

A-15683
J. VII 95
J. LANG



FÜÜSIKA

KESKKOOLI VI JA VII KLASSILE

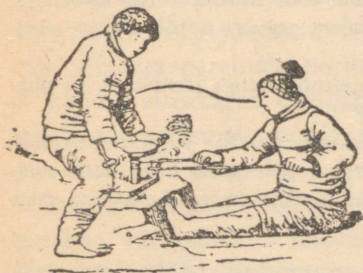
II VIHK

RK „PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“

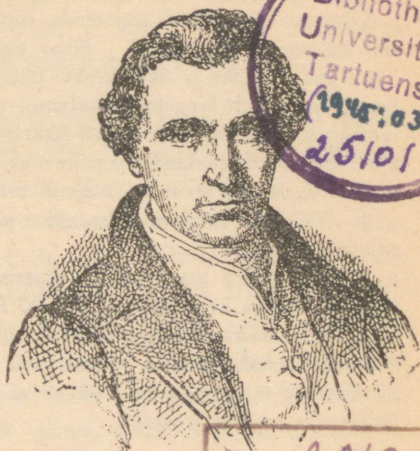
TALLINN 1945

15685

122. joon. kujutab sellekohast puuri, mida eskimod tarvitasid tule saamiseks. Alasi läheb tagumisel kuumaks, väikesed kosmilised kehakesed, sattudes Maa õhkkonda, lähevad vastu õhku hõõrdudes tuliseks, hakkavad helendama ja põlevad sagedasti hoopis ära; jalgratta



122. joon. Eskimod puurivad tuld.



123. joon. James Watt (1736—1819).

kummissid õhuga täites läheb pump kuumaks, traadi painutamisel painutamiskoht jne. Neist näiteist selgub, et mehaaniline töö muundub kergesti soojuseks.

1. Too veel näiteid mehaanilise töö soojuseks muundumise kohta!
2. Meie esivanemad tarvitasid tule saamiseks nn. tulerauda. Seleta selle tarvitamist!
3. Seleta lähemalt 122. joon. kujutatud eskimote tulesaamise viisi!

95. Soojuse mehaaniline ekvivalent. Nägime, et mehaaniline töö võib muunduda soojuseks. Täpsema sideme kulutatud töö hulga ja sellest tekkinud soojuse hulga vahel leidsid esimestena sakslane Robert Mayer (1814—1878) ja inglane James Prescott Joule (1818—1889). Suure hulga täpsete katsete tulemusena võib öelda, et töö muundumisel

soojuseks on alati 427 kgm ühevääriline ehk ekvivalentne 1 kilokaloriga, seepärast nimetatakse 427 kgm soojust (1 kilokalori) mehaaniliseks ekvivalentiks.

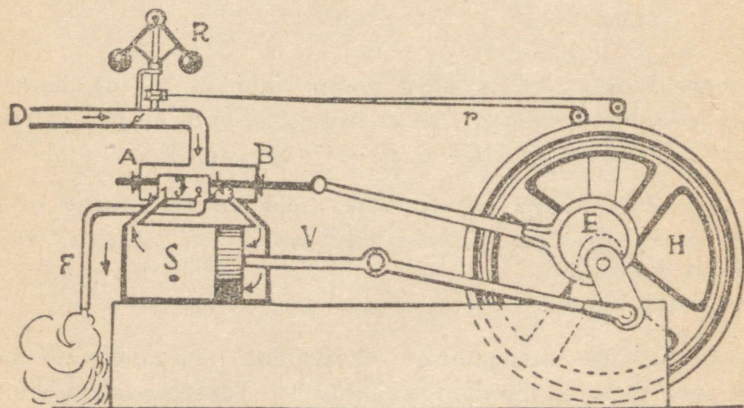
Lihtsamal kujul võib toimetada soojust mehaanilise ekvivalenti ligikaudset määramist järgmiselt. Pikas papptorus on teatav hulk tinahaavleid. Toru püsti hoides ja äkki ümber pöörates langevad haavlid teise otsa. Seejuures muundub langemisel kulunud raskustungi töö soojusteks ja haavlite temperatuur tõuseb. Sedaviisi haavleid mitu korda edasi-tagasi valades ja ära mõõtes toru pikkuse, haavlite massi ja algning lõpptemperatuuri, võime saadud andmeist arvutada soojust mehaanilise ekvivalenti. Kuidas?

1. Väljenda soojust mehaaniline ekvivalent ergides ja töö soojuste ekvivalent kalorites!

2. Kui suure igapäevase söekaevanduse-toodanguga (tonnides) on ühevääriline Narva kose energia (75 000 HJ)?

3. Eesti aastast energiatarvitust hinnatakse umbes $50 \cdot 10^6$ kilovatt-tundi. Mitmeks aastaks jätkuks Jõõpre raba energia tagavaradest kogu Eesti energiatarvituse täitmiseks (vt. § 93)? Kui palju suudaks Narva kosk täita meie üldisest energiatarvitusest?

96. Aurumasin. Soojusenergia muundub tööks peasjalikult aurumasinana ja plahvatusmootori abil.



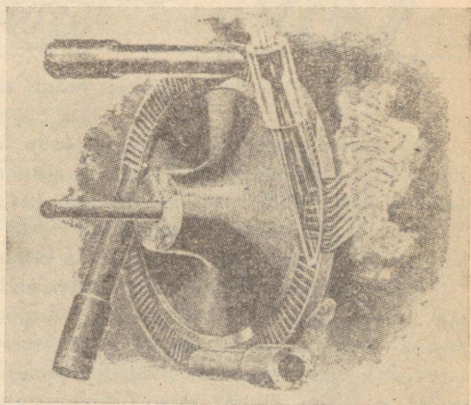
124. joon. Aurumasin skeem.

Aurumasinat töötamine selgub skemaatilisel 124. joonisest. Toru *D* mööda juhitakse aur katlast aurukarpi *AB*, mil-

lest väljuvad kolm toru: torud 1 ja 3 ühendavad aurukarpi aurusilindriga S , toru 2 kaudu juhitakse läbitöötatud aur masinast välja. Aurukarbis liigub tihedalt edasi-tagasi ja o-taja J , ühendades kord 1., kord 3. toru kaudu aurukarpi aurusilindriga. Silindris S liigub tihedalt edasi-tagasi kolb.

Joonisel kujutatud asendis tuleb aur katlast, tungib paremale poole kolvi taha ja rõhub teda vasemale poole. Silindris vasemal pool kolbi olev aur läheb jaotaja alt toru 2 kaudu välja. On kolb jõudnud silindri vasemasse otsa, nihkub jaotaja niivõrra paremale poole, et ta toru 3 kinni katab ja toru 1 kaudu aurukarpi silindriga ühendab. Nüüd tungib katlast tulev aur vasemale poole kolvi taha ja rõhub selle paremale poole silindri otsa, kuna kolvi taga olev aur endist viisi toru 2 kaudu masinast välja juhitakse. Kolvi edasi-tagasi liikumised antakse väntade abil hoorattale edasi, teda pöörlema pannes. Hoorattal käib rihm, mis masinaid ümber veab.

Jaotaja edasi-tagasi nihkumine toimub automaatselt hooratta võlli külge kinnitatud nn. ekstsentriku E abil. Auru silindrisse pääsemist reguleerib toru D küljes olev tsentrifugaalregulaator R , mis on rihma r abil hooratta võlliga ühendatud. Hakkab hooratas kiiremini käima, tõusevad regulaatori R kerakesed kõrgemale, seega ühtlasi torus D olevat plaati rohkem risti asetades. Pääseb aga katlast vähem auru silindrisse, vähe-

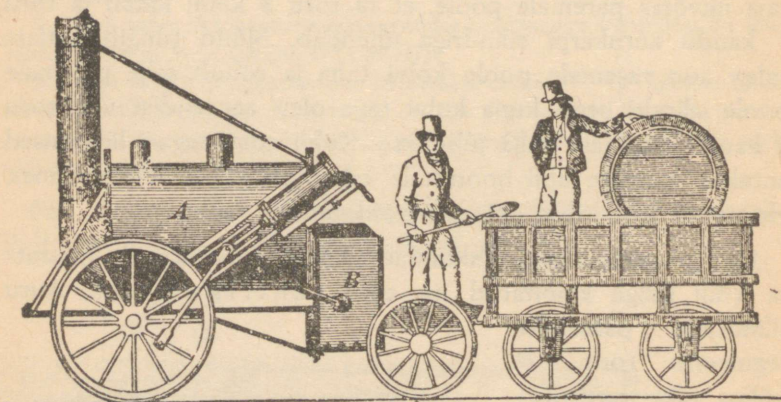


125. joon. Auruturbiin.

neb aururõhumine ja hooratas hakkab aeglasemalt käima. Hooratta aeglasema käigu puhul mõjub regulaator vastupidiselt.

Esimese seda laadi aurumasina ehitas inglane James Watt 1765. a.

Auruturbiinide abil muudetakse tööks kuuma auru kineetilist energiat. Aurukatlast suure kiirusega (umbes $1000 \frac{m}{sek}$) väljavoolav aur juhitakse otseselt töötava ratta kühv-litele, milledele ta oma kineetilise energia edasi annab ja ratta pöörlema paneb.



126. joon. Rocket-vedur, ehitatud 1829. a.

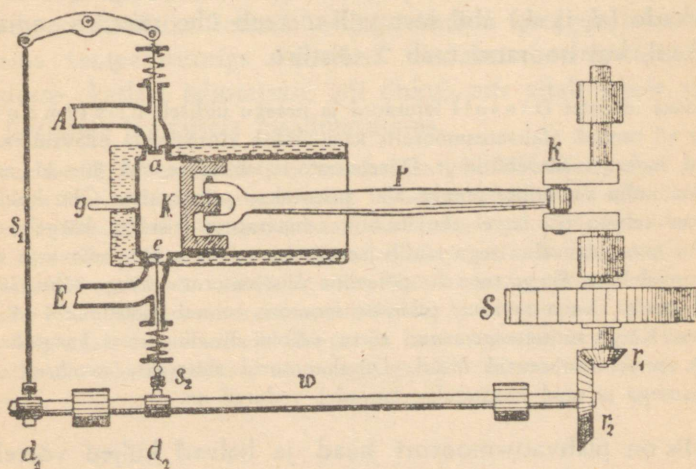
97. Aurumasinate ajaloost. Aurujõudu hakati kasutama töötegemiseks juba XVII sajandil. Kuid esimesed aurumasinad olid väga puudulikud; seetõttu ei leidnudki nad laialdasemat kasutamist. Alles inglane James Watt [loe: džeimz uott] esimesena ehitas 1765. a. aurumasina enam-vähem sel kujul, nagu me tunneme teda praegu.

Alguses tarvitati aurumasinat söekaevandusest vee pumpamiseks. Ühel ajal sellega tehti katseid rakendada aurujõudu vankrite (koormate) vedamiseks. Need katsed ei tahtnud hästi õnnestuda. Raudrööpaid ei juletud tarvitusele võtta, sest oldi arvamisel, et siis hõõrdumine on liiga väike ja vedur ei suuda liikuda edasi. Hammasrataste tarvitamine, nagu see on mägiraudteil, oleks tulnud liiga keerukas ja kallis. Alles a. 1813 õnnestus ühel inglise inseneril katsete varal näidata, et hõõrdumine veduri rataste ja

siledade rööbaste vahel polegi nii väike. Sellest jätkub edasiliikumisel toetuspunkti saamiseks. Seega oli suurem takistus raudtee arenemisel kõrvaldatud ja esimene raudtee (Stocktoni ja Darlingtoni vahel) avati Inglismaal a. 1825. Esimese raudtee ja veduri ehitajaks oli inglane George Stephenson [loe: džoodž stiivnsn]. 126. joon. kujutab G. Stephensoni poolt a. 1829 ehitatud vedurit nimega Rocket [loe: rokit, tähendab raketti], mis püsis hulk aega tarvitusel. Aurujõu kasutamine laevade liikumapanemiseks teostati enne raudteede avamist. Siin on suured teened ameeriklasel Robert Fulton'il (1765—1815). Juba 1807. a. ehitas ta aurulaeva, mis pärast hakkas korralikult ühendust pidama Hudsoni jõel Albany ja New Yorki linna vahel.

Kirjelda 126. joonisel kujutatud vedurit ja võrdle teda praegusaja veduritega.

98. Plahvatusmootori töötamine selgub 127. joon. kujutatud skeemist. Jahutajaga ümbritsetud silindris liigub edasi-tagasi umbne kolb *K*, mille varb *P* paneb pöörlema hoo-
ratta *S* võlli. Toru *E* kaudu juhatakse plahvatusaine (õhu ja petrooleumi-, bensiini- või piirituse-auru segu) silindrisse ja toru *A* kaudu äratarvitatud ained sealt välja. Uks töötamis-
periood koosneb 4 osast ehk nn. taktist.



127. joon. Plahvatusmootori skeem.

1) Kolb liigub silindri põhjast paremale poole, klapp e avaneb (klapp a on kinni) ja plahvatusaine tungib silindrisse.

2) Kolb liigub tagasi äärmisse vasempoolsesse seisu ja surub kokku (komprimeerib) plahvatusaine-auru ehk gaasi. Mõlemad klapid (a ja e) on kinni. Kokkusurumise mõjul soojenenud gaas süüdatakse (elektrisäde) selle takti lõpul süüdetorus g .

3) Mõlemad klapid on kinni. Süüdatud gaas plahvatab ja tõukab kolvi suure hooga silindri põhjast välja paremale poole.

4) Klapp e on kinni, kuna klapp a avaneb. Kolb liigub paremalt poolt vasemale ja tõukab plahvatusproduktid silindrist toru A kaudu välja.

Edaspidised kolvi käigud korduvad endises järjekorras. Nagu näha, saab siin kolb kahe edasi-tagasi-käigu jooksul plahvatavast gaasist ainult ühe töövõimsa tõuke. Selle töö arvel toimub ka kolvi liikumine tööperioodi ülejäänud kolme takti jooksul. Mootori käimapanemiseks tuleb alguses hooratas sellekohase vända abil kiiresti pöörlema panna.

Klapid a ja e avanevad automaatselt võlli külge kinnitatud nokkade (d_1 ja d_2) abil, sest võll w teeb ühe täistiiru sama aja jooksul, kui hooratas teeb 2 täistiiru.

Saksa inseneri Dieseli leiutatud ja praegu üldiselt diiselmootori nime all tuntud plahvatusmootoris kasutatakse kütteinena odavaid raskeid õlisid, naftat, määrdeõlisid jt. Diiselmootoris surutakse õhk 30—35 atm-ni kokku, kuhu siis erilise pumba abil pritsitakse põletusaine. Õhu kokkusurumisel tehtud töö arvel tõuseb õhu temperatuur niivõrra kõrgele (kuni 600° C), et plahvatav segu süttib iseenesest, mistõttu siin pole vaja erilist süüteseadelist. Seega toimub põlemine diiselmootoris kõrge rõhu, 30—35 atm., juures, kuna tavalises plahvatusmootoris toimub põlemine 4—5 atm. juures. Kõrge süütetemperatuuri tõttu võibki diiselmootoris kasutada raskesti auruks muutuvaid õlisid. Diiselmootorid ehitatakse tavaliselt suure võimsusega ja neid kasutatakse laevadel, vedureil jm.

Mis on plahvatusmootori head ja halvad küljed võrreldes aurumasinaga?

99. Soojuse tööks muundumise koefitsient. Aurumasina ja plahvatusmootori abil muundame soojusenergiat mehaaniliseks tööks. Seejuures saame iga 1 kilokalori arvel 427 kgm tööd. Kuid kahjuks ei võimalda aurumasin ega plahvatusmootor kuigi suurt osa masinas tekitatud soojusest tööks muundada. Paremad aurumasinad muundavad tööks praegusajal ainult $\sim 17\%$ kütteinest tekkinud soojusest, kuna paremal juhul see protsent võiks tõusta 25-ni. Harilikud vedurid ja lokomotiivid ei muunda tööks rohkem kui 8—12%. Eelmised andmed on õiged madalarõhuliste aurumasinate kohta. Kõrgerõhulistel aurumasinail (60 atm. ja enam) on kasutegur suurem ($\sim 25\%$). Diiselmootorite kasutegur ulatub 35 %-ni.

Võrdlemisi väikese soojusenergia tööks muundumise % põhjuseks ei ole niivõrra masinate puudulik ehitus, kui loodusseadus, mis ütleb: kõigil energia liikidel on kalduvus muunduda soojuseks, mis püüab levida ühtlaselt maailmaruumis. Soojuse muundamine tööks masinate abil käib selle looduse kalduvuse vastu: seepärast võimaldab meile loodus muundada soojust tööks ainult siis, kui niiöelda vastutasuks toimub sellega ühtlasi soojuse liikumine kõrgema temperatuuriga kehast madalama temperatuuriga kehasse (katlast jahutajasse või õhku), mis aitab kaasa soojuse ühtlasele levimisele maailmaruumis.

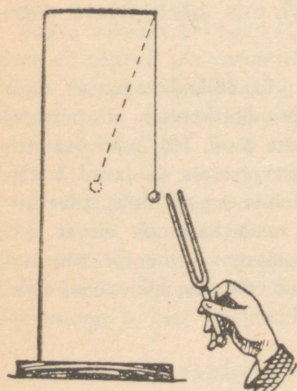
Aurumasinad ja mootorid kui mehaanilise jõu allikad omavad meie praegusaja elus äärmiselt suurt tähtsust. Esialgse ühiskonnas oli inimesel ainukeseks jõuallikaks töötegemisel ta oma lihaste jõud. Hiljemini lisandus sellele loomade jõud ning veel hiljem loodusest otseselt saadavad tuule- ja veejõud. See oli siiski suhteliselt väike lisand inimese tööjõule. Alles aurumasina leiutamisega avanes inimesel võimalus tema kasutada olevat jõuhulka hiiglamääral suurendada. Seega on aurumasin ja mootor tõusnud äärmiselt tähtsaks tegureiks meie praegusaja elus (tööstus, liikumine, elekter jm.).

Hääl.

Hääle tekkimine ja levimine.

100. Hääle tekkimine ja allikad. Lüües heliharki või pingule tõmmatud viiulikeelt, hakkavad need helisema. Samuti heliseb vetruv terasleht või sukavarras, mille üks ots on kinnitatud kruustangide vahele, kui selle vaba ots kõrvale painutada ja siis lahti lasta. Helisevaid kehi ehk nn. hääleallikaid lähemalt uurides võime tähele panna, et nad helisedes nähtavalt või nähtamatult kiiresti edasi-tagasi liiguvad.

Lähendame heliseva helihargi peenikese niidi otsa seotud kergele kuulikesele: kokkupuutumisel kargab kuulike eemale. Samuti pistes heliseva helihargi vette me näeme, et ta pritsib vett laiali: järelkult liiguvad heliseva helihargi harud kiiresti edasi-tagasi, nad võnguvad. Seda võnkumist võime nähtavaks teha, kui kinnitame helihargi haru külge õhukesest plekist lõigatud teraviku ja pannes siis helihargi helisema tõmbame teraviku otsaga mööda tahmatud klaasipinda: klaasipinnal tekib laineline joon, mis kujutabki helihargi võnkumist. Seega alati on hääle allikaks mingisugune võnkuv keha. Kui hää-



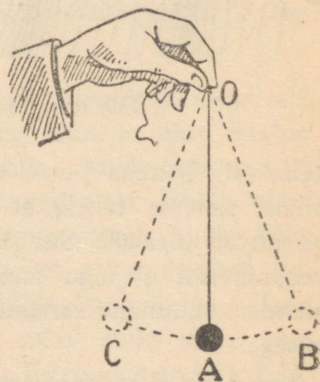
128. joon. Võnkuv helihark.

leallikas võngub tugevasti, ent lühemat aega, siis kuuleme seda pauguna (piitsalööök, vasaralööök, püssipauk). Pikemat aega võnkuv keha tekitab kas müra (vankrimürin, kolin) või heli (toon). Heli tekib, kui võngub viiulikeel, helihark, ühte otsa pidi kruustangide vahele kinnitatud terasleht või sukavarras. Seega heli tekib, kui hääleallika võnkumine toimub korrapäraselt ja ühtlaselt.

Helisid võime üksteisest eraldada kõrguse poolest. Katse võnkuva teraslehega näitab: mida lühemaks võnkuva teraslehe või sukavarda vaba otsa teeme, seda kiiremini ta võngub ja seda kõrgemaks muutub heli. Seega heli kõrgus oleneb sellest, kui kiiresti helisev keha võngub.

101. Võnkliikumine. Valmistame pendli. Selleks võib olla näiteks niidi otsa riputatud tinakuul. Tasakaaluolekus on pendli niidi siht püstloodis (129. joon.) Viime pendli keha (tinakuuli) tasakaalust välja punkti *B* ja laseme seal lahti: raskustungi mõjul liigub pendel tasakaaluasendisse tagasi, kuid inertsit tõttu ei jää sinna seisma, vaid liigub edasi asendisse *C*, mis on tasakaaluasendist *A* vasemal pool peaaegu niisama kaugel kui *B* paremal pool. Asendist *C* liigub pendli keha nüüd tagasi asendisse *B* jne. Niisugust liikumist nimetatakse võnkliikumiseks ehk võnkumiseks. Pendli kohta öeldakse siis: pendel võngub. Ka heliallikad on pendlitaolises võnkliikumises.

Liikumist ühest äärmisest asendist teise ja tagasi nimetatakse täisvõnguks; liikumist ühest äärmisest asendist teise — poolvõnguks. Äärmise asendi kaugust tasakaaluasendist nimetatakse amplituudiks ehk ulatuseks. Ajavahemikku, mille kestel pendel teeb ühe täisvõngu, nimet. täisvõngu kestuseks ehk perioodiks, aja vahemikku aga, mille jooksul pendel teeb ühe poolvõngu, poolvõngu perioodiks. Teeb, näiteks, pendel ühe täisvõngu 0,5 sek. jooksul, siis on selle pendli täisvõngu kestus 0,5 sek. Tahame teada, mitu võnku teeb keha ühe sekundi



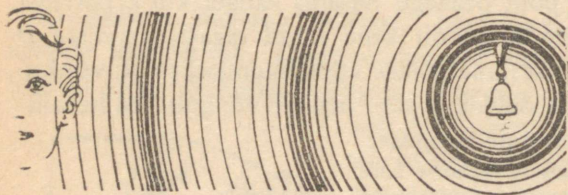
129. joon. Pendli võnkumine.

jooksul ehk, teiste sõnadega, kui suur on võnkearv ehk sagedus, siis vaatame, mitu korda mahub täisvõngu kestus ühte sekundisse. Antud juhul saame: $1:0,5=2$, s. o. võnkearv on 2 ehk keha teeb 2 täisvõngu ühes sekundis. Umberpöördult, on võnkearv näiteks 10, siis on täisvõngu periood 0,1 sek. Tähistades üldises kujus täisvõngu kestuse sekundites ja võnkearvu vastavalt tähtedega T ja n , leiame, et $n = \frac{1}{T}$ ehk $T = \frac{1}{n}$. Seega $n \cdot T = 1$.

1. Katsu määrata, kui suur on pendli võngu kestus, kui pendli pikkus on 1 m, 0,25 m, 4 m. Kas pendli võngu kestus oleneb pendli kehast?

2. Kus tarvitatakse pendlit?

102. Hääle levimine. Kui kivi langeb vaiksesse vette, siis kivi langemise kohast levivad veepinda mööda veelained ringikujuliselt laiali. Veelainete tekitajaks oli siin kivi, mis andis hoobi veepinnale. Veelainete kaudu levib tõukeenergia, mis kivi andis veele, mööda veepinda edasi. Iga veelaine on moodustatud laine harjast, mis ulatub kõrgemale veepinna tasemest, ja laine põhjast, mis on veepinna tasemest madalam.



130. joon. Häälelained.

Kaugust laineharja keskkohast kuni järgmise laineharja keskkohani nimetatakse lainepikkuseks.

Puistame veepinnale kergetid kehakesi, näiteks puu- või korgipuru. Laine levimisel veepinnal paneme tähele, et veepinnal ujuvad kerged kehakesed võnguvad üles-alla. Siit järeldame, et laine levimisel veepinnal veesakesed ei liigu lainega kaasa, vaid võnguvad üles-alla. Nende võnkumine sarnaneb eespool kirjeldatud pendli võnkumisega.

Siinkirjeldatud katses toimub võnkumine risti laine levimissuunaga. Säärast lainetust nimetatakse ristlainetuseks.

Nägime, et iga helisev keha on kiires võnkliikumises. Keha võnkumine andub edasi ümberolevale õhule, teda võnkuma pannes. Nii tekivad õhus häälelained. Need häälelained levivad helisevalt kehalt ruumi igale poole laiali. Satuvad nad kõrva, siis kuuleme häält.

Häälelainete tekkimist õhus võib järgmiselt seletada. Kujutleme lahtist toru, mis täidetud õhuga ja mille ühes otsas võngub mingi keha, näiteks terasplaat. Plaat, liikudes toru sissepoole, lükkab õhuosakesi edasi. Seejuures ei liigu kogu õhusamm torus edasi, vaid plaadi lähedal olev õhk surutakse kokku. Kokkurusutud õhukiht paisudes surub teise õhukihi kokku, mis omakorda surub kokku kolmanda õhukihi, jne. Liigub plaat teisele poole, siis tekib plaadi lähedal hõredam õhukiht. Sinna voolab õhk teisest kihist, kus omakorda tekib hõrendus. Nii tekivad plaadi võnkumisel torus õhu tihendused ja hõrendused, mis levivad siis torus edasi. Need tihendused ja hõrendused moodustavadki häälelained. Hääle lained on pikilainetus, sest siin võnguvad õhuosakesed laine levimissuunas. Iga plaadi täisvõnk tekitab õhus seega ühe tihenduse ja ühe hõrenduse, kokku moodustavad need ühe häälelaine. Kaugus ühe tihenduse keskkohast naabertihenduse keskkohani on hääle lainepikkus. Ka siin ei kanta õhuosakesi häälega ühes edasi, vaid õhuosakesed võnguvad edasi-tagasi.

Hääl võib levida ainult elastses keskkonnas, näiteks õhus, vees, rauas jne. Harilikult kuuleme häält õhu kaudu. Kuid hääl võib levida ka teistes kehades, nagu vees, puus, rauas ja mujal. Ainult tühjas ruumis ei levi hääl. Seda selgitab järgmine katse.

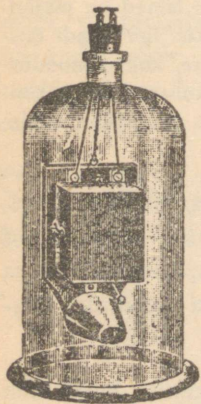
Võtame elekterkõlistaja ja paneme ta õhupumba kupli alla (131. joon.). Paneme kõlistaja kõlisema. Hääl on hästi kuulda. Nüüd pumpame kupli alt õhku välja. Mida hõredamaks muutub kupli all olev õhk, seda tumedamaks läheb kõlin. On kuplialune õhust hästi tühjaks pumbatud, kaob kõlin peaaegu hoopis ära, sellele vaatamata, et vasar endiselt kõlistaja pihta taob. See katse näitab: hääle kuulmiseks on tarvis, et heliseva keha ja kuulja kõrva vahel oleks mingi aine, mis neid üksteisega seob, näiteks õhk. Tühjas ruumis hääl ei levi.

Kui õhupump puudub, siis võib eelmist katset korraldada ka järgmiselt.

Tugevate seintega ümmarguse põhjaga kolbi kallatakse pisut vett ja aetakse see keema. Vett keedetakse seni, kuni aur on kõik õhu kolvist välja tõrjunud. Siis suletakse kolb õhukindla korgiga, mille külge on kinnitatud väike kelluke. Oodates, kuni kolb on ära jahtunud, võib tähele panna, et kolvi raputamisel kellukese helisemist ei ole kuulda. Selle põhjuseks on asjaolu, et kuum aur jahtumisel tihenes veeks, mistõttu kolvis peaaegu tühi ruum tekkis. Lastes aga kolbi õhku, võib selgesti kuulda kellukese helisemist.

103. Hääle kiirus. Enne kui kuuleme veduri vilet, näeme veduri vilest välja tulevat auru. Puu- või kiviraiujat eemalt vaadeldes näeme, et kirve (vasara) löögi hääle ei kosta meie kõrva ühel ajal löögiga, vaid pisut hiljem. Need ja teised säärased tähelepanekud tõestavad, et hääle ei levi õhus silmapilkselt, vaid tarvitab seks aega. Mõõtmised näitavad, et hääle levimiskiirus

õhus 0°C juures on $331 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$ ehk umbes $\frac{1 \text{ km}}{3 \text{ sek}}$.



131. joon. Hääle ei levi õhuta ruumis.

Temperatuuri tõusmisega suureneb hääle kiirus näiteks 15°C juures on hääle kiirus juba $340 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Hääle levimiskiirus vedelais ja tahketes kehaes on märksa suurem kui õhus. Nii näiteks on hääle kiirus vees $1450 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$, rauas $5100 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$ ja kuusepuus $5200 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$.

1. Kui kaugele levib hääle õhus 3, 6, 10 sek., 10 min. jooksul?
2. Valguse kiirus on $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$. Võrdle seda hääle kiirusega!
3. Katsu mõõta hääle kiirust! Kaks vaatlejat asugu teineteisest 1 km kaugusele. Hääle ja valguse tekitajaks võib kasutada paukrevolvrit.

4. Mitu korda levib hääle vees (rauas, klaasis) kiiremini kui õhus?
5. Kui kaugel on pikne, kui müristamine kuuldub 6 sek. pärast välglöömist?
6. Välk sähvatas 6 km kaugusel. Millal kuuldub müristamine?
7. Püssikuuli kiirus on umbes $500 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Kas jänes kuulis püssipauku, mille kuul tema silmapilkselt surmas?
8. Kuidas mõjub tuul hääle kiirusele? Kas oleneb hääle kiirus hääle kõrgusest?
9. Kas Kuu peal tekkinud plahvatuse mürin on kuulda Maa peal?

104. Hääle kõlavärv ehk tämbr. Hääli, millel on muusikaline kõla nagu viiuli, kandle või pasuna hääli, nimetatakse helideks ehk toonideks. Muusika teeb tegemist ainult helidega. Heli vastandeks on müra, kära, mürin, kohin, krõbin jne. Siin pole võimalik märgata ühtegi kindlat, pikemat aega vältavat heli.



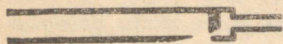
132. joon. Keele võnkumine osade kaupa.

Samuti eristatakse hääli nende tugevuse järgi.

Peale kõrguse ja tugevuse erinevad hääled üksteisest veel oma kõlavärviga ehk tämbri poolest. Kõlavärvi põhjal tunnemegi inimesi häälest. Kõlavärvi selgitamiseks vaatleme keelte ja vilede helisemist. Keele võnkumist lähemalt uurides paneme tähele, et ta kinnitatud otsad püsivad paigal, keskkohast on aga tugevas võnkumises. Iga keele osake võngub seejuures risti keelega (transversaalne võnkumine). Niiviisi tekib keele põhitoon.

Kuid keel võib võnkuda ka osade kaupa. 132. joonis kujutab keele võnkumist neljas osas. Punktides A, E, D, C ja B on keele osad paigal, neid nimetatakse sõlmpunktideks, kuna kaks naaberosa võnguvad vastupidistes suundades. Punkte, mis seejuures võnguvad suurima amplituudiga, nimetatakse paispunktideks. Keelt võib panna võnkuma ka osade kaupa, kui puudutada võnkuvat keelt näpuga vastavast kohast. Võnkuvat keelt keskelt puudutades kustutame põhitooni, mille tõttu selgesti kuuldavale tuleb heli, mida annab keel võnkudes kahes osas. Helid, mis tekivad keele osade võnkumisel, on kõrgemad kui põhitoon, neid nimetatakse ülemtoonideks. Põhitooni annab võnkumine, mille puhul paispunkt asetseb keele keskel, kuna mõlemad sõlmpunktid on keele otses. Põhitooni saadavad alati ülemtoonid.

Puhudes toru (katseklaasi, võtme, putke jne.) lahtise ava ees, kuuleme heli. Korrates seda mitmesuguste pikkustega torudega, leiame, et mida pikem on toru, seda madalam on heli.



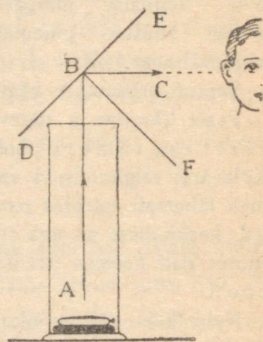
133. joon. Huulvile.

Viledest on tähtsamad huul- ja keelvile. Oreli huulvilet kujutab 133. joonis. Puhumisel voolab õhk läbi kitsa pilu vastu teravaservalist huult, kus ta murdub. Osa õhuvoolust pääseb vile ava kaudu välja, teine osa panebki viletorus oleva õhu võnkuma.

Nagu keeltel, nii ka viledes esinevad peale põhitooni veel ülemtoonid. Hääle kõlavärv oleneb sellest, missugused kaasheliid on põhitoonil.

105. Hääle peegeldumine. Kaja.

Mööda põrandapinda veerema pandud kummipall vastu seina pörgates liigub tagasi teatavas kindlas suunas. Katsu määrata katseist, missugune see on. Kuidas toimub palli tagasipõrkamine tennis-, koroona- ja piljardimängus? Kui veelained langevad vastu kindlat seina, siis heidab sein nad tagasi. Veelainete kohta öeldakse sel puhul: nad peegelduvad seinal tagasi. Samuti peegelduvad ka häälelained, kui nad langevad mingile kindlale müürile, metsaserva moodustavatele puudele jne. Seda järeldame nähtusest, et kui huigata kaugeloleva müüri või metsa ees, kostab hääl sealt kajana tagasi. Kaja on peegeldunud hääl.



134. joon. Hääle peegeldumine.

Hääle levimissuuna muutumist võime kergesti tähele panna järgmises katses. Asetame lauale taskukella ja katame ta kõr-

ge toruga (134. joon.). Kella tiksumise hääl tungib vabalt üles suunas AB. Rõhtsuunas eemal pole tiksumist kuulda.

Asetame toru avause kohale joonisel kujutatud viisil mõne tasase sileda pinna, näiteks raamatu, tahvli, lauatiiki, nimetame seda peegliks. Nüüd võime kuulda taskukella tiksumist ka torust eemal rõhtsuunas BC.



135. joon. Kõnetoru.

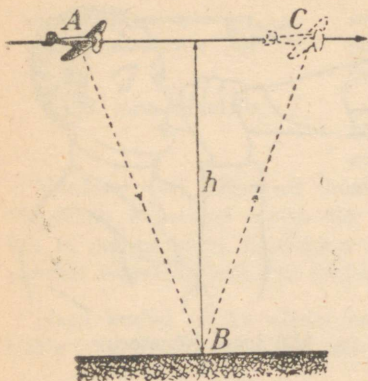
Häälelained, põrgates vastu peeglit DE, muudavad oma levimissuunda ehk peegelduvad. Katsed näitavad, et hääle peegeldumine toimub samal viisil

kui kummipalligi puhul, s. o. langemissuund ja peegeldumissuund moodustavad peegli tasapinnale langemispunktis B tõmmatud ristjoonega BF võrdsed nurgad ABF ja CBF.

Pegeldunud häält võib meie kõrv esialgsest häälest ainult siis eraldada, kui nende vahel on küllalt pikk vaheaeg. Kõrv võib ühes sekundis tajuda kuni üheksa eraldatud häält. Jõuab kaja tagasi vähem kui $\frac{1}{9}$ sekundi pärast, siis liitub ta esialgse häälega. Seetõttu kuuleb meie kõrv kaja selgesti ja eraldatult esialgsest häälest ainult siis, kui peegeldav sein asetseb enam kui 20 m kaugusel, sest siis kulub peegeldunud häälel $\frac{2 \cdot 20}{331}$ ehk enam kui $\frac{1}{9}$ sek. kuulaja kõrva tagasi jõudmiseks.

Väiksema kauguse puhul kuuleme kaja esialgse hääle pikendusena. Niisugust kaja nimetatakse järelkõlaks (vastukõla). Kinnises ruumis liitub kaja otsekohe esialgse häälega, mistõttu see muutub kõvemaks. Võrdle tasast kõnet kinnises ruumis ja väljas! Kus kohal on see paremini kuuldav? Suurtes ruumides, nagu näit. kirikutes, jõuab kaja hiljemini tagasi, mistõttu hääl muutub segaseks (segav järelkõla tühjades kirikutes).

Kui ruumis on järelkõla tõttu hääli segane, siis öeldakse: ruumil on halb akustika. Kaja segavat mõju võib tunduvalt vähendada ruumi otstarbeka ehituse teel. Sageli kaetakse seinad seks otstarbeks hääli summutavate eesriietega, sest tähelepanekud näitavad, et kõva pind, näit. puu, kivimüür, kalju jne., peegeldavad hääleenergiat rohkem tagasi kui pehme pind, näit. riie.



136. joon. Lennuki kajaloodi skeem.

Kui peegeldav sein või müür on hääleallikast teadmata kaugusel, siis võib seda kaugust määrata mõõtes ajavahemikku, mida tarvitab hääli sinna ja tagasi jõudmiseks.

Kirjeldatud nähtusel põhineb nn. kajalood meresügavuse

ja lennuki kõrguse määramiseks. Laevapõhjas on hääleallikas, millelt levib hääli mere põhjani, kust ta tagasi peegeldub. Seks kulunud ajavahemiku määrgib aparaat automaatselt üles. Nii leitud ajavahemikust ja hääle kiirusest arvutatakse meresügavus. Samuti toimub lennuki kõrguse määramine. Näiteks kui peegeldunud hääli jõudis maapinnast tagasi lennukisse 10 sek. pärast, siis on lennuki kõrgus maapinnast $\frac{331 \cdot 10}{2} = 1655$ m.

Hääle peegeldumise nähtusel põhinevad kõne- ja kuuldetoru. Kõnetoru muutuvad häälelained peegeldumise teel toru seintel peaaegu ühesuunalisteks, mistõttu hääleenergia hajumine on väike, sest kuuldetorru sattunud häälelained peegeldumisel toru seintel koonduvad ja seetõttu satub kõrva rohkem hääleenergiat.

1. Kus kasutatakse kõne- ja kuuldetorusid? Miks on toru kaudu hääli kaugele kuulda?
2. Mägedes on kaja sageli mitmekordne. Kuidas seda nähtust seletada?

3. Miks on inimestega täidetud saalis kõne selgemini kuuldav kui tühjas?
4. Kui kaugel on metsaserv, kui kaja kostab sealt tagasi 3 sek. pärast?
5. Millal on oodata kaja, kui metsaserv on hääleallikast 500 m kaugusel?
6. Merepinnal tekitatud plahvatus hääli kostab merepõhjast tagasi 1,5 sek. pärast. Kui sügav on meri sealt kohalt?
7. Lennuk liigub rõhtsihis kiirusega $85 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Kaja loodi abil tekitatud hääli jõudis lennukile tagasi 5 sek. pärast. Kui kõrgel umbes on lennuk? (Lahendamisel kasuta 136. joon. Hääle kiirus on $340 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$).

Inimese hääli ja kuulmine.

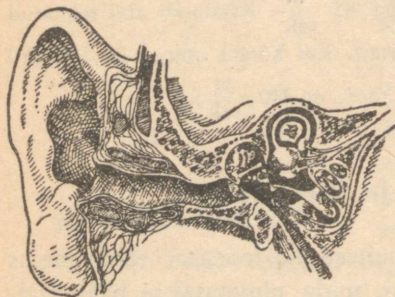
106. Inimese hääleorgan. Inimese hääleorgani tähtsaimaks osadeks on kaks vetruvat lihast, mida nimetatakse häälepaelteks. Harilikus olekus on häälepaelad lõdvad, seetõttu pääseb neist sisse- ja väljahingatav õhk vabalt läbi, hääli tegemata. Rääkimise või laulmise puhul tõmbuvad häälepaelad pingule ja liginevad teineteisele, nõnda et nende vahele jääb ainult kitsas häälepilu. Nende vahelt läbiminev õhk paneb häälepaelad võnkuma. Häälepaelte võnkumine andub edasi ninas, suus, kurgus, hingelõõris ja rinnakastis olevale õhule, ka seda võnkuma pannes. Hääle kõrgus oleneb esijoones häälepaelte pingulolekust, mida võib teatavais piires muuta, samuti ka häälepaelte ehitusest (mehe hääli, lapse hääli). Häälekõla oleneb sellest, kuidas võngub kaasa hääleorganites olev õhk. Keele, hammaste ja huulte abil võib hääle kõlavärvi muuta. Et igal inimesel on hääleorganid isesugused, sellest tulebki, et igal inimesel on erisugune häälekõla.

107. Kõrv ja kuulmine. Inimese kuulmisorganiks on kõrv. Kõrv koosneb kolmest osast: välis-, kesk- ja sisekõrvast. Väliskõrva moodustab kõrvaleht ühes kuulmekäiguga.

Mis ülesanne on kõrvalehel? Suru kuulates kõrvalehed vastu pead! Pööra nad ettepoole! Hoia peopesad kõrvalehtede kõrval! Kata kuulmekäigu avaused peopesadega! Kuidas muutub hääletugevus?

Kuulmekäigu seintes asetsevate näärmete poolt eritav kõrvavaik ja käigu alguses olevad karvakesed takistavad tolmu tungimist sügavamale kuulmekäiku.

Kuulmekäik lõpeb kuulmenahaga, mis lahutab väliskõrva keskkõrvast. Keskkõrv asetseb pealuu paksemas osas — oimuluus. Keskkõrvas asetsevad kuulmeluukesed — vasar, alasi ja jalus. Nad on omavahel ühendatud.



137. joon. Kõrva läbilõige.

Vasar kinnitub kuulmenaha külge, jalus toetub vastu sisekõrva viivat piklikku akent.

Sule suu ja pigista sõrmedega nina kinni! Tee katset välja hingata! Mida tunned?

Keskkõrv on torukese abil kurguga ühendatud. Seetõttu võrdub õhurõhumine keskkõrvas õhu välisrõhumisega. Nohu korral on toruke sagedasti kinni (ummistunud). Siis kuuleme halvemini. Valjude paukude puhul tuleb suu lahti hoida. Mispärast?

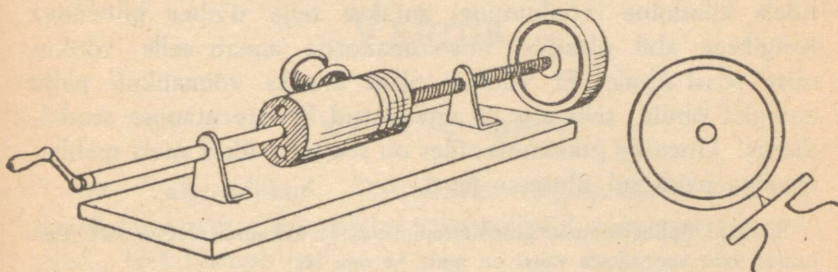
Keskkõrvale järgneb keerulise ehitusega sisekõrv. See on täidetud kuulmevedelikuga, milles lõpeb kuulmeerk.

Häälelained tungivad väliskõrva kaudu kuulmenahani ja panevad ta võnkuma. Kuulmeluukesed annavad kuulmenaha võnkumisi edasi sisekõrva vedelikule. Selle laineline liikumine ärritab kuulmeergu otsakesi. Kuulmeerk annab ärrituse edasi peaajule — ja meie kuulme häält.

Mitte kõiki võnkumisi ei taju meie kõrv häälena. Võnkumised, millede võnkearv on alla 16 ja rohkem kui 20 000, pole kõrvale enam tajutavad, s. o. kuuldavad. Ülemine kuulmise piir vanadusega väheneb ja tavaliselt vanemad inimesed ei kuule

häält, mille võnkearv on üle 13 000. Kõne peensuste edasiand-
 misel on tarvilikud võnkumised 50—5000 võnku 1 sek.

108. **Fonograaf ja grammofon.** Th. A. Edisoni leiutatud
 fonograaf on riist, mille abil saab häält üles kirjutada.
 Tema peaosaks on õhuke, hästi vetruv plaat, mille keskele on



138. joon. Fonograaf.

kinnitatud terav nõel. Nõel puudutab pöörlevat ja ühtlasi ka
 edasiliikuvat, sellekohasest pehmest materjalist tehtud silindrit
 (rulli). Üleskirjutatava hääle lained pa-
 nevad plaadi võnkuma ja nõela ots
 tõmbab silindrisse soonekese, mille
 muutlik sügavus vastab plaadi võnku-
 mistele. Tahame teada, mis on silind-
 rile kirjutatud, siis paneme nõelaotsa
 kratsitud jälje sisse ja ajame silindrit
 ümber. Nüüd jälgib nõel kratsitud soo-
 nekest ja paneb plaadi võnkuma just
 niisama, kui üleskirjutatava hääle mõjul.
 Plaadi võnkumised tekitavad õhus hää-
 lelaineid, mida me kõrva abil vastu võ-
 tame.



139. joon. Osa grammo-
 foniplaadist suurenda-
 tult.

Üleskirjutatud hääle kuuldavale too-
 miseks korraldatud riista kutsutakse
 grammofoniks. Grammofonis liigub

grammofoninõel nn. grammofoniplaadi lainelisel soonekesel. Grammofoniplaat on kettakujuline ja see pannakse kellamehhanismi abil pöörlema plaadi keskelt läbimineva telje ümber. Nüüdisaegse grammofoniplaadi sooneke liigutab nõela mitte üles-alla, vaid plaadi soone suhtes kahele poole kõrvale, kuna soonekese sügavus on muutumatu. See nõela liikumine (võnkumine) antakse telje ümber pöörduva kangikese abil plaadile, mis omakorda annab selle võnkumise edasi õhule. Et võnkuv plaat annaks võimalikult palju energiat õhule, seks on ta ühendatud kõnetorutaolise seadeldisega. Uuemais grammofonides on see toru ühes muu mehhanismiga peidetud ühisesse kasti.

Spiraalikujuline sooneke grammofoniplaadil on kekmiselt 200 m pikk, kusjuures vahe soonekete vahel on umb. $\frac{1}{3}$ mm lai.

Katsu määrata soonekese pikkus grammofoniplaadil soonekete arvu ja nende keskmise raadiuse abil.

Mõõda kogu plaadi pöörlemise aeg ja määra sellest nõela liikumise kiirus plaadil $\frac{\text{cm}}{\text{sek}}$ -tes.

1. Vaatle luubiga grammofoniplaadi soonekest!
2. Miks tuleb vahetada grammofoninõelu?
3. Kuidas seletada raginat vanade grammofoniplaatide tarvitamisel?

Valgus.

Valguse levimine.

109. **Valgusallikad.** Tähtsamaks valgusallikaks on Päike. Sageli tarvitatakse kunstlikke valgusallikaid, nagu petrooleumi-, gaasi-, elektrilampe jm.

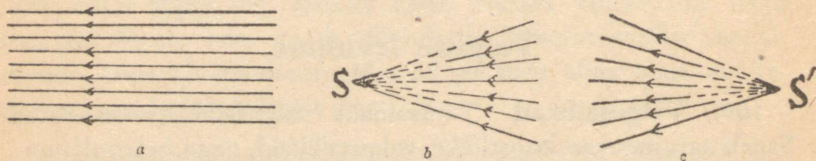
Kehi, mis endast valgust kiirgavad, nagu Päike, hõõguvad ja põlevad kehad, nimetatakse **isehelendavaiks**. Seevastu kehi, mis nähtavaks muutuvad siis, kui neile langeb valgus teistelt kehadelt, nimetatakse **tumedateks** kehadeks, nagu toas olev mööbel, Kuu, planeedid.

Kehad muutuvad isehelendavaiks, kui neid kuumendada kõrge temperatuurini. Kuid on olemas ka isehelendavaid kehi, millel on madal temperatuur, nagu jaaniuss, kõdunev puu.

Kehi, mis valgust läbi lasevad, nimet. **läbipaistvateks**, nagu õhk, klaas, vesi jne. Kehad, mis valgust läbi ei lase, on **läbipaistmatud**, nagu nõgi, puu, kivi, raud jne. Hästi õhukese kihina on iga keha enam-vähem läbipaistev.

110. **Valguse levimine ja levimiskiirus.** Lamp põleb laual ja valgustab tervet tuba. Samuti valgustab Päike poolt Maa-kera korraga. On valgusallika ümber läbipaistev keskkond, nagu näit. õhk, siis levib temas valgus valgusallikast igas suunas. Ühtlases keskkonnas levib valgus sirgjooneliselt, sest me ei näe asju, mis on maja nurga taga, niisama ka läbi kõvera toru. Valguse sirgjooneline levimine tuleb näh-

tavale ka, kui päike paistab tuppä, kus on tolmü vöi suitsu. Sirgjoont, mille suunas valgus levib, nimet. valguskiireks. Kogu valguskiiri moodustab kiirtekimbu. Joon. 140 *a* kujutab paralleelset, *b* koonduvat ja *c* hajuvat kiirtekimpu. Punkte *S* ja *S*¹ kutsutakse koonduva ja vastavalt hajuva kiirtekimbu tipuks. Iga helendava ja valgustatud keha punkt saadab välja hajuva kimbu valguskiiri, mistöttu ta muutub nähtavaks.



140. joon. Kiirte kimbud: *a* — paralleelne, *b* — koonduv, *c* — hajuv.

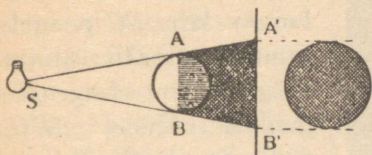
Igapäevaseist tähelepanekuist teame, et kui samal ajal tekiavad hääle ja valguse nähtused, näit. müristamine ja välk, püssipauk ja suitsu ilmumine, siis kaugelt tähele pannes näeme valgust enne, kui kuuleme häält. Sellest järeldame, et valguse levimiskiirus on hääle omast märksa suurem. Täpsed mõõtmised näitavad, et valguse levimiskiirus on 300 000 kilomeetrit ühes sekundis.

Päike on Maakerast 150 miljoni kilomeetri kaugusel, seetöttu tarvitab valgus Päikeselt meieni jõudmiseks umbes $8\frac{1}{3}$ minutit.

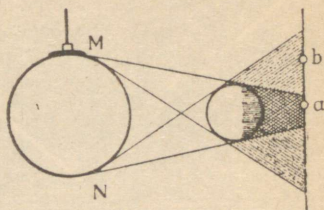
1. Kuu on Maakerast 384 000 kilomeetri kaugusel. Mitu sekundit tarvitab valgus meilt sinnajöudmiseks?
2. Kui kaugel on meist kinnistäht, millest jõuab valgus meieni 100 aasta kestel?
3. Mitu korda on valguse kiirus suurem kui hääle kiirus?
4. Mitu korda jõuaks valgus 1 sekundi kestel ümber Maakera käia?

111. Vari. Valguse sirgjooneline levimine põhjustab varju tekkimise läbipaistmatu keha taha. Varju saame jälgida paremini, kui juhime ta valgele ekraanile. On valgusallikas punkti-

kujuline, siis on varju servad teravad, üleminek valgustatud piirkonnast varju on järsk. Et sel puhul varju piirkonda ei pääse ükski valguskiir, siis nimetatakse seda varju täisvarjuks. Suu-



141. joon. Täisvari.



142. joon. Pool- ja täisvari.

rema pinnaga valgusallika puhul on täisvari keskel, teda ümbritseb piirkond, kuhu osaliselt pääseb valguskiiri, seega mitte kõikidest valgusallika punktidest. Seda osaliselt valgustatud piirkonda nimetatakse **poolvarjuks**. Poolvarju tõttu pole täisvarju servad teravad. Varjude tekkimisega seletuvad ka Päikese ja Kuu varjutused.

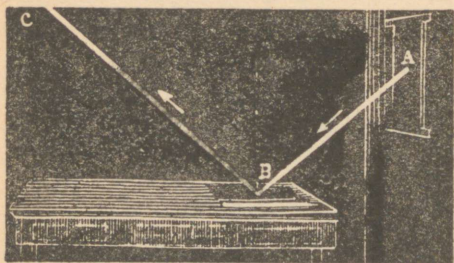
Päikese varjutuse ajal on Kuu Päikese ja Maa vahel ning kaatab Päikese meie eest kinni. Kuu varjutuse ajal on aga Maa Päikese ja Kuu vahel ning Maa vari langeb Kuule. Nagu sellest nähtub, esineb Päikese varjutus noorkuu, Kuu varjutus täiskuu ajal.

Valguse peegeldumine.

112. Peegeldumisseadused. Hästi sileda pinnaga keha, mis valgust tagasi heidab, nimetatakse **peegliks**. Lihvitud tasapinnaga peeglit nimetatakse **tasapeegliks**, kõverpinnaga peeglit — **kõverpeegliks**.

Laseme läbi kitsa pilu päikese või mõne teise tugeva valgusallika kiirte kimbul langeda peeglile, siis näeme, et kiired muudavad oma sihti peeglis, nad peegelduvad tagasi. Val-

guskiired teeme nähtavaks suitsu või papptahvli abil, mille asetame kaldu peeglipinnale, nii et valguskiired libiseksid



143. joon. Langemisnurk võrdub peegeldumisnurgaga.

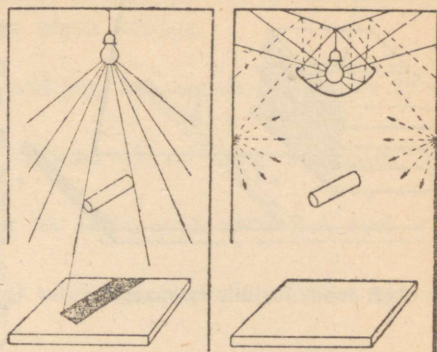
ristjoonega — peegeldumisnurgaks. Katsed näitavad, et valguse peegeldumisel: 1) langemisnurk võrdub peegeldumisnurgaga, ja 2) langev kiir, peegeldunud kiir ning ristjoon peeglile kiire langemispunktis on ühes ja samas tasapinnas.

1. Kui langemisnurk on 10° , 20° , 40° , kui suur on siis peegeldumisnurk?
2. Valgus langeb peeglile risti. Kuidas peegeldub ta siis?
3. Tasapeeglile langevad paralleelsed kiired. On need paralleelsed ka pärast peegeldumist?
4. Kui suur peab olema langemisnurk, kui tarvis on valgust 80° võrra kõrvale juhtida?

113. Valguse peegeldumine ja hajumine. Harilikult pole kehade pind mitte päris sile, vaid kare. Kare pind koosneb üksikutest väga väikestest siledatest pinnaosakestest. Iga pinnaosake mõjub kui tasapeegel. Et need peeglikesed on asetatud ruumis igaüks eri suunas, siis peegeldavad nad ka nendele langeva valguse igas suunas laiali. Seepärast ei anna karedad esemed mingit kujutist, vaid hajutavad valgust. Hajunud valgus või-

maldab meile ümberolevate esemete nägemist. Samuti teeb hajanud valgus toa valgeks, kui päikesekiired otseselt tuppa ei lange.

Mitmesugused pinnad peegeldavad tagasi neile langenud valgust mitmesugusel määral. Näiteks valge paber ja valgeks värvitud lagi peegeldavad tagasi üle 70% neile langenud valgusest, ku na seevastu must tahmatud pind peegeldab tagasi temale langenud valgusest väga väikese osa. Halli pind jälle peegeldab tagasi rohkem kui must pind,



144. joon. Otsene ja kaudne valgustus.

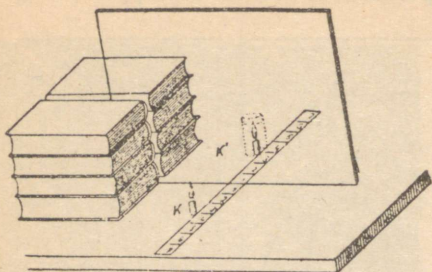
aga vähem kui valge pind. Alati neelab ehk absorbeerib osa mõnele kehale langenud valgusest selle keha pind.

Valguse hajumine peegeldumisel etendab tähtsat osa ruumide valgustamisel. Toas olevat töölauda valgustab otseselt ambilt või päikeselt tulnud valgus (otsene valgustus) ja laes ning seintel peegeldunud valgus (kaudne valgustus). Kaudse valgustuse suurendamiseks värvitakse toalagi valgeks. Sageli juhitakse kõik valgus lambilt lakke ja seal peegeldunud valgus valgustabki tuba. Niisuguse täieliku kaudse valgustuse puhul puuduvad toas teravad varjud (144. joon.).

114. Kujutis tasapeeglis. Peegli ees seistes näeme end peeglis. Meie näost väljunud kiired peegelduvad peegli pinnal ja annavad kujutise, mis näiliselt asetseb peegli taga. Kui kaugel on kujutis peeglist, selle leidmiseks korraldame järgmise katse (145. joon.).

Asetame mõõtpaela (pabeririba cm-jaotistega) lauale. Risti mõõtpaelaga seame ta keskkohale tasase klaasplaadi. Klaasplaadi ette mõõtpaela kõrvale asetame põleva küünla *K*. Klaas-

plaadil näeme siis künälaleegi kujutist. Klaasruudu taha, sinna kohta, kus näib olevat künälaleegi kujutis, asetame teise samasuguse ja niisama pika, kuid mittepõleva künäla K^1 . Põleva künäla poolt vaadates näeme, nagu põleks ka teine künäl. Künäl K^1 asetseb seega künäla K kujutise kohal. Mõõtes K ja K^1 kaugusi peeglist näeme, et need on võrdsed, seejuures KK^1 on



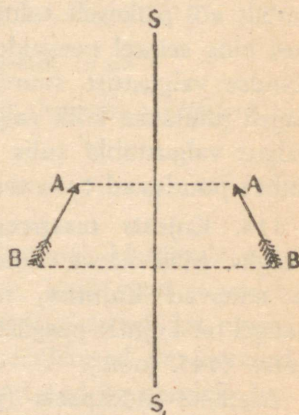
145. joon. Kujutis tasapeeglis.

risti peegli tasapinnaga. Nihutades K peegli suhtes lähemale või kaugemale, nihkub ka K^1 lähemale või kaugemale.

Tasapeegli ees oleva künälaleegi kujutis tasapeeglis on niisama kaugel peegli taga kui künälaleek peegli ees ja mõlemad asetsevad sirgel, mis on risti peeglipinnaga. Seega ese ja ta kujutis on sümmeetrilised tasapeegli suhtes.

Kujutis tasapeeglis asetseb ainult näiliselt peegli taga, tõeliselt ei pääse sinna ükski valguskiir. Kujutise näilises asukohas lõikuvad ainult peeglit peegeldunud kiirte pikendused. Niisugust näilist kujutist nimetatakse ebakujutiseks.

Asetseb peegli ees mitte punktikujuline valgusallikas, vaid ulatusega ese, näit. nool (146. joon.), ruumiline keha jne., siis selle iga punkti kujutis asetseb peegli taga, seega ka kogu kujutis. Keha ja selle kujutise sümmeetria tõttu on



146. joon. Noole kujutis tasapeeglis.

kujutisel kehaga võrreldes parem ja vasem pool ümber vaetatud. Kirjutatud kirja tuleb tasapinnalises peeglis lugeda seega paremalt poolt vasemale (peegelpilt). Kujutise suurus on seejuures võrdne peegli ees oleva kehaga.

1. Kui kaugel on kujutis vaatelest, kui vaateleja on peeglist 75 cm kaugusel?

2. Tasapeegel nihutatakse vaatelest 15 cm võrra kaugemale. Kui palju kaugenes vaatelest kujutis?

3. Kas on võimalik peeglit nii seada, et A näeks B-d, kuid B ei näe A-d?

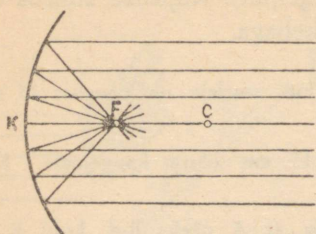
4. Aseta kahe paralleelse peegli vahele küünlaleek. Mitu kujutist tekib sellest peeglites?

115. Kõverpinnalised peeglid. Nõguspeegel. Kõverpinnalistest peeglitest on eriti tähtsad kerapinnalised ehk sfäärilised peeglid, s. o. peeglid, millede lihvitud peeglipinnad moodustavad osa kerapinnast. Nõguspeeglil on peeglipinnaks kera sisepind, kumerpeeglil — kera välispind.

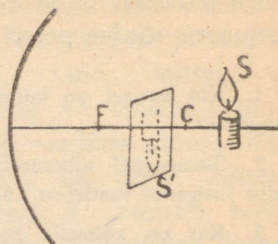
Nõguspeegli keskpunkti nimetatakse peegli keskpunktiks ehk lagipunktiks, peeglipinda moodustava kerapinna keskpunkti, mis asetseb väljaspool peeglipinda, nimetatakse kõveruse keskpunktiks, kerapinna raadiust kõveruse raadiuseks. Sirget, mis ühendab nõguspeegli lagipunkti kerapinna kõveruse keskpunktiga, nimetatakse nõguspeegli optiliseks teljeks. Selge on, et kiir, mis langeb nõguspeeglile optilise telje või kõveruse raadiuse sihis, peegeldub samas sihis tagasi, sest raadius on alati risti kerapinnaga.

Langeb paralleelne kiirtekimp nõguspeeglile rööbiti optilise teljega, siis peegelduvad kiired ja koonduvad, nagu seda võib suitsu või tolmu abil kergesti nähtavaks teha, optilisel teljel olevasse punkti, mida nimetatakse nõguspeegli fookuseks ehk tulipunktiks. Tulipunktiks nimetatakse teda sellepärast, et tarvitades päikesekiiri ja suurema pinnaga peeglit, süttib tulipunkti

asetatud tuletikk või paber. Selle kaugust FK peeglist (147. joon.) nimetatakse tulipunkti kauguseks. Sellekohased



147. joon. Nõguspeegli tulipunkt (F) ja lagipunkt (K).



148. joon. Küünla leegi kujutis nõguspeeglis.

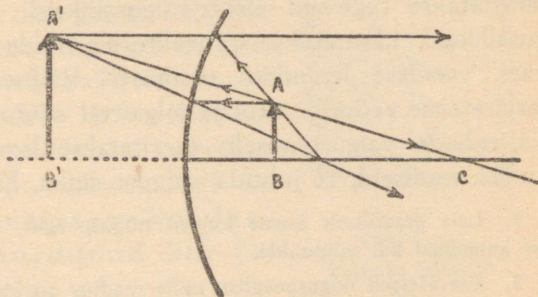
mõõtmised näitavad, et tulipunkti kaugus on võrdne kõveruse raadiuse poolega. Kokkuvõttes seega: optilise teljega paralleelsed kiired pärast peegeldumist nõguspeeglil koonduvad tulipunkti, mis asetseb peeglist poole kõveruse raadiuse kaugusel. Et valguskiire peegeldumisel on langemisnurk võrdne peegeldumisnurgaga, siis kiir, mis langeb peeglile peegeldunud kiire sihis, peegeldub tagasi ka langenud kiire sihis. Seega valguskiire käik on ümberpööratav (valguskiire ümberpööratavuse printsiip). Sellest valguskiirte käigu ümberpööratavuse printsiibist järgneb, et tulipunktis olevast punktikujulisest valgusallikast väljunud kiired pärast peegeldumist nõguspeeglil on paralleelsed optilise teljega.

Võtame põleva küünla S ja asetame ta nõguspeegli ette väljaspool keskpunkti C (148. joon.). Tulipunkti F ja keskpunkti C vahel väikest ekraani edasi-tagasi nihutades leiame sellel küünla kujutise. Selles kujutises lõikuvad tõepoolest valguskiired, mistõttu on võimalik teda näha ekraanil. Seepärast nimetatakse seda kujutist tõeliseks. Antud juhul on kujutis veel vähendatud ja ümberpööratud.

Küünalt peeglist mitmesuguses kauguses hoides ja alati vastavat kujutise suurust ja asendit tähele pannes leiame:

1) Kui ese asetseb väljaspool keskpunkti, siis on kujutis tulipunkti ja keskpunkti vahel; ta on tõeline, ümberpööratud ja vähendatud.

2) Kui ese asetseb tulipunkti ja keskpunkti vahel, siis on kujutis väljaspool keskpunkti; ta on tõeline, ümberpööratud ja suurendatud.



149. joon. Kujutise graafiline leidmine nõguspeeglis.

3) Tulipunkti ja peegli vahele paigutatud ese annab päripärase suurendatud ebakujutise. Viimasel

juhul valguskiired pärast peegeldumist ei koondugi, vaid nende pikendused lõikuvad peegli taga, kus ongi eseme ebakujutis.

Eelmise põhjal on meil teada kolme valguspunkti lähtuva kiire suund pärast peegeldumist nõguspeeglis, nimelt: 1) optilise teljega paralleelne kiir, mis läheb pärast peegeldumist läbi tulipunkti F ; 2) läbi tulipunkti minev kiir, mis on pärast peegeldumist paralleelne optilise teljega, ja 3) kiir, mis langeb nõguspeeglile kõveruse raadiuse sihis, s. o. läbi kõveruse keskpunkti. See peegeldub samas sihis tagasi. Et kõik ühest valguspunktist lähtuvad kiired või nende pikendused pärast peegeldumist koonduvad ühte punkti, siis antud valguspunkti leidmiseks on tarvis leida ainult kahe kiire lõikepunkt. Valides neist kolmest kaks kiirt võime kergesti leida iga valguspunkti kujutise graafiliselt, üksikute punktide abil aga kogu eseme kujutise. Näiteks noolekujulise eseme kujutise leidmiseks on küllalt, kui leida kahe äärmise punkti A ja B kujutised.

Suuri nõguspeegleid tarvitatakse prožektoreis ehk helgiheitjais. Siin asetatakse nõguspeegli tulipunkti tugev valgusallikas, mistõttu peegil peegeldunud kiired on ligikaudu paralleelsed ega haju. Prožektoreid kasutatakse tuletornides, laevadel ja mujal, kus tahetakse juhtida valgust kauge maa taha. Siin tarvitatakse tugevaid elektrivalgusallikaid. Eriti tugevaid valgusallikaid kasutatakse prožektoreis, mida tarvitatakse sõjaväes vaenlase lennukite otsimisel. Väiksemaid prožektoreid tarvitatakse veduril, autol ja jalgrattal sõidutee valgustamiseks. Ka tubade valgustamiseks tarvitatakse lampidel nõguspeegli-taolisi seadiseid, et juhtida valgust sinna, kuhu tarvis.

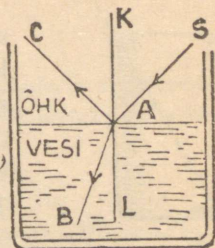
1. Leia graafiliselt eseme kujutis nõguspeeglis, kui ese asetseb peeglist kaugemal kui tulipunkt!
2. Ese asetseb nõguspeeglist, mille raadius on 25 cm, 20 cm kaugusel. On sel puhul eseme kujutis tõeline või ebakujutis?
3. Kui katta pool nõguspeegli pinda musta paberiga kinni, millist mõju avaldab see kujutisse?

Valguse murdumine.

116. Murdumisseadused. Juhime pimedas toas õhust kaldu veepinnale peenikese paralleelkiirte kimbu SA (150. joon.). Osa kiiri, jõudes veepinnani langemispunktis A , peegeldub veepinnal peegeldumisseaduste järgi ja läheb suunas AC endisse keskkonda, s. o. õhku tagasi. Teine osa kiiri antud kimbust SA tungib langemispunktis A uude läbipaistvasse keskkonda, s. o. vette, ja läheb seal edasi suunas AB , mis endisest suunast SA märksa erineb. Suuna muutumine ehk murdumine toimub langemispunktis A kahe keskkonna, antud juhul õhu ja vee lahutuspinnal. Nähtust, kus valguskiired ühest läbipaistvast keskkonnast teise tungides muudavad keskkondade lahutuspinnal oma esialgset suunda, nimetatakse **valguse murdumiseks**. Kiirt SA nimetatakse **langevaks**, kiirt AB **murdunud kiireks**. Tõmbame keskkondade lahutuspinnale langemispunk-

tis A ristjoone KL . Nurki SAK ja BAL , mis moodustavad ristjoon KL , langev kiir SA ja murdunud kiir AB , nimetatakse vastavalt langemis- ja murdumisnurgaks.

Katsed näitavad, et valguskiire üleminekul õhust vette on langemisnurk suurem kui murdumisnurk. Sel puhul öeldakse, et vesi on optiliselt tihedam kui õhk. Üldiselt kehtib seadus: valguse murdumisel optiliselt hõredamast keskkonnast optiliselt tihedasse keskkonda minemisel on murdumisnurk väiksem kui langemisnurk ja murdunud kiir läheneb ristjoonele.



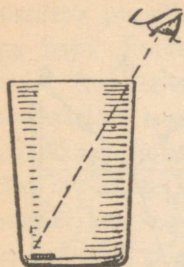
150. joon.
Valguse murdumine.

Nagu peegeldumisel, samuti ka murdumisel kehtib überpööratavuse lause, s. o. kui murdumisnurk võtta langemisnurgaks, siis on murdumisnurgale vastav langemisnurk murdumisnurgaks. Selle põhjal võime öelda, et optiliselt tihedamast keskkonnast optiliselt hõredamasse keskkonda minnes, näit. veest või klaasist õhku, on murdumisnurk langemisnurgast suurem ja murdunud kiir läheb ristjoonest kaugemale.

Vastavad katsed näitavad, et langev kiir ja murdunud kiir on langemispunktis lahuspinnale tõmmatud ristjoonega ühel ja samal tasapinnal.

Kahe antud keskkonna suhtes on langemis- ja murdumisnurgad üksteisega kindlasti seotud. Näiteks kui suureneb langemisnurk, siis, nagu eespool nägime, suureneb ka murdumisnurk, seejuures üleminekul optiliselt hõredamast keskkonnast optiliselt tihedamasse keskkonda on alati murdumisnurk väiksem kui langemisnurk.

Valguse murdumisega seletuvad mitmed nähtused: kaldu vette pistetud kepp näib veepinnal murtuna, veega täidetud ämbri põhi kõrgemal kui ta tõepoolest on, jne.



151. joon.

Viimast nähtust selgitab ka järgmine katse. Paneme tühja teeklaasi põhja mingi väikese asja, näiteks 10-kopikase raha. Asetame silma nõnda, et me raha otseselt ei näeks — ta jääb klaasi ääre taha (151. joon.). Klaasi vett valades hakkab raha varsti paistma. Ta on ühes põhjaga nagu üles kerkinud. Tõepoolest aga ei näe me siin raha otseselt, vaid tema kujutist kiirte murdumise tõttu veest õhku tulekul.

1. Mispärast läbi aknaklaasi vaadates mõnikord esemed paistavad moonutatud kujul?
2. Kas on läbi aknaklaasi nähtavad esemed kõik tõepoolest selles suunas, milles nad paistavad?
3. Kuidas peab sihtima, kui tahetakse püssiga lasta kala vees?

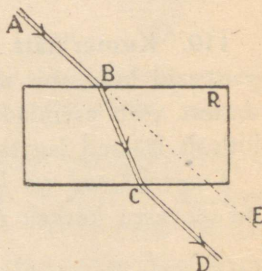
Ebaühtlase tihedusega keskkonnas murdub valguskiir pidevalt, seetõttu muutub ta kõveraks. Niisugune nähtus esineb näiteks ebaühtlases soolalahuses, ebaühtlaselt soojendatud õhus jne.

Viimase nähtusega on seletatav ka näit. õhuvirvendus päikesest kuumendatud maapinna ja katuse kohal.

117. **Tasaparalleelne plaat** on läbipaistev keha, millel on kaks paralleelset välispinda. Langeb valguskiir säärasele plaadile, siis üleminekul õhust klaasi murdub ta ristjoonele lähemale. Klaasist välja minnes murdub ta ristjoonest eemale. Seega on ta suund nüüd paralleelne suunaga, mis tal oli enne klaasi läbimist, kuid ta on pisut kõrvale nihkunud. See kõrvalenihkumine on seda suurem, mida paksem on plaat ja mida rohkem kaldu langevad valguskiired plaadile. Läbi säärase plaadi vaadates näivad kõik esemed olevat pisut nihkunud.

1. Kui suur on nihe, kui valguskiired langevad plaadile risti?
2. Kuidas murduvad valguskiired, kui nad läbivad mitu tasaparalleelset plaati?
3. Miks läbi tuhmklaasi pole midagi näha?

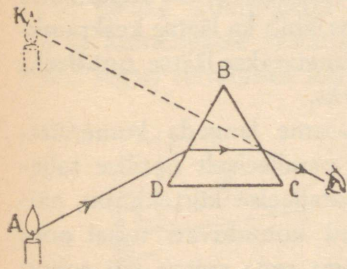
Valguskiirte kõrvalekaldumist murdumisel klaasplaadis on kerge määrata nõõpnõela viisi abil. Asetame klaasplaadi lauale valgele paberile (152. joon.). Pistame punktides A ja B lauasse nõõpnõela. Vaatame nüüd, mis sihis paistavad need nõõpnõelad läbi plaadi. Selle sihi märgime jällegi kahe nõõpnõela abil (C ja D). Nüüd tõmbame plaadi äärtest paberile jooned, samuti sirged läbi nõõpnõelte pistekohtade (A ja B ; C ja D). Sirgete AB ja CD lõikepunktid plaadi äärjoontega (B ja C) ühendame sirgega. Sel teel saame kiire tee BC plaadis ja kiire tee CD pärast väljumist plaadist.



152. joon. Murdumine tasaparalleelses plaadis.

Võrdle suunda AB suunaga CD !

118. Prisma. Optiliseks prismaks nimetatakse läbipaistvat keha, mis on piiratud kahest küljest lõikuvate tasapindadega. Joon. 153 kujutab niisugust klaasprismat läbilõikes. Nurka B , mis on moodustatud lõikuvate tasapindadega, nimetatakse **murdjanurgaks**. Murdjanurga vastas olevat prisma tahku kutsutakse **aluseks**. Katsed näitavad, nagu joon. 153 näha, et prismat läbivad kiired kalduvad prisma aluse poole. Järelikult, vaadates läbi niisuguse prisma valguspunkti A , paistab see meile murdjanurga poole tõstetuna. Samuti näitavad katsed, et mida suurem on murdjanurk, seda suurem on kiire kõrvalekaldumine oma esialgsest suunast.



153. joon. Valguse murdumine prismas.

1. Kas koonduvad kiired jäävad koonduvaiks, kui nad läbivad tasaparalleelse plaadi?

2. Klaas on läbipaistev. Klaasitolm on valge. Kui klaasitolmu peale kallata bensooli, mille murdumisnäitaja on ligikaudu niisama suur kui klaasil, siis muutub klaasitolm läbipaistvaks. Kuidas seda nähtust seletada? Miks on klaasitolm valge?

3. Miks muutub liiv tumedamaks, kui teda märjaks teha?

Optilised läätsed.

119. Kumerlääts. Optilisteks läätsedeks nimetatakse läbipaistvaid kehi, mis piiratud kerapindadega. Üht neist kerapindadest võib asendada ka tasapind. Kõik optilised läätsed ehk lihtsalt läätsed jagatakse kumer- ja nõgusläätsedeks.

Kumerläätsed on keskelt paksemad kui äärest, nõgusläätsed on seevastu keskelt õhemad, äärest paksemad. Kumerlääts võib

olla kaksikkumer, tasakumer või nõguskumer. Vastavalt sellele eristatakse kaksiknõgusaid, tasanõgusaid ja kumernõgusaid läätsi.



1 2 3 4 5 6

154. joon. Optilised läätsed läbilõikes. 1 — kaksikkumer, 2 — tasakumer, 3 — nõguskumer, 4 — kaksiknõgus, 5 — tasanõgus, 6 — kumernõgus lääts.

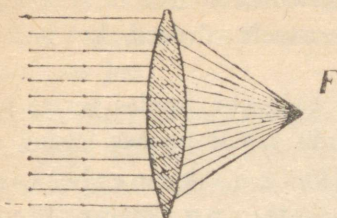
Sirget, mis ühendab mõlema kerapinna kõveruse keskpunkte ja mis läbib ka läätses keskpunkti, nimetatakse läätses **optiliseks teljeks**.

Laseme langeda kumerläätses paralleelselt optilise teljega paralleelse kiirtekimbu, näiteks kimbu päikesekiiri.

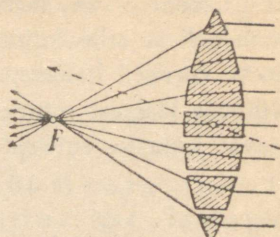
Need kiired koonduvad teisel pool läätses ühte punkti optilisel teljel, nagu seda suitsu või tolmu abil kergesti võib nähtavaks teha. Seda punkti nimetatakse kumerläätses **fookuseks** ehk **tulipunktiks** (155. joon.).

Kiirte käigu seletamiseks kumerläätses võib kujutleda kumerläätses koosnevana üksikuist prismadest, läätses keskmist osa

võib aga vaadelda kui tasaparalleelset plaati, mida läbides valguskiirte suund ei muutu (156. joon.).



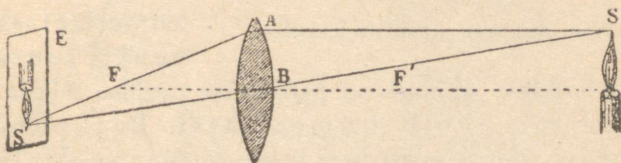
155. joon. Kumerläätsse tulipunkti.



156. joon. Kumerläätsse printsipi selgitamine.

Nagu nõguspeegli puhulgi süttivad, läätsse tulipunkti viidud tuletikk, paber jne. päikesekiirtes põlema. Punkti F kaugust läätsesest nimetatakse **tulipunkti kauguseks**. Tulipunkti kaugus on seda lühem, mida kumeram on lääts, [ta oleneb aga läätsse ainest. Igal läätsel on kaks tulipunkti, üks ühel pool, teine sümmeetriliselt teisel pool läätses; nende kaugused läätsesest on võrdsed. Et kumerlääts koondab valguskiiri, seepärast nimetatakse seda ka **koondavaks** läätseseks.

120. **Kujutis kumerläätses.** Asetame põleva küünla S (157. joon.) kumerläätsse ette [kaugemale tulipunktist, teisele poole kumerläätsse asetame valgest paberist ekraani. Ekraani edasi-tagasi nihutades leiame sellel küünlaleegi ümberpööratud



157. joon. Kujutis kumerläätses.

kujutise. See kujutis on tõeline juba seepärast, et võime teda võtta ekraanile. Nihutame küünalt läätsesest kaugemale, siis nihkub ta kujutis läätsesle lähemale, ja vastupidi, kui nihutame

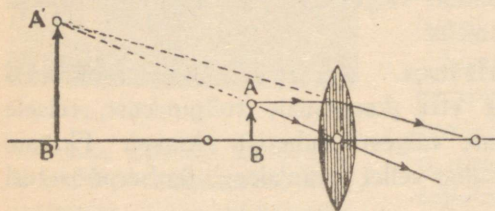
küünalt läätsele lähemale, siis nihkub kujutis läätsest kaugemale. Seejuures näeme ka, et mida lähemal on kujutis läätsele, seda väiksem ta on; läätsest kaugenedes muutub ta suuremaks. Küünlaleek ja selle kujutis on suuruselt võrdsed, kui nad on läätsest võrdseil kaugusil.

Küünalt läätsest mitmesuguses kauguses hoides ja iga kord vastavat kujutise suurust ja asendit tähele pannes leiame:

1) Kui ese (küünlaleek) on kumerläätses kaugemal kui tulipunkt, siis on kumerläätses poolt tekitatud kujutis teisel pool läätse, ta on tõeline ja ümberpööratud. Suuruselt võib kujutis olla suurendatud, vähendatud või niisama suur.

2) Kui ese on kumerläätses lähemal kui tulipunkt, siis annab kumerlääts sellest päripidise, suurendatud ebakujutise samal pool läätse.

Nagu nõguspeegli juures, nii ka siin võib graafiliselt leida eseme kujutise kolme kiire abil, mille suunad on teada pärast läätsest läbimist.



158. joon. Kujutise graafiline leidmine.

1. Kiir, mis on paralleelne optilise teljega, pärast murdumist kumerläätses läbib tulipunkti.

2. Kiir, mis langeb kumerläätses tulipunkti suunas, pärast kumerläätses läbimist on paralleelne optilise teljega.

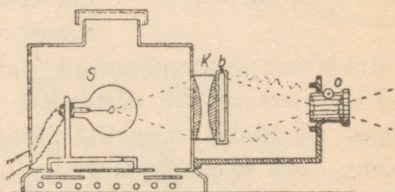
3. Kiir, mis läbib kumerläätses keskpunkti, läheb endises suunas edasi, sest keskosa võib vaadelda kui tasaparalleelset plaati, mida läbides valguskiire suund ei muutu.

Kahe kiire abil nendest kolmest võime alati leida graafiliselt eseme kujutise. Joonisel 158 on sel teel kujutis leitudki ja nimelt juhul, kui ese on lähemal kui tulipunkt.

Optilised riistad. Silm ja nägemine.

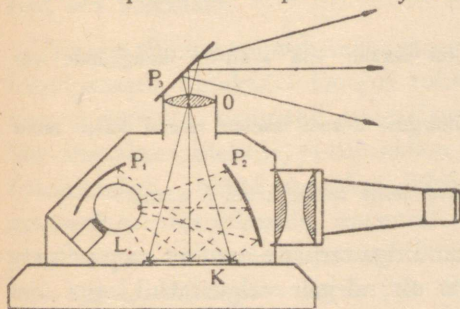
Optilised läätsed leiavad laialdast kasutamist mitmesugustes optilistes riistades, nagu projektsiooniaparaadis, mikroskoobis, pikksilmas jne.

121. Projektsiooniaparaat. Projektsiooni- ehk valguspildi-aparaadiga näidatakse valgel linal või seinal (ekraanil) mitmesuguseid pilte. Projektsiooniaparaat (159. joon.) on seestpoolt mustaks värvitud kast, millesse on paigutatud tugev valgusallikas *S*, näiteks elektrihõõglamp, kaarleek jne. Selle valgusallika ees, kasti avas, on suur kahest poolest koosnev kumerläätis, kondensator *K*, mis juhib palju valgust klaasile tehtud läbipaistvale pildile *b*, mida nimetatakse **diapositiiviks**. Selle pildi kujutise annab ekraanile kumerläätis *O* ehk **objektiiv**, mis asetseb ekraani ja pildi vahel, kuid viimasele märksa lähemal. Et objektiiv annab ekraanil ümberpööratud kujutise, siis asetatakse pilt ise aparati ümberpööratult.



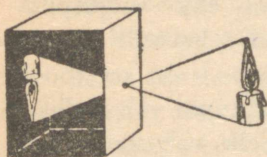
159. joon. Projektsiooniaparaat.
S — valgusallikas; *K* — kondensator;
O — objektiiv.

Ka läbipaistmatule paberile joonistatud või trükitud kirja, samuti teisi esemeid võib projitseerida ekraanile, kui tarvitada selleks eriti ehitatud projektsiooniaparaati. Selles projektsiooniaparaadis asetatakse läbipaistmatu pilt aparadi alla ja valgustatakse siis tugeva valgusallikaga. Pildilt tuleva valguse abil annabki objektiiv pildi



160. joon. Projektsiooniaparaat läbipaistmatute piltide projitseerimiseks.

kujutise ekraanile. Et valgust seejuures juhtida ekraanile, paigutatakse kiirte teele vastava nurgi asetatud peegel. Projektiooniaparaati, mille abil on võimalik projitseerida diapositiive, samuti ka läbipaistmatuid pilte ja esemeid, nimetatakse epidiaskoobiks (160. joon.).



161. joon. Pimekamber.

küünlaleegi ümberpööratud kujutis. Seda kujutise tekkimist väikese avause abil seletatakse valguse sirgjoonelise levimisega. Igast valgusallika punktist pääseb läbi avause peenike kiirtekimp, mis ekraanile langedes tekitab seal valgustatud punkti. Kõik valgustatud punktid kokku annavadki eseme kujutise. Mida väiksem on seejuures avaus, seda teravam on kujutis, kuid ka seda valgusvaesem. Niisugust seadist nimetatakse **pimekambriks** (161. joon.).

Kujutise tekkimist väikese avause abil võime tähele panna ka luukidega pimedaks tehtud toas, kui luukides on väikesed avauseid.

1. Kuidas muutub kujutis, kui ekraan viia avausest kaugemale või tuua sellele lähemale?

2. Milline on kujutis, kui ümmarguse avause asemel teeme kasti seinale pikerguse avause?

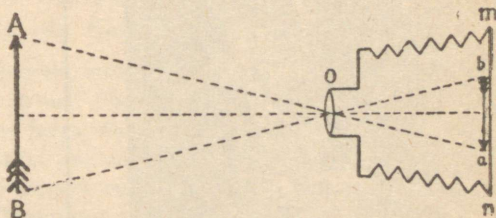
3. Mitu kujutist saame, kui kasti seinale teeme 2 või 3 avauseid?

123. Fotoaparaat. Pimekambriga sarnane on fotoaparaat. Kuid et kujutis pimekambris on nõrgalt valgustatud, siis on fotoaparaadis väikese avause asemel kumerläätis. Seega fotoaparaat koosneb seestpoolt mustaks värvitud kastist, mille ees-

seinas vastavas avas on kumerlääts, mida nimetatakse objektiiviks. Tagaseinas on tuhmklaas. Objektiiv annab aparadi ees olevate esemete kujutised tuhmklaasil. Millised on need kujutised?

Et need kujutised tuhmklaasil oleksid teravad ja selged, seks tuleb objektiivi kaugust tuhmklaasil reguleerida. Seda võimaldavad lõõtsana kokku- ja lahtitõmmatavad aparadi külge seinad.

Fotoaparati tarvitatakse fotograafias. Viimane põhineb nähtusel, et paljud ained muutuvad valguse toime-



162. joon. Fotoaparaat.

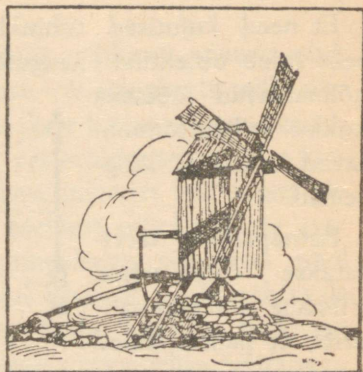
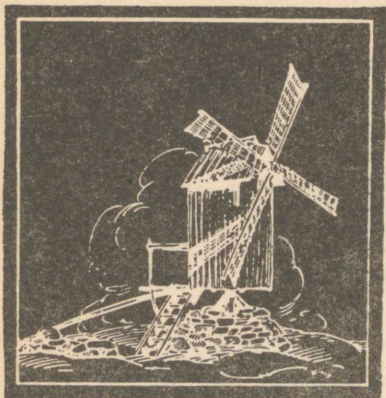
mel. Nende ainete hulka kuuluvad mõnede metallide, nagu hõbeda ja raua soolad. Fotograafias tarvitatakse broom- ja kloorhõbedat. Fotoplaad ja fotopaber ongi kaetud neid aineid sisaldava želatiiniga, mis teeb fotoplaadi ja fotopaberi valgustundlikuks.

Pildistamisel paigutatakse fotoplaad fotoplaadi kasseti. Kassett on lame, täiesti valguskindel kastike, mille kaant võib eest ära tõmmata.

Fotograafimine toimub seega järgmiselt. Algul reguleeritakse fotoaparadi objektiivi kaugus tuhmklaasist nii, et fotograafitavate esemete kujutised tuhmklaasil oleksid küllalt teravad. Siis kaetakse objektiiv, ja tuhmklaas asendatakse valgustundliku fotoplaadiga. Nüüd avatakse lühikeseks ajaks objektiiv (valgustamine): fotoplaadile langenud valgus tekitab sellel fotograafitavate esemete kujutised. Esialgu on pilt plaadil varjatud kujul. Nähtavaks tuleb pilt ilmutamisega. Ilmutiteks on sääraste ainete lahused, mis hõbedasooladest eraldavad hõbedat metallina. Ilmutite toimele eraldub seega hõbe neile koh-

Ex bibl. Univ. Ta

tadele, mida valgustati, ja seda rohkemal määral, mida tugevamini seda kohta plaadil valgustati. Nii tulebki pilt nähtavale. Kuid see pilt on vastand pildistatud esemele: valged



163. joon. Negatiiv ja positiiv.

kohad on siin mustad, mustad kohad — valged. Seda pilti kutsutakse seetõttu negatiiviks. Et negatiiv valguse toimel ei muutuks, seks tuleb teda kinnistada. Kinnistamise ülesanne on kõrvaldada fotoplaadilt muutumatuks jäänud hõbedasoola. Tavalise fotoplaadi ilmutamine ja kinnistamine võib toimuda punases valguses, sest need kiired ei mõju fotoplaadisse.

Kinnistatud negatiivi tuleb hästi pesta ja kuivatada. Soojendada teda seejuures ei või, sest soojendamisel läheb želatiinikiht vedelaks ja tõmbub kokku. See rikub ülesvõtte ära.

Et saada päevapilti (positiivi), tuleb seda negatiivilt kopeerida. Seda tehakse paberile, mis kaetud kloorhõbedat sisaldava kihiga. Need paberid pole nii valgustundlikud kui plaadid. Negatiiv asetatakse päevapildipaberi peale ja pannakse valguse kätte. Negatiivi tumedad kohad lasevad vähem valgust läbi kui heledamad. Seetõttu on ka paberil värvitoonid vastupidised negatiivi omadele. Nad vastavad ülesvõetud

esemele. Paberile kopeeritud päevapilt tuleb kinnistada. Seda tehakse samuti kui negatiivigi puhul. Sellele järgneb pesemine ja kuivatamine, ning päevapilt ehk foto ongi valmis.

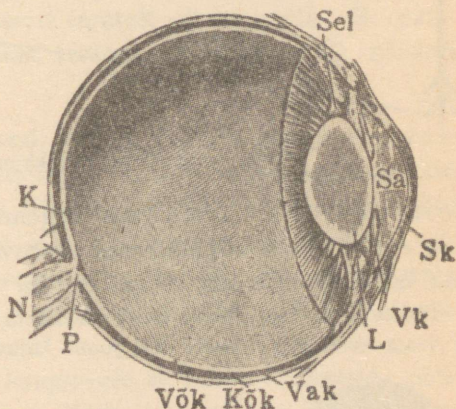
Praegusajal tarvitatakse laialt klaasist fotoplaadi asemel valgustundliku kihiga kaetud tselluloidist filmi. Seejuures ühele filmile võetakse enamasti mitu pilti. Seda tehakse nõnda, et valgustatud osa filmist keritakse rullile, kuna objekt iivi ette tuleb uus valgustamata osa filmist.

Eriti kohane on nn. pisikaamera, mille abil saadud negatiiv on oma mõõdetelt väga väike, näiteks 24×36 mm. See võimaldab suurt kokkuhoidu negatiivi materjalis ja lubab teha hulga ülesvõtteid ühele filmile. Säärasest väikesest negatiivist valmistatakse suurendusaparaadi abil mitmekordselt suurendatud positiiv. Suurendusaparaadi tähtsamaks osaks on kumerlääts, mille abil saadakse poolläbipaistvast negatiivist suurendatud kujutis positiivpaberile, mis siis ilmutatakse ja kinnistatakse harilikul viisil.

Valmista pimekamber ja tarvita seda fotoaparaadina! Et väikese avause abil saadud kujutis on nõrgalt valgustatud, siis tuleb valgustada pikemat aega. Määra see katseliselt!

124. Silm ja nägemine. Silma ehitus.

Silm asetseb sügaval silmakoopas. Silmamuna välist kihti nimetatakse valgeks kestaks, osa sellest on nn. silmavalgena nähtav. Selle eespoolne kiht on hästi kumer ja läbipaistev ning kannab sarvkesta nime. Järgmine kiht seespool silmavalget on läbipaistmatu kõldkest. Selle eesmine pool moodustab vikerkesta. Selle värvuse järgi nimetatakse inimesi musta-

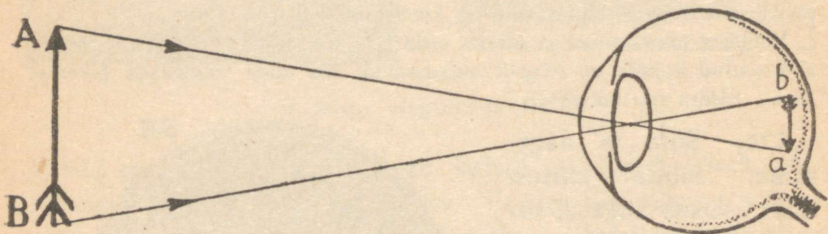


164. joon. Silma pikilõige. Sel — silma seaduvust korraldaja lihas; Sa — silmaava; Sk — sarvkest; Vok — vikerkest, L — lääts; Vak — valgekest; Kõk — kõldkest; Vök — võrkkest; P — pime tähn; N — nägemis-erk; K — kollane tähn.

halli-, pruuni- jne. silmalisteks. Vikerkesta keskel on ümmargune auk, mida kutsutakse silmaavaks (silmatera), mille kaudu pääseb valgus silma. Tugeva valguse käes läheb silmaava iseenesest väiksemaks, kui valgust vähe, läheb silmaava suuremaks. Niiviisi reguleerib silmaava silma tuleva valguse hulka. Kõige sügavama silmamuna seinakihi moodustab võrkkest, mis on valgusärrituse vastuvõttev silma osa. Võrkkest on ühenduses nägemiserguga.

Silmaava taga asetseb läbipaistev läätsekujuline keha, nn. silmaläätis. Ruum eespool silmaläätse on täidetud vesiselge silmavedelikuga; silmaläätsetagust ruumi täidab sültjas klaaskeha.

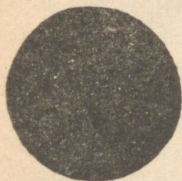
Otse silmaava vastas on kõige tundlikum koht silmas, nn.



165. joon. Kujutise tekkimine silmas.

kollane tähn. Koht, kus nägemiserk silmast väljub, nn. pime tähn, on valgusärrituse vastuvõtivate osadeta. Sellepärast inimene selle silmaosaga ei näe.

Tõesta järgmiselt pimedat tähni olemasolu: kata käega parem silm kinni ja vaata vasemaga teraselt 166. joon. kujutatud risti. Raamatut silmale



166. joon. Katse pimedat tähni olemasolu tõestamiseks.

lähendades või eemaldades taba kaugus, kus must ketas hoopis kaob. Selle kujutis langeb siis pimedale tähnile.

Silma võime võrrelda fotoaparaadiga. Objektiiviks on silmaläätis, ekraaniks silma tagaseinas olev võrkkest. Ese annab võrkkestal ümberpööratud vähendatud kujutise, mida me silmar-kude abil selle asja valgusmuljena vastu võtame.

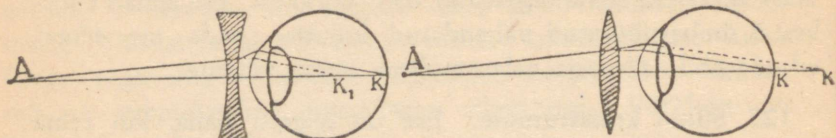
125. Silma kohastumine. Ese on selgesti näha, kui tema kujutis tekib just võrkkestal. See toimub silmaläätse abil, mis võib tarviduse järgi muuta oma kumerust, ühes sellega kiirte koondamisvõimet. Läheneb ese silmale, siis muutub lääts kumeramaks; kaugeneb ese, siis läheb lääts lamedamaks. Seda silmaläätse omadust eseme kaugusele vastavalt oma kumerust muuta, et kujutis alati tekiks võrkkestal, nimetatakse kohastumisvõimeks.

Samal ajal võib silm ainult ühele kaugusele kohastuda, mis selgub järgmisest katsest. Pane sõrm silmade ja raamatu vahele umbes keskpaika. Vaatad teraselt sõrme peale, siis paistavad tähed segaselt; vaatad teraselt tähtedele, siis paistab sõrm segaselt.

126. Nägemise puudused. Prillid. Harilik ehk normaal-silm võib lugeda ilma tunduva kohastumisväsimumeta, kui raamatu kaugus silmast on 25—30 cm. Seepärast nimetatakse seda kaugust normaalsilma parima nägemise kauguseks. Lähemate ja kaugemate kui 25—30 cm esemete vaatamisel peab silmaläätis kohastumisel tunduvalt pingutama. Seetõttu ta ka väsis rohkem.

Silma, mis suurematele kaugustele ei suuda kohastuda, nim. lühinägijaks. Niisuguses silmas on võrkkest läätsest liiga kaugel (silmamuna on liiga piklik või koondab silmaläätis kiiri liiga tugevasti) ja eseme kujutis tekib võrkkesta ees (167. joon.). Selle puuduse kõrvaldamiseks tarvitatakse silma ees prillina nõgusat lääts. See hajutab kiiri niivõrra, et eseme kujutis tekib võrkkestal.

Kaugelenägija silm ei suuda kohastuda lähedate esemete vaatlemiseks. Silmamuna on liiga lühike või silmalääts on liiga lame, mistõttu ta koondab kiiri liiga nõrgalt, ja eseme



167. joon. Lühinägija silm.

168. joon. Kaugelenägija silm.

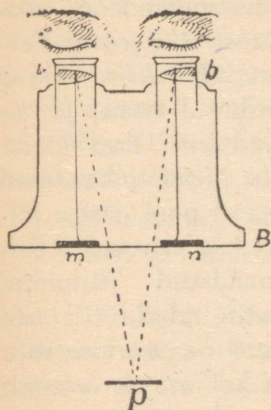
kujutis tekib võrkkesta taga (168. joon.). Et kiired enam lõikuksid ja võrkkestal kujutise annaksid, selleks tarvitatakse silma ees prillina kumerat lääts. See koondab kiiri ja kujutis tekib võrkkestal ning ese on selgesti näha.

127. Valgusmulje vältus. Kino. Kiiresti pöörleva voki või jalgratta kodarad liituvad liikudes pidevaks ringiks. Hõõguvat tuletikku õhus kiiresti edasi-tagasi liigutades näeme jäljena helendavat joont. Kõigi selliste nähtuste põhjuseks on järgmine silma omadus: valguse mulje kestab umbes 0,1 sek. pärast seda, kui seda muljet tekitav kujutis silmast kadus. Enne kui eelmise kodara mulje kaob, saame mulje järgmisest kodarast jne. See silma omadus leiab kasutamist **kinematograafi** ehk **kino** ehitamisel. Tehakse sellekohasel lindil ehk filmil kiiresti üksteise järel hulk silmapilkseid ülesvõtteid (umbes 15—20 ülesvõtet sekundis) ja projitseeritakse need projektsioonilaterna abil niisama kiiresti ekraanile. Muljed kiiresti üksteisele järgnevaist ülesvõtteist, mida näeme ekraanil, liituvad ja annavad nn. kinopildi.

Kui mingist liikumisnähtusest teha 1 sekundis 20 ülesvõtte asemel näiteks 300 ülesvõtet ja siis projitseerida see aeglaselt, näiteks 15 sek. kestel, siis võib tõeliselt kiiresti toimuvaid nähtusi vaadelda aeglaselt. Säärast meetodit nimetatakse **ajaluubiks**. Ajaluupi kasutatakse näiteks spordi alal hüpete ja teiste kiirete liigutuste uurimisel.

Samuti on võimalik ka väga aeglaselt toimuvaid nähtusi vaadelda lühikese aja jooksul (taimede kasvamine).

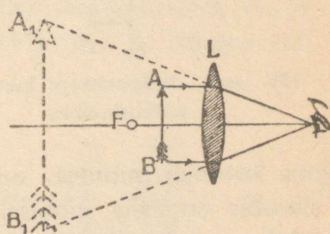
128. Ruumiline nägemine. Stereoskoop. Vaadeldes lähedal olevat eset, näiteks laual olevat kuupi, vaheldumisi kord ühe, kord teise silmaga, võime tähele panna, et kumbki silm näeb seda pisut isesugusena: parem silm näeb seda paremalt poolt, vasem pisut vasemalt poolt. Seega ka kujutised sellest esemest kummaski silmas on erinevad. Need kujutised sulavad nägemisel kokku ning me näeme eset ruumiliselt ehk reljeefselt. Seega ruumilise nägemise põhjuseks on vaadeldava eseme kujutiste erinevused kummaski silmas.



169. joon. Stereoskoop.

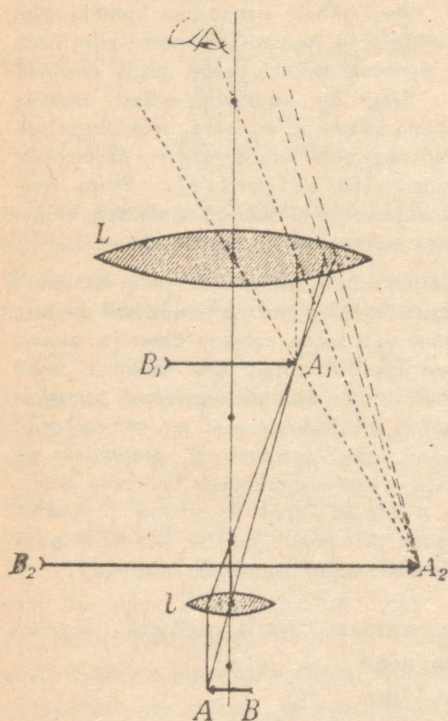
kaks prisma *a* ja *b*, mis on pööratud murdmisnurkadega teineteise poole. Piltide vastavatest punktidest *m* ja *n* tulevad kiired murduvad prismades nõnda, et nad paistavad väljuvat ühest ja samast punktist *p*. Kahe pildi asemel näeme ühtainust, mis annab meile asjast ruumilise kujutise.

129. Luup. Inimese silm suudab tajuda esemeid ja esemete peensusi ainult siis, kui need annavad küllalt suure ja selge kujutise võrkkestal. Väga väikesed esemed annavad silmas liiga väikese kujutise, mistõttu meie neid ei näe või näeme halvasti. Kujutis võrkkestal suureneb, kui tuua vaadeldav ese lähemale, kuid sellel on piir; normaalse silma parima nägemise kaugus on umbes 25 cm. Väga lähedal olevate esemete nägemiseks silm ei kohastugi. Väikeste



170. joon. Luup.

esemete paremat ja selgemat nägemist võimaldab **luup**, milleks on kumerlääts. Asetades vaadeldava eseme kumerläätsse ja tulipunkti vahele näeme, et sel juhul ei saa me teisel pool läätse mingit kujutist. Küll aga näeme samal pool, kus esegi, selle



171. joon. Mikroskoop: kiirte käik mikroskoobis.

mis koosneb mitmest optilisest läätsest. Kiirte käik mikroskoobis on näha joonisel 171. Vaadeldav ese AB asetatakse lühikese tulipunktikaugusega kaksikkumera läätse ette tulipunktist natuke kaugemale. Lääts l , mille ees seisab vaadeldav ese ja mida seepärast eseme läätseks ehk objektiiviks kutsutakse, annab enese kahekordse tulipunktikauguse taga

eseme suurendatud eba-kujutist (170. joon.). Esimest AB tulevad kiired murduvad läätse ja lähevad laiali ilma lõikumata. Nende pikendused vasemal pool läätse lõikuvad ja annavad AB -st suurendatud päripidise kujutise A_1B_1 . Et siin kujutis on märksa suurem kui ese ja asetseb normaalse silma prima nägemise kaugusel, siis näeme seetõttu temas ka rohkem peensusi kui eset ennast otseselt vaadeldes. Seepärast tarvitatakse kumerlääts suurendusklaasina ehk luubina.

130. Mikroskoop.

Märksa tugevamini suurendab nn. mikroskoop,

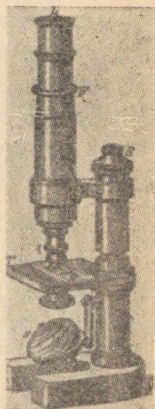
esemest AB vastupidise suurendatud tõelise kujutise A_1B_1 . Seda kujutist vaatame läätse L kui luubi abil, saades temast päripidise suurendatud ebakujutise A_2B_2 . Läätse L , millesse silmaga vaatame ja mis luubi aset täidab, nimetatakse silmaläätseks ehk okulaariks. Kujutis A_2B_2 on antud esemega võrreldes suurendatud, vastupidine ja ebakujutis.

Kõik läätsed paigutatakse sellekohastesse seestpoolt mustaks värvitud torudesse ja kinnitatakse jala külge (172. joon.). Head mikroskoobid suurendavad tuhat ja rohkem korda.

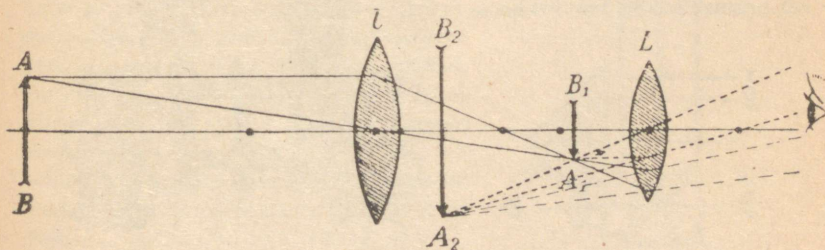
1. Kus tarvitatakse mikroskoobe?
2. Milleks on mikroskoobi objektiivi ees nõguspeegel?

131. Pikksilm. Mida kaugemal on ese, seda väiksema nurga all ta meile paistab, seda väiksem on ka ta kujutis silma võrkkestal. Väga kaugel olevad esemed, olgugi suured, paistavad meile niivõrra väikese vaatenurga all, et meie silm ei suuda seal enam peensusi näha. Vaatenurga suurendamiseks, seega kaugel olevate esemete paremaks vaatlemiseks tarvitatakse pikksilma.

Ehituselt lihtsamad on astronoomiline ehk Kepleri pikksilm. See pikksilm koosneb kahest kumerläätses, nimelt: suurema tulipunktaugusega objektiivist ja lühema tuli-



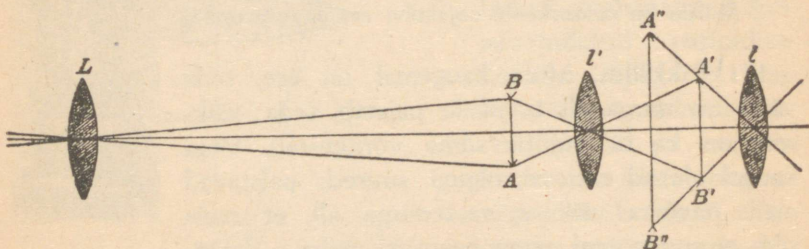
172. joon. Mikroskoobi väline kuju.



173. joon. Astronoomiline pikksilm.

punktikaugusega okulaarist. Vaatlemisel pikksilmaga asetseb okulaar otse silma ees, kuna objektiiv on pööratud vaadeldava eseme poole. Objektiiv l annab kaugel olevast esemest AB fookuse lähedal väikese vastupidise tõelise kujutise A_1B_1 , mida vaatame okulaari L kui luubi abil. Silm näeb ebakujutist A_2B_2 , mis paistab meile palju suurema nurga all, järelikult ka suuremana ja selgema kui ese AB . Käärte käiku astroonoomilises pikksilmas selgitab joonis 173.

Kaugete maapealsete esemete vaatlemiseks ei ole niisugune pikksilm otsustav, sest ta annab vastupidised kujutised, mis segab vaatlemist. Et päripidist esemete kujutist saada, pööratakse kolmanda kumerlääts l' abil objektiivist saadud kujutis AB enne ümber ja vaadeldakse seda ümberpööratud

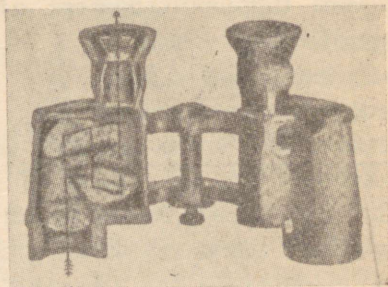


174. joon. Maapikksilm.

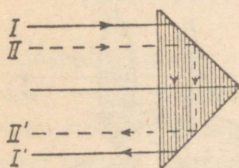
tud kujutist okulaari l kui luubi abil (joon. 174). Niisugust pikksilma kutsutakse maapikksilmaks ehk kiikriks. Maapikksilma suureks puuduseks on ta pikkus, mis teeb ta käsitsemise ebasobivaks.

Kahe silmaga vaatlemiseks tarvitatakse kahest pikksilmast moodustatud riista, mida nimetatakse binokliks.

Praegusajal tarvitatakse peamiselt prismabinoklit. See riist koos-



176. joon. Prismabinokkel.



175. joon. Käärte käik täisnurkses prisma.

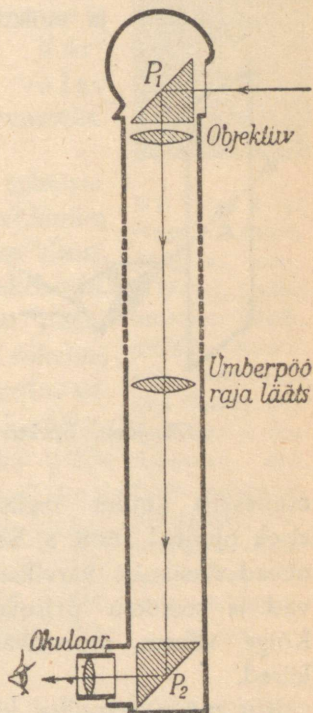
neb kahest astronoomilisest pikksilmast, milles kujutis pööratakse ümber kahe täisnurkse prisma abil.

Täisnurkse prisma tarvitamine siin põhineb järgmisel nähtusel.

Katsed näitavad, et klaasi seest klaasi välispinnale langenud valguskiired peegelduvad täielikult klaasi tagasi, kui langemisnurk on suur, üle 43° . Säärast peegeldust nimetatakse täielikuks sisepeegelduseks. Täielik sisepeegeldus toimub näiteks täisnurkses prismas, kui valguskiired langevad täisnurga vastas olevale tahule risti ja siis klaasis levides langevad seestpoolt klaasipinnale. Sel puhul on, nagu joonisest näha, langemisnurk 45° , seetõttu peegelduvad nad täieliku sisepeegelduse seaduse järgi tagasi. Teist korda peegelduvad nad teisel täisnurka moodustaval tahul ning nende suund on nüüd vastupidine esialgse suunaga.

Langevad 175. joonisel kujutatud täisnurksele prismale kiired I ja II , siis kahekordse täieliku sisepeegelduse tõttu muutub pealne kiir alumiseks ja alumine ülemiseks. Teises täisnurkses prismas, mille servad esimese prismaga risti, muutub samuti kahekordsel sisepeegeldumisel vasem kiir paremaks ja parem vasemaks. Seega kaks teineteisega risti asetatud täisnurkset prisma pööravad kujutise ümber. Kiire käiku prismabinoklis kujutab 176. joonis. Prismade tarvitamise tõttu on pikksilma torud lühikesed. Et prismabinoklis mõlemad objektiivid asetsevad teineteisest kaugemal kui silmad, siis on vaatlemisel sellega sügavuse ehk reljeefsuse tunne suurendatud.

Maapikksilm leiab rakendamist allveelaevade periskoopide ehitamisel, kus ta suur pikkus tuleb just kasuks. Et juhtida valguskiired püstloodis olevasse periskoopi, seks on riistal objektiivi ees täisnurkne ümberpöörav prisma, mis muudab kiirte käiku 90° võrra. Teine samasugune ümberpöörav prisma on okulaari ees, mis muudab kiirte käigu uuesti horisontaalseks. Periskoopi võib pöörata vertikaalse telje ümber.



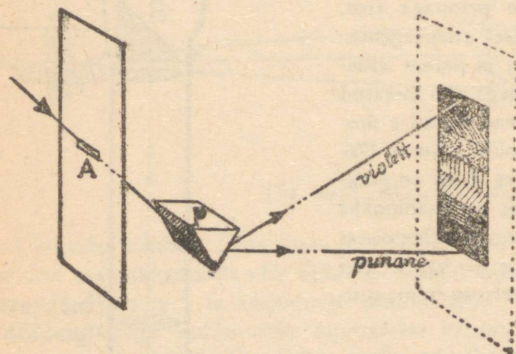
177. joon. Periskoop.

1. Kus tarvitatakse pikksilmi?

2. Kas lähema eseme vaatlemisel tuleb okulaari ja objektiivi vastastikust kaugust suurendada või vähendada?

Spekter.

132. **Valguse lahtumise.** Laseme pimedasse tuppa läbi väikese ava peenikese kimbu päikesekiiri. Kiirtekimbu teele asetame klaasprisma, mille serv on pööratud põranda poole. Kiirtekimp prismat läbides kaldub kõrvale ja annab vastasoleval seinal või ekraanil mitmevärvilise riba. Selles värvilises ribas alt ülespoole lugedes võib eristada järgmisi põhivärvusi: punane, oranž ehk ruuge, kollane, roheline, helesinine, sinine (indigo) ja violetne ehk lilla. Seda prisma abil saadud



178. joon. Spektri tekkimine.

värvilist riba nimetatakse päikesespektriks ja üksikuid värvusi selles spektri ehk viikerkaare värvusteks. Üleminek ühest põhivärvusest teise pole terav, vaid pidev, selle juures esineb veel hulk varjundeid.

Säärase katse tegi esimesena kuulus inglise teadusmees Isaac Newton [loe: aisek njuutn] 1666. a. See katse näitab, et päikesekiired koosnevad üksikuist värvilistest kiirtest, mis igaüks eri viisi murduvad ja seetõttu prismast läbi minnes üksteisest eralduvad. Kõige vähem murduvad punased, kõige rohkem violetsed kiired.

Kui mõne värvilise kiire prismast uuesti läbi laseme, kaldub ta küll kõrvale prisma aluse poole, kuid ei muuda enam

oma värvust. Tähendab, spektri värvused on liht- ehk algvärvused, milledest koosneb valge kui liitvärvus. Tahame seitsmest spektri värvusest saada valget värvust, asetame prisma taha koondava läätse, millest läbi minnes värvilised kiired koonduvad ja annavad meile valge täpi.

Ka teisel teel võime värvilistest kiirtest saada valget värvust. Võtame ringi, mis koosneb vikerkaarevärvilistest sektoritest, ja paneme ta kiiresti pöörlema. Nüüd paistab ring meile valgena, sest muljed üksikuist värvusist liituvad kiirel pöörlemisel ühte ja annavad valge värvuse.

Valge kiire annavad liitumisel ka punane ja roheline, ruuge ja taevassinine, kollane ja sinine kiir. Värvusi, mis liitumisel annavad valge värvuse, nimetatakse täiendusvärvusteks.

133. Värvilised kehad. Asetame eelmises paragrahvis kirjeldatud katses valguskiirte kimbu teele enne prismast läbiminemist punase klaasi, siis jääb mitmevärvilisest spektrist ekraanile järele ainult punane värvus; roheline klaasi asetamisel jääb spektrist järele ainult roheline värvus, jne., kuna teised värvused puuduvad. Seega punane klaas neelab kõik teised värvused peale punase, kollane klaas kõik peale kollase jne. Üldse läbipaistvad värvilised kehad lasevad läbi ainult osa spektrivärvusi, teise osa neist ära neelates. Seepärast paistavad läbi punase klaasi vaadates kõik punased ja valged kehad punastena, teised kõik aga mustadena.

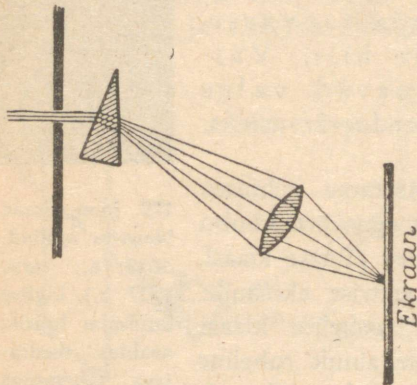
Võtame nüüd värvilise läbipaistmatu keha, näiteks tükikese punast riidet või paberit, ja asetame ta spektririba peale punase



179. joon. Isaac Newton (sünd. 1643. a., surn. 1727. a.), inglise kuulsaim füüsik, avaldas teedrajava tähtsusega töid füüsika, astronoomia ja matemaatika alal. Esitas mehaanika põhilauseid, gravitatsiooniseaduse, avastas valguse lahutamise jne.

värvuse kohale. Keha paistab punasena. Sedasama punast keha teiste spektrivärvuste kohale asetades paistab ta meile mustana. Tähendab, valges ja punases valguses paistavad meile punased läbipaistmatud kehad punastena, igas teises valguses aga mustadena, sest et punane pind tema peale langevad mitte-punased kiired ära neelab ja ainult punaseid hajutab. Kollane pind hajutab ainult tema peale langevaid kollaseid kiiri, kõik teised neelab ta ära, jne. Valge pind hajutab, must keha neelab kõiki kiiri ühte viisi.

Üldse läbipaistmatud värvilised kehad peegeldavad tagasi ainult osa spektrivärvusi, teise osanad neelavad ära.



180. joon. Kumerlääts liidab spektrivärvused uuesti kokku.

Muidugi, osa kehapinnale langevaid kiiri peegeldub otsekohe selle keha välispinnalt, kuid suurem osa tungib keha õhukese pindkihi sisse. Pindkihist väljub ainult väike osa kiiri, milledest on selle keha värvus. Mida väiksem keha, seda suurem on pinnalt peegeldunud kiirte hulk võrreldes nende kiirtega, mis sügavamalt pinna alt tu-

levad, ja kus puuduvad kiired, mis antud keha ära neelab. Seepärast paistavad meile vaht ja väikesed jääkübemekesed (lumi) valgetena, kuna aga vesi ja jää on hoopis teist värvi.

Nimeta mõned ained, mis pulbrina teissugused välja näevad kui tükis!

Taeva sinine värvus on sellest, et õhku läbides päikesekiirtest hajuvad peamiselt sinised kiired, kuna näiteks punased kiired takistamatult õhust läbi pääsevad, sest punaseid kiiri hajutab õhk vähe.

1. Mispärast säravad kastetilgad mitmevärviliselt?
2. Millega võiks vikerkaare tekkimist seletada?
3. Mispärast sinetatakse pesu?
4. Mispärast on päike tõusu ja loojamineku ajal punane, iseäranis siis kui õhk on hästi niiske?

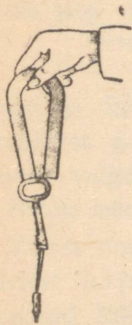
Magnetism.

Magnetilised põhinähtused.

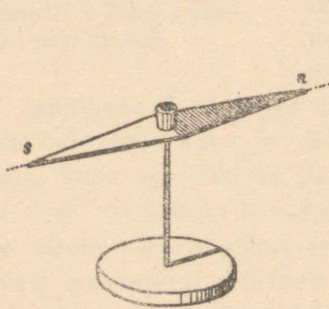
134. Magnet. Rootsis, Norras, Nõukogude Liidus ja mujal leidub maapõues rauamaaki, millel on omadus tõmmata enda külge raua- ja terasetükke ning neid seal kinni hoida. Niisugust rauamaaki nimetatakse **magnetrauakiviks** ehk **loomulikuks magnetiks**.

Magnet oli tuntud juba õige ammu hiinlastele, samuti ka vanadele kreeklastele. Magnetrauakivi leidsid kreeklased Väike-Aasias, Magneesia linna lähedal, mille järgi hakatigi kutsuma seda isesuguste omadustega kivi magnetiks ja seda magnetrauakivi omadust magnetismiks.

Loomulikule magnetile külge puutudes omandavad ka raud ja teras magnetilised omadused: nad tõmbavad enda külge raud- ja terasasju. Raud kaotab magnetilised omadused kohe, kui ta



181. joon. Magnet.



182. joon. Magnetnõel.

magnetist eemaldada, teras seevastu hoiab saadud omadused alal. Sel teel on võimalik terast muuta magnetiks ehk magnetiseerida. Niiviisi magnetiseeritud terast nimetatakse **kunstlikuks magnetiks**. Kunstlikkudele magnetitele

antakse tavaliselt kas varva või hobuseraua kuju. Õhuke-
sest terasplekist valmistatud piklikku, harilikult teravate ots-
tega magnetit, mida võib asetada ka teravikule, nimetatakse
magnetnõelaks (182. joon.).

1. Kuidas saab hõlpsasti kokku korjata lauale või põrandale kukkunud
rauapuru?

2. Kuidas võib hõlpsasti eraldada rauapuru vasepurust?

135. Magneti poolused. Magnetit rauapurusse või peeni-
kestesse raudnaeltesse asetades näeme, et mitte kõik magneti
osad ei tõmba raud- ja terasasju ühe ja sama tugevusega kül-
ge. Magneti otste külge jääb rauapuru või raudnaelu suurel
hulgal, kuna keskmine osa on sellest vaba. Magneti otsi, kus
külgetõmbetung on kõige suurem, nimetatakse **magneti poo-
lusteks**.

Riputame magneti niidi otsa või asetame ta teravikule, nii
et ta vabalt võib oma keskkoha ümber pöörduda, siis võtab
magnet pärast mõningaid võnkumisi ühele ja teisele poole
alati kindla suuna, kusjuures üks poolus näitab põhja, teine
lõuna poole. Seda poolust, mis
suunatud põhja, nimetame
põhjapooluseks, seda, mis suu-
natud lõunasse, **lõunapoolu-
seks**. Igal magnetil on seega



183. joon. Magneti poolused.

kaks poolust, põhja- ja lõunapoolus. Neid märgitakse sageli
tähtedega N (põhjapoolus) ja S (lõunapoolus).

Lähendades magneti põhjapoolust teravikul asetseva mag-
netnõela põhjapoolusele näeme, et magnetnõela poolus liigub
magnetist eemale. Lähendame aga magneti põhjapoolust mag-
netnõela lõunapoolusele, siis liigub magnetnõel sellele lähema-
le. Korrates sama katset magneti lõunapoolusega näeme, et
see tõmbab magnetnõela põhjapoolust ja tõukab selle lõuna-
poolust. Siit järeldame, et **samanimelised magnetipoolused**
**tõukavad teineteist eemale, isanimelised aga tõmbavad tei-
neteist külge.**

Lähendame teravikule asetatud magnetnõela magnetiseerimata pehmest rauast varva otsale: raud tõmbab magnetipooluse külge, seejuures tõmbab ta ühte viisi mõlemat poolust. Seega magnetipooluse ja raua mõju on vastastikune. Kirjeldatud katse õnnestub ka siis, kui magneti ja rauatüki vahele asetada pappi klaasi, puud jne. Ainult raud- või terasplaadi vaheleasetamine vähendab magneti mõju.

Peale raua ja terase tõmbab magnet veel niklit ja koobaltit.

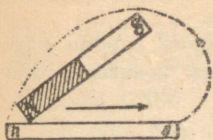
Kunstliku magneti valmistamiseks on kohasem karastatud teras. Eriti tugevaid magneteid saab nn. volfram- ja koobaltterasest, s. o. terasest, mis sisaldab pisut volframit või koobaltit. Üldiselt on kunstlikud magnetid palju tugevamad kui loomulikud magnetid.

Uuemal ajal on leiutatud metallide sulamid, mida on võimalik palju tugevamini magnetiseerida kui terast. Need sulamid koosnevad peale raua niklist, koobaltist ja alumiiniumist. Üks liik sääraseid sulameid on tuntud õrstiidi nime all.

136. Magnetiline induktsioon. Võtame pehmest rauast pulga ja kinnitame statiivi külge. Lähendame raua ülemisele otsale magneti põhjapooluse (N). Nüüd näeme, et raud muutus magnetiks, mis selgub rauapuru külgetõmbamisest. Magnetnõelaga järele katsudes leiame, et otsas, mis põhjapooluse lähedal, on lõunapoolus, vastasolevas otsas põhjapoolus. Eemaldades magneti pooluse kaotab raudpulk oma magnetilised omadused. Niisugust nähtust, kus magneti pooluse mõjul pehme raud ise ka magnetiks muutub, nimetatakse **magnetiliseks induktsiooniks**. Ka teraspulka võime samal viisil magnetiliseks teha, ainult selle vahega, et teraspulk mõjuva pooluse eemaldamisega oma magnetilisi omadusi ei kaota, vaid need kauemat aega püsima jäävad.

137. Magnetiseerimine. Teraspulga magnetiseerimine toimub tugeva kunstliku magneti abil. Seks asetatakse magnetiseeritav pulk lauale ja tõmmatakse magneti ühe poolusega, näiteks

N-poolusega, magnetiseeritava teraspulga pinda mööda teraspulga ühest otsast teiseni, nagu see kujutatud 184. joonisel. Seda korratakse mitu korda, viies magnetit läbi õhu sama otsa juurde tagasi. Seejuures tekivad teraspulga otstes poolused, teisenimelised neile poolustele, milledega nende peale tõmmati. Niiviisi võib magnetiseerida lõpmatu hulga uusi magneteid, ilma et seejuures magnetiseeriv magnet nõrgeneks.



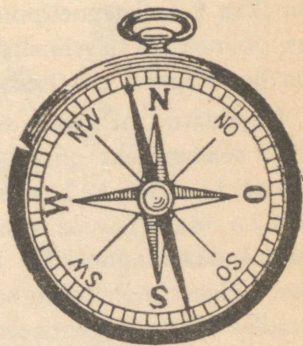
184. joon. Magnetiseerimine.

Magnetiseerida võib terast ainult teatud piirini (magnetilise küllastuseni). Kauase seismisega nõrgeneb magnet. Samuti nõrgeneb magnet pörutamisega.

138. Kompas. Teravikule asetatud magnetnõel, mis vabalt võib pöörelda, näitab alati põhja—lõuna sihti. Seda magnetnõela omadust kasutataksegi ilmakaarte määramiseks. Riista, mida seks otstarbeks tarvitatakse, nimetatakse **kompassiks**. Kompas koosneb ümmargusest karbist, mille keskkoha teraviku otsa on asetatud magnetnõel, nii et see vabalt võib seal pöörelda. Karbi põhja on joonestatud ilmakaarte jaotised. Tavaliselt on magnetnõela põhjapoolus värvitud siniseks. Kompassi tarvitamisel pööratakse kompassi karpi nii, et magnetnõela põhjapoolus oleks jaotise N kohal. Ilmakaared loetakse siis otseselt karbi astmikult.

Kompassi tarvitavad eeskätt merimehed laevade juhtimisel. Samuti kasutavad kompassi teekäijad rännakuil tundmatuis kohtades, eriti siis, kui ei paista päike.

Kompas oli vanas Hïinas tuntud juba ammu enne meie ajaarvamise algust, kus teda kasutati reisudel, eriti kõrves. Eurooplastest tutvusid kompassiga esimestena itaallased 13. või 14. sajandil ning

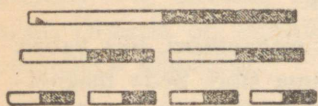


185. joon. Kompas.

rakendasid seda laeva sõidusuuna (kursi) määramisel pilvise või uduse ilmaga, samuti ka õösel. Suurte maade-avastamiste ajal oli kompass juba üldiselt tarvitusel reisudel meredel.

Algul tarvitati kompassina puuristi abil veepinnale ujuma pandud magnetnõela. Hiljem asetati magnetnõel teravikule, millega kompassile anti praegune kuju.

139. Magneti poolitamine. Molekulaarmagnetid. Magneti-seerime teras-sukavarda tugeva magneti abil. Rauapuru, samuti ka magnetnõela abil võime näha, et tal on kaks magnetilist poolust, ühes otsas põhjapoolus, teises otsas lõunapoolus. Murrame magnetiseeritud varda keskelt pooleks ja pistame mõlemad pooled rauapurusse. Sealt



186. joon. Magneti poolitamine.

neid välja võttes näeme, et kummagi poolel on jälle kaks poolust, sest kummagi poole otste külge on jäänud rauapuru. Ka magnetnõela abil võib näha, et igal vardaosal on kaks poolust. Seega murdumiskohal

tekkis juurde kaks uut poolust, üks põhja-, teine lõunapoolus, nii et igal poolel on oma põhja- ja oma lõunapoolus. Niiviisi magneti poolitamist jätkates saame magnetid, millel on ikka kaks magnetipoolust. Ühe poolusega magneti saamine on võimata. Väikseimalgi magneti osal on kaks poolust, seega on iga magneti osa iseseisev magnet.

Kirjeldatud nähtuste, samuti ka raua ja terase magnetiseerimise seletamiseks on püstitatud järgmine oletus: iga magneti, samuti ka raua ja terase väikseimad osakesed (molekulid) on iseseisvad magnetid. Neid magneteid nimetatakse **molekulaarmagneteiks**. Seega iga magnet koosneb väga suurest hulgast molekulaarmagneteist, mis on korraldatud teatavas kindlas sihis. Magnetiseerimata rauas ja terases on molekulaarmagnetid korraldamata olekus, mistõttu nende mõju vastastikku hävib. Magnetiseerimisel tugeva magneti mõjul korralduvad molekulaarmagnetid nagu väikesed magnetnõelad, nii et kõikide

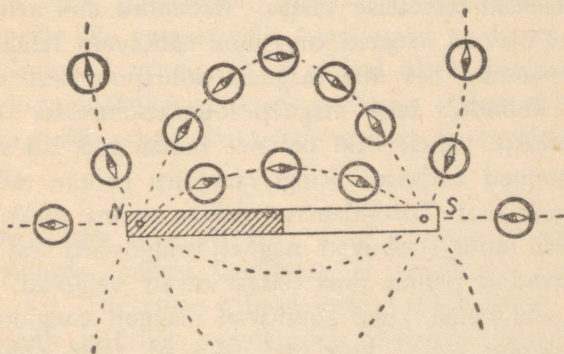
molekulaarmagnetite põhjapoolused on suunatud ühele poole, lõunapoolused teisele poole. Pehmes rauas on molekulaarmagnetid kergesti liikuvad, mistõttu pehmes rauas nad kohe korraldamata olekusse satuvad, kui kaob välise magneti mõju.

Terases aga on molekulaarmagnetite liikumine takistatud, seetõttu hoiab teras oma magnetilised omadused kauemat aega alal. Seda oletust tõestavad muuseas järgmised nähtused. Magneti pörutamisega nõrgeneb magnet. Samuti nõrgeneb magnet, kui teda soojendada, sest temperatuuriga suureneb molekulaarmagnetite liikuvus. Kuumutamisel üle 700° kaotab teras täielikult magnetilised omadused.

Seevastu pörutamine magnetiseerimise ajal aitab kaasa magnetiseerimisele. Kauemat aega paigal seisnud raudkehad muutuvad maakera magnetivälja toimel nõrgalt magnetilisteks.

Magnetiväli.

140. Magnetiväli. Tungjooned. Võtame tugeva magneti ja hoiame tema ümber mitmesuguses kauguses tundlikku magnet-



187. joon. Magneti tungjooned.

nõela (kompassi). Siis võime tähele panna, et magnetnõel näitab magnetitungide mõjul igas kohas ise sihti (187. joon.).

Piirkonda, kus antud magnetitungid veel mõjuvad, nimet. selle **magneti väljaks**. Mida tugevam magnet, seda suurem ja tugevam on tema mõjupiirkond ehk magnetiväli.

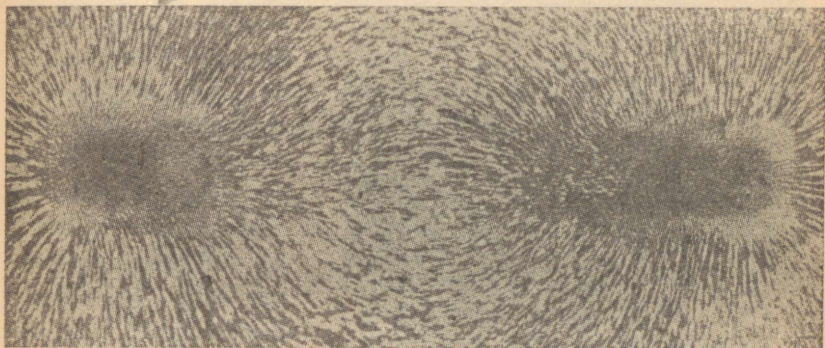
Magnetnõela abil otsustame magnetitungi sihi üle igas magnetivälja punktis. Sedaviisi magnetitungi sihte jälgides põhjapoolusest alates jõuame kõverjoont mööda lõunapooluseni. Kõverjoont, mis näitab magnetitungi mõjumise sihti, nimetatakse **magneti tungjooneks**. 187. joon. kujutab näitlikult magneti tungjooni magneti ümber.

Magneti tungjooni saab rauapuru abil kergesti nähtavaks teha. Selleks võtame magneti (mida tugevam, seda parem) ja katame paberiga või õhukese papiga. Puistame paberile võimalikult ühtlaselt rauapuru. Magnetivälja mõjul muutuvad rauapuru osakesed väikesteks magnetnõelakesteks, mis kõik, kui paberit pisut raputada, ketina magneti tungjoonte suunas asetuvad. Kokkuleppe põhjal loetakse seejuures magneti tungjoonte suunaks suund põhjapoolusest lõunapoolusesse.

Asetame lauale kaks magnetit nii, et nende isenimelised poolused asetseksid teineteise vastas. Rauapuru abil nende pooluste vahel olevaid magneti tungjooni nähtavaks tehes paneme tähele, et suurem osa ühe magneti põhjapoolusest väljuvaid tungjooni koondub teise magneti lõunapoolusesse. Asetades nende pooluste vahele tüki pehmet rauda, tõmbab see magneti tungjooned endasse. Kuigi rauapuru pehme raua kohal on suuremalt osalt korraldamata olekus, peame siiski oletama, et pehmesse rauda suubuvad magneti tungjooned seal ei katke, vaid jätkuvad ja pehme raua teisest otsast väljuvad. Seejuures rauas seal kohal, kuhu suubuvad magneti tungjooned, tekib lõunapoolus, kohal, kust nad väljuvad, tekib põhjapoolus. Nii võimegi seletada magnetilist induktsiooni.

Magneti poolitamisel nägime, et kunagi ei saa me ühe poolusega magnetit, vaid alati kahe poolusega, kusjuures, kui mur-

tud kohal ühel poolel tekib põhjapoolus, siis teisel poolel lõunapoolus. Siit võime järeldada, et magneti tungjooned ei katke



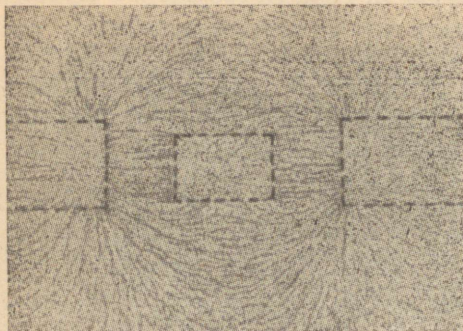
188. joon. Rauapuru abil nähtavaks tehtud magnetiväli.

ka magneti sees. Seega magneti tungjooned on suletud kõverad, mis väljuvad põhjapoolusest ja suubuvad lõunapoolusesse.

Asetame kaks ühenimelist, näiteks põhjapoolust teineteise vastu ja teeme siis magnetivälja tungjooned rauapuru abil nähtavaks. Seejuures näeme, et sel puhul ühelt pooluselt väljunud tungjooned tõukavad teiselt pooluselt väljunud tungjooni. Samasugune pilt esineb, kui asetame kaks lõunapoolust teineteise vastu.

141. Maakera magnetiväli. Vaba magnetnõel näitab alati kindlat suunda, millest järeldame, et Maakera ümber on magnetiväli. Täpsemad tähelepanekud näitavad, et rõhttasapinnas vabalt pöörleva magnetnõela siht ei ühti täpselt põhja—lõuna sihiga ehk geograafilise meridiaaniga. Nurka, mille moodustab magnetnõela siht geograafilise meridiaaniga, nimetatakse magnetiliseks deklinatsiooniks ehk käändeks. Selle järgi, kas magnetnõela põhjapoolus kaldub põhja—lõuna sihist ida või

lääne poole, räägitakse ida- või läänedeklinatsioonist. Mag-



189. joon. Raud magnetiväljas.

netiline deklinatsioon muutub kohaga Maakera pinnal: eri kohtades on ta ka eri suurune. Samuti muutub magnetiline deklinatsioon aja kestel. Eestis on praegu magnetiline deklinatsioon ligikaudu null. Õigemini esineb küll väike läänedeklinatsioon, mis kahaneb aastas umbes 8'.

Magnetnõela, mida tarvitatakse magnetilise deklinatsiooni määramiseks, nimetatakse ka deklinatsiooninõelaks.

Et magnetiline deklinatsioon Maakera eri kohtades on erisugune, seda pani esimesena tähele Kolumbus Ameerika avastamise retkel.

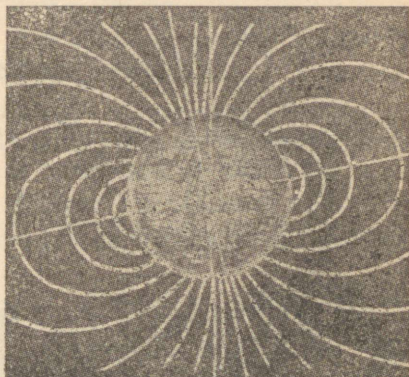
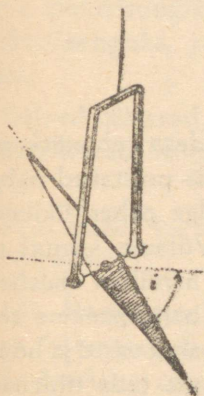
Võtame magnetnõela, mis võib vertikaal-tasapinnas vabalt pöörduda. Asetame nõela vertikaalsesse tasapinda, mis ühtib deklinatsiooninõela suunaga. Seejuures paneme tähele, et ta pole horisontaalne, vaid põhja-poolkeral on põhjapoolus, lõuna-poolkeral lõunapoolus kaldu alla maa poole. Nurka, mille moodustab magnetnõel horisontaal-tasapinnaga, nimetatakse magnetiliseks inklinatsiooniks ehk kaldeks. Tartus on magnetiline inklinatsioon ligikaudu 70°.

Magnetilise inklinatsiooni määramiseks eriti ehitatud magnetnõela nimetatakse inklinatsiooninõelaks.

Magnetiline inklinatsioon on Maakera eri kohtades ka eri suurune: magnetilisel ekvaatoril on magnetiline inklinatsioon null, Maakera põhjapoolmikul kaldub magnetnõela põhjapoolus, Maakera lõunapoolmikul magnetnõela lõunapoolus allapoole, ja seda rohkem, mida suurem on kaugus ekvaatorist. Tähelepanekud deklinatsiooni- ja inklinatsiooninõelaga näitavad, et Maakera on suur kerakujuline magnet.

Kohti, kus kaldenõel vertikaalselt asetseb, s. o. magneti kalle on 90° , nimetatakse Maakera magnetipoolusteks. Maakera kui magneti lõunapoolus asetseb Põhja-Ameerikas Boothia Felix'i poolsaarel (70° p.-l. ja 96° l.-p. Gr.), põhjapoolus aga Lõuna-Jäämeres lõuna pool Uus-Hollandit (72° l.-l. ja 155° i.-p. Gr.). Nii asetsevad Maakera magnetipoolused geograafiliste pooluste lähedal, kuid ei ühti viimastega.

Maakera magnetilise lõunapooluse avastas kapten Ross 1831. a. Põhja-pooluse avastas maadeuurija Shackleton 1909. a.



190. joon. Inklinatsioonõel.

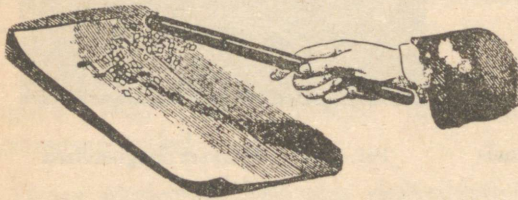
191. joon. Maakera magnetilised poolused.

1. Mispärast antakse magnetile sagedasti hobuseraua kuju?
2. Kuidas on võimalik magnetnõela abil määrata, kas antud rauatükk on magnetiseeritud või mitte?
3. Kuidas on võimalik määrata, kumb kahest antud täitsa ühesugusest teraspulgast on magnet?
4. Kuidas peab magnetid kokku panema, et nende mõju kõige tugevam oleks?
5. Mispärast ei tehta kompassikarbikest rauast?

Elekter.

Hõõrdumiselekter.

142. Elektrilaeng. Hõõrume villase riidega eboniitkammi või kirjalakipulka ja lähendame ta siis lauale puistatud paberitükikestele: eboniitkamm tõmbab enda külge paberitükikesed, kust need veidi aja pärast alla langevad. Võtame samuti riba



192. joon. Villase riidega hõõrutud eboniitpulk tõmbab paberitükikesed külge.

harilikku ajalehepaberit, paneme sooja ahju vastu ja hõõrume teda riideharjaga. Kui ahi on küllalt soe ning tuba kuiv, siis võime tähele panna, et juba mõne harjatõmbe

järel paber jääb ahju külge kinni ja iseendast maha ei lange. Paberit ahju küljest äratõmbamisel kuuleme nõrka raginat. Kui seda teha pimedas toas, siis võib äratõmbamiskohal tähele panna kogni väikesi sädemekesi. See pole veel kõik. Hõõrumisel on ajalehepaberist riba mitmed uued omadused saanud: ta jääb seinakülge igas kohas kinni, tõmbab enda külge kergeid asjakesi, näiteks paberiraasukesi, ja kui teda käes hoida keskest, siis tõukavad otsad teineteist eemale. Seda erilist olekut, millesse viisime hõõrumisega eboniitkammi ja pabeririba, nimetatakse elektriliseks olekuks ja selle oleku põhjust elektriks.

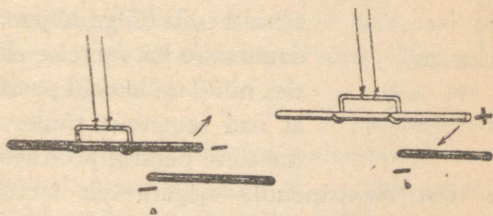
Eriti selgesti esinevad need nähtused klaaspulgal, kui teda hõõruda amalgaamitud nahaga. Et merivaik hõõrumisel saab erilised omadused, seda teadsid juba vanad kreeklasted. Kui uuemal ajal (umbes a. 1600) hakati neid nähtusi jälle tähele panema, siis nimetati neid nähtusi merivaigu kreeka keelse nimetuse järgi (*elektron*) elektrilisteks.

Nimetame elektrilise keha külgetõmbamise põhjust **elektritungiks**, elektri hulka, mis seda elektritungi tekitab, **elektrilaenguks**, ja kehale elektrilaengu andmist — **laadimiseks**.

Katsed näitavad, et hõõrdumise teel omandavad elektrilaengu paljud kehad, näiteks merivaik, väävel, kirjalakk, siidriie.

Mida kuuled, kui kammid kuivi juukseid eboniitkammiga? Mis on selle põhjuseks?

143. **Positiivne ja negatiivne elekter.** Riputame villase riidega hõõrutud eboniitkammi või -pulga 193. joonisel kujutatud konksu otsa ja lähendame sellele siis teise, samuti hõõrumisega elektriseeritud eboniitpulga: paneme tähele, et need tõukavad teineteist eemale. Samuti eemalduvad teineteisest kaks klaaspulka, mis hõõrutud amalgaamitud nahaga. Seevastu hõõrutud eboniitpulk ja klaaspulk tõmbuvad teineteist lähemale.



193. joon. Tõukumine ja tõmbumine.

Seevastu hõõrutud eboniitpulk ja klaaspulk tõmbuvad teineteist lähemale.

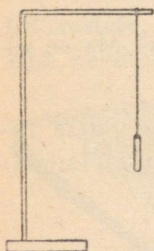
Samasuguseid katseid korrates elektrilaengutega, mis saadud mitmesuguste teiste kehade hõõrumisel, leiame, et need kas tõukavad klaaspulga elektrilaengut ja tõmbavad eboniitpulga laengut või, vastuoksa, tõmbavad klaaspulga laengut ja tõukavad eboniitpulga laengut.

Sellest järeldame, et on ainult kahte liiki elektrit: üks, mis tekib klaaspulgal, kui teda hõõruda amalgaamitud nahaga, ja teine, mis tekib eboniitpulgal, kui teda hõõruda villase riidega.

Klaasielektrit nimetatakse veel **positiivseks**, eboniidielektrit **negatiivseks**.

Kokkuvõttes saame seaduse: kaks ühenimelist elektrilaengut tõukavad teineteist eemale, kaks isenimelist aga tõmbuvad teineteise poole.

144. Elektrilaengu edasiandmine. Elektrilaengut võib üle anda ka teistele kehadele. Selle näitamiseks tarvitame kahte elektripendlit, mille valmistame järgmiselt. Õhukesest siidpaberist keerame kokku torukujulise silindri ja seome selle siis siidniidi otsa. Siidniidi teise otsa seome kõveraks painutatud klaastoru külge, mis on kinnitatud alusele (194. joon.). Lähenedes ühele elektripendlile elektriliselt laetud klaaspulka näeme, et ta algul tõmbab elektripendli silindri enda külge, hiljemini tõukab eemale. Kor-



194. joon.
Elektripendel.

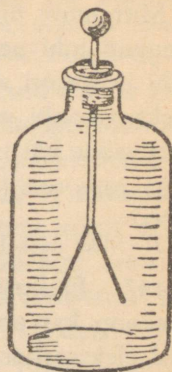
dame sama katset teise elektripendliga. Lähenedes nüüd mõlemaid pendleid teineteisele näeme, et nad teineteist tõukavad. Kui aga puudutame ühte pendlit positiivselt laetud klaaspulgaga ja teist elektripendlit negatiivselt laetud eboniitpulgaga, siis näeme, et nad teineteist lähemale tõmbavad. Neist katseist järeldame, et keha võib omandada elektrilaengu kokkupuutumisel teise elektrilise kehaga.

Miks puusöe-tükikesed alguses elektrilisele kehale külge tõmbuvad, pärast aga eemalduvad?

145. Elektroskoop. Kas antud kehal on elektrilaeng või mitte, seda võib määrata **elektroskoobi** abil. Elektroskoobid on ehituselt väga mitmesugused, kuid kõik nad põhinevad nähtusel, et kaks ühenimelise elektrilaenguga laetud keha tõuka-

vad teineteist eemale. Uhte niisugust lihtsat elektrooskoopi kujutab 195. joon. Selle tähtsamaks osaks on metallvarb, mille alumise otsa küljes ripuvad õhukesed siidpaberist või metallist (kullast või alumiiniumist) lehekesed. Metallvarb läbib eboniidist või merivaigust korgi, mis suleb klaasanuma pudelikujulise kaela.

Tõmbame elektriseeritud kehaga, näit. klaaspulgaga, mööda elektrooskoobi metallvarba. Kokkupuutumisel läheb osa elektrit varva peale, varva kaudu lehekestesse — ja lehekesed lähevad laiali. Mida tugevamini on elektrooskoop laetud, seda kaugemale teineteisest lähevad elektrooskoobi lehekesed.



195. joon.
Elektrooskoop.

146. Juhid ja mittejuhid. Puudutame laetud elektrooskoobi-kuulikest käega. Lehekesed langevad kohe alla. Elektrilaeng kadus elektrooskoobist. Puudutamisel ühendasime elektrooskoobi keha abil maaga. Elektrooskoobis olev elekter läks keha kaudu maasse ja maa peal olevasse esemesse. Elektrooskoopi jäi elektrit niivõrd vähe, et ta ei suuda enam lehekesi laiali ajada.

Kirjeldatud elektrooskoobi tühjendamiseviisi nimetatakse maandamiseks. Maandamise katsest järeldub, et on kehi (metallvarb, inimese keha, maa), mida mööda elekter ülikiiresti edasi läheb. Niisuguseid kehi nimetatakse **elektrijuhtideks**. Et kehi elektri juhtivuse suhtes järele katsuda, seks võtame laetud elektrooskoobi ja katsume temast elektrit mitmesugusest materjalist esemete abil (puu, kivi, kriit, riie jne.) maasse juhtida. Katsed näitavad, et **head elektrijuhid** on kõik metallid, maa, süsi, loomad, taimed jne.

Halbade elektrijuhtide ehk mittejuhtide hulka kuuluvad: klaas, kautšuk, kirjalakk, merivaik, siid, parafiin,

pigi, väävel, õlid, portselan, tühi ruum, destilleeritud vesi, õhk jt.

Mittejuhte nimetatakse teisiti **isolaatoreiks**. Tahame elektrilaengud juhi peal hoida, et ta maasse ei läheks, siis peame selle juhi isolaatori abil maast eraldama ehk isoleerima. Nii on elektrooskoobi metallvarb ühes lehekestega isoleeritud eboniidi, merivaigu või mõne teise isolaatori abil.

1. Miks võib hõõrumisel elektriseerida ainult isolaatoreid ja isoleeritud juhte?

2. Miks niiskelt elektrooskoobilt laeng kiiresti ära kaob?

147. Elektrilaengute neutraliseerimine. Kui laadida elektrooskoop kas positiivselt või negatiivselt ja siis ühendada laetud elektrooskoop metallvarda kaudu teise samasuguse, laadimata elektrooskoobiga, siis jaotub elektrilaeng mõlema elektrooskoobi vahel. Kui laadida üks elektrooskoop positiivselt, teine elektrooskoop negatiivselt, nii et mõlemad elektrooskoobid annavad ühesuurused hälbed, siis mõlemat elektrooskoopi metallvarda abil ühendades kaovad laengud elektrooskoopidest. Siit järeldame, et kaks ühesuurst vastunimelist elektrilaengut hävitavad vastastikku teineteist, nad neutraliseeruvad.

Kui laadida üks elektrooskoop positiivse elektrilaenguga, teine negatiivse elektrilaenguga, kuid mitte ühesuurse hälbeni, milline laeng jääb siis elektrooskoopidele pärast nende ühendamist metallvardaga?

148. Elektri loomusest. Hõõrumisega võime tekitada mistahes hulga positiivset ja negatiivset elektrit. Sellest võime järeldada, et igas kehas on olemas määratu suurel hulgal positiivset ja negatiivset elektrit, mis keha mittelaetud olekus on neutraliseeritud. Seetõttu pole nende olemasolu märgatav.

Uurimused näitavad, et aine algosake ehk aatom koosneb positiivsest elektrilaengust, mis on seotud aatomi massiga, ja niisama suurest negatiivsest elektrilaengust. Negatiivse laengu algosakesi nimetatakse elektronideks. Elektronid võivad esineda ka iseseisvalt, vabana ainst, mille poolest negatiivne elekter erineb positiivsest elektrist.

Selle oletuse järgi omab keha negatiivset elektrilaengut, kui tal on elektronide ülejääk, s. o. negatiivset elektrit on rohkem kui positiivset; positiivset elektrilaengut omab keha, kui tal on elektronide puudujääk.

Kui näiteks amalgaamid nahaga hõõruda klaaspulka, siis, nagu katse näitab, omandab klaaspulk positiivse elektrilaengu, amalgaamid nahk niisama suure negatiivse elektrilaengu. Hõõrumisel rebitakse osa elektrone klaaspulgast lahti, mis lähevad üle amalgaamid nahale, seetõttu omandavadki klaaspulk ja nahk vastupidise märgiga, kuid võrdsed elektrilaengud.

149. Elektrilaengu asukoht. Laeme isoleeritud alusele asetatud metallkeha ehk nn. **konduktori**. Elektrilaengu asukoha määramiseks sellel tarvitame nn. **katsekuulikest**, milleks on isoleeriva pulga otsa kinnitatud väike metallkuul. Puudutades katsekuulikesega laetud metallkeha pinda, võtame sellelt puutekohalt elektrilaengu. Katsekuulikesele elektrilaengu anname edasi elektroskoobile, mille lehekese hälbe järgi otsustame isoleeritud kehalt võetud elektrilaengu suuruse üle. Sedaviisi metallkeha pinda järele katsudes leiame, et kõige rohkem elektrit on konduktori teravates servades, kuna kõige vähem on seda lohkudes. Puudutades katsekuulikesega silindrilist või kerakujulist õõnsat konduktorit, mis varustatud väikese avausega, paneme tähele, et sel puhul katsekuulike ei saanud mingit laengut. Sama katse näitab ka, et kerakujulise konduktori kõigist välispinna punktidest katsekuulikesega võetud laengud annavad elektroskoobil ühe ja sama hälbe, s. o. laengud on võrdsed.

Need ja teised sellekohased katsed näitavad, et elekter asub ainult konduktori välispinnal; kerapinnal on elektrilaeng ühtlaselt jaotatud, kandilisel kehal on kõige rohkem elektrit teravatel servadel, kõige vähem lohkudes. Eriti suured elektrilaengud on teravikkudel. Katsed näitavad, et teravikkude kaudu voolab elektrilaeng õhku. Elektriseeritud õhuosakesed tõugatakse samanimelisest elektrilaengust eemale, mistõttu tekib nn. **elektrituul**. Hoides teraviku ees umbes 1—2 m kaugusel elektroskoopi, annab elektrituul sellele laengu. Samuti kustutab elektrituul teraviku ees hoitud küünlaleegi. Konduktorid, millel on teravikud, kaotavad kiiremini elektrilaengu kui teravikuta konduktorid.

Laetud katsekuulikesega elektroskoopi puudutades antakse viimasele ainult osa katsekuulikesele laengust, osa laengut jääb aga katsekuulikesele. Ase-

tame elektrooskoobi peale kuuli asemel õõnsa metallanuma ja puudutame seda metallanumat laetud kuulikesega seestpoolt, siis annab katsekuulike kogu laengu elektrooskoobile. Nii on võimalik nn. sisemise puute teel anda kogu laeng ühelt kehalt teisele.

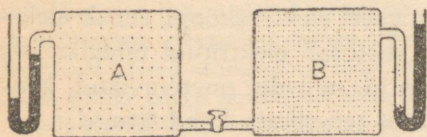
150. Elektri pinge. Laeme kaks ühesugust elektrooskoopi ühe ja sama elektriga nii, et nende lehekeste hälbed pole võrdsed, ja ühendame siis elektrooskoobid isoleeriva hoidjaga varustatud metallvardaga: kohe omandavad elektrooskoobid ühesuurused hälbed, kusjuures ühe elektrooskoobi lehekese hälve väheneb, teisel suureneb. Seega voolab osa elektrit ühelt elektrooskoobilt teisele.

Teame, et vesi voolab ühest anumast teise siis, kui veepinnad (tasemed) anumais pole ühekõrgused. Seejuures voolab vesi kõrgema tasemega anumast madalama tasemega anumasse. Gaasikraani avamisel voolab gaas selle kaudu välja seetõttu, et gaasi rõhk gaasitorustikus on pisut suurem kui väljasoleva õhu rõhk. Samuti nägime varemini, et soojus voolab kõrgema temperatuuriga kehast madalama temperatuuriga kehasse.

Analoogiliselt vee ja soojuse voolamisega on elektri voolamise põhjuseks ühelt kehalt teisele nende kehade erinev laadimisaste ehk elektri pinge. Elektri pinget võime võrrelda seega veepinna kõrguse ehk vee rõhu vahega. Samuti võime võrrelda elektri pinget gaasi rõhu vahega gaasitorustikus jne.

Olgu kahes anumast *A* ja *B* (196. joon.), mis ühendatud omavahel toru kaudu, õhurõhk erikõrgune, näiteks anumast *B* kõrgem ja anumast *A* madalam kui atmosfääri rõhk. Toru kraani avamisel voolavad molekulid anumast *B* anumasse *A* seni, kuni õhurõhk neis ühtlustub.

Samuti on kahe keha vahel pinget, kui nende laadi-



196. joon. Õhu voolamine.

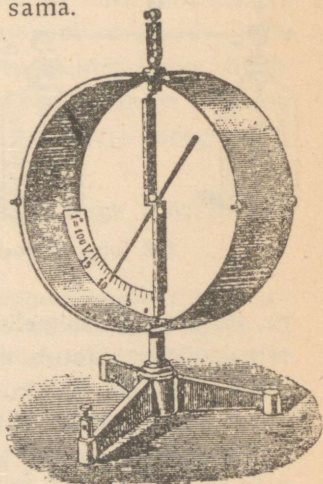
mis-aste pole ühekõrgune. Ühendades kaks eri pingeni laetud elektroskoopi metalljuhtmega, hakkab elekter voolama ühelt elektroskoobilt teisele, kuni nendevaheline pinge muutub nulliks.

Temperatuuri mõõdame termomeetriga, gaasi ja vee rõhku manomeetriga, elektri pinget võib mõõta elektroskoobiga. Seejuures positiivse elektrilaenguga laetud keha pinge loetakse positiivseks, negatiivse elektrilaenguga laetud keha pinge negatiivseks.

Et elektroskoop mõõdab mitte elektri hulka keha pinnal, vaid pinget, näitab järgmine katse. Ühendame katsekuulikesee peenikesse traadi kaudu kaugel oleva elektroskoobiga ja puudutame siis katsekuulikesega isoleerivale alusele paigutatud kandidilist keha, millele antud elektrilaeng. Vaatamata sellele, millises punktis me katsekuulikesega laetud keha puudutame, näitab elektroskoop ikka üht ja sama hälvet, olgugi et elektri jaotus kehal pole ühtlane, nagu varem nägime. Seega laetud elektrijuhi pinge on kõigis punktides üks ja sama.

Tarvitades sõna „pinge“ peame mees pidama, et pinge andmisel võrdleme keha elektrilist olekut mõne teise keha elektrilise olekuga. Keha pinget maa suhtes nimetatakse potentsiaaliks. Ka termomeetriga keha temperatuuri mõõtes, mõõdame ainult keha soojusastet, võrreldes termomeetri 0-kraadiga.

Elektri pinge ühikuks on volt (V), mis tuletatud itaalia füüsiku A. Volta nimest. 1 volt on võrdne ligikaudu nn. Danielli elemendi pooluste vahel oleva pingega. 1000 volti nimetatakse kilovoldiks (kV). Astmikuga varustatud elektroskoopi, mis näitab otseselt pinge suurust, nimetatakse

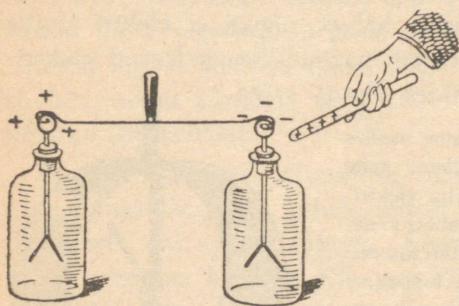


197. joon. Elektromeeter.

elektromeetriks. Ühte niisugust elektromeetrit kujutab 197. joon.

151. Mõjuelekter. Elektriliselt neutraalsed kehad omandavad elektrilaengud juba seega, kui nende lähedale tuua elektriliselt laetud kehad. Sel teel tekkinud elektrilaengut nimetatakse **influent-** ehk **mõjuelektri**ks.

Selle nähtuse lähemaks uurimiseks korraldame järgmise katse. Ühendame kaks elektroskoopi isoleeriva hoidjaga varustatud metallvardaga (198. joon.). Elektriseeritud klaaspulga lähendamisel lähevad lehekesed laiali, olgugi et me pulgaga otseselt elektroskoope ei puudutanud. Kui viia klaaspulk eemale, siis langevad mõlema elektroskoobi lehekesed. Kui aga eraldada mõlemad elektroskoobid metallvarda äravõtmisega enne klaaspulga eemaleviimist, siis jäävad mõlemale elektroskoobile elektrilaengud. Lähemalt nende laengute märke uurides leiame, et



198. joon. Mõjuelekter.

klaaspulgale lähemal elektroskoobil on klaaspulgal oleva elektrilaenguga võrreldes vastupidise märgiga elektrilaeng, kaugemal elektroskoobil samanimeline elektrilaeng. Kui enne klaaspulga eemaleviimist puudutada metallvardaga ühendatud elektroskoo-

pe, siis kaob samanimeline laeng sealt maasse. Pärast klaaspulga eemaleviimist jaotub isenimeline laeng mõlema elektroskoobi vahel ühtlaselt. Kokkuvõttes seega: laadimata konduktor omandab elektriliselt laetud keha lähendamisel elektrilaengud. Laetud kehale lähemal konduktori poolel tekib isenimeline elektrilaeng, kaugemal poolel samanimeline elektrilaeng. Viimane on vaba ja teda

võib maasse juhtida. Mõjuelektriga on seletatav, miks elektrooskoop laengut näitab, kui talle lähendada elektriliselt laetud keha.

Lähendame näiteks positiivselt laetud elektrooskoobile positiivselt laetud keha, siis suureneb elektrooskoobi lehekeste hälve, sest lisaks endisele positiivsele laengule tekkis elektrooskoobil influentsi tõttu positiivne laeng. Seetõttu suurenebki elektrooskoobi lehekeste hälve. Negatiivse laengu lähendamisel positiivselt laetud elektrooskoobile saame vastupidise nähtuse. Nii viisi on kerge määrata elektrooskoobil oleva laengu märki.

Influentsi tõttu võib anda elektrooskoobile laengu ka teda puudutamata. Kui lähendame laadimata elektrooskoobile näiteks positiivselt laetud keha, siis tekib elektrooskoobil influentsi tõttu lähemal poolel teisenimeline, kaugemal poolel samanimeline laeng ja elektrooskoobi lehekesed annavad hälbe. Hoides nüüd laetud keha elektrooskoobi lähedal paigal, puudutame sõrmega elektrooskoopi: seejuures juhime samanimelise, kuid vaba elektri maasse. Viies nüüd laetud keha elektrooskoobist eemale, jääb teisenimeline elektrilaeng vabaks, mistõttu elektrooskoop näitab uuesti laengut. Nii võime laadida positiivse laenguga elektrooskoopi negatiivselt, ja ümberpöörduvalt, negatiivse laengu abil võime elektrooskoopi laadida positiivselt.

Niisugust laadimisviisi tarvitatakse sageli väga tundlikkude elektrooskoopide puhul.

152. Influentsmasin. Mõjuelektril põhineb influentsmasina (199. joon.) tegevus. Masina ketta sektoril olevast väikesest elektrilaengust jätkub, et tekitada teise ketta sektoril, mis esimese läheduses mööda liigub, mõjuelektrit. Need omalt poolt laevad mõjuelektriga esimese ketta teised sektorid. Nii tekkinud elektrilaengud kogutakse masina konduktoreile.

Influentsmasin annab väga kõrge pinget. Selle mõõtmine tavalise elektroomeetri abil pole võimalik, viimane on selleks liiga väikese ulatusega. Kui masina ketast ümber ajada, siis tekib masina pooluste ehk konduktorite vahel kõrge pinget tõttu elektri üleminek elektrisädemena, mis võib olla

kuni 20 cm pikk. Seega kõrge pinge toimel kaotab õhk isoleerimisomaduse.

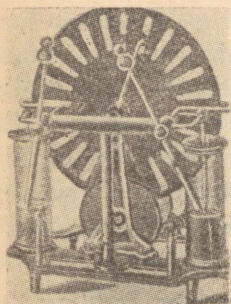
Elektrisädet saadavad järgmised nähtused ja toimed:

- 1) Valgusenähtus. Elektrisäde nagu välkki omab sakilist kuju ja sinakasvioletset värvust.
- 2) Ragin.
- 3) Soojusetoime. Eetriga niisutatud puuvillatükk süttib sädeme mõjul põlema.
- 4) Mehaaniline tegevus. Elektrisäde võib läbi lüüa papi, klaasi jne.
- 5) Füsioloogiline toime. Juhtides elektrisädeme näiteks kätte, tunneme iseloomulikku elektrilööki.
- 6) Keemiline toime. Õhus olev hapnik muutub osooniks (O_3), mida võib tunda erilise lõhna järgi.

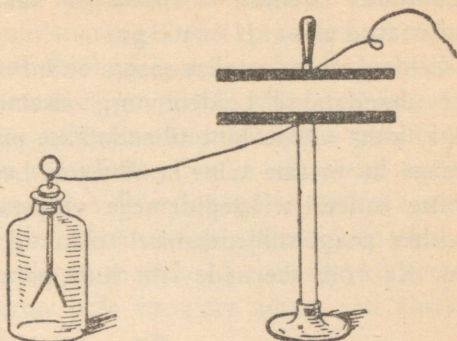
153. Kondensaator. Ühendame isoleerivale alusele asetatud metallplaadi traadi kaudu elektroskoobiga ja anname siis plaadile nii suure elektrilaengu, et elektroskoobi hälve oleks küllalt suur. Kui lähendame nüüd metallplaadile teise samasuguse metallplaadi, mis traadi kaudu maandatud, siis näeme, et mida lähemale toome isoleeritud plaadile maandatud metallplaadi, seda väiksemaks muutub elektroskoobi lehekeste hälve. Kui metallplaadid on teineteisele üsna lähedal (et nad teineteist ei puudutaks, selleks asetame nende vahele näiteks parafiiniriba), siis võib elektroskoobi hälve langeda nullini. Viime maandatud plaadid eemale, siis näitab elektroskoop sama hälvet, seega niisama kõrget pinget.

Seda nähtust võime seletada järgmiselt. Metallplaadil olev elektrilaeng tekitab maaga ühenduses olevas metallplaadis mõjuelektri laengud, lähemal poolel teisenimelise laengu, kaugemal poolel samanimelise elektrilaengu. Viimane kui vaba laeng voolab traadi kaudu maasse. Teisenimeline mõjuelektri laeng seob osa isoleeritud plaadil olevat laengut, mistõttu elektroskoobi leheke langeb.

Seega keha, mille lähedal asetseb teine maaga ühendatud keha, mahutab suurema elektrilaengu kui

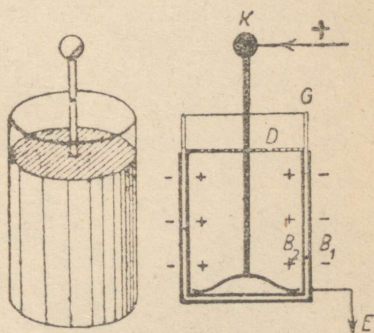


199. joon.
Influents-elektrimasin.



200. joon. Kondensaatori printsiip.

üksik metallkeha. Sel puhul öeldakse, et keha omab suuremat **elektrimahutavust**. Seadist, mis koosneb kahest isoleeriva kihiga eraldatud metallplaadist ja mille elektrimahutavus on suur, nimetatakse **kondensaatoriks**. Katsed näitavad, et kondensaatori elektrimahutavus oleneb plaatide suurusest, isoleeriva kihi paksusest ja isoleeriva kihi ainest. Näiteks kondensaator, milles isoleerivaks kihiks on parafiin, omab suuremat elektrimahutavust kui samasugune kondensaator, milles isoleerivaks kihiks on õhk.



201. joon. Leideni purk.

Tuntumaid ja vanemaid kondensaatoreid on **Leideni purk** (201. joon.). See koosneb silindrilisest klaasanumast, mille väline ja sisemine pind kuni $\frac{3}{4}$ kõrguseni on kaetud tinapaberiga. Ülemine vaba äär on

isolatsiooni suurendamiseks lakitud. Kaant moodustavad puu- või pappketast läbib metallvarb, mille alumine ots on ühenduses sisemise tinapaberiga, väline ehk ülemine ots on varustatud metallkuuliga.

Leideni purk laetakse seega, et influentsmasina üks konduktor ühendatakse Leideni purgi sisemise kihiga, s. o. metallkihiga, kuna väline kiht ühendatakse maaga, samuti ühendatakse maaga ka masina teine konduktor. Leideni purk tühjendatakse erilise isoleeriva käepidemega varustatud tühjendaja abil. Leideni purgi tühjendamisel tekkinud sädet saadab tugev rugin. Ka võib see säde läbi lüüa pappi, klaasi jne.

Õhuelekter.

154. **Välk.** Et välk on suur elektrisäde, seda näitas esimesena ameerika teadusemees B. Franklin aastal 1752.

Õhus on alati elektrit, nii selge kui ka pilves ilmaga. Seejuures on pilv selge ilmaga harilikult positiivselt, maa aga nega-



202. joon. Õine välk.

tiivselt elektriline. Äikesepilved on mõnikord positiivselt, teinekord jälle negatiivselt laetud. On pilvesse kogunenud suured elektrihulgad, siis tekib hiiglasuur elektrisäde, välk. Välguga üheaegne on alati müristamine, kuid et hääle levimiskiirus on väiksem kui valguse levimiskiirus, siis kuuleme müristamist pisut hiljem. Müristamist põhjustab välgu teel kuumenenud õhk, mis plahvatuse taoliselt suure kiirusega paisub.

Välk võib tekkida kahe pilve või pilve ja maapinna vahel. Tähelepanekuist teame, et kui välk tekib pilve ja maapinna vahel, siis lööb ta sisse harilikult kõrgematesse kohtadesse: tornidesse, postidesse, puudesse, majadesse, eriti aga kõrgetesse metallkehadesse. Seepärast pole soovitatav äikese ajal üksiku kõrge puu alla varju minna.

Välgu kestus on väga lühike, müristamine kestab sageli mitu sekundit. Kuidas seda nähtust seletada?

155. **Piksevarras.** Välk, tabades puid ja hooneid, purustab neid või süütab põlema, inimestesse ja loomadesse sattudes lööb need surnuks või uimaseks.

B. Franklin, kes esimesena näitas, et välk on elekter, leiutas ka abinõu hoonete kaitsemiseks pikse vastu, nimelt piksevarda. Piksevarras on jäme, terava otsaga mettallvarb. (Liiga peenike varb võib välgu mõjul kuumaks minna ja ära sulada.) Ta kinnitatakse maja katusele, torni otsa või mujale ja ühendatakse juhtme kaudu maaga. Kuiv muld on halb elektrijuht; seepärast asetatakse juhtme ots kas sügavasse märga mulda või lähedalolevasse kaevu, et elekter paremini võiks levida ja laeng varda otsa ei koguneks. Kui piksevarda kohale ilmub äikesepilv, mis on näit. positiivselt elektriline, siis tõmbab ta enda külge maapinna negatiivse elektrit; see läheb piksevarda teraviku kaudu õhku ja ühineb pilve elektriga. Nii jääb pikselöök tulemata või ilmub ainult nõrgal kujul. Piksevarras kaitseb ainult piirkonda, mille raadius võrdub piksevarda (vastuvõtva osa) pikkusega. Suurtel hoonetel on seepärast mitu pik-

sevarrast. Seejuures kõik hoones olevad suuremad metallimas-
sid, nagu keerdtrepid, vee- ja gaasitorustikud, tuleb ühendada
maaga.

Varemini arvati, et piksevarda ülemine ots ei tohi olla roostes, mispä-
rast see sageli oli kullatud. Uuemal ajal on leitud, et seda pole tarvis,
sest rooste just hõlbustab elektri üleminekut piksevarda teravikust õhku.

1. Millega seletada, et linnades pikseõnnetusi vähem juhtub kui maal?
2. Missuguseid ettevaatusabinõusid tuleb pikseõnnetuste ärahoidmiseks
tarvitusele võtta: 1) majas, 2) tänaval ja 3) lagedal väljal?
3. Kas võivad maja lähedal kasvavad kõrged puud, kuused, männid
jne. piksevarda aset täita?

Elektrivool ja selle omadused.

156. Elektrivoolu mõiste. Elektrivool on igapäevases elus
ja tehnikas laialdaselt rakendatud: elektrihõõglambis paneb
elektrivool peenikese metallniidi hõõguma, mida tarvitatakse
valgusallikana; triikraua kuumaks ajamiseks juhime triikraua
elektrivoolu läbi; elektrivoolu abil saadame teateid kauge maa
taha (telegraaf), jne. Elektrivoolu võime võrrelda, nagu juba
varemini nägime, veevooluga. Et vesi voolaks toru kaudu
ühast anumast teise, seks peavad olema veepindade kõrgused
(tasemed) anumais erisugused. Elektrivoolu tekkimiseks on tar-
vilik pinge: eripingeliste konduktorite ühendamisel tekib lüh-
hikese kestusega elektrivool. Et saada kestvat veevoo-
lu anumate vahel, tuleb pumbata vett ühest anumast teise,
s. o. hoida anumais alal veepindade kõrguste vahe. Et saada
kestvat elektrivoolu, on selleks tarvilik kestav elektripinge.

157. Galvaani element. Kestva elektrivoolu annavad sea-
dised, mis põhinevad järgmisel nähtusel.

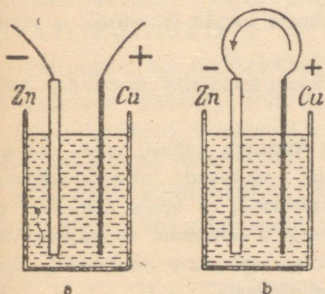
Asetame nõrka väävelhappe-lahusesse vask- ja tsinkplaadid.
Väga tundliku elektroskoobiga võib näidata, et vaskplaadil
on siis nõrk positiivne laeng, kui tsinkplaat ühendada
maaga, ja tsinkplaadil on nõrk negatiivne laeng, kui

vaskplaad maandada. Tsink- ja vaskplaadi vahel on nõrk pinge, umbes 1 volt. Ühendades vaskplaadi tsinkplaadiga metalltraadi ehk nn. juhtme kaudu, tekib selles kestev elektrivool.

Lahjendatud väävelhappesse asetatud vask- ja tsinkplaadi vahel hoiab pinge alal keemiline tegevus plaatide ja vedeliku vahel. Kestev pinge põhjustab ka kestva elektrivoolu. Siinkirjeldatud seadist, mis annab kestva elektrivoolu, nimetatakse **elektri- ehk galvaani elemendiks**. Põhjust, mis hoiab elektrielemendis alal pinge, nimetatakse **elektromotoorseks jõuks**. Elektromotoorse jõu suurust mõõdab pinge, seega selle ühikuks on volt (V).

Sõna „galvaani“ tuleneb itaalia loodusteadlase L. Galvani nimest, kes esimesena avastas nähtuse, millel põhineb galvaani element. Õige seletuse aga sellele nähtusele andis esimesena itaalia füüsik A. Volta.

Metallplaati, mis omab positiivset laengut (antud juhul vask), nimetatakse **anoodiks**, teist, negatiivselt laetud plaati nimetatakse **katoodiks**, mõlemaid aga elemendi **elektroodideks**. Seejuures nimetatakse vedelikust välja ulatuvate elekt-



203. joon.
Galvaani element
katkestatud ja suletud vooluringiga.

204. joon.
L. Galvani
(1737—1799).

röödide otsi, mil-
lede vahel on
elektripinge, —
poolusteks. Eris-
tatakse posi-
tiivset ja ne-
gatiivset poo-
lust vastavalt
nende pingele.

Katsed näita-
vad, et elemendi
elektromo-

toorne jõud ei olene elemendi plaatide suuru-
sest, vaid ainult elektroodide ja vedeliku ainesest.

Elektrimasina konduktoreid omavahel ühendades saame kestva elektrivoolu, kuid voolava elektri hulk on liiga väike, mistõttu sel teel tekkinud vool on nõrk.

Elektrivoolu suunaks loetakse kokkuleppe põhjal suunda positiivselt pooluselt negatiivsele poolusele.

158. **Voolu tugevus.** Veevoolu, samuti ka gaasivoolu tugevuse ühikuks on vee või gaasi hulk, mis 1 sekundi kestel läbi toru voolab. Nii avaldatakse sageli veevoolu tugevus kuupmeetrites või liitrites 1 sek. kohta. Analooiliselt võime defineerida ka elektrivoolu tugevust kui elektrihulka, mis 1 sek. kestel läbi juhtme voolab. Sel teel defineeritud elektrivoolu tugevuse ühikuks on 1 amper (A), mis tuletatud prantsuse füüsiku A. M. Ampère'i nimest. 0,001 amprit nimetatakse milliampriks (mA).

Elektrivoolu puhul me kujutleme, et miski, mida me elektriks nimetame, voolu allika ühelt pooluselt teisele voolab. Elektrivoolu võrdlesime vee või gaasi vooluga torudes. Siiski erineb elektrivool neist suuresti. Vee, samuti ka gaasi voolu torus võime nähtavaks teha, kui tarvitame klaastorusid ja sinna puistame kergeid kehakesi, näiteks korgipuru. Seevastu pole elektrivoolu üldse võimalik nähtavaks teha või teisel teel otseselt tajuda. Elektrivoolu olemasolu oletame ainult ta toimete kaudu (soojslik ja magnetiline toime).

Vaatlused ja katsed näitavad, et elektrivoolu kandjaiks metallides pole ka metalli molekulid.

Kui tarvitada elektrijuhtmena traati, mis koosneb kahest osast, näiteks vasest ja alumiiniumist (205. joon.), siis näitavad aastatepikkused vaatlused, et voolu läbimisel ei tungi alumiiniumi molekulid vasesse ega vase molekulid alumiiniumisse.

Uuemad uurimused viivad oletusele, et elektrivoolu metallides moodustavad metallides vabalt liikuvad elektri algosakesed ehk elektronid. Et elektronid omavad negatiivset elektrilaengut, siis elektronide liikumise suund on vastupidine suunaga, mis tehnikas kokkuleppe põhjal elektrivoolu suunaks on võetud. Seega voolavad elektronid negatiivselt pooluselt positiivsele poolusele.

159. **Galvaani elemente.** Eespoolkirjeldatud elektrielemente tegelikult ei tarvitata, sest nende pinge pole püsiv, vaid langeb tarvitamisel suuresti. Tarvitatavamad galvaani elemendid on järgmised.

Leclanché element. Selle katoodiks on tsink, anoodiks süsi, mida ümbritseb mangaani ülihapend. Vedelikuks on salmiagi-lahus. Leclanché elementi tarvitatakse elektrikõlistajates, telegraafiaparaatides jm. Ta pinge on 1,5 volti, kuid tarvitamisel langeb see pisut. Eriti tunduvalt langeb ta pinge siis, kui voolutugevus on suur.

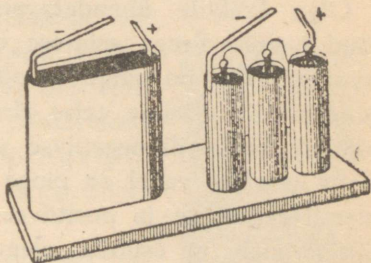
Kuivelement. See element on sarnane Leclanché elemendiga, ainult ta vedelik on saepuruga ja muu sellesarnase materjaliga paksuks pudruks muudetud. Tavaliselt on

kuivelement pealt kaetud pigiga. Kuivelemente tarvitatakse vooluallikatena telefoni- ja telegraafiaparaatides, elektrikõlistajais ja mujal. Laialdast tarvitamist leiab kuivelement ka elektri-taskulambis. Selles on vooluallikaks nn. taskulambi patarei, mis koosneb tavaliselt 3 kuivelemendist.

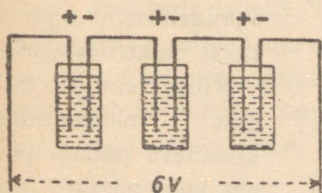
Lõhu tarvitatud taskulambi patarei ja vaata, millest koosnevad ja mis-kujulised on selle elektroodid.

Galvaani elementides muundub keemiline energia elektri-energiaks. Lõhkudes tarvitatud taskulambi patarei, leiame sel-

les kolm elektrielementi. Üksikute elementide tsinkelektroode järele vaadates paneme tähele, et need on „läbi põlenud“, s. o. tsink on ühinenud elemendi vedelikuga, kusjuures vabanenud keemilise energia arvel tekkiski elektrivool.



206. joon. Taskulambi patarei.



207. joon. Jadalülitus.

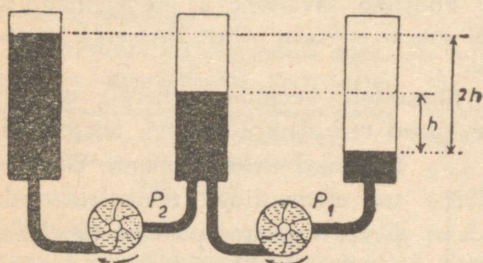
160. **Elektripatarei.** Kõrgemate pingete saamiseks lülitatakse mitu elementi järjestikku (jadalülitus), s. o. ühe elemendi positiivne poolus ühendatakse teise elemendi negatiivse poolusega, teise elemendi positiivne poolus kolmanda elemendi negatiivse poolusega jne. Seega jäävad vabaks esimese elemendi negatiivne poolus ja viimase elemendi positiivne poolus. Nende vahel olev pinge on võrdne kõikide elementide pingete summaga.

Olgu kõikide ühendatavate elementide elektromotoorsed jõud 1 volt. Seega esimese elemendi negatiivse ja positiivse pooluse vahel on pinge 1 volt. Et esimese elemendi positiivse pooluse ühendaksime teise elemendi negatiivse poolusega, siis esimese elemendi negatiivse pooluse ja teise elemendi negatiivse pooluse vahel on pinge ka 1 volt. Omakorda teise elemendi negatiivse ja positiivse pooluse vahel on pinge 1 volt. Siit järgneb, et esimese elemendi negatiivse pooluse ja teise elemendi positiivse pooluse vahel on 2×1 volti, jne.

1. Kui kõrge pinge annab patarei, mis koosneb 15 järjestikku ühendatud Leclanché elemendist?

2. Mitu Leclanché elementi tuleb ühendada järjestikku, et patarei pinge oleks 110 volti?

Järjestikku ühendatud elementide tegevust võib võrrelda järjestikku ühendatud veepumpade tegevusega, milledest igaüks suudab anda teatava



208. joon. Järjestikku ühendatud veepumbad.

suurusega veetasemete vahe, seega hoida ka vastavat rõhuvahet (208. joon.).

Mitme elektrielemendist koosnevat vooluallikat nimetatakse **elektripatareiks**.

Küllalt suurest hulgast elementidest koosneva patarei pinget võib näidata juba

tavalise elektrometri abil. Taskulambi patarei koosneb 3 kuiv-

elemendist, iga elemendi elektromotoorne jõud on 1,5 volti; seega kogu patarei elektromotoorne jõud on 4,5 volti.

Elektripatareid tarvitatakse voolu- ja pingeallikatena laialdaselt raadiotehnikas ning mujal. Raadiotehnikas tarvitatakse nn. anoodpatarei koosneb mitmest järjestikku ühendatud kuivelemendist.

Galvaani elemente võib ühendada patareiks ka **paralleelselt** ehk **kõrvuti**. Niisugusel lülitamisel ühendatakse kõikide elementide positiivsed poolused isekeskis, samuti ka kõik negatiivsed poolused isekeskis. Niisugune patarei mõjub kui üks suur element samast liigist. Seega paralleelselt ühendatud elementide patarei pinge pole kõrgem kui iga üksiku elemendi pinge.

Paralleelselt ühendatud elektripatareid tarvitatakse seal, kus on vajalik madalapingeline, kuid tugev vool, sest sellise ühenduse puhul liituvad kõikide elementide voolud, mistõttu patarei koguvool on suurema voolutugevusega kui üksiku elemendi vool.

161. Elektrivoolu magnetiline toime. Elektrivoolu ei saa me otseselt tajuda. Näiteks meie ei saa nägemise ega kuulmise kaudu otsustada, kas juhet läbib elektrivool või mitte. Elektrivoolu olemasolu üle võime otsustada ainult ta toimete järgi. Hoiame magnetnõela kohal voolujuhtme rööbiti magnetnõelaga, kuid viimasest pisut kõrgemal, nagu kujutatud 210. joonisel. Niipea kui juhime voolu läbi kirjeldatud juhtme, kaldub magnetnõel oma tavalisest põhja—lõuna sihist kõrvale.

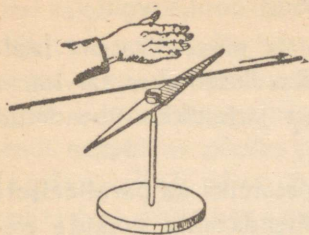
Korrates sama katset, kui voolu juhe on allpool, paremal või vasemal pool magnetnõela, näeme, et magnetnõel iga



209. joon.

André Marie Ampère [loe: ampäär], kuulus prantsuse füüsik ja matemaatik (1775—1836), avaldas teedrajavaid uurimusi elektromagnetismi alalt.

kord voolu mõjul püüab asetuda risti voolusuunale.



210. joon. Voolu mõju magnetnõelale.

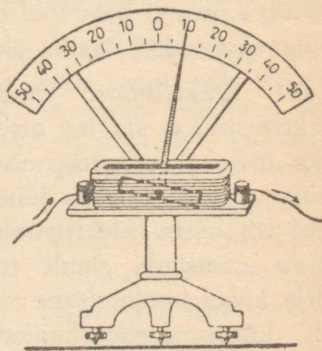
Seda magnetnõela kõrvalekaldumise suunda võime väljendada järgmiselt (Ampère'i seadus, ka parema käe seadus): kui parem käsi välja sirutada voolu suunas ja hoida seejuures peopesa magnetnõela poole juhtme kohal, siis kaldub magneti põhjapoolus sinna poole, kuhu näitab põial.

Katsed näitavad, et see kõrvalekaldumine on seda suurem, mida suurem on juhet läbiva voolu tugevus. Selle nähtuse avastas taanlane Ørsted 1820. aastal.

162. Galvanomeeter. Voolu mõju magnetnõelale võib suurendada, kui tõmmata voolujuhe mitu korda ümber magnetnõela, nii et magnetnõel jääks voolujuhtmete keerdude keskele. Seda kasutatakse galvanoskoopide ja teiste elektrimõõduriistade ehitamisel.

Lihtsa galvanoskoobi moodustab kompassinõel, mille ümber tõmmatud rida isoleeritud traadikeerde.

Vertikaal-galvanoskoopi kujutab 211. joon. Selle galvanoskoobi magnet on osutiga varustatud ja võib kaalukangi-taoliselt horisontaalse telje ümber pööruda. Ta on asetatud paljudest keerdudest koosnevasse traatpooli. Niipea kui pooli läbib vool, kaldub magnet oma tavalisest horisontaalsest tasakaalu-asendist



211. joon. Vertikaal-galvanoskoop.

välja. Nii näitab galva-

noskoop, kas vooluahelas on voolu. Galvanoskoopi, mis varustatud astmikuga, millelt võib lugeda voolutugevust, nimetatakse galvanomeetriks. Galvanomeetrit, mille astmikul märgitud voolutugevus amprites, nimetatakse ampermeetriks.

163. Takistus. Veevoolu tugevus torus on seda nõrgem, mida peenem on toru. Seega võime rääkida toru takistusest veevoolule. Analoogiline nähtus esineb ka elektrivoolu puhul.

Võtame galvaani elemendi, tüki peenikest raudtraati ja ampermeetri — riista, mille abil mõõdetakse voolutugevust amprites. Ühendame elemendi ampermeetriga pika raudtraadi kaudu ja paneme tähele voolutugevust. Olgu voolutugevus näiteks 0,4 amprit. Nüüd ühendame ampermeetri elemendiga hästi lühikese sama raudtraadi osa abil ja paneme uuesti tähele voolutugevust, mis on endisest juba märksa suurem, näiteks 0,8 amprit. Tehtud katse näitab, et peenike raudtraat elektrivoolu läbimist takistab. Mida pikem traat, seda suurem on tema takistus ja seda väiksem on voolutugevus.

Nüüd võtame mitu ühepikkust, kuid mitmesuguse jämedusega raudtraati ja lülitame nad kordamööda vooluahelasse.

Katse näitab, mida peenem on traat, seda väiksem on voolutugevus, seega seda suurem on ta takistus.

Takistuse ühikuks on võetud 1 oom (Ω).

Sõna „oom“ tuleneb saksa füüsiku Ohm'i nimest. Oom on takistus, mida omab elavhõbedasammas, mille kõrgus on 106,3 cm ja mille ristilõige on 1 mm².

Katsed näitavad, et juhtme takistus oleneb juhtme pikkusest ja juhtme ristilõike suurusest: juhtme takistus on

võrdeline juhtme pikkusega ja pöördvõrdeline juhtme ristilõikega.

Lülitades vooluahelasse enne näiteks raudtraadi, siis niisama jämeda ja pika vasktraadi, näeme, et vasktraadi puhul on voolutugevus suurem kui raudtraadi puhul. Sellest järeldame, et raudtraadi takistus on suurem kui niisama pika ja jämeda vasktraadi takistus.

Seega juhtme takistus oleneb ka juhtme materjalist. 1 m pikkuse ja 1 mm^2 ristilõikega traadi takistust nimetatakse vastava aine eritakistuseks.

Järgmises tabelis on antud mõnede ainete eritakistused:

vask	0,02	nikeliin	0,4
alumiinium	0,03	kroomnikkel	1,1
raud	0,12		

Nagu sellest tabelist näha, on vase, samuti ka alumiiniumi eritakistused väikesed. Seetõttu valmistatakse juhtmed peamiselt vasktraadist, harvemini alumiiniumist.

1. Kui suur takistus on vasktraadil, mille ristilõige on $0,5 \text{ mm}^2$ ja pikkus 50 m?

2. Tartu ja Tallinna vahelise telegraafiliini traat on rauast. Kui suur on selle takistus, kui liini pikkus on 191 km ja traadi läbimõõt on 4 mm?

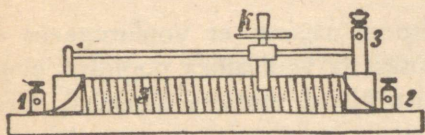
3. Kui pikka nikeliintraati tuleb tarvitada reostaadi ehitamiseks, kui reostaadi takistus peab olema 20 oomi ja traadi ristilõige on 2 mm^2 ?

4. Kui suur on elavhõbeda eritakistus?

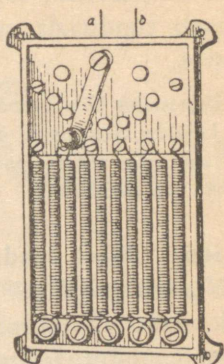
5. Kui suur on vasktraadi takistus, mille läbimõõt on 0,5 mm ja traadi kogukaal on 2 kg?

6. Kui pikk on 1 mm^2 ristilõikega vasktraat, mille takistus on 1 oom? Kui pikk on samasuguse ristilõikega ja takistusega hõbetraat?

164. Reostaat. Et voolutugevus oleneb vooluahela takistusest, siis tarvitatakse sageli tehnikas voolutugevuse reguleerimiseks erilisi takistusi, mis lülitatakse vooluahelasse ja mille takistust võib soovi järgi muuta. Niisuguseid takistusi nimetatakse reostaatide ks. Eriti pidevalt võimaldab takistust muuta nn. rullreostaat (212. joon.). See koosneb spiraalina isoleerivale silindrile keritud nn. takistustraadist. Spiraali üksikud keerud on üksteisest isoleeritud traadi pinnale tekkinud oksüüdikihiga. Takistustraadi üks ots on



212. joon. Rullreostaat.



213. joon.
Vãntreostaat.

ühendatud klemmiga 1, teine ots klemmiga 2, kuna klemmiga 3 on ühendatud liikuv kontakt K, mis võib spiraalide peal edasi-tagasi nihkuda, võimaldades seega muuta kontaktide 1 ja 3 vahele lülitatud keerdude arvu.

213. joonis kujutab vãntreostaati. Seleta selle tegevust!

Takistustraadidena reostaatides tarvitatakse esijoones suure eritakistusega traate, nagu nikeliin-, manganiintraati jne.

165. Sisetakistus. Galvaani elemendi puhul tuleb arvestada ka seda, et elemendi vedelik ja elektroodid omavad takistust. Ses mõttes rãägime elemendi sisetakistusest. Kogu vooluahela takistus koosneb seega välisjuhtmete takistusest ja sisetakistusest. Kui tarvitada suure sisetakistusega elementi, siis ei saa suure tugevusega voolu, vaatamata sellele, et tarvitame väikese takistusega välisjuhtmeid. Ühendame küllalt suure sisetakistusega elemendi poolused üksteisega, siis saame nn. suletud vooluahela. Mõõtes nüüd pinget pooluste vahel leiame, et see on väiksem kui avatud elemendi pooluste pinge. Selle põhjuseks ongi elemendi sisetakistus. Avatud ele-

mendi pooluste pinge on võrdne elemendi elektromotoorse jõuga. Suletud elemendi pooluste pinget nimetatakse sageli klemmide pingeks. Klemmide pinge langeb tunduvalt suure sisetakistuse ja suure voolutugevuse juures.

Järjestikku ühendatud galvaani elementide patarei sisetakistus on võrdne kõikide elementide sisetakistuse summaga, seevastu rööbiti ühendatud galvaani elementide patarei sisetakistus on väiksem kui iga üksiku elemendi sisetakistus.

166. Ohmi seadus. Eespool nägime, et voolutugevus oleneb ahela juhtmete takistusest ja vooluallika pooluste pingest ehk elektromotoorsest jõust. Nüüd vaatame lähemalt, kuidas oleneb voolutugevus takistusest ja pingest.

Võtame ühe elemendi, ühendame ta küllalt pika traadi abil (et suuremat takistust saada) ampermeetriga ja paneme tähele voolutugevust. Olgu voolutugevus näiteks 0,4 amprit. Nüüd lülitame ahelasse ühe elemendi asemel kaks järjestikku ühendatud elementi, mis kaks korda suurema pinge annab. Takistuse jätame endiseks. Voolu tugevust tähele pannes leiame, et ta on 0,8 amprit. Nii siis, pinget kaks korda suurendades suurenes kaks korda ka voolutugevus. Katsed näitavad, et alati, kui kõik muud tingimused samadeks jäävad, on voolutugevus võrdeline pingega.

Vastavalt uurime voolutugevuse olenevust takistusest seega, et muutumatu pinge, näiteks 4 voldi, puhul lülitame üksteise järele takistused 2 oomi, 4 oomi, 8 oomi jne. Voolutugevuse mõõtmised annavad vastavalt 2 amprit, 1 amper, 0,5 amprit jne.

Katsed näitavad seega, et voolutugevus on pöördvõrdeline takistusega.

Voolutugevuse olenevust takistusest ja pingest üheks lauseks koondades saame nn. Ohmi seaduse: elektrivoolu tuge-

vus on võrdeline pingega (elektromotoorse jõuga) ja pöördvõrdeline takistusega, ehk lühidalt

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

kus I on voolutugevus, U pinge, R takistus.

Ohmi seadus võimaldab seega arvutada pingest ja takistusest voolutugevust, samuti ka pinget või takistust, kui teised kaks on antud.

1. Kui suur on hõõglampi läbiva voolu tugevus, kui pinge on 220 V ja takistus 1100 Ω ?

2. Kui suur on elektri-triikraua takistus, kui 220-voldisel pingel on voolutugevus 2 A?

3. Metallniidiga elektri-hõõglamp, mille takistus on 440 oomi, on lülitatud valgustusvõrku, kusjuures lampi läbib 0,5-amprine vool. Kui kõrge on pinge?

4. Kui tugeva voolu annab galvaani element, mille elektromotoorne jõud on 1,8 volti ja sisetakistus 0,2 oomi, kui ahela välistakistus on 2,8 oomi?

5. Mitu amprit on voolutugevus neljas paralleelselt lülitatud hõõglambis kokku, kui iga hõõglambi takistus on 1100 oomi ja pinge on 220 volti?

6. 5 Leclanché elementi on ühendatud järjestikku. Kui suur on voolutugevus, kui iga üksiku elemendi sisetakistus on 0,8 oomi ja voolu ahela välistakistus on 10 oomi?

167. Mõõduriistad. Tavaliselt on galvanomeetri ja ampermeetri mähised valmistatud peenikesest traadist, mistõttu need suure voolutugevuse puhul võivad läbi põleda. Et mõõta ka suuri voolutugevusi, seks lülitatakse riista klemmide vahele harutakistus. Siis läheb osa voolu läbi harutakistuse, osa voolu läbi riista mähise. Kui harutakistus on nii valitud, et $1/100$ kogu voolust läbib riista mähise, $99/100$ voolu läbib ha-

rutakistuse, siis astmiku iga kriipsuvahe jaotis tähendab 100 korda tugevamat voolu. Sedaviisi on võimalik haruvoolu põhjal hinnata peavoolu tugevust.

Ampermeetri takistus peab olema väga väike, võrreldes vooluahela muude osade takistusega, sest vastasel korral selle lülitamine vooluahelasse avaldaks mõju voolutugevusele.

Voolutugevuse mõõtmisel ampermeetriga lülitatakse ampermeeter vooluahelasse järjestikku.

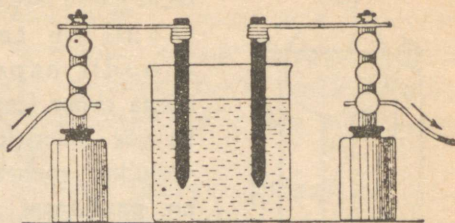
Pinge mõõtmiseks tarvitatakse erilisi riistu, pingemõõtjaid. Pingemõõtjat, mille astmikult võib lugeda otseselt pinget voltides, nimetatakse **voltmeetriks**. Iga galvanoskoopi võib ümber ehitada voltmeetriks. Seks lülitatakse riistaga järjestikku suur eeltakistus. On näiteks riista mähise ja eeltakistuse kogutakistus 1000 oomi, siis 1-voldise pinge puhul on voolutugevus Ohmi seaduse järgi 0,001 A, 2-voldise pinge puhul 0,002 A jne. (sest muu ahelaosa takistus on väike, võrreldes riistataakistusega). Seega riista osuti hälve on võrdeline pingega. Voltmeetriga võime mõõta ka suletud vooluallika pinget. Seks tuleb voltmeeter lülitada ahelasse rööbiti voolu tarvitava riistaga. Lühiühendust seejuures karta pole, sest voltmeetri takistus on, nagu nägime, väga suur. Üldiselt ampermeeter lülitatakse alati järjestikku ja voltmeeter rööbiti voolu tarvitava riistaga.

Elektrolüüs.

168. Vasevitrioli elektrolüüs. Kallame klaasanumasse, näiteks keeduklaasi, vasevitrioli-lahust ja asetame sinna vedelikku kaks söepulka või platinapleki riba (214. joon.). Ühendame söepulgad või platinaribad vooluallika poolustega ja juhime elektrivoolu läbi vasevitrioli-lahuse. Lühikese aja pärast

paneme tähele, et üks söepulk, mis ühendatud vooluallika negatiivse poolusega, on kattunud metalse vasekihiga.

Katsed näitavad, et elektrivoolu toimel lahutub keemiliselt vasevitrioli (CuSO_4) lahus. Niisugust keemilist lahutamist nimetatakse **elektrolüüsiks**, lahutatavat vedelikku, antud juhul vasevitrioli-lahust, nimetatakse **elektrolüüdiks**.



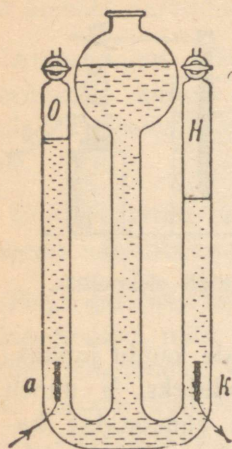
214. joon. Vasevitrioli elektrolüüs.

Seejuures söepulki või platinaribasid, millede kaudu juhitakse vool elektrolüüti, nimetatakse **elektroodideks**, ja nimelt negatiivse poolusega ühendatud elektroodi nimetatakse **katoodiks**, positiivse poolusega ühendatud elektroodi **anoodiks**.

Täidame nüüd klaasanuma destilleeritud veega ja juhime sellest voolu läbi, s. o. ühendame vette pistetud elektroodid vooluallikaga. Sel juhul vooluahelasse lülitatud galvanomeeter ei näita voolu, millest järeldame, et destilleeritud vesi ei juhi elektrivoolu. Alles kui veele lisandame hapet, soola või leelist, hakkab vesi elektrit juhtima, kusjuures toimubki keemiline lahutamine.

169. Vee elektrolüüs. Juhime elektrivoolu läbi vee, millele juurde lisatud väävelhapet, teiste sõnadega, läbi väävelhappelahuse. Niipea kui voolu ühendame, algab elektroodidel elav gaasimullide tekkimine, mis sealt veepinnale tõusevad. Et paremini uurida tekkinud gaase, seks tarvitame riista, nagu seda 215. joon. kujutab. Riista mõlemasse harusse on juhitud platinast elektroodid. Elektrivoolu läbimisel tekivad elektroodidel gaasimullikesed, mis mööda torusid üles tõusevad ja suletud kraanide puhul torude ülemistesse otstesse kogunevad, kusjuures vedeliku pind neis vastavalt langeb. Katse näitab, et to-

rus, kus asetseb katood (k), tekib ruumala poolest kaks korda rohkem gaasi, kui selles torus, kus asetseb anood (a).



215. joon. Vee elektrolüüsi riist.

Neid gaase järele katsudes leiame, et katoodil on tekkinud vesinik (H), anoodil hapnik (O). Esimene põleb nõrga sinise leegiga, teine paneb hõõguva söe heledalt leegitsema. Hapniku ja vesiniku mehaaniline segu moodustab nn. paukgaasi. Et vesi koosneb hapnikust ja vesinikust ruumala vahekorras 1:2, siis jäeldame sellest katsest, et elektrivool läbides väävelhappe-lahuse lahutab vee keemilisteks algosadeks — hapnikuks ja vesinikuks.

Nii võib elektrivoolu abil lahutada ka teisi soolalahuseid, seebikivi jne. Seejuures elektrolüüsil vabanenud vesinik ja metallid sadestuvad alati katoodile, ülejäänud ained anoodile.

Katsed näitavad, et ajaühiku kestel lahutatud aine hulk oleb voolutugevusest ja nimelt lahutatud aine hulk on võrdeline voolutugevusega. Selle seaduse põhjal on võimalik voolutugevust mõõta. Samuti võimaldab see seadus määrata voolutugevuse ühikut. Kokkuleppel on võetud voolutugevuse ühikuks 1 amper: 1 amper on voolu tugevus, mis eraldab 1 sek. kestel hõbedasoola lahusest 1,118 mg hõbedat.

Eespool-kirjeldatud kui ka kõik teised katsed elektrolüüsi juures näitavad, et elektrivoolu läbimineks elektrolüütidest on seotud aine osakeste liikumisega. Seetõttu erineb elektrivool elektrolüütides põhiliselt elektrivoolust metallides. Viimastes pole elektrivool seotud aine osakeste liikumisega.

1. Kui suur on voolu tugevus, mis 10 minuti kestel lahutab 0,671 g hõbedat?

2. Mitu g hõbedat lahutab elektrivool 30 minuti kestel, kui voolutugevus on 1,5 amprit?

170. Elektrolüüsi rakendamine. Elektrolüüsi nähtused leiavad laialdast praktilist tarvitamist kehade katmisel õhukese metallikihiga (kuldamisel, hõbetamisel, nikeldamisel), reljeefkujude kopeerimisel, keemiliselt puhta metalli (vase, alumiiniumi jne.) saamisel.

Esemetest reljeefkujude saamine (galvanoplastika) toimub järgmiselt. Antud esemeist (näit. rahast, medalist jne.) tehakse vahast või kipsist negatiivkuju ja kaetakse õhukese grafiidikorraga, et kuju pinda juhtivaks teha. See negatiiv ehk matriitskuju asetatakse vanni, milles on näiteks vasevitrioli-lahus. Kuju on katoodiks, kuna anoodiks on vaskplaat. Voolu läbi lastes eraldub lahusest vask ja koguneb katoodile, kattes asja negatiivkuju pinda tiheda vasekihiga. On vasekiht juba küllalt paks, siis katkestatakse vool. Negatiivile kogunenud vasekiht ongi antud asja täpne positiivkuju.

Kui elektrolüüsi abil soovitakse katta esemeid näiteks hõbedadega, siis elektrolüüdiks võetakse hõbedasoola-lahus, hõbetatav ese asetatakse sinna vedelikku ja ühendatakse vooluallikaga negatiivse poolusega. Voolu läbimisel katoodiks olev ese kattub õhukese hõbedakihiga. Samuti toimub ka nikeldamine.

Et elektrolüüsil katoodile kogunenud metallid on keemiliselt puhtad, siis tarvitatakse seda meetodit sageli puhtate metallide saamiseks.

Elektrolüüsi tarvitatakse laialt ka nende metallide saamiseks, mida keemiliselt raske ja kulukas on eraldada keemilistest ühendeist. Nii saadakse kõigile tuntud metall alumiinium elektrolüüsi abil alumiiniumühendeist.

171. Aku. Eelmistes katsetes tarvitati platinast või söest elektroode, sest neisse aineisse elektrolüüsil lahutatud ained keemiliselt ei mõju.

Võtame nüüd elektrodideks seatina-(plii-)pleki ribad ja paigutame need 10–15% väävelhappe-lahusesse kui elektrolüüti.

Vooluahelasse lülitame ka galvanomeetri (ampermeetri). Voolu läbimisel tekib anoodil seatina-superoksüüd, mis katab seda pruuni kihina, kuna katoodil sadestub seatina, moodustades seal poorse kihi. Katoodi värvus on seetõttu hall. Lülitame vooluahelast vooluallika välja ja ühendame elektrolüüdis olevad elektrodid juhtmetega läbi galvanomeetri. Galvanomeeter näitab nüüd vastassuunalist elektrivoolu. Selle voolu allikaks on elektrolüüt seatina-elektroodidega. Seega voolu läbimisel tekkisid elektrolüüdis ja elektroodidel keemilised muutused, mille tagajärjel seatina-elektroodid väävelhappe-lahuses moodustavad galvaani elemendi.

Sellel nähtusel põhineb seatina-akumulaatori ehk -aku tegevus.

Seatina-aku koosneb eriliselt valmistatud seatina-plaatidest, mis on paigutatud 20% väävelhappe-lahusesse. Need plaadid on võretaolised, kusjuures võrede vahed on täidetud vastavate seatina-ühenditega. Et aku annaks voolu, seks tuleb temast enne elektrivool läbi lasta. Seda toimetust nimetatakse laadimiseks. Laadimisel tekivad akus keemilised muutused, mille tulemusena sinna koguneb keemilist energiat, mis aku tarvitamisel (tühjenemisel) vabaneb.

Aku laadimisel tekib positiivsel plaadil värvuselt pruun seatina ja hapniku ühend, kuna negatiivsele plaadile sadestub värvuselt hall poorne seatina. Seega värvuse järgi võib otsustada, milline plaat on positiivne, milline negatiivne.

Aku tühjenemisel ühinevad need ühendid väävelhappega, ning happe lahus muutub lahjemaks. Seetõttu võib lahuse kanguse järgi otsustada, kas aku on laaditud või mitte.

Et akudesse rohkem elektrienergiat koguda, seks tehakse plaadid suure pindalaga ja mitu positiivset kui ka negatiivset plaati ühendatakse omavahel.

Aku mahutavust mõõdetakse elektrihulgaga, mis ta võib anda tühjenemisel. Aku mahutavuse ühikuks on ampertund,

s. o. elektri hulk, mis voolab läbi juhtme 1 tunni jooksul, kui voolutugevus on 1 amper. Nii on aku mahutavus näit. 15 ampertundi, kui ta tühjenemisel annab 15 tunni kestel 1-amprise voolu või 5 tunni kestel 3-amprise voolu jne. Seatina-akud ehitatakse mahutavusega 5—1000 ja enam ampertundi. Seatina-aku pinge on tühjenemisel ligi 2 volti, laadimisel pisut kõrgem. Laadimine tuleb lõpetada, kui pinge on tõusnud 2,7 voldini.

Seatina-aku sisetakistus on väga väike, alla 0,01 oomi. Seetõttu võib temast saada õige tugevat voolu. Et seatina-akud võivad kergesti rikki minna, seepärast tuleb neid tarvitamisel hoolikalt käidelda ja vältida kõike, mis neid rikub. Nii ei tohi neid laadimata olekus seista lasta, samuti ei tohi neist võtta tugevamat voolu, kui antud tüübi jaoks on lubatud.

Palju vastupidavamad kui seatina-akud on nn. leelis-akud. Th. A. Edisoni leiutatud leelis-aku elektrolüüdiks on 20% sööbekaaliumi-lahus, elektroodideks nikkel- ja raudplaadid. Leelis-aku pinge pole nii püsiv kui seatina-aku pinge. Leelis-aku pinge on umb. 1,35 volti.

Leelis-akud annavad tühjenemisel väiksema osa laadimisel kulutatud elektrienergiast tagasi kui seatina-akud.

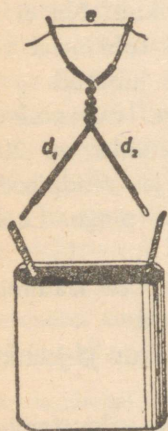
Kõrgema pinge saamiseks lülitatakse mitu akut järjestikku ühiseks patareiks nagu galvaani elementegi.

Akused tarvitatakse laialt autode ja vagunite valgustamisel, raadioaparaatide juures, allveelaevadel jm.

1. 10 seatina-akut on ühendatud patareiks järjestikku. Kui suur on selle patarei pinge?
2. Mitu seatina-akut on tarvis, et neist koostatud patarei pinge oleks 220 volti?
3. Kui kõrge pinge annavad 10 paralleelselt ühendatud seatina-akut?
4. Aku andis tühjenemisel 6-amprist voolu 15 tunni jooksul. Kui suur oli aku mahutavus?
5. 15-vatine elektri-hõõglamp tarvitab 6-voldise pinge puhul 2,5 amprist voolu. Kui kauaks jätkub voolu kahele säärasele hõõglambile, kui aku patarei mahutavus on 200 ampertundi?

Voolusoojus.

172. **Elektervalgustus. Hõõglamp.** Teame, et taskulambi pirnis olev metallniit hakkab hõõguma, kui temast läbi lasta elektrivool. Selle nähtuse lähemaks uurimiseks korraldame järgmise katse: kinnitame kahe klemmi või traadi vahele peenikesse kroomnikkel- või mingi muu takistustraadi ja juhime temast läbi elektrivoolu (216. joon.). Elektrivoolu läbimisel hakkab traat hõõguma, kusjuures ta seda heledamalt hõõgub, mida suurem on voolutugevus. Seega juhe, mida läbib elektrivool, soojeneb.



216. joon.
Voolusoojus.

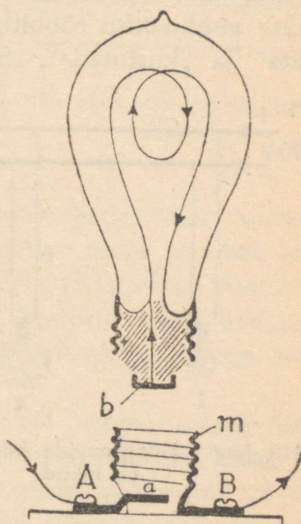
Nüüd kinnitame kahe klemmi vahele traadi, mis koosneb kolmest osast: jämedast vasktraadist, peenikesest vasktraadist ja peenikesest kroomnikkeltraadist. Juhtides läbi selle traadi elektrivoolu näeme, et jäme vasktraat voolu toimel ei soojene märgatavalt, peenike vasktraat soojeneb pisut, kuna kroomnikkeltraat hakkab hõõguma.

Et jämeda vasktraadi takistus on väike, peenikesse vasktraadi takistus pisut suurem ja kroomnikkeltraadi takistus on suur, siis järgneb sellest katsest, et elektrivoolu toimel soojeneb see osa juhtmest, mille takistus on suur (näiteks hõõgniit elektripirnis), kuna see osa juhtmest, mille takistus on väga väike, ei soojene märgatavalt (juhtmed, millede kaudu juhatakse vool tarvita-jaile). Sellel nähtusel põhineb elektrihõõglampide ehitus.

Elektrihõõglamp ehk -pirn koosneb õhutühjast klaaspirnist, millesse on paigutatud peenike söest või metallist hõõgniit. Hõõgniidi jämedus ja pikkus on nii valitud, et ta antud pinge puhul voolu läbimisel parajasti heledasti hõõgub, kuni 2000°C . Õhk on pirnist välja pumbatud, et takistada

hõõgniidi läbipõlemist. Jälgi 217. joonise järgi, kuidas juhitakse vool hõõgniiti.

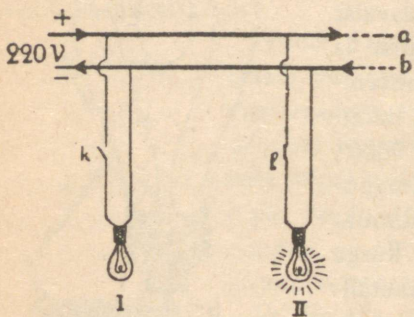
Ainult väga väike osa elektrienergiast muutub hõõglambis valgus-energiaks, suurem osa sellest muutub soojuseks. Katsed näitavad, et mida kõrgem on hõõgniidi temperatuur, seda suurem on energiahulk, mis muutub valguseks. Seega — mida kuumem on hõõgniit, seda odavam tuleb valgus. Esimeste elektrilampide hõõgniidid valmistati söest, praegusajal tarvitatakse metallniidiga hõõglampe. Neis on hõõgniit valmistatud raskesti sulavaist metallidest tantaalist, osmiumist ja eriti volframist. Viimase sulamistemperatuur on 3500° . Volframist hõõgniiti võib kuumendada kuni 2600° . Ka hõõguv metallniit võib ära põleda, seepärast ka sel puhul pumbatakse pirn õhutühjaks. Kuid kõrge temperatuurini kuumendatud metallniit pihustub aja jooksul, s. o. muutub tolmuks, mis sadestub elektripirni klaasseintele. Kaitseks pihustumise vastu täidetakse pirn gaasiga, mis keemiliselt hõõgniidiga ei ühine, näiteks lämmastiku või argoniga.



217. joon. Hõõglamp.

Hõõgniidi pikkus ja jämedus valitakse nii, et antud pinge juures hõõgniit paraja tugevusega hõõguks, näiteks 15-vatise 220-voldise elektripirni volframist hõõgniidi pikkus on umbes 0,75 m ja läbimõõt 0,01 mm. Säärane peenike traat on paigutatud elektripirni silmale vaevalt nähtavate spiraalidena. Spiraaliks keeratakse hõõgniit sellepärast, et sel puhul soojuse kadu täitegaasile on väiksem, sest siis hõõgniidi spiraalid kuumendavad üksteist vastastikku. Elektrihõõglampidel

on märgitud alati, millise pingega jaoks on antud elektripirn ehitatud. Elektripirne võib tarvitada ainult sellise pingega, millise jaoks nad on ehitatud. Kui juhtida näiteks 110-voldisesse elektripirni 220-voldise pingega vool, siis põleb elektripirn läbi, ümberpöörduvalt aga 220 voldi tarvis ettenähtud elektripirn 110-voldisel pingel hõõgub nõrgalt. Elektripirnid kruvitakse vastavasse pesadesse, millede kaudu juhitakse vool elektripirni. Kõik elektripirnid lülitatakse vooluvõrku rööbiti, mis võimaldab neid üksikult „süüdata“ ja „kustutada“. Seega igal lambil on tavaliselt oma

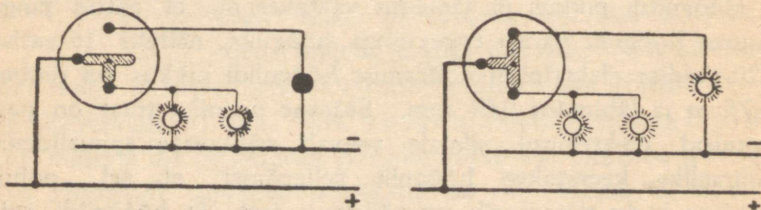


218. joon. Hõõglampide lülitus. *k* ja *l* on lülitid.

lülitit ehk kustutaja, mille abil elektripirni läbiv vool kas ühendatakse (süüdatakse) või katkestatakse (kustutatakse).

Rühmlüliti võimaldab süüdata ja kustutada hõõglampe osade kaupa ja ka kõiki korraga. Rühmlülitil on kolm klemmi (219 joon.). T-kujulise metall-lüliti abil võib kahte neist omavahel ühendada, samuti ka kõiki kolme.

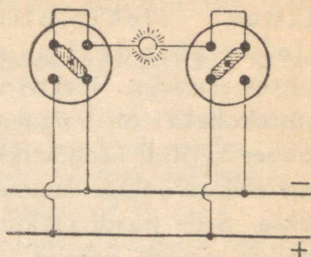
220. joon. on kujutatud lülitus, mis võimaldab hõõglampi süüdata ja kustutada mitmest kohast. Sellel lülitusel ühendab pööratav lüliti alati kahte vastasolevat klemmi, mis asetsevad üksteisest 180° kaugusel.



219. joon. Rühmlüliti,

173. **Elektrijuhtmed.** Elektrivool juhitakse tarvitajaile elektri- jaamast jämedate vasktraatide kaudu, mida nimetatakse **pea-** ehk **magist-raaljuhtmeiks.** Need vaskjuhtmed kinnitatakse postide külge portse- lanist või klaasist **isolaatorite** abil, et vältida voolu kadu.

Tubased juhtmed on isoleeritud kummikihiga, mis traate ümbritseb. Kaitseks mehaaniliste vigastuste vastu paigutatakse sageli tubased juhtmed seestpoolt isoleeritud met- alltorudesse.



220. joon. Lülitamine mitmest kohast.

Harilikult on elektervalgustus-seadme juures üks juhtmeist ühendatud maaga, järelikult selle juhtme pinge maa suhtes on null. Seda juhet nimetatakse ka nulljuhtmeks. Ainult tei- sel juhtmel on nullist erinev pinge. Seetõttu võime hõõglampi põlema panna, kui ühendame pinge all oleva juhtme hõõg- lambi kaudu maaga.

Et inimese keha on alati enam või vähem maaga ühen- datud, siis tuleb hoiduda juhtmete puudutamisest käega, sest harilikult pole teada, kumb juhe on pinge all ja kumb on null- juhe. Eriti ettevaatlik tuleb olla, kui inimese nahk on märg, sest märg nahk on paremini elektrit juhtiv kui kuiv nahk. Samuti võib tugeva elektrilöögi saada siis, kui palja jalu olles märjal põrandal puudutada pinge all olevat juhet.

Vannis olles ja siis pinge all olevat juhet puudutades võib elektrilöök olla nii tugev, et inimene silmapilkselt surma saab.

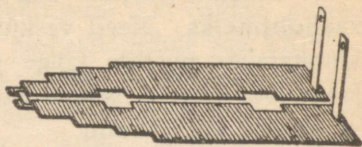
1. Lõika isoleeritud traadi küljest tükike ja vaata, mitmekordne kummi- kiht on ta ümber!

2. Missugused paremused on elektervalgustusel võrreldes petrooleum- valgustusega?

3. Mispärast elektrihõõglamp kustub kohe, kui kest katki läheb?

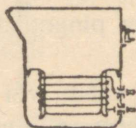
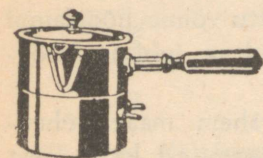
4. Hõõglambi takistus „põlemisel“ on 1000 oomi. Kui suur on voolu- tugevus 220 voldi puhul?

174. Elektri-triikraud. Elektrikeetjad ja -pliidid. Elektriahi. Voolusoojus leiab kasutamist elektri-triikraudades, elektripliitides, elektri ahjudes ja paljudes teistes riistades. Elektri-triikraua küttekehaks on vilgukiviplaadi ümber keritud kroomnikeltraat, mis elektrivooluga kuumaks aetakse. Selle traadi pikkus ja jämedus on nii valitud, et teda



221. joon. Küttekeha.

vooluallikaga ühendades ta kuumeneb paraja temperatuurini. Küttekehalt levib soojus mööda triikrauda laiali. Samasugused küttekehad on ka elektrikeetjates, elektripliitides ja elektri ahjudes. Elektrikeetja tuleb enne voolu ühendamist veega täita, vastasel korral võib ta liiga kuumaks minna ja läbi põleda. Elektripliidi küttekeha on paigutatud



222. joon. Elektrikeetja.

pliidiplaadi alla. Küttekeha kuumenedes voolu toimel kuumeneb ka pliidi plaat. Sellele paigutatakse keedunõud.

Vähem tarvitatakse koduses majapidamises elektri ahjusid, sest tubade soojendamine nendega tuleb kallim kui puudega köetavate ahjude puhul. Ainult seal, kus elektrivool on odav, võistleb elektriahi puudega köetava ahjuga edukalt.

Elektri ahju peaosaks on spiraali keeratud takistustraata, mis elektrivoolu abil kuumendatakse paraja temperatuurini. Et juhtida soojuskiiri teatud suunas, paigutatakse hõõguva spiraali taha vastava kumerusega reflektor, nagu seda tarvitatakse valgusallikategi juures.

Arstiteaduses tarvitatakse elektrivoolu abil hõõguma pandud plaatinatraati halvaloomuliste kasvajate ja paisete põletamiseks.

175. Elektrivoolu võimsus. Mehaanikast teame, et masina võimsust mõõdab 1 sekundi kestel tehtud töö hulk. Masina võimsus on 1 vatt, kui masin teeb 1 sekundis 1 džauli tööd. Ka elektrivool võib tööd teha, seega võime rääkida elektrivoolu võimsusest.

Kose langeva vee võimsus võrdub vee kukkumise kõrguse ja 1 sekundi kestel läbivoolanud veehulga korrutisega.

Analoogiliselt sellega näitavad katsed, et elektrivoolu võimsus võrdub pinge ja voolutugevuse korrutisega. On pinge mõõdetud voltides, voolutugevus ampreis, siis nende korrutis annab võimsuse vattides. Seega

$$1 \text{ vatt} = 1 \text{ volt} \cdot 1 \text{ amper.}$$

Voolu võimsuse ühikuna tarvitatakse ka kilovatti: 1 kilovatt = 1000 vatti.

Et leida elektrivoolu poolt teatud aja jooksul tehtud töö hulka, selleks tuleb voolu võimsus korrutada ajavahemikuga, mille kestel vool tööd tegi. On voolu võimsus avaldatud vattides, aeg sekundeis, siis nende korrutis annab voolu töö džaulides. Harilikult mõõdetakse elektrivoolu tööd kilovatt-tundides, kus 1 kilovatt-tund on töö hulk, mida teeb 1000-vatise võimsusega vool 1 tunni kestel.

Arvetes, mis saadetakse elektriijaama poolt elektrivoolu tarvitajaile, ongi elektrienergia arvestatud kilovatt-tundides.

N ä i d e. Kui palju elektrienergiat tarvitab 600-vatine elektrikeetja 20 minuti kestel?

L a h e n d u s. 600 vatti = 0,6 kilovatti, 20 minutit = $\frac{1}{3}$ tundi. Seega tarvitatud elektrienergia hulk on $0,6 \times \frac{1}{3} = \frac{1}{5}$ kilovatt-tundi.

Vooluenergia mõõtmiseks varustatakse voolutarvitajaid nn. voolumõõtjatega. Voolumõõtja näitab otseselt äratarvitatud elektrivoolu energiat kilovatt-tundides või selle osades. Tavalistes mõõtjates pöörleb ketas, mille kiirus on võrdeline voolu võimsusega, seega vattide arvuga. Pöörlev ketas paneb liikuma numbriga varustatud silindreid, mis näitavadki äratarvitatud elektrienergiat. Voolumõõtja näitamise järgi koostab elektriijaama ametnik vastava arve ja saadab siis selle elektrivoolu tarvitajale.

176. Lühühendus. Juhtmed, mille kaudu juhitakse elektrivoolu elektriijaamast tarvitajaile, on võrdlemisi jämedad vasktraadid. Seetõttu on nende takistus elektrivoolule väga väike. Pisut peenemad on need juhtmed, mida tarvitatakse tubades elektriseadmes, kuid ka nende takistus elektrivoolule on väga väike. Teisiti on lugu väga peenikese söest või metallist hõõgniidiga elektripirn. Selle takistus elektrivoolule on väga suur.

Igas riistas, kus elektrivoolu tarvitatakse, on osa juhtmeid suure takistusega, mistõttu elektrivool neis kunagi liiga suureks ei tõuse.

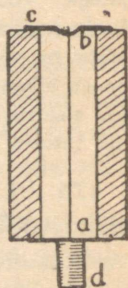
Kuid elektrivool võib tekkida ka otse elektrijuhtmete vahel, kui nad ühendusse satuvad mingi elektriseadme rikke tõttu või mõnel teisel põhjusel. Säärast ühendust nimetatakse **lühiühenduseks**. Niisugusel juhul kasvab vigastatud koha kaudu elektrivoolu tugevus väga suureks. Juhtmed võivad ise hõõguma hakata ja põhjustada tulekahju tekkimist.

177. **Kaitsmed.** Et juhtmeid ja riistu lühiühenduse eest kaitseda, seks lülitatakse vooluahelasse **kaitsmed**, milleks on peenike (seatina- või hõbe-) traat, mis kohe ära sulab ehk „läbi põleb“, kui voolutugevus üle lubatud piiri tõuseb. Peenike kaitsetraat paigutatakse harilikult padrunisse (**kaitsekork**), mis keeratakse nagu elektripirn vastavasse pesasse. Seega on kaitsme ehk kaitsekorgi vahetamine lihtne. Kõik elektriseadmed on varustatud kaitsmetega.

Elektrivoolu kasutamisel ei tohi suurema tugevusega voolu tarvitada, kui seda antud kaitsmed lubavad. On näiteks kaitsmed määratud ülimalt 6-amprise voolutugevuse tarvis, siis ei tohi nende kaitsmete puhul tarvitada näiteks elektrikeetjat, mis tarvitab 6,5-amprist voolu. Teisest küljest ei tohi peenikeste juhtmete puhul tarvitada suure voolutugevuse jaoks määratud kaitsmeid, sest siis võib juhtuda, et enne kaitsmete läbipõlemist lähevad juhtmed ise kuumaks.

Seega peavad kaitsmed ja juhtmed tarvitatava voolutugevusega kooskõlas olema.

Tavaliselt voolu tarvitavatel riistadel, elektri-hõõglampidel, elektri-triikraudadel, elektrikeetjail jne., ei märgita voolutugevust, mida nad tarvitaavad, vaid voolu võimsus, s. o. vooluenergia tarvitus 1 sekundis. Et voolu võimsus võrdub pinge ja voolu-



223. joon.
Kaitsekork.

tugevuse korrutisega, siis antud võimsusest ja pingest on kerge arvutada voolutugevus:

$$\text{voolutugevus} = \frac{\text{võimsus}}{\text{pinge}},$$

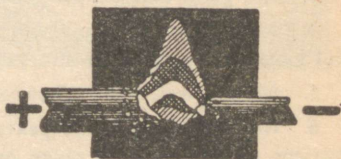
kusjuures voolu võimsus tuleb avaldada vattides, pinge voltides, voolutugevus saadakse siis ampreis. Pinge on kogu elektrivõrgul üks ja sama, harilikult 220 või 110 volti, samuti on pinge märgitud ka riistadel.

On näiteks elektrikeetjal märgitud vooluenergia tarvitus 550 vatti, siis 220-voldise pinge puhul on voolutugevus $\frac{550}{220} = 2,5$ amprit, 110-voldise pinge puhul on voolutugevus $\frac{550}{110} = 5$ amprit.

Nii võime alati leida voolutugevuse, mida antud riist tarvitab, ja sellest järeldada, kas antud kaitsmed lubavad voolu juhtida läbi riista.

178. Kaarleek. Kui elektrivool katkestada, siis võib tähele panna katkestamise kohas traatide või teiste juhtmete vahel sädet, nn. katkestamissädet. Kui seejuures on voolutugevus ja -pinge küllalt suured, siis sulavad katkestamissädeme toimel traatide otsad ära. Sädeme värvus oleneb seejuures, metallide ainest, millede vahel tekkis säde: vask annab roheka, raud kollakaspunase valguse, jne.

Püsivama elektrisädeme võib tekitada kahe söepulga vahel, sest söe sulamistemperatuur on väga kõrge. Kaks söepulka ühendatakse traatide kaudu vooluallikaga, mille pinge on vähemalt 40—50 volti, söed lähendatakse teineteisele nii, et nad teineteist puudutavad. Kokkupuute kohal suure takistuse tõttu kuumenevad söepulgad, sellega ka seal olev õhk, ning söepulki teineteisest 0,5—2 cm



224. joon. Kaarleek.

kaugusele eemaldades ei katke vool, vaid kuumendatud õhk juhib elektrit, tekib kaarekujuline väga hele leek, mida nimetatakse elektri kaarleegiks ehk Volta kaareks. Suurema osa valgusest kiirgab seejuures positiivse poolusega ühendatud süsi. Et söepulgad ühtlasi ka põlevad, siis tuleb neid aeg-ajalt teineteisele lähendada.

Elektri kaarleeki tarvitati varemini suurlinnades tänavate valgustamiseks, praegusajal tarvitatakse kaarleeki peamiselt kino- ja projektsiooniaparatuurides, kiirteheite- ja mujujal. Et kaarleegi temperatuur on väga kõrge — kuni 4000° C, siis tarvitatakse seda ka elektrilistes sulatusahjudes. Kaarleegi temperatuur on kõrgeim, mis on saadud kunstlikult, laboratoorsel teel.

Kaarleegi põhimõttel töötab ka nn. kõrgustikupäike, mis on kvartstorus kahe elavhõbedapinna vahel tekitatud kaarleek. Kvarts- ehk ränikivi tarvitatakse siin sellepärast, et kvartsi sulamistemperatuur on väga kõrge. Niisugune kaarleek kiirgab suurel määral nähtamatuid, tugeva keemilise toimega ultravioletseid kiiri, millede suhtes kvarts on läbipaistev. Need kiired mõjuvad kahjulikult silmadele, seepärast tuleb silmi kaitseda eriliste prillide abil.

1. Kui palju elektrienergiat tarvitab hõõglamp 10 tunni kestel, kui voolutugevus hõõglambis on 0,1 amprit ja pinge 220 volti?

2. Mis läheb niisuguse hõõglambi tarvitamine maksma 1 kuu kestel, kui keskmiselt iga päev põleb lamp 6 tundi ja üks kilovatt-tund elektrienergiat maksab 40 kopikat?

3. Kui palju maksab 400-vatise elektri-triikraua tarvitamine tunnis?

4. Mitu 25-vatist lampi võib süüdata ühes 400-vatise elektri-triikrauga, kui kaitsmed 4-amprise voolu puhul läbi põlevad?

5. Mitu amprit läbib 25-vatist hõõglampi, kui pinge on 220 volti?

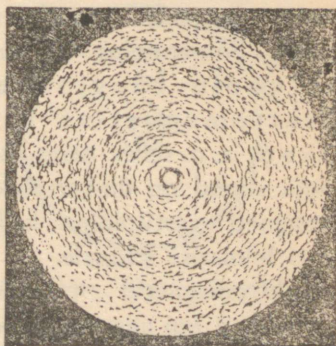
6. Kui suured kaitsmed peavad olema elektriseadmepel, kui vooluenergia tarvitus on 1 kilovatt ja pinge on 220 volti.

7. Kaitsmed on 6-amprised. Kas võib sel puhul tarvitada elektripliiti, mis vajab 1800 vatti, kui pinge on 220 volti?

Voolu magnetiline toime.

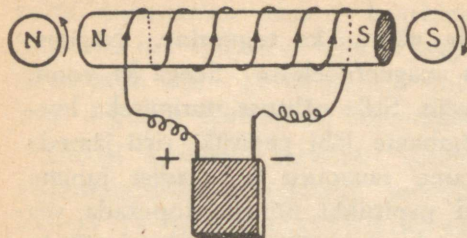
179. Voolu magnetivälja nähtavaks tegemine. Nägime, et elektrivool avaldab mõju magnetnõelasse. Seega ka voolu ümber peaks olema magnetiväli. Selle nähtuse uurimiseks korraldame järgmise katse. Tõmbame läbi papitüki risti jämeda vasktraadi, papitükile puistame rauapuru ja traadist juhime läbi elektrivoolu. Kui nüüd papitükki nõrgalt koputada, siis asetub rauapuru traadi ümber kontsentriliste ringidena, millede keskpunktiks on traat. See näitab, et voolu ümbritseb magnetiväli, kusjuures magneti tungjooned asetsevad ringjoontena ümber voolujuhtme. Tundliku magnetnõelaga võib magneti tungjooni jälgida ka kaugemal. Magnetnõel asetub rööbiti tungjoonega, kuna voolujuhtmega on ta seejuures, nagu nägime, risti.

Tarvitame sirge traadi asemel ringikujulist traati, siis selles voolu mõjul tekkinud magneti tungjooned lähevad risti ringi tasapinnaga. Seega vooluring moodustab väga lühikese magneti. Tugevama magnetivälja annab spiraali keeratud voolujuhe e. solenoid, sest siin kõikide keerdude magnetiväljad liituvad. Nagu iga teine magnet, nii omab ka solenoid, mida läbib elektrivool, kaks poolust. Põhjapoolus asetseb selles otsas, kus voolusuund on, vaadates solenoidi otsa kohal, vastupidine kellaosuti liikumise suunaga, ja lõunapoolus selles solenoidi otsas, kus voolu suund ühtib kellaosuti liikumise suunaga.



225. joon. Magnetivälgi voolu ümber.

180. Elektromagnet. Palju tugevama magneti saame, kui võtame raudpulga ja mähime spiraalselt ta ümber isoleeritud



226. joon. Elektromagnet.

juhtme. Laseme juhtmest voolu läbi, siis tekib, nagu eespool nägime, voolu ümber magnetitungi väli, mille mõjul raua molekulaarmagnetid korralduvad elektrivoolu suhtes kindlas suunas, s. o. raud muutub magnetiks (magnetiseerub). Voolu katkes-

tamisel kaob tema ümber olev magnetitungi väli, järelkult ka raua magnetism peaaegu täiesti.

Raudpulka, mille ümber on mähitud isoleeritud juhe, mida mööda läheb elektrivool, nimet. elektromagnetiks. Elektromagneti poolused määrab voolu magneti tungjoonte suund. Põhjapoolus on seal, kus voolu tungjooned elektromagnetist väljuvad, s. o. selles otsas, kus voolu suund on ümber elektromagneti vastupidine kellaosuti liikumise suunale.

Elektromagnetid on märksa tugevamad kui niisama suured terasmagnetid. Kuju poolest on elektromagnetid väga mitmesugused: sirged, hobuseraua-kujulised jne.

Ühte niisugust tugevat kel-

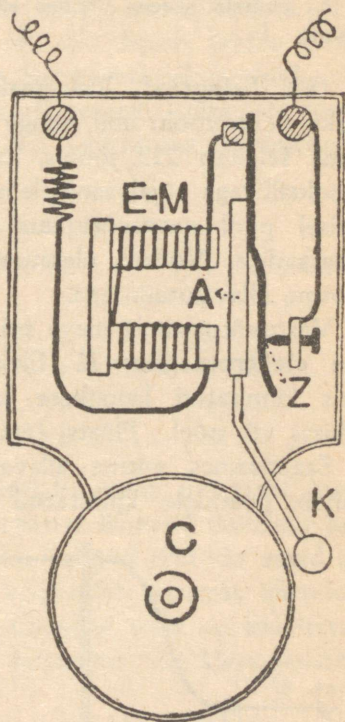


227. joon. Kellakujuline elektromagnet.

lakujulist elektromagnetit kujutab 227. joonis. Selle magneti üks poolus on pehmest rauast valmistatud kella sees, kuna teiseks pooluseks on teda ümbritsev väline kest. Nii-suguseid elektromagneteid kasutatakse tehastes ja mujal raua-tükkide eraldamiseks teistest metallitükkidest.

Veel leiab elektromagnet laial-dast praktilist tarvitamist mit-mesuguste riistade ja masinate ehitamisel, nagu elektrikõlistajas, telegraafis, telefonis, elektrimoo-toris jne.

181. Elektrikõlistaja. Elektri-kõlistaja ehitust ja tegevust kju-tab 228. joon. Elektrikõlistaja tähtsamaks osaks on elektri-magnēt E-M. Elektromagneti pooluste lähedal on vedru külge kinnitatud kitsas raudplaat A, mida nimetatakse ankruks. Ankru küljes on vasar K. Vedru toetub vastu kruvi, mis ühendatakse galvaani elemendi ühe poolusega. Teise pooluse juurde viib traat otse elektro-magnetist. Ühte neist traatidest on asetatud nupp, mille abil võib voolu ühendada ja katkes-tada. Harilikult on vool katkes-tatud. Nupule vajutades ühendatakse vool. Ta läbib elektro-magneti, vedru ja kruvi; elektromagnet tõmbab ankru külge ja vasar lööb vastu kella C. Ühes sellega aga eemaldub nüüd vedru kruvist; seetõttu katkeb vool ja vedru rõhub ankru endisse asendisse vastu kruvi tagasi. Kruvi ja vedru puudu-



228. joon. Elektrikõlistaja.

tamisel pääseb vool jälle elektromagnetist läbi ja vasar lööb uuesti kella. Niikaua kui nupule vajutatakse, liigub vasar kiiresti edasi-tagasi — kell kõliseb.

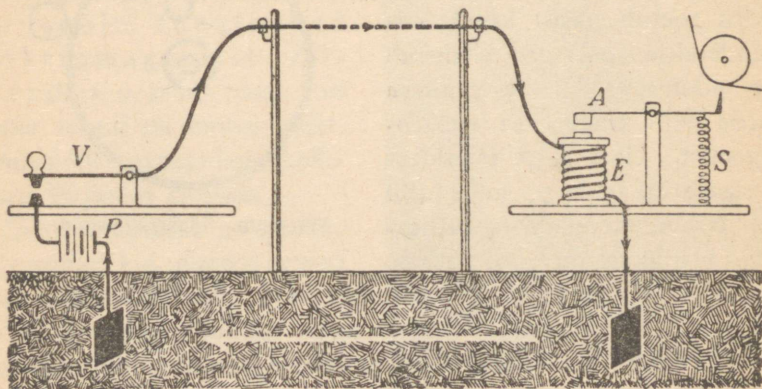
1. Kus ja milleks tarvitatakse elektrikõlistajat? Missugust elementi ja traati tarvitatakse elektrikõlistajas?

2. Joonesta skeem, kuidas elektrikõlistajat mitmest kohast helisema panna.

182. **Telegraaf.** Telegraafi tarvitatakse teadete edasisaatmiseks elektrivoolu abil kauge maa taha. Telegraafijaama tegevust selgitab 229. joonis, kus ühel pool on **saatejaam** ühes vooluallikaga (galvaani elementide patareiga) ja võtmega ning teisel pool **vastuvõtjaam** sõnumeid üleskirjutava telegraafiaparaadiga. **Võtme** ülesanne on voolu ühendada; see toimub võtme allavajutamisega.

Vastuvõtjaamas oleva **telegraafiaparaadi** tähtsamaks osaks on **elektromagnet** *E*. Elektromagneti lähedal on ankur *A*, mis kinnitatud kangikese külge. Kangikese teises otsas on pliats või nõel. Pliatsi teraviku ees on liikuv paberlint.

Saatejaamas võtme allavajutamisega ühendatakse vool, see läheb postidele kinnitatud juhtmete kaudu vastuvõtjaama



229. joon. Telegraafijaama kavand.

ja läbib seal telegraafiaparaadi elektromagneti. Elektromagnet tõmbab ankru enda külge, vajutades seega pliitsi liikuvale lindile. Katkestame voolu, siis tõmbab vedru *S* ankru magnetist eemale ning pliits ei puuduta enam linti.

Vajutab telegrafist võtme alla ainult üheks hetkeks, siis on voolu kestus väga lühike ja pliits märgib paberile täpi; hoiab telegrafist võtme pisut kauem all, siis ilmub lindile kriips. Neist täppidest ja kriipsudest on koostatud telegraafitähestik. Seda tähestikku kutsutakse telegraafiaparaadi leiutaja ja tähestiku koostaja *S. Morse'i* [loe: mors] järgi **Morse'i** tähestikuks. Selle leiutise tegi ta 1832. a.

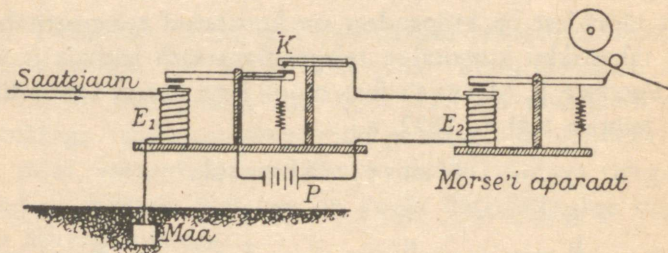
Morse'i tähestik.

a . —	g — — .	m — — —	s ...	y — . — — —
b — . . .	h	n — .	t —	z — — — . .
c — . — . .	i ..	o — — — —	u .. — —	ä
d — . .	j . — — — —	p . — — .	v ... — —	ö (õ) — — — —
e .	k — — . —	q — — — . —	w . — — —	ü .. — — —
f .. — .	l . — . .	r . — .	x — . . — —	ch — — — — —

Saate- ja vastuvõtijaamu ühendab ainult üks traat, kuna teiseks ühendajaks on maa. Seepärast lähevad mõlemas jaamas teised traadid maasse. Maasse juhitud traatide otsad on varustatud metallplaatidega, mis võimaldab paremat ühendust maaga. Saate- ja vastuvõtijaamu ühendav traat on kinnitatud postide külge mitte otseselt, vaid portselan- või klaas-isolaatorite kaudu.

Telegraafi-saateaparaat on ühendatud vastuvõtuaparaadiga metalljuhtme kaudu. Mida kaugemal on vastuvõtijaam saatejaamast, seda pikem on traat ja seda suurem on ta takistus. Suurte kauguste juures on isegi säärase hea juhtme, nagu vasktraadi, takistus suur. Näiteks 1 m pikkuse ja 1 mm² ristilõikega vasktraadi takistus on 0,017 oomi. Tallinna ja Tartu vahel tõmmatud 1 mm² ristilõikega vasktraadi takistus on juba üle 3000 oomi.

Seetõttu muutub voolutugevus niivõrd väikeseks, et see enam ei suuda liikuma panna telegraafiaparaadi kirjutamiseseadist. Et kõrgepingelise vooluallika tarvitamine on kallis (nõuab paremat juhtme isolatsiooni), siis selle asemel tarvitatakse vastuvõtujaamas nn. reled. Rele tarvitamisel läbib vool elektromagneti E_1 (230. joon.), mille ülesanne on ainult koha-



230. joon. Rele: E_1 — rele elektromagnet, E_2 — Morse'i aparaadi elektromagnet.

pealse voolu ühendamine. Kirjutamiseseadise paneb liikuma juba kohapealne vool. Telegraafijuhtmeteks tarvitatakse vask- või tsingitud raudtraate. Et vältida voolu kadu, seks isoleeritakse traadid portselan- või klaas-isolaatorite abil nagu tehnilise elektrivoolu seadmetegi juures. Üle mere telegrafeerimisel ühendatakse saate- ja vastuvõtuaparaadid kaablitega, mis lastakse mere põhja. Kaabel on vee- või maa-alune juhe ta koosneb mitmest vasktraadist, mis on ümbritsetud mitmekordse isoleeriva kihiga.

Praegusel ajal tarvitatakse kaableid ka maa-aluste juhtmetena. Suurtes linnades on uuemal ajal ikka enam ja enam tarvitu- sele võetud maa-alused juhtmed õhujuhtmete asemel, sest vastasel korral linna tänavail tuleks üles seada traatide rägastik, mis muudaks tänavapildi inetuks ja takistaks liiklemist. Samuti võivad õhujuhtmed kergemini vigastatud saada kui maa-alused juhtmed.

Ka elektrivoolu edasisaatmisel kaugematesse kohtadesse tarvitatakse väga sageli samal põhjusel maa-aluseid juhtmeid, s. o. kaableid.

Telegraafiaparaadid on nii ehitatud, et üks ja sama aparaat on ühtlasi saate- ja vastuvõtuaparaadiks.

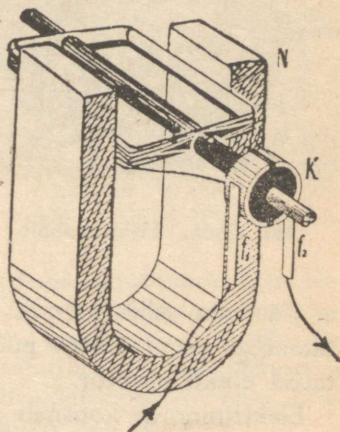
Praegusajal tarvitatakse laialt Hughes'i [loe: juuz] nn. tüüp-rõhu-telegraafiaparaate, mis otseselt edasi annavad tavalisi kirjamärke.

1. Mis tähtsus on telegraafil?
2. Miskujulised on telegraafitraadide isolaatorid?
3. Mis paremused ja halbused on maa-alustel kaablitel võrreldes postidele tõmmatud nn. õhuliinidega?
4. Valmista mingi sõnum edasisaatmiseks telegraafilisel teel. Mida tuleb siinjuures silmas pidada?

183. Elektrimootor. Eespool nägime, et magnetnõel kaldub oma tavalisest põhja—lõuna sihist kõrvale, kui asetada temaga rööbiti juhe ja siis sellest juhtmest läbi juhtida elektrivool. Seejuures magnetnõel püüab asetuda vooluga risti. See mõju on vastastikune: kui tarvitada liikuvat voolujuhet ja paigalseisvat magnetit, siis hakkab juhe, mida läbib elektrivool, magneti mõjul liikuma.

Asetame kahe tugeva magnetipooluse vahele raami, mis võib horisontaalse telje ümber pöörelda (231. joon.). Raamile on keritud rida traadikeerde ehk mähis.

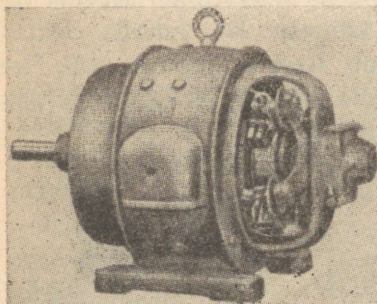
Oletame, et esialgu on raami tasapind horisontaalne. Kui nüüd juhtida raamile keritud mähisest läbi elektrivool, siis hakkab raam magnetivälja toimele liikuma ja võtab vertikaalse asendi. Seda liikumist võime järgmiselt sele-



231. joon. Raami liikumine magnetiväljas.

tada. Eespool nägime, et iga pooli ehk mähist, mida läbib elektrivool, võib vaadelda kui magnetit, mille põhjapoolus asetseb selles otsas, kus, vaadates mähise ees, on voolusuund vastupidine kellaosuti liikumise suunale, ja lõunapoolus selles mähise otsas, kus voolusuund ühtib kellaosuti liikumise suunaga. On raam horisontaalne, siis selle üks poolus on mähise ülemises otsas, teine alumises otsas. Nendesse poolustesse mõjuvad kahel pool olevad magnetipoolused tõmbavalt või tõukavalt, mistõttu mähis ühes raamiga liikuma hakkab.

Et raami liikumist magnetiväljas kestvaks muuta, seks tuleb iga kord, kui raam võtab vertikaalse asendi, muuta raamile keritud mähises voolusuunda. Seks varustatakse raami pöörlemiselg seadisega, mida nimetatakse **kollektoriks**. Kollektori moodustab teljega ühendatud isoleeriv silinder, millele on kinnitatud üksteisest isoleeritud metallpoolringid ehk lamellid. Need lamellid on



232. joon. Elektrimootor.

ühendatud mähise traadi ots-tega. Lamelle puudutavad vetruvad harjad, ja nimelt kumbagi lamelli ise hari, mille kaudu juhatakse vool raamile keritud mähisesse. Harjad ja lamellid on nii paigutatud, et iga kord, kui raam jõuab vertikaalsesse asendisse, libisevad harjad ühelt lamellilt teisele (231. joon.), mistõttu muutubki voolu suund mähises. Seega

ei jää raam selles asendis seisma, vaid liigub edasi. Nii saavutataksegi raami kestav pöörlemine. Sellel põhimõttel on ehitatud **elektrimootor**.

Elektrimootor koosneb seega liikuvast osast, mähisest, mida nimetatakse **ankruks**, **magneteist**, mis annavad magnetivälja, ja **kollektorist**. Ankru pöörlemisjõud on seda suurem, mi-

da tugevam on magnetiväli. Et kõiki magneti tungjooni koon-
dada ankrumähisesse, seks varustatakse mähised raudsüda-
mikuga, millel on omadus koondada magneti tungjooni. Ühe
mähisega ankrud kõik on ebaühtlane, samuti on sellel verti-
kaalses asendis surnud punkt, s. o. asend, kus magnetiväli
ei mõju ankrusse pöörduma panevalt. Seetõttu varustatakse
ankur rohkem kui ühe mähisega, vastavalt sellele suurendata-
kse kollektori lamellide arvu: kahe mähisega ankrud puhul on
kollektoril neli lamelli jne. Elektrimootori magnetitena tarvita-
takse elektromagneteid, mis annavad tugevama magnetivälja
kui terasmagnetid.

Seega elektrimootor on seadis, mis muudab elekt-
rienergia mehaaniliseks energiaks.

Elektrimootoreid ehitatakse väga mitmesuguses suuruses, $\frac{1}{10}$
ja isegi vähemast hobusejõust kuni mitme tuhande hobusejõuni.
Tavaliselt märgitakse elektrimootori võimsus kilovattides.

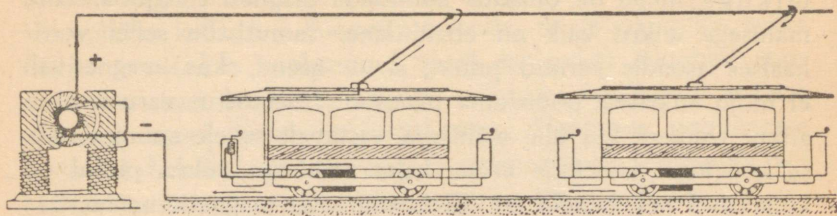
Elektrimootorid leiavad nüüdisajal laialdast tarvitamist iga-
päevases majapidamises, eriti aga tehnikas. Nii pannakse elekt-
rimootori abil käima elektritrammi, vabrikutes ja tehas-
tes mitmesugused masinad jne. Majapidamises tarvitatakse
elektrimootoreid kaevupumba, õhuventilaatori, õmblus-
masina jne. käimapanemiseks.

Mootorisse, mis paneb liikuma elektritrammi, juhitakse elektrivool pos-
tide külge kinnitatud juhtme kaudu, mida puudutab trammil liikumisel
trammivaguni laele kinnitatud metallvibu. Mootorist läbinud vool juhi-
takse vaguni rataste ja trammil rööbastel kaudu tagasi elektrijaamas ole-
vasse dünamosse.

Uuemal ajal tarvitatakse elektritrammi ühenduse pidamiseks mitte üks-
nes ühe ja sama linna osade vahel (Eestis näiteks Tallinna ja Nõmme va-
hel), vaid ka kaugel olevate linnade vahel. Seejuures on tarvitusele võe-
tud mitmest vagunist koosnevad elektrirongid. Eriti laialt tarvitatakse
elektrironge aururongide asemel seal, kus elektrienergia on odav. Nõu-
kogude Liidus on elektrifitseeritud raudteid üle 3000 km.

Elektrimootori ankrud takistus on üldiselt väga väike. Et suurte elektri-
mootorite ankrud kohe pärast voolu ühendamist ei oma küllalt suurt kii-

rust, siis algul lülitatakse vooluahelasse reostaat, mille takistust pikkamööda vähendatakse, ja kui ankru pöörete arv on juba küllalt suur, siis lülitatakse reostaat välja. Sellega kaitstakse elektrimootori ankrut läbipõlemise eest,



233. joon. Voolu juhtimine elektritrampi.

mis võib tekkida väga suure voolutugevuse puhul. Niisugust reostaati nimetatakse ka käivitajaks. Kui aga ankur pöörleb suure pöörete arvuga, siis, nagu järgmises peatükis näeme, tekib vastusuunaline induktsioonipinge, mis mõjub pidurdavalt voolu suurenemisele.

1. Missugused paremsed on elektrimootoril võrreldes aurumasinaga ja plahvatusmootoriga?

2. Mitu amprit elektrivoolu tarvitab elektrimootor võimsusega 1,1 kilovatti, kui see mootor on ehitatud pingele 220 V?

3. Kui suur on elektrivoolu võimsus, kui ta 110 V pingel puhul tarvitab 20 amprit voolu?

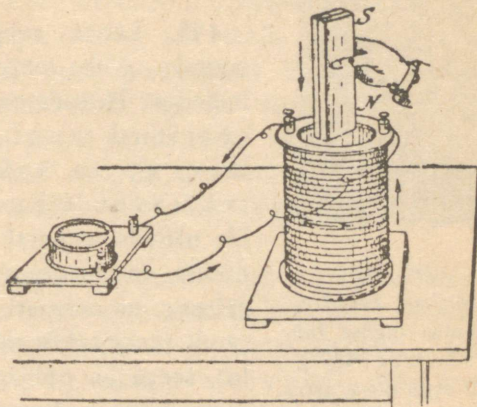
Induktsioonvool ja generaator.

184. Induktsioonvool. Elektervalgustuseks ja teisteks otstarveteks saab elektrivoolu elektrijaamas olevast elektrigeneraatorist. Generaator põhineb järgmisel nähtusel.

Ühendame pooli mähise (mitmest traadikeerust koosnev spiraal) traadi otsad tundliku galvanoskoobiga (234. joon.). Pistame nüüd poolisse tugeva magnetipooluse: magnetipooluse liikumise hetkel paneme tähele, et galvanoskoop näitab voolu. Kui magnet poolist välja võtta, siis näitab galvanomeeter magneti liikumise hetkel vastusuunalist elektri-

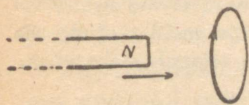
voolu. Seisab magnet paigal, siis jääb galvanoskoobi osuti paigale.

Sama nähtus kordub, kui magnetipulga asemel tarvitada teist pooli, mida läbib elektrivool. Eriti tugev elektrivool tekib poolis, kui tarvitada elektromagnetit, s. o. pooli raudsüdamikuga. Paigutame nüüd väikese pooli suuremasse pooli ja ühendame väiksema pooli traadi otsad vooluallikaga. Katses näitab, et suuremas poolis tekib iga kord elektrivool, kui väiksemas poolis voolu ühendada või katkestada, suurendada või vähendada.



234. joon. Induksioonvoolu tekkimine poolis.

Need ja teised sellelaadsed katsed näitavad, et kinnises poolis tekib alati elektrivool, kui muutub poolist läbiminevate magneti tungjoonte hulk. Niiviisi juhtmes tekitatud elektrivoolu nimetatakse indutseeritud ehk induksioonvooluks, nähtust ennast aga elektromagnetiliseks induksiooniks. Katsed näitavad ka, et induksioonvool poolis on seda tugevam, mida suurem on pooli keerdude arv ja mida kiiremini liigutame pooli lähedal magnetit või teist pooli, mida läbib elektrivool. Täpselt: poolis tekkinud induksioonvool on võrdeline ajaühiku kestel lõigatud magneti tungjoonte



235. joon.

Lenzi reegel.

Arvesse võttes voolu suunda, esineb siin tõukamine.

on võrdeline ajaühiku kestel lõigatud magneti tungjoonte

arvuga. Induktsioonvool tekib ka üksikus traadis, kui teda liigutada magnetiväljas, kuid sel puhul on indutseeritud voolu tugevus nõrk.



236. joon.

Michael Faraday, kuulus inglise füüsik (1791—1867), oli sepa poeg, astus noorena raamatukõitja õpilaseks, pääses oma andekuse ja töökuse tõttu Kuningliku Teadusliku Asutise laborandiks, tõusis hiljemini selle presidendiks. Avaldas teedrajavaid uurimusi elektriõpetuse alalt.

185. Lenzi reegel. Induktsioonvoolu suunda võib määrata mitme reegli abil, milledest lihtsam on Lenzi reegel: Indutseeritud vool on säärasesuunaoline, et ta takistab seda voolu tekitavat liikumist. Lähendame poolile näiteks magneti põhjapooluse, siis tekib poolis induktsioonvool, mille suund on säärane, et magneti põhjapoolusele lähemas pooli otsas tekib põhjapoolust tõukav poolus, seega ka põhjapoolus. Ümberpöördult, viime poolist magneti põhjapooluse eemale, siis induktsioonvoolu suund on säärane, et pooli lähemas otsas on lõunapoolus, mis takistab magneti põhjapooluse eemaldamist.

Magnetit või pooli liigutamisel tuleb meil teha tööd. Selle mehaanilise töö arvel tekib induktsioonvool. Nii muundub siin mehaaniline energia elektrienergiaks.

Induktsioonvoolu avastas M. Faraday aastal 1831. Faraday lähtus seejuures oletusest, et kui elektrivool võib tekitada magnetismi (elektromagnet oli juba varemini tuntud), siis peab olema ka vastupidine nähtus: magneti abil võib tekitada elektrivoolu.

186. Generaator. Tehnikas tarvitatakse kahte liiki elektrivoolu: alalisvoolu ja vahelduvvoolu. Alalisvool on niisugune, kus voolu suund ei muutu, kuna vahelduvvoolu suund muutub perioodiliselt. Vooluallikadena tarvitatakse peamiselt generaatoreid, mis võivad anda alalis- kui ka vahelduvvoolu, ja galvaani elemente ning akumulaatoreid. Viimased annavad

ainult alalisvoolu. Elektrivoolu generaatorite tegevus põhineb induksioonvoolul. Selle selgitamiseks korraldame järgmise katse. Paigutame kahe tugeva magnetipooluse vahele raami, nagu seda kirjeldasime elektrimootori seletamisel leheküljel 223. Pöörame raami seal telje ümber, siis tekib raamile keritud traadis induksioonvool, sest pöörlemisel lõikavad traadid magneti tungjooni. Et liikuvalt raamilt võtta elektrivoolu, seks ühendame mähise traadi otsad raami teljel olevate metallrõngastega. Neid rõngaid puudutavad metallvedrud või harjad, millede kaudu juhatakse tekkinud elektrivool välisjuhtmetele.

Raamile keritud mähises raami pöörlemisel tekkinud induksioonvool muudab iga kord voolusuunda, kui raami tasapind on vertikaalne, mida võib järelada ka Lenzi reeglist. Seega tekib siin vahelduvvool. Et saada alalisvoolu, seks asendame pöörlemisteljel olevad metallrõngad üksteisest isoleeritud poolrõngastega ehk lamellidega ja paigutame need pöörlemisteljele nii, et iga kord, kui muutub induksioonvoolu suund raamis, libiseb hari ühelt lamellilt teisele. Viimast seadist nimetasime **kollektoriks**. Seega muutub voolu suund küll mähises, kuid välise ahela osas jääb ta muutumatuks. Kirjeldatud põhimõttel ongi ehitatud alalisvoolu generaator ehk **dünamo**.

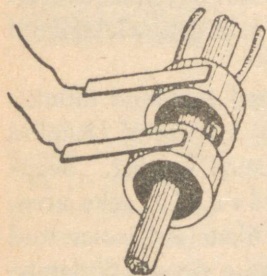
Dünamomasin koosneb seega nagu elektrimootorigi **väljamagnetitest**, mis annavad tugeva magnetivälja. Selles magnetiväljas liigub nn. **ankur**, millele keritud traatmähis lõikab tungjooni ja milles siis tekib induksioonvool.

Väljamagnetitena tarvitatakse peamiselt elektromagneteid, mis annavad tugevama magnetivälja kui terasmagnetid. Alalisvoolu dünamo väljamagneteid ergutatakse seejuures sama vooluga, mis tekib ankrus ankruga pöörlemisel (W. Siemensi iseergutamispriintsiip).

Vahelduvvoolu generaatori kollektor koosneb rõngastest (kontaktrõngastest), mida puudutavad kestvalt harjad (237. joon.).

Vahelduvvoolu generaatoris tavaliselt pöörleb väljamagnet, mida nimetatakse rootoriks, kuna raudsüdamikudele keritud poolid, milledes indutseeritakse elektrivool, seisavad paigal ja on kinnitatud ringitaoliselt ümber rootori. Seda paigalseisvat osa nimetatakse staatoriks. Staatoris indutseeritakse elektrivool seega, et rootori pöörlemisel muutub staatori raudsüdamikule keritud poolidest läbiminevate magnetitungjoonte arv. Rootorit, mis samuti koosneb raudsüdamikudele keritud poolidest, ergutatakse alalisvooluga, mis juhitakse sinna rõngaskollektorite kaudu.

Tehnilise vahelduvvoolu puhul voolab vool 50 korda sekundis ühes suunas, 50 korda vastassuunas. Seega ta sagedus on 50 Hertzi.



237. joon. Rõngaskollektor.

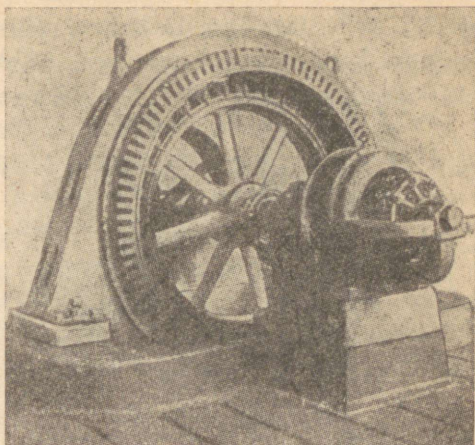
Nagu kirjeldusest järgneb, on dünamo ehitus samasugune nagu elektrimootorilgi. Seega dünamomasinat võib tarvitada elektrimootorina ja ka ümberpöördult, elektrimootor, kui ta ankrut ringi ajada, töötab dünamona. Mõlemaid neid nimetatakse elektrimasinaiks.

Generaatorid leiavad suurt kasutamist elektrivoolu andjatena elektrijaamades ja mujal. Praegusajal ehitatakse generaatoreid kuni mitmekümne tuhande kilovattise võimsusega.

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

Võrreldes auru, veekose ja teiste energia-allikatega on elektrienergia see paremus, et teda võib hõlpsasti juhtida traatide kaudu kauge maa taha, kuna näiteks veekose energia abil liikuma pandud veeturbiini energiat võib otseselt kasutada ainult kohapeal. Selletõttu viimasel ajal suuremate jõumasinate energia muudetakse elektrienergiaks ja juhitakse traatide kaudu tarvitamiskohta, kus vastavad masinad pannakse käima elektrimootori abil. Pealegi on sel puhul võimalik iga üksikut masinat seisma panna ja käima lasta, vaatamata sellele, kas teised sama jõumasina energiat töötavad masinad käivad või seisa-

vad. Viimane asjaolu ongi peamiseks põhjuseks, miks suuremates tehastes ja vabrikutes muudetakse ka kohapealsete jõumasinate energia elektrivoolu energiaks ja alles elektrivooluga pannakse masinad käima. Elektrivoolu tarvitamine masina käimapanemiseks teeb masina käigu sõltumatuks teiste masinate käigust. See võimaldab suurt energia kokkuhoidu, sest masina mittetarvitamise puhul võib teda seisma panna. Muidugi on seejuures tarvilik iga üksiku masina käimapanemiseks omaette elektrimootor.



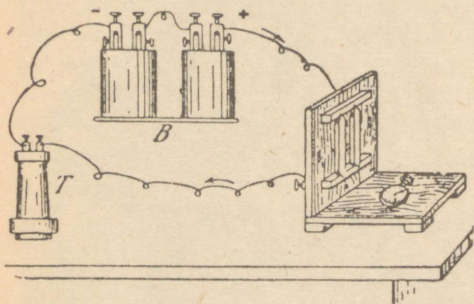
238. joon. Vahelduvvoolu generaator.

Ka väiksematele töökodadele on elektrivoolu tarvitamisele võtmine toonud suuri hõlbustusi, sest suurte elektrijõujaamade elektrivoolu tarvitamise puhul pole neil tarvis enam üksikult muretseda jõumasinaid ega kanda sellega ühenduses olevaid lisakulusid.

Nõukogude Liidus on hiiglasuur elektrijõujaam Dnepri jões (Dneproges, 810 000 h.-j.). Teised suured elektrijõujaamad on veel Volhovil ja Sviril (Süvaril), Volgal, Uuralis. Eesti NSV-s on suurim Ellamaa elektrijaam, mis varustab elektrienergiaga Tallinnat ja teisi linnu.

187. Telefon. Telefoni tarvitatakse kõne edasisaatmiseks traadi kaudu. Telefoni kaudu kõneldes hoiame suu mikrofonis. Lihtsat mikrofonis kujutab 239. joonis. Siin on puulauakesele kinnitatud kaks sõepulka, mis on ühenduses elektripatareiga. Neile sõepulkadele tuginevad lõdvalt kaks teist sõepulka.

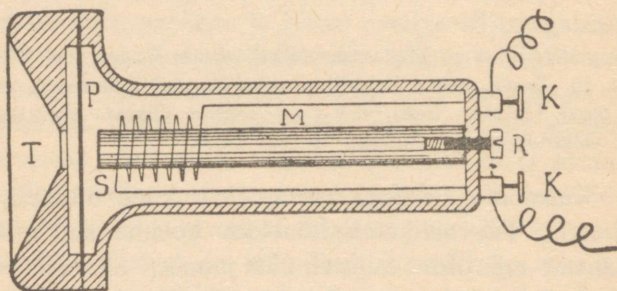
Rääkimisel tekivad häälelained, mis panevad pisut liikuma ka söepulki. Seetõttu nad puudutavad rohkem või vähem teineteist, mille tagajärjel pulgakesi läbib elektrivool leiab kord suurema, kord väiksema takistuse. Tekib muutliku tugevusega elektrivool, mis juhitakse vastuvõtuaparaadi kuuldetorusse.



239. joon. Mikrofon.

Kuuldetoru läbilõiget kujutab 240. joonis. Ta peaosaks on magnetipulk *M*, mille ühe otsa ümber on mähitud isoleeritud traat *S*. Traadi otsad on ühenduses mikrofonist tulevate juhtmetega kruvide *KK* kaudu. Mähisega pooluse ees asetseb õhuke raudplekk *P*. Raudpleki ees on kuuldetorus ava *T*, kus telefoniga kõnelemisel hoitakse kõrv.

Mikrofonist tulev muutliku tugevusega vool muudab kuuldetorus magnetitungjoonte välja. Selletõttu magneti külge-



240. joon. Telefoniaparaadi kuuldetoru.

tõmme raudplekile kord suureneb, kord väheneb, vastavalt elektrivoolu võnkumistele. Raudplekk hakkab võnkuma, tehes järele sama häält, mis kõneleja teeb mikrofon.

Kui kõnelda telefoni kuuldetoru ees, siis hakkab raudplekk võnkuma, mis tekitab traadis induktsoonivoolu. Seega võib seda kõnet kuulda teise kuuldetoruga. Kuid hääl on siis palju nõrgem.

Et võimalik oleks samast kohast ise rääkida ja teist kuulata, on mikrofoni ja kuuldetoru käepidemega ühendatud. Märguandmiseks, et soovitakse telefoniga kõnelda, on telefoni induktor.

Telefoni induktor on väike elektrigeneraator, mille ümberajamisel tekkinud vool juhitakse saateaparaadist juhtmete kaudu vastuvõtuaparaadi elektrikõlistajasse, mis siis kõlisema hakkab.

Nagu telegraafi puhul, nii ka siin ei tarvitata kahte traati, vaid teist traati asendab maa.

Maa kasutamine teise juhtmena võimaldab kokkuhoidu juhtme materjalis, mis on eriti tähtis suurte kauguste puhul. Sõja ajal peab aga säärase ühendusviisiga olema ettevaatlik, sest nõrka maavoolu võib vaenlane kuulata tundlikkude aparaatidega. Sama kehtib ka telegraafi puhul.

188. Telefonivõrgu keskjaam. Majades ja mujal ülesseatud telefoniaparaadid pole üksteisega alaliselt ühendatud. Kahe telefoniaparaadi omavaheline ühendamine toimub ühe telefonitarvitaja igakordsel soovil telefonivõrgu keskjaamas. Igalt aparaadilt on juhitud traat keskjaama, kus see lõpeb vastaval tahvil kontaktiga, mis kannab telefoniaparaadiga sama numbrit. Soovib abonent (telefonitarvitaja) ühendust teisega, siis kõlistamisega hakkab telefoni-keskjaamas tema numbriga kohal olev hõõglamp põlema, mille järel keskjaama ametnik annab ühenduse soovitud telefoniaparaadiga. Selle ühendusega paneb ta ka väljakutsutud telefoniaparaadi kõlistaja helisema. Kui väljakutsutud telefoniabonent võtab telefoni-kuuldetoru vastava konksu otsast, siis lülitab ta seega kõlistaja voolu välja ja lülitab sisse mikrofon ja kuuldetoru.

Automaat-keskjaama puhul toimub telefoniaparaatide ühendamine automaatselt numbriketta pööramisega, millega on varustatud iga telefoniaparaat.

Täiendusi.

1. (§ 45, lk. 55) Nõukogude Liidus ehitatakse viimasel ajal elektrijõujaamade jaoks hiiglasuuri (kuni 90 000 h.-j.) vesiturbiine, mis ületavad kõik turbiinid Euroopas ja lähenevad suurimaile turbiinidele Ameerikas.

2. (§ 47, lk. 58) Nõukogude Liidus on kõige vanem vesivarustus Moskvas (ehit. 1855—1858). Enne Suurt Oktoobrirevolutsiooni oli vesivarustus 266 linnas, esimese sotsialistliku viisaastaku kestel töötas veevõrk 326 linnas.

3. (§ 58, lk. 73) Nõukogude stratostaadid. NSV Liidus on korduvalt tõustud õhupallidel-stratostaatidel õhkkonna kõrgemaisse kihtidesse (stratosfääri) nende uurimise otstarbel. 30. sept. 1933 tõusid kolm nõukogude eriteadlast — Prokofjev, Godunov ja Birnbaum stratostaadil „SSSR“ (mille maht oli 24 500 m³, kõrgus 70 m) 19 000 m kõrgusele, seega tunduvalt kõrgemale kui Piccard. Teinud hulga väärtuslikke vaatlusi, maandus stratostaat õnnelikult Moskva ümbruses Kolomna lähedal. 30. jaan. 1934 startis stratostaat „Osoaviahim I“ stratosfääri uurimiseks talveoludes. Ta jõudis koguni 22 000 m kõrgusele. Siis aga tabas õhupalli katastroof. Aga hukkunud seltsimehed-kangelased kirjutasid uue hiilgava lehekülje looduse vallutamise ajaloosse. Sellist kõrgust ei ole seni ükski teine saavutanud.

4. (§ 97, lk. 116) Aurumasina leiutajaks peetakse harilikult James Watt'i, kuid juba enne teda, aastal 1764, konstrueeris aurumasina vene leidur Ivan Polzunov (1730—1766). Pärisorjuslikul Venemaal aga ei osatud hinnata Polzunovi masina tähtsust. Viletsusse langenud leidur ise suri enneaegselt, ta masinatki kasutati ainult lühikest aega ja lammutati siis.

5. (§ 154, lk. 188) Samal 1752. a., mil Franklin julgete katsetega tõestas, et väik on hiiglasuur elektrisäde, uurisid õhuelektrit ka vene teadlased akadeemik Richman ja Mihhail Vassiljevitsš Lomonossov. Ühe katsetegemisel äikesel ajal sai Richman õnnetult surma. Ta oli ehitanud „pikemasina“: isoleeritud metallteravik kõrge masti otsas, teravikult tuppa juhitud isoleeritud traadiga, traadi otsa oli riputatud joonlaud ja siidniit, mis

joonlaua elektriseerumisel temast eemaldus. 26. juulil 1752 äikeseajal lähenes Richman ettevaatamatult oma „masinale“. Sellest lõi tugev elektrisäde ja surmas teadlase.

6. (§ 172, lk. 208) Elektrihõõglambi leiutas esimesena a. 1876 vene leidur A. N. L o d õ g i n (1847—1923), alles a. 1879 valmistas ka Edison hõõglambi. Elekttervalgustust kasutati esmakordselt samal 1876. a.: vene leidur ja elektrotehnik Pavel J a b l o t š k o v (1847—1894) süütas oma „küünla“ ja hakkas sellega valgustama Pariisi kesklinna tänavaid. Järgnevat aastail võeti elekttervalgustus tarvitusele ka teistes linnades — Londonis, Peterburis jt. Jablotškovi „küünla“ südamikuks on isoleeraine (savi), kummalgi pool sellest on söepulgad. Nende otste vahel tekitatakse kaarleek, mis jääb püsima, põletades ühtlasi sütt ja savi. Hiljem asendati „küünal“ kaarleek-lampidega ja suurte hõõglampidega.

7. (§ 178, lk. 215) V o l t a k a a r e ehk kaarleegi avastas a. 1802 vene õpetlane Vassili P e t r o v (1761—1834). See avastus on elektrotehnikas otse revolutsioonilise tähtsusega, sest temal põhineb metallide sulatamine elektriahjus, elektriline keevitamine, elekttervalgustus jne. Kuid tsaari-Venemaal ei olnud tol ajal kõike seda tarvis ja Petrovi töö unustati. Alles a. 1815 kordas Petrovi katset inglise õpetlane Davy ja hiljem hakati kaarleeki elektrotehnikas laialdaselt kasutama.

8. R a a d i o leiutajaks on vene füüsik Aleksander P o p o v (1859—1905), kes juba a. 1895 ehitas traadita- ehk sädetelegraafi aparraadi. Tsaarivalitsus ei pidanud seda leiutist tähtsaks ega toetanud Popovi aineliselt. Nii ei saanud Popov oma leiutist täiendada. Seda tegi itaallane Marconi, keda ekslikult loetakse raadio leiutajaks. Aastal 1945 võisime tähistada raadio 50-dat juubeliaastat.

Sisukord.

Mõõtmisi ja mõõduühikuid	Lk. 3
Mehaanika põhimõisteid.	
Liikumisnähtusi	16
Tung ja töö	20
Raskuspunkt ja tasakaal	31
Lihtmasinad	35
Võimsus ja energia	45
Vedelikud ja gaasid.	
Rõhumisnähtusi vedelikes	48
Rõhumisnähtusi gaasides	62
Mõningaid gaaside omadustel põhinevaid riistu	73
Soojus.	
Temperatuuri mõõtmine	80
Kehade paisumine soojendamisel	84
Soojushulga mõõtmine	91
Sulamine	94
Aurustumine ja niiskus	98
Keemine	101
Soojuse levimine	104
Soojusenergia ja töö	110
Hääl.	
Hääle tekkimine ja levimine	120
Inimese hääl ja kuulmine	129
Valgus.	
Valguse levimine	133
Valguse peegeldumine	135
Valguse murdamine	142
Optilised läätsed	146
Optilised riistad. Silm ja nägemine	149
Spekter	162
Magnetism.	
Magnetilised põhinähtused	166
Magnetiväli	171
Elekter.	
Hõõrdumiselekter	176
Õhuelekter	188
Elektrivool ja selle omadused	190
Elektrolüüs	202
Voolusoojus	208
Voolu magnetiline toime	217
Induktsioonvool ja generaator	226
Täiendusi	234

Ladumisele antud 20. IV 1945. Trükkimisele antud 29. V 1945. Paber 56:79 cm, 1/16. Trükiarv 13.200. Trükitähti trükipoognas 32.330. Trükipoognaid 7^{3/4}. Arvutuspoognaid 6,26. MB-01217. Tellimise nr. 3373. Trükikoda „Kommunist“, Tallinn, Pikk t. 2.

На эстонском языке. И. Ланг: Физика.

Rbi. 2.50

A-15685