi. Kulutatud on siis $300 \cdot 1,1 \cdot 8$ vatt-tundi = 2640 vatt-tundi = 2,64 kilovatt-tundi elektri energiat. Maksab kv.-tund 24 senti, siis olid valgustuse kulud pidu ajal $2,64 \cdot 24$ senti = 63,36 senti.

Voolu energia kasutamisel tehnikas **möödetakse kulutatud voolu energiat (tööd) kilovatt-tundides (kWh).**

b. Voolulugejad näitavad tarvitatud elektri energiat. Paremad tüübid näitavad kilovatt-tunde. Nende ehitus on mitmesugune. Harilikus voolulugejas näeme ketast, mis voolu läbiminekul tiirleb, ja näitajaid, mis kellanaõtaja sarnaselt ringitaolistel skaaladel liiguvad, või ka numbritega varustatud rullikesi, mis pöörlevad. Näitajate või rullikeste tiirlemise kiirus kasvab võrdeliselt tarvitatud vattide arvuga. Näitajate või rullikeste pöörlemise suurus on siis võrdeline vattide arvuga ja möödunud ajaga, tähendab, võrdeline vatt-tundide arvuga.

1. Kui palju energiat kulutab 50-küünlaline ja 220-voldiline metallniidi-lamp 1 tunnis (1 HK pääle kulub 1,1 vatti), kui suur on tema takistus põlemisel, kui palju ta tarvitab voolu ja kui palju maksab põlemine tunnis (1 kWh maksab 24 senti)?

2. Korteris olevate 220-voldiliste metallniidi-lampide valgusetugevus on kokku 121 küünalt.

a) Kui tugev peab olema kaitseja?

b) Kui palju maksab lampide põlemine 4 tunni jooksul?

3. Kui suur on 25-küünlalise ja 220-voldilise (110-voldilise) metallniidi-lambi takistus normaalsel põlemisel?

4. Projektsioonlaternas tarvitatakse 220-voldilist ja 500-vatilist poolvatt-lampi. Kui palju valgust annab lamp, kui palju voolu ta tarvitab ja kui palju maksab põlemine 50 min jooksul?

5. Kui palju maksab § 49, b toodud näites kasulikult (leegis) ja kahjulikult, (reostaadis) kulutatud energia, kui lamp põleb 1,5 tundi?

6. Alevi elektrivalgusega (metallniidi-lampidega) varustamiseks on tarvis kalkulatsiooni põhjal 18 000 HK.

a) Kui palju kWh energiat kuluks valgustamiseks?

b) Mitme hobuse jõuline aurumasin (turbiin) võiks anda tarvitavat elektri energiat dünamomasina kaudu, kui aurumasina energia moondumisel elektri energiaks dünamo kaudu kaduma läheb 15% masina energiast?

7. Kui palju kcal-rit soojust annab 1 kWh elektrienergia täielikul moondumisel soojuse-energiaks?

8. Kui palju maksab 400-vatilise elektri-triikraua tarvitamine tunnis?

9. a) Kui palju elektrienergiat kulub 1 liitri vee soojendamiseks toatemperatuurist (15°) kuni keemiseni, kui soojust kaduma läheb 20%?

b) Kui palju maksab selle vee soojendamine?

c) Kui tugev on vool 220-voldilise pingel puhul, kui soojendamiseks kulub 5 vst. 10 min?

Elektrolüüs.

56. Soolade lahutamine. a. Asetame anumasse vasevitrioli- (CuSO_4) lahusega kaks söepulka ja ühendame söepulgad galvani elemendiga. Voolu läbiminekul lahusest kattub katood (elemendi katoodiga ühendatud pulk) vasega, anoodil (anoodiga ühendatud pulgal) aga eraldub hapnik. Katset kauemat aega jälgides näeme, et vasekiht katoodil läheb järjest paksemaks ja vedeliku kontsentratsioon nõrgeneb. Võtame aga söest anoodi asemel vasest anoodi, siis vedeliku kontsentratsioon ei muutu, kuid anood läheb peenemaks. Kaalude abil võib näidata, et anoodilt on sama palju vaske kaduma läinud kui palju katoodil on teda juurde tulnud.

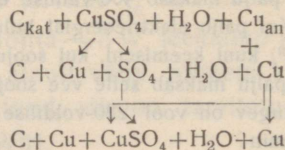
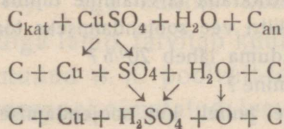
Katsed mitmesuguste vedelikkudega näitavad, et vedelikud, mis üldse voolu juhivad, voolu läbiminekul ka keemiliselt lagunevad. Niisugust vedeliku keemilist lagunemist voolu läbiminekul nimetame **elektrolüüsiks** (elektriliseks lahutamiseks), lahutatavat vedelikku **elektrolüüdiks**, elektroodidel eralduvaid osakesi **ioonideks**, anoodil eralduvaid osakesi **anioonideks** ja katoodil eralduvaid **katioonideks**.

Vasevitrioli elektrolüüsi seletame järgmiselt: Mõned CuSO_4 molekulid lagunesid kaheks osaks Cu ja SO_4 ; Cu tõmbub katoodi poole ja SO_4 anoodi poole.

On mõlemad elektroodid söest, siis ühineb SO_4 tema tekkimise momendil keemilise suguluse tõttu vesinikuga veest ja sünnitab H_2SO_4 , mille juures veest vabaneb O . Nii siis aja jooksul vedelik muutub väävelhappeks.

On anood vasest, siis ühineb SO_4 tema tekkimise momendil vasega anoodilt ja sünnitab uuesti CuSO_4 , nii et anoodil midagi ei eraldu. Nii siis kaob aja jooksul vask anoodilt ja vedelik jääb muutumatuks.

Nähtuse käiku näitab lühidalt järgmine skeem (kvalitatiivselt):



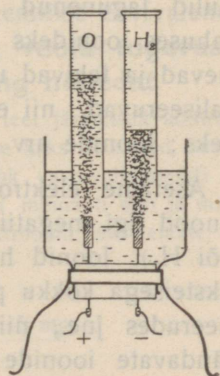
Vasevitrioli lahutamist nimetame primaarprotsessiks; ta sünnib voolu mõjul. Vee lahutamist ja H_2SO_4 tekkimist või uue vasevitrioli tekkimist nimetame sekundaarprotsessiks; ta sünnib keemilise suguluse mõjul. Juhime voolu läbi mõne teise soola lahuse, näit. hõbeda- või kullasoola lahuse vst. hõbedast või kullast anoodi kaudu, siis eraldub katoodil vst. hõbedat või kulda sama palju, kui palju teda anoodilt kaduma läheb. Nõrgema voolu puhul eraldub metall tiheda kihina, tugevama voolu korral kristallilise poorse puruna. Elektrolüütiline soolade lahutamine sünnib ka kõrgel temperatuuril sulatatud soolades. **Metall eraldub elektrolüüsil alati katoodil.**

Mõned metallid eralduvad ka nõrga voolu juures kristallidena. Mõne soola lahusest eraldub katoodil sekundaarprotsessi mõjul metalli asemel mõni teine lahuse osa.

*b. Sekundaarprotsessis võib tekkida elektrodil ka niisugune ühend, mis voolu ei juhi (ülemineku takistus), nii et vool katkeb. Asetame näit. kaheksisüsihappu naatriumi (naatriumbikarbonaat) lahusesse alumiiniumi ja tina (raua-sõe) elektrodid, siis vool ei lähe läbi sihis $Al \rightarrow Pb$ (kui pinge on vähem kui 100 V), sest alumiiniumi pind kattub elektrolüüsil mittejuhtiva alumiiniumi ja hapniku ühendiga; vastassihis $Pb \rightarrow Al$ läheb vool läbi (seda võib kasutada akkumulaatorite laadimiseks vahelduva voolu võrgust).

57. Vee lahutamine sekundaarnähtusena. Puhas vesi voolu ei juhi, sellepärast vee elektrolüüsisist rääkida ei või (ka destilleeritud vesi ei ole täiesti puhas). Valame aga vette pisut H_2SO_4 ja juhime voolu platinast (sõest) elektrodide kaudu läbi, siis näeme elektrodidel gaasimullikesi üles tõusvat. Et eraldunud gaase kinni püüda, tuleb voolu juhtida elektrolüüdi sisse kas kõrvalt läbi anumana seina või alt läbi põhja.

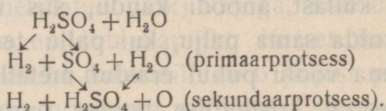
Korraldades katset 81. joonisele vastavalt näeme, et katoodil eraldub 2 kord rohkem gaasi kui anoodil (gaaside neeldumise tõttu vedelikus ei ole suhe täpselt 2:1, iseäranis kui platinast elektrodide asemel tarvitada sõest elektroode). Katoodil eraldunud gaas on vesinik (gaas põleb) ja anoodil hapnik (hoiab alal põlemist). Paistab, nagu oleks vool lahutanud vett. Tõelikult aga lagunes osa H_2SO_4 molekule iooni-



81. joon. Vee lahutamine sekundaarnähtusena.

deks H_2 ja SO_4 (primaarprotsess) ja keemilise suguluse tõttu ühines SO_4 vesinikuga veest ja sünnitas uuesti H_2SO_4 , mille juures O vabanes veest (sekundaarprotsess).

Kvalitatiivne nähtuse käik on lühidalt järgmine:



Kui mõlemad gaasid koguda ühte anumasse, siis saame paukgaasi.

Ka teised hapete lahused vees juhivad voolu; **vesinik eraldub elektrolüüsil alati katoodil.**

58. Ioonide teooria põhimõisted. Clausiuse ja Arrheniuse loodud **ioonide teooria** põhjal seletub elektrolüüs järgmiselt. Igas elektrolüüdis on osa molekule dissotsieerunud, see tähendab kaheks osaks, n. n. ioonideks lagunenuid, kusjuures üks osa kannab positiivset laengut ja teine negatiivset. Näiteks on vasevitriooli-lahuses alati mõned $CuSO_4$ molekulid lagunenuid ioonideks $Cu (+)$ ja $SO_4 (-)$, väävelhappelahuses ioonideks $H_2 (+)$ ja $SO_4 (-)$. Alatasa molekulid lagunevad ja tekivad uued ioonid, kuna teised ioonid ühinedes neutraliseeruvad, nii et ioonide koguarv elektrolüüdis jääb konstantseks; ioonide arv oleneb vedeliku kontsentratsioonist.

Asetame elektrolüüti laetud anoodi ja katoodi, siis tõmbab anood ligi negatiivsed ioonid (SO_4) ja katood positiivsed (Cu või H_2). Ioonid hakkavad vedelikus vastassihis rändama, teel üksteisega kokku puutudes ja neutraliseerudes ning uuesti dissotsieerudes jne., nii et nad teel vabaks ei jää. Vastassihis rändavate ioonide ridade otsadel puutuvad ioonid elektroodide külge, annavad sääl oma laengud ära ja eralduvad nüüd molekulide neutraalsete osadena. Kuna ioonid on laetud ja keemiliselt indifferentid, võivad molekulide neutraalsed osad avaldada keemilist mõju ja sünnitada sekundaarprotsessi. Kadunud ioonide asemele tekivad vedelikus alatasa uued ioonid. Nii siis **kan-**

navad ionid elektrit läbi vedeliku. Elektrolüütide erinevat eritakistust võib seletada ionide erineva hulgaga ja liikumise kiirusega.

59. Faraday seadused. Ampri definitsioon. Faraday leidis järgmised elektrolüüsi kohta maksvad seadused. **Elektrolüüsil elektroodidel eraldunud aine hulgad on võrdelised voolu tugevusega ja kestusega.** Seda võib kergesti tõendada katse teel (kuidas?). Mitmesugustest elektrolüütidest läbi minnes **sama vool eraldab sama aja jooksul aine hulga, mis on võrdelised ainete ekvivalentkaaludega.**

Nii siis eraldab sama vool sama aja jooksul alati sama hulga sama ainet, selle pääle vaatamata, missugusest elektrolüüdist see aine eraldub. Näiteks eraldab 1 ampri tugevune vool alati sekundis 0,01 mg vesinikku (normaalrõhumise ja 0° juures). Juhitides sama voolu järjestikku läbi mitmesuguste hõbedasoolade lahuste leiaksime, et eraldatud hõbeda hulgad on võrdsed ja 1 ampri tugevune vool eraldab sekundis alati 1,118 mg hõbedat. Nimetame aine hulka, mida eraldab 1 ampri tugevune vool sekundis elektrolüüsil, selle aine **elektrokeemiliseks ekvivalentiks**, siis on igal ainel oma kindel elektrokeemiline ekvivalent, näiteks vasel 0,329 mg, hõbedal 1,118 mg, vesinikul 0,01 mg. T e h n i k a s defineeritakse amprit hõbeda elektrokeemilise ekvivalendi põhjal ja **nimetatakse ampriks niisuguse voolu tugevust, mis elektrolüüsil eraldab sekundis 1,118 mg hõbedat.**

Näide. Ampermeetri skaalat võime elektrolüütilisel teel järgmiselt kontrollida (või ka valmistada): Asetame vasevitriooli-lahusesse kaks kaalutud vaskplaati, lülitame selle riista (v a s e - k u l o n m e e t r i ehk vase-voltameetri) ja galvanomeetri samasse vooluahelasse, laseme voolu läbi minna 5 min ja märgime üles voolu tugevuse. Kuivatame ja kaalume elektroodid, siis leiame, et katood on läinud raskemaks näit. 0,395 g võrra.

$$\begin{array}{r}
 1 \text{ amp. } 1 \text{ sekundis eraldab } 0,329 \text{ mg} \\
 x \text{ „ } 5 \text{ minutis} \quad \quad \quad \text{ „ } 0,329 \cdot x \cdot 60 \cdot 5 \text{ mg} \\
 \hline
 0,329 \cdot x \cdot 60 \cdot 5 = 0,395 \\
 x = 4 \text{ (A)}.
 \end{array}$$

Näitas galvanomeeter voolu läbiminekul ka 4 ampr., siis võime skaala vst. kriipsu õigeks lugeda.

1. Mispärast ei tarvitata kulonmeetrit harilikult voolu tugevuse mõõtmiseks?
2. Kui tugev vool eraldab vesiniku-kulonmeetris 3 min jooksul 26 cm³ vesinikku?

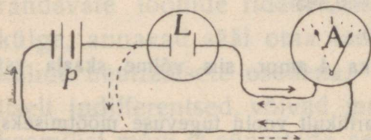
3. Kui tugev vool eraldab 0,5 tunni jooksul 3 g hõbedat?
4. Katoodi pinna suurus on 15 dm^2 . Kui palju aega kulub katoodi katmiseks 0,2 mm paksu hõbedakihi, kui voolu tugevus on 0,5 ampr.?

60. Elektrolüüsi tehniline kasutamine. Elektrolüütilisel teel võib juhtivaid asju katta metalliga, tähendab hõbetada, kullata, nikeldada jne. Selleks asetatakse hästi puhastatud asi katoodina vastava soola lahusesse, kusjuures anoodina peab võtma vastava metalli. Ka mittejuhtivaid kehi võib katta metalliga, kui teha pindkiht juhtivaks. Näiteks võib kipsist kuju pintsli abil grafiidipulbriga läikivaks hõõruda ja siis vasevitrioolilahuses vasetada, nii et ta välja näeb kui pronksist kuju. Voolu tihedus (amprite arv katoodi pinna 1 dm^2 kohta) ei tohi olla üle teatava piiri, sest muidu eraldub metall poorse puruna.

Elektrolüüsi tarvitatakse keemiliselt puhta metalli saamiseks, sest soolalahusest elektrolüüsi teel saadud metallid on keemiliselt puhtad, kuna müügil olevad metallid seda ei ole. Elektrolüüsi tarvitatakse metallide saamiseks sulatatud maakidest, kusjuures ka maagi sulatamist toimetatakse elektri- voolu abil (alumiiniumi saamine savist).

Galvanoplastikas tarvitatakse elektrolüüsi reljeefsete asjade paljundamiseks. Tahame näiteks odavasti paljundada prossi, mis on kunstniku töö, siis hõõrume pinna grafiidiga läikivaks, katame ta elektrolüütilisel teel tugeva vasekihiga ja tarvitame saadud vasest negatiivkoopiat paljundamiseks (pressimiseks või valamiseks). — Ka võib asja negatiivkoopiat valmistada näit. vaha- või parafiinisulatisest, seda koopiat juhtivaks teha grafiidiga ja temast positiivkoopiat saada elektrolüütilisel teel.

61. Polariseerimisvool. Akkumulaator. a. Lülitame ahelasse patarei P , platinast elektroodidega vee lahutamise aparadi L ja galvanomeetri (82. joon.); galvanomeetri näitaja kaldub teatavas sihis ja elektroodidel eralduvad gaasid. Kõrvaldame patarei ja ühendame juhtmed (joonises punkteeritud), siis näitab galvanomeeter lühiajalist vastupidist voolu, mille allikaks võib olla ainult vee lahu-



82. joon. Polariseerimisvool.

tamise aparaat. Selle n. n. **polarisatsioonvoolu** emj. on (voltmeetriga mõõdetuna) ümmarguselt 2 V. — Patareivoolu uuesti läbi lahutamisriista juhtides võib temast uuesti lühiajalist polarisatsioonvoolu saada.

Arusaadav, et patarei emj. peab olema suurem kui lahutamisriistas vastu mõjuv polarisatsiooni emj.; vastasel korral ei sünniks elektrolüüsi, sest elektrolüüsil

$$\text{voolu tugevus} = \frac{\text{patarei emj.} - \text{polarisatsiooni emj.}}{\text{kogutakistus}}$$

Kordame sama katset puhastamata (oksuüditud) tina-elektroodidega väävelhappe-lahuses, siis saame pikemaajalise polarisatsioonvoolu, mis juba mitu minutit võib elektrikella helisemist alal hoida.

Polarisatsioonvoolu tekkimise põhjuseks on elektroodidel kogunenud gaasid H_2 ja O . Ilesuguste gaasidega kaetud n. n. polariseeritud elektroodide vahel tekib pinge ja elektroodide ühendamisel laadivale patareivoolule vastupidine polarisatsioonvool, mille juures lahutatud gaasid jälle ühinevad. Platinast elektroodidega saame väga lühiajalise polarisatsioonvoolu, sest gaasid platinaga keemiliselt ei ühine, ja ainult väike hulk jääb elektroodide ligidale püsima. Oksüüditud tina elektroodide juures aga ühinevad gaasid osalt elektroodidega keemiliselt, nii et elektroodidel kogunevad suuremad gaaside hulgad; selle tõttu on polarisatsioonvool pikema-ajaline.

Keemiline käik tinahapendiga (PbO) kaetud tina-elektroodide puhul on järgmine. Laadimisel eraldub anoodil O ja anoodi pind kattub tinaülihapendiga (PbO_2); katoodil eraldub H_2 , ühineb katoodi pinna hapnikuga (O) veeks (H_2O), nii et lahuse kontsentratsioon nõrgeneb ja katoodi pind muutub puhtaks tinaks (Pb). Voolu võtmisel pärast laadimist on vastupidise voolu tõttu ka keemiline käik vastupidine ja lõpuks muutuvad mõlemad tinaplaadid endiseks (PbO).

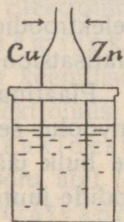
b. **Tina-akkumulaatorites** on väävelhappe-lahusesse asetatud suure pinnaga auklikud tinahapenditega täidetud tinaplaadid. Laadimisel seovad elektroodid suuremad gaasihulgad keemiliselt (laadimist toimetatakse elektrijaamades). Laetud akkumulaator võib anda pikaajalist voolu. Akkumulaatori **m a h t u v u s m ä ä r a t a k s e** ampertundides; on näiteks mahtuvus 8 amp-tundi, siis võib laaditud akkumulaator anda 1 ampr. ~ 8 tunni jooksul, või 4 ampr. ~ 2 tunni jooksul jne. Tina-akkumulaatorite emj. on ümmarguselt 2 V. Nad leiavad laialdast tarvitust

elementide asemel. Akkumulaatorite laadimisel sünnib elektri-
voolu energia moondumine keemiliseks energiaks, voolu võtmisel
keemilise energia moondumine elektrivoolu energiaks.

Tina-akkumulaatoritega tuleb ettevaatlikult ümber käia. Nad ei kannata
laadimisel ega voolu võtmisel liiga tugevat voolu (lühikest ühendust), nad ei
tohi laadimata seista jne. Tugevamad vastu pidama on n. n. Edisoni akku-
m u l a a t o r i d (auklikud sooladega täidetud terasplaadid terasest anum, täi-
detud söötkaalilahusega, emj. kuni 1,25 V).

**62. Polariseerimine elemendis. Jäävad elemen-
did.** Ka galvani elemendis sünnib voolu võtmisel elektrolüüs.

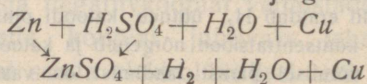
a. Volta elemendis asub tsink- ja vaskplaat nõrgas vää-
velhappes; pinge on ~ 1 volt. Ühendame tema elektroodid
galvanomeetriga, siis näeme, et voolu tugevus kiiresti kahaneb,
tähendab, element ei ole jääv.



83. joon. Volta
element polari-
satsiooni de-
monstreerimiseks

Asetame väiksesse paralleelsete seintega anu-
massesse väävelhappe-lahusesse puust kaanele kinni-
tatud tsingi- ja vaseriba (83. joon.). Projektme selle
lahtise Volta elemendi ekraanile, siis me ka suu-
rendatud kujutisel ei pane midagi tähele. Ühen-
dame aga tsingi ja vase otsad, tähendab, võtame
elemendist voolu, siis näeme, et vask kattub gaa-
siga, kuna tsingi juures muutub vedelik raskemaks
ja hakkab põhja vajuma. Mitmekordsete katsete
järel on tsink peenemaks jäänud.

Nähtuse käiku voolu võtmisel näitab järgmine skeem:

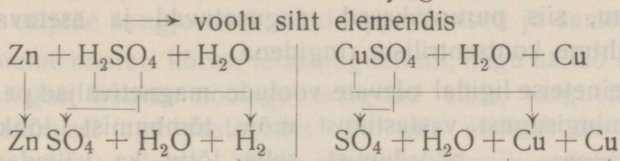


Tsingi pinnal tekkiv tsinkvitriooli-lahus vajub kergemas vede-
likus põhja, kuna vesinik katab vase pinda. Cu-plaat polariseerub
ja selle tõttu tekib vastumõjuv polarisatsiooni emj., mis elemendi
emj. hävitab.

b. J ä ä v a t e s e l e m e n t i d e s on polarisatsioon (vaba vesi-
niku tekkimine) kõrvaldatud. Näitena seletame keemilist käiku
Danielli elemendis.

Danielli elemendis (44. joon.) on anum purgitaolise
poorse savist vaheseinaga jaotatud kahte ossa. Ühes osas asub
tsink nõrgas väävelhappe-lahuses, teises vask kontsentreeritud
vasevitriooli-lahuses.

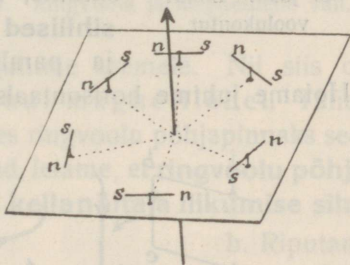
Nähtuse käiku voolu võtmisel näitab järgmine skeem:



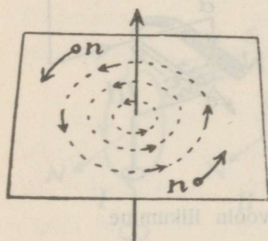
Voolu võtmisel rändavad mõlemate vedelikkude ioonid nagu elektrolüüsis. Ühes anuma osas ühineb SO_4 tsingiga tsinkvitriooliks, selle tõttu kaob aegamisi tsink ja väävelhappe asemele tekib tsinkvitriooli-lahus vees. Teises anuma osas katab vask vaskplaadi, mis läheb paksemaks, kuna vasevitriooli-lahuse kontsentratsioon nõrgeneb. Vastassihhis rändavad H_2 ja SO_4 ioonid ühinevad poorsel seinal väävelhappeks. Vesiniku vabanemine on kõrvaldatud. Mõne aja pärast peab tsinkplaati ja vedelikku uuendama.

Voolu magnetiväli. Elektromagnetism.

63. Sirgvoolu magnetiväli. a. Voolu läheduses asub magnetnõel kindlas sihis. Sellest järgneb, et voolu ümber on magnetiväli. Juhime sirgvoolu risti läbi horisontaalse lauakese, kus asuvad magnetnõelad samal kaugusel voolu juhtmest (84. joon.). Nüüd näeme, et nõelad moodustavad parema käe reeglile vastavalt ümber juhtme ringi. Vaba n -poolus liiguks ringi



84. joon. Magnetnõelad sirgvoolu magnetiväljas.

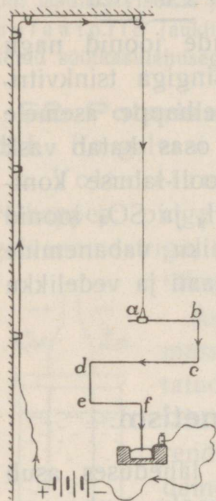


85. joon. Tungjooned sirgvoolu väljas.

mööda ümber juhtme (järele katsudes liikumist peaksime paremat kätt liikuva poolusega kaasa pöörma, nii et peopesa alati oleks sihitud pooluse poole). Nii siis on sirg-voolu magnetivälja tungjooned ringikujulised ja vastu voolu sihti vaadates lähevad tungjooned vastu kellanäitaja liikumise sihti (85. joon.).

Riputame lauakesele, millest voolujuhe on risti läbi juhitud, rauapuru, siis puruosakesed magnetuvad ja asetuvad ümber voolujuhtme kontsentriliste ringidena.

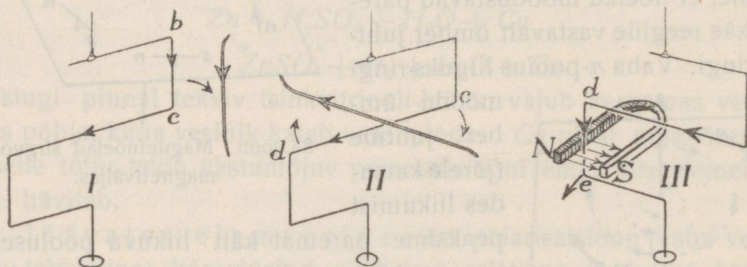
b. Teineteise ligidal olevate voolude magnetiväljad peavad avaldama mingisugust vastastikust mõju, tõmbumist, tõukumist või pöördumist, selle tõttu ka väljadega seotud voolu juhtmed. Et seda näidata, tuleb tarvitada kergesti liikuvaid või painduvaid voolujuhtmeid.



86. joon. Liikuv voolukontur.

Olgu mööda seina laesse juhitud traat, mille otsas ripub pikk lamettaniit (86. joon.). Lametta alumise otsa külge olgu kinnitatud haagikeseks painutatud plekiriba. Haagi külge riputame vabalt pöörduva alumiiniumtraadist konturi $abcdef$, mille alumine ots ulatub anumasse elavhõbedaga. Juhime läbi selle ahela voolu ja hoiame juhtme vertikaalselt konturi kõrval nii, et vool juhtmes oleks vooluga konturi osas bc paralleelne ja samasihiline (87. joon., I) või paralleelne ja vastasihiline, siis näeme, et **paralleelsed samasihilised voolud vastastikku tõmbuvad** ja **paralleelsed vastasihilised tõukuvad**.

Hoiame juhtme horisontaalselt konturi osa cd pääl (87. joon., II)



87. joon. Voolude vastastikune mõju. Sirgvoolu liikumine magnetiväljas.

või all nii, et voolud moodustavad mingisuguse nurga, siis näeme, et **kiivad voolud püüavad pöörduda paralleelseteks ja sama-**

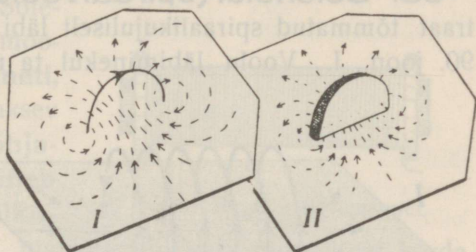
sihilisteks. Igal juhul püüavad voolu juhtmed end asetada nii, et nende väljade tungjooned oleksid paralleelsed ja samasihilised.

c. Hoiame konturi kõrval terasmagneti nii, nagu näitab 87. joon., III, siis liigub kontur noolega märgitud sihis, magnetipooluste ümberasetamisel aga vastassihis. Nii siis avaldab ka magneti tungiväli mõju voolusse. Voolu liikumine sünnib n. n. p a h e m a käe reegli järel: **kui pahem käsi hoida juhtme kohal nii, et sõrmed näitavad voolu sihti ja välja tungjooned langevad peopesasse, siis kaldub voolujuhe pöidla sihis.**

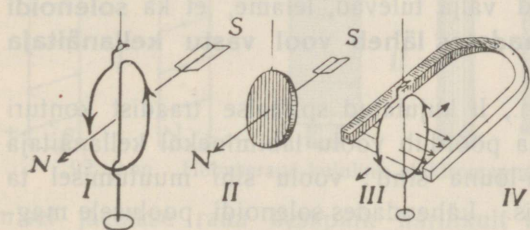
64. Ringvoolu magnetiväli. a. Juhime ringvoolu risti läbi horisontaalse lauakese nii, et pool ringi asuks päälpool lauda, ja riputame lauakesele

rauapuru, siis saame 88. joon., I kujutatud välja pildi. Tungjoonte sihi teeme kindlaks parema käe reegli põhjal. Sama-

suguse välja pildi (88. joon., II) näitab õhuke magnetileht (ümmargusest magnetist ära lõigatud), kui see asetada ringvoolu juhtme asemele. Nii siis on ringvoolul samasugune väli kui magnetilehel. Tähele pannes tungjoonte sihti ja nimetades ringvoolu põhjapinnaks seda pinda, millest tungjooned välja tulevad, leiame, et **ringvoolu põhjapinnale vaadates läheb vool vastu kellanäitaja liikumise sihti.**



88. joon. Ringvoolu ja magnetilehe väli.



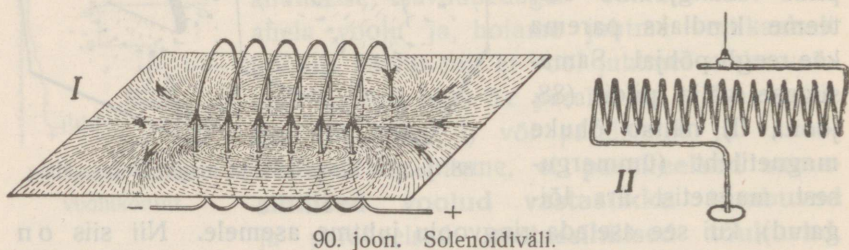
89. joon. Liikuv ringvool magnetiväljas.

mõjul põhjapind põhja poole ja lõunapind lõuna poole, samuti kui peenikese niidi otsas rippuv magnetileht (89. joon., II). Muudame

b. Riputame 89. joon., I kujutatud traadist ringkonturi lametanniidi otsa, siis voolu läbiminekul pöörduv maakeravälja

kommutaatori abil voolu sihi, siis pöörduv ka ringvoolu kontur. Ringvoolu pind asetub risti välja tungjoontega. — Ringvoolu asetumist magnetiväljas näitab ka 89. joon., III kujutatud katse (anna seletus). — Juhime läbi kahe teineteise ligidal oleva ringkonturi painduvate lamettaniitide kaudu voolu nii, nagu näitab 89. joon., IV, siis näeme, et vastastikku seisvad isenimelised pooluse pinnad tõmbuvad; muudame ühes konturis voolu sihi, siis konturid tõukuvad (tõmbumine ja tõukumine järgneb ka paralleelsete voolude vast. mõjust). Sama nähtust paneme tähele niidi otsas rippuvate kahe magnetilehe juures. Nii siis on ringvoolul samad omadused kui magnetilehel.

65. Solenoidi (spiraalvoolu) magnetiväli. a. Olgu traat tõmmatud spiraalikujuliselt läbi lauakese nii, nagu näitab 90. joon., I. Voolu läbiminekul ta moodustab n. n. solenoidi,



90. joon. Solenoidiväli.

s. o. paralleelsete ringvoolude süsteemi. Katse rauapuruga näitab, et solenoidil on samasugune magnetiväli kui magnetpulgal. Nimetades solenoidi põhjapooluseks seda otsa, millest tungjooned välja tulevad, leiame, et ka solenoidi põhjapooluse päale vaadates läheb vool vastu kellanäitaja liikumise sihti.

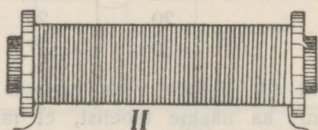
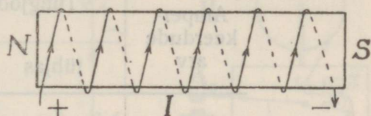
b. Riputame 90. joon., II kujutatud spiraalse traadist konturi lamettaniidi otsa, siis ta pöörduv voolu läbiminekul kellanäitaja reeglile vastavalt põhja-lõuna sihti; voolu sihi muutumisel ta asetub vastupidises sihis. Lähendades solenoidi poolusele magneti sama- või isenimelise pooluse või teise solenoidi sama- või isenimelise pooluse, näeme tõukumist või tõmbumist analoogiliselt magnetipooluste tõmbumise ja tõukumise reeglile. Nii siis on solenoidil samad omadused kui magnetpulgal.

c. Solenoid tõmbab rauda ligi ja koguni enese sisse ning seda tugevamini, mida kõvem on vool. Tugev raudnael jääb solenoidi sisse rippuma, kui amperkeerdude arv on küllalt suur.

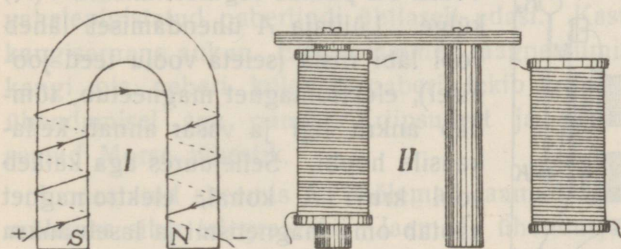
Seda solenoidi omadust kasutatakse tehnikas vähema täpsusega mõõduriistade ehitamiseks. Mõõdetav vool juhitakse läbi väikese solenoidi; ta tõmbab siis tasakaalus rippuva pehmest rauast pulgakese enam või vähem enese sisse. Pulgakese ühendatud näitaja liigub astmelaul ja näitab voolu tugevust.

66. Elektromagnet. Solenoidi sisse asetatud raudpulk magneetub (91. joon.).

Lõunapoolus tekib sääl, kus välja tungjooned lähevad raua sisse, ja põhjapoolus sääl, kus nad tulevad rauast välja. Solenoid ühes raudsüdamikuga moodustab n. n. **elektromagneti**, mille pooluste kohta on maksev reegel: elektromagneti **põhjapooluse pääle vaadates läheb vool vastu kellanäitaja liikumise sihti**. Elektromagneti tugevus on kuni mitu tuhat korda suurem kui tühja solenoidi oma ja ka palju suurem kui teras-
magneti oma. Tugevus kasvab voolu tugevuse ja voolu keerdude arvu, tähendab, amperkeerdude (voolu tugevuse ja keerdude arvu korrutise) arvu suurenemisega kuni teatava piirini ja on seda



91. joon. Sirge elektromagnet.



92. joon. Hobuseraua-kujuline elektromagnet.

suurem, mida suurem on raudsüdamik. Elektromagnetile võib anda ka hobuseraua kaju (92. joon.). Traadi mähkimisel jäetakse raua keskaik harilikult vabaks (käepidemena); mähkimisel tuleb üleminekul ühest harust teisele sihti silmas pidada (üleminekul moodustab traat number 8).

Elektromagnetite südamikud tehakse hästi pehmest rauast, mis voolu tekkimisel silmapilkselt ja tugevasti magneetub ja katke-

misel oma magnetismi (peaaegu täiesti) kaotab. Kõvast terasest südamik jääks voolu katkemisel magneedituks (kunstlike magneetite valmistamine). Elektromagneti traat (solenoid) mähitakse nagu niit rullile puust või papist pooli pääle ja pooli sisse asetatakse südamik. Elektromagnetid leiavad laialdast tarvitust tehnikas ja igapäevases elus.

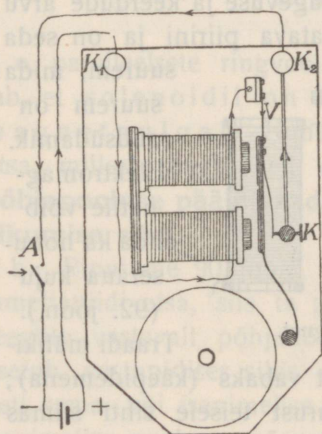
Järgmine tabel näitab elektromagneti-välja tugevuse olenevust amperkeerdude arvust ning südamiku ainest:

Amperkeerdude arv	Tungjoonte rel. arv 1 cm ² kohta solenoidis		
	tühjas	malmist südamikuga	rauast südamikuga
5	6,25	9000	11000
10	12,5	12000	13500
20	25	14400	15000
30	37,5	15300	15800

Nii siis ligineb välja tugevus amperkeerdude arvu suurenemisega teatud piirini; ka näeme tabelist, et raua permeabiliteet (§ 9) väheneb magneetiva mõju suurenemisega (5 amperkeeru kohta $11\,000 : 6,25 = 1440$, 10 amperkeeru kohta $13\,500 : 12,5 = 960$).

67. Elektrikell. Elektrikella skeemi näitab 93. joon. Elektro-

magneti pooluste ees ripub terasvedru küljes vasaraga varustatud raudankur. Vedru ots puutub reguleerimiskruvi (*K*) külge. Lülitaja *A* ühendamisel läheb vool läbi riista (seleta voolu teed joonisel), elektromagnet magneetub, tõmbab ankru ligi ja vasar annab kella-kausile hoobi. Sellejuures aga katkeb vool kruvi *K* kohal, elektromagnet kaotab oma magnetismi ja laseb ankru lahti. *K* kohal tekib uuesti ühendus, vool läheb läbi, vasara liikumine kor-dub ja kell heliseb.

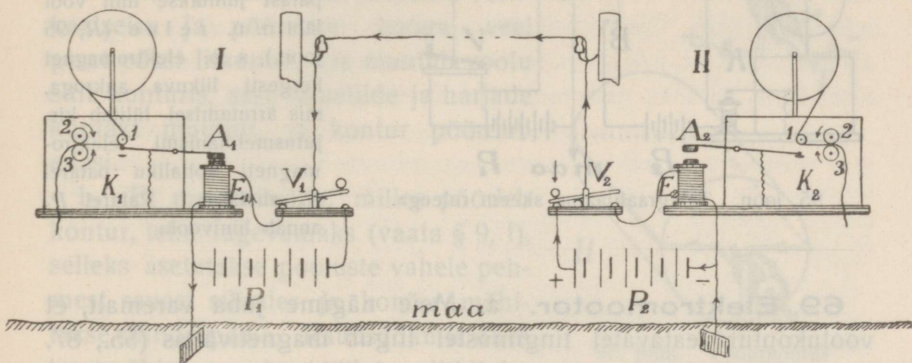


93. joon. Elektrikell.

1. Seleta joonise abil, kuidas võib helisema panna sama kella mitmest kohast.

2. Kui kell ei tööta, missugused põhjused võivad siis olla? Kuidas leida ja kõrvaldada viga?

68. Morse telegraaf. a. Lihtsa Morse telegraafi skeemi näitab 94. joon. Mõlemates jaamades on olemas patareid, maaühendused, elektromagnetid kirjutatismehhanismiga (K) ja vooluvõtmed (V), millede päänine kangitaoline osa ja juhtmetega ühendatud kontaktpulgad on vasest. On mõlemad võtmed puhkeasendis nagu joonises jaamas I, siis vool läbi ahela ei lähe (misparast?). Surutakse näit. jaamas II käepidemega varustatud võtme



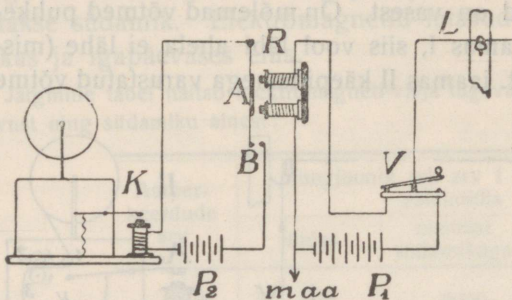
94. joon. Morse telegraaf.

ots alla, siis läheb vool läbi ahela (seleta voolu käiku, arvesse võttes, et maa moodustab ahela osa) ja elektromagnet jaamas I magneetub. Elektromagneti kõrval kastikeses asub kellamehhanism, mis kaht rullikest vastassihis pöörab; rullikesed tõmbavad vahelepigistatud paberlindi ühtlaselt edasi. Kastikese küljes asub kangisarnane ankur. Elektromagneti magneetumisel puutub ankruksingi ots paberi külge ja paberil tekib kriips, lühiajalise voolu ühendamisel aga punkt. Kriipsudest ja punktidest on kokku seatud Morse tähestik.

Joonestatud skeemis on mõlemad jaamad sümmeetrilised, võib mõlemas sihis telegraafida. Jaamade ühendusjuhe on isoleeritult kinnitatud postidele. Telegraafimiseks läbi mere või maa tarvitatakse ka aablit, s. o. tugeva mitmekordse isolatsiooniga ja veel metallkattega kaitstud juhe või juhtmete kimp.

Morse telegraafiga võib telegraafida minutis ~ 60 tähte. Suuremate tsentrite vahel tarvatakse Huyges'i telegraafi, kus võtme aset täidavad klahvid tähtedega ja kirjutusmehhanism trüüb tähed paberlindile; selle riistaga võib kiiremini telegraafida. Ilesuguste telegraafiaparatuuridega võib telegraafida paar

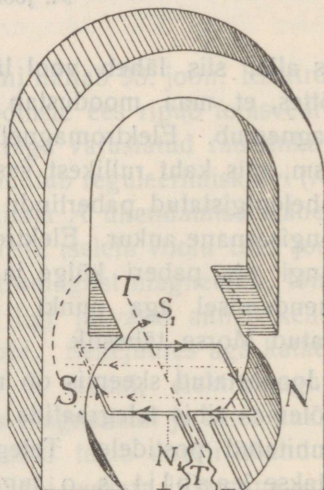
tuhat tähte minutis. Suurte linnade vahel tarvitatakse telegraafisüsteeme, mis võimaldavad mitme telegrammi üleandmist mõlemates suhtides ja samal ajal sama traadi kaudu. Koguni teissuguseid telegraafisüsteeme tarvitatakse merealusel telegraafimisel kauge maa päälle.



95. joon. Telegraafijaama skeem releega.

b. Telegraafimisel kauge maa päälle ei mõju vool küllalt tugevasti kirjutusmehhanismi elektromagnetisse (mispärast?). Sellepärast juhitakse liini vool läbi n. n. relee (*R*, 95 joon.), s. o. elektromagnet kergesti liikuva ankruga, mis ärrutamisel lülitab kirjutusmehhanismi elektromagneti kohaliku patarei P_2 ahelasse. Patarei P_1 annab liinivoolu.

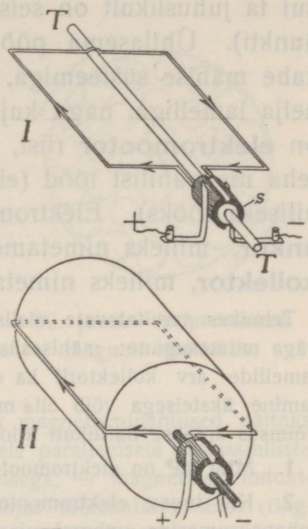
69. Elektromootor. a. Meie nägime juba varemalt, et voolukontur teataval tingimustel liigub magnetiväljas (55., 87. joon. jne.) ja leidsime ka reegli liikumissihi määramiseks (§ 63, c). 89. joon., III kujutatud katset võib korrata püstiasetatud magnetiga ja nelinurkse konturiga, mis võib pöörduda ümber horisontaalse telje TT (96. joon.). 96. joon. tähendatud voolu sihi juures on konturi lõunapind (S_1) ülal, põhjapind (N_1) all, ja väljamagneti mõjul pöördub kontur paremale poole, jääb aga vertikaalses pinnas seisma. Kui aga vertikaalses seisus voolu sihti kommutaatori abil muuta, siis pöördub kontur 180° võrra edasi.



96. joon. Voolukonturi pöördumine magnetiväljas.

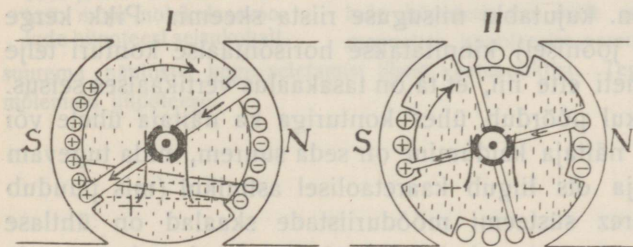
Et kontur vahet pidamata edasi pöörduks, selleks tuleb teda ühendada vooluallikaga nii, et tema vertikaalses seisus voolu siht iga kord muutuks ja ka juhtmed mitte kokku ei keerduks. Selleks varustatakse konturi telg isesuguse kommutaatoriga, n. n. **kollektoriga**,

mida kujutab 97. joon., I. Kollektor koosneb teljega ühendatud isoleerivast silindrikesest (s), millele on kinnitatud teineteisest isoleeritud vasest poolsilindrid, n. n. lamellid. Konturi otsad on ühendatud lamellidega; lamellide külge puutuvad vetruvad metalliribad, n. n. harjad, millede kaudu vool juhatakse konturisse. On kontur pöördumisel jõudnud vertikaalseisu ja pöörmise hooga veel pisut edasi liikunud, siis muutub voolu siht konturis, sest lamellide ja harjade kontakt muutub, ja kontur pöördub edasi.



97. joon. Voolukontur kollektoriga.

b. Et magnetivälja, milles pöörleb kontur, teha tugevamaks (vaata § 9, f), selleks asetatakse pooluste vahele pehmet rauast silinder ja kontur mähitakse silindri pääle. Raudsüdamik ühes traatmähisega nimetatakse **ankruks** (97. joon., II). — Et ankru pöörlemise jõudu suurendada, tehakse kontur mitmest keerust ja antakse ankrule 98. joonises, I tähendatud kuju. Joonis kujutab ankru esipinda ühes kollektoriga;



98. joon. Ankru skeemid.

leja poole; et joonis mitte liiga kirjuks ei läheks, on märgitud ainult esimesed keerud ankru esi- ja tagapinnal.

Veel tugevama välja saamiseks tarvitatakse terasest **väljamagneti** asemel elektromagneti ja juhatakse vool järjestikku läbi elektromagneti ja läbi ankru, kusjuures aga voolu siht muutub ainult ankrus.

esipinda ühes kollektoriga; joonises + -ga märgitud traadi läbilõigetel voolab elekter vaatlejast eemale, - -ga märgitud läbilõigetel vaat-

c. Ankru (98. joon., I) pöörlemise jõud muutub pöörlemisel ja on konturi vertikaalses seisus 0, nii et ankur liikuma ei hakka, kui ta juhuslikult on seisma jäänud vertikaalpinnas (kaks surnud punkti). Ühtlasema pöörlemisjõu saamiseks varustatakse ankur kahe mähise süsteemiga, teineteisele risti, ja vastavalt kollektor nelja lamelliga, nagu kujutab skemaatiline 98. joon., II. Nii siis on **elektromootor** riist, mis elektrivoolu mõjul pöörleb ja võib teha mehaanilist tööd (elektrivoolu energia moondumine mehaaniliseks tööks). Elektromootori **pääsadeks on väljamagnet, ankur**, milleks nimetame pöörlevat konturit raudsüdamikuga, ja **kollektor**, milleks nimetame kommutaatorit harjadega.

Tehnikas tarvitatavate alalise voolu elektromootorite ehitus ja võimsus on väga mitmesugune; mähisesüsteemide arv on palju suurem kui 2 ja vastavalt lamellide arv kollektoril ka suurem kui 4; üksikute mähisesüsteemide lülitamine üksteisega võib olla mitmesugune ja kaunis keeruline. Elektromootorite võimsus antakse harilikult kilovattides ($1 \text{ HP} = 736 \text{ W}$).

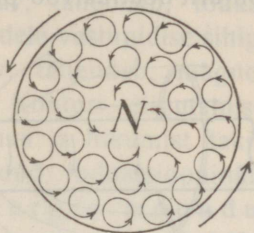
1. Mitu HP on elektromootoril, millel on üles märgitud 2,2 kW?

2. Kui tugev elektromootor võiks täita 8 HP-lise aurumasina aset näiteks rehepeksumasina ümberajamisel?

***70. Deprez-D'Arsonval'i galvanomeeter.** Deprez-D'Arsonval'i galvanomeetriks nimetatud riistas kasutatakse voolukonturi pöördumist magnetiväljas voolutugevuse (või pinge) mõõtmiseks. 96. joon. kujutabki niisuguse riista skeemi. Pikk kerge näitaja (puudub joonisel) kinnitatakse horisontaalse konturi telje külge väljamagneti ette nii, et ta on tasakaalus vertikaalses seisus. Voolu läbiminekul pöördub ühes konturiga ka näitaja ühele või teisele poole ja näitaja kaldumine on seda suurem, mida tugevam on vool. Näitaja ots liigub kaaretaolisel astmikul (mis puudub joonisel). Deprez süsteemi mõõduriistade skaalad on ühtlase jaotusega. Deprez süsteemi galvanomeetrid kuuluvad paremate hulka.

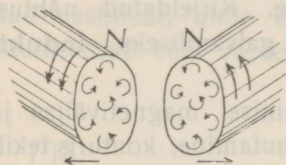
71. Ampère'i magnetismihüpotees. Solenoidi ja magneti sarnasusel põhjeb **Ampère'i magnetismihüpotees**, mille järele **kõik magnetisminähtused on elektrivoolu eriavalduused**. Ampère oletas, et **raua- ja terasemolekulide ümber tiirlevad alati elektrivoolud** (ampervoolud, molekulaarvoolud). Need korraldamatud ampervoolud ei avalda ühist välismõju.

Juhime aga ümber raua voolu, mis kiivasvoolude reegli järel pöörab ampervoolud enesega paralleelseks, siis tekib raas korraldatud paralleelsete ringvoolude süsteem (99. joon.). Raua sees kokkupuu-
 tuvate ja vastupidi sihitud molekulaar-
 voolude mõju hävib; raua välispinnal aga
 mõjuvad molekulaarvoolude välisosad
 nii, nagu läheks vool ümber raua. Nii siis
 muutub raud solenoidiks (magnetiks).
 Raua ja terase vahe magneetumisel sele-
 tub kergemate ja raskemate molekulaarvoo-
 lude pöördumisega. **Magneti põhjapoo-
 luse pääle vaadates lähevad ampervoo-
 lud vastu kellanäitaja liikumise sihti.**



99. joon. Ampervoolud
 magneti läbilõikes.

Molekulaarvoolude mõjuga võib seletada kõik magnetisnähtused, näiteks samanimeliste pooluste tõukumist 100. joon. järel paralleelsete vastassihiliste voolude tõukumisega, — magnetilist indukt-
 siooni magnetiväljas molekulaarvoolude (ring-
 voolude) pöördumisega risti välja tungjoonte-
 le, mille tõttu raud magneetub.



100. joon. Pooluste vast-
 tast. mõju molekulaarvoo-
 lude hüpoteesi seisukohalt.

Molekulaarvoolude tekkimist seletame sel-
 lega, et rauamolekulis olevad elektri algosad,
 n. n. elektronid, suure kiirusega tiirlevad
 ümber molekuli südamikule. Molekulaarvoo-
 lude hüpotees on selle poolest molekulaar-
 magnetite hüpoteesist parem, et ta võimaldab

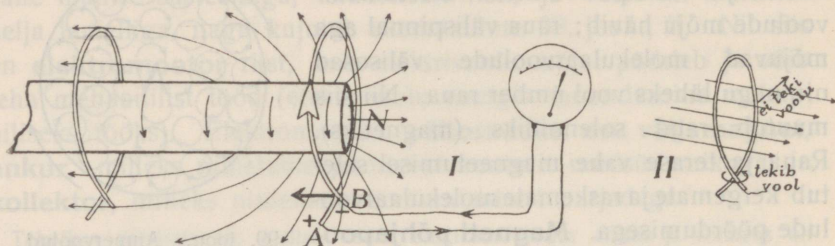
suurema nähtuste kogu seletamist ühest vaatepunktist. Tegelikult tarvitatakse mõlemaid hüpoteese.

Induktsioon.

72. Induktsiooni põhinähtused. Nägime, et mag-
 netiväljas olev kontur võib liikuma hakata temast voolu lä-
 biminekul. Ümberpöörduvalt aga võib tekkida vool konturis tema
 liikumisel magnetiväljas (Faraday 1831).

a. Ühendame (ringitaolise) juhtiva konturi otsad *A* ja *B* 101.
 joon., *I* järel peegel-galvanomeetriga ja liigutame konturit mag-
 netiväljas pooluse läheduses edasi-tagasi, nii et ta löikab mag-

neti tungjooni, siis galvanomeeter näitab voolu, mille siht muutub liikumissihi muutumisel. Kiirem liigutamine sünnitab tugevamat voolu. Hoiame konturit paigal, siis voolu ei ole. Liigutame konturit neutraalvöö pinnas edasi-tagasi, kus ta tungjooni ei löika,



101. joon. Galvani induktsiooni põhinähtused.

siis ka voolu ei teki. — Kordame katset mitmestkümnest keerust koosneva konturiga (traatrull), siis tekivad tugevamad voolud, mis mõjuvad harilikku galvanomeetrisse. Kirjeldatud nähtust nimetatakse elektromagnetiliseks ehk galvaniliseks **induktsiooniks**.

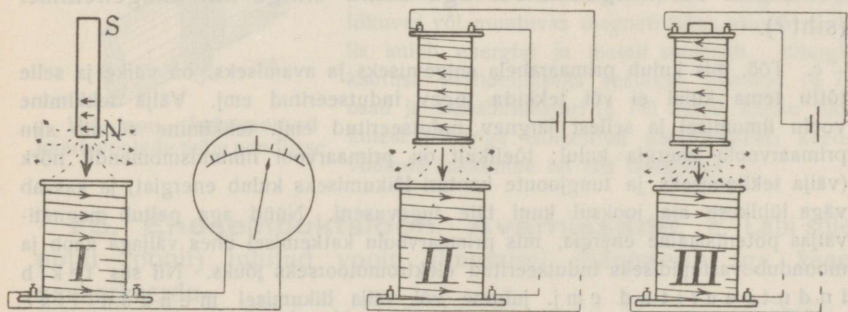
Nähtavasti sünnib konturis tema liikumisel magnetiväljas ja tungjoonte lõikumisel neutraalse elektri lahutamise, konturis tekib **indutseeritud emj.** (pinge *A* ja *B* vahel) ja selle järelalusena ka **induktsioonvool**, kui kontur on kinnine. Nii siis magnetiväljas liikuv kontur võib mõjuda kui galvani element. Arusaadav, et traadirullis indutseerub tugevam emj. ja vool, sest rulli üksikud keerud kokku mõjuvad nagu järjestikku lülitatud elemendid.

Liigutame kinnist konturit homogeenses magnetiväljas risti tungjoonte (näit. hobuseraua-kujulise magneti harude vahel või maakeramagnetiväljas), siis läbi konturi minevate tungjoonte arv ei muutu ja induktsioonvoolu ei teki (101. joon., II), küll aga tekib vool, kui pöörame konturi, nii et tungjoonte lõikumisel muutub läbi konturi minevate tungjoonte arv.

Katsetest järeldame: **kinnises juhtivas konturis tekib induktsioonvool magnetivälja tungjoonte lõikumisel, kui seejuures muutub läbi konturi minevate tungjoonte arv.** Lahtises konturis võib tekkida ainult indutseeritud emj. Teoreetiline arutus näitab, et **indutseeritud emj. on võrdeline ajaüksuses lõigatud tungjoonte arvuga.**

b. Induktsioonvoolu sihti määravad mitmed reeglid, milledest siin nimetame Lenzi reegli: **indutseeritud vool takistab voolu tekitavat liikumist**. Näiteks tekib konturi lähenemisel magneti-poolusele (101. joon., I) lähenemist takistav, tähendab, tõukav vool; see on aga magneti molekulaarvooludele vastupidise sihiga vool. Konturi kaugenemisel tekib tõmbav, tähendab, magneti molekulaarvooludele samasihiline vool. Konturi liigutamisel teeme tööd, me ületame liigutamisel tekkiva ja liikumist takistava induktsioonvoolu vastumõju. Vaadeldud induktsiooninähtuste juures sünnib mehaanilise energia muundumine elektri energiaks ja Lenzi reegel on kokkukõlas energia jäävuse seadusega.

73. Induktsiooninähtused poolis. Tugevama mõju saamiseks tarvitame järgmistes katsetes konturina **pooli**, see on õõnsa rulli pääle mitmes kihis mähitud peenike isoleeritud vasktraat, mille keerdude arv on mitu tuhat. Poolis on indutseeritud emj. võrdeline keerdude arvuga (mispärast?).



102. joon. Induktsiooninähtused poolis.

a. Magnetpulka galvanomeetriga ühendatud pooli asetades ja välja võttes (102. joon., I) tekivad pulga lähendamisel ja kaugendamisel poolist tugevad induktsioonvoolud (missuguse sihiga?).

Võtame magneti asemel solenoidi (teise pooli), kuid niisuguse, et ta mahub pooli õõnsusse, ja ühendame ta elemen-

diga (102. joon., II). Lähendame (või kaugendame) solenoidi antud poolile, siis tekib ka antud poolis induksioonvool (siht?). Induksioonvoolu nimetatakse ka **sekundaarvooluks**, vastavat pooli induksioonpooliks ehk sekundaarpooliks (-ahelaks). Indutseerivat voolu nimetatakse **primaarvooluks**, vastavat pooli (solenoidi) primaarpooliks (-ahelaks).

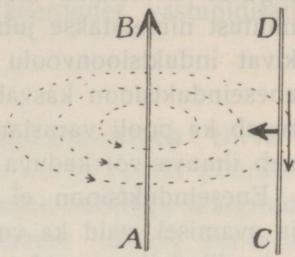
Veel tugevama mõju saame, kui varustame primaarpooli raudsüdamikuga (102. joon., III, tugevama magnetivälja tõttu, sest solenoidi ringvoolude ja paralleelsete raua ampervoolude mõjud liituvad).

b. Jätame primaarpooli sekundaarpooli sisse ja avame (kõvendame) või suleme (nõrgendame) primaarvoolu, siis tekivad ka sekundaarpoolis induksioonvoolud. Primaarvoolu ilmumise momendil tekib magnetiväli, mille juures tungjooned lagunevad ruumis laiali ja lõikavad sekundaarpooli keerduksid. Primaarahela avamisel aga kaob magnetiväli, tungjooned nagu tõmbuvad kokku ja lõikavad sellejuures sekundaarpooli keerduksid vastassihis. Primaarvoolu ilmumisel või kõvenemisel tekib sama sihiga induksioonvool kui lähenemisel (siht?), kadumisel või nõrgenemisel aga sama sihiga kui kaugenemisel (siht?).

c. Töö, mis kulub primaarahela sulgemiseks ja avamiseks, on väike ja selle tõttu tema kulul ei või tekkida tugev indutseeritud emj. Välja tekkimine voolu ilmumisel ja sellest järgnev indutseeritud emj. tekkimine sünnib siin primaarvoolu energia kulul; tõelikult on primaarvoolu ilmumismomendil nõrk (välja tekitamiseks ja tungjoonte konturi lõikumiseks kulub energiat) ja kasvab väga lühikese aja jooksul kuni täie tugevuseni. Nüüd aga peitub magnetiväljas potentsiaalne energia, mis primaarvoolu katkemisel ühes väljaga kaob ja muundub vastupidiseks indutseeritud elektromotoorseks jõuks. Nii siis tekib indutseeritud emj. juhtme või välja liikumisel mehaanilise liikumise energia kulul, primaarahela ühinemisel või katkemisel aga primaarvoolu või voolu magnetivälja energia kulul.

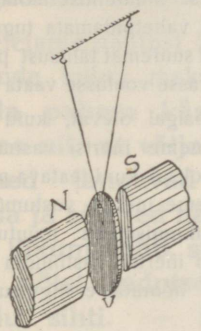
74. Induksiooninähtused sirges juhis ja juhtivas kehas. a. Juhtiva konturi sirge osa CD lähendamisel sirg-voolule AB (103. joon.), samuti ka kaugendamisel tekib konturis CD indutseeritud emj., sest kontur lõikab liikumisel sirg-voolu AB välja tungjooni.

On kahe vooluta juhtiva konturi sirged osad AB ja CD teineteise ligidal ja avame või suleme konturis AB voolu, siis tekib ka teises konturis CD indutseeritud emj., sest primaarvoolu (AB) lülitamisel lagu nevad välja tungjooned laiali, katkemisel aga tõmbuvad nad kokku ja lõikavad teist konturit CD .



103. joon. Induktsioon sirges juhis.

b. On maksev Lenzi reegel, siis peaksid liikumist takistavad induktsoonvoolud tekkima ka massiivses metallitükis tema liikumisel magnetiväljas või tema paigalolekul liikumas või muutumas magnetiväljas. Laseme näiteks niitude küljes rippuva vaskplaadi (104. joon.) võnkuda pendlisarnaselt elektromagneti pooluste vahel. On elektromagnet vooluta, siis võngub pendel kauemat aega, jääb aga otsekohe või paari võnke järel seisma, kui vool läbi lasta elektromagnetist.



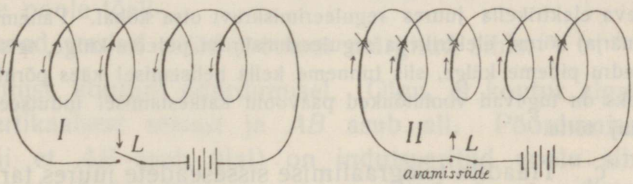
104. joon. Indutseeritud keerisvoolude mõju pendlisse.

Nii siis tekitavad tõelikult vasetükis välja tungjoonte lõikumisel liikumist takistavad voolud, n. n. **keerisvoolud**. Pöörame massiivset vasetükki tugevas magnetiväljas kiiresti, siis ta kuumeneb keerisvoolude mõjul; samuti kuumeneb paigal olev juht kiiresti ja korduvalt muutumas magnetiväljas.

Keerisvoolude tekitamise päälle magnetiväljas liikumas või muutumas magnetiväljas asuvas metallis kulub energiat ja metall soojeneb. Energia kaotuse ärahoidmiseks seatakse dünamo (§ 77) osad ja transformaatori (§ 79) kered kokku üksikutest paberiga isoleeritud plekiribadest; keerisvoolude tekkimine on siis takistatud.

75. Eneseinduktsioon. Avamissäde. a. Läbi sole-

noidi (pooli) juhitud voolu ilmumisel indutseerib iga keerd naaberkeerdudes lühiajalise vastassihilise induktsoonvoolu (105. joon., I).



105. joon. Ekstravoolud spiraalses juhtivas konturis.

Selle tõttu on päävool tekkimise momendil nõrk ja kasvab teatava lühikese aja jooksul kuni täieliku tugevuseni. Päävoolu katkemisel aga indutseerib igas

keerus kaduv päävool naaberkeerdudes lühiajalise samasihilise induktsioonvoolu (105. joon., II). Selle tõttu ei lange päävoolu tugevus katkemise momendil mitte järsku nullini. Kirjeldatud nähtust nimetatakse juhi **eneseinduktsiooniks**, samas juhis tekivad induktsioonvoolu **ekstravooluks**. On arusaadav, et pooli eneseinduktsioon kasvab keerdude arvu suurenemisega. Ta suureneb ka pooli varustamisel raudsüdamikuga, sest sellega suureneb ilmuva või kaduva magnetivälja tugevus.

Eneseinduktsioon ei sünni mitte ainult vooluahela sulgemisel ja avamisel, vaid ka voolu tugevuse muutumisel, ja mitte ainult spiraalikujulises, vaid igas juhtmes; kõige väiksem on ta sirges juhtmes. Eneseinduktsioon takistab alati voolu tugevuse muutumist.

Eneseinduktsiooni mõju avaldub ainult voolu tugevuse muutumise momendil. Et sihi poolest püsiva (alalise) voolu juures harilikult vahetpidamata tugevuse muutumisega tegemist ei ole, siis ei ole eneseinduktsioonil suuremat tähtsust püsiva voolu kasutamise juures (eneseinduktsiooni mõju vahelduvasse voolusse vaata § 80).

Dünaamiline analoogia. Katsume rasket paigal olevat, kuid vaba keha (masina hooratast) käega liikuma panna, siis tunneme inertsist vastumõju; kiirus on liikumise alul väike ja kasvab lühikese aja jooksul kuni teatava piirini. Katsume liikuvat keha käega kinni hoida, ka siis tunneme inertsist vastumõju ja keha ei jää mitte järsku seisma. Inerts takistab liikumisoleku muutumist. Katsume masina hooratast edasi-tagasi liigutada, siis on inertsist vastumõju seda tunduvam, mida kiiremini me püüame ratast võngutada; hooratas ei liigu sugugi, kui katsume teda õige kiiresti edasi-tagasi võngutada.

b. Ahela sulgemisel (105. joon., I) kontakti L kohal säde ei teki. On aga ahelas tunduv eneseinduktsioon, siis tekib ahela katkemisel kontakti L kohal (105. joon., II) säde, n. n. **avamissäde** ekstravoolu võrdlemise suure emj. tõttu. Avamissädemeid näeme, kui ühendame järjestikku elemendi ühe elektroodi, elektromagneti (eneseinduktsiooni) ja viili ning tõmbame teise elektroodiga ühendatud traadi otsaga pikuti mööda viili. Avamissädemeid näeme ka heliseva elektrikella juures reguleerimiskruvi otsa kohal. Paneme sama käe ühe (märja) sõrme elektrikella reguleerimiskruvi pideme külge, teise sõrme kontaktvedru pideme külge, siis tunneme kella helisemisel käes põrutust, mille põhjuseks on tugevad voolutõuked päävoolu katkestamisel indutseeritud ekstravoolu emj. tõttu.

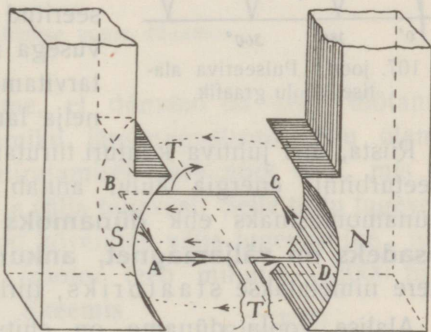
*c. Traadita telegraafimise sisseseadete juures tarvitatakse muutuva eneseinduktsiooniga poole, n. n. **variomeetreid**. Variomeetris on üks pool asetatud pöörduvalt teise sisse ja mõlemad on lülitatud järjestikku. On poolide keerud paralleelsed ja niisuguses seisus, et voolu siht mõlemate poolide keerdudes on sama, siis on

eneseinduktsioonil maksimaalne suurus; pöörame aga ühe pooli teise vastu, siis väheneb eneseinduktsioon kuni nullini, kui poolid on paralleelsed ja voolu sihid keerdukes vastupidised (mispärast?).

76. Induktsiooninähtused magnetiväljas tiirlevas juhtivas konturis. 96. joonises kujutatud kontur pöörduks paremale poole, kui temast voolu läbi juhtisime nooltega märgitud sihis. Eraldame aga vooluallika ja pöörame (käega) konturit paremale poole, siis muutub läbi konturi minevate tungjoonte arv ja konturis tekib induktsioonvool. Lenzi reegli põhjal peab indutseeritud vool takistama liikumist, järelikult on ta nüüd 96. joonises märgitud sihile vastupidine.

Seletame nähtust 106. joon. abil, kasutades järgmist induktsioonvoolude kohta maksvat, n. n. p a h e m a k ä e reeglit: **Kui**

hoida pahem käsi juhi küljes nii, et välja tungjooned langevad peopesa ja sõrmed näitavad juhi liikumissihiti, siis näitab põial indutseeritud voolu sihti. — Konturi pöördumisel löikavad välja tungjooni ainult horisontaalsed osad *AB* ja *CD*. Pahema käe reegli järele leiame, et konturi pöördumisel paremale poole tõelikult indutseeruvad voolud nüüd joonises märgitud sihis.

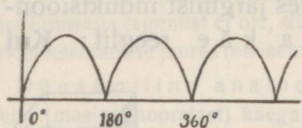


106. joon. Induktsioon juhtivas konturis pöördumisel magnetiväljas.

Jälgime nähtust konturi pöördumisel. Olgu, et kontur algab pöördumist vertikaalsest seisust ja *AB* asub all. Pöördumisel 180° võrra (nii et *AB* asub ülal) on indutseeritud voolu siht pahema käe reegli järele niisugune, nagu näitab joonis. Teise pooltiiru jooksul (180° kuni 360°) on aga voolu siht konturis vastupidine. Nii siis muutub voolu siht konturis iga kord, kui ta läheb läbi vertikaalse seisust. Konturi tiirlemisel tekib konturis ning temaga ühendatud välisjuhtmes n. n. v a h e l d u v

vool, millest räägime allpool (ehk konturi otsade vahel vahelduv ping, kui kontur on lahtine).

77. Alalise voolu dünamo. a. Alalise (püsiva) voolu saame välisjuhtmes, kui varustame eelmises § kirjeldatud konturi 97. joonises, I kujutatud kommutaatoriga (konturis jääb vool vahelduvaks). Suurema indutseeritud emj. saamiseks mähime konturi raudsilindrile (97. joon., II), mis koondab välja tungjooi, võtame konturi suurema keerdude arvuga (98. joon., I) ja tiirutame teda kiiresti. Kirjeldatud ankruga saadud vool (või emj.) on alaline ainult sihi poolest, kuna tema tugevus perioodiliselt muutub (pulseeriv alaline vool), sest vertikaalse seisuga piirkonnas löikab kontur vähe tungjooi, horisontaalse seisuga ligidalt aga palju. Perioodilist muutumist näitab 107. joon., kus hori-



107. joon. Pulseeriva alalise voolu graafik.

sontaalsel teljel on tähistatud pöörumise suurus (alates konturi vertikaalsest seisust), vertikaalsel teljel indutseeritud emj. suurus. Ühtlasema tugevusega indutseeritud emj. saame, kui tarvitame kaht konturit ja kollektorit nelja lamelliga (98. joon., II).

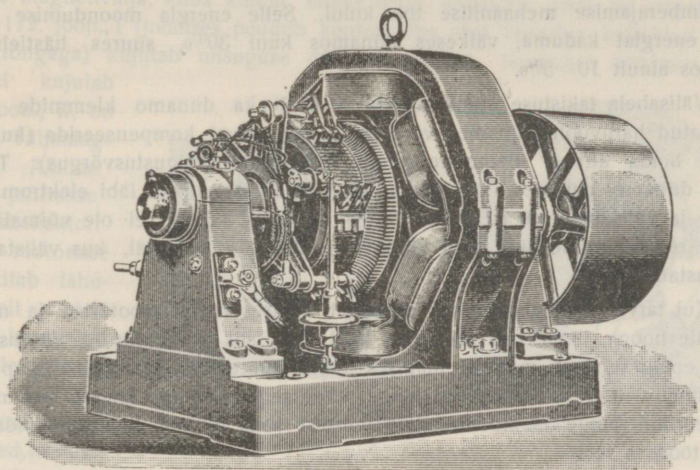
Riista, mis juhtiva konturi tiirutamisel mehaanilise (aurumasina, veeturbiini) energia kulul annab elektri energiat, nimetatakse dünamomasinaks ehk **dünamoks** (generaatoriks). Tema **pääosadeks on väljamagnet, ankur ja kollektor**. Paigal seisev kere nimetatakse staatoriks, tiirlev osa rootoriks.

Alalise voolu dünamo on ehituse poolest ühesugune alalise voolu elektromootoriga. Esialgu tarvitati väljamagnetina teras-magnetit (praegu veel auto magnetsüütaja ning vanema tüübi telefoni juures), pärast elektromagnetit, mis annab tugevama välja.

Ühtlase tugevusega voolu saamiseks võetakse 98. joon., II kujutatud konturite asemele suurem konturite ja lamellide arv ja ühendatakse konturid üksteisega. Suuremad alalise voolu dünamod on varustatud mitme välja-elektromagnetiga, mis asuvad ringitaolise staatori küljes ümber rootori; välja-elektromagnetite arvule vastavalt on kollektoril mitu harjade paari, mida vst. ühendatakse. Niisugust dünamot kujutab 108. joon.

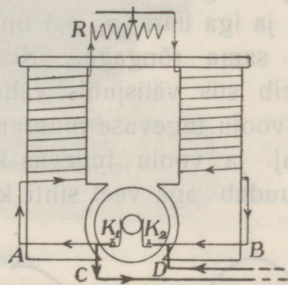
b. Werner Siemens (kuulus insener) leidis (a. 1867) n. n. **dünamoelektrilise printsiibi**, mis seisab selles, et välja-elektromagneti magneetimist toimetatakse sama dünamo vooluga.

109. joonises, mis kujutab n. n. haruvoolu dünamot, läheb harjade klemmidest üks voolu haru K_1ARBK_2 , läbi elektromagneti mähise, teine haru K_1CDK_2 , moodustab välisjuhtme,



108. joon. Alalise voolu dünamo.

näit. valgustusvõrgu. Oletame, et dünamo on kord töötanud, siis on elektromagneti südamikü järelmagnetismi tõttu olemas nõrk magnetiväli. Rootori tiirutamisel tekib nõrk vool, mis kõvendab välja-elektromagnetit ja välja tugevust. Selle tõttu tugevneb ka vool rootoris, mis omakord kõvendab välja tugevust jne., ning koguni lühikese aja jooksul (rootor teeb minutis ~ 3000 tiiru) töötab masin täie emj.-ga. Skeemis (109. joon.) on väljamagneti vooluharusse lülitatud reostaat, mille abil võib reguleerida elektromagneti haruvoolu ning välja tugevust ja ühes sellega indutseeritud emj.-du. — Kui välja-elektromagnetis ei oleks järelmagnetismi, siis lõikaks rootor tiirutamisel maakera tungjooni ja tekiks nõrk vool, ning dünamoelektrilise printsiibi põhjal hakkaks dünamo töötama.



109. joon. Haruvoolu dünamo skeem.

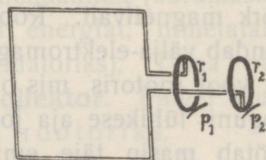
c. Rootori ümberajamisel tuleb kulutada tööd selleks, et ületada liikumist takistavate induksioonvoolude vastumõju. On välisahel lahtine, siis on ümber-

ajamistöe väike, sest vastu mõjub rootoris ainult võrdl. nõrk elektromagneti haruvool. Mida tugevamat voolu, s. o. mida rohkem elektrienergiat aga tarvitame välisahelas, seda rohkem energiat tuleb kulutada rootori ümberajamiseks tugevama rootori voolu vastumõju tõttu. Nii siis tekib dünamos elektri energia otse ümberajamise mehaanilise töö kulul. Selle energia moondumise juures läheb energiat kaduma, väikeses dünamos kuni 30%, suures hästiehitatud dünamos ainult 10—5%.

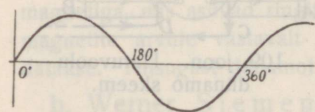
d. Välisahela takistuse muutumisega muutub ka dünamo klemmide pinge. Kirjeldatud haruvoolu dünamos võib pinge muudatusi kompenseerida (kuidas?) ja alal hoida ühtlast klemmide pinget (tähtis näit. valgustusvõrgus). Teissugustes dünamo tüüpides, kus sama vool läheb järjestikku läbi elektromagneti mähise ja välisahela, n. n. p ää voolu d ün a m o d e s, ei ole võimalik niisugune reguleerimine ning neid tüüpe tarvitatakse ainult sääil, kus välistakistus on konstantne.

e. Kui tarvitame alalise voolu dünamot alalise voolu mootorina ja mootor käib täie hooga, ilma et ta seejuures tööd teeb, siis ta ei võta ka võrgust tunduvat energiat, sest mootori mähises tekib suure kiiruse tõttu võrgupingele vastu mõjuv tugev indutseeritud pinge. Töö tegemisel aga langeb vastumõjuv indutseeritud pinge ja mootor võtab võrgust seda rohkem energiat, mida suu-remat tööd ta teeb.

78. Vahelduva voolu dünamo. a. Vahelduva voolu saamiseks 97. joonises kujutatud konturiga tuleb kommutaator-kollektori asemel tarvitada teissugust kollektorit, mis ära hoiab ainult juhtmete kokkukeerudumise konturi tiirlemisel. Niisugust n. n. **rõngaskollektorit** kujutab 110. joon. Konturi otsad on ühendatud jäävalt kahe isoleeritud telje külge kinnitatud vasest rõngaga (r_1 , r_2) ja iga hari (p_1 , p_2) on jäävalt kontaktis sama rõngaga. Konturi tiirlemisel tekib siis välisjuhis vahelduv vool. Jälgides indutseeritud emj. ja voolu tugevuse muutumist konturi tiirlemisel näeme, et ka siin emj. ja voolu tugevus kasvab ja kahaneb iga pooltiiru jooksul, muudab aga veel sihti konturi vertikaalses seisus ka välisahelas.



110. joon. Rõngaskollektor.



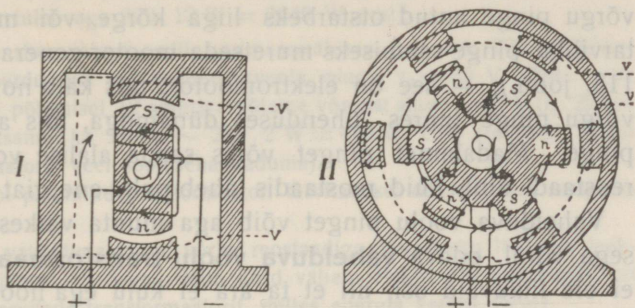
111. joon. Vahelduva voolu graafik.

Vahelduva voolu graafikut kujutab 111. joon. Ka vahelduva voolu keerulisema dünamo juures ei muutu graafiku iseloom, ta on siinusjoone kujuline. Rootor teeb harilikult 3000 tiiru minutis, 50 tiiru sekundis,

ja vahelduv vool on siis 50-perioodiline või tema sagedus on 50, tähendab, vool läheb sekundis 50 korda edasi-tagasi.

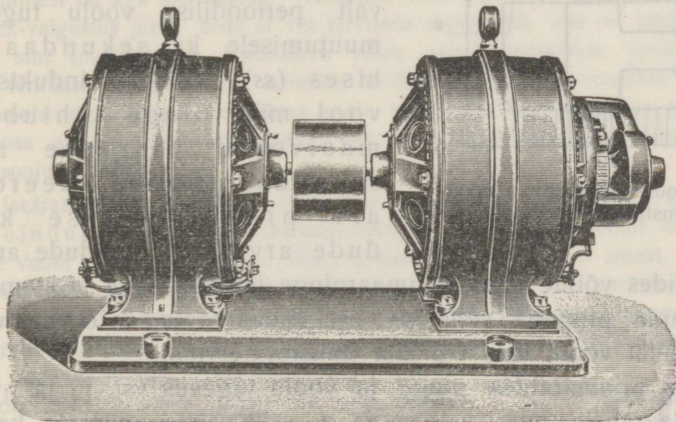
b. Vahelduva voolu dünamos tiirleb harilikult väljamagnet (rootor) ja tekitab tiirleva magnetivälja, kuna kontur, milles tekib vahelduv vool, on paigal (staator). 112. joon., I (joonises puudub konturi ühe otsa ühendus kollektori keskmise rõngaga) kujutab niisuguse dünamo skeemi. Suuremas dünamos, mille skeemi kujutab

112. joon., II, on mitu väljamagnetit. Alaline vool juhitakse rõngaskollektori kaudu rootorisse ja tekitab tähesarnaselt rootori külge kinnitatud välja-elektromagnetites vaheldumisi isenimelised poolused, mis rootori ümberajamisel ei muutu. Ringitaolise staatori külge kinnitatud raudsüdamikkude ümber on mähitud poolid, milles tekivad rootori ümberajamisel induksioonvoolud. Rotori tiirutamisel kasvab ja kahaneb ning muudab oma sihi



112. joon. Vahelduva voolu dünamo skeemid.

113. joon. Mootor-generaator.



113. joon. Mootor-generaator.

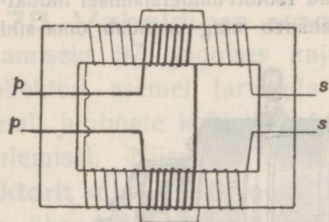
indutseeritud vool igas poolis ühtaegu; ta on järjestikku ühendatud poolides samasihiline, sest poolid on vaheldumisi vastupidiselt mähitud. Staatori konturis ja välisahelas tekib vahelduv vool (ainult pinge, kui välisahel on lahtine). Väljamagnetite ärrutamiseks tarvitatakse alalist voolu (näit. sama rootori telje

külge ehitatud väiksest alalise voolu dünamost). Vahelduva voolu sagedus 112. joon., II kujutatud dünamos võrdub tiirude arvu ja pooluspaaride arvu korrutisega. Valgustusvõrgus on sagedus harilikult 50.

Ka n. n. pöörleva voolu (§ 81) võrgust, milles on kolm juhet, saame vahelduvat voolu, kui võtame voolu kahest võrgu juhtmest.

79. Vahelduva voolu transformaator. On alalise võrgu pingele antud otstarbeks liiga kõrge või madal, siis tuleb tarviliku pingele saamiseks muretseda mootor-generaator (umformer, 113. joon.), — see on elektromootor, mis käib normaalselt antud võrgu pingele juures, ühenduses dünamoga, mis annab soovitava pingele. Madalamat pinget võiks saada alalise voolu võrgust ka reostaadi abil, kuid reostaadis läheb palju energiat kasutades kaduma.

Vahelduva voolu pinget võib aga muuta väikese energiakaotusega võrdl. odava **vahelduva voolu transformaatori** abil, milles ei ole liikuvaid osi, nii et ta ära ei kulu ega hoolitsemist tarvita. Ta koosneb kinnisest raudsüdamikust (harilikult neljakandiline, isoleeritud plekiribadest), millel on primaar- ja sekundaarmähis (114. joon.); mähised võivad mähkida kas üksteise pääle või üksteise kõrvale.



114. joon. Vahelduva voolu transformaatori skeem.

Juhime vahelduva voolu läbi primaarmähise (*pp*), siis tekib vastavalt perioodilise voolu tugevuse muutumisele ka sekundaarmähises (*ss*) vahelduv induktioonvool, mille pingele suhtub primaarvoolu pingesse nagu sekundaarmähise keerdude arv primaarmähise keerdude arvesse. Keerdude arvused

vt. valides võime antud primaarpingele juures saada kõrgema või madalama pingega vahelduva sekundaarvoolu, s. o. me võime vahelduvat voolu üles või alla transformeerida.

Olgu primaarahela pingele ja voolu tugevus v_1 ja i_1 ning sekundaarahela oma v_2 ja i_2 , siis, jättes energia kaotuse transformaatoris (keerisvoolud raudkeres) arvesse võtmata, on voolu võimsused (vattid) mõlemates ahelates võrdsed:

$$i_1 v_1 = i_2 v_2.$$

Sellest näeme, et pingele ületransformeerimisel ($v_2 > v_1$) langeb voolu tugevus ($i_2 < i_1$) ja ümberpöörduvalt. Suuremais ja hästi

ehitatud transformaatorites läheb transformeerimisel energiat kaduma ainult $\sim 5\%$.

Näide. Vahelduva võrgu pinge olgu 220 V. Võrguga ühendatud leeklampi soovitakse põletada 12-amprise vooluga, milleks tarvilik pinge on 35 volti. Seda võib teha kaht viisi; vaatame, missugune viis on kasulikum.

a. Kasutame pinge alandamiseks reostaati, siis neelab reostaat $(220-35) V = 185 V$ ja tarvitab (kasuta!) $12 \cdot 185 W = 2220 W$, lamp ainult $12 \cdot 35 W = 420 W$. Maksta tuleb aga $220 \cdot 12 W = 2640 W$ eest!

b. Kasutame transformaatorit, mille primaarmähises on näit. 220 ja sekundaarmähises 35 keerdu, siis on sekundaarvoolu pinge $v_2 = 35 V$ ($220 : v_2 = 220 : 35$); lambi põlemisel 12 ampriga võtame võrgust ainult $\sim 2 A$ ($i_1 \cdot 220 = 12 \cdot 35$) ja maksame ka ainult $\sim 220 \cdot 2 W = 440 W$ eest (tõeliselt läheb energiat transformaatoris veel soojusena kaduma).

Nii siis on lambi põlemine transformaatoriga tarvitamisel odavam kui reostaadi abil.

1. 220-voldilise vahelduva voolu võrku reostaadiga järjestikku lülitatud leeklamp põleb 40 V juures 15 A-ga. Mitu kord vähem elektri energiat kulub, kui reostaadi asemel tarvitada transformaatorit, milles energia kaotus 15% ?

80. Vahelduva voolu iseärasused. a. Vahelduva voolu dünamod on ehituse poolest lihtsamad ja vastupidavamad kui alalise voolu omad. Vahelduva voolu dünamot ei või tarvitada vahelduva voolu elektromootorina; vahelduva voolu elektromootorite ehitus oli esialgu seotud mõnesuguste raskustega, millest on aga üle saadud. Vahelduv vool leiab tehnikas laialdast tarvitust (el.-valgustus jne.); teda ei või tarvitada ainult sääli, kus on tähtis kindel voolu siht (elektrolüüs). Vahelduva voolu puhul määratakse voolu tugevus voolu termilise efekti põhjal termilise mõõduriistaga ja nimetatakse efektiivseks voolu tugevuseks. Vahelduva voolu efektiivne voolu tugevus on võrdne niisuguse alalise voolu tugevusega, mis samas takistuses (mõõduriistas) sama palju soojust tekitab.

b. Iseäralist mõju avaldab vahelduva voolu ahelasse lülitatud eneseinduktsioon (pool raudsüdamikuga). Eneseinduktsioonil on pideva alalise voolu ahelas ainult $n \cdot n$ Ohmi takistus (oleneb traadi ainest, pikkusest ja läbilõikest), vahelduva voolu ahelas aga pääle selle veel eneseinduktsiooni takistus voolule vastu mõjuva eneseinduktsiooni emj. tõttu, mis nõrgendab voolu seda rohkem, mida suurem on eneseinduktsioon ja mida sagedamini muutub voolu tugevus ja siht (vaata analoogia § 75).

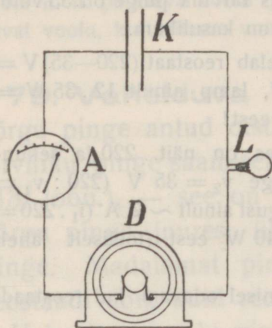
Teoreetiliste arutuste põhjal on juhi takistuse R_n kohta vahelduva voolu puhul maksev valem

$$R_n = \sqrt{R_0^2 + (L 2 \pi n)^2},$$

kus R_0 tähendab juhi Ohm'i takistust, L juhi eneseinduktsiooni, mille üksuseks on henri (s. o. niisuguse juhi eneseinduktsioon, milles voolu tugevuse muutumine 1 A sekundis tekitab eneseinduktsiooni pinget 1 V), ning n vahelduva voolu sagedust. Seda tuleb arvesse võtta Ohmi seaduse rakendamisel

vahelduva voolu puhul, kui on tegemist tunduva eneseinduktsiooniga ja suu rema sagedusega.

Suure eneseinduktsiooniga pool, n. n. kägipool laseb ainult nõrga vahelduva voolu läbi ja suursagedusega elektri võnkumised temast sugugi läbi ei pääse (tähtis raadiotehnikas).



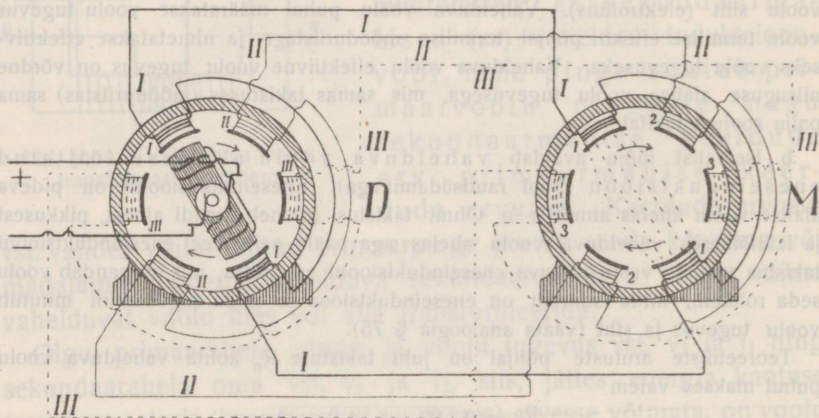
115. joon. Kondensaator vahelduva voolu ahelas.

*c. Vahelduva voolu ahelasse lülitatud kondensaator laseb vahelduvat voolu läbi; alalist voolu kondensaator läbi ei lase. Lülitame vahelduva voolu ahelasse kondensaatori (K 115. joon.), ampermeetri ja hõõglambi, siis ampermeeter näitab voolu ja hõõglamp põleb. Vool ei lähe ka siin läbi kondensaatori dielektriku, vaid võngub ainult ahelas edasi-tagasi, kusjuures voolu vahelduvad tõuked laevad kondensaatori katteid alatasa ja vaheldumisi vastupidiselt.

1. Elektromagnetis tekitab alalise voolu allikas, mille pinge 50 V, 5-amprilise voolu; vahelduva voolu allikas, mille pinge 50 V ja sagedus $n = 50$, tekitab aga 2-amprilise voolu.

- Kui suur on mähise Ohmi takistus R_0 ?
- Kui suur on tema takistus R_{50} antud vahelduva voolu puhul?
- Kui suur on tema eneseinduktsioon L ?
- Kui suur on tema takistus R_{2000} sagedusel 2000?

*81. Pöörlev vool. Tehnikas tarvitatakse sagedasti n. n. pöörlevat voolu, s. o. kolme vahelduva voolu süsteem. 116. joonises kujutab D niisuguse pöör-



116. joon. Pöörleva voolu dünamo ja mootori skeem.

leva voolu dünamo skeemi, milles on kahe poolusega rootor. Staatoris on kolm üksteisest eraldatud mähist I-I, II-II ja III-III (võrdle 112. joon., I); olgu nad

vst. ühendatud pöörleva voolu mootori *M* väljamagnetite mähistega 1-1, 2-2 ja 3-3. Dünamo rootori ümberajamisel tekivad ahelates I-I-1-1, II-II-2-2 ja III-III-3-3 vahelduvad voolud, kuid mitte samal ajal (analoogia: lainete käiguvahe, II köide, § 8). Joonises kujutatud momendil on vool ahelas I-I-1-1 tugev, vastavalt mootoris tugev magnetiväli, mille tungjooned ühendavad poole 1 ja 1. Dünamo rootori pöördumisel nõrgeneb vool ahelas I-I-1-1 ja kõveneb ahelas II-II-2-2 ning järgmisel momendil on vool ahelas II-II-2-2 tugev; selle juures pöördus mootoris magnetiväli ja tungjooned ühendavad nüüd poole 2 ja 2. Nii siis tekivad dünamo rootori ümberajamisel tugevad voolud vaheldumisi ahelates I-I-1-1, II-II-2-2 ja III-III-3-3 jne. ja mootori *M* staatori sees tekib pöörlev magnetiväli; selle tõttu nimetataksegi niisugust vahelduvate voolude süsteemi pöörlevaks vooluks. Asetame mootori staatorisse rootorina (ankruna) juhtivast ainest silindri, siis selles tekivad keerisvoolud, rootor hakkab tiirlema (kuidas see järgneb Lenzi reeglist?) ja võib tööd teha. Pöörleva voolu mootor on lihtis, ilma kollektorita ja harjata.

Kui jälgida voolude sihte üksikutes ahelates, siis selgub, et joonises dünamo ja mootorit ühendavad alumised juhtmed võivad ära jääda, kuid nende otsad tuleb siis ühendada maaga (oma vahel). Alati läheb tugev vool läbi ühest vastavast dünamo ja mootori mähiste süsteemist, näit. I-I-1-1, haruneb siis mootoris ning tuleb tagasi osalt II ja osalt III juhet mööda. Nii siis tarvita-takse pöörleva voolu võrgus ainult kolme juhet. Pöörlev vool leiab laialdast tarvitust. Valgustuse otstarbeks võetakse voolu ainult kahest juhtmest (vahelduv vool).

82. Elektri energia edasiandmine. a. Mehaanilise energia edasiandmine on võimalik ainult lühikese maa pääle (rihma, võlli, hammasratta abil) ja on seotud suure energiakaotusega (hõõrumine).

Soojuse energiat võime edasi anda ainult lühikese maa pääle (aurutoru, tsentraalkütte torud). Elektri energiat võime kergesti edasi anda kauge maa pääle ja ilma suure kaotuseta, kui juhtmed on küllalt jämedad ja hästi isoleeritud; selle tõttu on elektri energia kasutamine uuemal ajal nii laialist kasutamist leidnud.

Elektrijaamad ehitatakse võimalikult sinna, kus dünamo ajamiseks tarvilik mehaaniline (veekosk) või soojuse energia (söekaevandus, turbasoo) on odavasti ja kergesti kättesaadav. Dünamovool saadetakse juhtmete kaudu edasi mitmele poole (haruvoolud). Tarvituse kohal moondab tarvitaja voolu energia mehaaniliseks, keemiliseks, soojuse või mõneks teiseks energiaks.

b. Elektrijaamad saadavad välja suured elektri energia hulgad. Sama energia hulka võib edasi anda kas madala pinge ja suure tugevusega vooluna või kõrge pinge ja väikese tugevusega vooluna. Ei oleks ökonoomne valida ma-

dala pingega ja suure tugevusega voolu, sest Joule'i seaduse järele tõuseb soojusekaotus juhtmes võrdeliselt voolu tugevuse ruuduga ja oleks antud juhul suur; selle kaotuse kompenseerimiseks tuleks võtta väikse takistusega, tähendab väga jämedad juhtmed (vastavalt tugevad postid jne.), mis kauge maa pääle oleks liiga kulukas. Tegelikult tarvitatakse edasiandmiseks kaugema maa pääle ainult kõrge pingega (10 000 kuni 100 000 V, elukardetav!) ja võrdlemisi väikse tugevusega voolusid. Juhtmed võivad siis olla peenemad ning võrgu ehitus on odavam.

Kõrge pingega dünamot on raske ehitada, iseäranis alalise voolu jaoks, vahelduvat voolu on aga kerge üles või alla transformeerida; sellepärast tarvitatakse uue maal ajalikka sagedamini vahelduvat (keerlevat) voolu, mida jaamades edasiandmiseks mitmekümne tuhande voldini üles ja tarvitamise kohal uuesti alla transformeeritakse. Ökonoomia suhtes (võrgu ehitamise kulud) võib alaline jaamavool konkureerida kergesti transformeeruva vahelduva jaamavooluga ainult $\sim 1\frac{1}{2}$ km kauguseni.

On näiteks turbasoos ehitatud jaamast juhitud kõrge pingega vahelduv vool linna, linna võrgus aga transformeeritud alla hariliku pingega pääle (220 V), siis võib tarvitaja ka linnavõrgust saada eriotstarbeks kõrgema või madalama pingega voolu, kasutades transformaatorit. On arusaadav, et tarvitajad peavad lülitama oma transformaatorid ahelasse kõrvustikku (nagu hõõglambid).

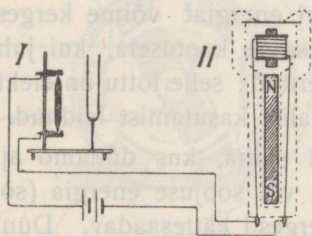
Näide. Inimene puudutab 10 000-voldilise kõrge pingega juhet. Mitmele HP-le vastab elektri hoop, mis ta saab?

On keha takistus 8000 Ω , siis läheb läbi keha $10\,000 : 8000 \text{ A} = 1,25 \text{ A}$, mille võimsus antud juhul on $10\,000 \cdot 1,25 \text{ W} = 12\,500 : 736 \text{ HP} \approx 17 \text{ HP}!!$

83. Telefon ja mikrofon. a. Telefoniaparaadi tähtsamateks osadeks on telefon, millega me kuuleme, ja mikrofon, millesse me räägime. Telefoni ehitust kujutab 117. joon., II.

Telefonitorus asub terasmagnet, tema pooluse ees väike pool raudsüdami-kuga (magneeditud induksiooni tõttu) ja selle ees õhuke raudplaat. **Mikrofon** mudelit kujutab 117. joon., I. Ta koosneb õhukese laua külge kinnitatud kahest sõepulgakesest ja neid ühendavast kergesti liikuvast kolmandast sõepulgakesest.

b. Lülitame mõlemad riistad ahelasse järjestikku 117. joonise järele, siis läheb vool läbi mikrofonis sõepulkadest ja ka telefonipooli mähisest. Vool muudab poolis asuva indutseeritud raua magnetismi (kas kõvemaks või nõrgemaks, see on voolu sihst ja ei ole tähtis). Asetame



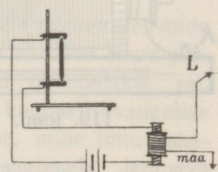
117. joon. Mikrofon ja telefon.

nüüd mikrofoni alusele näit. heliseva kammertooni a helihargi, siis kandub võnkumine üle sõepulkadele. Võnkumisel rõhub keskmine pulk ühel momendil tugevamini vastu äärmisi, puutepind suureneb, takistus väheneb ja vool kõveneb; järgmisel momendil ta rõhub nõrgemini vastu äärmisi ja vool nõrgeneb (mispärast?). Nii siis tekib helihargi võnkumisel mikrofonis perioodiline takistuse muutumine ja selle tõttu ahelas perioodiline voolu tugevuse muutumine, antud juhul 435 korda sekundis. Voolu tugevuse kõikumine mõjub aga telefonimähises asuva südamik magnetismisse, mille tugevus ka muutub perioodiliselt 435 korda sekundis. Südamik tõmbab magnetismi kõvenemisel raudplekki kõvemini ligi, magnetismi nõrgenemisel aga nõrgemini; plekk hakkab võnkuma sama perioodiga kui helihark, tekitab õhulaineid ja telefoni kõrva ligidal hoides kuuleme kammertooni heli. Asetame mikrofoni alusele taskukella, siis kuuleme telefonis kella tiksumist.

Kõne edasiandmiseks tarvitatakse tundlikumat mikrofoni, milles muutuva kontakti moodustavad näiteks õhukese söest membraani ja söest tagaseina vahelist ruumi täitvad söeterakesed. Niisugusele mikrofonile antakse kapsli kuju, samuti ka telefonile (mille sees on ringikujuline terasmagnet, kaks pooli, kaks raudpulka ja kaks mähist), ja mõlemad riistad kinnitatakse sama käepideme külge (mikrotelefon).

117. joonises tähendatud ühenduse skeemi võib tarvitada ainult rääkimisel lühikese maa pääle, sest kaugema maa pääle on juhi takistus võrdlemisi suur, nii et takistuse muutumine mikrofonis tunduvat mõju ei avalda; ka telefonimähise takistus peab olema väike, mille tõttu telefoni tundlikkus on väike.

c. Rääkimisel kaugema maa pääle tarvitatakse induksioonvoolu. Mikrofoni vool läheb 118. joonises kujutatud skeemi järele läbi väikse transformaatori primaarpooli ja tekitab tugevuse kõikumisel sekundaarpoolis vahelduva induksioonvoolu. Suurema pingega vahelduvad induksioonvoolud ületavad kergesti pikema välisjuhtme takistuse ja avaldavad ka tugevamat mõju telefoni raudsüdamikusse kui kõikuv alaline vool



118. joon. Induksioonvoolu kasutamine telefonimisel.

(mispärast?). Telefon võib siin olla tundlikum (mähis suurema keerdude arvuga).

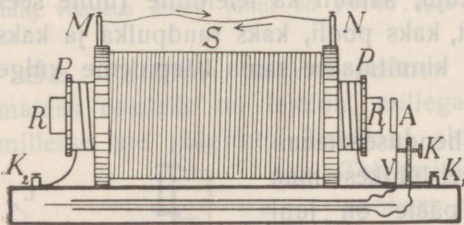
Iga tarvitaja aparaadis peab olema mikrofon, telefon ja elektrikell; vooluallikad võivad olla jaamas. Vajutab aparadi haagi küljes rippuv mikrotelefon haagi kangi alla, siis läheb liinivool läbi elektrikella; võetakse mikrotelefon haagi küljest ära, siis kerkib kangi ots üles, kontaktid aparaadis muutuvad ja liinivool läheb läbi telefoni. Harilikult toimetavad abonentide ühendamist ametnikud telefonijaamas; on aga ka olemas telefonisüsteemid, kus tarvitaja ise võib ennast ühendada teise abonendiga. Hääle kõvendajaina tarvitatakse elektron-torusid, millest räägime allpool. Kuulmisorgani tundlikkus on nii suur, et me veel heli kuuleme, kui telefonimembrani võnkumise amplituud on ainult $6 \cdot 10^{-10}$ cm (võrdle seda pikkust molekuli läbimõõduga).

84. Sädeinduktor. a. Sädeinduktor on transformaator, milles madala pingega (harilikult alaline) vool transformeerub kõrge pingega vahelduvaks vooluks, eriti sädemete saamiseks. Ta koosneb raudsüdamikuga varustatud primaarpoolist, sekundaarpoolist ja primaarahela katkestajast.

119. joonis kujutab tuntud Ruhmkorffi sädeinduktori skeemi (\sim a. 1850). Ühendame klemmid K_1 ja K_2 patareiga, siis

läheb patareivool läbi kontaktkrui (K) ja ankru vedru (Wagneri vasar, V) primaarmähisesse (PP), mille avanemine ja sulgumine sünnib automaatselt nagu elektrikella juures. Primaarahela sulgumisel tekib sekundaarahelas (S) vastassihiline,

avanemisel samasihiline induksioonvool, nii siis sekundaarpooli klemme (M, N) ühendavas välisjuhtmes vahelduv vool. Primaarpool on mähitud jämedast traadist ja keerdude arv on võrdlemisi väike, et mitte nõrgendada madala pingega primaarvoolu suure takistusega. Sekundaarpool koosneb väga peenikesest traadist ja sisaldab keerdusid mitmestkümnest kuni mitmesaja tuhandeni, et saada võimalikult kõrget sekundaarpinget; sekundaarvoolu tugevusel on siin väiksem tähtsus. Katkestame sekundaarpooli klemme ühendava traadi, siis tekivad suure pinge tõttu katkemise kohal sädemed.



119. joon. Sädeinduktor.

Primaarvoolu tugevus kasvab primaarahela sulgumisel võrdlemisi aeglaselt (vastassihiline ekstravool) ja sel põhjal ei ole tekkiv sekundaarpinge suur. Primaarahela avanemisel on voolu kahanemine järsem, järelkult ka tekkiv induktiooni pinge suurem. On sekundaarahela katkemise kohal traadi otsad üksteise ligidal, siis lähevad vahelolevast õhukihist (sädemikust) läbi mõlemad sädemed; suurendame aga traadi otsade kaugust (sädemiku takistust), siis läheb läbi ainult primaarahela avanemisel tekkiv säde (suurem pinge); et nüüd sädemete siht on sama, siis võime rääkida sekundaarpooli klemmidest kui anoodist ja katoodist.

Induktorid tehakse mitmesugustes suurustes. Arstid tarvitavad haigete elektrimiseks koguni väikseid induktoreid. Röntgenikiirte jaoks tarvitatakse induktorit, mille sädeme pikkus ulatub mitmekümne cm-ni. On olemas induktoreid, mis annavad pikemaid kui meetrilisi sädemeid. Induktorid liigitatakse harilikult sädeme pikkuse järele.

Induktori ehituse kohta tuleb tähendada, et raudsüdamik kujutab lakitud raudtraatide kimpu (mispärast?). Sekundaarpool mähitakse siidiga isoleeritud peenikesest vasktraadist ja mähise üksikud kihid peavad üksteisest hästi isoleeritud olema (shellakiga, parafiinitud paberiga), et ligistikku asuvate keerdude suure pinge tõttu ei tekiks sädemed pooli sees. Harilikus induktoris on sekundaarpoolis keerdusid ligikaudu niipalju tuhandeid, kui palju cm on sädeme pikkus.

b. Et teha järsemaks primaarvoolu kahanemist primaarahela avanemisel, mida aeglustab samasihiline ekstravool, selleks asetatakse riista alusesse suure pinnaga kondensaator (lehtkondensaator § 27), mille katted ühendatakse vst. reguleerimiskruvigaga ja vasara vedruga (119. joon.). Siis koguneb avanemise ekstravoolu elekter suuremalt jaolt kondensaatori katetesse, mille tõttu kahanemine sünnib järsemalt ja avanemisel indutseeritud emj. suureneb. Järgneva primaarahela sulgumise momendil tüheneb kondensaator, selle juures nõrgendab kondensaatori vool primaarvoolu (vastassihiline), nii et sulgumisel tekkiv induktiooni emj. on nüüd veel nõrgem. Kondensaator suurendab primaarvoolu avanemisel tekkivat ja vähendab sulgumisel tekkivat indutseeritud elektromotoorset jõudu.

Kondensaatori mõjul nõrgeneb ka kontaktkruvi ja vedrukese vahel tekkiv primaarahela avanemissäde, mille tõttu kontakt niipea ei rikundu.

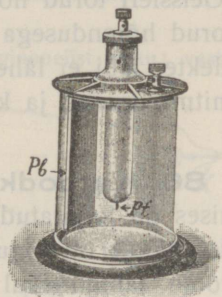
c. Suuremate induktorite juures tarvitatakse eraldatud primaarvoolu katkestajat, sest vasaraga katkestaja ei kannata tugevamat voolu ja pinget (kuni 6 A ja 20 V), ta ei anna ka üle paarikümne katkemise sekundis. Sagedasti tarvitatav **Wehnelti katkestaja** (120. joon.) võimaldab jaama voolu kasutamist. Ta



Michael Faraday (1791—1867).

Kuulus Inglise keemik ja füüsik. Sepa poeg. Raamatu-
kõitja õpilasena tutvus ta keemilise ja füüsilise kirjan-
dusega; kuulsa keemiku Davy loengud äratasid temas ise-
äranis huvi keemia vastu. A. 1813 asus ta teenima Davy
laboratooriumi, kus tal õnnestus kloori veeldumine. A. 1827
sai ta Davy järeltulijaks, professoriks ja instituudi juhatajaks.
Üles seades põhimõtte, et ei ole võimalik tungide kaugele-
mõju ilma vahelaine kaasmõjuta, pani ta aluse magneti- ja
elektrivälja teooriale; leidis galvanilise induktiooni (a. 1831)
ja eneseinduktsiooni mõju ning elektrolüüsi põhiseadused
(a. 1833). Pani tähele sidet elektromagnetilise ja valguse
nähtuste vahel.

koosneb väävelhappe-lahusesse asetatud tinaplaadist ja portselantorust; torus on vasktraat selle otsa joodetud lühikese plaatinatraadiga, mille ots läbi toru peenikese avause välja ulatub vedelikusse. Katkestaja lülitatakse primaarahelasse nii, et traat moodustab anoodi. Voolu läbiminekul näeme, et traadi otsas tekivad gaasimullikesed, mis katkestavad voolu; et mullikesed aga kiiresti üles kerkivad või lõhkevad, siis puutub traat uuesti vedelikuga kokku ja vool läheb läbi. Niisugune perioodiline mullikeste tekkimine ja kadumine sünnib väga kiiresti, me kuuleme heli ja võime heli kõrguse põhjal määrata katkestamiste arvu sekundis (kuni 2000 katkestamist sekundis). Wehnelti katkestaja juures tarvitatakse induktorit ilma kondensaatorita (kondensaator tuleb lühidalt ühendada); ta nõuab suure takistuse tõttu normaalseks töötamiseks vähemalt ligi 100 V (jaama vool); ta laseb voolu läbi ainult ühes sihis ja teda võib tarvitada ka vahelduva jaamavoolu juures.

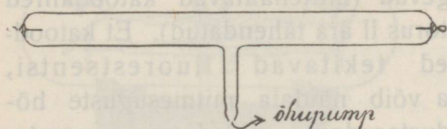


120. joon. Wehnelti katkestaja.

1. Suure hästi ehitatud induktori sekundaarvoolu emj. on 100 000 V ja tugevus 0,1 A. Leida sekundaarvoolu võimsus HP-des.

Vool hõrendatud gaasidest.

85. Hõrendustoru. Võtame paarikümne cm pikkuse klaasitoru (121. joon.) ja ühendame temasse õhukindlalt sissejoodetud elektroodid niisuguse induktori sekundaarklemmidega, mis annab



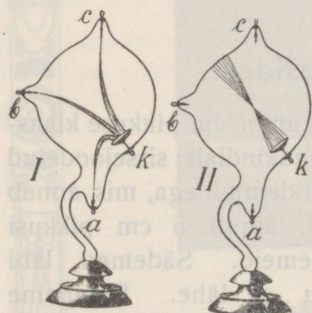
121. joon. Hõrendustoru.

näit. ainult 5 cm pikkusi sädemeid. Sädemed läbi toru ei lähe. Pumpame aga õhupumbaga torust õhku välja ja vähendame rõhumist kuni ~ 3 cm-ni, siis lähevad sädemed läbi

toru. Järelikult, hõrendatud gaas juhib elektrit paremini kui gaas harilikurõhumise puhul. Kui õhku järjest edasi hõrendada, tekivad torus iseäralised valgusnähtused. Sädemete asemel ilmub elektrodide vahele valgusepael (rõhumine vähem kui 1 cm), edasi katoodi ligidale tumesinikas valgus ja anoodi ligidale punakad valgusekihid (rõhumine vähem kui 1 mm). Hõrenduse suurenemisel kaovad ka valgusekihid, ainult anoodi pind heleneb veel, kuid klaas hakkab fluorestseerima (rõhumine vähem kui 0,02 mm).

Nähtuste jälgimiseks ilma õhupumbata tarvitatakse väga mitmekujulisi ja mitmesuguste hõrendustega suletud hõrendustorusid (Geissleri torud hõrendusega 3 kuni 1 mm, Crookesi ja Hittorfi torud hõrendusega 0,02—0,001 mm jne.). Täiesti tühjast torust elekter läbi ei lähe. Hõrendustorudega saadud nähtused on väga mitmesugused ja keerulised.

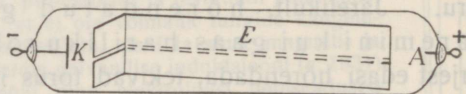
86. Katoodkiired ja nende avaldused. a. 122. joonises on kujutatud kaks hõrendustoru mitme elektroodiga, milledest üks (*k*) on nõguspeegli taoline. Esimene hõrendustoru (I) annab voolu läbiminekul valgusepaela, teine (II) on hõrendatud kuni klaasi fluorestsentsini. Ühendame toru I elektroodi *k* induktori katoodiga ja mistahes teise elektroodi anoodiga, siis tekib torus *k* ja vst. anoodi (*a, b, c*) ühendav valgusepael. Ühendame aga toru II elektroodi *k* induktori katoodiga, siis tekib klaasi pinnal vastu katoodi ümmargune fluorestseeruv plekk, selle pääle vaatamata,



122. joon. Hõrendustorud.

missuguse elektroodi võtame anoodiks. Fluorestsentsi põhjuseks on isesugused mitternähtavad kiired, n. n. **katoodkiired**, mis katoodi pinnalt risti pinnaga välja lähevad, sirgjooneliselt levivad ja klaasi pinnale langevad (mitternähtavad katoodkiired on torus II ära tähendatud). Et katoodkiired tekitavad fluorestsentsi, seda võib näidata mitmesuguste hõrendustorudega, milledesse on asetatud fluorestseerivad kehad. Ka mõned Geissleri torud, millede osad on tehtud isesugustest klaasidest, fluorestseerivad.

Nagu valgusekiirte käigu tegime nähtavaks kaldu hoitud ekraaniga (optiline ketas), nii võime nähtavaks teha ka katoodkiirte käiku 123. joonises kujutatud hõrendustoruga. Torus asub tasapinnalise katoodi ees metallist ekraan piluga ja selle taga fluorestseeriva ainega kaetud ekraan. Elektri läbivoolamisel näeme ekraanil sirge heleda joone, mis kujutab katood-



123. joon. Katoodkiirte toru.

kiirte käiku. Sellest katsest järeldame veel, et katoodkiired ei lähe läbi metalli ja ka mitte läbi klaasi, sest väljaspool toru nende mõju ei avaldu (väga õhukesest alumiiniumist lähevad katoodkiired läbi).

Ka 124. joonisel kujutatud toru näitab katoodkiirte sirgjoonelist käiku: vastu katoodi fluorestseerival klaasil näeme torusse asetatud metallist risti varjupilti.

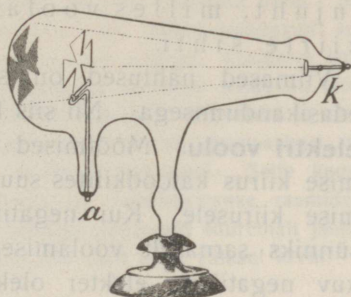
b. Katoodkiired tekitavad soojust. Seda võib näidata hõrendustoruga, kus nõgusa katoodi kõverustsenti kohale asetatud metallist plaadike langevate katoodkiirte mõjul kuumeneb kuni hõõgumiseni ja sulamiseni.

c. Katoodkiired tekitavad mehaanilist liikumist. Seda võib näidata 125. joonises kujutatud toruga, kus kerge vesiratta sarnane ratas labidatele langevate katoodkiirte mõjul hakkab pöörsuma ja veereb kiirte sihis alusel edasi.

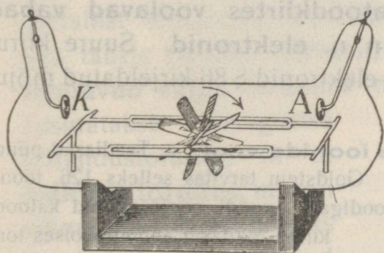
d. Katoodkiired avaldavad keemilist mõju, näit. nad tumestavad päevapildi-plaati.

Katoodkiirte mõju põhjal otsustame, et nad on energia kandjad.

e. On korda läinud katoodkiiri välja juhtida torust õhku; selleks tehti osa toru seina õhukesest alumiiniumist (aken), mis läbi laseb katoodkiiri. Nii oli võimalik jälgida kiirte mõju õhus. Seejuures pandi tähele, et laetud elektrooskoop kaotab katoodkiirte mõjul kiiresti oma laengu. Seda nähtust seletatakse õhu ioniseerumisega katoodkiirte mõjul (mõned õhu molekulid lagunevad ioonideks nagu elektrolüütide molekulid), mille tõttu õhk muutub juhtivaks.



124. joon. Katoodkiirte toru.



125. joon. Katoodkiirte toru.

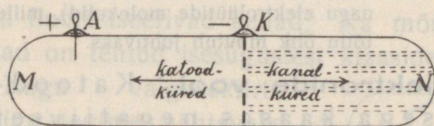
87. Katoodkiired — elektronide vool. Katoodkiired kannavad enesega kaasas negatiivset elektrit. Seda võib näidata hõrendustoruga, millesse on asetatud katoodkiirte teele isoleeritud keha (kolmas elektrood, mis ühendatud elektrooskoobiga). Keha elektrub langevate katoodkiirte mõjul negatiivselt.

Elektrostaatiliselt väljas, mida võib tekitada torus (lisa-elektroodide abil), painduvad katoodkiired sihis, milles liiguks negatiivselt laetud keha.

Katoodkiired painduvad magnetiväljas. Seda võib näidata eespool 123. joon. kujutatud toruga, kui hoida toru ligidal magnetit. Jälgides paindumise sihti mitmesuguste magneti seisude puhul paneme tähele, et katoodkiired painduvad magnetiväljas nii, nagu painduks voolujuht, milles voolab positiivne elekter vastu kiirte sihti.

Viimased nähtused on seletatavad ainult negatiivse elektri edasikandumisega. Nii siis **katoodkiired kujutavad negatiivse elektri voolu**. Mõõtmised näitavad, et negatiivse elektri voolamise kiirus katoodkiirtes suure pinge juures ligineb valguse levimise kiirusele. Kui negatiivse elektri voolamine katoodkiirtes sünniks sarnaselt voolamisega elektrolüütides, tähendab, kui liikuv negatiivne elekter oleks seotud gaasimolekuli osaga (moodustaks negatiivse iooni), siis peaks peenikeste mõõtmiste ja arvutamiste põhjal liikuva iooni mass olema siin 1835 korda väiksem kui vesiniku-aatomi mass. Nii väikest massi me aga ei tunne. See ja veel mõned teised põhjused sunnivad oletama, et siin ei ole tegemist hariliku elektrolüüsitoolise negatiivsete ionide liikumisega ja et siin liikuv negatiivne elekter ei ole seotud massiga (gaasimolekuli osaga), vaid et **katoodkiirtes voolavad vabad negatiivse elektri algosakesed, n. n. elektronid**. Suure kiirusega vastu keha põrgates avaldavad elektronid § 86 kirjeldatud mõju.

88. Kanalkiired — positiivsete ionide vool. a. Teadlased püüdsid leida ka positiivse elektri algosakesi. Goldstein tarvitas selleks 126. joonise kujutatud hõrendustoru aukliku katoodiga.



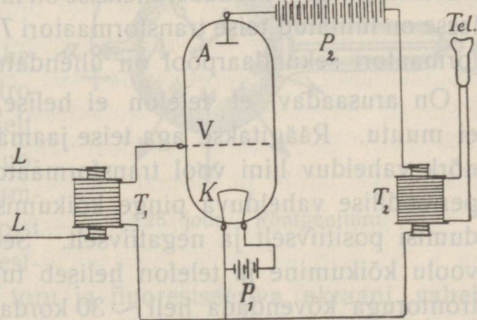
126. joon. Kanalkiirte toru.

kiired tekitasid anoodipoolses toru osas (M) fluorestsentsi; katoodi taga aga ilmusid helenevad kiired, n. n. **kanalkiired**. Kanalkiirte teele asetatud keha omandab positiivse laengu, tähendab, kanalkiired kannavad enesega kaasa positiivset elektri. Magnetiväljas painduvad kanalkiired nii nagu voolujuht, milles elekter voolab kiirte sihis. Kanalkiirte kiirus on palju väiksem kui katoodkiirte oma. On kindlaks tehtud, et kanalkiired ei kujuta vaba positiivse elektri algosakeste voolamist, vaid **kanalkiirtes voolavad positiivselt laetud gaasimolekulide osad, positiivsed ioonid**. Üldse ei ole seni leitud vabasid (mitte ainega seotud) positiivse elektri osakesi.

b. Uuemate vaadete põhjal koosnevad aine aatomid (a-tom tähendab kreeka keeles mitte-lahutatav, mis vastab vanale vaatele) positiivsest südamikust, mille ümber tiirlevad elektronid; elementide aatomid erinevad üksteisest südamiku laengu suuruse ja elektronide arvu poolest.

Selle vaate seisukohalt kujutame enesele elektri voolamist läbi hõrendustoru järgmiselt: Hõrendatud gaasis leiduvad alati mõned purustatud aatomid, mis on kaotanud elektrone, nii et ülejäänud osa kujutab positiivse iooni. Need positiivsed ioonid lendavad peaaegu tühjas torus (kus tökked puuduvad) suure kiirusega vastu katoodi, purustavad üksikuid katoodi osakesi, kusjuures katoodilt vabanenud elektronid lendavad eemale (katoodi aukudest lendavad mõned ioonid läbi ja moodustavad kanalkiiri). Mõned katoodilt vabanenud ja anoodi poole lendavad elektronid põrkavad aga vastu torus olevaid gaasiosakesi, neid purustades, kusjuures tekivad uued gaasi ioonid ja elektronid. Selle keeruka nähtuse põhjalik selgitamine ei mahu keskkooli füüsikakursuse raamidesse. Olgu ainult tähendatud, et katoodkiirtes voolavad elektronid suuremalt jaolt on tekkinud gaasi ioniseerumisel, katood ise saadab neid välja väiksel arvul.

***89. Elektritoru.** a. Metallide juhtivust seletame sellega, et metallide aatomitest elektronid kergesti vabanevad ja metallis (sões ja mõnes mineraalis) alati on olemas vabad elektronid suuremal hulgal, mis enam-vähem vabalt võivad liikuda metalli aatomite vahel. Need vabad elektronid kannavad elektrit läbi metalli. Metallist elektronid harilikkuldel tingimustel välja ei pääse. On aga tähele pandud (Hittorf), et **hõõgavast metallist elektronid lendavad välja**, iseäranis metallide oksüüdidest. Seda nähtust kasutatakse isesugustes hõrendustorudes, n. n. **elektritorudes**, mis on võimalikult täiesti tühjaks pumbatud. Ioniseeritud gaasiosakeste puudumise tõttu ei lase elektritoru harilikkuldel tingimustel elektrit läbi, kuid katoodi kuumendamisel vabanevad elektronid ja kannavad elektrit läbi toru juba võrdlemisi väikse pinge juures (100 V alates). Elektritoru katood tehakse harilikult traadist, mida võib hõlpsasti kuumendada patarei abil.



127. joon. Elektritoru häälekõvendajana telefonis.

Elektronitorudel on suur praktiline tähtsus; eriotstarbeks valmistatakse mitmekujulisi elektronitorusid.

b. Näitena seletame elektronitoru (audioni) kasutamist hääle kõvendajana telefonis (telefoni relee). 127. joonisel olgu kujutatud elektronitoru, mille katood K kuumentatakse patarei P_1 abil (4—6 V) ja milles asub võre V (võib olla ka traat, sirge või spiraaliks keeratud).

Katoodilt vabanenud elektronid ümbritsevad katoodi pilvena ja laevad ka võre negatiivselt; elektronide pilve teatava tiheduse juures, mis oleneb katoodi temperatuurist, takistab pilv edaspidist elektronide eraldumist katoodilt. — Ka kõrge pingega patarei P_2 (~ 100 V, n. n. anoodipatarei) katood on ühendatud K -ga, anood A -ga. Anoodi mõjul hakkavad elektronid liikuma A poole ja kannavad patarei P_2 voolu, n. n. anoodivoolu, läbi toru, kusjuures katoodist vabanevad uued elektronid. Võre laadub veel rohkem negatiivselt ja mõjub takistavalt elektronide liikumisse (voolusse). — Saab võre veel väljastpoolt negatiivse laengu, siis võib anoodi vool täiesti katkeda; võre laadimisel positiivselt aga kõveneb anoodi vool, sest elektronide liikumine anoodi poole kiireneb võre tõmbamise tõttu. Nii siis kutsuvad võre pinge nõrgad kõikumised esile tunduvat anoodi voolu tugevuse kõikumist. — Anoodi vool läheb skeemis läbi transformaatori T_2 primaarpooli; sama transformaatori sekundaarahelasse on lülitatud telefon. Liini LL ahelasse on lülitatud teise transformaatori T_1 primaarpool ja sama transformaatori sekundaarpool on ühendatud võrega V ja katoodiga K .

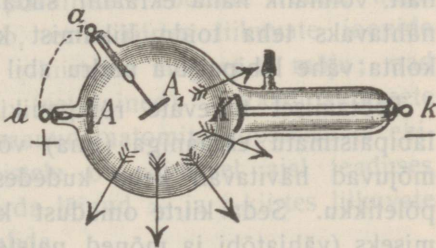
On arusaadav, et telefon ei helise, kui anoodi voolu tugevus ei muutu. Räägitakse aga teise jaama mikrofoni vastu, siis tekitab nõrk vahelduv liini vool transformaatori T_1 sekundaarahelas samaperioodilise vahelduva pinge kõikumise ja võre V elektrub vaheldumisi positiivselt ja negatiivselt. Selle tõttu tekib tugev anoodi voolu kõikumine ja telefon heliseb tugevasti. Nii võib ühe elektronitoruga kõvendada heli ~ 30 korda. Võib ka lülitada telefoni asemel transformaatori T_2 sekundaarahelasse teise samasuguse skeemi transformaatori T_1 primaarpooli, tähendab, võib ühendada järjestikku kaks elektronitoru vastavate transformaatoritega ja häält veel tugevamaks teha. On korda läinud nelja järjestikku ühendatud elektronitorude süsteemiga kõvendada heli 20 000 korda.

Elektronide vabanemisega negatiivse söe kuumendamisel seletub õhu ioniseerumine ja juhtivus leeklambi söepulkade vahel. Leek tekib ka söe ja juhtiva vedeliku (näit. väävelhapu tsingi lahuse, mille temperatuur ei või tõusta üle keemistemperatuuri) vahel, kui süsi on negatiivne, kustub aga voolu sihi muutumisel (mispärast?). Ka õhu juhtivus hariliku leegi läheduses ja leegi „teraviku mõju“ (keha kaotab laengu läbi leegi tõmbamisel) on nähtused, mis on seotud kuumendamisel vabanevate elektronidega.

90. Röntgenikiired. a. Röntgen leidis (a. 1896), et hõrendustoru kohad, kuhu langevad katoodkiired, kiirgavad päälle fluorestsentsvalguse veel isesuguseid mittenähtavaid kiiri, mis igale poole sirgjooneliselt levivad, enam-vähem takistamata läbipaistmatutest kehast läbi tungivad, luministsentsi tekitavad, päevapildi-plaati tumestavad ja õhku ioniseerivad. Niisuguste tugevate **röntgenikiirte** saamiseks tarvitatakse isesuguseid hõrendustorusid, mille lihtsamat tüüpi kujutab 128. joon. Õõnespeegli-taolisest katoodist (K) langevad katoodkiired n. n. antikatoodele (A_1), s. o. harilikult platinast plaadike, mis on röntgenikiirte lähtekohaks. Antikatood ühendatakse anoodiga (A), sest isoleeritud antikatoodele elektruks katoodkiirte mõjul negatiivselt ja takistaks katoodkiirte voolu. Röntgeni toru suurusele vastavalt tarvitatakse induktoreid, mille sädeme pikkus ulatub 10 kuni 50 cm-ni.

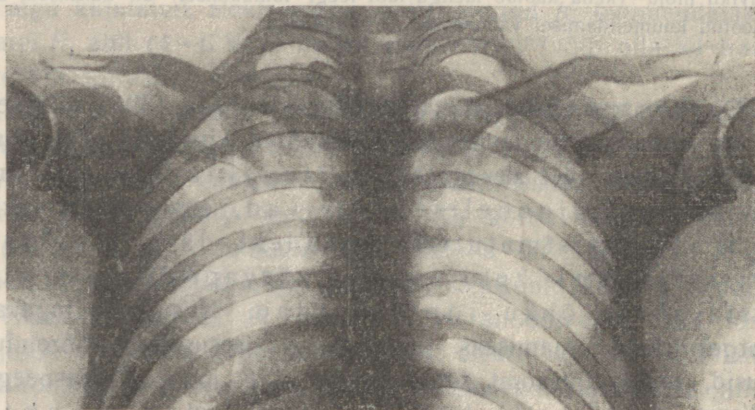
Töötava röntgenitoru läheduses kaotab laetud elektrooskoop oma laengusilmapiilkselt.

Tema läheduses hoitud fluorestseeriva ainega (baariumplaatina-tsüanüür)kaetud papist ekraan kiirgab tugevat fluorestsentsvalgust. Hoiame käe toru ja fluorestseeriva ekraani vahel, siis näeme ekraanil käe luude ja liha varjupilti, sest luu laseb röntgenikiiri vähem läbi kui liha; sõrmuse (metall) vari on täiesti tume. Nahast rahakoti varjupildis võime näha metalloosi, metallrahasid, võtmeid, sulgi. Paberrossikastikese varjupildis võime näha üksikuid paberosse ja nendes ära tunda tubakaga täidetud



128. joon. Röntgenitoru.

osad. Asetame musta paberisse mähitud päevapildiplaadile käe ja valgustame ta röntgenikiirtega, siis tekib ilmutamisel plaadile käe varjupilt. Samuti võime fotograafida rahakoti sisu jne.



129. joon. Ülesvõte röntgenikiirtega.

Röntgenikiirtel on suur tähtsus arstiteaduses, kus neid tarvitatakse inimese keha „läbivaatamiseks“ ja fotograafimiseks. On näit. võimalik näha ekraanil südame ja vaheliha liikumist, võib nähtavaks teha toidu liikumist kõhus isesuguse röntgenikiirte kohta vähe läbipaistva pudru abil jne.

Töötamisel tugevate röntgenikiirtega peab ennast kaitsma läbipaistmatu ekraaniga (tina) või põllega, sest röntgenikiired mõjuvad hävitavalt keha kudesse ja võivad sünnitada rasket põletikku. Seda kiirte omadust kasutatakse mõne haiguse ravimiseks (vähjatõbi ja mõned naistehaigused).

*b. Röntgenikiired ei ole täiesti ühesugused; nende hulgas on n. n. pehmed kiired väikse ja kõvad suure läbitungimisvõimega. Magnet ei avalda mõju röntgenikiirtesse.

Röntgenikiired kujutavad valguslainete-taolisi eetrilaineid, mis tekivad anti-katoodil katoodkiirte (elektronide) põrutuste tagajärjel. Röntgenikiirte laine pikkused on aga mitu tuhat kord väiksemad kui valguslainete pikkused, ja selle tõttu nad ei peegeldu korrapäraselt isegi poleeritud peegli pinnalt, mida kiirte väikse lainepikkuse kohta tuleb lugeda konarlikuks. On korda läinud saada interferentsnähtusi röntgenikiirtega ja sel teel mõõta nende laine pikkust.

*91. **Raadioaktiivsus.** a. Becquerel leidis (a. 1896), et uraani sisaldavad maagid kiirgavad alatasa nägematuid kiiri, mis läbipaistmatutest kehadest enam-vähem läbi tungivad, õhku ioniseerivad ja päevapildi-plaati tumestavad. Asetades musta paberisse mähitud plaadi ja niisuguse maagi vahele rahakoti, sai ta pikema-ajalisel „valgustamisel“ plaadil rahakoti sisu varjupildi. Abielupaar Curie' l läks korda paariaastase töö järele eraldada maagist metalli raadiumi, mis neid kiiri iseäranis tugevasti kiirgab. Kehi, mis avaldavad niisugust kiirgamist, nimetatakse raadioaktiivseteks, kiirgamisomadust **raadioaktiivsuseks**. Raadiumi leidub looduses ülivähesel hulgal, nii et näit. enne maailmasõda raadium oli kullast $\sim 13\,000$ korda kallim. Nõrka raadioaktiivsust näitab ka mõne sooja allika vesi, mõni muda, ja sellega võib-olla osalt seletubki nende tervislik toime haiguste ravimisel.

Raadioaktiivsete nähtuste uurimiseks asetatakse raadiumisool (või mesotoorium, mis ka tugevat raadioaktiivsust näitab) tinast karbikesse, milles on auk kiirte väljapääsmiseks. Leiti, et raadium kiirgab kolme liiki kiiri, n. n. α -, β - ja γ -kiiri. β -kiired kalduvad magneti mõjul kõrvale nagu negatiivse elektri vool; nad kujutavad elektronide voolu nagu katooskiired. Ka α -kiired kalduvad kõrvale magneti mõjul, kuid vastassihis nagu positiivse elektri vool; nad kujutavad positiivsete ionide voolu, nagu kanalikiired. Arvutamine näitab, et α -kiirtes liikuvate ionide aineosakeste aatomkaal on 4. γ -kiirtesse magnet ei mõju; nad on samased röntgenikiirtega (eetrilained). Raadioaktiivsete nähtuste uurimine on aluseks saanud aatomite koosseisu ja ehituse uurimisel; nendele uurimistele on viimasel ajal teaduses suurt rõhku pandud; ongi korda läinud α - ja β -kiirtes liikuvate üksikute osakeste teed fotograafida.

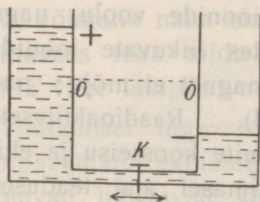
b. Energia jäävuse seaduse seisukohalt oli täiesti arusaamatu, et raadium võib alatasa välja saata kiiri, tähendab energiat, ilma et ta kuskilt saaks energiat juurde. Veel pandi tähele, et raadiumi temperatuur on alati $1-2^{\circ}$ kõrgem kui ümbritseva keskkonna oma, mille tõttu raadium alatasa soojust kiirgab (üks g raadiumi kiirgab arvutamiste põhjal tunnis 138 gcal soojust). Kooskõlas energia jäävuse seadusega seletub nähtus sellega, et kehade aatomid ei ole a-tomid (s. o. mitte-jagatavad sõna tõsis

mõttes), vaid aatomid koosnevad lihtsamatest algosakekestest. Eriti raadiumi ja radioaktiivsete kehade aatomites on algosakesed püsivalt tasakaalus, nii et nad osalt lõhkevad; lõhkemisel vabanevad elektronid (β -kiired), positiivsed ioonid (α -kiired) ja tekib ka eetrlainetamine (γ -kiired). Niisuguse aatomite lõhkemise puhul vabaneb energia, mida kiirgavad radioaktiivsed kehad. Arvutamised näitavad, et raadium laguneb aeglaselt; 1750 aasta pärast on antud hulgast järele jäänud pool, sellest 1750 a. pärast jälle pool jne. Raadiumi lagunemisega seotud aatomite muundumisel tekivad mitmesugused ained (α -kiired on positiivselt laetud heeliumiaatomid, aatomkaal 4), mis osalt võrdlemisi kiiresti edasi muunduvad; arvatavasti tekib raadiumi lagunemisel ka tina. Nii siis on kindlaks tehtud „elementide“ muundumine, mida aimasid alkeemikud. Ka puhtkatselisel teel on korda läinud mitte-radioaktiivsete kehade muundumine.

* Elektromagnetilised lained.

92. Elektri võnkumine. Elektrilained juhtmes.

a. 130. joonisel kujutatud ühendatud anumates olgu kraan K suletud ja vedeliku nivoo näit. pahemas anumast kõrgem (+) kui paremas (-). Kraani avamisel



130. joon. Vedeliku võnkumine tasakaalustamisel ühendatud anumates.

voolab vedelik pahemast anumast paremasse. Vedeliku inertsit tõttu ei lõpe aga voolamine järsku, kui nivood on samal tasapinnal, vaid paremasse anumasse voolab vedelikku rohkem kui nivoo tasakaalustamiseks on tarvis. Tekib vastupidine väiksem nivoovahe, mille tasakaalustamiseks vedelik vastassuunas tagasi voolab jne. Nii siis sünnib nivooade tasakaalustamine vedeliku edasi-tagasi võnkumise teel ja võnkumise amplituudi vähenemisega kustub ka võnkumine. Võnkumisperiood (täisvõnke kestus) kasvab anumate mahtuvuse suurenemisega ja ka vedeliku inertsit suurenemisega (mispärast:). Võnkumise kustumist kiirendab ühendustoru takistuse suurendamine (haavlitega täidetud toru; võnkumise energia muutub soojuseks). Analoogilised nähtused on tähele pandud kondensaatori tühjenemisel.

Feddersen leidis (Leipzigis a. 1858), et kondensaatori tühjenemine on ostsillatoorne (võnkuv), s. o., tühjenemine sünnib suursagedusega vahelduva voolu näol ehk tühjenemise säde koosneb reast üksteisele kiiresti

järgnevatest vahelduva sihiga nõrgenevatest sädemetest. Kui Leydeni purgi tühjenemise sädeme fotograafiksime väga kiiresti liikaval kinofilmil, siis saaksime 131. joonises kujutatud pildi (Fedderseni ülesvõte), milles silma paistavad üksikud vahelduva sihiga nõrgenevad sädemed. Ostsillatoorset tühjenemist seletame



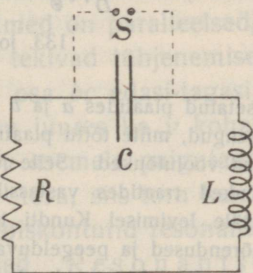
131. joon. Ostsillatoorne säde kondensaatori tühjenemisel.

järgmiselt: Esimese sädeme kustumisel, s. o. + katest — katesse liikuva elektrivoolu kahanemisel tekib eneseinduktsiooniga (mis vastab inertsile, § 75) välisjuhtmes samasihiline ekstravool, mille tõttu — katesse rohkem + elektrit koguneb kui — laengu tasakaalustamiseks tarvis on. Katetes tekivad vastupidised väiksemad laengud (potentsiaalid), mille neutraliseerumiseks elekter teise sädeme näol vastassihis tagasi voolab. See kordub kuni laengute kadumiseni ja sädemete kustumiseni. Kirjeldatud nähtust nimetame **elektri võnkumiseks**, kondensaatorit ühes eneseinduktsiooniga välisjuhtmega **elektri võnkumiskonturiks**. Elektri hulga võnkumisega on seotud elektrilise potentsiaali võnkumine.

b. Võnkumisperiood (T) kasvab kondensaatori mahtuvuse (C) ja konturi eneseinduktsiooni (L) suurenemisega; võnkumisperioodi (sekundites) määrab Thomsoni valem

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

kus L ja C tähendavad vst. eneseinduktsiooni ja mahtuvust tehnilistes üksustes. Tarvitades võnkumiskonturis kondensaatorit muutuva mahtuvusega (pöörkondensaator, § 27) ja lülitades konturisse muutuva eneseinduktsiooni (variomeeter, § 75), võib muuta võnkumisperioodi ja temale anda teatavates piirides soovitatav suurus. Võnkumisperiood on



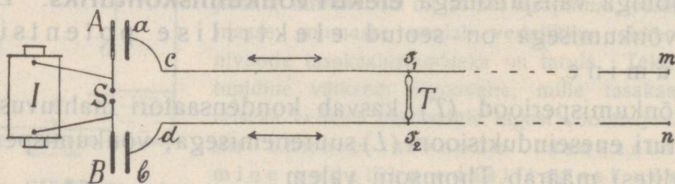
132. joon. Thomsoni võnkumiskontur.

väike, ta ulatub mõnestkümnest tuhandikust kuni mõne tuhande miljondiku sekundini (väiksem saadud periood 10^{-11} sek.); ka kogu võnkumise kestus (kondensaatori tühjenemise aeg) on väike ja seda väiksem, mida suurem on konturi takistus (võnkumiseenergia moonduv soojuseks).

Elektri võnkumist konturis võib tekitada ka ilma sädemeta teiste abinõudega (näit. suursagedusega vahelduva voolu dünamo abil) ja mitte ainult kirjeldatud Thomsoni võnkumiskonturis, mille skeemi kujutab 132. joonis (C on kondensaator, R — takistus, S — sädemik, mis võib olla lülitatud konturisse kas kõrvustikku või järjestikku ja võib ka teatavatel tingimustel puududa, L — eneseinduktsioon), vaid igas suletud või avatud konturis, sest igal juhtmel on teatud elektrimahtuvus ja eneseinduktsioon.

c. Hertz tegi katsete põhjal kindlaks, et elektri võnkliikumine konturis on lainetaoline liikumine, kus laine levimise kiirus juhtmes on 300 000 km sek., ja et elektrilained avatud konturi otsadel peegelduvad, mille tõttu tekivad seisvad elektrilained. Mõõtes võnkumisperioodi arvutas ta valemi $v = \lambda T$ põhjal elektrilainete pikkuse.

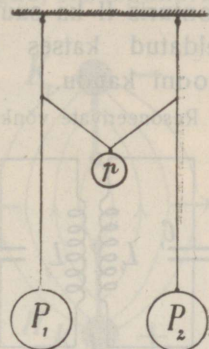
Seisvaid elektrilaineid juhtmes võime demonstreerida järgmiselt: Me tekitame induktoriga ühendatud sädemikus S (133. joon.) sädemeid. Elekter hakkab siis sädemiku konturis võnkuma ja sädemikuga ühendatud plaadid A ja B laaduvad vaheldumisi positiivselt ja negatiivselt. Plaatide A ja B vastu



133. joon. Seisvad elektrilained juhtmes.

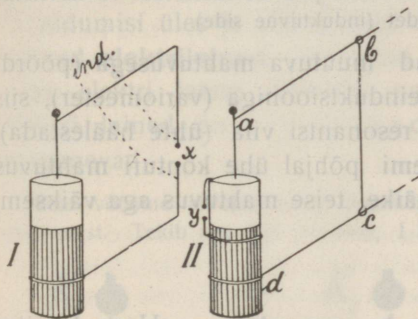
asetatud plaatides a ja b indutseeruvad vaheldumisi negatiivsed ja positiivsed laengud, mille tõttu plaatidega ühendatud traatides am ja bn tekivad vahelduvad voolutõuked. Selle juures on plaatide laengud alati isenimelised ja voolutõuked traatides vastassihilised. Sarnaselt õhutihendustega ja -hõrendustega hääle levimisel Kundti torus levivad siin piki traate elektronide tihendused ja hõrendused ja peegelduvad traatide otsadelt. Interfereerumisel tekivad traatidel seisvad elektrilained sõlmpunktidega ja puhetistega. Nihutame väikse traate ühendava Geissleri toru (T) traate mööda edasi-tagasi, siis paisude kohal toru heleneb. Naabersõlmede kahekordne kaugus ongi vst. elektrilaine pikkus.

93. Elektri resonants. Kaks ühesugust pendlit P_1 ja P_2 olgu üksteisega seotud näit. kolmanda pendli p abil, nagu kujutatud 134. joonisel. Paneme pendli P_1 võnkuma, siis võnkumine kandub p kaudu üle pendlisse P_2 ja pendli P_1 võnkumine kustub. On aga P_1 seisma jäänud, siis hakkab pendli P_2 võnkumine kustuma ja võnkumisenergia kandub tagasi üle pendlisse P_1 jne. Sidet muutes (pendel p raskem või kergem, pendli p niit enam või vähem pingul) paneme tähele, et võnkumine kandub üle seda kiiremini, mida kinnisem on side. Niisuguse võnkumise ülekandumine sünnib aga ainult siis, kui pendlite P_1 ja P_2 perioodid on samad; me räägime siis, et pendlid on resonantsis, sest nähtus on täiesti analoogiline heliharkide, keelte ja õhusammaste resonantsiga. Oleks võimalik pendlite sidet sel momendil katkestada, kui P_1 võnkumine on kustunud, siis võn- guks P_2 kustumatult edasi ja jääks ainult õhu takistuse tõttu pikema aja pärast seisma.



134. joon.
Seotud pendlid.

Elektri võnkumine võib teatavatel tingimustel üle kanduda läbi dielektriku ühest võnkumiskonturist teisele. Niisugust **elektri resonantsiks** nimetatud nähtust võib lihtsalt demonstreerida kahe ühesuguse Leydeni purgiga (135. joon.). Purk I on varustatud välisjuhtmega ja sädemikuga (x). Purk II on varustatud välisjuhtmega $abcd$, mille pikkust (eneseinduktsiooni) võib muuta liikuva osa bc abil; tema sisekattest ulatub traadike (stannioolriba) välja väliskatte lähedusse (väike

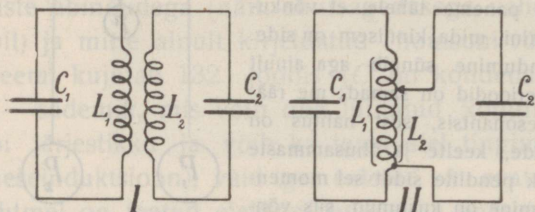


135. joon. Elektri resonants.

sädemik y). Asetame purgid nii, et välisjuhtmed on paralleelsed, laeme purgi I induktoriga, nii et x kohal tekivad tühjenemise sädemed, ja nihutame purgi II välisjuhtme osa bc edasi-tagasi, siis paneme tähele, et traadi bc teatava seisu juures ka y kohal hüppavad väikesed sädemed (kui sädemiku y asemele paigutada eriti selleks otstarbeks tehtud väike Geissleri toru, siis toru heleben). Niisugusel puhul on mõlemad võnkumiskonturid resonantsis, mõlemate võnkumisperioodid on võrdsed. Resonantsi korral võib üle kanduda elektri võnkumine ühest võnkumiskonturist teise. — Elektri võnku-

mise ülekandumist ja sädemete tekkimist konturis II seletame sellega, et konturi I suursagedusega vahelduv vool indutseerib konturis II ka suursagedusega vahelduva voolu; nii siis on kirjeldatud katses mõlemad võnkumiskonturid seotud induktiooni kaudu.

Resoneerivate võnkumiskonturite side võib olla väga mitmesugune. 136. joonis kujutab Thomsoni konturite sideme lihtsamaid



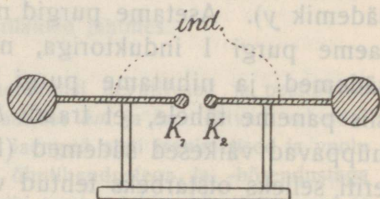
136. joon. Seotud võnkumiskonturid.

juhtusid; side võib olla kinnisem või lahtisem (joonises I poolid ligemal või kaugemal, joonises II poolid ühine osa suurem või väiksem). Teise konturi tagasi-mõju esimesse on seda vähem tunduv, mida lahtisem on side; ongi korda läinud korraldada sidet nii, et võnkumised esimeses konturis järsku kustuvad ja ainult teises edasi kestavad (aja jooksul takistuse tõttu kustuvad). Võnkumiste ülekandumine ühest konturist teisele on keerukas, kuid raadiotehnikas väga tähtis nähtus. Edaspidistes skeemides on tarvitatud ainult joonises I kujutatud konturite sidet (induktiivne side).

On võnkumiskontur varustatud muutuva mahtuvusega (pöördkondensaator) ja muutuva eneseinduktsiooniga (variomeeter), siis võib teda alati teise konturiga resonantsi viia (ühte häälestada). Seejuures võib Thomsoni valemi põhjal ühe konturi mahtuvus olla suur ja eneseinduktsioon väike, teise mahtuvus aga väiksem, kuid eneseinduktsioon suurem.

94. Elektrilained vabas ruumis. a. Hertz tarvitas oma kuulsate katsete juures kondensaatoriga konturi asemel n. n. **Hertzi vibraatorit** (137. joon.).

Kahe isoleeritult kinnitatud metallvarda otsade väikeste kuulikeste (K_1 ja K_2) vahel on mõne mm pikkune sädemik; suuremad kuulikesed või kettad varraste teistel otsadel moodustavad mahtuvuse. Ühendamisel induktoriga hüppavad sädemikus sädemed ja vibraatoris tekivad elektri võnkumised (mitte induktori poolis, mis mõjub kägipoolina).

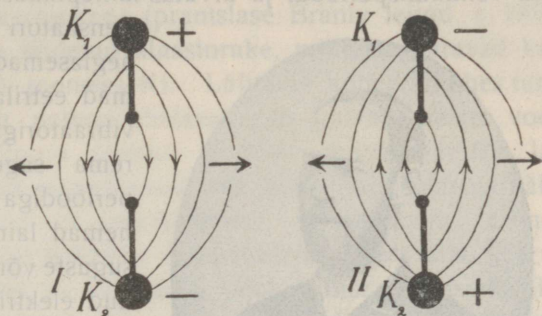


137. joon. Hertzi vibraator.

Kujutame vibraatori sädemikku vertikaalses seisus. Tekivad võnkumisel kuulikestel K_1 ja K_2 vst. + ja - laengud, siis lagunevad elektrivälja tungjooned ümbritsevas eetris teatava kiirusega laiali (138. joon., I).

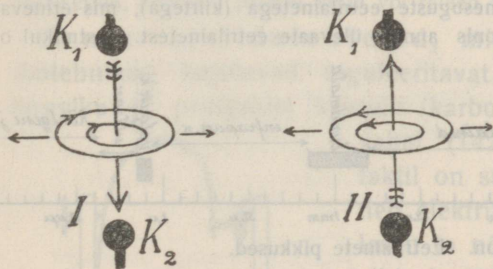
Ühes laengutega kaob ka kuulikeste vahel elektriväli, kuid sama võnkumisperioodi teisel poolel tekivad kuulikestel vastupidised laengud ja nende vahelt lagunevad

nüüd vastupidi sihitud tungjooned ruumis laiali (138. joon., II). Et võnkumine kordub, siis lagunevad ümbritsevas eetris vaheldumisi üles ja alla sihitud elektri tungjoonte kimbud, eetris tekivad **elektrilained**. Sedaviisi tekkinud lainete mõjul võnguks vaba elektri laeng üles-alla nagu kork lainetaval veepinnal. Elektri lained on ristlained; kauguse suurenemisel lained nõrgenevad.



138. joon. Elektri tungjoonte laialilagunemine sädemiku ümbruses.

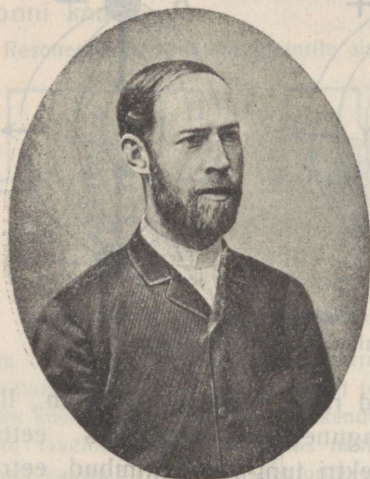
Meie võtsime arvesse ainult kuulikeste laengute (potentsiaalide) perioodilist muutumist. Tekib aga 138. joonises, I kujutatud laengute ja elektri tungjoonte



139. joon. Voolu magnetivälja tungjoonte laialilagunemine sädemiku ümbruses.

kadumisel säde sihis $K_1 K_2$, tähendab elektrivool, siis lagunevad sädeme ümber laiali voolu magnetivälja tungjooned (139. joon., I). Tekib 138. joonises, II kujutatud laengute ja elektrivälja kadumisel säde vastassihis, siis lagunevad kuulikeste vahelt laiali vastassihilised voolu magnetivälja tungjooned (139. joonis, II). Nii siis tekivad ruumis sädemiku ümbruses levivad magnetilained, endisega kokkuvõttes **elektromagnetilised lained**, milles elektri tungjoonte kimpudele järgnevad vaheldumisi magneti tungjoonte kimbud, kusjuures mõlemad tungjoonte süsteemid on üksteisele risti.

b. Hertz tekitas esimesena elektrilaineid vabas ruumis. Tema mõõtis nende levimiskiiruse ja leidis selle $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$; ta mõõtis ka võnkumisperioodi ja arvutas lainepikkuse. Kuna hariliku kondensaatori tühjenemisel tekivad aeglasemad võnkumised ja pikemad eetrilained, sai Hertz oma vibraatoriga (väike mahtuvus) suurema sagedusega ja väiksema perioodiga võnkumisi, vst. ka lühemad lained ($\sim 1\text{ m}$). Mitmesuguste võnkumiskonturitega saadud elektriainete pikkused ulatuvad paarist cm kuni paarikümne tuhande m-ni (võrdle valguslainete pikkusega). Puudulikkude abinõude päale vaatamata läks Hertzil korda näidata, et elektrilained levivad vabas ruumis, juhtivatelt pindadelt peegelduvad, samuti et nad murduvad,



Heinrich Hertz
(1857—1894).

lühidalt, et elektri ja valguslainete vahel ei ole olulist vahet ja nad erinevad ainult lainete pikkuse poolest. Võrdlemisi pikad elektrilained painduvad aga tõkke taha, samuti võivad nad esile kutsuda ka resonantsi nagu helilained.

Meie oleme tutvunud mitmesuguste eetrilainetega (kiirtega), mis erinevad laine pikkuse poolest. 140. joonis annab ülevaate eetrilainetest. Astmikul on



140. joon. Eetrilainete pikkused.

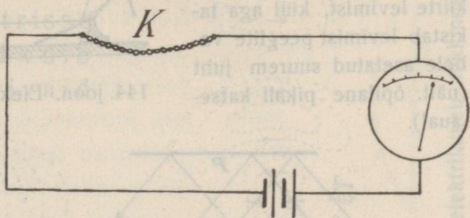
ära tähendatud lainete pikkused; astmiku jaotuskriipsude vahe vastab ühele oktaavile (määratabelis nimetatud lainete ulatuspiirid oktaavides). Viimasel ajal on korda läinud ka joonisel „tundmata“-ga äratähendatud piirkonnasse kuuluvaid laineid tekitada.

95. Detektor. Ainult tugevate elektrilainete olemasolu kiirgava konturi läheduses võib kindlaks teha teise resoneeriva

ja sädemikuga varustatud konturiga; nõrgemate lainete jaoks tarvitatakse n. n. **detektoreid**.

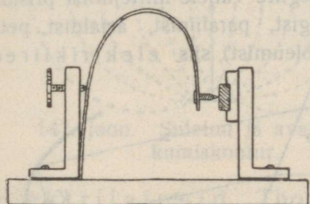
Lihtsamaks detektoriks, millel aga raadiotehnikas praegu enam tähtsust ei ole, on koheerer (prantslase Branly leitud a. 1890), see on metallpuruga täidetud klaastoruke, millesse ulatuvad kaks metallpulgakest (150. joonises K). Lülitame koheereri ühes tundliku galvanomeetriga patarei ahelasse, siis galvanomeeter voolu ei näita, sest metallpuru takistus on suur (mitu tuhat Ω); langevad aga koheererile elektrilained, siis metallpuru takistus väheneb kuni ligi 5 Ω -ni ja galvanomeeter näitab voolu. Lainete kustumisel kaotab aga koheerer oma juhtivuse alles siis, kui me teda koputame; üldse on ta kaunis tujukas riist. Lihtsama koheereri moodustab peenikesest raudtraadist ahelake või katkimurtud magneeditud sukavarras, mille ligidal vastamisi seisvad isemimelised poolused on ühendatud rauapuruga.

Lülitame patarei ahelasse koheereri (raudahelakese K, näit. kirjaklambritest) ja galvanomeetri, nagu näitab skemaatiline 141. joonis, ja tekitame 1—2 m kaugusel elektrimasinaga sädeme, siis galvanomeeter näitab voolu. Lülitame ahelasse galvanomeetri asemele elektrikella, siis hakkab kell helisema, kui elektrilained langevad koheererile (tarbekorral tuleb koheereriit ja kella tundlikkust reguleerida, tugevam patarei võtta või releed tarvitada).



141. joon. Vooluahel ahelkoheereriga.

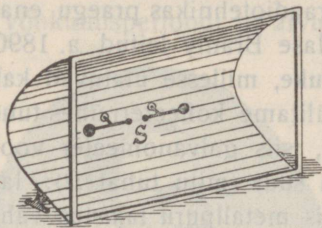
N. n. kristalldetektorid, mida tarvitatakse praegu raadiotehnikas, kujutavad reguleeritavat kontakti metallist (söest) teraviku ja pooljuhust kristalli (karborund, siliitsium, püriit jne.) vahel (142. joon.). Niisugusel kontaktil on suur takistus, mis aga väheneb elektrilainete langemise ajal; ka laseb ta nõrga voolu läbi ainult ühes sihis ja mõjub vahelduva voolu (võnkumise) alaldajana.



142. joon. Kristalldetektoris keem.

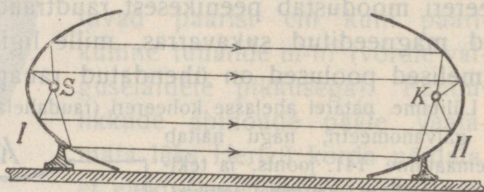
On olemas elektrolüütilised ja termilised detektorid. Teatavatel tingimustel mõjub elektronitoru detektorina ja tõrjub viimasel ajal raadiotehnikast välja teised detektorid.

96. Katsed Hertzi peeglitega. 143. joonisel on kujutatud silindri-
line plekk-peegel (poleerimata, sest el.-lained on pikad), mille läbilõige on para-
bool. Peegli tulijoones asub vibraatori sä-
demik (*S*); vibraator ühendatakse läbi
peegli minevate isoleeritud juhtmete kaudu
induktoriga. Teise samasuguse peegli tuli-
joones asub koheerer, mis ühes galvano-
meetriga (või elektrikellaga) lülitatakse pata-
rei ahelasse.

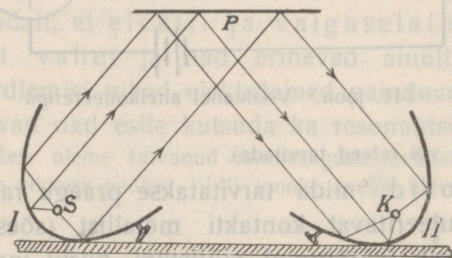


143. joon. Hertzi peegel.

mis pärast peegeldumist peegli *I* on isekeskis paralleelsed, peegelduvad
peeglis *II* asuvasse koheer-
erisse ja galvanomeeter
näitab voolu (kell heliseb).
Peeglite vahele asetatud
mittejuht ei takista elektri
kiirte levimist, küll aga ta-
kistab levimist peeglite va-
hele asetatud suurem juht
(näit. õpilane pikali katse-
aual).



144. joon. Elektrilainete peegeld. Hertzi peeglitelt



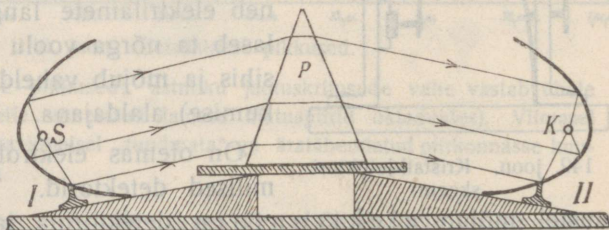
145. joon. Elektrilainete peegeldumine
metallplaadilt.

murduvad pris-
mas ja mõjuvad
koheerisise.

Hertzi peeglite
abil võib näidata
elektrilainete
murdumist mitte-
juhust läätses ja
demonstreerida
lainete polari-
satsiooni.

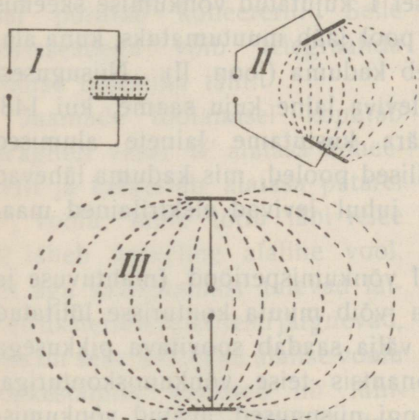
Pöörame peeglid viltu, siis
elektri kiired koheerisise ei mõju;
asetame aga metallplaadi vastavalt
145. joonisele, siis kiired mõjuvad
koheerisise, sest nad p e e g e l d u-
vad plaadilt nagu valgusekiired.

Asetame peeglid vastavalt 146.
joonisele, siis elektri kiired koheer-
erisise ei mõju; paigutame aga
peeglite vahele mittejuhust prisma
(pigist, parafiinist, asfaldist, pet-
rooleumist), siis elektrikiired



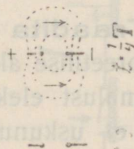
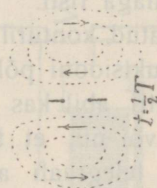
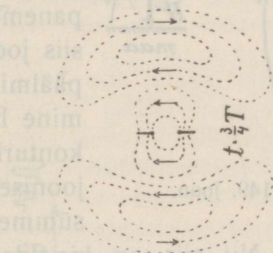
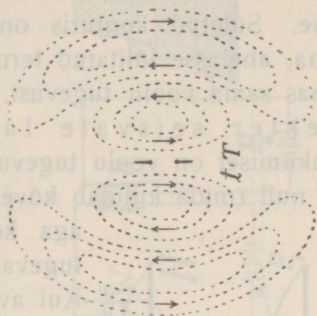
146. joon. Elektrilainete murdumine prisma.

97. Suletud ja avatud võnkumiskontur. Elektrilainete kuju. a. N. n. suletud võnkumiskonturis (147. joon., I) tekib elektriväli ainult kondensaatori plaatide vahel. Joonises I kujutatud kontur on tõelikult elektri võnkumiste kohta suletud, sest § 80 põhjal laseb kondensaator vahelduvat voolu läbi; ka konturisse lülitatud sädemik ei ava konturit, vaid moodustab suure takistusega konturi osa, mis võnkumise kustumist kiirendab. Kui aga asetada kondensaatori plaadid üksteisest kaugemale (147. joon., II ja III), siis võnkumiskontur muutub avatumaks ja välja tungjooned lagunevad kaugemale ruumis laiali. Suletud konturis võib tugevaid elektri võnkumisi tekitada, kuid on arusaadav, et suletud kontur mõjub ümbritsevasse eetrisse nõrgalt, kuna avatud võib tekitada kaugemale levivaid



147. joon. Suletud ja avatud võnkumiskontur.

elektrilaineid. Thomsoni kontur kujutab suletud (võrdle 132. joon. ja 147. joon., I), Hertzi vibraator avatud võnkumiskonturit (võrdle 137. joon. ja 147. joon., III).



148. joon. Vibraatoriga saadud elektrilainete tekkimise faasid.

b. Elektrilainetel, mida tekitab Hertzi vibraator, on isesugune kuju, nad on läbilõikes neerusarnased (148. joon.). Niisuguste lainete tekkimine seletub sellega, et ühe laialilaguneva elektrivälja tungjooned järgmise välja vastassihiliste tungjoontega vibraatorist eraldudes otsadel ühinevad. Skemaatiline 148. joonis kujutab elektrilaine tekkimist ja levimist ühe võnkumisperioodi üksikutes faasides; nii siis elektri lained on keerislained.

Elektri võnkumisel suletud ja avatud konturis on aga tähtis vahe. Suletud konturis on võnkuva voolu tugevus igas kohas sama, ahelasse lülitatud termiline ampermeeter näitaks igas ahela kohas sama voolu tugevust. Avatud konturis võngub elekter seisvate lainetena (nagu õhk viletorus): võnkumisel on voolu tugevus konturi keskel maksimaalne ja otsadel null (mida kujutab kõverjoon *i*, 149. joonisel I), potentsiaal

aga konturi keskel null ja kõigub kõige tugevamini otsadel (kõverjoon *v* joonisel I). Kui avatud konturi alumise otsa ühendame maaga või kõrvaldame alumise poole ja paneme tema asemele lihtsalt maaühenduse, siis joonisel I kujutatud võnkumise skeemis päälmine pool jääb muutumatuks, kuna alumine läheb kaduma (joon. II). Niisugusest konturist leviva laine kuju saame, kui 148. joonises ära kustutame lainete alumised sümmeetrilised pooled, mis kaduma lähevad maas. Nii siis on kirjeldatud juhul levivad elektrilained maa-kera pinnaga risti.

Ka avatud konturil on kindel võnkumisperiood (mahtuvuse ja eneseinduktsiooni põhjal), mida võib muuta konturisse lülitatud variomeetri abil kas nii, et ta välja saadab soovitava pikkusega laineid, või nii, et ta on resonantsis teise võnkumiskonturiga. Traadita telegraafi antennid ongi niisugused avatud võnkumiskonturid.

98. Traadita telegraaf. a. Hertzi uurimiste resultaadid panid teoreetilise aluse raadiotehnika arenemisele. Hertz ei eitanud võimalust elektrilainete abil traadita signaale edasi anda, kuid ta ei uskunud, et see kaugema maa pääle on tehniliselt läbiviidav. Itaallane Marconi, insener, kasutas esimesena elektri-

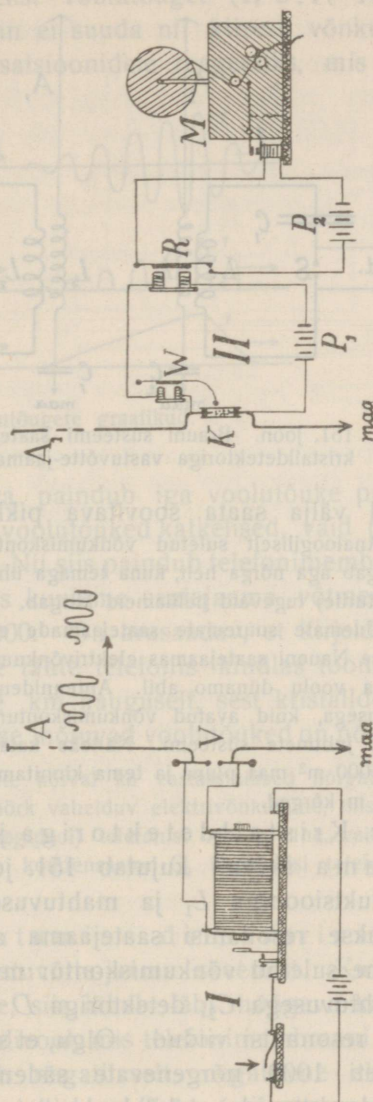
laineid traadita telegraafimiseks ja ehtas juba 1897. a. sügisel traadita telegraafi jaama, mille tegevuse ulatus oli 27 km.

a. Selle Marconi telegraafi saatejaama skeemi kujutab 150. joon., I (A on antenn, V — ostsillaatori sädemik), vastuvõtte-jaama skeemi 150. joon., II (K on koheerer, W — Wagneri vasar, R — rele, M — Morse kirjutusmehhanism).

Kui saatejaamas primaarahel sulgeda, siis tekivad sädemed ja antenn kiirgab laineid, mis vastuvõtte-jaama ühtehäälestatud antennis esile kutsuvad elektri võnkumise. Selle tõttu langeb antenni ahelasse lülitatud koheereri takistus, nii et vastuvõtte-jaama patarei P_1 vool läbi pääseb ja rele kaudu kirjutusmehhanismi patarei P_2 ahela suleb. Viimase laine kustumisel katkeb vool vastuvõtte-jaamas, sest Wagneri vasar pööratab koheereri. Selle sisseseadega võib telegraafida Morse tähestiku tähti.

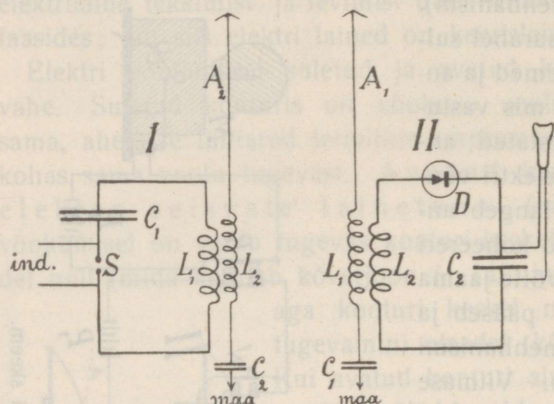
Jaamade töötamisel koputab Wagneri vasar W alatasa koheereri ja katkestab alatasa patarei P_1 voolu, mille tõttu läbi rele R läheb katkeline alaline vool. Et aga saatejaamast tulevad lained üksteisele ülikiiresti järgnevad, siis on selle katkeline alalise voolu katkestamise kestused nii lühikesed, et rele ankur elektromagnetist ei kaugene ja kirjutusmehhanism kriipsu kirjutab (mitte punktide rida).

b. Saatejaam Brauni süsteemi järele (Braun oli professor Strassburgis) oli kau-



150. joon. Marconi traadita telegraafi skeem.

gema ulatusega. Braun sidus suletud võnkumiskonturi avatuga; tema idee selgub 151. joonisest, I. Suure mahtuvusega suletud võnkumiskonturis SC_1L_1 võib tekitada palju tugevamad elektrienergia võnkumised kui eespool kirjeldatud väikese mahtuvusega avatud antennis. Et aga suletud konturil on nõrk kiirgamisvõime



151. joon. Brauni süsteemi saatejaama ja kristalldetektoriga vastuvõtte-jaama skeem.

(§ 97), siis seotakse temaga avatud võnkumiskontur $A_2L_2C_2$, antennis, millesse üle kandub suletud konturi võnkumine; resonantsi puhul tekivad siis antennis tugevad seisvad lained. Antenn omakord kiirgab laineid hästi. Mõlemate konturite mahtuvust ja eneseinduktsiooni võib muuta ja sel

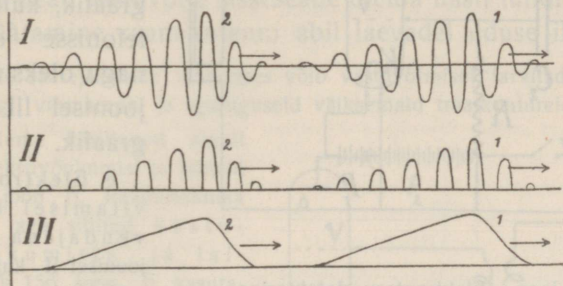
teel välja saata soovitava pikkusega laineid.

Analoogiliselt suletud võnkumiskonturile võib helihark tugevasti võnkuda, kiirgab aga nõrga heli, kuna temaga ühte häälestatud resonator (vastab avatud konturile) tugevaid hellilaineid kiirgab.

Uuemate suuremate saatejaamade ehitused on teissugused. Näiteks tekitatakse Naueni saatejaamas elektrivõnkumised suurema kui 400-kilovatilise vahelduva voolu dünamo abil. Antennidena tarvitatakse mitmekujulisi suure mahtuvusega, kuid avatud võnkumiskontureid, sagedasti vihmavarju traatkere sarnast juhtmete süsteemi. Näiteks katab Naueni antennisüsteem suurema kui 150 000 m² maa pinna ja tema kinnitamiseks on ehitatud 8 torni, nendest kaks 260 m kõrged.

c. Kristalldetektoriga ja telefoniga vastuvõttejaama skeemi kujutab 151. joon., II. A_1 on muutuva eneseinduktsiooniga L_1 ja mahtuvusega C_1 varustatud antenn, mis viiakse resonantsi saatejaama antenniga. Antenniga on seotud teine suletud võnkumiskontur muutuva eneseinduktsiooniga L_2 ja mahtuvusega C_2 , detektoriga D ja telefoniga; mõlemad konturid on resonantsi viidud. Olgu, et saatejaamas tekitatakse 1000 sädet (õieti 1000 nõrgenevate sädemete rida) sekundis. Iga säde (sädemete rida) tekitab kustuva laine, nii et jaam saadab välja

1000 kustuvat lainet sekundis (1, 2... 1000, 152. joon., I). Resonantsi viidud vastuvõtte-jaama antennis tekib siis sekundis ka 1000 kustuvat võnkumist, mis üle kanduvad teise suletud (detektori ja telefoni) võnkumiskonturisse. Detektor laseb aga võnkumisi läbi peamiselt ühes sihis, nii et teises konturis tekib sekundis 1000 ühesihilist katkelist voolutõuget (1, 2... 1000, 152. joon. II). Telefonimembraan ei suuda nii kiiresti võnkuda, et ta iga üksiku voolutõuke pulsatsioonidele reageeriks, mis üli-



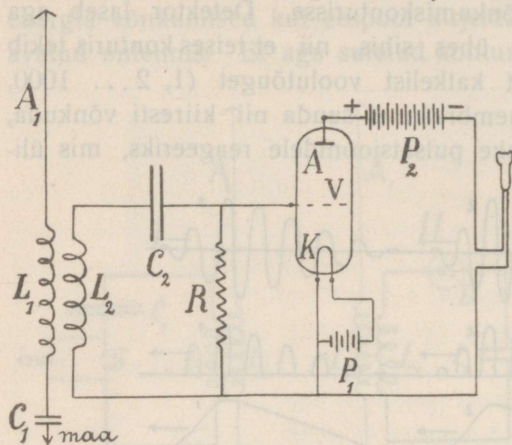
152. joon. Voolutõugete graafikud.

kiiresti üksteisele järgnevad; ta paindub iga voolutõuke puhul ainult üks kord, nagu ei oleks voolutõuked katkelised, vaid pidevad (1, 2 jne., 152. joon., III). Nii siis paindub telefonimembraan 1000 korda sekundis ja telefonis kuuleme saatejaama võtme sulgemisel tooni võnkearvuga 1000. On arusaadav, et kirjeldatud sisseseadega võib kuulda Morse tähte telefonis kindlas toonikõrguses, kuid ainult paarikümne km kauguselt, sest kristalldetektoril on suur takistus ja telefonisse mõjuvad voolutõuked on nõrgad.

Et detektor ühesihiliste voolutõugete kõrval ka vastassihilised nõrgalt läbi laseb, siis tekib teises konturis ka nõrk vahelduv elektrivõnkumine, mis telefoni suure eneseinduktsiooni tõttu (kägipool) telefonist läbi ei lähe, vaid läbi kondensaatori C_2 (vaata § 80), kuna kondensaator C_2 ühesihilisi telefonisse mõjuvaid voolutõukeid läbi ei lase.

d. Elektrontoru kasutamine detektorina selgub 153. joonises kujutatud vastuvõtte-jaama skeemist. Kui laineid antennisse mõjumas ei ole, siis läheb läbi hõõgava katoodiga elektrontoru ühtlane anoodivool, mis telefonimembraani võnkumist ei tekita; võre laadub negatiivselt, negatiivne elekter voolab aga aeglaselt läbi suure takistuse R ära, nii et laeng on

nõrk. Langevad aga anoodile elektrilained, siis tekivad temaga seotud võre konturis VC_2L_2K elektrivõnkumised, võre laadub vaheldumisi positiivselt ja negatiivselt ja selle tõttu tekib anoodivoolu



153. joon. Elektronitoru detektorina.

tud transformaatore ja elektronitoru skeem ühes patareidega ja telefoniga. Nii-sugune ühendus võib aga ainult siis resultaati anda, kui antennile langevad lained ja antennis tekkivad võnkumised on veel nii tugevad, et detektori konturis tekkivad võnkumised kristalldetektorisse jõuavad. On nad aga selleks liiga nõrgad, siis võib antenni võnkumisi kõvendada elektronitoru abil ja üle kanda detektori ahelasse.

f. Elektrilaines sünnib võnkumine risti maakera pinnaga (§ 94) ja selle tõttu ei olene ta lainetamistsentri, s. o. saatejaama asukohast teatavas ilmakaare sihis. Et teada oleks, kust raadiotelegramm on välja saadetud ja et mitme jaama töötamisel ei tekiks segadus, tarvitavad suuremad üleilmlikud saatejaamad üksteisest erinevaid teatud perioodi ja pikkusega laineid, millega vastuvõttejaam võib oma antenni resonantsi viia.

g. Kuna seni käsitletud antennisse mõjub päämiselt elektromagnetilise laine elektriline osa (risti maakera pinnaga), mõjub n. n. raam-antennisse päämiselt laine magnetiline osa, mis levib horisontaalselt (§ 94). Raam-antenn koosneb lihtsamal kujul neljakandilisele raamile mähitud traatmähisest ja kujutab suurt, kuid lühikest pooli. Asetame ta nii, et raami pind on sihitud saatejaama poole, siis lähevad laines levivad magneti tungjooned raamist läbi ja indutseerivad poolis elektri-

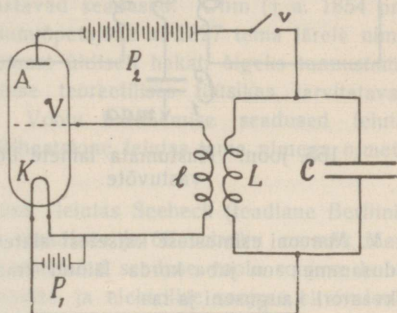
ahelas tugev voolu kõikumine ning telefon heliseb. Läbi telefoni mineval voolul on 152. joonisel II kujutatud graafik, kuid mõju telefonisse on sama, nagu oleks voolul 152. joonisel III kujutatud graafik.

e. Elektronitoru tarvitamisel hääle kõvendajana tuleb 151. joonisel II kujutatud skeemis telefoni asemele lülitada 127. joonisel kujuta-

võnkumist. Mida rohkem pöörame raami sellest seisust välja, seda nõrgemat mõju avaldavad lained. Nii siis võib raami pöörda soovitava saatejaama sihti ja sellega eraldada teiste ka tugevate ja ligidal olevate jaamade segamist. Raam-antenn lülitatakse muutuva eneseinduktsiooni ja mahtuvusega suletud võnkumiskonturisse, mille võnkumine üle kandub teisele võnkumiskonturile (telefonile). Raam-antenni ehitus on lihtis; et aga raam-antennis tekkivad elektrivõnkumised on võrdlemisi nõrgad, siis peab vastuvõtte sisseseade olema hästi tundlik. Tähtis on sihi määramine raam-antenni abil laevadel uduse ilmaga.

Tugevamate saatejaamade läheduses võib vastuvõtmisel tarvitada antennina näit. raudsängi, vihmarenni ja igasuguseid väiksemaid traatkontureid.

h. Seni oleme käsitlenud ainult kustuvaid elektrivõnkumisi ja laineid (graafik, 152. joon., I). Raadiotehnika püüded olid aga sihitud kustumata võnkumiste ja lainete (graafik 156. joon., I) kasutamisele, mis on nii mõneski suhtes kasulikum (näit. on resonantsi mõju tugevam ja resonantsi võib täpsemalt reguleerida, mille tõttu ulatuse kaugus on suurem; traadita telefonimine on võimalik ainult kustumata lainetega). Niisuguste võnkumiste tekitamine elektrontoru abil selgub 154. joonisel kujutatud

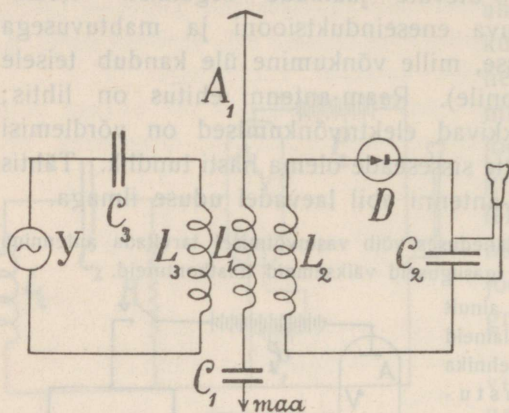


154. joon. Kustumata võnkumiste tekitamine elektrontoru abil.

skeemist. Võtme V sulgemisel läheb läbi toru anoodivool. Ühtlaselt tekitab voolu tõuge sulgemise momendil nõrga elektrivõnkumise konturis LC , mis üle kandub temaga seotud võre konturisse VIK , ja võre laadub vaheldumisi positiivselt ja negatiivselt; selle tõttu hakkab anoodivoolu tugevus kõikumama. Anoodivoolu tugevuse kõikumised aga suurendavad elektrivõnkumise tugevust konturis LC , mis omakord esile kutsub tugevamat võre pinget kõikumist ja selle tõttu veel suuremat anoodivoolu kõikumist jne. Nii siis tekivad konturis LC tugevad kustumata elektrivõnkumised, antud juhul patareid P_2 energia kulul (nagu kustumatud kella pendli võnkumised tekivad kella pommi või vedru potentsiaalse energia kulul). Kustumata lainete väljasaatmiseks tuleb kontur LC muuta avatuks. — Kustumata lainet võib tekitada ka teissuguste sisseseadetega (näit. elektri leeklambi või suursagedusega dünamo abil).

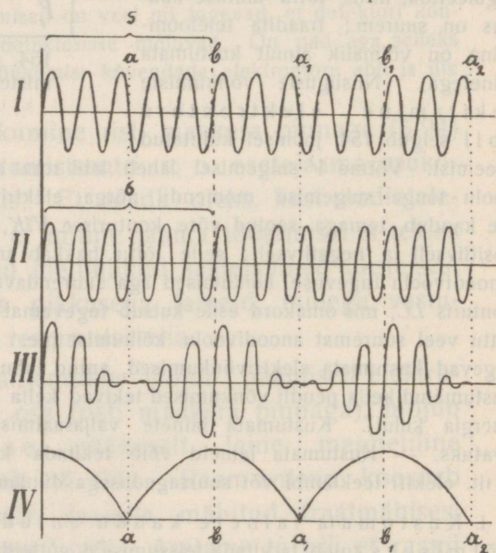
i. Kustumata lainete kaudu antud Morse märkide vastuvõtmiseks tuleb tarvitada teissuguseid võtteid kui seni käsitletud. 155. joonisel kujutatud skeemist selgub kustumata lainete kaudu antud märkide vastuvõtmine telefoniga hõljumiste abil. Skeemis näeme antenni konturit ja

temaga seotud detektori konturit telefoniga, nagu 151. joonisel II, pääle selle aga veel kolmandat võnkumiskonturit YC_3L_3 , milles võib tekitada mingisuguse sisseseadega Y kustumata elektrivõnkumisi antennivõnkumistest võrdl. vähe erineva perioodiga. Kujutatagu 156. joon., I antenni kustumata võnkumise graafikut ja II konturis YC_3L_3 tekitatud erineva perioodiga kustumata võnkumise graafikut. Mõlemate konturite võnkumiste koostõju avaldub detektori (telefoni) konturisse L_2DC_2 resultantvõnkumisena, millel hõljumiste tõttu on 156. joonises, III kujutatud graafik, ja lõpuks on mõju telefonisse sama, nagu oleks võnkumisel (voolul) joonises IV kujutatud graafik. On näiteks antenni ja konturi YC_3L_3 võnkearvude vahe 435, siis kuuleme telefonis kammertoni heli.



155. joon. Kustumata lainete hõljevastuvõte.

k. Marconi esimestest katsetest alates on traadita telegraafimine teinud hiigledusamme; on juba korda läinud traadita märke anda kuni poole maakera ekvaatori kauguseni ja raadiotehnika on paisunud suureks tehnika alaks. Harilikku traadiga telegraafilii ülekoormamise ärahoidmiseks hakataksegi suurte linnade (näit. Frankfurt-Berliini) vahel liini traati mööda telegraafima elektrilainetega. Mitu lainetega töötavat saateparaati saadavad oma märke üksteisest erinevate lainepikkustega sama liini traati, ja saateparaatidega resonantsi viidud vastuvõtte-aparaadid võtavad märke samalt liinilt vastu; selle juures ei sega suursagedusega võnkumised harilikku telegraafimist liini kaudu samal ajal. Analoogiliselt võivad mitu



156. joon. Kustumata lainete interferents ja nende mõju telefonisse.

vastavate resonaatoritega varustatud kuulajat üle pika koridori kuulda samal ajal mitme isiku rääkimist, kui igäüks räägib kindla erineva tooni kõrguses.

Ajaloo. Anatoomiaprofessor Galvani (Bolognas) ja füüsikaprofessor Volta (Pavias) uurisid esimestena galvani elektri avaldusi a. 1789—95. Nähtust, et raudvõre küljes vaskhaagi otsas rippuv konnaalng kokku tõmbus, kui jala vaba ots raudvõret puudutas — samuti kui elektrilaengu läbiminekul — seletas Galvani loomamuskli ja ergu vahel valitseva pingega. Volta tõendas katseliselt, et pinge tekib isesuguste metallide kokkupuutumise tõttu; ta ehitas esimese galvani elemendi ja sai hulga elementide järjestikku ühendamisel (Volta samm) võrdlemisi suure pinge. Praeguse vaate järele on metallide kokkupuutumisel tekkiva pinge põhjuseks nende vahel olev elektrolüüt (üliõhuke õhuniiskuse kiht). Danielli element leiutati a. 1836, Leclanché element a. 1868.

Oersted (professor Kopenhaagenis) uuris esimesena voolu mõju magnetnõelasse (\sim a. 1820); Biot ja Savart, samuti ka Ampère (professorid Pariisis) uurisid nähtust põhjalikumalt ja leiutasid vastavad seadused. Ohm (\dagger a. 1854 professorina Münchenis) avaldas gümnaasiumiõpetajana a. 1827 tema järele nimetatud seaduse, mida alles \sim 10 aasta pärast üldiselt hakati õigeks tunnustama. Weber (professor Göttingenis) pani aluse teoreetilises füüsikas tarvitatavale elektromagnetilisele mõõdusüsteemile. Voolu harunemise seadused leiutas Kirchoff (professor Berliinis) a. 1845; Wheatstone leiutas tema nimega nimetatud silla a. 1843.

Kuna voolu soojus oli varemalt tuntud, leiutas Seebeck (teadlane Berliinis) termoelemendi a. 1821. Inglise Joule (teadlane ja õllefabriku omanik Manchesteri läheduses) avaldas tema järele nimetatud seaduse voolu soojuse kohta a. 1840 ja määras täpsemalt ka mehaanilise ja elektrilise soojuse ekvivalendi suuruse. Hõõglambid söeniidiga ehitas esimesena Goebel a. 1855; ta rändas välja Ameerikasse ja töötas Edisoni tehases. Praeguse kuju said hõõglambid a. 1879 (Edison). Edison, ameeriklane, sünd. a. 1847, kuulus leiutaja, oli poisikesena ajalehtede väljakandja; ta jõudis oma annete ja energia tõttu suure tehase omanikuks ja juhatajaks. Professor Davy (Londonis) teatas a. 1821 n. n. Volta kaare leiutamisest ja sai 2000 elemendiga 4 tolli pikkuse kaare; Volta kaare oli ka vene professor Lebedeff leiutanud, kuid leiutus jäi laiemale ringkonnale teadmatuks.

Elektrolüüsinähtused olid tuntud juba a. 1800 (Ritter Jeenas), samuti ka polarisatsiooninähtus a. 1808 (Malus Pariisis). Faraday avaldas tema järele nimetatud elektrolüüsi põhiseadused a. 1833 ning Clausius (professor Bonnis) ja Arrhenius (professor Stokholmis) andsid ionide teooriale lõpliku kuju a. 1888. Esimese tehnilise tähtsusega tina-akkumulaatori ehitas Planté (professor Pariisis) a. 1860.

Voolude vastastikust mõju uuris ja leiutas vastavad seadused matemaatika-füüsikaprofessor Ampère (Pariisis) \sim a. 1820; ta seadis üles molekulaarvoolude hüpoteesi (a. 1822). Esimese telegraafi (elektrolüütilise) leiutas juba a. 1809 Sömmering (anatomiaaprofessor Münchenis). Esimesed telegraafisüsteemid ei leidnud tehnilist kasutamist, nad ei olnud käepärased ja iga tähe jaoks tuli ise juheta tarvitada (Napoleon I nimetas niisuguse temale ettepanud skeemi pilklikult „idée germanique“). Professorid Gauss (matemaatik) ja Weber (füüsik,

mõlemad Göttingenis) tarvitasid 1833 telegraafimiseks ainult kaht juhet (mõlemad jaamad moodustasid ühe kinnise ahela; ahelasse oli lülitatud igas jaamas pool ja multiplikaator; märkide andmiseks tarvitati magnetpulga pooli asetumisel tekkivad induktsoonvoolud). Jaamade maa-ühenduse leiutas Steinheil (astroonoomia- ja füüsikaproffessor Münchenis) ~ a. 1838. Alles ameeriklase Morse a. 1837. leiutatud telegraaf ja tähestik leidsid üldist tarvitust. Esimene merealune kaabel ehitati Inglis- ja Prantsusmaa vahel a. 1850. — Esimese elektromootori ankruga leiutas Pacinotti (professor Piisas) a. 1860, mille Gramme'i poolt (Pariisis a. 1870) muudetud kujul oli juba tehniline tähtsus. Esimese elektriraudtee ehitas näitusel väljapanemiseks a. 1879 tuntud Siemens ja Halske tehas.

Induktsiooninähtusi pani a. 1824 tähele prantsuse teadlane Arago. Faraday uuris induktsiooninähtusi põhjalikult, leiutas ka eneseinduktsiooni ja avaldas oma uurimiste resultaadid a. 1830—32. Lenz (sünd. Tartus ja lõpetanud Tartu ülikooli, pärast professor Peterburis) seadis üles tema järele nimetatud reegli a. 1834. Rootori tiirutamise teel terasmagneti-väljas hakati voolu tekitama ~ a. 1830; dünamo-elektrilise printsiibi leiutas kuulus insener Werner Siemens (Berliinis) a. 1866. Esimene elektrienergia edasiandmine kaugema maa päale seati sisse Frankfurdis a. 1891 (pöörlev vool, võimsus ~ 200 kW, kaugus 175 km).

Muusikaliste toonide edasiandmise elektrivoolu abil leiutas gümnaasiumiõpetaja Reis (Hamburgis) ja demonstreeris oma leiutust loodusuurijate kongressil a. 1863; ülesti leiutas telefoni (praegusel kujul) Bell (füsioloogiaproffessor Bostonis) ~ a. 1875; mikrofoni leiutasid iseseisvalt samal 1878. a. Huyges ja Lüdtke.

Sädeinduktoreid hakkas Ruhmkorff ehitama ~ a. 1851. Omal ajal kuulus klaasipuhuja ja mehaanik Geissler (Bonnis) hakkas hõrendustorusid müügiks valmistama, nii et nähtused hõrendustorudes laiemale ringkondadele tuttavaks said. Hittorf (professor Münchenis) pani tähele magneti mõju katoodkiirtesse a. 1869. Goldstein (professor Berliinis) leiutas anoodkiired a. 1886, Röntgen (professor Münchenis) tema järele nimetatud kiired a. 1895; samal ajal leiutas ka Becquerel (professor Pariisis) uraanisoolade kiirgamise ja abielupaar Curie (mees prantslane, — naine poolakas, praegu lesk, professor Varssavis) leiutas raadiumi a. 1898.

Ostsillatoorset kondensaatori tühjenemist uuris Feddersen (teadlane Leipzigis) a. 1859. Hertz (professor Bonnis) leiutas a. 1888 elektrilained.

Esimesed traadita telegraafimise katsed tegid vene professor Popov ja itaallane insener Marconi, kes ka esimese traadita telegraafi jaama ehitas a. 1897. Terve rida leiutusi raadiotehnika alal tegid sellekohaste tehaste laboratooriumides insenerid. Elektritoru kasutamise läbi (de Forest) on raadioteate vastuvõtmine üldiselt kättesaadavaks saanud.

Sisu.

Magnetism	lk. 3
Loomulik magnet. Kunstlik magnet. Magnetipoolused. Pooluste vastastikune mõju. Magneti jagatavus. Magnetiline induksioon. Molekulaarmagnetismi hüpotees. Pooluse tugevus; Coulombi seadus. Magnetiväli ja tungjooned. *Magnetivälja potentsiaal. Maakera magnetiväli ja poolused. Ajaloost.	
Elektrostaatika	18
Elektri tekkimine hõõrumisel. Positiivne ja negatiivne elekter. Elektri tung laialduda. Isolaatorid. Elektroskoop ja selle tarvitamine. Elektrilaengu asukoht. Teraviku mõju. Dualistlik hüpotees. Elektrostaatiline induksioon. Elektrimasin. Elektri hulk. Coulombi seadus. Elektriväli. Elektrilise keha potentsiaal. Potentsiaalide vahe ehk pinge. *Elektrivälja potentsiaal töö seisukohalt. Elektrimahtvus. Mõned katsed elektrimasinaga. Elektrisäde. Kondensaator. Ajaloost.	
Elektrodünaamika	38
Vooluallikad. Elektrivoolu tekkimise tingimused. Voolu tugevus (lk. 38—46). Galvani element. Isolatsioon. Juhtmete ühendamine ja katkestamine. *Galvani elemendi üldomadused. Tuntavamad galvani elemendid. Elementide ühendamine patareiks. Elektrivoolu tekkimise tingimused. Elektrodünaamilised ja hüdrodünaamilised analoogiad. Potentsiaali lang vooluahelas. Voolu tugevus; amper.	
Voolu magnetiline tegevus. Galvanomeeter (lk. 46—51). Voolu mõju magnetnõelasse. Multiplikaator. Galvanoskoop. Galvanomeeter. Klemmide pinge. Galvani element ja elektrimasin.	
Juhi takistus. Ohmi seadus (lk. 51—59). Juhi takistus. Oom. Eritakistus. Reostaat. Patarei sisetakistus. Ohmi seadus ahelas. Kõige kasulikum elementide ühendamine patareiks. Potentsiaali lang ja Ohmi seadus ahela osades.	

Voolu harunemine (lk. 59—63). Haruvool. Kirchhoffi seadused. *Wheatstone'i sild. Galvanoskoop. Ampermeeter. Voltmeeter.

Voolu soojuseline tegevus (lk. 63—71). Soojuse tekkimine vooluahelas. Joule'i seadus. Elektrihõõglamp. Elektrileeklamp. Joule'i soojuse kasutamine kütmiseks, keetmiseks jne. Termilised galvanomeetrid. Lühike ühendus. Kaitseja. Termoelement; termovool.

Voolu energia (lk. 71—73). Voolu võimsus. Vatt. Voolu töö arvutamine ja mõõtmine.

Elektrolüüs (lk. 74—81). Soolade lahutamine. Vee lahutamine sekundaarnähtusena. Ioonide teooria põhimõisted. Faraday seadused. Ampri definitsioon. Elektrolüüsi tehniline kasutamine. Polariseerimisvool. Akkumulaator. Polariseerimis elementid. Jäävad elementid.

Voolu magnetiväli. Elektromagnetism (lk. 81—91). Sirgvoolu magnetiväli. Ringvoolu magnetiväli. Solenoidi magnetiväli. Elektromagnet. Elektrikell. Morse telegraaf. Elektromootor. *Deprez-D'Arsonvali galvanomeeter. Ampère'i magnetismihüpotees.

Induktsioon (lk. 91—111). Induktsiooni põhinähtused. Induktsiooninähtused poolis. Induktsiooninähtused sirges juhis ja juhtivas kehas. Eneseinduktsioon. Avamissäde. Induktsiooninähtused magnetiväljas tiirlevas konturis. Alalise voolu dünamo. Vahelduva voolu dünamo. Vahelduva voolu transformator. Vahelduva voolu iseärasused. *Pöörlev vool. Elektri energia edasiandmine. Telefon ja mikrofon. Sädeinduktor.

Vool hõrendatud gaasides (lk. 111—120). Hõrendus-toru. Katoodkiired ja nende avaldused. Katoodkiired — elektronide vool. Kanalkiired — positiivsete ionide vool. *Elektronitoru. Röntgenikiired. *Radioaktiivsus.

***Elektromagnetilised lained** (lk. 120—138). Elektri võnkumine. Elektrilained juhtmes. Elektri resonants. Elektrilained vabas ruumis. Detektor. Katsed Hertzi peeglitega. Suletud ja avatud võnkumiskontur. Elektrilainete kuju. Traadita telegraaf. Ajaloost.

Hind 165 senti.

Sama õpperaamatu teised köited:

- I. Sissejuhatus, vedelikud, gaasid ja soojus 2. trükk . . . Hind 13
- II. Hääli ja valgus. 2. trükk Hind 16
- III. Mehaanika. 2. trükk Hind 12

Kõik köited haridusministeeriumi kooliraamatute komisjoni poolt keskkoolide
tarvitamiseks soovitatud.

**Pääladu kirjastus „Noor-Eesti“ juures Tartus,
Rüütli tän. 4.**